LO SVILUPPO DELLE COLTURE ENERGETICHE IN ITALIA

IL CONTRIBUTO DEI PROGETTI DI RICERCA SUSCACE E FAESI

A cura di Luigi Pari

Progetto SUSCACE (Supporto Scientifico alla Conversione Agricola alle Colture Energetiche) finanziato dal MiPAF con D.M. 2419 del 20/02/08

Progetto FAESI (Filiere Agro Energetiche nel Sud Italia) finanziato dal MiPAF con D.M. 4056 del 24/07/08

LO SVILUPPO DELLE COLTURE ENERGETICHE IN ITALIA
IL CONTRIBUTO DEI PROGETTI DI RICERCA SUSCACE E FAESI

I contributi scientifici raccolti nel presente lavoro rappresentano i risultati raggiunti dal partenariato dei progetti SUSCACE (Supporto Scientifico alla Conversione Agricola verso le Colture Energetiche) e FAESI (Filiere Agro-Energetiche nel Sud Italia) promossi dal MiPAAF con la finalità di sviluppare e fornire le necessarie conoscenze ed innovazioni tecnologiche agli imprenditori agricoli, agro industriali ed agro-meccanici che stanno investendo nel settore della produzione ed utilizzo delle agro-energie in Italia.

Questa opera vuole sia fare il punto sullo stato dell'arte delle agro-energie e costituire un riferimento scientifico e formativo per tutti gli operatori del settore, ma anche identificare eventuali ulteriori esigenze di ricerca che l'utente potrà segnalare accedendo al sito di progetto http://ing.entecra.it/Biomasse.

Ideazione: Luigi Pari, Enrico Santangelo

Coordinamento Scientifico: Luigi Pari

Coordinamento editoriale: Enrico Santangelo

Ringraziamenti:
Si ringraziano il Prof. Cosentino, la dott.ssa D'Andrea, il dott. Di Candilo, il Prof. Di Renzo, il dott. Facciotto, il dott. Mastrorilli ed i loro collaboratori per aver sostenuto e fattivamente partecipato alla redazione di questa opera.

In copertina:
In alto a sinistra: piante del clone AF2 di pioppo (foto CRA-PLF)
In alto a destra: raccolta del sorgo da fibra (foto CRA-ING)
In basso a sinistra: piante di cardo prima della raccolta (foto CRA-ING)
In basso a destra: residui delle potature di olivo pronti per la raccolta (foto CRA-ING)

ISBN: 978-88-6134-730-4

Edizione fuori commercio vietata la vendita

Indice

Introduzione alle "Bioenergie" - Il ruolo dei Progetti di Ricerca del CRA nel settore delle Agro-energie
Fidalma D'Andrea 11

Presentazione - Colture energetiche per la diversificazione del settore agricolo: i progetti di ricerca SUSCACE e FAESI
Luigi Pari 21

I. Colture legnose
A. Botanica, biologia, genetica
1. Selezione di cloni di pioppo per la destinazione da biomassa
Gianni Facciotto, Sara Bergante 31
2. Selezione di cloni eucalitto per la destinazione da biomassa
Giovanni Mughini, Laura Rosso, Sara Bergante 45
3. Selezione di cloni di *Robinia pseudoacacia* L. per la produzione di biomassa
Laura Rosso, Sara Bergante, Maria de Los Angeles Gras 53

B. Tecnica colturale
1. L'impianto del pioppeto: riduzione dei costi attraverso la lavorazione del terreno in bande
Luigi Pari, Alberto Assirelli 65
2. Concimazione ed irrigazione del pioppeto per produzione di biomassa
Gianni Facciotto..... 79
3. Guida al diserbo del pioppo in ambiente meridionale
Marcello Scarcella, Domenico Palumbo, Achille Giorcelli, Massimo Gennaro 89
4. Tecnica colturale della Robinia per produzione di biomassa
Sara Bergante, Gianni Facciotto, Maria de Los Angeles Gras..... 99

C. Coltivazione nel Sud Italia
1. Coltivazione e adattamento di cloni di pioppo (*Populus* spp.) da biomassa nel Sud Italia (Puglia)
Alejandra Navarro García, Gianni Facciotto, Francesca Modugno, Pompeo Maggio, Marcello Mastrorilli 111
2. Prove di adattamento di cloni di pioppo (*Populus* spp.) in Sicilia
Gianni Facciotto, Giuseppe Nervo 123

D. Meccanizzazione
1. Lavorazione del terreno nel pioppeto: dall'impianto alla raccolta
Alberto Assirelli 137
2. Il trapianto meccanico del pioppeto per produzione di biomassa, strategie finalizzate alla riduzione dei costi di produzione
Luigi Pari, Vincenzo Civitarese 153
3. Cantieri di raccolta delle colture legnose
Luigi Pari, Vincenzo Civitarese 165
4. Stoccaggio del cippato di pioppo a destinazione energetica
Luigi Pari, Francesco Gallucci, Angelo Del Giudice 183

5. Pianificazione delle operazioni di raccolta e conferimento delle biomasse
Luigi Pari, Vincenzo Civitarese, Massimo Pepe 197

E. Eco-bilanci

1. Bilancio del carbonio e dei gas serra
Gianni Facciotto, Sara Bergante, Enrico Ceotto, Mario Di Candilo 213
2. Colture energetiche e cambio d'uso del suolo: criticità e sostenibilità
Luigi Pari, Alessandro Suardi 233
3. Valutazioni economiche: pioppo, robinia, eucalitto
Domenico Coaloa, Alessandra Grignetti 251

F. Utilizzo e destinazione

1. Utilizzo e destinazione delle colture energetiche legnose
Giuseppe Altieri, Francesco Genovese, Antonella Tauriello, Carmen D'Antonio 273

G. Prospettive

1. Prospettive delle colture arboree dedicate alla produzione di biomassa da energia
Mario di Candilo, Gianni Facciotto 293

II. Colture erbacee annuali

A.* Colza, girasole, *Brassica carinata

1. Botanica, biologia, genetica

a) Classificazione e risorse genetiche del colza
Andrea Del Gatto 309
b) Classificazione e risorse genetiche del girasole
Andrea Del Gatto 313
c) Classificazione e risorse genetiche della *Brassica carinata*
Andrea Del Gatto 319

2. Tecnica colturale

a) Un biennio di prove di valutazione di cultivar di girasole in Italia Centrale e Sud-orienale
Andrea Del Gatto, Sandro Pieri, Giovan Mario Ridoni, Angelo Sarti, Eugenio Cozzolino, Luciano Concezzi, Giuseppe De Mastro 325
b) Un biennio di prove di valutazione di cultivar di *Brassica napus* e *Brassica carinata* in Italia
Andrea Del Gatto, Sandro Pieri, Mario Di Candilo, Giuseppe De Mastro, Marco Signor, Gianluca Carboni, Giovan Mario Ridoni 349
c) Concimazione azotata e densità di semina in colza (*B. napus* L.)
Andrea Del Gatto, Sandro Pieri, Lorella Mangoni, Marcello Mastrorilli, Pasquale Campi 379

3. Coltivazione nel Sud-Italia

a) Brassicacee da olio per biodiesel in Sicilia
Umberto Anastasi, Venera Copani, Salvatore Cosentino 391

4. Meccanizzazione

a) Brassicacee: scelta della raccoglitrice in funzione delle perdite
Luigi Pari, Alberto Assirelli, Alessandro Suardi 415
b) Girasole: valutazione delle soluzioni commerciali disponibili per la raccolta
Alberto Assirelli 429

5. Valutazioni economiche

a) Valutazioni economiche: colza, girasole e *Brassica Carinata*
Domenico Coaloa, Alessandra Grignetti 441

B. Sorgo da fibra

1. Botanica, biologia, genetica

a) Classificazione botanica, caratteristiche morfologiche e risorse genetiche del sorgo
Mario Di Candilo 457

2. Tecnica colturale

a) La coltivazione del sorgo da biomassa (*Sorghum bicolor* L.) nel Centro-Nord Italia
Mario Di Candilo, Andrea Del Gatto 467

b) Valutazione agronomica e caratterizzazione di genotipi di sorgo per la produzione di biomassa lignocellulosica nel Centro-Nord Italia
Mario Di Candilo, Andrea Del Gatto, Sandro Pieri, Michele Diozzi 481

c) Confronto fra epoche di semina e di raccolta in sorgo zuccherino e da fibra (*Sorghum bicolor* L. Moench) nel Nord Italia
Mario Di Candilo, Enrico Ceotto, Michele Diozzi 501

3. Coltivazione nel Sud-Italia

a) Tecnica colturale del sorgo da biomassa nel Sud Italia
Salvatore Cosentino, Marcello Mastrorilli, Alessandro Saita, Giovanni Scalici 517

4. Meccanizzazione

a) Sorgo da fibra: la valutazione dei cantieri disponibili
Luigi Pari, Alberto Assirelli, Alessandro Suardi 541

b) Sviluppo di un prototipo per la raccolta del sorgo da fibra
Luigi Pari, Alberto Assirelli, Alessandro Suardi 553

c) Valutazione dell'essiccazione in campo del sorgo da fibra affienato
Luigi Pari, Alberto Assirelli, Alessandro Suardi 567

5. Valutazioni economiche

a) Valutazioni economiche: sorgo
Domenico Coaloa, Alessandra Grignetti 579

C. Utilizzo e destinazione

a) Utilizzo e destinazione delle colture erbacee annuali
Giovanni Carlo Di Renzo, Francesco Genovese, Antonella Tauriello 593

III. Colture erbacee poliennali

A.* Cardo, *Arundo donax

1. Botanica, biologia, genetica

a) Canna comune (*Arundo donax* L.)
Venera Copani, Salvatore Luciano Cosentino 617

b) Cardo domestico (*Cynara cardunculus* L. var. *altilis* DC.)
Rosario Paolo Mauro, Giovanni Mauromicale 623

2. Tecnica colturale

a) La coltivazione della canna comune (*Arundo donax* L.) ad uso energetico nel Nord Italia
Mario Di Candilo, Enrico Ceotto 631

b) La coltivazione del cardo domestico (*Cynara cardunculus* L. var. *altilis* DC.)
Rosario Paolo Mauro, Giovanni Mauromicale 649

c) La propagazione agamica della canna comune (*Arundo donax* L.)
Salvatore Cosentino, Venera Copani, Enrico Ceotto, Mario Di Candilo 659

3. Meccanizzazione
a) Cantieri di raccolta del cardo (*Cynara cardunculus* L.) in Italia
Luigi Pari, Vincenzo Civitarese, Alberto Assirelli, Angelo Del Giudice 685
b) Meccanizzazione della raccolta del materiale di riproduzione di canna comune (*Arundo donax* L.) nel settore vivaistico
Luigi Pari, Alberto Assirelli, Andrea Acampora, Sara Croce, Enrico Santangelo .. 697
c) Meccanizzazione del trapianto del rizoma di canna comune (*Arundo donax* L.)
Luigi Pari, Alberto Assirelli 707
d) Sviluppo di un prototipo per l'impianto della canna comune (*Arundo donax* L.) con talea di fusto
Luigi Pari, Alberto Assirelli, Vincenzo Civitarese, Alessandro Suardi 715
e) Meccanizzazione della raccolta del prodotto trinciato di canna comune (*Arundo donax* L.)
Luigi Pari, Alessandro Suardi, Vincenzo Civitarese, Elisabetta Giannini 723

4. Valutazioni economiche
a) Valutazioni economiche: *Arundo donax* L. (canna comune)
Domenico Coaloa, Alessandra Grignetti 741

B. Altre specie:
1. Panico (*Panicum virgatum* L.)
Marcello Scarcella, Marcello Mastrorilli 751
2. Jatropha *(Jatropha curcas L.)*
Salvatore Luciano Cosentino, Orazio Sortino, Sarah Sidella 761
3. Ricino (*Ricinus communis* L.)
Orazio Sortino, Salvatore Luciano Cosentino, Sarah Sidella 779
4. Canna d'Egitto [*Saccharum spontaneum* L. ssp. *aegyptiacum* (Willd.) Hackel.] e specie minori
Salvatore Cosentino, Venera Copani, Danilo Scordia, Giorgio Testa 797

C. Utilizzo e destinazione
1. Utilizzo e destinazione delle colture energetiche erbacee poliennali
Giuseppe Altieri, Francesco Genovese, Antonella Tauriello 811

IV. Biomasse Residuali
A. Biomasse residuali
Giovanni Carlo Di Renzo, Paola D'Antonio, Carmen D'Antonio, Francesco Genovese 829
B. Messa a punto di sistemi di raccolta dei residui vegetali (potature)
Paola D'Antonio, Carmen D'Antonio, Carmela Evangelista 853
C. Stima del potenziale di biomassa agro-forestale da residui agricoli e forestali in Basilicata
Paola D'Antonio, Carmen D'Antonio, Vito Doddato 869
D. Prove comparative di soluzioni commerciali per la raccolta delle potature di olivo
Luigi Pari, Sara Croce, Andrea Acampora, Alberto Assirelli 885

Unità Operative partecipanti ai progetti

CRA-ING - Unità di ricerca per l'Ingegneria Agraria
Via della Pascolare 16, 00016 Monterotondo
http://ing.entecra.it
Responsabile Scientifico: dott. Luigi Pari (Coordinatore dei progetti)

CRA-CIN - Centro di ricerca per le Colture Industriali
Via di Corticella 133, 40128 Bologna
www.cra-cin.it
Responsabile Scientifico: dott. Mario Di Candilo

CRA-PLF - Unità di ricerca per le Produzioni Legnose fuori Foresta
Strada Frassineto Po 35, 15033 Casale Monferrato (AL)
www.populus.it
Responsabile Scientifico: dott. Gianni Facciotto

CRA-SCA - Unità di ricerca per i Sistemi Colturali degli ambienti Caldo-aridi
Via Celso Ulpiani 5, 70125 Bari
www.inea.it/isa
Responsabile Scientifico: dott. Marcello Mastrorilli

CRA - Servizio Attuazione e Coordinamento Programmi di Ricerca Ordinari e Straordinari
Via Nazionale 82, 00184 Roma
www.entecra.it
Responsabile Scientifico: dott.ssa Fidalma D'Andrea

DISPA - Dipartimento di Scienze delle Produzioni Agrarie e Alimentari Università degli Studi di Catania
Via valdisavoia 5, 95123 Catania
www.dacpa.unict.it
Responsabile Scientifico: prof. Salvatore Luciano Cosentino

DITEC - Dipartimento Tecnico Economico per la Gestione del Territorio Agricolo e Forestale - Università degli Studi della Basilicata
Via dell'Ateneo Lucano 10, 85100 Potenza
www.unibas.it/dipartimenti/ditec
Responsabile Scientifico: prof. Giovanni Carlo Di Renzo

ARSSA - Agenzia Regionale per lo Sviluppo ed i Servizi in Agricoltura della Regione Calabria
C/da Pantano Martucci, 87060 Mirto-Crosia (CS)
www.arssacalabria-agrometeo.it
Responsabile Scientifico: dott. Benito Scazziota

Introduzione alle "Bioenergie"
Il ruolo dei Progetti di Ricerca del CRA nel settore delle Agro-energie

Nell'ambito del settore bioenergetico sono in atto numerosi progetti di ricerca finanziati dal Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali che rispecchiano il crescente interesse delle politiche nazionali sul ruolo svolto dal comparto agro-forestale come fonte di energia rinnovabile.

Lo sviluppo delle filiere agro-energetiche rappresenta una concreta possibilità per il comparto agricolo, anche in virtù della spiccata eterogeneità che le caratterizza, spiegabile con la disponibilità di materie prime, che possono essere sfruttate mediante un approccio strettamente connesso alle attitudini del territorio.

Il modello di sviluppo si basa sulla stretta interazione tra la produzione e la sua valorizzazione energetica e, proprio in tale settore, l'impresa agricola può esplicare le sue potenzialità valorizzando le caratteristiche ambientali e sociali presenti a livello locale.

La possibilità di convertire i terreni destinati alle colture alimentari in colture energetiche dipende dalla vocazione dei territori ed è legata a fattori economici, politici e agli incentivi legislativi che la favoriscono in considerazione dell'alto prezzo dei combustibili fossili, della forte dipendenza dai Paesi produttori e soprattutto per motivazioni di carattere ambientale.

Il settore primario italiano è attualmente marginalmente interessato alla produzione dei biocarburanti e quest'ultimi avranno maggiore rilevanza nei prossimi anni con l'incremento delle superfici dedicate in relazione alla crescente domanda per effetto sia delle indicazioni comunitarie e del quadro normativo nazionale sia per le molteplici iniziative avviate nel territorio per aumentare la capacità produttiva.

In questo quadro generale si collocano i diversi progetti di ricerca attivi presso il Consiglio per la Ricerca e sperimentazione in Agricoltura e finanziati dal Ministero

delle politiche agricole alimentari e forestali che cercano di rispondere da un lato alla domanda di ricerca proveniente da questo settore e dall'altro sono diretti a realizzare delle vere proprie attività divulgative e dimostrative per tutti gli operatori del settore.

Oltre ai Progetti "Filiere Agro Energetiche nel Sud Italia – FAESI" e "Supporto scientifico alla conversione agricola verso le colture energetiche – SUSCACE" che saranno descritti nel prossimo contributo e che hanno generato le conoscenze riportate in questa opera, il CRA coordina e/o collabora a diversi altri progetti nel settore.

Il progetto di ricerca "Energie da biomasse agricole e forestali: miglioramento ed integrazione delle filiere dei biocarburanti e della fibra per la produzione di energia elettrica e termica – BIOENERGIE" è articolato in una serie di azioni divulgative e dimostrative atte a trasferire agli operatori agricoli le conoscenze acquisite nel settore al fine di dimostrare la concretezza delle potenzialità tecniche ed economiche delle filiere considerate.

Il progetto ha lo scopo di trovare delle soluzioni per la tutela dell'ecosistema agricolo nazionale attraverso l'ottenimento di nuovi genotipi di colture energetiche e *no-food* volte a occupare anche terreni marginali e di *set-aside*, per favorire l'evoluzione delle colture, il paesaggio rurale e la creazione di nuove fonti di reddito degli agricoltori.

Le attività previste sono di sperimentazione, di divulgazione dei dispositivi sperimentali esistenti e di sviluppo di innovazioni tecnologiche nel settore della meccanizzazione, della logistica e dell'impiantistica delle colture energetiche.

Il progetto prevede azioni verticali organizzate nelle filiere biodiesel, bioetanolo e biomasse lignocellulosiche e azioni orizzontali, organizzate in attività di breve e medio termine e quattro azioni trasversali che includono attività di sperimentazione e dimostrazione che hanno lo scopo di trasferire immediatamente al settore operativo le conoscenze già disponibili per i settori di ciascuna filiera.

Accanto a queste attività il progetto prevede di sviluppare le innovazioni tecnologiche nel settore della meccanizzazione delle colture energetiche attraverso la progettazione di specifici prototipi che garantiscano efficienza ed economicità e tecniche colturali a basso impatto ambientale. Anche le attività dimostrative per gli operatori agricoli sono orientate a dimostrare la concretezza delle potenzialità delle tre filiere considerate mediante la realizzazione di coltivazioni destinate esclusivamente o in parte alla produzione di energia e la messa a punto le tecnologie atte alla produzione economica e sostenibile di biocombustili e biocarburanti.

Nel complesso, le biomasse agroforestali rappresentano un'importante fonte di approvvigionamento energetico permettendo di utilizzare in maniera vantaggiosa aree agricole abbandonate e permettono la diversificazione colturale di settori in crisi (barbabietola da zucchero, tabacco,…) creando nuove opportunità di mercato.

Il tema della sostenibilità ambientale è affrontato nel progetto "Ottimizzazione delle filiere bioenergetiche esistenti per una sostenibilità economica ed ambientale – BIOSEA" che analizza le filiere bioenergetiche esistenti per individuare e risolvere i principali punti critici, sia operando nei settori tradizionali dell'agronomia e della

genetica, sia avvalendosi di strumenti avanzati di analisi economica, ambientale (*Life Cycle Assessment* - LCA) e di studio/programmazione territoriale (*Geographic Information System* - GIS).

Nel progetto sono valutate le potenzialità produttive di colture arboree a ciclo breve (pioppo, salice ed eucalitto), erbacee annuali (sorgo da fibra e da zucchero, colza, girasole e carinata), erbacee poliennali (*Arundo* e altre poliennali) e nuove specie di potenziale interesse sottoposte ad agrotecniche in grado di mitigare le criticità individuate per le diverse colture nell'ambito delle filiere esistenti.

Il progetto "Sostenibilità di filiere bioenergetiche per valorizzare le aree semi-marginali e marginali del comprensorio meridionale - SOBIMA" valuta la coltivazione in aree collinari, semi-marginali o marginali, di alcune specie vegetali da biomassa e da olio (*Brassica carinata*, *Panicum virgatum*, *Arundo donax*, *Cynara cardunculus* e *Jatropha curcas*) per favorire la rivalutazione dei territori e l'integrazione del reddito per gli agricoltori. Nell'ambito della produzione di biomassa da specie vegetali annuali il progetto "Costituzione e valutazione dell'adattabilità di genotipi di *Cynara cardunculus* per la produzione di biomassa e biodiesel in ambiente mediterraneo – CYNERGIA" si propone di studiare l'attitudine del *Cynara cardunculus* L ad essere utilizzato come 'energy crops' e quindi per la produzione di biomassa ligno-cellulosica. Sia il cardo selvatico che quello coltivato presentano, inoltre, buone potenzialità per la produzione di semi il cui contenuto di olio può essere utilizzato anche per la produzione di biodiesel.

Il progetto "Produzione di biomassa di topinambur (*Helianthus tuberosus* L.) per la conversione sostenibile in biocarburanti vicarianti degli omologhi derivati da materia prima fossile – ENERBIOTOP" si propone di studiare gli aspetti agronomici, genetici e tecnologici della coltivazione di *Helianthus tuberosus* L. per produzione di biomassa convertibile in energia (biocarburanti) e di biomolecole capaci di sostituire il consumo di materia prima fossile. Il progetto "Produzione integrata di bioetanolo e biogas da una coltura agraria a basso consumo idrico, il sorgo zuccherino: aspetti tecnologici, economici, energetici ed ambientali – MULTISORGO" affronta la tematica della produzione del bioetanolo utilizzando come coltura dedicata il sorgo zuccherino, che possiede un elevato contenuto in zuccheri e della valorizzazione dei suoi sottoprodotti attraverso la loro trasformazione in biocarburanti di seconda generazione (bioetanolo lignocellulosico) e biogas.

Il progetto "Valorizzazione energetica di residui organici di attività agroindustriali mediante utilizzo in celle a combustibile del biogas da digestione anaerobica – VEROBIO" si pone l'obiettivo di ottimizzare la produzione di energia a partire da deiezioni animali, acque di vegetazione delle olive, residui dell'industria agro-alimentare, integrando il processo di digestione anaerobica con un sistema di cogenerazione ad alta efficienza che utilizza Celle a Combustibile a Carbonati Fusi (*Molten Carbonate Fuel Cell* - MCFC) per la trasformazione in energia elettrica e termica.

Nel progetto "BEM - Bio-Elettricità Microbica" le attività di ricerca si prefiggono di raggiungere una conoscenza più completa dei principi biologici alla base del

trasferimento di energia elettrica ad opera di batteri elettrogeni, prevalentemente anaerobi, indispensabili per la messa a punto e l'ottimizzazione di una *Microbial Fuel Cell* (MFC).

L'applicazione delle MFC consente la produzione diretta di energia elettrica a partire da biomasse senza una fase fermentativa intermedia, ma utilizzando le capacità metaboliche dei microrganismi elettrogenici. In questo modo infatti il sistema non disperde energia sotto forma di calore ed è in grado di riciclare le biomasse in energia pulita garantendo la sostenibilità ambientale ed economica. Pertanto, l'individuazione e la selezione di specie microbiche adatte all'utilizzo di biomasse da rifiuto, consentirebbe in prospettiva di aumentare la resa energetica delle MFC (ancora troppo bassa per immediate applicazioni su grande scala) e di utilizzarle sia come una fonte straordinaria di energia alternativa, pulita ed economica che come strumento per lo smaltimento di rifiuti organici.

Anche i sottoprodotti delle attività agricole possono essere trasformati attraverso una conversione termochimica, in combustibili (bio-olio, carbone, gas, gas combustibile) o calore e, quest'ultimi, per generare energia elettrica.

In tale tematica si inseriscono numerosi progetti tra i quali "Filiere innovative per la produzione di biocarburanti di seconda generazione da residui agricoli ed agroindustriali e colture da biomassa – BIOSEGEN" che affronta le diverse problematiche legate alla produzione di biocarburanti di seconda generazione sviluppando un approccio di filiera e si articola in una serie di attività che sfruttano al meglio le potenzialità di alcune filiere produttive locali basate sulla raccolta, condizionamento e stoccaggio di biomasse residuali provenienti dal comparto agricolo ed agroindustriale (colture orticole, sottoprodotti dell'industria vinicola, residui dell'allevamento dei bachi da seta). Le colture considerate nella ricerca sono quelle annuali (genotipi di mais da biomasse opportunamente selezionate), le colture poliennali ad alta produttività e ridotte esigenze colturali (canna comune, miscanto, panico, cardo ecc.) e le legnose dedicate (salici, pioppi, robinia, viti, gelsi ecc.) per le quali vengono valutati la produttività, le caratteristiche tecnico-qualitative e le potenzialità di impiego di breve rotazione forestale (*Short Rotation Forestry* – SRF).

I processi di trattamento aerobico delle biomasse di rifiuto e di scarto (compostaggio) e quelli anaerobici con produzione di biogas possono svolgere un ruolo di primaria importanza per l'ottenimento di materiali di qualità e ad alto grado di stabilità biologica da utilizzare come ammendanti e fertilizzanti organici.

Il progetto "Scarti agricoli per la produzione di biogas e prodotti a basso impatto ambientale per lo sviluppo sostenibile dell'agricoltura e dell'industria chimica. Sviluppo di impianto integrato per il recupero e riciclo bioenergetico mediante codigestione di biomasse residuali da fonti diverse – AGRIENERGIA" si propone di sviluppare una filiera di biogas a partire da biomasse residuali agricole attraverso l'ottimizzazione del processo di fermentazione anaerobica e la valorizzazione della frazione organica nella biomassa residua non convertita, come risorsa di prodotti ad alto valore aggiunto da riciclare per uso in floricoltura e in campo chimico tecnologico. Le biomasse residuali possono anche costituire una fonte di sostanze umo-

simili potenzialmente interessanti per l'industria chimica da utilizzare come tensioattivi e principi attivi organici coadiuvanti i processi di nutrizione in suoli naturali o in substrati utilizzati in produzioni orticole/ornamentali.

Lo sviluppo di filiere agroenergetiche deve tener conto non solo delle innovazioni tecnologiche, ma anche delle realtà territoriali delle dimensioni dei bacini di produzione agricola e del fatto che le scelte colturali, oltre che da specifiche vocazioni, sono influenzati dalla P.A.C. e dai nuovi indirizzi di agricoltura ecosostenibile. In tal modo l'adozione di determinate filiere e tecnologie di processo può essere scelta e condivisa in base a valutazioni sulla loro reale fattibilità e possibilità di rispondere concretamente ai requisiti di resa, costi e facilità di impiego.

La produzione di biocarburanti di seconda generazione sta assumendo una sempre maggiore rilevanza per la valorizzazione di diversi residui agro-alimentari e il progetto "Bioetanolo cellulosico - Biocombustibili di seconda generazione - BI.CE" affronta le problematiche legate allo sviluppo di filiere alternative per la produzione di biocarburanti di seconda generazione, costituiti da etanolo e alcoli superiori, mediante un nuovo e innovativo processo fermentativo di materiali lignocellulosici. L'obiettivo è quello di individuare tra i diversi ambienti pedoclimatici italiani quelli in grado, nel medio periodo, di attivare la produzione di materie prime adatte ad essere convertite in biocarburanti di seconda generazione, con rese e costi competitivi. Le biomasse oggetto della ricerca sono costituite da colture dedicate, residui/sottoprodotti colturali e agroindustriali largamente diffuse sul territorio nazionale che saranno sottoposte a trasformazione in impianti pilota di piccola taglia sviluppati nell'ambito del progetto.

Il progetto "Valorizzazione dei sottoprodotti della filiera del biodiesel – EXTRAVALORE" si pone l'obiettivo dell'ottimizzazione economica della filiera del biodiesel attraverso la valorizzazione dei sottoprodotti di diversa origine da utilizzare in campo agronomico, per la produzione di ammendanti e prodotti specifici, zootecnico, per l'alimentazione animale, industriale, per la produzione di materie prime di utilizzo generale e energetico, per la produzione di combustibili e di energia.

Il miglioramento e l'ottimizzazione della sostenibilità economica ed ambientale della filiera agro-energetica di produzione del biodiesel attraverso il recupero e la valorizzazione di sottoprodotti come la glicerina e le farine disoleate costituisce l'obiettivo del progetto "Sistema integrato di tecnologie per la valorizzazione dei sottoprodotti della filiera del biodiesel – VALSO". Le strategie d'intervento prevedono l'utilizzo di oli vegetali (girasole e colza) che producono glicerina come sottoprodotto preminente e la realizzazione di un nuovo tipo di filiera di produzione del biodiesel orientata alla valorizzazione dei sottoprodotti per produrre vantaggi economici ed ambientali.

Le problematiche connesse con il miglioramento genetico del germoplasma per lo sviluppo di cultivar più idonee alla produzione di bioenergia richiede la modifica dell'ideotipo, l'aggiornamento degli obiettivi della selezione, lo sviluppo di genotipi adatti a produrre biomassa anche in areali sub-ottimali. In tale ottica il progetto "Mi-

glioramento dell'utilizzo e digeribilità dei residui di coltivazione in relazione alla conversione in biocarburanti – BIOMASSVAL (E=MC2)" si propone l'identificazione di nuovi ideotipi di orzo, frumento e pomodoro ottimizzati da un punto di vista agroenergetico, lo sviluppo di microrganismi fermentativi ed enzimi idrolitici per la produzione di biocarburanti, la valutazione dell'utilizzo dei sottoprodotti della produzione dei biocarburanti come ammendanti/fertilizzanti e lo studio dell'impatto dell'utilizzo dei residui colturali per scopi bioenergetici sugli agroecosistemi. L'obiettivo è di valorizzare e ottimizzare l'utilizzo di residui colturali ottenuti dopo il raccolto da specie coltivate (pomodoro, orzo, frumento e vite) per usi alimentari per sviluppare filiere miste alimentari/bioenergetiche.

Anche le attività di ricerca previste dal progetto "Individuazione di varietà di vite (*Vitis* spp.) e metodi di gestione del vigneto con produttività e sostenibilità idonee alla produzione di bioetanolo, olio e cellulosa da impiegare come fonti di bioenergie - VITENERGY1" si pongono l'obiettivo di individuare delle varietà di vite idonee alla produzione di bioetanolo di prima e seconda generazione e olio e cellulosa da impiegare come fonti di bioenergie. Attraverso la ricerca dei dati già esistenti, le analisi delle caratteristiche agronomiche, fenologiche, fisiologiche delle varietà, lo studio chimico del mosto, dell'olio estratto dai vinaccioli e dei sottoprodotti come le vinacce dell'uva, è prevista la selezione di varietà ibride più idonee a massimizzare la produzione di bioetanolo di prima e seconda generazione e di olio estratto dai vinaccioli utilizzando i metodi di allevamento e di raccolta meccanizzata che permettono di minimizzare i costi. Inoltre, anche la produzione di sostanze estratte dall'uva trovano il loro impiego nell'industria dei coloranti (enocianina) e degli antiossidanti (estratti polifenolici) per i settori farmaceutico ed alimentare. L'impianto dei vigneti verrà effettuato in zone agricole marginali non adatte alla viticoltura di qualità, possibilmente irrigue, meccanizzabili, prossime agli stabilimenti di trasformazione o alle linee di trasporto, che verranno così maggiormente valorizzate.

La sostenibilità dei processi produttivi agricoli, agrozootecnici ed agroindustriali è un'esigenza primaria e, pertanto, è necessario ottimizzare l'utilizzazione di tutti i sottoprodotti e gli scarti delle aziende agricole che possono incrementare il reddito e aumentare il valore aggiunto dei processi produttivi. In quest'ottica si sta diffondendo il concetto di impresa agricola come bioraffineria, nella quale più processi sono finalizzati alla conversione delle risorse in prodotti. Pertanto quelli che in passato erano considerati scarti o rifiuti divengono intermedi di lavorazione, da utilizzare per l'estrazione o la produzione di biomolecole, *commodity chemicals* o biomasse, o come fonti di energia rinnovabile, consentendo in quest'ultimo caso contemporaneamente di migliorare il bilancio energetico ed economico

Il progetto "Recupero di scarti derivanti da attività agrozootecniche ed agroindustriali per la produzione di biomolecole ad elevato valore aggiunto e biocombustibili – BIOMOLENER" prevede la produzione di biocombustibili per via biotecnologia a partire da scarti agrozootecnici ed agroindustriali attraverso l'elaborazione di un modello di bioraffineria, da utilizzare in siti territoriali a prevalente indirizzo produttivo agrozootecnico e lattiero-caseario, basato su un sistema integrato di riutilizzo

dei principali scarti derivanti da questa attività: i liquami zootecnici ed il siero di latte. La bioraffineria permetterà dunque di produrre sostanze *chemicals* e biocombustibili ad elevato valore aggiunto, e di ridurre l'impatto ambientale dovuto alle stesse attività agrozootecniche e lattiero-casearie.

La tematica della produzione del bioetanolo a partire da sottoprodotti delle industrie zootecniche viene presa in esame nel progetto "La produzione del bioetanolo come valorizzazione energetica innovativa dei reflui zootecnici - ZOOTANOLO", in considerazione della larga disponibilità di questa tipologia di biomasse nel territorio nazionale attraverso l'ottimizzazione dei principali aspetti tecnologici di processo.

La produzione di bioetanolo da reflui zootecnici è un settore con notevoli potenzialità, ma poco indagato poiché i diversi tipi di reflui hanno composizione notevolmente diversa a seconda del tipo di apparato digerente e conseguente dieta, nonché del livello nutritivo della specie animale produttrice. I punti ritenuti focali per il miglioramento della resa di produzione di etanolo da reflui zootecnici riguardano la caratterizzazione del materiali di partenza per conoscere la quantità di carboidrati strutturali che possono essere convertiti in bioetanolo, la valutazione dell'influenza dei componenti potenzialmente inibenti (es. contenuto di azoto) sui singoli stadi del processo e identificazione delle possibili soluzioni e la gestione dei sottoprodotti derivanti dalla produzione di bioetanolo costituiti da matrici, contenenti una gran quantità di elementi nutritivi, considerate spesso come rifiuto, ma che possono rappresentare una preziosa risorsa anche ai fini della redditività dell'intera filiera della produzione di biocarburanti. La caratterizzazione del digestato rappresenta, pertanto, fondamentale per una piena valorizzazione di questa risorsa. Più in particolare non sono note le relazioni esistenti tra materiale di partenza sottoposto a digestione anaerobica, tipo di processo, e caratteristiche del digestato stesso. Tali informazioni sono necessarie, oltre che per comprendere la natura dei reflui prodotti e il loro eventuale smaltimento, anche per comprendere la possibilità di utilizzare queste matrici (borlanda e digestato) per la crescita di microalghe, e quindi intervenire correttamente sui parametri chimico-fisici, al fine di abbattere la concentrazione in nutrienti.

La gestione sostenibile ed innovativa delle deiezioni zootecniche è, infatti, una strategia alternativa per superare la criticità ambientale legata all'elevato contenuto di azoto delle deiezioni zootecniche ed al conseguente rischio di lisciviazione dei nitrati nelle acque sotterranee e il rispetto dei limiti imposti dalla Direttiva Nitrati e dal DM 209/2006 che fissa la percentuale di azoto utilizzabile per la fertilizzazione del suolo a quantità significativamente ridotte, con il conseguente aggravio dei costi per il trattamento dei reflui a carico dell'impresa zootecnica.

Il settore olivicolo-oleario offre importanti possibilità di impiego dei residui della potatura e dei reflui, soprattutto nelle zone in cui la coltivazione viene effettuata in aree pianeggianti o in leggero declivio e le operazioni per la raccolta dei residui di potatura sono meccanizzate. Il nuovo orientamento alla potatura biennale, che lascia sul campo una grande quantità di residui, facilita l'indirizzo energetico.

Anche i reflui dell'industria olearia potrebbero costituire la materia prima per la produzione di energia da biogas poichè contengono una notevole quantità di zuccheri fermentescibili. In tale ambito il progetto "Ottimizzazione del Processo di produzione di Energia da Reflui dell'industria Olearia e della lavorazione delle olive da mensa – OPERO" si prefigge di individuare delle soluzioni innovative per il pretrattamento dei reflui dell'industria olearia e della produzione delle olive da mensa da utilizzare per la produzione di biogas, utilizzando i diversi sottoprodotti (scarti) in modo tale che questi possano interagire tra loro e fungere da pretrattamento della matrice, con iniziale abbattimento del pH delle acque di vegetazione e contemporaneo inoculo di *Lactobacillus plantarum* presente nelle acque di lavaggio dell'industria delle olive da mensa. *L. plantarum* ha, infatti, una spiccata azione oleuropeinolitica ed è resistente sia a bassi valori di pH che ad alte concentrazioni di polifenoli. I microrganismi, crescendo nelle acque di vegetazione, potranno effettuare un pretrattamento di defenolizzazione, in modo tale che altre specie batteriche possano successivamente "attaccare" la matrice organica e demolirla fino ad ottenere sostanze più semplici come formato, acetato e propionato, che saranno successivamente demolite in fase anaerobica dai batteri metanogeni (soli o in miscela) per produrre così un biogas ricco in metano. Saranno inoltre sviluppate delle metodiche per la riduzione della concentrazione dei fenoli presenti nella biomassa, e attraverso il loro recupero e valorizzazione potranno essere utilizzati nell'industria farmaceutica.

Il progetto "Modello innovativo di filiera corta per l'utilizzo dei sottoprodotti olivicoli per la microgenerazione di energia elettrica da biogas – OLIGAS affronta questa problematica nell'ambito della filiera del biogas prodotto a partire da biomasse vegetali (cardo, favino, sorgo, gelso, arundo donax), reflui dell'industria olearia e zootecnici e scarti di macelleria e si propone di ottimizzare il processo di digestione anaerobica utilizzando diversi digestati (sansa e diverse biomasse) e di realizzare un impianto pilota.

Anche nel progetto "Sviluppo dei sistemi integrati sostenibili per il recupero dei sottoprodotti dell'agro-industria e dell'azienda agraria al fine di ottimizzare la produzione di biogas e valorizzare l'utilizzazione agronomica del digestato – SINBION" vengono impiegati per la produzione di biogas i sottoprodotti dell'agroindustria e le attività di ricerca si prefiggono di sviluppare dei sistemi integrati per la sua produzione aumentando la produttività e l'efficienza degli impianti di digestione anaerobica delle biomasse recuperate, attraverso l'ottimizzazione dei parametri di processo e il miglioramento della qualità dei digestati e dei processi fermentativi.

Il Progetto BTT "Bio Termo Test" si inserisce a valle dei sistemi di raccolta e preparazione della biomassa nella filiera agro energetica. Il principale scopo di questo progetto è lo studio dei sistemi di combustione diretta della biomassa "tal quale" e le problematiche ad esse connesse studiando gli effetti sulle macchine (formazione di depositi, sporcamento/incrostazione delle superfici di scambio termico,affidabilità e vita dell'impianto) e sulla salute (emissioni nocive).

Le principali apparecchiature sono una caldaia (generatore di vapore) a griglia mobile, una turbina a vapore, un Gas Cromatografo con spettometro di massa, un

ICP-massa con torcia a plasma e un sistema di campionamento isocinetico per lo studio delle emissioni sia in fase gassosa che solida (Particolato).

Il Progetto SOS-Zoot MAREA, è inerente alla produzione di idrogeno e metano a partire da effluenti zootecnici attraverso un impianto pilota bistadio costituito da due bireattori. Nel primo a partire da effluenti zootecnici e biomassa di scarto (scotta del latte) unitamente a microorganismi *starter* si produce essenzialmente idrogeno per un futuro utilizzo nelle celle a combustibile del tipo MCFC (Carbonati Fusi). Nel secondo, a partire dal brodo di fermentazione proveniente dal primo bioreattore, si produce essenzialmente metano.

Le conoscenze scientifiche e le innovazioni tecnologiche generate dai progetti descritti contribuiranno alla messa a punto di filiere agroenergetiche per la produzione della biomassa e la vendita diretta dell'energia prodotta con maggior beneficio economico per il settore agricolo e minor impatto ambientale. Le azioni di ricerca sono difatti mirate alla riduzione dei costi di produzione, favorendo anche lo sviluppo dell'indotto (industrie, mezzi tecnici), l'abbattimento dei costi di trasporto e la creazione di centri di trasformazione, stoccaggio, trasformazione e vendita dell'energia prodotta.

Fidalma D'Andrea
CRA - Servizio Attuazione e Coordinamento Programmi
di Ricerca Ordinari e Straordinari

Presentazione
Colture energetiche per la diversificazione del settore agricolo: i progetti di ricerca SUSCACE e FAESI

Il settore energetico resta la principale fonte di emissioni nell'Unione Europea, contribuendo per circa l'80% alle emissioni di CO_2 complessive. Come tutti i fenomeni in grado di incidere in maniera importante sugli aspetti produttivi, economici, ambientali e sociali, anche quello dell'uso di fonti di energia rinnovabile ha richiesto e richiede costanti aggiornamenti ed approfondimenti sia legislativi che scientifici, entrambi mirati ad identificare e promuovere i sistemi produttivi più efficaci e meno impattanti sull'ambiente.

Nell'ultimo decennio del XX secolo la Comunità Europea ha promosso con forza l'utilizzo delle energie rinnovabili, e tra queste le agro-energie, anche nell'ottica di diversificare le produzioni del settore agricolo e forestale, attraverso programmi e regolamenti che sono stati recepiti dai singoli Stati. A partire dagli anni '90 l'obiettivo della valorizzazione delle biomasse è stato perseguito attraverso un'intensa attività normativa a livello comunitario e nazionale che ha definito, nella legge finanziaria 2006, che la produzione e la cessione di energia elettrica e calorica da fonti rinnovabili agroforestali, nonché di carburanti ottenuti da produzioni vegetali provenienti prevalentemente dal fondo effettuate dagli imprenditori agricoli, sia attività connessa ai sensi dell'articolo 2135, terzo comma, del codice civile e quindi produttive di reddito agrario. Nella Direttiva 2009/28/CE del Parlamento europeo del 23 aprile 2009, sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE e recepita attraverso il Decreto L.vo del 3 marzo 2011, n. 28 vengono stabiliti gli obiettivi vincolanti per gli

Stati membri al fine di garantire entro il 2020 la riduzione del 20% dei consumi energetici complessivi, la riduzione del 20% delle emissioni di gas serra (rispetto all'anno base 1990) e la copertura del 20% del fabbisogno energetico complessivo mediante fonti di energia rinnovabile. Di questa, l'8% dovrà essere generata proprio da biomasse e biocarburanti, questi ultimi con un utilizzo minimo obbligatorio pari al 10% del mercato dei carburanti, incentivando la realizzazione di biocarburanti di seconda generazione, a minor impatto ambientale, provenienti dal settore agricolo.

L'impulso generato dalla modificazione del quadro normativo ha favorito un crescente interesse verso le colture energetiche o verso un uso alternativo delle colture tradizionali, motivando gli imprenditori agricoli, agro industriali ed agro-meccanici ad investire nel settore.

Il mondo della ricerca è stato chiamato quindi a fornire risposte in tempi brevi alle richieste del mondo imprenditoriale che sta sviluppando le diverse filiere agro-energetiche per identificare e sperimentare nuove soluzioni e sistemi produttivi. Le sinergie nate in questo contesto tra il mondo della ricerca e quello imprenditoriale, in settori a rapido, se non rapidissimo, sviluppo come quello agro-energetico, stanno portando ad innovazioni di prodotto e di processo in grado di determinare un minor impatto ambientale, maggiori rese economiche e bilanci energetici favorevoli.

È per questa ragione che, parallelamente alla modifica del quadro legislativo relativo alla produzione di bio-energie, sia a livello comunitario che italiano, sono stati promossi numerosi progetti di ricerca, mirati a fornire le necessarie conoscenze ed innovazioni tecnologiche agli imprenditori agricoli per metterli in condizione di sviluppare opportunamente le diverse filiere agro-energetiche.

Il Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali, recependo con tempestività i segnali di cambiamento ed evoluzione del settore, ha impegnato risorse importanti finanziando diversi progetti di ricerca di interesse nazionale, con il fine di mettere a disposizione dell'imprenditore agricolo e agro-industriale conoscenze che dessero risposte concrete a esigenze pratiche.

Solamente negli ultimi 5 anni il MiPAAF ha difatti promosso circa 50 Progetti di ricerca e, attraverso il "Bando per l'erogazione del contributo finalizzato alla realizzazione di impianti connessi alla produzione di energia da biomasse" del Febbraio 2010, ha favorito la realizzazione di impianti di trasformazione delle biomasse che, applicando i risultati delle ricerche condotte, presentassero un modello di sviluppo attento non solo alle logiche produttive ma anche alle tematiche ambientali ed energetiche.

Tra i Progetti di ricerca promossi dal MiPAAF, due sono coordinati dal CRA-ING, ed essendo iniziati entrambi nel 2008, con durata di 6 anni, quest'anno sono a metà percorso. Per questa ragione si è voluto con questa opera, riportando i principali risultati scientifici ottenuti dal partenariato dei progetti, fare il punto sulle conoscenze del settore, sia per divulgarle, ma anche per identificare eventuali ulteriori esigenze di ricerca che l'utente che avrà la pazienza di leggere questo contributo, po-

trà segnalare accedendo al sito del progetto. Difatti l'utente dal sito del progetto http://ing.entecra.it/Biomasse, potrà sia scaricare l'intera opera in formato .pdf che inviare eventuali commenti e suggerimenti al coordinatore dei progetti.

Si è voluto quindi fare il punto sullo stato dell'arte delle bio-energie e costituire un riferimento scientifico e formativo per tutti gli operatori del settore: studenti, ricercatori, imprenditori agricoli, istituzioni.

I contributi scientifici raccolti nel presente lavoro difatti raccolgono i risultati raggiunti nel triennio 2008-2011 con l'attività di ricerca svolta nell'ambito dei progetti SUSCACE (Supporto Scientifico alla Conversione Agricola verso le Colture Energetiche) e FAESI (Filiere Agro-Energetiche nel Sud Italia).

Il Progetto SUSCACE (Supporto Scientifico alla Conversione Agricola verso le Colture Energetiche) è stato sviluppato per rispondere alla concreta ed urgente domanda di ricerca, avanzata dalle proprietà industriali promotrici degli impianti previsti dai progetti di riconversione del settore bieticolo-saccarifero approvati dal Comitato interministeriale di cui all'articolo 2 del decreto-legge 10 gennaio 2006, n. 2, convertito, con modificazioni, dalla legge 11 marzo 2006, n. 81.

Il Progetto ha difatti lo scopo di:

1) fornire supporto tecnico e scientifico agli attori della riconversione del settore bieticolo-saccarifero, trovando soluzioni alle problematiche da loro individuate;
2) mettere a disposizione degli agricoltori innovazioni tecnologiche strategiche per l'esito delle filiere;
3) condividere con i protagonisti del settore agro-energetico le più recenti acquisizioni della ricerca scientifica al fine di metterli nelle condizioni di indirizzare le proprie scelte imprenditoriali verso quelle specie, varietà e tecniche colturali, che hanno dimostrato di poter dare migliori risultati nell'ambiente specifico;
4) monitorare i cambiamenti e le possibili problematiche che la conversione di superfici prima coltivate a bietola verso le culture energetiche possono generare, nell'ottica di prevedere quello che potrà accadere nel bacino di approvvigionamento quando la centrale sarà a regime e quindi formulare sistemi e metodi di indirizzo per evitare che le eventuali problematiche identificate possano presentarsi su larga scala.

Il progetto ha preso in considerazione aspetti agronomici, tecnologici e meccanici di specie arboree a rapida crescita (pioppo, robinia, eucalipto) e di specie erbacee oleaginose (colza, girasole, *Brassica carinata,* soia) ed erbacee ligno-cellulosiche (canna comune, sorgo da fibra, canapa) ed ha visto il coinvolgimento di tre centri di ricerca del CRA: l'Unità di Ricerca per l'Ingegneria Agraria (CRA-ING), l'Unità di ricerca per le Produzioni Legnose fuori Foresta (CRA-PLF) ed il Centro di Ricerca per le Colture Industriali (CRA-CIN).

Il Progetto FAESI (Filiere Agro-Energetiche nel Sud Italia) è finalizzato a fornire supporto scientifico agli imprenditori agricoli, agro-industriali ed industriali nella realizzazione di filiere agro-energetiche nel sud Italia, in terreni marginali e non, comunque caratterizzati da condizioni pedo-climatiche più difficoltose rispetto alle realtà del nord Italia, dove già si sono affermate.

Il progetto è distinto in tre linee di ricerca a loro volta suddivise in diverse attività di ricerca e/o divulgazione:

A) Applicazione delle ricerche in campo agricolo condotte a livello nazionale ed a livello internazionale nelle aree oggetto dell'intervento.
B) Azioni mirate all'introduzione ed al consolidamento nell'area oggetto di studio delle colture energetiche selezionate (pioppo, eucalipto, robinia, sorgo da fibra, sorgo zuccherino, cardo e canna comune), sviluppate in collaborazione con gli organismi regionali e provinciali.
C) Valutazione analitica del bilancio costi/benefici in termini socio-economici-ambientali, finalizzato alla messa a punto di un percorso per favorire la costituzione dei Distretti agro energetici.

Il progetto prevede due distinte fasi:

1) ricerca mirata a risolvere problematiche specifiche del sud Italia, adattando le tecniche colturali già implementate nelle regione del centro-nord per le diverse filiere agro-energetiche;
2) trasferimento dei risultati e supporto tecnico scientifico alle realtà locali.

Le attività di supporto tecnico scientifico sono state strutturate affinché le filiere agro-energetiche che si stanno attivando localmente possano utilizzare le conoscenze scientifiche maturate dal progetto, abbiano il minor impatto ambientale possibile sul territorio e permettano un sufficiente ritorno economico per il settore agricolo.

Al Progetto partecipano centri di ricerca del CRA, del MIUR ed enti locali, operando in stretta sinergia anche con le realtà produttive delle Regioni. Le unità operative impegnate nell'attività sono le seguenti:

1) CRA-ING - Unità di ricerca per l'Ingegneria Agraria
2) CRA-CIN - Centro di ricerca per le Colture Industriali
3) CRA-PLF - Unità di ricerca per le Produzioni Legnose fuori Foresta
4) CRA-SCA - Unità di ricerca per i Sistemi Colturali degli ambienti Caldo-aridi
5) ARSSA - Agenzia Regionale per lo Sviluppo ed i Servizi in Agricoltura della Regione Calabria
6) DISPA – Dipartimento di Scienze delle Produzioni Agrarie e Alimentari dell'Università degli Studi di Catania
7) DITEC - Dipartimento Tecnico Economico per la Gestione del Territorio Agricolo e Forestale dell'Università degli Studi della Basilicata.

Per una più veloce consultazione l'opera è organizzata in 4 Sezioni: Colture legnose, Colture erbacee annuali, Colture erbacee poliennali e Biomasse residuali.

Ciascuna sezione (ad eccezione di quella sulle biomasse residuali) è poi strutturato in capitoli: Botanica biologia genetica, Tecnica colturale, Coltivazione nel Sud Italia, Meccanizzazione, Eco-bilanci e/o Valutazioni economiche, Utilizzo e destinazione.

Nella speranza che la consultazione dell'opera sia da stimolo e da riferimento per il lettore interessato, si invita a interagire con il sito del Progetto "http://ing.entecra.it/Biomasse" per promuovere una collaborazione sempre più coordinata e proficua tra il mondo della ricerca e gli utilizzatori dei risultati della attività della ricerca stessa.

Il Coordinatore Generale dei Progetti SUSCACE e FAESI
Luigi Pari

I. Colture legnose

A
Botanica, biologia, genetica

1 - Selezione di cloni di pioppo per la destinazione da biomassa

Selection of Poplar clones for biomass production

Gianni Facciotto*, Sara Bergante*

Riassunto

I pioppi essendo specie pioniere a rapida crescita si sono dimostrati adatti alla coltivazione in cedui ad alta densità, tra 1000 e 10000 ed oltre piante per ettaro, a turno breve (2-5 anni) per la produzione di biomassa ad uso energetico. In natura esistono una trentina di specie distribuite prevalentemente nell'emisfero boreale, ma coltivate per la produzione di legno o a scopo ornamentale in tutti i continenti. Per l'ambiente italiano si prestano alla produzione di biomassa genotipi delle specie pure *Populus alba*, *P. deltoides,* della specie ibrida *P.* ×*canadensis* e ibridi complessi ottenuti incrociando tre o più specie. Presso il CRA-PLF il miglioramento genetico è basato prevalentemente sulla selezione semireciproca ricorrente delle specie parentali *P. deltoides* e *P. nigra* utilizzati per la creazione di ibridi di *P.* ×*canadensis*. L'ibridazione può avvenire solo tra femmine della prima specie e i maschi della seconda essendo il reciproco non fertile. Recentemente, sono stati selezionati, sia dal CRA-PLF che da privati, ed iscritti al Registro nazionale dei materiali di base, quindi commercializzabili, 9 cloni; altri sono in corso di selezione. I caratteri considerati per la selezione sono la resistenza alle avversità biotiche (Defogliazione primaverile, Bronzatura, Ruggini, Virus del Mosaico del pioppo e Afide lanigero) ed abiotiche (vento), l'elevata produzione di materiale ligno-cellulosico in tempi molto brevi (2-5 anni), la capacità di ricaccio dopo ripetute ceduazioni e una elevata densità basale del legno. L'obiettivo è quello di rendere questo tipo di coltura economicamente, ecologicamente ed energeticamente sostenibile. I pioppi per dare buone produzioni necessitano di almeno 700 mm di pioggia annuale, di cui 450 mm distribuiti nella stagione vegetativa, e di suoli sciolti e profondi; essi rifuggono i suoli salini o con

* CRA - Unità di ricerca per le Produzioni Legnose fuori Foresta (PLF).

elevati contenuti di calcare attivo. Le produzioni di biomassa, espressa come sostanza secca, sono passate dalle 6-10 $t \cdot ha^{-1} \cdot anno^{-1}$ degli impianti degli anni '90 costituiti con i cloni della pioppicoltura tradizionale, alle 10-15 delle coltivazioni fatte con i primi cloni appositamente selezionati e messi in commercio nel 2003 fino alle 15-20 $t \cdot ha^{-1} \cdot anno^{-1}$ e oltre delle piantagioni sperimentali e commerciali costituite su terreni di buona fertilità con i cloni di ultima selezione.

Parole chiave: Pioppo, cloni, biomassa, cedui a turno breve, produzione

Abstract

The genus Populus*, with 30 species, have a wide natural range in North emisphere mainly in flooding lowlands, only two species extended their range in south emisphere. It shows therefore a notable adaptability to different ecological environments, so, it's extremely versatile. The poplar species, thanks to the quality of wood (light and white), easy vegetative propagation, growth rapidity, resprouting ability after coppicing are grown all over the world broadly for industrial purposes (plywood, particle board, pulp and paper, packaging) and recently for energy (heat and power cogeneration). The Research Unit for Intensive Wood Production of Italian Agricultural Research Council (CRA-PLF), former Poplar research Institute, carried out breeding, selection and conservation of poplar clones of different species, particularly* P. alba, P. nigra, P. deltoides *and* P. ×canadensis*. In Italy poplars were selected for industrial uses mainly for plywood and paper production and more recently for biomass production too. The best results for biomass were obtained with* P. deltoides *and* P. ×canadensis *clones. The clonal varieties characterized by good growth rate, better disease* (Marssonina brunnea, Venturia populina, Melampsora *spp) and pests* (Phloeomyzus passerinii) *resistance/tolerance and sprouting ability after repeated coppicing. are selected. Currently 9 clones: AF2, AF8, Imola (ex 83.160.029), Marte, Monviso, Orion (ex 83.148.041), Pegaso, Saturno and Sirio are registered in National register of base material. In Italy poplars for biomass production are cultivated in Short Rotation Coppice (SRC) with high planting density (1000 - 10000 trees* ha^{-1}*) and harvested every two-three or five-six years. For SRC is necessary to choice a deep medium textured soil (sandy loam) with high fertility; saline or calcareous soil must be avoided. An amount of 700 mm of yearly precipitation (450 mm during growing season) are necessary to have a good productivity and stump survival during the life cycle. In Italy the annual mean of yield achieved by the poplar clones increase from 6 -10 oven dry tons (ODt)* ha^{-1} $year^{-1}$ *of the plantation established in '90 years with clones utilized for traditional poplar plantation to 10-15 of SRC established from 2003 with the first clone selected for biomass. With the clones, selected in the last years, the biomass productions of experimental and commercial stand range from 15 to 20 ODt* ha^{-1} $year^{-1}$ *in suitable soil with good water availability.*

Keywords: *Poplar, clones, biomass, short rotation coppice, production.*

Sistematica del genere Populus

Il genere *Populus* appartiene, insieme al genere *Salix,* alla famiglia delle *Salicaceae* (Tab. 1). Questo genere si suddivide in sei sezioni, le quali a loro volta comprendono complessivamente trenta specie pure, che hanno un areale naturale situato prevalentemente nei differenti ambienti dell'emisfero boreale. Solo due specie, appartenenti alla sezione *Turanga,* estendono il proprio areale oltre l'Equatore, nell'emisfero australe: *P. ilicifolia* (Engler) Rouleau e *P. euphratica* Olivier.

Tabella 1. Classificazione del genere *Populus* L. (Eckenwalder, 1996)

Sezione	**Specie**
Abaso Eckenwalder	*P. mexicana* Wesmael
Turanga Bunge	*P. euphratica* Olivier
	P. ilicifolia (Engler) Rouleau
	P. pruinosa Schrenk
Leucoides Spach	*P. lasiocampa* Olivier
	P. glauca Haines
	P. heterophylla L.
Aigeiros Duby	*P. nigra* L.
	P. deltoides L.
	P. fremontii S. Watson
Tacamahaca Spach	*P. angustifolia* James
	P. balsamifera L.
	P. ciliata Royle
	P. laurifolia Ledebour
	P. simonii Carrière
	P. suaveolens Fischer
	P. szechuanica Schneider
	P. trichocarpa Torr. e Gray
	P. yunnanensis Dode
Populus	*P. adenopoda* Maximowicz
	P. alba L.
	P. gamblei Haines
	P. grandidentata Michaux
	P. guzmanantlensis Vasquez and Cuevas
	P. monticola Brandegee
	P. sieboldii Miquel
	P. simaroa Rzedowski
	P. tomentosa Carrière
	P. tremula L.
	P. tremuloides Michaux

Al sottogenere *Populus* appartengono, tra le altre specie meno note, *P. tremula* L., e *P. alba* L. *P. tremula* ha un areale che coincide con l'Europa e si estende verso l'Asia. Cresce e si sviluppa però ad altitudini differenti, in base alla latitudine: in Italia *P. tremula* (pioppo tremulo) cresce nella zona prealpina, oltre i 600 m di quota, fino a 1100 m, mentre nei Paesi del Nord Europa ed in Russia, si trova nelle zone pianeggianti, sui bordi di laghi, corsi d'acqua e in zone umide.

L'altra specie appartenente a questo sottogenere, *P. alba* (pioppo bianco), occupa il bacino del Mediterraneo, il centro Europa fino all'Asia centrale, si sviluppa prevalentemente in zone di pianura, lungo i fiumi e nelle zone umide, fino a 600 m circa di quota. Dove gli areali di queste due specie si incontrano è possibile trovare ibridi, denominati *P.* ×*canescens* (pioppo grigio) i quali mostrano un fenotipo con caratteri intermedi, con varianti più simili all'una o all'altra specie, a volte difficili da riconoscere.

Figura 1 - Pioppi e salici lungo le rive del Mincio nei pressi di Mantova.

Alla sezione *Aigeiros* appartengono *P.nigra,* (pioppo nero europeo) e *P. deltoides* (pioppo nero americano) due specie con areali evidentemente molto lontani, l'uno nella zona eurasiatica fino ai 64° Lat N, l'altro nel nord America, ma con una speciazione recente tanto da essere ancora interfertili, nell'incrocio tra individui di *P.*

deltoides femmina e *P. nigra* maschio. Dall'incrocio di queste due specie si ottengono individui attribuiti alla specie *P. ×canadensis,* generalmente molto produttivi, con crescita rapida, con differenti caratteristiche e fenotipo intermedio tra le due specie parentali.

I sottogeneri *Tacamahaca, Leucoides, Turanga* e *Abaso* sono stati utilizzati nella selezione di individui da destinare alla produzione in particolare in Nord America, Nord Europa e in Cina per ambienti molto diversi da quelli italiani. Solo recentemente alcune specie asiatiche sono state introdotte nel programma di miglioramento genetico del CRA-PLF per ottenere ibridi più rustici. Nella sezione *Tacamahaca* è opportuno ricordare *P. trichocarpa* Torr. e Gray, e *P. suaveolens* Fischer (che comprende anche la specie precedentemente denominata *P. maximowiczii* A. Enry) spesso utilizzati, sia in nord America che in Europa, in incroci con altre specie ed in particolare con *P. deltoides*, nella continua ricerca di nuovi genotipi resistenti e rustici, in genere adatti a climi più freddi di quelli italiani.

Altri genotipi sono meglio conosciuti ed utilizzati a scopo ornamentale come la varietà di pioppo bianco *P. bolleana* (*P. alba var. pyramidalis* Bunge), il pioppo cipressino (*P. nigra* var. *italica*) diffuso in tutto il mondo o il pioppo cinese *P. simonii* Carrière.

Clima

In Italia i pioppi sono diffusi in tutto il territorio nazionale, in particolare lungo i corsi d'acqua (Fig. 1). Essi vengono coltivati per la produzione di legno ad uso industriale o utilizzati per rinaturalizzazioni di coltivi abbandonati nell'ambito dei parchi fluviali, per la costituzione di reti ecologiche che mettono in comunicazioni aree naturali frammentate e infine come fasce tampone per limitare l'inquinamento dei corsi d'acqua. I pioppi, essendo igrofili ed eliofili, necessitano di una piovosità annua di almeno 700 mm, di cui almeno 450 mm durante la stagione vegetativa (aprile – settembre) possibilmente ben distribuiti. Prediligono una temperatura media annua superiore agli 8-10°C. Alcune varietà clonali possono subire danni (cretti da gelo) durante inverni particolarmente rigidi; in genere sopportano minime di oltre -15°C. Nelle zone più calde del nostro paese si sviluppano con difficoltà, soprattutto per insufficienza di acqua.

Suolo

La tessitura del suolo rappresenta la caratteristica ambientale maggiormente limitante per i pioppi in genere, in quanto influisce sulla disponibilità di ossigeno per l'attività biologica e sulla disponibilità di acqua. Ha notevole importanza anche la pro-

fondità utile alle radici i risultati migliori si ottengono con profondità elevate (>100 cm); mentre di secondaria importanza sono le variabili chimiche (pH, disponibilità di nutrienti, ecc) con l'esclusione di salinità e calcare attivo che invece possono provocare pesanti limitazioni. I pioppi, che sono piante pioniere, riescono a sviluppare un poderoso apparato radicale seguendo la stratigrafia del suolo: le radici tendono a colonizzare gli strati di suolo più favorevole in genere fino alla frangia capillare. In tabella 2 sono sintetizzati i fattori pedologici che possono limitarne la coltivazione secondo le indicazioni riportate in AA.VV (2006) e in Scotti *et al.*, (2010).

Tabella 2 - Limitazioni pedologiche alla crescita del pioppo coltivato come ceduo a turno breve (da Scotti *et al*., 2010 mod).

Caratteristiche Pedologiche (1)	**Grado di Importanza** (2)	**Intensità delle limitazioni**		
		Assenti, lievi (3)	Moderate (4)	Severe (5)
Profondità utile alle radici (cm) (6)	**	>100, 50-100	25-50	<25
Tessitura	***	media, moderatamente grossolana, moderatamente fine	grossolana, fine	grossolana, fine
Disponibilità di ossigeno (7)	***	buona, moderata	imperfetta	Scarsa, molto scarsa
Reazione (pH)	*	5,5 – 8,5	4,5 – 5,5	< 4,5 e > 8,5
Salinità (EC1:5 dS m^{-1})	***	<0,15	0,15-0,4	>0,4
Calcare attivo (%)	***	<8	8-12	>12
Rischio di inondazione (inondabilità)	*	Nessuno, occasionale, frequente	-	-
Rischio di inondazione (durata)	**	<1 mese	>1 mese	-

(1) Riferite allo strato esplorabile dall'apparato radicale.
(2) * poco, ** mediamente, *** molto importante;
(3) suoli che assicurano produzioni legnose in genere non inferiori al 80% di quella massima potenziale senza particolari interventi colturali;
(4) suoli appartenenti a questa classe possono indurre riduzioni di produzione fino al 60% di quella massima e/o richiedere particolari pratiche colturali;
(5) suoli non destinabili a uso pioppicolo;
(6) Intesa come profondità a strati limitanti gli apparati radicali (es. orizzonti induriti, orizzonti di accumulo di carbonati, orizzonti argillici impermeabili).
(7) buona: l'acqua è rimossa dal suolo prontamente; moderata: l'acqua è rimossa lentamente in alcuni periodi e i suoli sono bagnati solo per un breve periodo durante la stagione vegetativa; imperfetta: l'acqua è rimossa lentamente ed il suolo è bagnato per lunghi periodi durante la stagione vegetativa; scarsa e molto scarsa: il suolo è saturo periodicamente o per la maggior parte della stagione vegetativa.

Risorse genetiche

Presso il CRA-PLF del CRA (ex Istituto di Sperimentazione per la Pioppicoltura), fin dal 1939, anno di fondazione, è stata iniziata la collezione di specie ed ecotipi di pioppo provenienti da tutto il mondo e l'attività di ricerca è stata soprattutto finalizzata all'individuazione di cloni adatti alla coltivazione intensiva per la produzione di cellulosa, di segati e di pannelli di compensato. La collezione dei genotipi, oltre mille delle diverse specie, è conservata negli "archivi": piantagioni particolari allevate a capitozza, potate annualmente prima della ripresa vegetativa, dalle quali è possibile in ogni momento estrarre materiale vegetale per la riproduzione agamica.

Selezione clonale

Presso il CRA-PLF il miglioramento genetico è basato prevalentemente sulla selezione semireciproca ricorrente delle specie parentali *P. deltoides* e *P. nigra* utilizzati per la creazione di ibridi di *P.* ×*canadensis* (Bisoffi e Gullberg, 1996). L'ibridazione può avvenire solo tra femmine della prima specie e i maschi della seconda essendo il reciproco non fertile. Tra gli individui ottenuti dagli incroci intraspecifici di *P. deltoides* vengono selezionate femmine con alta capacità di accrescimento e di propagazione vegetativa; mentre tra quelli di *P. nigra* i maschi vengono valutati per la ramificazione (basso numero di rami sillettici) e la resistenza alle due principali malattie fogliari la Bronzatura del pioppo (*Marssonina brunnea*) e le Ruggini (*Melampsora* spp). Tale selezione avviene sulla base di test di progenie e di capacità combinatoria. Gli individui di alto valore genetico selezionati da entrambe le specie parentali vengono tra loro incrociati per ottenere cloni della specie ibrida che vengono valutati con appositi protocolli.

L'intensa attività di selezione del pioppo, in passato era finalizzata alla creazione di individui con caratteristiche tali da rispondere alle esigenze della pioppicoltura tradizionale ovvero resistenza alle malattie fogliari, elevate produzioni associate a caratteristiche legate alla produzione di legno di qualità: dirittezza del fusto, legno di colore chiaro, facilità di potatura. Nel corso del tempo, con l'estendersi delle coltivazioni di pioppo anche in zone geografiche meno adatte alla pioppicoltura, o con climi differenti rispetto alla pianura Padana, e con l'intenso scambio di legname proveniente da altri continenti, sono aumentate le avversità per il pioppo (malattie ed insetti) dapprima limitate a piccole aree geografiche e poi estese a tutto il paese. A titolo d'esempio ultimamente è stato introdotto un nuovo insetto parassita il *Platypus mutatus* dall'Argentina per ora limitato ad una ristretta area di coltivazione del pioppo in Campania. L'attività di selezione si è così via via adattata alle nuove esigenze selezionando individui tolleranti o resistenti alle principali avversità e soprattutto ai funghi (*Marssonina brunnea*, *Venturia populina*, *Melampsora* spp), ai virus

(PMV-Virus del Mosaico del Pioppo), ma anche ad insetti, come l'afide lanigero (*Phleomyzus passerinii*).

Negli ultimi due decenni sono venute in auge le coltivazioni dedicate alla produzione di biomassa ad uso energetico; finora sono stati selezionati, sia dal CRA che da privati, in particolare la Ditta Franco Alasia Vivai di Cavallermaggiore CN che ha operato in collaborazione con Università di Torino e della Tuscia, una decina di cloni alcuni specificamente per questo fine, altri a "duplice attitudine" (uso industriale ed energetico).

La selezione di cloni per produzione di biomassa in impianti di arboricoltura a ciclo breve denominati cedui a turno breve o Short Rotation Coppices (SRC) si basa sugli stessi requisiti utilizzati per la pioppicoltura tradizionale, ma oltre alla resistenza alle avversità i caratteri più importanti diventano l'elevata produzione di materiale ligno-cellulosico in tempi molto brevi (2-5 anni), la capacità di ricaccio dopo ripetute ceduazioni e la densità basale più elevata; mentre la dirittezza del fusto, così come la facilità di potatura o la colorazione del legno sono del tutto ininfluenti. La selezione di cloni per biomassa è finalizzata a individuare soggetti molto produttivi ma rustici, al fine di rendere le coltivazioni SRC più redditizie riducendo gli input colturali: fitofarmaci, concimi e lavorazioni del suolo e rendendo la coltura allo stesso tempo ecologicamente ed energeticamente sostenibile. I cloni recentemente selezionati a questo scopo appartengono alla specie *P. alba*, *P. ×canadensis,* o sono ibridi complessi tra più specie, il dettaglio è riportato in tabella 3.

Per essere commercializzati i cloni devono essere iscritti al Registro Nazionale dei Materiali di Base, introdotto con il dlgs 386/2003 che ha sostituito il precedente Registro Nazionale dei Cloni Forestali (RNCF). Tale attività è affidata alla Commissione Nazionale del Pioppo che prima di iscrivere un clone oltre ad esaminare tutta la documentazione predisposta dal selezionatore secondo le norme riportate nel decreto, avvia una sperimentazione *ad hoc* affidata a Enti pubblici di ricerca nel settore. Se la documentazione fornita dal selezionatore è giudicata sufficiente il clone viene iscritto in via provvisoria per un decennio, durante il quale viene portata avanti la sperimentazione "ufficiale". Al termine di questo periodo il clone, se ha superato positivamente l'iter, verrà iscritto definitivamente al Registro con un decreto ministeriale, altrimenti verrà ritirato dal commercio (Facciotto, 2008a). Attualmente tra la produzione del seme da un incrocio controllato e la registrazione provvisoria al Registro Nazionale dei Materiali di Base, quindi alla commercializzazione, passano almeno 8 anni; per la registrazione definitiva vanno aggiunti altri 10 anni, quindi in totale 18 anni. I tempi sono abbastanza lunghi perché sono stati modulati per la pioppicoltura tradizionale con turno intorno ai dieci anni. Per l'iscrizione di cloni per la produzione di biomassa si dovrebbero utilizzare procedure più rapide però a questo punto è necessario un intervento di tipo legislativo di cui dovrebbe farsi carico la Commissione Nazionale del Pioppo. Si potrebbero inoltre abbreviare anche i tempi della selezione utilizzando i mezzi recentemente offerti dalla genetica molecolare (Bisoffi *et al.*, 2009). Il pioppo è stata infatti la prima tra le specie legnose ad avere

il genoma completamente sequenziato e disponibile in banche dati pubbliche (Kelleher *et al*., 2007).

Tabella 3 – Cloni di pioppo selezionati in Italia per la produzione di biomassa.

CLONE	Sesso	Specie	Selezionatore
AF2	M	*P. ×canadensis*	Franco Alasia, Cavallermaggiore (CN)
AF8	F	*P. ×generosa* × *P. nigra*	Franco Alasia, Cavallermaggiore (CN)
Imola (ex 83.160.029)	F	*P. ×canadensis*	CRA-PLF Casale Monferrato (AL)
Marte	M	*Populus alba*	Franco Alasia, Cavallermaggiore (CN), Sabatti e Scarascia Mugnozza Università della Tuscia Viterbo
Monviso	F	*P. ×canadensis*	Franco Alasia, Cavallermaggiore (CN)
Orion (ex 83.148.041)	M	*P. ×canadensis*	CRA-PLF Casale Monferrato (AL)
Pegaso	M	*P. ×generosa* ×*P. nigra*	Franco Alasia, Cavallermaggiore (CN)
Saturno	M	*P. alba*	Franco Alasia, Cavallermaggiore (CN), Sabatti e Scarascia Mugnozza Università della Tuscia Viterbo
Sirio	M	*P. ×canadensis*	Franco Alasia, Cavallermaggiore (CN)

I cloni appositamente selezionati per i cedui a turno breve sono resistenti o tolleranti le principali malattie fogliari, l'afide lanigero (*Phleomyzus passerinii*), unico insetto per il quale è possibile fare selezione, e al vento; il dettaglio è sintetizzato in tabella 4.

Tabella 4. Comportamento dei cloni selezionati per la produzione di biomassa nei confronti delle principali avversità del pioppo: defogliazione primaverile (Defog.), ruggini (Rugg), bronzatura (Bronz.), necrosi corticali (Necr.),macchie brune (Macch.), virus del mosaico del pioppo (PMV), afide lanigero (Afide) e del vento.

Cloni.	Defog	Rugg	Bronz	Necro	Macch	PMV	Afide	Vento
AF2	*****	***	*****	***	***	*****	*****	****
AF8	*****	****	****	****	****	*****	****	*****
Imola	*****	*****	*****	***	***	*****	*****	***
Marte	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	****
Monviso	*****	*****	*****	*****	*****	****	****	***
Orion	*****	****	*****	***	***	*****	*****	***
Pegaso	*****	****	*****	*****	*****	***	***	****
Saturno	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	****
Sirio	*****	*****	*****	****	****	*****	***	***

Produzioni

Nelle prove impostate nei primi anni ’90 con cedui a turno biennale e densità di 5000-7500 piante per ettaro (p ha^{-1}), dato che non erano ancora disponibili cloni selezionati *ad hoc*, sono stati utilizzati i cloni della pioppicoltura tradizionale caratterizzati da accrescimento giovanile elevato e buona capacità di ricaccio tra questi *P. deltoides* ‘Lux’, *P. ×canadensis* ‘Luisa Avanzo’, ‘Cima’, ‘BL Costanzo’, ‘I-214’, *P. alba* ‘Villafranca’. Le produzioni parcellari ottenute variavano mediamente intorno a 6-10 t ha^{-1} $anno^{-1}$ di sostanza secca (s.s.) (Facciotto, 2008b). In seguito alla messa a punto, grazie anche alla sperimentazione finanziata dal MiPAAF, di tecniche colturali più adeguate e alla selezione di cloni adatti ai cedui a turno breve, con elevate capacità di crescita, ricaccio e resistenza alle principali avversità, le produzioni medie, di impianti con densità tra 6700 e 10000 p ha^{-1}, sono aumentate intorno alle 12-15 t ha^{-1} $anno^{-1}$, con punte massime, nelle migliori condizioni di crescita fino a 20 - 25 t ha^{-1} $anno^{-1}$ di biomassa anidra al primo turno (Facciotto e Bergante, 2011; Paris *et al.*, 2010).

Nella piantagione sperimentale costituita con densità di 8300 p ha^{-1} ad Anzola dell’Emilia (BO) presso l’azienda sperimentale del Centro di Ricerca per le Colture Industriali (CIN) del CRA (Tab. 5) dopo tre ceduazioni biennali, 6 anni, la produzione media è risultata molto buona in particolare i cloni migliori hanno prodotto tra le 16,1 t ha^{-1} $anno^{-1}$ del clone AF2 e le 19,3 t ha^{-1} $anno^{-1}$ del clone Orion.

Tabella 5 - Anzola (BO). ANOVA e SNK test della produzione media cumulata di biomassa secca in t ha^{-1} $anno^{-1}$ (B.s.) ottenuta in tre cicli biennali da diversi cloni di pioppo sia sperimentali che già iscritti al Registro dei materiali di base.

Cloni	**B.s.**	**SNK**
I-214	14,63	BC
Pegaso	9,69	DE
Monviso	16,82	AB
AF2	16,06	AB
AF6	12,62	CD
Orion	19,27	A
83.039.018	16,31	AB
Baldo	17,08	AB
84-078	17,51	AB
Villafranca	8,35	E
Jean-Pourtet	11,55	DE
Media generale	14,535	
Valori di F	13,40 **	

Tra i cloni commerciali selezionati per la produzione di biomassa solo il clone Pegaso ha prodotto una quantità significativamente inferiore di sostanza secca rispetto agli altri: 9,7 t ha^{-1} $anno^{-1}$; essendo un incrocio complesso con 'sangue' di *P. trichocarpa* (specie che ha il suo areale tra il Nord degli Usa ed il Canada) non risulta molto adatto alla calda pianura emiliana (Facciotto *et al*., 2009).

Esiste in genere una certa differenza tra le produzioni ottenute dai diversi cloni in parcelle sperimentali, per quanto di grandi dimensioni, e le produzione commerciali di pieno campo. In una recente indagine condotta dagli autori in Veneto sulla produttività dei cedui a turno breve di pioppo con densità iniziale di impianto compresa tra 5556 e 6667 p ha^{-1}, finanziati con una legge regionale, le produzioni medie alla fine del primo ciclo biennale risultano di 6,5 t ha^{-1} $anno^{-1}$ di s.s per il clone Pegaso (97 piantagioni) e di 9 t ha^{-1} $anno^{-1}$ per il clone Sirio (53 piantagioni); nelle 59 piantagioni del clone Pegaso per le quali erano disponibili dati sia sul primo che sul secondo ciclo di raccolta la produzione media cumulata alla fine del quarto anno risultava di 9,2 t ha^{-1} ·$anno^{-1}$ di s.s, molto vicina a quella ottenuta nella sperimentazione effettuata ad Anzola riportata in tabella 5. Nei sessanta impianti cedui realizzati nel 2008 per lo più nella regione Emilia Romagna con densità di 5556 p ha^{-1}, dalle società saccarifere coinvolte nel progetto SUSCACE, con i cloni di pioppo Monviso e AF2, alla prima ceduazione biennale si sono ottenute rese medie in sostanza secca di circa 9 t ha^{-1} $anno^{-1}$, dati molto vicini a quelli ottenuti in Veneto con il clone Sirio, con produzioni di AF2 mediamente superiori del 10% rispetto a quelle di Monviso. Nei migliori appezzamenti sia in Veneto che in Emilia Romagna le produzioni di questi cloni sono risultate prossime alle 16 t ha^{-1} $anno^{-1}$ di s.s.

Figura 2 - Casale Monferrato. Ceduo a turno breve (8333 p ha^{-1}) del clone Imola durante la seconda stagione vegetativa.

Nelle coltivazioni sperimentali con cicli di raccolta bi-triennale, testate per una decina di anni a Casale Monferrato (Fig. 2) le produzioni vanno a regime tra il secondo e il terzo turno, aumentano tra il 50 ed il 67% rispetto a quelle ottenute alla prima ceduazione; al quarto turno invece la produttività comincia a calare, intorno al 25% rispetto al terzo turno, soprattutto perché la mortalità delle ceppaie è tale da non essere più controbilanciata dalla maggior produttività di quelle sopravvissute (Tab. 6).

Tabella 6 - Casale Monferrato (AL). Produzioni di biomassa secca in ceduo a turno breve di pioppo, espressa in $t \cdot ha^{-1} \cdot anno^{-1}$, nei primi quattro cicli di produzione; primo, secondo e quarto di durata biennale (2a), il terzo di durata triennale (3a).

Specie	Ciclo di raccolta			
	1(2a)	2 (2a)	3 (3a)	4 (2a)
Pioppo	6,0	9,0	10,0	7,5

Figura 3 - Cremona. Ceduo a turno breve (densità di 1143 p ha^{-1}) del clone AF2 alla fine del 4° anno del primo turno.

Risultati analoghi si possono ottener in impianti cedui con densità tra 1000 e 1700 p ha^{-1} e turno di 5-6 anni. In un impianto messo a dimora con cloni di pioppo bianco, I-214 e Lux, alla fine del primo turno quinquennale le produzioni espresse in biomassa anidra erano comprese tra le 5 e le 8,3 t ha^{-1} $anno^{-1}$, mentre al secondo turno

sempre di cinque anni variavano tra 10 e 22,6 t ha^{-1} $anno^{-1}$. In impianti messi a dimora con semenzali di *Populus alba* alla densità di 1667 p ha^{-1} la produzione migliore al primo turno è stata di 7,9 t ha^{-1} $anno^{-1}$. Con il clone di pioppo 'Monviso', alla stessa densità, si sono raggiunte le 10,1 t ha^{-1} $anno^{-1}$al primo turno (5 anni). Su terreno fertile, in provincia di Cremona con densità di 1143 p ha^{-1} con i cloni 'I-214' e 'AF2' (Fig 2.) si sono raggiunte rispettivamente 16 e 25 t ha^{-1} $anno^{-1}$ di s.s. già al 4° anno dall'impianto.

Considerando tutte le esperienze sia parcellari che di impianti commerciali si può notare un certo miglioramento delle produttività medie, si è passati dalle 7-10 t ha^{-1} $anno^{-1}$ dei primi cloni utilizzati, quelli della pioppicoltura tradizionale, alle 10-15 t ha^{-1} $anno^{-1}$ delle coltivazioni fatte con i primi cloni appositamente selezionati fino alle 15-20 e oltre $t \cdot ha^{-1} \cdot anno^{-1}$ di biomassa anidra delle piantagioni sperimentali e di quelle commerciali con densità intorno a 1100 p ha^{-1} e turno quinquennale costituite su terreni di buona fertilità con i cloni di ultima selezione, AF2, Monviso, Orion (Facciotto, 2010).

Considerando il materiale genetico attualmente ancora in corso di selezione si potrebbe arrivare in tempi relativamente brevi ad ottenere produzioni medie prossime alle 25 t ha^{-1} $\cdot anno^{-1}$ di s.s in impianti coltivati correttamente su terreni vocati.

Bibliografia

AA.VV., 2006. Appendice: specifiche delle proprietà e qualità dei suoli. In: Costantini, E.A.C. (Ed.), Metodi di valutazione dei suoli e delle terre, Cantagalli, Siena, p. 18.

Bisoffi S., Gullberg U., 1996. Poplar breeding and selection strategies. In "Biology of Populus and its implications for management and conservation. Part I, Chapter 6" Edited by R.F. Stettler, H.D. Bradshaw, Jr.,P.E. Heilman, and T.M. Hinckley. NRC Research Press, National Research Council of Canada, Ottawa, ON, Canada. pp. 139-158.

Bisoffi S., Minotta G., Paris P., 2010. Indirizzi colturali e valorizzazione delle produzioni legnose fuori foresta. In: Atti del III Congresso Nazionale di Selvicoltura 'Per la conservazione e il miglioramento dei boschi'. Taormina, 16-19 ottobre 2008, pp. 729-736.

Eckenwalder., 1996. Systematics and evolution of *Populus*. In "Biology of Populus and its implications for management and conservation. Part I, Chapter 1" Edited by R.F. Stettler, H.D. Bradshaw, Jr.,P.E. Heilman, and T.M. Hinckley. NRC Research Press, National Research Council of Canada, Ottawa, ON, Canada. pp. 18-19.

Facciotto G., 2008a. Cloni coltivati. In "Il libro bianco della pioppicoltura", Suppl. Agrisole n. 26/2008, pp. 25-28.

Facciotto G., 2008b. Cedui a turno breve per produzione di biomassa. In: 'Il libro bianco della pioppicoltura' Supplemento Agrisole. n. 26/2008 del 27 giugno 2008, pp. 42-44.

Facciotto G., 2010. Estudiando la posibilidad de los cultivos de corta rotación (CCR). In: 1er Encuentro de populicultores de Europa' Valladolid, Spain 18 may 2010. 49-51.

Facciotto G., Bergante S., 2011. Evaluation of poplar and willow performances for biomass production in Northern Italy. Actas del Tercer Congreso Internacional de las Salicáceas en Argentina 'Los álamos y los sauces junto al paisaje y el desarrollo productivo de la Patagonia' Neuquen, Argentina 16-19 Marzo 2011. 8 pp.

Facciotto G., Di Candilo M., Bergante S., Diozzi M., 2009. Biomass production of new Italian poplar clones. Poster Presentato al 2° Convegno Nazionale SIBA. Roma, 4-5 maggio 2009.

Kelleher C.T., Chiu R., Shin H., Bosdet I.E., Krzywinski M.I., Fjell C.D., Wilkin J., Yin T., DiFazio S.P., Ali J., Asano J., Chan S., Cloutier A., Girn N., Leach S., Lee D., Mathewson C.A., Olson T., O'Connor K., Prabhu A-L., Smailus D., Stott J.M., Tsai M., Wye N.H., Yang G.S., Zhuang J., Holt R.A., Putnam N.H., Vrebalov J., Giovannoni J.J., Grimwood J., Schmutz J., Rokhsar D., Jones S.J. M.2, Marra M.A., Tuskan G.A., Bohlmann J., Ellis B.E., Ritland K., Douglas C.J., Schein J.E., 2007. A physical map of the highly heterozygous Populus genome: integration with the genome sequence and genetic map and analysis of haplotype variation. The Plant Journal 50: 1063-1078.

Paris P., Facciotto G., Nervo G., Minotta G., Sabatti M., Scaravonati A., Turchi M., Scarascia Mugnozza G., 2010. Short Rotation Forestry of poplar in Italy: current situation and prospect. In: Fifth International Poplar Symposium 'Poplars and willows: from research models to multipurpose trees for a a bio-based society' 20-25 September 2010 Orvieto, Italy. Book of Abstracts. 105-106.

Scotti C., Facciotto G., Canestrale R., 2010. Soil map of pedological limitations to the growth of poplar clones for biomass production in Emilia-Romagna Region (Italy). In: Proceedings of the 18th European Biomass conference and Exhibition, Lyon, France. 3-7 May 2010. 448-451.

2 - Selezione di cloni di eucalitto per la destinazione da biomassa

Eucalyptus *spp. clonal selection for biomass*

Giovanni Mughini*, Laura Rosso*, Sara Bergante*

Riassunto

Il genere *Eucalyptus* è originario dell'Oceania è comprende oltre 700 entità genetiche. Nel nostro Paese buone produzioni si ottengono nel centro-sud con *Eucalyptus globulus* subsp. *bicostata (*Maiden, Blakely & J.Simm.) J.B. Kirkp ed *E. camaldulensis* Dehnh., provenienza 'Lago Albacutya'. Gli eucalipti prediligono temperature medie annue tra 12 e 18 °C, la richiesta di acqua è di circa 700 mm annui. Sono molto rustici per quanto riguarda le preferenze edafiche. L'attività di ricerca ha individuato le specie più interessanti per l'Italia: *E. globulus* ssp. *globulus,* ssp. *bicostata, E. camadulensis, E gunnii, E. gomphocephala, E. maidenii, E. occidentalis, E.* × *trabutii, E. vicinali.* Negli anni '90 con un programma di miglioramento genetico, 15 nuovi cloni sono stati selezionati dal CRA-PLF di Roma, nell'ambito di incroci tra *E. camaldulensis* con *E. globulus* Labill. subsp. *globulus, E. globulus* ssp. b*icostata*, *E. viminalis* Labill.ed *E. grandis* Hill ex Maiden. Nel primo decennio del XXI secolo si sono diffusi nel bacino del Mediterraneo degli insetti galligeni, *Ophelimus maskelli* Ashmead e *Leptocybe invasa* Fisher & La Salle, parassiti della maggior parte delle specie di eucalipto coltivate. Con la lotta biologica ai due insetti, utilizzando un loro parassito ide, il problema sembra in via di soluzione. Nel 2010 è stato segnalato un nuovo parassita (*Glycaspis brimblecombei* Moore) dannoso allo stato larvale. Anche in questo caso l'unica soluzione è la lotta biologica. Nei campi sperimentali del CRA-PLF viene svolta attività di identificazione di cloni maggiormente produttivi, utilizzando due densità d'impianto (1.600 e 5.500 p·ha^{-1}) riferibili ai due modelli colturali, 'rado' e 'fitto'. Con semenzali di *E. camaldulensis* posti alla densità di 1.600 p·ha^{-1} e allevati con turno triennale le produzioni sono variate tra 3 e 12,8 t·ha^{-1}·anno^{-1} di s.s.; nelle stesse località con

* CRA – Unità di ricerca per le Produzioni Legnose fuori Foresta (PLF).

le migliori varietà clonali di eucalipto si sono raggiunte produzioni tra 22 e 27 t·ha^{-1}·anno^{-1} di s.s. Nelle prove sperimentali in cui sono a confronto i vari cloni col estimone *E. camaldulensis*, le produzioni medie sono comprese tra 4 e 22 t·ha^{-1}·anno^{-1}. Le differenze sono dovute alla densità d'impianto, alle caratteristiche stazionali, e alla presenza degli insetti nocivi; i 6 cloni che hanno dato migliori risultati sono stati proposti per la 'brevettazione'.

Parole chiave: eucalyptus, biomassa, cedui a turno breve, produzione

Abstract

Eucalyptus *is native of Oceania and it includes more than 700 species. In Italy good growth results are obtained in Central-South regions with some species as:* Eucalyptus globulus *subsp.* bicostata *(Maiden, Blakely & J.Simm.) J.B. Kirkp and* E. amaldulensis *Dehnh., 'Lago Albacutya' provenance. The most part of these* Eucalyptus *species growth in climate with an average temperature between 12 e 18°C, and request a minimum of 700 mm of rain. They can growth also in less fertile soils, and* E. camaldulensis *'Lago Albacutya' provenance, can survive also in light salty soils. Obviously the productions are lower in difficult conditions. A breeding Italian program start in '90 years and lead to identifications of best species and provenances for South Regions: 15 new clones were selected, that derive from hybridation of* E. camaldulensis *and* E. globulus *Labill. subsp.* globulus, E. globulus *ssp.* bicostata*,* E. viminalis *Labill. and* E. grandis *Hill ex Maiden. The problems for biomass production were caused, in the last years, by two pests, in all over the Mediterranean basin:* Ophelimus maskelli *Ashmead e* Leptocybe invasa *Fisher & La Salle. The solution was found in biologic pest control using parasitoids of the two insects. The selected clones are tested in trials of CRA-PLF with* E. camaldulensis *as comparison. Plantations have two different densities: 1.600 and 5.500 trees·ha^{-1} that correspond to 'high' and 'very high' plantation model, also utilized for poplar, willow and black locust. With* E. camaldulensis *seedling as plantation material at 1.600 trees·ha^{-1} growth with triennial cycle, the productions change from 3 and 12,8 Odt·ha^{-1}·y^{-1} (Oven Dry Ton per Hectare and per Year). In the same trials with new clones selected productions reach 22 and 27 Odt·ha^{-1}·y$^{-1.}$ The most important differences in production are due to 1) plantation density; 2) site factors; 3) presence of harmful insects. Good results was obtained particularly with the following clones: 7; 14; 20; 40; 44; 45; 65; 358. The first best 6 clones are hybrids of* E.camaldulensis × E.globulus *ssp* bicostata*. The 65 is hybrid of* E.camaldulensis × E.grandis, *and 358 is a pure clone of* E. grandis.

Keywords: *eucalyptus, clones, biomass, short rotation coppice, production*

Eco-fisiologia

Il genere *Eucalyptus*, originario dell'Oceania, comprende oltre 700 entità genetiche. Ormai molte specie di eucalipto sono diffuse come coltura industriale in tutto il

mondo; avendo esigenze termiche piuttosto elevate possono essere coltivate nelle zone più calde del centro-sud Italia. Attualmente nel nostro Paese la superficie occupata dagli eucalipti ammonta a 72.000 ha, di cui 54.000 coltivati in purezza e 18.000 misti con altre specie (Boggia, 1987).

Tra le varie conosciute e testate, buoni risultati di crescita si ottengono in Italia con le specie *Eucalyptus globulus* subsp. *bicostata (*Maiden, Blakely & J.Simm.) J.B. Kirkp ed *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh., da quest'ultima si possono ottenere buoni risultati con la provenienza 'Lago Albacutya' che riesce a crescere anche in zone con scarsa piovosità e suoli salini (Mughini *et al*., 2007- a). Naturalmente nelle condizioni più difficili le produzioni sono abbastanza scarse.

Gli eucalitti prediligono stazioni con temperature medie annue comprese tra 12 e 18 °C ma con minime assolute non inferiori a -3 °C. La richiesta di acqua è pari a circa 700 mm annui e possono sopportare una breve siccità estiva. Generalmente sono molto rustici per quanto riguarda le preferenze edafiche, ma possono soffrire terreni calcarei e con ristagno idrico (Berti *et al*.,1992).

Recentemente si sono diffusi in tutto il bacino del Mediterraneo insetti galligeni ai quali sono risultate resistenti solo le specie *E. occidentalis* Endl. ed *E. gomphocefala* A. DC. che tuttavia hanno esigenze termiche superiori a *E. camaldulensis*. La specie *E. gomphocefala* è stata utilizzata negli anni 2007-2010 per la costituzione di alcune piantagioni di ceduo a turno breve (CTB) in Sardegna poiché il suo accrescimento risultava superiore a quello delle piante di *E. camaldulensis* attaccate dei parassiti.

Attività di miglioramento genetico

Le prime attività di ricerca nel nostro Paese, intensificatesi dopo la II Guerra Mondiale, hanno permesso di individuare alcune specie interessanti, tra cui: *E. globulus* ssp. *globulus,* ssp. *bicostata, E. camadulensis, E gunnii, E. gomphocephala, E. maidenii, E. occidentalis, E. × trabutii, E. vicinali.* In base ai risultati ottenuti in una ampia serie di confronti di provenienze, le più idonee per le condizioni pedoclimatiche dell'Italia centro meridionale sono risultate *E. globulus* ssp. *globulus,* ssp. *bicostata, E. camadulensis, E. occidentalis, E. vicinali, E. nitens, E gunni*.

Negli anni '90 è iniziato un programma di miglioramento genetico volto alla costituzione e selezione di cloni, anche ibridi, dalle migliorate capacità produttive e di resistenza alle avversità; una quindicina di cloni sono stati selezionati presso la sede di Roma del CRA-PLF, nell'ambito di incroci tra individui di *E.camaldulensis* con *E.globulus* Labill. subsp. *globulus, E.globulus* ssp. b*icostata*, *E.viminalis* Labill.ed *E.grandis* Hill ex Maiden (Mughini, 1997). Questi cloni hanno *performance* superiori a quelli delle specie parentali pure e presentano anche promettenti capacità fitoestrattive di metalli pesanti, ma al momento non sono ancora disponibili sul mercato (Mughini *et al.,* 2007-b). In base alle nuove prospettive di utilizzo dell'eucalipto e

alle avversità presentatesi recentemente, i principali caratteri da esaltare nei cloni dovrebbero essere: 1) adattabilità alle situazioni pedoclimatiche tipiche delle zone a clima mediterraneo dell'Italia centro-meridionale; 2) incremento della produttività qualitativa e quantitativa; 3) resistenza ai principali nuovi patogeni; 4) elevata efficienza nell'impiego degli elementi nutritivi e dell'acqua; 5) elevata capacità fitoestrattiva di metalli pesanti e nutrienti e fitodegradativa di composti chimici organici per l'impiego nel fitorimedio.

Coltivazione

Le giovani piantine ottenute da seme, oppure da talea radicata, allevate in contenitore alveolare vengono messe a dimora manualmente o meccanicamente in autunno, se la stazione presenta inverni miti, oppure in primavera (Facciotto *et al*., 2007). Come visto non ha particolari esigenze idriche, ma è stato verificato che in fase giovanile, nei primi tre anni, le esigenze di azoto ammontano a circa 100 kg ha^{-1} $anno^{-1}$, per le piante ormai affermate invece le necessità annue risultano di 210 kg ha^{-1} di azoto, 40 kg ha^{-1} di fosforo, 100 kg ha^{-1} di potassio, 90 kg ha^{-1} di calcio e 30 kg ha^{-1} di magnesio.

Come per le altre specie, soprattutto nei periodi successivi all'impianto e dopo ogni ceduazione, il controllo delle infestanti risulta importante per una buona produzione. Questo può essere effettuato meccanicamente (erpicatura o triturazione dell'erba) oppure chimicamente con il principio attivo *Oxifluorfen* subito dopo l'impianto. In un impianto già esistente sono state confrontate 3 strategie di intervento di post-ceduazione per il controllo delle infestanti, utilizzando *Glufosinate d'ammonio, Glufosinate d'ammonio* + *Oxifluorfen* e nessun trattamento (testimone). Dai primi risultati è emerso che i prodotti impiegati non determinano fitotossicità su eucalipto ma sono in grado di contenere efficacemente la flora infestante. Tuttavia è da sottolineare che anche nelle parcelle non trattate la ripresa vegetativa è stata vigorosa e paragonabile a quella delle parcelle trattate. Un aspetto interessante a favore degli interventi con diserbanti deriva dalla eliminazione della copertura erbacea che nel periodo estivo, disseccandosi, favorisce lo sviluppo e la diffusione degli incendi. Fino a poco tempo fa gli impianti di eucalipto non mostravano particolari problemi fitosanitari. Nel primo decennio del XXI secolo si sono diffusi in tutto il bacino del Mediterraneo degli insetti galligeni, *Ophelimus maskelli* Ashmead e *Leptocybe invasa* Fisher & La Salle, parassiti della maggior parte delle specie di eucalipto coltivate. Con la lotta biologica ai due insetti, avviata tempestivamente, utilizzando un loro parassitoide (Laudonia *et al*., 2006; Rizzo *et al*., 2006), il problema sembra in via di soluzione. Purtroppo nella primavera 2010 sia in Sardegna che in Campania è stato segnalato un nuovo parassita australiano fitomizo *Glycaspis brimblecombei* Moore estremamente dannoso allo stato larvale, che dopo attacchi ripetuti può portare a

morte le piante (Laudonia *et al.,* 2010). Anche in questo caso l'unica soluzione sembra quella della lotta biologica.

Nelle stazioni del Nord Italia non sono state effettuate prove di piantumazione per via delle temperature non adeguate, perciò la maggior parte dei test sperimentali è collocata nel Centro e nel Sud della Penisola, isole comprese.

Figura 1 - Piante di eucalipto di 4 anni allevate presso l' Azienda 'ARSSA' a Mirto-Crosia (CS).

Produzioni

Nella sottostante tabella 1 sono elencati i campi sperimentali allestiti dal CRA-PLF, nei quali viene svolta la sperimentazione per l'identificazione dei cloni maggiormente produttivi. Come si può osservare nella tabella 1, la sperimentazione è stata svolta prevalentemente utilizzando due densità d'impianto (1.600 e 5.500 p ha^{-1}) riferibili ai due modelli colturali, 'rado' e 'fitto'. Diversamente dalla sperimentazione svolta per pioppo, salice e robinia, in cui le densità d'impianto possono raggiungere anche 8.000 ÷ 10.000 p ha^{-1}, per gli eucalipti si tende a mantenere una densità inferiore per evitare una competizione troppo forte tra le piante che già possono trovarsi in condizioni pedo-climatiche difficili.

Tabella 1 - Campi sperimentali allestiti in diverse località del Centro-Sud Italia

Località	Anno impianto	n. cloni	Densità (p·ha^{-1})	Disegno sperimentale	ha
Az. ARSSA Mirto Crosia (CS)	2004	15	1.600 ÷ 5.500	Blocchi completamente randomizzati	1
Az. CRA-PLF Ovile (RM)	2004	15	1.600 ÷ 5.500	Blocchi completamente randomizzati	1
Az. EFS Campolongu (OR)	2005	15	1.600 ÷ 5.500	Blocchi completamente randomizzati	1
Az. ARSIAL Capocotta (RM)	2005	15	1.600 ÷ 5.500	Blocchi completamente randomizzati	1

Con semenzali di *E. camaldulensis* posti alla densità di 1.600 p ha^{-1} e allevati con turno triennale (Fig. 2) le produzioni sono variate tra 3 e 12,8 t ha^{-1}·anno^{-1} di sostanza secca (s.s.); nelle stesse località si sono raggiunte produzioni tra 22 e 27 t ha^{-1}·anno^{-1} di s.s. con le migliori varietà clonali di eucalipto.

Figura 2 - Piante di eucalipto di 2 anni presso l'Azienda 'Ovile' di Roma.

Considerando la media generale delle prove parcellari di confronto tra i cloni di eucalipto e il testimone *E. camaldulensis* le produzioni, espresse in t ha^{-1} anno^{-1} di biomassa anidra (Tab. 2) sono comprese tra 4 e 22 t ha^{-1} anno^{-1}. Le differenze sono dovute alla densità d'impianto, alle caratteristiche stazionali, ma principalmente alla presenza di attacchi degli insetti. Infatti basse produzioni si registrano anche in si-

tuazioni dove vi è buona disponibilità idrica ma gli attacchi degli insetti sono forti. Le produzioni più basse sono poi state rilevate nelle stazioni in cui oltre ai forti attacchi degli insetti si aggiunge anche la scarsa disponibilità idrica nel periodo estivo.

I migliori risultati sono stati ottenuti con i cloni selezionati presso il CRA-PLF tra i 20 provati si sono evidenziati: 7; 14; 20; 40; 44; 45; 65; 358 (Tab. 2). I primi 6 cloni riportati sono ibridi di *E.camaldulensis* × *E.globulus* ssp *bicostata,* il 65 è un ibrido di *E.camaldulensis* × *E.grandis*, il 358 è un clone di *E.grandis* puro. Quest'ultimo risulta avere interessanti caratteristiche tecnologiche simili al faggio che lo rendono adatto per la produzione di legname di qualità.

Tabella 2 - Produzione di biomassa secca in piantagioni sperimentali di eucalipto.

Stazione	Densità ($p \cdot ha^{-1}$)	Età rilievo	*E. camal.*[1]	Media[2]	Tre migliori cloni [3]
ARSSA CS	*Stazione con elevata disponibilità idrica e limitati attacchi degli insetti*				
	5.500	2	18,77	22,24	31,52 (40); 27,99 (358); 27,26 (14)
	1.600	3	12,80	16,06	26,74 (40); 21,92 (358); 21,33 (44)
ARSIAL RM	*Stazione con elevata disponibilità idrica e forti attacchi di insetti*				
	5.500	2	7,46	10,96	16,62 (45); 16,61 (358); 15,87 (14)
	1.600	2	3,62	5,24	8,94 (65); 7,75 (358); 6,61 (44)
	Stazioni con scarsa disponibilità idrica e forti attacchi di insetti				
EFS OR	5.500	3	4,86	5,20	11,20 (65); 9,70 (358); 7,58 (45)
CRA RM	5.500	3	2,98	4,77	7,61 (65); 6,50 (20); 6,43 (7)

(1) *E. camal = E. camaldulensis* (prov. Lago Albacutya); (2) media di 20 cloni URF in selezione più *E.camaldulensis*; (3) tra parentesi la sigla del clone in selezione.

Bibliografia

Berti S., Corona P., Facciotto G., Mannucci M., Mariano A.,1992. Note tecniche orientative su alcune specie impiegabili in arboricoltura da legno. Atti del convegno Nazionale: "Più verde e più legno: dal set-aside ai rimboschimenti". Bologna, 7 febbraio 1992. SAF, gruppo E.N.C.C.; 50 pp.

Boggia L., 1987. Conclusioni sull'eucalitticoltura nazionale. Cellulosa e Carta, 5: 11-17.

Mughini G., Gras M. A., Facciotto G., 2007, (a). Eucalyptus clones selection in Central - South Italy for biomass production. In proceedings of 15th European Biomass Conference and Exhibition. Berlin, Germany 7-11 May 2007: 711-713.

Mughini G., 1997. Production of hybrid clones: Italy. In: Improvement of eucalypt management and integrated approach: breeding, silviculture and economics.

Final Report (01.11.1993-31.10.1996), AIR-CT93-1678, pp10. Commission of the European Communities, Brussels.

Facciotto G., Bergante S., Mughini G., Gras M.A., Nervo G., 2007. Tecnica e modelli colturali per cedui a breve rotazione. L'Informatore Agrario 63: (40) 38-42.

Laudonia S., Viggiani G., Sasso R., 2006. Parassitoide esotico in aiuto degli eucalipti. L'Informatore Agrario 40:74.

Rizzo M. C., Lo Verde G., Rizzo R., Buccellato V., Calca V., 2006. Introduzione di Closterocerus sp. in Sicilia per il controllo biologico di Ophelimus maskelli Ashmead (Hymenoptera Eulophide) galligeno esotico sugli eucalipti. Boll. Zool. Agr. Bachic. Sez. II, 38 (3): 237-248.

Laudonia S., Garonna A.P., 2010. The red gum lerp psyllid, Glycaspis brimblecombei, a new exotic pest of Eucalyptus camaldulensis in Italy. Bulletin of Insectology 63(2): 233-236.

Mughini G., Gras M., Facciotto G., Annunziati M., 2007 (b). Produttività di selezioni di cloni di eucalitto in alcuni ambienti dell'Italia centro-meridionale. In: VI Congresso Nazionale SISEF. La gestione delle foreste tra cambiamenti globali e azioni locali. Arezzo, 25-27 Settembre 2007.

3 - Selezione di cloni di *Robinia pseudoacacia* L. per la produzione di biomassa

Selection of Robinia pseudoacacia *L. clones for biomass production*

Laura Rosso*, Sara Bergante*, Maria de Los Angeles Gras*

Riassunto

Robinia pseudoacacia L. è una specie originaria dell'America nord orientale. Nel 1601 viene portata in Francia, da dove è poi diffusa come infestante in tutto il continente Euroasiatico. Attualmente, si stima che, a livello mondiale, siano coltivati a robinia oltre un milione di ettari. In Italia fu introdotta intorno al XVIII secolo. La sua diffusione è stata sorprendente soprattutto in alcuni terreni marginali poverissimi. La robinia può avere portamento sia arboreo che arbustivo e può raggiungere i 25-30 metri di altezza. È una specie molto frugale che predilige climi umidi e temperati ma tollera un'ampia varietà di suoli. La rapida diffusione di questa pianta pioniera è dovuta, oltre che alla versatilità degli impieghi del legno, anche al fatto che essa è di notevole importanza per l'apicoltura, e più recentemente, l'interesse per la Robinia è stato dirottato anche nell'impiego nei cedui a turno breve per la produzione di biomassa a scopo energetico. Il miglioramento genetico della robinia a livello europeo e internazionale ha riguardato finora quattro filoni di ricerca per la selezione di varietà: 1) ornamentali; 2) mellifere; 3) da legno; 4) da foraggio.

La selezione di varietà da legno è stata svolta in Ungheria, con particolare attenzione rivolta alla varietà *rectissima* ('shipmast') caratterizzata da fusti diritti, chioma stretta e rami sottili. Il problema maggiore per l'impiego di cloni risiede nella difficile propagazione da talea caulinare. L'individuazione di una metodologia di moltiplicazione più speditiva ed economica dell'attuale permetterebbe un maggior impiego dei cloni. Presso il CRA-PLF è in corso un programma di miglioramento genetico della robinia per au-

* CRA – Unità di ricerca per le Produzioni Legnose fuori Foresta (PLF).

mentare la qualità e la quantità della produzione legnosa. Il progetto di miglioramento genetico prevede l'opzione gamica affiancata all'opzione clonale, per produzione sia di legname da opera, sia di biomassa per uso energetico. Sono già stati selezionati genotipi con caratteristiche interessanti di accrescimento, forma e assenza di spine dotati di spiccata attitudine alla propagazione. Tra le provenienze italiane, quella di Casale Monferrato (Al) è risultata la migliore per accrescimento. Le produzioni dei cedui a turno breve variano tra le 4 e le 14 t ha^{-1} $anno^{-1}$.

Parole chiave: robinia, miglioramento genetico, provenienze, cloni, produzioni

Abstract

Robinia pseudoacacia *L. (black locust) is a native species of North America. In 1601 it was introduced in France, and subsequently it has spread all over Europe and Asia. Currently it is cultivated over a million of hectares. In Italy it was introduced around the XVIII century. Its diffusion has been ample, especially in some poor marginal soils. The black locust tree can have arboreal or shrubby shape and it can reach the 25-30 meters high. It is a very frugal species with preference for damp and moderate climates, and it can growth on an ample variety of soils. The rapids diffusion of this pioneer tree is due to the versatility of the employments of the wood, and for its notable importance in the beekeeping. More recently the interest for the black locust includes also the employment in the short rotation coppices for biomass production. The genetic improvement of the locust tree at European and international level has concerned four research area for the selection of variety, till now: 1) ornamental; 2) melliferous; 3) wood; 4) forage.*

The selection of wood variety has been developed in Hungary, with particular attention to the variety rectissima *('shipmast') characterized by right stems, narrow head of hair and thin branches. Currently the most greater problem for the employment of clones is due to the difficult of vegetative propagation of young stem. The individualization of a multiplication methodology more easy, fast and economic to reply than the actual will lead to a greater clones employment. CRA-PLF has a program of breeding of black locust to increase the quality and the quantity of the woody production. The project of genetic improvement foresees the gamic and agamic option, for production both of lumber and biomass for energetic purposes. Genotypes have been selected based on interesting characteristics as: fast growth, straight form and strong attitude to the propagation. Among the Italian origins, 'Casale Monferrato' (AL) provenances shows the best results for growth. The productions of the short rotation coppices range between 4 and 14 t ha^{-1} $year^{-1}$ of dry matter.*

Keywords: *black locust, breeding, provenance, clones, yield.*

Sistematica e diffusione

Robinia pseudoacacia L. è una specie della famiglia delle Fabacee originaria dell'America nord orientale, dove è presente in più areali: uno corrispondente ai monti Appalachi e tre, più piccoli, identificabili con i singoli stati di Oklahoma, Arkansas e Missouri (Fig. 1).

La sua comparsa in Europa risale al 1601, in Francia, quando fu introdotta dal botanico Jean Robin nell'Orto Botanico di Parigi, da dove sembra si sia largamente diffusa in tutto il continente Euroasiatico, divenendo ben presto una specie considerata infestante. Attualmente, si stima che, a livello mondiale, siano coltivati a robinia oltre un milione di ettari, ed in particolare nella Repubblica di Corea, in Ungheria, nell'Ex Urss, Romania, Francia, Ex Yugoslavia, Repubblica Ceca, Repubblica Slovacca, Bulgaria, Spagna, Argentina e Cina.

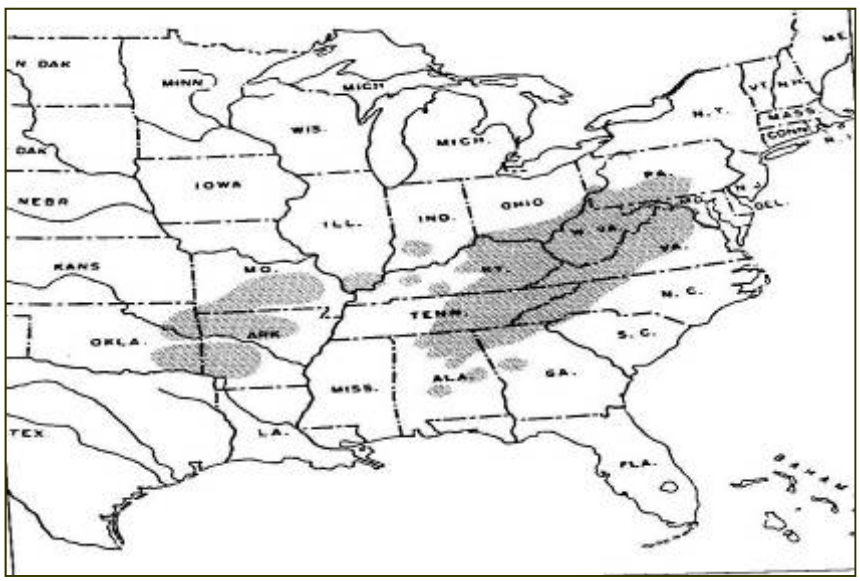


Figura 1 - Nord America. In grigio le zone geografiche occupate dall'areale primario della *Robinia pseudoacacia* L.

L'introduzione della Robinia in Italia risale intorno al XVIII secolo. La maggior diffusione dei soprassuoli di robinia si è avuta, comunque, a partire dall'ultimo conflitto mondiale, nelle radure dei boschi più degradati, a seguito di tagli sregolati effettuati durante il periodo bellico. La sua presenza è ormai considerata elemento comune nella vegetazione italiana, soprattutto nelle aree centro-settentrionali del Paese, dove si possono incontrare anche formazioni di notevole estensione. Nelle zone più meridionali e sulle isole maggiori invece, pur presente, risulta essere però sporadica e, con individui dal portamento cespuglioso, lascia il passo a formazioni lussureggianti di *Ailanthus altissima*. La sua diffusione è stata sorprendente soprattutto in

terreni marginali, come quelli delle brughiere lombarde, sostituendo addirittura alcune specie legnose autoctone. Attualmente quest'area rappresenta una delle maggiori superfici occupate da Robinia (11.500 ha di cui 3.500 ha di boschi puri). In Piemonte, invece, le superfici occupate da boschi con dominanza di robinia sono stimate intorno a 85.000 ha. Anche in Veneto la robinia si è diffusa facilmente in particolare nei boschi devastati e semidistrutti durante la guerra mondiale ed è stata impiegata dall'uomo con successo nella fissazione e nella messa a coltura di una vasta zona sabbiosa, che si estende lungo la spiaggia di Cavazuccherina. In Garfagnana (Toscana), i cedui di robinia rappresentano una delle più riuscite realizzazioni di rimboschimento, raggiungendo incrementi medi di oltre 20 m^3 ha^{-1} $anno^{-1}$. L'interesse per la Robinia è stato dirottato più recentemente nell'impiego in impianti fitti per la produzione di biomassa a scopo energetico, come alternativa al pioppo e all'eucalitto nelle zone collinari o su terreni di pianura non irrigui (Paris *et al.*, 2006).

Descrizione e Autoecologia

R. pseudoacacia può avere portamento sia arboreo che arbustivo e può raggiungere i 25-30 metri di altezza. Ha corteccia rugosa, grigio-bruna, che si fessura nelle piante adulte. I rami giovani sono spinosi. Ha foglie alterne, imparipennate, composte da 7-21 foglioline ovali, glabre, spesso dotate di stipole trasformate in spine. I fiori sono riuniti in racemi penduli, sono fogliosi alla base, hanno corolla papilionacea, bianca più raramente rosa. La fioritura avviene da maggio a giugno. I frutti sono legumi coriacei (5-10 cm), compressi, deiscenti a maturità, di colore rosso-bruno, che rimangono sulla pianta sino all'inverno. Contengono da 3 a 10 semi reniformi, molto duri di colore bruno.

La robinia predilige climi umidi e temperati e tollera un'ampia varietà di suoli, con l'eccezione di quelli estremamente secchi, sabbiosi oppure asfittici.

È una specie molto frugale, presente in boschi cedui puri, lungo scarpate, luoghi incolti, siepi, a margine dei boschi e, soprattutto in zone ruderali come lungo la rete ferroviaria e stradale, dove è stata abbondantemente introdotta per il consolidamento delle scarpate. In altitudine si spinge dal livello del mare fino a 1.300-1.500 m e, sull'Appennino, anche fino a 1.750 m di altitudine. Inoltre, è, ampiamente utilizzata a scopo ornamentale in ambienti urbani difficili, per la sua resistenza ad alti livelli di inquinamento. Non sopporta il ristagno idrico e la scarsa ossigenazione del terreno. Si adatta a diverse pendenze ed esposizioni e alla presenza di scheletro. Non si adatta alle condizioni ambientali dell'Italia Meridionale ed insulare, caratterizzate da lunghi periodi siccitosi estivi; in queste zone buoni risultati sono stati ottenuti solo in terreni di medio impasto o sciolti a reazione neutra o subacida e con una buona riserva idrica estiva, come nell'Appennino calabrese.

Come specie azotofissatrice svolge un importante ruolo di miglioramento del terreno, fungendo spesso da specie pioniera. Grazie alla presenza di noduli radicali del

batterio *Rhizobium* la robinia può avere un attività nitrogenasica molto elevata, a tratti superiore rispetto ad altre specie arboree azotofissatrici. Si stima che un bosco di robinia sia in grado di apportare circa 60 kg ha^{-1} $anno^{-1}$ di azoto al suolo tramite decomposizione della lettiera (Gras, 1991).

Descrizione dei programmi di miglioramento genetico

Il miglioramento genetico della robinia a livello europeo e internazionale ha riguardato finora quattro filoni di ricerca principali per la selezione di varietà: 1) ornamentali; 2) mellifere; 3) da legno; 4) da foraggio (Fig. 2).

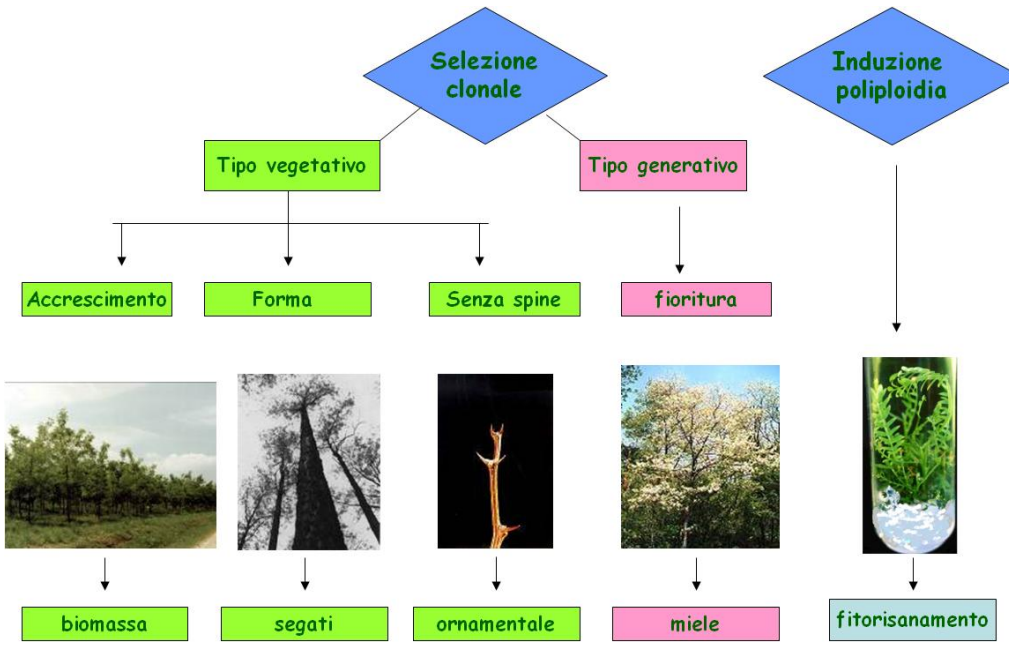


Figura 2 - Programma di selezione di nuovi genotipi di Robinia pseudoacacia. (da Gras, 1991 mod.).

Per quanto riguarda la selezione di varietà da legno, il lavoro più interessante è stato svolto in Ungheria dove la specie ha una notevole importanza economica. Particolare attenzione è stata rivolta verso la varietà *rectissima* (particolare tipo di robinia caratterizzata da fusti diritti, chioma stretta e rami sottili) meglio conosciuta come 'shipmast' che si distingue nettamente dalla robinia tipica che invece ha fusti spesso storti e biforcati. Un elevato numero di cloni della varietà *rectissima* sono stati selezionati a partire dagli anni 50.

Il problema maggiore per l'impiego di cloni di robinia in forma massale deriva dal sistema di propagazione. La forma tradizionale di moltiplicazione della robinia per la produzione di legname è per seme; per la propagazione vegetativa, al fine di riprodurre caratteristiche note, si impiegano talee radicali la cui produzione non è facile per: il ristretto periodo di raccolta, la facilità di disidratazione e la possibile presenza di marciumi, e in genere ha una più difficile gestione rispetto alle talee caulinari. Per scopi scientifici si usa la micropropagazione, ma non per la commercializzazione. L'individuazione di una metodologia di moltiplicazione più speditiva ed economica dell'attuale permetterebbe un maggior impiego dei cloni.

Negli USA le ricerche hanno riguardato soprattutto il campionamento dell'areale naturale e di quello di introduzione in Nord America nonché la costituzione di prove di discendenza, con alcuni confronti di famiglie di fratellastri. Le prove di progenie hanno così permesso di stimare l'ereditarietà genetica e la risposta alla selezione per caratteri di accrescimento (altezza, diametro a petto d'uomo), lunghezza spine, forma e peso specifico. Sempre negli USA sono stati selezionati in popolamenti alcuni individui 'shipmast'.

Le provenienze dell'areale primario sono frutto di raccolte effettuate da importanti istituti di Ricerca e Università americane nella seconda metà degli anni ottanta. Lo stesso vale per provenienze secondarie di Argentina, Cile, Canada, Ungheria e Corea. Per l'Italia è stato effettuato un campionamento *ad hoc* raccogliendo semi di popolamenti significativi in 14 regioni. Questo materiale è stato inserito in confronti sperimentali, replicati in diverse località italiane, per poter valutare l'interazione genotipo-ambiente. In base all'elaborazione dei dati sugli accrescimenti, è emerso che le provenienze dell'Oklahoma sono le migliori tra quelle saggiate. All'interno di questo gruppo di provenienze sono stati selezionati genotipi con caratteristiche interessanti di accrescimento, forma e assenza di spine che, quindi, sono stati avviati alla micropropagazione. Tra le provenienze italiane, invece, quella di Casale Monferrato (AL) è risultata la migliore per accrescimento.

Anche l'Istituto per le Piante da Legno e l'Ambiente (IPLA) di Torino ha lavorato nel miglioramento della robinia individuando varietà particolarmente interessanti per la forma del fusto. Analogamente il CNR- Istituto di Biologia Agro-ambientale e Forestale IBAF di Porano ha svolto ricerche sulla robinia ponendosi l'obiettivo di coniugare la ricerca agroforestale di campo con contestuali specifiche indagini di genetica e di eco-fisiologia. In particolare sono stati affrontati studi sulla variabilità e il differenziamento genetico di diverse provenienze primarie e secondarie. Presso l'attuale CRA- Unità di ricerca per le produzioni legnose fuori foresta (PLF), sede di Roma, precedentemente Centro di Sperimentazione Agricola e Forestale dell'ENCC/SAF, nel 1988 è stato intrapreso un progetto di miglioramento genetico della robinia per la produzione quali-quantitativa di legno. Sono stati costituiti alcuni confronti di provenienza nel 1989 e nel 1991 in diverse stazioni italiane con un numero considerevole di provenienze primarie e secondarie. Complessivamente il CRA-PLF, nelle sue Aziende sperimentali di Casale Monferrato (AL) e di Roma di-

spone di 160 provenienze: 14 italiane, 125 degli areali primari (Stati Uniti) e 21 degli areali di introduzione, di cui 6 dell'Ungheria, per un totale complessivo di 6.561 genotipi (Gras *et al*., 2009). Il progetto di miglioramento genetico prevede l'opzione gamica affiancata all'opzione clonale, per produzione sia di legname di qualità, sia di biomassa per uso energetico. Presso l'Azienda Sperimentale Ovile di Roma del CRA-PLF è presente inoltre un *Robinetum* con funzione di collezione di cloni tetraploidi e cloni ornamentali. In questo modo è possibile disporre di geni utili per programmi controllati di incrocio per la produzione di triploidi. Il programma di miglioramento genetico prevede anche l'induzione di mutanti poliploidi mediante l'impiego di colchicina, che ha consentito di selezionare alcuni cloni interessanti dal punto di vista ornamentale (mutanti clorofilliani e forme nane) e altri impiegabili per il recupero delle cave (forma prostrata).

Per quanto riguarda l'individuazione di materiale da utilizzare specificamente per la produzione energetica è in corso, presso il CRA-PLF, la selezione di differenti provenienze di *Robinia pseudoacacia,* raccolte ed allevate in arboreti situati in diverse aziende sia del CRA, che di altri enti pubblici e privati. Oggetto di selezione sono: la capacità di propagazione vegetativa, la rapidità di crescita, la resistenza alle avversità e la buona adattabilità all'ambiente. Dagli individui più interessanti sono state effettuate raccolte di seme e avviati programmi di moltiplicazione vegetativa. Utilizzando tali materiali si stanno realizzando impianti sperimentali allo scopo di approfondire la valutazione delle caratteristiche tecnologiche del legno oltre che dei comportamenti fenotipici ed agronomici. In particolare si prevede di poter valutare oltre ai caratteri sopra riportati anche quelli importanti per la combustione come il contenuto in sostanza secca e ceneri, o per la produzione dei biocarburanti come il contenuto in cellulosa, emicellulosa e lignina.

Produzioni

Dal 1973 al 1982 sono stati registrati in Ungheria i seguenti cloni: 'Zalai','Nyirsegi', 'Rozsaszin AC', 'Jaszkiserti',' Kiskunsagi', 'Penzesdombi', 'Csaszartoltesi', 'Appalachia', 'Ulloi', 'Szajk' (Gras, 1991). Oltre alle miglior qualità tecnologiche i cloni selezionati presentano produzioni superiori anche del 48% (piantagioni governate a fustaia con turni di 30-35 anni) rispetto ad individui non selezionati. Questo accade anche in impianti costituiti per la produzione di biomassa con turni di 5 anni. Le prove di questo tipo hanno evidenziato che le *cultivar* selezionate sono più produttive del testimone di robinia tipica (Rédei *et al.*, 2008).

In una sperimentazione effettuata dal CRA-PLF, una provenienza Ungherese, posta a due diverse densità all'impianto: 8.000 e 12.000 p ha^{-1}, ha prodotto al primo taglio biennale rispettivamente 11,1 e 12,5 t ha^{-1} $anno^{-1}$ di s.s. mentre al secondo turno le produzioni di biomassa anidra sono risultate rispettivamente di 12,5 e 9,1 t ha^{-1} $anno^{-1}$ (Facciotto *et al*., 2007). La Robinia non sembra sopportare densità troppo ele-

vate; la competizione tra i ricacci dopo la prima ceduazione ha influito negativamente sulla sopravvivenza delle ceppaie e sulla produzione.

In un altro impianto con densità iniziale intorno alla 8.000 p ha^{-1} situato presso l'azienda sperimentale Mezzi e già ceduato quattro volte con turno bi-triennale (Tab. 1) si osserva che la produzione, dopo un leggero aumento tra il primo ed il secondo raccolto, tende a rimanere costante nel tempo con variazioni in più o in meno a seconda dell'andamento climatico poiché viene condotta con bassi input colturali.

Tabella 1 - Casale Monferrato (AL). Produzioni di biomassa di un ceduo a turno breve di robinia, espressa in t·ha^{-1}·$anno^{-1}$ di sostanza secca, nei primi quattro cicli di produzione; primo, secondo e quarto di durata biennale (2a), il terzo di durata triennale (3a) (da Facciotto *et al.*, 2011).

Specie	Ciclo di raccolta			
	1(2a)	2 (2a)	3 (3a)	4 (2a)
Robinia	11,6	12,4	12,2	14,4

In una prova condotta in Ungheria con 5 cultivar di Robinia allevate alla densità di circa 6.670 p·ha^{-1} le produzioni sono risultate crescenti con l'allungamento del turno di taglio. Nella *cultivar* 'Üllöi', la più produttiva in quell'ambiente, l'incremento annuale di biomassa anidra alla fine del terzo, quinto e settimo anno è risultata rispettivamente di 3,0; 8,0 e 9,7 t·ha^{-1}·$anno^{-1}$ (Rédei *et al.*, 2010); l'allungamento dei turni in questa specie consente di massimizzare le produzioni.

In impianti con 1.500 p ha^{-1}, su terreni non irrigui di fondovalle collinare del Monferrato (AL) sono state misurate produttività di 6,6 t·ha^{-1}·$anno^{-1}$ di s.s. In piantagioni di robinia situate in Italia centrale, con densità di 1.100 p ha^{-1}, ma con turni più lunghi oltre i 14-15 anni, le produzioni di sostanza secca si avvicinano a quelle ungheresi sopra riportate (Tab. 2).

Tabella 2 - Produzione di biomassa secca in t ha^{-1} $anno^{-1}$ di piantagioni sperimentali di robinia situate in Italia Centrale.

Densità Piante ha^{-1}	età rilievi anni	media[1]	massimo[2]	migl. prov.[3]
1.100	17	4,65	6,60	Italia (AL)
1.100	15	4,81	6,95	Ungheria
1.100	16	3,83	6,56	Ungheria
1.100	14	4,81	7,20	Oklaoma

(1) media delle provenienze a confronto; (2) provenienza più produttiva; (3) migliore provenienza.

Nell'ambito del progetto Suscace sono state costituite dalle aziende saccarifere partecipanti al progetto poco più di una decina di piantagioni per complessivi 55 ha e, al termine del primo turno biennale, le quantità di biomassa anidra prodotte risultano

particolarmente variabili tra i vari appezzamenti, vanno da circa 6 $t \cdot ha^{-1} \cdot anno^{-1}$ a oltre 17 $t \cdot ha^{-1} \cdot anno^{-1}$; in media si sono ottenuti 8,10 $t \cdot ha^{-1} \cdot anno^{-1}$.

Bibliografia

Facciotto G., Bergante S., Mughini G., Gras M.A., Nervo G., 2007. Tecnica e modelli colturali per cedui a breve rotazione. L'Informatore Agrario 63: (40) 38-42.

Gras, M.A., 1991. Robinia pseudoacacia L. Annotazioni da una ricerca bibliografica. SAF Roma.

Gras M.A., Mughini G., 2009. *Robinia pseudoacacia L.*. In: Risorse Genetiche Forestali in Italia. Arezzo; Centro per la Ricerca in Selvicoltura. Cap. 4 1-4 [It]

Paris P, Gras M.A., Malvolti M.E., Ecosse A., Cannata F., 2006. La robinia coltivata a turno brevissimo (black locust SRC). Bioenergy World Exhibition, Verona, 9-12 febbraio.

Rédei K., Osváth-Bujtás Z., Veperdi I., Orlović S., 2008. Improvement of black locust (Robinia pseudoacacia) stands. Procedinf of International conference: "Forestry in achieving millennium goals", Novi sad, 2009; pp. 41-45.

Rédei K., Veperdi I., Csiha I., Keseru Z., Gyori J., 2010. Yield of black locust (Robinia pseudoacacia L.) Short-Rotation energy crops in Hungary: case study in a field trial. Lesnícky časopis – Forestry Journal 56(4): 327-335.

B
Tecnica colturale

1 - L'impianto del pioppeto: riduzione dei costi attraverso la lavorazione del terreno in bande

Poplar planting: cost reduction through reduced tillage on strips before planting

Luigi Pari*, Alberto Assirelli*

Riassunto

Obiettivo della ricerca è stato quello di affrontare alcune problematiche della fase di impianto del pioppeto, concentrando l'attenzione su aspetti innovativi. Il CRA-ING, nell'ambito del progetto SUSCACE, ha promosso un'attività di ricerca mirata alla messa a punto di un prototipo di aratro rotativo in grado di eseguire, in un unico passaggio, sia una profonda fessurazione del suolo sia l'affinamento superficiale della banda di terreno in cui verranno trapiantate le talee.

L'attecchimento del pioppo introdotto in nuovi areali viene spesso ostacolato dalla presenza di un crostone di lavorazione che impedisce la formazione e l'allungamento dell'apparato radicale. Il CRA-ING ha sviluppato un prototipo per la preparazione del terreno mediante lavorazione ridotta (RT) finalizzata alla rottura della suola di lavorazione e alla riduzione sia del carico di traffico sul terreno che del costo delle lavorazioni. La macchina (un aratro rotativo modificato mediante l'inserimento di una lama verticale) è in grado di eseguire, con una sola operazione, la rottura profonda del suolo e l'affinamento dello strato superficiale, interessando solo la striscia di terreno in cui verranno trapiantate le talee. L'esperimento ha confrontato la tecnica convenzionale (CT) impiegata per la preparazione del terreno (ripuntatura, aratura e due erpicature) con quella ridotta, effettuata con l'aratro rotativo modificato. Quest'ultimo ha permesso la riduzio-

* CRA-ING – Unità di ricerca per l'Ingegneria Agraria, Monterotondo (Roma).

ne del numero di operazioni sul campo creando, allo stesso tempo, le migliori condizioni per il processo di radicazione senza effetti significativi sulla resa.

Parole chiave: pioppo, *Short rotation forestry*, lavorazione ridotta, biomasse

Abstract

Poplar planting, an important phase for crop success, can be considered not limited to the mere transplanting of cuttings, but thought as a complex chain in which stands the cuttings production (particularly onerous because done almost by hand), the soil tillage and the cuttings plantation.

Frequently the poplar has been introduced on soils managed with conventional farming practices, which determine the formation of a hardpan. This constitutes a serious obstacle for the lengthening of rooting apparatus, the water availability and, hence, for the successful establishment of poplar grove. To this end CRA-ING, within the SUSCACE project, has developed a new system for reduced tillage (RT) during the soil preparation of poplar planting aimed at the breaking of tillage pan and at the reduction of both the traffic load on soil and the cost of tillage. The machine (a modified rotary plow adding one shank subsoiler) is able to execute in a single operation both the deep cracking of the soil and the superficial thinning of the area where the cuttings will be transplanted. The experiment compared the conventional (subsoiling, plowing and two harrowings) tillage (CT) with the RT carried out with the modified rotary plow. The work has evidenced that RT performed by Falc/Cra-Ing prototype allowed the reduction of the number of field operations and, consequently, all the problems related (soil compaction, need to found the soil in good conditions for accessibility, reduction of energy input due to the cultural techniques), creating, at the same time, the better conditions for poplar rooting without meaningful effects on yield.

Keywords: *poplar, Short rotation forestry, reduced tillage, biomass.*

1. Introduzione

In Italia, negli ultimi anni, si è assistito, grazie anche agli incentivi previsti dai programmi regionali per lo sviluppo rurale, ad un'estensione delle superfici destinate a cedui a turno breve (*Short Rotation Forest* - SRF), con progressiva diffusione delle coltivazioni dal Nord (dove la Lombardia è la regione con la maggiore superficie investita) alle regioni dell'Italia Centrale (Umbria, Emilia Romagna, Toscana, Marche, Abruzzo, Lazio). La specie maggiormente utilizzata è il pioppo (*Populus* spp.), in quanto presenta alta produzione di biomassa, facilità di propagazione, crescita rapida, limitate esigenze termiche (Salvati *et al*., 2007).

In relazione al bilancio economico della coltura, il costo di impianto unitamente al costo di raccolta sono le voci che possono arrivare a costituire quasi l'80% del totale dei costi colturali (Manzone *et al*., 2009), da cui ne consegue la necessità di individuare forme di meccanizzazione finalizzate alla loro riduzione. Relativamente alle operazioni di raccolta, le diverse soluzioni già sviluppate e testate hanno confermato un'idonea produttività (Pari e Fredrizzi, 2005; Pari *et al*., 2010; Pari e Civitarese, 2010; Verani *et al*., 2010).

Un aspetto di criticità, legato soprattutto al successo del futuro impianto, riguarda la preparazione del terreno che ospiterà il pioppeto. La diffusione delle SRF ha portato all'introduzione del pioppo in aree meno vocate per la sua coltivazione ed in cui le tradizionali pratiche agricole prevedono il ricorso a frequenti arature profonde. Ciò determina la formazione di un crostone di lavorazione che costituisce un serio ostacolo allo sviluppo di un apparato radicale ampio e funzionale. La fase di impianto, che si può stimare vada dall'inizio della preparazione del terreno fino al completo attecchimento degli astoni, è fondamentale per il successo della SRF, in quanto percentuali di sopravvivenza inferiori all'80% sono considerati troppo bassi e una scarsa produzione di biomassa nel primo anno influenzerà negativamente l'intero andamento produttivo del pioppeto. Le diverse soluzioni comunemente adottate per la preparazione del terreno (di norma una lavorazione principale seguita da lavori complementari di affinamento) richiedono diversi passaggi durante l'inverno (con tempi e modalità dettati dall'andamento termopluviometrico) fino a poco prima del trapianto (Bonari *et al*., 2004), con un conseguente rischio di alterazione della struttura del suolo (compattamento), un aumento dei costi di produzione ed un'elevata domanda energetica. Dal punto di vista economico, inoltre, la preparazione del terreno risulta nettamente sfavorevole per il numero di cantieri coinvolti ed il numero di passaggi richiesti.

Il CRA-ING, nell'ottica di ridurre il costo di impianto del pioppeto, nell'ambito del progetto SUSCACE, ha promosso un'attività di ricerca mirata a valutare l'impiego di un aratro rotativo (Falc Land 1500), macchina già nota per le sue prestazioni di lavoro (Pezzi, 2004), su cui sono state progettate e realizzate alcune modifiche in grado di far eseguire, in un unico passaggio, sia una profonda fessurazione del suolo che l'affinamento superficiale della banda di terreno in cui verranno trapiantate le talee.

Nel presente lavoro vengono riportati i primi risultati delle prove effettuate dal CRA-ING, illustrando i dati ottenuti dal confronto tra la preparazione del terreno effettuata con il prototipo CRA-ING della Falc Land 1500 (*Reduced tillage* - RT) e la preparazione effettuata secondo l'approccio tradizionale (*Conventional Tillage* - CT), caratterizzato da ripuntatura, aratura e due erpicature.

2. Materiali e metodi

a) Descrizione del sito

Il confronto tra il sistema di lavorazione ridotta (*Reduced Tillage* - RT) effettuata con il prototipo CRA-ING dell'aratro rotativo Falc Land 1500 ed il sistema di lavorazione tradizionale (*Conventional Tillage* - CT) è stato condotto da febbraio a ottobre a Vergiano (44° 02'N, 12° 29'E, 36 m slm), in provincia di Rimini. Si è operato su un terreno limo-argilloso avente le seguenti proprietà chimico-fisiche: 21% sabbia, 39% limo, 40% argilla, pH 8,1, 2,42% di sostanza organica, 1,53% di azoto totale, 11 ppm P disponibile e 489 ppm K scambiabile, C/N 9,17. In precessione era stata seminata cicoria da seme.

Il trapianto è stato effettuato il 28 febbraio 2008 utilizzando una trapiantatrice semiautomatica. Le talee dei due cloni di pioppo previsti per l'impianto, AF2 e Monviso® (Franco Alasia Vivai, Savigliano, Cuneo, Italia), avevano una lunghezza di circa 22 cm, con un diametro compreso tra 10 e 25 mm e sono state conservate a 3-4°C. Il confronto delle due differenti preparazioni del terreno (CT e RT) è stato effettuato per entrambi i cloni. Subito dopo la messa a dimora si è proceduto al diserbo chimico utilizzando oxifluorfen (1 L ha^{-1}), pendimetalin (2,5 L ha^{-1}) e glufosinate ammonio (3 L ha^{-1}). Durante il periodo di prova non sono stati eseguiti trattamenti antiparassitari né interventi di concimazione.

Il disegno sperimentale era costituito da uno split-plot dove il trattamento principale era la preparazione del terreno ed i cloni le sub-parcelle. Il sesto di impianto era a file singole distanziate 3 m e con piante distanti 0,57 m sulla fila, per un investimento di 5800 talee ha^{-1}. Le sub-parcelle erano composte da due file (ognuna corrispondente ad una replica) di 614 piante (lunghezza complessiva, 350 m); il campo sperimentale era delimitato da due file di bordo e la superficie totale investita per la prova è risultata essere di 1,05 ettari.

L'effetto della preparazione del terreno sullo sviluppo vegetativo delle talee è stato valutato calcolando, in due epoche diverse (giugno e ottobre 2008), la percentuale di sopravvivenza delle piante (considerando l'intero campo sperimentale) e l'altezza della pianta, quest'ultima su un sottocampione di 35 piante per fila.

b) Lavorazione ridotta (RT) e convenzionale (CT)

Sono state confrontati due tipi di preparazione del terreno per l'impianto del pioppeto, un sistema tradizionale (CT) ed una soluzione innovativa, utilizzando un prototipo messo a punto dal CRA-ING per l'effettuazione di una lavorazione ridotta (RT). Gli aspetti dimensionali delle macchine utilizzate per il confronto sono riportati nella tabella 1.

Il prototipo è basato sull'aratro rotativo Falc Land 1500 opportunamente modificato e prodotto attraverso una collaborazione tra il CRA-ING e la società Falc di Faenza (Ravenna, Italia). Il Falc Land 1500 originale era formato da un aratro rotativo

fornito di 12 lance montate su un asse orizzontale su cui è possibile distinguere tre settori, distanziati 35 cm, ciascuno composto da quattro lance. La larghezza di lavoro era di 1,5 m, ed i settori centrale e laterale raggiungevano una profondità rispettivamente di 55 e 45 cm.

Tabella 1 – Caratteristiche principali delle macchine utilizzate nella prova.

Lavorazione	Macchina	Modello	Potenza (CV)	Peso totale (Mg)	Aspetti dimensionali	
					Profondità (m)	Larghezza (m)
Preparazione tradizionale (CT)						
Ripuntatura	Trattore	John Deere 7810	185	6,74	0,5	
	Ripuntatore	Rinieri		0,87		
Aratura	Trattore	John Deere 7810	185	6,74		
	Aratro	Mattioli		1,30	0,4	
Prima erpicatura	Trattore	John Deere 6400	100	4,63		
	Erpice rotativo	Maschio 3000		1,01		3
Seconda erpicatura	Trattore	John Deere 7810	185	6,74		
	Erpice a denti	Fraternali		1,08	0,25	3
Lavorazione ridotta (RT)						
	Trattore	John Deere 3050	115	5,54		
	Prototipo Falc/Cra-Ing	Lance rotative con discissore centrale		1,90	0,84	1,5

Anteriormente all'albero di supporto e azionamento delle lance, il CRA-ING ha installato una lama verticale ripiegabile durante il trasporto e regolabile in profondità, che permette di eseguire una pre-fessurazione profonda, fino ad oltre 0,8 m. La lama è fissata con perno articolato per permettere una facile regolazione e rimozione della stessa. In questo modo il profilo originale della lavorazione effettuata viene significativamente modificato da una fessurazione verticale centrale, profonda oltre 0,8 metri e, quindi, al di sotto della suola di lavorazione (Fig. 1).

Figura 1 - Prototipo Falc/Cra-Ing: apparato rotativo e lama per la pre-fessurazione profonda (sinistra); il prototipo al lavoro (destra).

I trattamenti sono stati applicati prima dell'impianto del pioppeto, nelle seguenti date:

- relativamente al RT, prototipo Falc/Cra-Ing, 16 settembre 2007;
- relativamente al CT, ripuntatura, 30 agosto 2007; aratura, 4 settembre 2007; prima erpicatura, 10 Settembre 2007; seconda erpicatura, 25 febbraio 2008.

Le condizioni climatiche sono state rilevate mediante una stazione meteorologica situata nei pressi del campo sperimentale adeguatamente attrezzata. Le capacità di lavoro delle macchine sono state determinate attraverso lo studio dei tempi secondo il metodo ufficiale della Commition Internationale de l'Organisation Scientifique du Travail en Agriculture (C.I.O.S.T.A.) in accordo con le raccomandazioni dell'Associazione Italiana di Ingegneria Agraria (A.I.G.R.) 3A R1. Il costo macchine è stato stimato con il metodo riportato da Baraldi e Capelli (1973).

3. Risultati e discussione

a) Sopravvivenza e sviluppo delle talee

La lavorazione del terreno prima del trapianto di pioppo può svolgere un ruolo fondamentale sul futuro sviluppo della coltura: la sua funzione principale è quella di creare le condizioni più adatte per un veloce radicamento, favorendo al contempo la disponibilità di acqua e di nutrienti. La promozione di un rapido approfondimento delle radici a partire dai primi mesi dopo l'impianto, negli strati di terreno al di sotto del crostone di lavorazione, spesso presente nei terreni pesanti del Nord e Centro Italia, aumenta la sopravvivenza della pianta durante il primo anno di sviluppo evitando il ricorso all'irrigazione di soccorso e permettendo così la crescita della coltura in ambienti dove il soccorso idrico non sempre viene praticato.

Nella presente prova è stata valutata anche la possibilità di procedere alla contemporanea lavorazione del terreno e trapianto delle talee in un unico passaggio. Nel settembre 2007 è stato effettuato un primo impianto mettendo a dimora gli astoni di pioppo subito dopo l'intervento con il prototipo Falc/Cra-Ing (per quel che concerne il RT) oppure la prima erpicatura (per il CT). La prova non ha avuto esito positivo in quanto dopo nove mesi si è registrato un tasso di mortalità variabile dal 50% al 92% per le tesi a confronto (dati non riportati).

Le condizioni ambientali ed il grado di affinamento del terreno sembrano essere le principali cause che hanno contribuito al fallimento del trapianto autunnale. Le temperature progressivamente decrescenti associate all'aumento delle precipitazioni e, di conseguenza, ad un eccesso di umidità del suolo possono aver ridotto gli effetti strutturanti attesi con la lavorazione del terreno (mancanza di un adeguato sostegno, ridotta assunzione di nutrienti, ritardi nella formazione ed espansione delle radici e degli abbozzi radicali), influenzando negativamente la fisiologia delle piante e, quindi, lo stimolo al processo di radicazione. A conferma di ciò, nel mese di giugno è stato osservato un considerevole aumento della larghezza della ceppaia basale, probabilmente imputabile all'aborto dei germogli dell'anno precedente, percepito dalla pianta come una sorta di ceduazione che ha successivamente stimolato la ripresa vegetativa a livello del colletto.

Per quanto riguarda il trapianto primaverile, le talee hanno beneficiato di temperature miti progressivamente crescenti, con una buone condizioni di umidità del suolo derivanti dal verificarsi di precipitazioni abbondanti (Fig. 2). In questo caso le talee hanno radicato e si sono sviluppate omogeneamente come si può dedurre dall'altezza della piante rilevata quattro (giugno) e otto (ottobre) mesi dopo il trapianto (Fig. 3). La mancanza di differenze statistiche tra RT e CT ha dimostrato l'equivalenza, in termini di sviluppo delle piante, dei due sistemi di lavorazione del terreno.

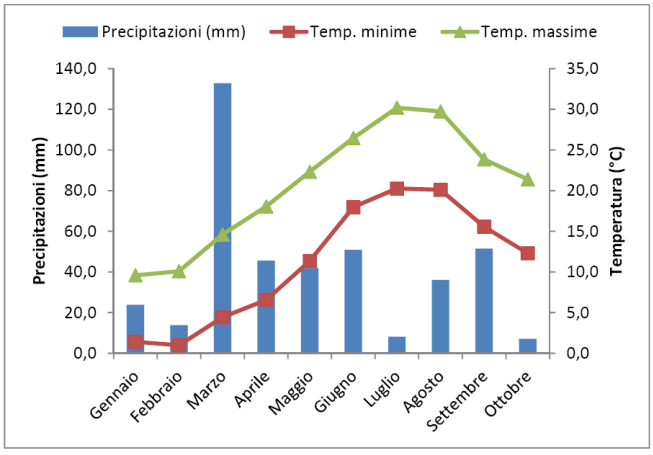


Figura 2 - Medie mensili delle precipitazioni (mm) e delle temperature minime e massime (°C) registrate durante lo svolgimento della prova (gennaio-ottobre 2008).

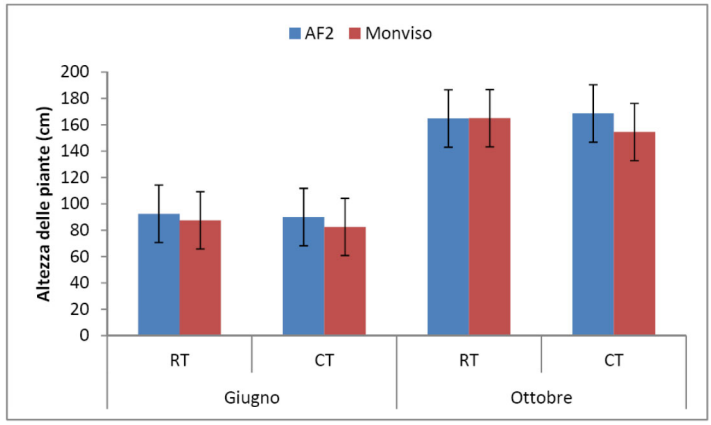


Figura 3 - Altezze medie delle talee dei cloni di pioppo AF2 e Monviso rilevate quattro (giugno) e otto (ottobre) mesi dopo la messa a dimora e trapiantate su terreno sottoposto a lavorazione ridotta (RT) o convenzionale (CT). Le barre verticali rappresentano l'errore standard delle medie.

Un risultato particolarmente importante riguarda il tasso di sopravvivenza delle piante (Fig. 4), in quanto le talee di entrambi i cloni hanno mostrato una più alta percentuale di sopravvivenza per quel che riguarda la lavorazione ridotta (RT). Le ripetute sollecitazioni meccaniche a cui è sottoposto il suolo ricorrendo alla preparazione tradizionale (CT) determina evidentemente condizioni strutturali non del tutto favorevole per la radicazione, mentre l'azione concomitante di rottura del suolo, rimescolamento e discissura eseguiti dal prototipo Falc/Cra-Ing con un solo passaggio ha migliorato l'omogeneità dello strato superficiale del terreno e una struttura più

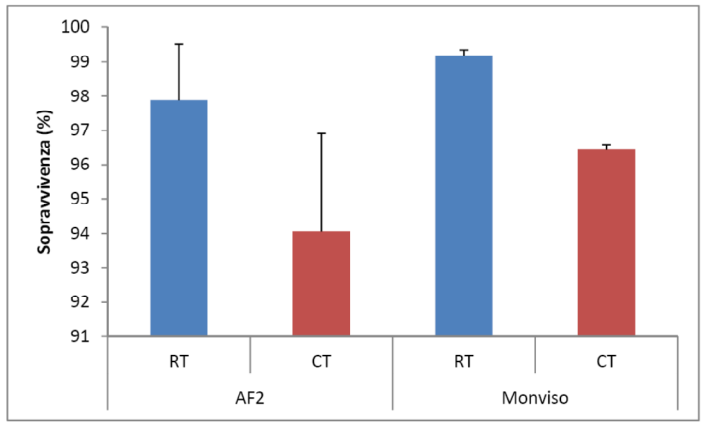


Figura 4 - Sopravvivenza (%) delle tale dei cloni di pioppo AF2 e Monviso osservata due mesi (aprile) dopo la messa a dimora e trapiantate su terreno sottoposto a lavorazione ridotta (RT) o convenzionale (CT). Le barre verticali rappresentano l'errore standard delle medie.

aperta alla penetrazione di aria e acqua negli strati profondi conseguente alla rottura della suola di aratura. Tale osservazione riprende le conclusioni di Balbuena *et al.* (2002) che, studiando l'effetto di diverse intensità di traffico in impianti di pioppo di un anno, ha mostrato come queste non influenzino l'altezza dei germogli, quanto piuttosto la mortalità delle piante (che aumenta dal 42,3 al 51,5% con l'aumentare del numero dei passaggi), effetto questo che gli autori attribuiscono al compattamento del suolo.

Va messo, infine, in evidenza l'influenza positiva svolta dalla contemporanea azione di rottura profonda e affinamento superficiale effettuata dal prototipo Falc/Cra-Ing sulla sopravvivenza delle piante durante l'estate, un periodo durante il quale, per il pioppo, spesso non è prevista l'irrigazione. A conferma di ciò, va sottolineato come gli impianti sperimentali abbiano fatto registrare alla fine del turno (due anni) un rendimento di 27,2 e 28,4 t ha^{-1} rispettivamente per RT e CT, con una differenza che non è risultata statisticamente significativa dopo il test ANOVA.

b) Capacità operative e convenienza economica

I dati operativi in termini di velocità ed il tempo effettivo di lavoro del prototipo sono risultati intermedi tra quelli dell'aratro e dell'erpice rotativo usato nella prima erpicatura (Tab. 2). Considerando l'effetto frenante della lama verticale, è stata osservata una prevedibile riduzione della velocità rispetto sia ai due erpici che al ripuntatore, senza, tuttavia, effetti negativi sull'efficacia del lavoro. Infatti, sebbene esegua contemporaneamente le funzioni di un aratro rotativo e di un ripuntatore, il prototipo Falc/Cra-Ing ha mostrato tempi effettivi di lavoro inferiori solo all'erpice rotativo, con conseguente, riduzione dei ritardi (tempo di lavoro per le svolte e la regolazione di campo). Sempre il prototipo ha presentato una velocità di lavoro di 1,8 km/h che, rapportata alla larghezza di lavoro coperta, determinata dall'interfilare di trapianto (3m), si traduce in una capacità di lavoro effettiva di 0,54 ha h^{-1};

Tabella 2 - Risultati operative delle machine impiegate.

	U.M.	**Lavorazione ridotta (RT)** Prototipo Falc/Cra-Ing	**Preparazione tradizionale (CT)**			
			Ripuntatore	Aratro	Prima erpicatura	Seconda erpicatura
Velocità effettiva	km h^{-1}	1,91	2,66	1,51	2,20	4,28
Velocità operative	km h^{-1}	1,80	2,48	1,37	2,09	4,00
Capacità di lavoro	ha h^{-1}	0,54	0,75	0,41	0,63	1,20
Tempo effettivo di lavoro	%	94,93	94,12	91,38	96,17	93,10
Tempo accessorio	%	5,07	5,88	8,62	3,83	6,90
Totale	%	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

poiché i rendimenti riscontrati sono stati dell'ordine del 94,93% la capacità di lavoro operativa è risultata di circa due ore ad ettaro (1,51').

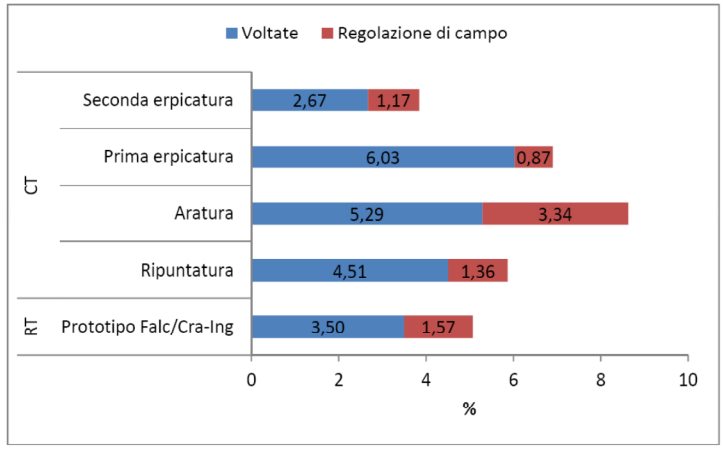


Figura 5 - Dettaglio di tempi morti per voltate e regolazioni di campo registrati per la preparazione del terreno mediante lavorazione ridotta (RT) o tradizionale (CT).

Nel dettaglio (Fig. 5), il prototipo ha mostrato una buona flessibilità e manovrabilità richiedendo il 3,5% del tempo totale di lavoro per i ritardi e le svolte, con dei tempi per le regolazioni di campo superiori rispetto ai due erpici e all'aratro reversibile (ripuntatore).

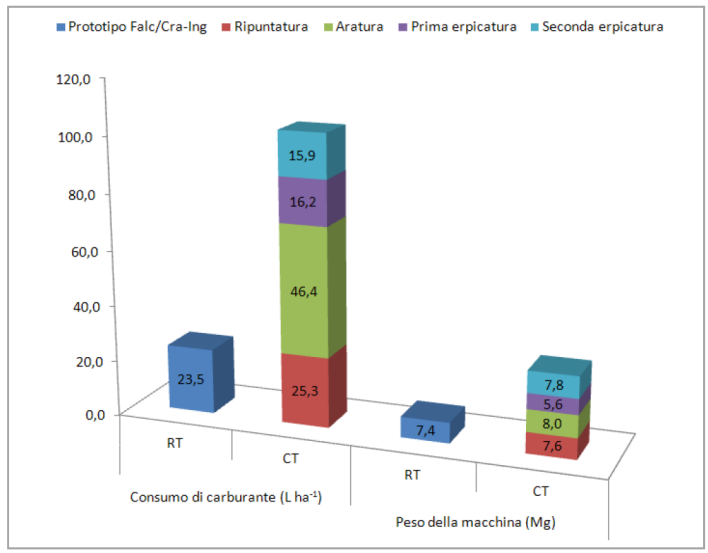


Figura 6 - Consumo di carburante (L ha^{-1}) e peso delle macchine (Mg) relativi ai cantieri di lavoro usati nella lavorazione ridotta (RT) o tradizionale (CT).

Dal punto di vista dell'impatto ambientale dei due sistemi di coltivazione, è chiaro che lo stesso obiettivo in termini di risultato agronomico è stato raggiunto attraverso una riduzione del consumo di carburante e dell'intensità di traffico con un conseguente minor carico delle macchine sul suolo (Fig. 6). Per quel che concerne i consumi, si è avuto un risparmio di 80,3 L ha^{-1} (103,8 l ha^{-1} come somma del consumo di carburante con il CT *vs* 23,5 L ha^{-1} con RT) pari al 77% del combustibile totale richiesto per la preparazione del terreno con il CT. In relazione al carico del traffico, la preparazione per l'impianto è stata effettuata sottoponendo il terreno ad un peso di 7,4 Mg con la lavorazione ridotta (RT) contro un peso complessivo di 29,0 Mg (seppure differito in quattro passaggi) registrato con la preparazione tradizionale (CT). Ciò riduce fortemente il calpestio del terreno (Tab. 3).

Tabella 3 - Superficie di suolo interessata dal calpestio dei cantieri utilizzati nella prova.

Lavorazione	Larghezza dei pneumatici del trattore (mm)		Peso della macchina (Mg)	Larghezza		
	Anteriori	Posteriori		Calpestata[a] (m)	Lavorata (m)	Rapporto calpestata/lavorata (%)
Preparazione tradizionale (CT)						
Ripuntatura	540	710	7,60	1,42	2,0	71,0
Aratura	540	710	8,04	1,42	1,2	118,3
Prima erpicatura	380	420	5,64	0,84	3,0	28,0
Seconda erpicatura	540	710	7,82	1,42	3,0	47,3
Lavorazione ridotta (RT)						
Prototipo Falc/Cra-Ing	380	420	7,44	0,84	3,0	28,0

[a] Calcolata per gli pneumatici posteriori

Il costo orario del prototipo è risultato in linea con i valori calcolati per gli altri trattamenti, con la sola eccezione dell'erpice rotativo (Tab. 4). Tenendo conto della sua capacità di lavoro (0,54 ettari h^{-1} – Tab. 2), il costo per unità di superficie del RT è risultato piuttosto alto (109,46 € ha^{-1}), appena inferiore al valore osservato per l'aratura (139,44 € ha^{-1}). Tuttavia, poiché per la lavorazione ridotta (RT) la preparazione del terreno prevede l'utilizzo solo del prototipo, il costo per unità di superficie è limitato a questo intervento con una riduzione di circa il 65,8% dei costi di preparazione del terreno rispetto al CT.

Tabella 4 – Aspetti economici dei cantieri analizzati nella prova.

Operazione	Costo orario (€ h^{-1})	Costo per unità di superficie (€ ha^{-1})
Preparazione tradizionale (CT)		
Ripuntatura	54,23	72,31
Aratura	57,17	139,44
Prima erpicatura	40,20	63,81
Seconda erpicatura	53,87	44,89
Lavorazione ridotta (RT)		
Prototipo Falc/Cra-Ing	54,97	109,46

4. Conclusioni

I due sistemi di lavorazione (lavorazione convenzionale *vs* lavorazione ridotta) hanno mostrato profonde differenze in termini di produttività delle macchine e di convenienza economica. Il punto di forza del prototipo Falc/Cra-Ing è costituito dalla possibilità di ridurre il numero di operazioni in campo con tutti i problemi ad essa legati: rischio di un eccessivo compattamento del suolo, necessità di trovare il terreno in buone condizioni per l'accessibilità delle macchine, aumento delle emissioni a causa di tecniche colturali intensive, aumento dei consumi.

Il prototipo ha messo in evidenza la scelta strategica di combinare un ripuntatore profondo, che richiede un notevole sforzo di trazione, con un rotoaratro, il quale, utilizzando l'energia fornita dalla presa di potenza, imprime una spinta favorevole all'avanzamento. Rispetto alla tecnica tradizionale la lavorazione del terreno con l'aratro rotativo modificato ha permesso uno sviluppo comparabile delle piante, ma con un miglioramento della loro percentuale di sopravvivenza dopo l'impianto. Ciò è probabilmente dovuto ad una maggiore facilità di approfondimento delle radici, quest'ultima favorita dalla possibilità di posizionamento delle talee in corrispondenza delle fessurazioni profonde, condizione non sempre ottenibile ricorrendo alla tradizionale discissura profonda prima dell'aratura.

L'utilizzo del prototipo rende, così, possibile l'introduzione del pioppo ad uso energetico nelle aree del Nord e Centro Italia dove le pratiche agricole tradizionali hanno causato la formazione di un crostone di lavorazione in grado di influenzare negativamente il successo dell'impianto. La sopravvivenza delle talee durante il pri-

mo anno vegetativo può aver luogo senza ricorrere ad irrigazioni di soccorso, permettendo la diffusione della coltura anche in realtà non facilmente irrigabili.

La preparazione del terreno in un unico passaggio è sicuramente vantaggiosa anche da un punto di vista agronomico, economico e ambientale e può essere considerata una valida alternativa al lavoro tradizionale in termini di risparmio energetico.

Bibliografia

Baraldi G., Capelli G., 1973. Elementi tecnici per il calcolo del costo di esercizio delle macchine agricole. Genio Rurale 36, 37-76.

Bonari E., Picchi G., Guidi W., Piccioni E., Fraga A., Villani R., 2004. Le colture da energia. In: Quaderno ARSIA "Le colture dedicate ad uso energetico: il progetto Bioenergy Farm", Ed. ARSIA, Firenze, pp. 29-78.

Balbuena R., Mac Donagh P., Marquina J., Jorajuria D., Terminiello A., Claverie J., 2002. Wheel traffic influence on poplar regeneration and grass yield. Biosystems engineering 81(4), 379-384.

Manzone M., Airoldi G., Balsari P., 2009. Energetic and economic evaluation of a poplar cultivation for the biomass production in Italy. Biomass and Bioenergy 33, 1258-1264.

Pari L., Fredrizzi M., 2005. Migliora l'efficienza del pioppo a ciclo annuale. L'Informatore Agrario 30, 54-58.

Pari L., Civitarese V., Del Giudice A., 2010. Abbattitrice andanatrice. Versione precommerciale della macchina. In: Innovazioni tecnologiche per le agro energie. Sinergie tra ricerca e impresa. Sherwood 168, supplemento 2, pp. 6-10.

Pari L., Civitarese V., 2010. Una semovente per la raccolta e la cippatura. Sviluppo di una macchina dedicata alle colture da biomassa. In: Innovazioni tecnologiche per le agro energie. Sinergie tra ricerca e impresa. Sherwood 168, supplemento 2, pp. 11-13.

Pezzi F., 2004. Regolazioni e prestazioni di un coltivatore rotativo. Riv. di Ing. Agr. 1, 43-50.

Salvati R., Chirici G., Corona P., 2007. Modello di valutazione dell'attitudine fisica del territorio per la realizzazione di mpianti cedui da biomassa in Italia. L'Italia forestale e Montana 5/6, 399-410.

Verani S., Sperandio G., Di Matteo G., 2010. Analisi del lavoro della Claas Jaguar 880 con testata GBE-1 nella raccolta di un pioppeto da biomassa. Forest@ 7, 22-27.

2 - Concimazione ed irrigazione del pioppeto per produzione di biomassa

Fertilization and irrigation of poplar for biomass production

Gianni Facciotto*

Riassunto

Concimazione ed irrigazione sono due interventi colturali costosi in termini energetici ed economici per cui vanno effettuati con oculatezza poiché il legno sminuzzato sul mercato spunta prezzi piuttosto bassi. Anche se le prove di concimazione effettuate in cedui di pioppo costituiti su suoli di buona fertilità non hanno dato incrementi produttivi statisticamente significativi, con la rimozione periodica della biomassa lentamente si impoverisce il terreno. Per evitare ciò è necessario ricorrere alla concimazione di mantenimento al fine di restituire almeno le quantità di nutrienti asportati con la raccolta. In cedui di pioppo biennali o quinquennali con ciclo di vita di dieci anni, per non intaccare le riserve nutritive del suolo, è necessario somministrare complessivamente 350÷600 kg ha^{-1} di N_2, 150÷200 kg ha^{-1} di P_2O_5 e 350÷420 kg ha^{-1} di K_2O. È consigliabile interrare il fosforo e il potassio con le lavorazioni di preparazione all'impianto. La concimazione azotata potrebbe essere effettuata ogni due anni nei cedui con raccolta biennale, appena dopo la ceduazione o all'inizio del secondo anno di ogni turno; nei primi tre anni dopo l'impianto o la ceduazione invece nei cedui a turno quinquennale. La dose d'azoto va frazionata in più applicazioni nel periodo compreso tra la germogliazione e l'inizio dell'estate localizzandola in prossimità della fila se l'operazione è svolta nell'anno dell'impianto, altrimenti va distribuita su tutta la superficie negli anni successivi quando ormai le piante o le ceppaie hanno un apparato radicale ben sviluppato. Il consumo idrico può essere stimato in riferimento alla quantità di acqua traspirata per elaborare l'unità di sostanza secca. Nel caso del clone di *Populus* ×*canadensis* 'I-214' è stato determinato spe-

* CRA –Unità di Ricerca per le Produzioni Legnose fuori Foresta.

rimentalmente che sono necessari circa 350 litri di acqua per produrre 1 kg di sostanza secca, altri cloni possono essere meno esigenti. L'irrigazione pur non essendo indispensabile nella pianura padana, se effettuata distribuendo complessivamente nel periodo estivo tra i 150 e 200 mm di acqua permette di aumentare la produzione di biomassa. I metodi d'irrigazione più diffusi sono essenzialmente due: a scorrimento e per aspersione; recentemente sono stati testati anche sistemi d'irrigazione a goccia che consentono un utilizzo razionale dell'acqua evitando gli sprechi.

Parole chiave: Pioppo, cedui a turno breve, irrigazione, concimazione, produzione.

Abstract

Fertilization and irrigation are two expensive operation from energetic and economic point of view particularly if we consider that the wood material produced has small economic value. The regular removal of woody biomass from the plantation site may result in a decrease in site fertility and crop yield. To maintain site productivity, it may be necessary to add fertiliser in either an organic or inorganic form. The need for fertiliser will depend on the initial nutrient status of the site and of the quantity of material being removed. Usually on land previously utilized to grow food crops, there is no significant increase in biomass production through fertilization in the first years of the rotation; only plantation established on less fertile sites like the soil characterized by low pH or sandy texture, may require the addition of fertilizer. On the basis of tests carried out in Italy we can state that the quantities of nutrients necessary to avoid fertility decrease range between 350 and 600 kg ha^{-1} of N_2, from 150 and 200 kg ha^{-1} of P_2O_5 and from 350 and 420 kg ha^{-1} di K_2O according to the densities and rotation adopted. The addition of phosphorus and potassium is usually done before the ploughing. Nitrogen can be spread every two years in the coppices with biennial rotation, in the year after the harvest or at the beginning of the second growing season of each rotation. It can be spread in the spring of first three years after the establishment in coppices with 5 or 6 year rotation. For biological and particularly for environmental reasons nitrogen fertilizer should be divided in two or more applications during the period from April to June. In northern Italy water consumption of poplar can be estimated in reference to water quantity transpired to produce 1 kg of dry matter. In the case of the clone of Populus ×canadensis *'I-214' this value has experimentally been determined around 350 liters of water per kg of dry matter, for other clones should be different. The irrigation is not essential in the Po river plane. But if a plantation is irrigated with a total volume ranging from 150 to 200 mm of water distributed during Summer period the production of biomass increases. The more diffused methods of irrigation are essentially two: surface and sprinkler irrigation; recently also drip irrigation is utilized.*

Keywords: *Poplar, short rotation coppice, fertilization, irrigation, production.*

Concimazione

Con la rimozione periodica della biomassa da destinare alla produzione energetica si determina a lungo andare una riduzione della fertilità del suolo e di conseguenza anche della produzione. Per evitare l'impoverimento del suolo è necessario ricorrere periodicamente alla concimazione, sotto forma organica o minerale, con quantitativi tali da restituire al terreno almeno le quantità di nutrienti asportati con la raccolta (Tab. 1).

Tabella 1 - Cedui a turno breve di pioppo. Asportazioni espresse in kg di nutrienti per tonnellata di sostanza secca (legno e corteccia).

Densità d'impianto (piante ha^{-1})	Ciclo di raccolta (anni)	N_2	P_2O_5	K_2O	CaO
10.000	2	5,6	2,1	4,2	7,5
1.000÷2.500	5÷6	3,5	1,5	3,5	6,5

Considerando i dati di asportazione riportati in tabella 1 si può facilmente arguire che la quantità di elementi nutritivi rimossi dal suolo risulta correlata con la densità d'impianto e con la l'età delle piante alla raccolta. Con elevate densità e cicli di raccolta brevi le piante hanno dimensioni diametriche ridotte, quindi un maggior contenuto percentuale di corteccia e di conseguenza meno legno. Il maggior contenuto di corteccia ha un riflesso negativo anche sulla combustione della biomassa: il potere calorifico della corteccia è inferiore a quello del legno e l'elevata contenuto di nutrienti significa maggior produzione di ceneri..

Per mantenere la fertilità del suolo e per assicurare buone produzioni non è però sufficiente restituire solo ciò che si presume venga asportato. Il terreno non è infatti un substrato inerte ma sede di una complessa attività biotica e chimica, e occorre tener conto, oltre che della disponibilità di nutrienti rilevata con accurate analisi chimiche, anche delle perdite dovute ad immobilizzazioni, trasformazioni e dilavamento, fenomeni variabili a seconda della stagione, del tipo di suolo e di fertilizzante usato.

A titolo indicativo per una concimazione di mantenimento, di piantagioni con ciclo di vita decennale, sufficiente a non intaccare le riserve nutritive del suolo, si potrebbero somministrare complessivamente 350÷600 kg ha^{-1} di N_2, 150÷200 kg ha^{-1} di P_2O_5 e 350÷420 kg ha^{-1} di K_2O. È consigliabile interrare il fosforo e il potassio con le lavorazioni di preparazione all'impianto; l'azoto va invece somministrato in superficie, frazionando la dose in più applicazioni nel periodo compreso tra la germogliazione e l'inizio della stagione estiva. La concimazione azotata potrebbe essere effettuata ogni due anni, appena dopo la ceduazione o all'inizio del secondo anno di ogni turno nei cedui con raccolta biennale; oppure nei primi tre anni dopo l'impianto e la ceduazione nei cedui a turno quinquennale. Il concime azotato va localizzato in prossimità della fila se l'operazione è svolta nell'anno dell'impianto altrimenti deve

essere distribuito su tutta la superficie negli anni successivi quando ormai le piante o le ceppaie hanno un apparato radicale ben sviluppato. Per evitare inquinamenti della falda, l'azoto deve essere distribuito in quantità annuali non superiori a 120 kg ha^{-1}; ogni singola somministrazione non deve superare i 60 kg ha^{-1}.

Fra gli interventi colturali previsti per i cedui a turno breve, la concimazione è quello più impegnativo con elevati costi energetici, ambientali ed economici; questa pratica però non sempre è necessaria poiché da sperimentazioni svolte sia in Italia (Frison, 1987; AA.VV., 2006) che all'estero (Mitchell *et al.*, 1995) si evince che la fertilizzazione di impianti di pioppo, cedui a turno breve o pioppeti a turno decennale, costituiti su suoli precedentemente coltivati con colture tradizionali, abbondantemente concimate, per almeno alcuni anni non determina incrementi statisticamente significativi di produzione. Anche le piantagioni costituite su aree golenali, soggette a periodiche inondazioni e caratterizzate frequentemente da suoli sciolti, profondi, freschi, riescono a dare buone produzioni legnose senza l'apporto di fertilizzanti chimici.

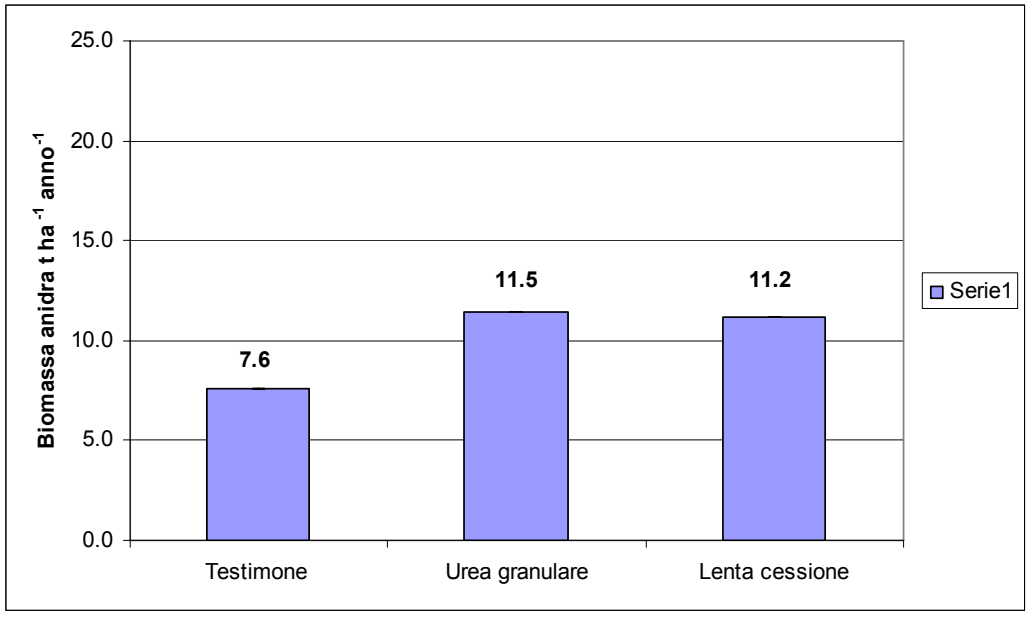


Figura 1 - Produzione di biomassa secca in t ha^{-1} $anno^{-1}$ di un ceduo sperimentale di pioppo bianco con densità di 1.667 p ha^{-1} al sesto anno dall'impianto.

La fertilizzazione da, invece, risultati apprezzabili sui suoli con tessitura grossolana, o su quelli caratterizzati da pH acido, bassa capacità di scambio e con carenze di elementi nutritivi (Frison e Facciotto, 1992; Ledin and Willebrand, 1996). A titolo d'esempio in un impianto sperimentale di pioppo bianco situato in terreni sabbiosi della provincia di Pavia dove sono stati posti a confronto differenti tipi di concimi azotati (urea e un concime a lenta cessione) con un testimone non trattato, la conci-

mazione è stata iniziata al secondo anno dall'impianto e proseguita fino al quarto anno distribuendo nei tre anni rispettivamente 60, 90 e 120 Kg ha^{-1} di N. Alla fine del 6° anno le differenze tra le parcelle testimone e quelle concimate sono evidenti (Fig.1), fatto 100 la produzione del testimone le parcelle trattate hanno prodotto circa il 50% in più; non risultano differenze significative invece tra i concimi azotati utilizzati.

Nel caso di carenze minerali, accertate in base a risultanze analitiche, è necessario intervenire con fertilizzazioni mirate, limitate al momento dell'impianto e dopo ogni ceduazione.

Gli effetti della concimazione, compresa quella azotata, possono annullarsi in caso di scarsa disponibilità idrica. Questo fenomeno è stato osservato nelle annate molto asciutte del 2003 e del 2006-2007 nelle concimazioni effettuate in impianti delle province di Alessandria e di Pavia. Molto indicata risulta in ogni caso la concimazione organica fatta con letame o sovescio di leguminose che contribuisce ad aumentare il contenuto di carbonio nel suolo.

Irrigazione

Anche l'irrigazione, come la concimazione è una pratica costosa in termini energetici e soprattutto economici, è perciò applicabile come intervento di soccorso nel primo anno di coltivazione per permettere l'affrancamento delle giovani piantine o nel quadro di modelli colturali intensivi. Negli ambienti padani, pur non essendo in assoluto indispensabile, è in grado di elevare la quantità della produzione di biomassa. Dato che il legno sminuzzato ha un prezzo di mercato abbastanza basso, per evitare che la coltura diventi antieconomica, l'irrigazione va attentamente gestita con interventi ben dosati ed effettuati al momento opportuno.

Il consumo idrico può essere stimato in riferimento alla quantità di acqua traspirata per elaborare l'unità di sostanza secca. Nel caso del clone di *Populus ×canadensis* 'I-214' è stato determinato sperimentalmente, presso il CRA-PLF, che sono necessari circa 350 litri di acqua per produrre 1 kg di sostanza secca (AA.VV, 2006). Altri cloni possono richiedere minori quantità di acqua però questo valore può essere considerato di riferimento; i 350 litri moltiplicati per la presumibile resa annua della coltura (per le coltivazioni arboree da biomassa la resa può essere identificata con l'incremento annuo) determinano il fabbisogno idrico annuale della coltura. Detraendo dal valore ottenuto la quantità di acqua fornita dalle piogge e tenendo conto dalla riserva idrica disponibile nel suolo e dell'eventuale apporto della falda si può quantificare la necessità di acqua da irrigazione. Normalmente in pianura padana distribuendo tra i 150 e 200 mm di acqua nel periodo estivo si riesce a mantenere un buon ritmo di accrescimento.

Nel caso di modelli colturali semiestensivi, in suoli con falda non raggiungibile da parte delle radici o nelle situazioni di prolungata siccità primaverile-estiva è ne-

cessario intervenire con irrigazioni di soccorso, al fine di evitare arresti di crescita nel periodo di più intensa attività vegetativa.

Per stabilire il momento di intervento si possono seguire diversi criteri; molto spesso si conducono osservazioni sommarie, a livello di pianta, terreno e andamento climatico stagionale; con l'ausilio di sensori di umidità del suolo o con il calcolo della quantità evapotraspirata, partendo dai dati climatici, si ottengono risultati migliori.

I metodi d'irrigazione più diffusi sono essenzialmente due: a scorrimento e per aspersione; recentemente sono stati testati anche sistemi di irrigazione a goccia che consentono un utilizzo razionale dell'acqua evitando gli sprechi per ruscellamento o percolazione negli strati profondi del suolo che si hanno con il sistema a scorrimento o la bagnatura delle chiome provocate dal sistema a pioggia, che può favorire lo sviluppo dei parassiti fogliari come le Ruggini.

La scelta del metodo dipende dalla sistemazione del terreno, dalla disponibilità di acqua irrigua e dalle attrezzature in dotazione all'azienda. Il metodo a scorrimento richiede grosse portate (800 m^3 ha^{-1} circa) e trova una limitazione nei terreni troppo sciolti o non pianeggianti. Il metodo per aspersione richiede portate inferiori (300-400 m^3 ha^{-1}) e può essere utilizzato anche in terreni non pianeggianti. Quello a goccia è il più versatile, riduce al minimo i volumi di acqua e con l'automazione anche la manodopera; però i costi del materiale e dell'installazione pur essendosi ridotti rispetto a quelli di alcuni anni fa sono ancora tali da permetterne l'impiego solo nelle coltivazioni ad alto input dove le produzioni attese possono superare le 20-25 t ha^{-1} $anno^{-1}$ di sostanza secca.

Di seguito si riportano i primi risultati di due esperienze di irrigazione con metodo a goccia ancora in corso. In un impianto sperimentale del clone 'Imola', con densità di 1.111 piante per ettaro, situato in un terreno a tessitura sabbiosa dell'azienda sperimentale Mezzi di Casale Monferrato del CRA-PLF, dove sono a confronto parcelle testimone ed irrigate con il metodo a goccia, dopo due anni di coltivazione le differenze tra le tesi sono molto evidenti (Fig 2). Quelle irrigate hanno prodotto quasi il doppio di sostanza secca delle testimone: 17,7 contro 9,6 t ha^{-1} $anno^{-1}$.

In una altra prova condotta in nell'azienda 'I Cigni', sita nel comune di Villanterio (PV), in un impianto sperimentale del clone 'AF2' con densità di 1.143 p ha^{-1}, dove erano a confronto parcelle testimone e parcelle irrigate con il metodo a goccia solo nei primi due anni dall'impianto, al quarto anno di coltivazione le produzioni di biomassa secca del testimone e dell'irrigato non differiscono in maniera statisticamente significativa, risultano rispettivamente 16 e 18 t ha^{-1} $anno^{-1}$ (Fig. 3), anche se comunque quelle del testimone sono inferiori.

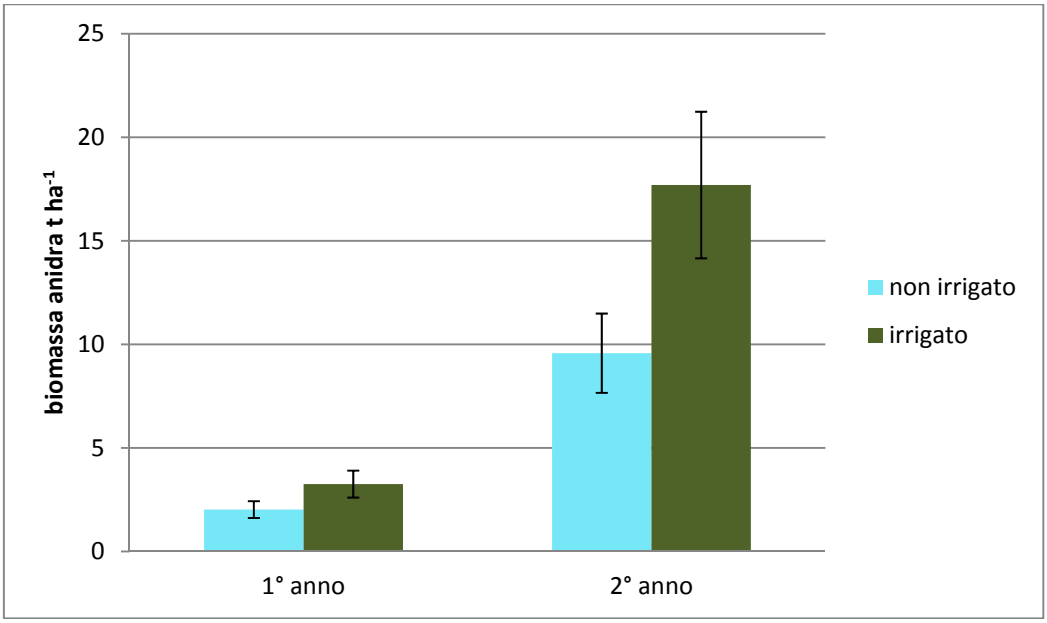


Figura 2 - Casale Monferrato (AL). Produzione annuale di biomassa secca epigea (fusto e rami) alla fine del 1° e del 2° anno in un impianto sperimentale del clone 'Imola'.

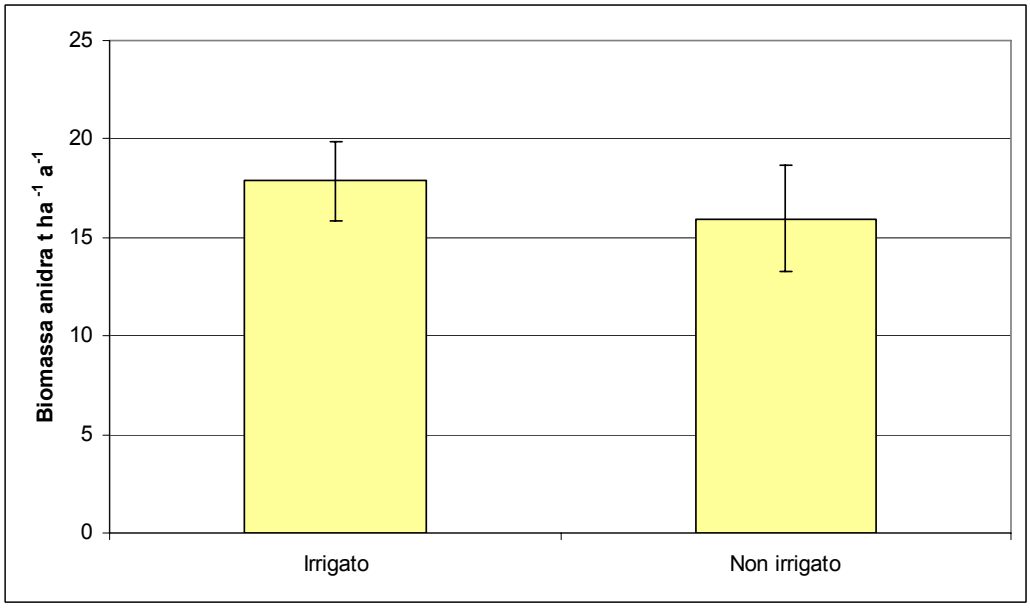


Figura 3 - Villanterio (PV). Produzione di biomassa secca in un impianto sperimentale del clone AF2 oggetto di prova d'irrigazione.

Figura 4 - Villanterio (PV): Piante del clone AF2 alla fine della quarta stagione vegetativa della parcella irrigata.

Si notano però differenze nello sviluppo delle piante irrigate e no. Poiché in fase d'impianto sono stati utilizzati taleoni di circa 1 metro di lunghezza posti alla profondità di 70-80 cm, questi hanno da subito sviluppato fino a due o tre ricacci ciascuno; a quattro anni di distanza, nelle parcelle irrigate (Fig. 4), uno dei ricacci ha preso il sopravvento sviluppando una pianta di buone dimensioni, quelli secondari sono rimasti dominati o addirittura sono morti; mentre nelle parcelle testimone sono rimasti vitali e si sono accresciuti anche i ricacci secondari. come si può notare osservando figura 5.

Bibliografia

AA.VV., 2006. Pioppicoltura: produzioni di qualità nel rispetto dell'ambiente. Online URL:www.populus.it.

Frison G., 1987. Recenti orientamenti sulla concimazione del pioppo nella Valle padana. Rivista di Economia e Attualità della Camera di Commercio Industria Artigianato e Agricoltura di Mantova n.148. 41-58.

Figura 5 - Villanterio (PV): Piante del clone AF2 alla fine della quarta stagione vegetativa della parcella non irrigata.

Frison G., Facciotto G., 1992. Possibilities of poplar cultivation in acid, saline and calcareous soils. XIX Session FAO/IPC, Zaragoza 1992. 46 pp.

Ledin S., Willebrandt E., 1996. Handbook on how to grow short rotation forests.

Mitchell C.P., Stevens E.A., Watters M.P., 1999. Short-rotation forestry ± operations, productivity and costs based on experience gained in the UK. Forest Ecology and Management 121, 123-136.

3 - Guida al diserbo del pioppo in ambiente meridionale

A guide to Poplar weeding in the Mediterranean environment

Marcello Scarcella*, A. Domenico Palumbo **, Achille Giorcelli*, Massimo Gennaro*****

Riassunto

L'assenza di interventi erbicidi si traduce in perdite produttive elevatissime per il pioppo. Il diserbo nei cedui a turno brevissimo assume importanza cruciale nella gestione del pioppeto.

Anche quando il materiale di propagazione è affrancato, la presenza di infestanti deve essere controllata, in quanto può determinare irregolarità di accrescimento e perdita di produzione.

Il problema principale del diserbo consiste nel rintracciare erbicidi, in particolare dicotiledonicidi somministrabili alle talee germogliate.

I Principi attivi (p.a.) appartenenti al gruppo degli inibitori dell'acetil-CoA carbossilasi si possono utilizzare in campo pioppicolo in post-emergenza, perché consentono interventi anche tardivi di contenimento delle infestanti monocotiledoni, nonostante non assicurino anche la lotta alle dicotiledoni. A tal fine occorre unire l'utilizzo in pre-emergenza dei residuali dicotiledonicidi Isoxaben o Propyzamide, principi attivi impiegabili in vivaio, e Phenmedipham, Desmedipham e Ethofumesate in post-emergenza per

* CRA-CAR – Unità di ricerca per l'individuazione e lo studio di colture ad alto reddito in ambienti caldo-aridi.

** CRA-SCA – Unità di ricerca per i sistemi colturali degli ambienti caldo-aridi.

*** CRA-PLF – Unità di ricerca per le produzioni legnose fuori Foresta.

limitare le infestanti a foglia larga perché utilizzabili, sia pur con qualche margine di rischio, su piantine di pioppo ancora erbacee.

Parole chiave: erbicidi, Isoxaben, Propyzamide, *Populus*, fitotossicità, biomassa.

Abstract

The absence of specific herbicides causes very high productive losses in poplar orchard. The weeding of short rotation coppices is crucial for poplar management.

Even after the rooting of cuttings, the presence of weeds should be controlled because they can cause irregular growth and productive loss. The main problem of weeding is finding the dicotyledonicide herbicides, particularly those to be applied to sprouted cuttings.

The active principles (a.p.) belonging to the group of acetil-CoA carboxilase inhibitors can be used in the poplar field after emergence. Moreover, they also allow late treatments for monocotyledon weed control, although they are not enough against the dicotyledonous species.

Therefore, it is necessary to combine the use of Isoxaben or Propyzamide, active principles used in the nursery, with Phenmedipham, Desmedipham and Ethofumesate in order to control the number of large leaf weeds, because they can be used -with some degree of risk- for poplar plantlets at the early herbaceous stages.

***Keywords**: herbicide, Isoxaben, Propyzamide,* Populus*, herbicides, phytotoxicity, biomass.*

Introduzione

Il diserbo, specialmente in vivaio e nelle colture dedicate per la produzione di bioenergia, è uno dei punti critici per la coltivazione del pioppo.

Figura 1 - Troia (Fg), febbraio 2011, inerbimento in un pioppeto di un anno.

Figura 2 - Rutigliano (Ba), aprile 2011, pioppeto di un anno dopo l'erpicatura tra i filari.

Infatti, nei cedui a turno brevissimo ed elevata densità utilizzati per la produzione di biomassa, questa operazione assume importanza cruciale in una gestione della coltura che tende ad ottenere una redditività accettabile.

Le infestanti, se non adeguatamente contenute nei primi stadi di sviluppo, possono competere con i germogli da poco emessi dalle talee per acqua, nutrienti e luce e limitarne, in seguito, l'accrescimento.

Figura 3 - Rutigliano (Ba), maggio 2010, germoglio di pioppo da talea frigo conservata (1 settimana dopo la messa a dimora).

Figura 4 - Troia (Fg), maggio 2011, talea germogliata di pioppo in un appezzamento senza controllo della flora avventizia.

Anche quando il materiale di propagazione è affrancato, la presenza di infestanti deve essere controllata, in quanto può determinare irregolarità di accrescimento e perdita di produzione (Anselmi e Giorcelli, 1983).

Figura 5 - Troia (Fg), maggio 2011, pioppeto al primo anno dall'impianto, in un appezzamento senza il controllo della flora avventizia.

Figura 6 - Troia (Fg), maggio 2011, pioppeto al primo anno dall'impianto, in un appezzamento senza il controllo della flora avventizia.

Il problema principale del diserbo consiste nel rintracciare erbicidi, in particolare dicotiledonicidi somministrabili alle talee germogliate (Aird, 1962; Anselmi e Cellerino, 1980; Buhler *et al.*, 1998). I trattamenti di pre-emergenza al pioppo (ad oggi pra-

tica prevalente usata da tutti i pioppicoltori) non salvaguardano l'impianto fino all'affrancamento. Gli interventi sulla fila di sola sarchiatura meccanica o manuale, invece, risultano quasi sempre economicamente svantaggiosi.

Il controllo delle infestanti comincia con la preparazione del suolo prima dell'impianto e deve continuare per tutta la stagione vegetativa dell'anno d'impianto e in quelle successive ad ogni ceduazione combinando lotta chimica e meccanica. Mentre nel secondo, ed eventualmente nel terzo anno di ogni turno quando le chiome sono ben sviluppate, la lotta chimica non è necessaria ed il controllo delle infestanti si limita ad una o due erpicature.

Figura 7 - Rutigliano (Ba), aprile 2011, pioppeto dopo la sarchiatura.

Figura 8 - Rutigliano (Ba), aprile 2011, pioppeto prima della sarchiatura.

Si sottolinea, però, che i formulati commerciali autorizzati, specifici per il pioppo sono pochi. Gli erbicidi ammessi a volte manifestano fenomeni di tossicità sul pioppo (Giorcelli e Vietto, 1996; Giorcelli *et al.*, 2009). In particolare il pioppo mostra una spiccata sensibilità verso i dicotiledonicidi quando i germogli di pioppo sono già presenti (post-emergenza del pioppo). Infine si deve sottolineare che gli interventi chimici in pioppicoltura sono difficili da praticare.

Principi attivi per il diserbo

Seguendo la classificazione HRAC e WSSA (*Herbicide Resistance Action Committee - Weed Science Society of America)*, si riportano qui di seguito le principali caratteristiche biochimiche e fitoiatriche, di alcuni tra i più diffusi principi attivi (p.a.) e le modalità di impiego (Giorcelli *et al.*, 2009). Si riportano solo quei principi attivi che, sulla base di specifiche sperimentazioni condotte recentemente, hanno dato buoni risultati in termini di non tossicità sul pioppo e efficacia nella lotta alle malerbe.

La lettera maiuscola e il numero in parentesi indicano, rispettivamente, la classificazione HRAC e WSSA (Cobb e Kirkwood, 2000; Mallory-Smith e Retzinger, 2003).

I due sistemi di classificazione sono abbastanza simili e condividono il criterio di integrare il loro bersaglio metabolico, la modalità di azione, le similitudini di azione, i sintomi indotti.

Inibitori dell'acetil-CoA carbossilasi (A, 1)

Interferiscono con la biosintesi dei lipidi. Appartengono a questo gruppo: arilossifenossipropionati ("FOPs") e cicloesandioni ("DIMs"). Sono principi attivi sistemici da distribuire in post-emergenza.

- **Arilossifenossipropionati**
  DICLOFOP-METHYL; FLUAZIPOP-BUTYL (scadenza 31/12/2012) e FENOXAPROP-P-ETHYL, efficaci sulle graminacee, anche perennanti.
- **Cicloesandioni**
  CYCLOXYDIM, efficace sulle graminacee, anche perennanti.

Inibitori della fotosintesi al fotosistema II (C1-C2, 5-7)

Inibiscono il flusso di elettroni dall'acqua al NAPH. Quelli descritti appartengono al gruppo dei bis-carbammati e delle feniluree. Sono efficaci sulle dicotiledoni.

- **Bis-carbammati (C1, 5)**
  DESMEDIPHAM, sistemico, distribuito in post-emergenza;
  PHENMEDIPHAM, sistemico, distribuito in post-emergenza.
- **Feniluree (C2, 7)**
  LINURON, residuale distribuito in pre-emergenza.

Inibitori della protoporfirinogeno ossidasi (E, 14)

Hanno un effetto fotodinamico (induzione al buio di accumulo di inibitori della clorofilla con danni foto-ossidativi dopo l'esposizione alla luce). Sono ammessi difenileteri e ossidiamoli.

- **Difenileteri**
  OXYFLUORFEN, efficace su monocotiledoni e dicotiledoni, residuale e di contatto è utilizzato sopratutto in pre-emergenza (autorizzato in vivaio, scadenza 31/12/2012).
- **Ossidiazoli**
  OXADIAZON, efficace su monocotiledoni e dicotiledoni di contatto è utilizzato in pre-emergenza (autorizzato in vivaio).

Inibitori della EPSP sintasi (G, 9)

Inibiscono l'enzima EPSP sintasi, con accumulo di acido scichimico, precursore della biosintesi degli aminoacidi aromatici fenilalanina e tiroxina, con conseguente blocco della produzione di composti fenolici. Questi erbicidi appartengono alla famiglia chimica delle glicine.

- **Glicine**
  GLYPHOSATE, sistemico è usato in post-emergenza, attivo contro dicotiledoni e monocotiledoni, conduce al disseccamento entro un mese (autorizzato in vivaio e su pioppo).

Inibitori dell'assemblaggio dei microtubuli (K1, 3)

Interferiscono sulla mitosi. Appartengono a questo gruppo i principi attivi delle famiglie delle dinitroaniline e benzamidi. Attivi contro dicotiledoni e monocotiledoni, distribuiti in pre-emergenza.

- **Dinitroaniline**
  PENDIMETHALIN, residuale utilizzato in certe circostanze in miscela con linuron e metolachlor. Nella sperimentazione questa miscela costituisce il 'testimone'.

- **Benzamidi**
  PROPYZAMIDE, residuale (autorizzato in vivaio).

Inibitori della formazione dei VLCFAs, Very Long Chain Fatty Acids (K3, 15)

Interferiscono, ed inibiscono in seguito, la sintesi di acidi grassi a lunga catena provocando molteplici disordini. Sono descritti esponenti delle cloroacetamidie delle ossiacetamidi, attivi contro monocotiledoni e dicotiledoni, distribuiti in pre-emergenza.

- **Cloroacetamidi**
  DIMETHENAMID-P, citotropico;
  S-METOLACHLOR, citotropico.
- **Ossiacetamidi**
  FLUFENACET, sistemico.

Inibitori della biosintesi della cellulosa (L, 21)

Interferiscono in vari stadi nella via metabolica di biosintesi della cellulosa. L'efficacia è in genere limitata alle dicotiledoni.

- **Benzamidi (L, 21)**
  ISOXABEN, residuale, è distribuito in pre-emergenza (autorizzato in vivaio).

Inibitori della biosintesi dei lipidi che non inibiscono l'acetil-CoA carbossilasi (N, 8)

Sono composti di varia composizione chimica e il cui meccanismo di azione non è stato definito.

- **Benzofurani**
  ETHOFUMESATE, sistemico efficace su monocotiledoni annuali e diverse dicotiledoni, distribuito in post-emergenza.

Diserbo primo anno

Nei cedui a turno breve come nei vivai il livello di competizione è più elevato, perciò le infestanti, in questo periodo, vanno controllate con una combinazione di interventi meccanici che garantiscono un adeguato controllo nell'interfila e chimici sulla fila per ridurre gli onerosi interventi manuali (Scarascia Mugnozza e Paris, 2007; Netzer e Hansen, 1994; Vietto e Giorcelli, 1997).

Gli interventi chimici possono essere effettuati in pre-impianto, pre-emergenza e post-emergenza (Hansen e Netzer, 1985; Hansen *et al.*, 1986).

- In pre-impianto, può essere utilizzata una vasta gamma di p.a. non selettivi, che vanno scelti in base alla composizione della flora infestante, per esempio il Linuron ed il Glyphosate per pre e post-emergenza delle infestanti rispettivamente.
- In pre-emergenza, oltre a pendimethalin, differenti p.a. possono essere usati dopo la messa a dimora delle talee e prima che germoglino, miscelandoli in base alle esigenze. Gli interventi possono essere effettuati con Isoxaben, Propyzamide e Dimethenamid-P e con cautela (elevati volumi e dosi minime) Oxadiazon e Oxyfluorfen.
- In post-emergenza, sulle infestanti già comparse con i germogli di pioppo già presenti, si possono usare i monocotiledonicidi Diclofop-Methyl, Fenoxaprop-P-Ethyl, Fluazipop-Butyl, e Cycloxydim con cautela (elevati volumi e dosi minime) ed i dicotiledonicidi Desmedipham, Ethofumesate e Phenmedipham, miscelandoli all'occorrenza per ampliare lo spettro d'azione.

Diserbo anni successivi

Per gli anni successivi nei periodi fra fine inverno e inizio primavera ai p.a. prima descritti per la pre-emergenza può essere aggiunto nelle miscele il Pendimethalin.

Per i trattamenti in fase vegetativa della coltura possono essere usati gli stessi p.a. del primo anno di post-emergenza.

Discussioni e conclusioni

I Principi attivi appartenenti al gruppo degli inibitori dell'acetil-CoA carbossilasi si possono utilizzare in campo pioppicolo in post-emergenza, perché consentono interventi anche tardivi di contenimento delle infestanti monocotiledoni, nonostante non assicurino anche la lotta alle dicotiledoni. A tal fine occorre unire l'utilizzo in pre-emergenza dei residuali dicotiledonicidi Isoxaben o Propyzamide, principi attivi impiegabili in vivaio, e Phenmedipham, Desmedipham e Ethofumesate in post-emergenza per limitare le infestanti a foglia larga perché utilizzabili, sia pur con qualche margine di rischio, su piantine di pioppo ancora erbacee.

Interessanti sono anche i p.a. appartenenti al gruppo degli inibitori della protoporfirinogeno ossidasi (Oxyfluorfen e Oxadiazon), che possono essere somministrati in pre-emergenza come alternativa o supporto all'uso di Isoxaben o Propyzamide.

In attesa di nuovi cloni di pioppo con resistenze ai p.a. esistenti o di p.a. adattabili alla coltura, un controllo razionale può essere effettuato integrando mezzi agronomici, lavorazioni meccaniche ed erbicidi.

Bibliografia

Aird P.L., 1962. Fertilisation, weed control, and the growth of poplar. Forest Science 8: 413-428.

Anselmi N., Cellerino G.P., 1980. Selettività verso il pioppo di 32 diserbanti chimici (primo contributo). Atti Giornate Fitopatologiche 195-202.

Anselmi N., Giorcelli A., 1983. Indagine sui danni delle erbe infestanti nei vivai di pioppo di nuovo impianto. In: Atti Convegno "Le erbe infestanti fattori limitanti della produzione agraria", Perugia 15-16 novembre 1983, pp. 10.

Buhler D.D., Netzer D.A., Riemenschneider D.E., Hartzler R.G., 1998. Weed management in short rotation poplar and herbaceous perennial crops grown for biofuel production. Biomass and Bioenergy Vol. 14, No. 4, pp. 385-394.

Cobb A.H., Kirkwood R.C., 2000. Herbicides and their mechanisms of action. Sheffield Academic Press, Sheffield, USA, pp. 295.

Giorcelli A., Vietto L., 1996. Fitotossicità verso il pioppo di principi attivi diserbanti distribuiti in post-emergenza. *Atti Giornate Fitopatologiche*, 405-412.

Giorcelli A., Deandrea G., Gennaro M., 2009. Indicazioni qualitative sul diserbo chimico del pioppo in vivaio e possibilità di miglioramento alla luce di quindici anni di sperimentazione. *Forest@*, 6, 202-214.

Hansen E.A., Netzer, D.A., 1985. Weed control using herbicides in short rotation intensively cultured poplar plantations. Research Paper NC-260. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, North Central Forest Experiment Station.

Hansen E.A., Netzer, D.A., Woods R.F., 1986. Tillage superior to no-till for establishing hybrid poplar plantations, Tree Planters' Notes, 37(1), 6-10.

Mallory-Smith C.A., Retzinger E.J., 2003. Revised classification of herbicides by site of action for weed resistance management strategies. Weed Technology 17 (3): 605-619.

Netzer D.A., Hansen E.A., 1994. Establishment and tending of poplar plantations in north-central U.S. In Mechanization in Short Rotation, Intensive Culture Forestry, 1-3 March, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Mobile, AL, pp. 79-87.

Scarascia Mugnozza G., Paris P., 2007. Nuovi impieghi ambientali per il pioppo. In: "Il libro bianco della pioppicoltura- Aggiornamento 2007" (Nervo G ed). Commissione Nazionale per il Pioppo, Roma, pp. 90-94.

Vietto L., Giorcelli A., 1997. La gestione delle infestanti in pioppicoltura. *Sherwood - Foreste e Alberi Oggi*, 22, 25-35.

4 - Tecnica colturale della Robinia per produzione di biomassa

Agronomic technique of Robinia for biomass production

Sara Bergante*, Gianni Facciotto*, Maria de Los Angeles Gras*

Riassunto

La *Robinia pseudoacacia* è una specie adatta alla coltivazione in cedui a turno breve (CTB) per la produzione di biomassa. Cresce anche su terreni marginali, necessita di relativamente limitate quantità di acqua, non ha problemi fitosanitari ed è azotofissatrice. In Italia viene coltivata, come i genotipi selezionati di pioppo, salice, ed eucalipto per produrre biomassa, secondo due differenti modelli: 'rado', con spaziature d'impianto a 3 × 3 m o 2 × 3 m (densità di 1.111 -1.667 piante per ettaro - p·ha^{-1}) e ceduazione dei fusti ogni 5-6 anni; 'fitto' con spaziature comprese tra 2 e 3 m tra le file e 0,40 ÷ 0,70 m sulla fila (densità da 6.000 a 10.000 p·ha^{-1}), e ceduazione ogni 2 anni. I due modelli si diversificano per il tipo di materiale che è possibile ottenere: nel primo caso legno per segati, carta, pallets, tronchetti e chips per energia; nel secondo caso cippato per energia oppure per pannelli di particelle. Il materiale di impianto è costituito da semenzali a radice nuda. Il controllo delle infestanti nei CTB con robinia può essere effettuato tramite discatura solo nel primo anno di impianto mentre, negli anni successivi è consigliato proseguire con la semplice triturazione dell'erba per evitare di stimolare l'apparato radicale a produrre ricacci indesiderati. Nelle prove sperimentali del CRA-PLF sono state confrontate 4 provenienze: 'Energy', 'Belgio', 'Mantova' e 'Calabria', con densità di 8.333 p ha^{-1}. Durante il primo turno biennale sono state riscontrare differenze di produzione in favore della robinia 'Mantova'; dopo la prima ceduazione tutti i genotipi hanno dato produzioni simili (media di 26,6 t ha^{-1} s.s). In un'altra prova una quinta provenienza di origine ungherese posta a due densità d'impianto: 8.000 e 12.000 p ha^{-1}, ha prodotto rispettiva-

* CRA– Unità di ricerca per le Produzioni Legnose fuori Foresta (PLF).

mente 11,1 e 12,5 t ha^{-1} anno^{-1} di s.s al primo turno, e 12,5 e 9,1 t ha^{-1} anno^{-1} al secondo turno. In altre prove la robinia è stata testata insieme a pioppo e salice con i due modelli produttivi 'rado' (1.667 p ha^{-1}) e 'fitto' (8.333 p ha^{-1}) in 3 differenti località piemontesi. Le produzioni sono risultate solo leggermente inferiori a quelle dei cloni selezionati di pioppo e salice, e nella prova effettuata su terreno sabbioso, in assenza di irrigazione e concimazione, la robinia ha prodotto più del pioppo.

Parole chiave: robinia, ceduo a turno breve, coltivazione, produzioni

Abstract

Black locust is considered a promising woody species for biomass production in Short Rotation Coppice (SRC) stands. The reasons are: high adaptability to different site conditions: poor soils and dry conditions, and minimum level inputs needs. In many Countries it is cultivated for wood production (Hungary, Corea), surface mine reclamation (Germany, USA), afforestation (Argentina), honey production (Hungary, China) and many others purposes. In Hungary black locust is widely studied and selected also for biomass. In Italy, black locust biomass production, is studied in experimental plots with poplar, willow and eucalyptus selected genotypes. For plantation establishment generally were utilized seedlings, one year old, manually or mechanically planted in spring. Soil is ploughed and harrowed. The irrigation is necessary only during the establishment year in case of drought; fertilization is not necessary thank to nitrogen-fixing nodule bacteria (Rhizobium). *Cultivation models are the same for poplar, willow and eucalyptus: There are two different model: a) 'high density', with spacing of 3 × 3 m or 3 × 2 m (ranging from 1111 trees per hectare to 1666 trees·ha^{-1}) and harvest every 5 years; b) 'very high density' with spacing of 2 or 3 m between rows and 0,40-0,70 m on the rows (corresponding to 6.000 ÷ 10.000 trees·ha^{-1}) and harvest every 2 years. The two models produce different quality wood: for industry (pallets, paper, sawlogs and energy) in the first case, and only for energy or particle board in the second case. Four black locust provenances: 'Energy', 'Belgium', 'Mantova' and 'Calabria' were compared in experimental trial. Productions were different during first biennial cycle, with best production for 'Mantova' but after the first harvest all genotypes produce a similar quantity of biomass, with in average 26,6 Oven dry (Od) t ha^{-1} in two years. Another Hungarian provenance was tested with two densities: 8.000 and 12.000 trees·ha^{-1}; during first biennial cycle productions were respectively 11,1 and 12,5 Odt ha^{-1}y^{-1} and during second cycle 12,5 and 9,1 Odt ha^{-1} y^{-1}, showing a negative influence of higher density on yield. 'Energy' provenance was also tested with the two models and compared with poplar and willow selected clones (*P. ×canadensis *'83.141.020'and* S. matsudana *hybrid 'S76-008'), in three different sites of Piedmont (Northern Italy). Productions was only a little lower than selected clones: 6,3 Odt ha^{-1} y^{-1} in 'high density' model compared with the best poplar production of 11,3 Odt ha^{-1} y^{-1} and 7,1 Odt ha^{-1} y^{-1} in 'very high density model' compared with best poplar production of 9,8 Odt ha^{-1} y^{-1}. Significant results were found in site with difficult soil conditions and without irrigation and fertilization:*

black locust have produced as willow, more than poplar both in high end very high density model, confirming their utility in marginal sites.

Keywords: *black locust, short rotation coppice, cultivation, yields*

Alcune caratteristiche eco-fisiologiche della robinia la rendono una specie adatta alla coltivazione in cedui a turno breve (CTB) per la produzione di biomassa.

La sua rusticità in particolare ne permette la coltivazione anche su terreni difficili, con elevata pendenza o scarsità d'acqua, dove il pioppo o altre specie non sarebbero in grado di sopravvivere. Tuttavia elevate produzioni si ottengono su suoli di medio impasto, ben areati e profondi (Keresztesi, 1988). Non teme la competizione con erbe infestanti, inoltre nel nostro Paese fino ad ora non ha mostrato problemi fitosanitari gravi e quindi non necessita di trattamenti antiparassitari.

La robinia, diversamente da pioppo e salice, si propaga con difficoltà da talea di fusto; questo tipo di propagazione, supportata dall'utilizzo di ormoni radicanti, o particolari tecniche di allevamento viene utilizzata per riprodurre genotipi con particolari caratteristiche; per scopi ornamentali si usa anche la tecnica dell'innesto su selvatico (Grass, 1991). Migliori risultati per attecchimento, sopravvivenza e riproducibilità dei caratteri, si ottengono con la propagazione tramite talea radicale, anche se questa tecnica ha costi elevati. Mentre in Italia, in passato, la robinia è stata considerata una specie infestante, in altri Paesi da tempo viene coltivata per vari scopi: dall'utilizzo del legno nell'industria del mobile e dei pavimenti (Ungheria, Corea), alla produzione di paleria (Argentina, Francia), di miele o per ornamento (Ungheria, Cina), al recupero di cave dismesse e di terreni inquinati (Germania, U.S.A.).

In particolare è molto studiata ed utilizzata in Ungheria, Paese in cui si selezionano anche molti genotipi adatti ai differenti scopi, inclusa la produzione di biomassa. In una prova condotta in Ungheria con 5 cultivar di robinia allevate alla densità di circa 6.670 piante per ettaro (p ha^{-1}) le produzioni sono risultate crescenti con l'allungamento del turno di taglio. Nella cultivar 'Üllöi', la più produttiva in quell'ambiente, l'incremento annuale di biomassa anidra alla fine del terzo, quinto e settimo anno è risultata rispettivamente di 3,0; 8,0 e 9,7 t ha^{-1} $anno^{-1}$ (Redei *et al*., 2010); l'allungamento dei turni in questa specie consente di massimizzare le produzioni, così come densità non troppo elevate facilitano l'attecchimento e la produzione (Halupa *et al*., 1991).

In Italia, negli impianti sperimentali di ceduo a turno breve la robinia viene testata accanto a genotipi selezionati di pioppo, salice, ed eucalipto (quest'ultimo solo nel Centro-Sud della Penisola) per la produzione di energia. Generalmente vengono utilizzati per l'impianto semenzali di una anno di età, a radice nuda con il fusto ridotto a 15-20 cm di altezza per facilitare la piantumazione meccanica anche con macchine

pensate per la viticoltura o i vivai ornamentali (trapiantatrice Berto). Per la costituzione di un ceduo a turno breve, il terreno viene preventivamente liberato dalla presenza di infestanti perennanti con l'uso di disseccanti, successivamente viene arato ad una profondità di 30 cm ed affinato. All'impianto, è possibile utilizzare anche per questa specie una miscela di prodotti con effetto antigerminello (*Metholaclor* + *Pendimethalin*) per facilitare così l'attecchimento e la sopravvivenza delle giovani piantine. I due modelli di coltivazione utilizzati sono gli stessi per pioppo, salice, robinia ed eucalipto, con lievi differenze negli interventi colturali dovute alle differenti necessità delle specie. Si distinguono un modello denominato 'rado', che prevede l'impianto con spaziature a 3 × 3 m oppure 2 × 3 m, corrispondenti a densità di 1.111 p ha^{-1} oppure 1.667 p ha^{-1} e la ceduazione dei fusti ogni 4 o 5 anni, e un modello denominato 'fitto', che prevede densità più elevate, da 6.000 a 10.000 p ha^{-1}, con spaziature comprese tra 2 e 3 m tra le file, 0,40 – 0,70 m sulla fila, e ceduazione ogni 2 anni. I due modelli si diversificano inoltre per il tipo di materiale che è possibile ottenere: nel primo caso è possibile produrre anche legno di qualità buona da destinare alla produzione di segati (se le dimensioni sono appropriate), oppure alla produzione di carta, pallets, tronchetti o chips per pannelli o per energia; ovviamente questi assortimenti possono richiedere una certa cura delle piante, anche se nel caso della robinia ciò si traduce al massimo in una potatura veloce di formazione del fusto, solo se necessario, visto che la specie non viene attaccata da insetti xilofagi. Col modello 'fitto' l'impianto è finalizzato alla sola produzione di cippato per energia oppure per pannelli di particelle. In questo caso, per la robinia non sono richiesti particolari interventi al di fuori del controllo delle infestanti durante il primo anno e dopo ogni ceduazione e all'irrigazione in caso di necessità. Il controllo delle infestanti nei CTB con robinia può essere effettuato tramite erpice a disco solo nelle fasi giovanili (primavera ed estate del primo anno di impianto) per favorire l'insediamento delle giovani piantine mentre, negli anni successivi è meglio proseguire con la semplice triturazione dell'erba per evitare di stimolare l'apparato radicale a promuovere la nascita disordinata di ricacci nell'interfila; le spine dei ricacci sono in grado di danneggiare gli pneumatici dei mezzi agricoli. Nel primo anno dell'impianto o in suoli con tessitura molto grossolana può essere necessaria l'irrigazione di soccorso; occorre però fare attenzione a non generare ristagni d'acqua che provocano soffocamento dell'apparato radicale e possibile morte delle piante. Non sono necessarie le concimazioni azotate, essendo la robinia una specie azotofissatrice (Fig. 1), né i trattamenti fitosanitari; al momento non sono stati segnalati parassiti tali da provocare danni alle colture di questa specie. Anche durante la ceduazione, soprattutto negli impianti più fitti, è consigliato non tagliare il fusto troppo vicino alla base per evitare ricacci dal colletto o dalle radici più superficiali che possono essere d'intralcio per le future operazioni colturali.

Figura 1 - Noduli radicali contenenti *Rhyzobium* in radici di una giovane piantina prelevata nell'azienda sperimentale 'Mezzi' di Casale Monferrato del CRA-PLF.

Nelle prove sperimentali effettuate dal CRA-PLF vengono attualmente testante 4 differenti provenienze; per provenienza si intende una linea genetica derivante da un gruppo più o meno ampio di individui, selezionati per alcune eccellenti caratteristiche eco-fisiolagiche dai quali vengono prelevati i semi per la generazione di nuove piantine. Le provenienze utilizzate sono: 'Energy' di origine ungherese selezionata per la buona attitudine alla produzione di materiale per energia, 'Belgio', 'Mantova' e 'Calabria'. Di seguito vengono riportate le produzioni ottenute presso l'azienda sperimentale "Mezzi" in alcuni impianti sperimentali con robinia.

Le quattro provenienze sono state confrontate tra loro (Tab. 1) con densità d'impianto di 8.333 p ha^{-1} (modello 'fitto') e uno schema sperimentale a blocchi completi randomizzati con 4 replicazioni. L'impianto risale al 2007 e ha già sostenuto due ceduazioni.

Tabella 1 - Casale Monferrato Produzioni di biomassa secca in tonnellate per ettaro (t ha^{-1}) rilevate nei primi due turni in un ceduo sperimentale di robinia.

	1° turno		2° turno	
Provenienza	1° anno	2° anno	3° anno	4° anno
Energy	5,87	14,66	13,70	23,14
Calabria	3,42	24,65	14,70	28,46
Mantova	6,82	23,06	14,51	25,97
Belgio	2,66	13,42	13,93	29,18

Mentre durante il primo turno biennale sono state riscontrare differenze di produzione in favore della provenienza 'Mantova', dopo la prima ceduazione tutte le provenienze hanno dato produzioni simili con una media di 26,6 t ha^{-1} s.s in due anni.

Figura 2 - Casale Monferrato (AL). Impianto SRC con robinia, pioppo e salice durante la prima stagione vegetativa.

Figura 3 - Cavallermaggiore (CN). Robinia in modello 'fitto'. Piante F2R6, due anni di fusto e sei anni di radice, prima della terza ceduazione.

Sempre all'interno dell'Azienda "Mezzi", in una sperimentazione effettuata con una quinta provenienza anch'essa di origine ungherese, posta a due diverse densità dl'impianto: 8.000 e 12.000 p ha^{-1}, questa ha prodotto al primo taglio biennale rispettivamente 11,1 e 12,5 t ha^{-1} $anno^{-1}$ di s.s. mentre al secondo turno le produzioni di biomassa anidra sono risultate rispettivamente di 12,5 e 9,1 t ha^{-1} $anno^{-1}$. La Robinia, non sembra sopportare densità troppo elevate; la competizione tra i ricacci dopo la prima ceduazione ha influito negativamente sulla sopravvivenza delle ceppaie e sulla produzione. Nell'ambito di sperimentazioni sulla fattibilità di una filiera di produzione della biomassa per energia in cedui a turno breve (Busti *et al.*, 2007), la robinia è stata testata insieme a pioppo e salice con i due modelli produttivi 'rado' e 'fitto', in tre differenti località del Piemonte (Casale Monferrato AL, Lombriasco TO, e Cavallermaggiore CN). Il modello 'rado' prevedeva 1.667 p ha^{-1} (spaziatura di 3 x 2 m), utilizzo di pioppelle (per le salicacee), semenzali di un anno di età a radice nuda per la robinia e ceduazione ogni 5 anni; il modello 'fitto' prevedeva 8.333 p ha^{-1}, (spaziatura di 3 m x 0,40), utilizzo di talee della lunghezza di 20 cm (per le salicacee), gli stessi semenzali a radice nuda per la robinia, e ceduazione ogni 2 anni. (Bergante *et al*., 2008). In questa prova per il genere *Populus* è stato scelto il clone di *P.* ×*canadensis* '83.141.020', per il genere *Salix* il clone ibrido di *S. matsudana* 'S76-008', mentre per la specie *Robinia pseudoacacia* la provenienza 'Energy'.

A Casale Monferrato (Fig. 2) la robinia ha dato la produzione media annua più bassa nel modello rado, con 6,3 t ha^{-1} $anno^{-1}$ s.s (pari a 31,5 t ha^{-1} per l'intero turno quinquennale) contro 11,3 t ha^{-1} $anno^{-1}$ s.s del pioppo (pari a 56,5 t ha^{-1} per l'intero turno quinquennale), ma nel modello 'fitto' ha dato una produzione leggermente superiore al clone di salice con 7,1 t ha^{-1} $anno^{-1}$ s.s (pari a 35,5 t ha^{-1} complessive di cui buona parte raccolte durante le prime due ceduazioni ed una parte prodotta in un anno, la ricrescita successiva alla seconda ceduazione). Anche a Cavallermaggiore la robinia si è comportata in modo simile (Fig. 3), mentre a Lombriasco, su un terreno più povero, senza concimazione né irrigazione, dove il pioppo ha mostrato maggiori problemi di crescita, il salice e le robinia hanno dato le produzioni migliori: rispettivamente 7 e 4,6 t ha^{-1} a^{-1} s.s nel modello 'rado', 9,3 e 8,4 t ha^{-1} a^{-1} nel modello 'fitto'. Riassumendo quindi, almeno per quanto riguarda i quattro genotipi testati, le produzioni della robinia rimangono solo leggermente inferiori a quelle dei cloni selezionati di pioppo e salice mentre non bisogna dimenticare che questa specie, oltre ad avere un legno con minor contenuto di acqua rispetto a pioppo e salice (40% rispetto a 50 - 55%) nel periodo invernale, può essere utilizzata anche su terreni marginali e non necessita di concimazioni e trattamenti fitosanitari.

Infine si riportano le produzioni di due impianti commerciali di robinia, provenienza 'Energy' uno al nord in zona vocata e uno nell'italia meridionale in ambiente caldo-arido. Nel primo impianto, costituito a Castellamonte (TO), in zona pedemontana, con 3.500 p ha^{-1} e turno quinquennale, quindi con densità intermedia rispetto a quelle considerate precedentemente, alla prima ceduazione si sono ottenute produzioni di 8,9 t ha^{-1} a^{-1}. Nel secondo impianto costituito nel comune di Troia (FG) con

densità di 6667 p ha^{-1} e turno ancora da definire, probabilmente di tre o quattro anni, alla fine del secondo anno, campionando aree di saggio, la produzione è stata stimata intorno alle 6,6 t ha^{-1} di biomassa anidra corrispondenti a 3,3 t ha^{-1} a^{-1}.

Bibliografia

Bergante S., Facciotto G., Annunziati M., Minotta G., 2008. The Biofil project. Proceedings of '16° European Conference & Exhibition, From Research to Industry and Markets'. Valencia, Spain 2-6 June 2008. [En]

Busti M., Facciotto G., Coaloa D., Balsari P., Airoldi A., Manzone M., Mosso A., Brun F., Don Tarasco G., Don Barra S., Filipponi E., Dezzutto S., Allasia E., Regione Piemonte, 2007. Study, experimentation and feasibility analysis for biomass Energy production from short rotation tree crops in Piemonte's farmlands: the Biofil project (1 ARB04). Proceedings of 15° European Conference & Exhibition, From Research to Industry and Markets, held in Berlin, Germany – 5-8 May 2007. 1230-1232.

Gras M. d.l. A., 1991. La Robinia pseudoacacia L.: annotazioni da una rassegna bibliografica. Roma; RESS S.p.A. 50 pp. [It]

Halupa L., Rédei K., 1992. Establishment of forests primarily for energetic purpose. Erdészeti Kutatások. Vol 82-83 :267-244.

Rédei, K., e I. Veperdi, I. Csiha, Z. Keseru, J. Gyori, (2010). Yield of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) Short-Rotation energy crops in Hungary: case study in a field trial. Lesnícky časopis – Forestry Journal 56(4): 327-335.

Keresztesi B., 1988. Black locust: the Tree of Agriculture. Outlook on Agriculture, 2: 77-85.

C
Coltivazione nel Sud Italia

1 - Coltivazione e adattamento di cloni di pioppo (*Populus* spp.) da biomassa nel Sud Italia (Puglia)

*Growth and adaptation of Poplars clones (*Populus *spp.) for biomass in Southern Italy (Puglia)*

Alejandra Navarro García*, Gianni Facciotto, Francesca Modugno*, Pompeo Maggio*, Marcello Mastrorilli***

Riassunto

Tra le specie legnose da destinare alla produzione di biomassa a fini energetici, i pioppi (*Populus* spp.) sono ritenuti tra i più sensibili alle condizioni di carenza idrica e la loro produttività è associata al soddisfacimento del fabbisogno idrico. Negli ambienti mediterranei, i principali limiti per la coltivazione sono legati alla domanda evapotraspirativa non bilanciata dalla pluviometria e al rischio di mortalità, soprattutto durante la fase di impianto del pioppeto.

L'interesse per il pioppo come coltura energetica potrebbe aumentare anche negli areali meridionali qualora siano selezionati nuovi ibridi con elevato ritmo di crescita e resistenza allo stress idrico. Per verificare questa ipotesi, sono stati considerati tre cloni di recente selezione ('Neva', 'Dvina' e 'Lena') e due cloni tradizionali ('Luisa Avanzo' e 'Bellini'), al fine di individuare quelli con caratteristiche fisiologiche associate alla tolleranza alla siccità.

Tra i cinque cloni a confronto, 'Lena' e 'Dvina' hanno mostrato scarso accrescimento e basso grado di attecchimento. 'Bellini' ha una scarsa sensibilità degli stomi all'acqua nel terreno (elevata conduttanza anche durante il periodo di maggiore doman-

* CRA-SCA, Unità di ricerca per i sistemi colturali degli ambienti caldo-aridi, Bari, IT.
** CRA-PLF, Unità di ricerca per le Produzioni Legnose fuori Foresta, Casale Monferrato, IT.

da evapotraspirativa) e modeste performance produttive. 'Luisa Avanzo' e 'Neva' hanno manifestato, invece, un buon grado di attecchimento delle talee, elevati valori di accrescimento e di SPAD, e bassi valori di conduttanza stomatica durante il periodo estivo.

Parole chiave: deficit idrico, ambiente mediterraneo, conduttanza stomatica, relazioni idriche nelle piante.

Abstract

The poplars (Populus *spp.) are considered the most sensitive to water deficit condition among the woody species for biomass production for energetic purposes, and their productivity is associated to water supply. In the Mediterranean environment, the main crop limits are connected to evapotranspiration demand, not balanced by the rainfall supply, and to death risk especially after the poplar rooting.*

The interest for poplar as energy crop may also increase in southern areas if new hybrids with high growth rate and resistance to water stress would be selected. To confirm this hypothesis, three recent selected clones ('Neva', 'Dvina' and 'Lena') and two traditional ones, ('Luisa Avanzo' and 'Bellini'), were considered in order to identify those with physiological characteristics associated with drought tolerance.

Among the five clones compared, 'Lena' and 'Dvina' showed low growth and rooting. "Bellini" has low stomata sensitivity to soil water content (high conductance during the period of higher evapotranspirative demand) and a moderate productive performance. On the contrary, 'Luisa Avanzo' and 'Neva' showed a good degree of rooting, high values of growth and SPAD, and low stomatal conductance values during summer months.

Keywords: *water deficit, Mediterranean environment, stomatal conductance, plant water relations.*

Introduzione

L'utilizzo delle biomasse a fini energetici è una delle possibili strategie per ridurre le emissioni di CO_2, limitando così l'effetto serra. La tecnica di coltivazione di specie arboree con turni brevi di ceduazione per la produzione di biomassa lignocellulosica ha avuto diffusione soprattutto a seguito delle prime crisi petrolifere. La loro principale caratteristica agronomica ed economica si esprime attraverso l'elevato tasso di crescita, l'adeguata capacità al ricaccio della ceppaia, l'adattamento a condizioni ambientali sub-ottimali. La tolleranza richiesta dalle specie legnose da biomassa riguarda sia l'ambiente pedoclimatico che le avversità biotiche. In altri termini si richiede un grado di rusticità il più alto possibile (Sage e Tucker, 1995; Pei *et al.*, 1997) per contenere l'apporto di input energetici esterni (pesticidi, fertilizzanti).

Tra le specie legnose da destinare alla produzione di biomassa a fini energetici, i pioppi (*Populus spp.*) sono ritenuti tra i più sensibili alle condizioni di carenza idrica e la loro produttività è proporzionale al consumo idrico (Monclus *et al*. 2006). Negli ambienti mediterranei, i principali limiti per la coltivazione sono legati (i) alla domanda evapotraspirativa (> 1100 mm anno^{-1}) non bilanciata dalla pluviometria (< 600 mm anno^{-1}) e (ii) al rischio di mortalità degli impianti nel primo anno.

L'interesse per il pioppo come coltura energetica potrebbe aumentare anche negli areali meridionali qualora vengano selezionati nuovi ibridi con elevato ritmo di crescita e resistenza allo stress idrico. Per verificare questa ipotesi, dalla collezione varietale del CRA-PLF (Unità di ricerca per le produzioni legnose fuori foresta) sono stati considerati tre cloni di recente selezione ('Neva', 'Dvina' e 'Lena') e due cloni della pioppicoltura 'tradizionale' ('Luisa Avanzo' e 'Bellini') che avevano già dato buoni risultati nell'Italia meridionale scelti come testimoni. L'obiettivo finale è individuare i cloni con caratteristiche fisiologiche associate alla tolleranza alla siccità e ad alti rendimenti al momento della raccolta.

Metodologia

Con lo scopo di individuare un possibile modello di Short Rotation Forestry per la produzione di biomassa valido per gli ambienti meridionali, è stato realizzato un dispositivo sperimentale con cinque cloni di pioppo (*Populus x canadensis* e *P. deltoides*) e due sesti di impianto. Le prove sperimentali sono state eseguite in due annate (2010 e 2011) presso l'azienda sperimentale del CRA-SCA, a Rutigliano (Ba) (lat: 40°59', long: 17°59', alt: 147 m s.l.m.). La località è caratterizzata da clima marittimo-mediterraneo, pluviometria media annua di circa 600 mm e precipitazioni concentrate durante il periodo autunnale e primaverile.

Foto 1a e 1b - Rutigliano (Bari): talee di pioppo con le prime foglie.

Partendo da talee frigo-conservate provenienti dalla collezione varietale del CRA-PLF (Foto 1a e 1b), sono stati messi a confronto cinque cloni di pioppo (*Populus x canadensis* 'Luisa Avanzo', 'Bellini', 'Neva' e *P. deltoides* 'Dvina' e 'Lena' – Foto 2) impiantati con un sesto di 3 x 0,5 (Foto 3a) e di 3 x 2 (Foto 3b) a fine marzo 2010, su una superficie di 850 m², secondo un dispositivo sperimentale a blocco completo randomizzato, ripetuto 4 volte (Foto 4a e 4b).

Bellini Luisa Avanzo Neva Dvina Lena

Foto 2 - Rutigliano (Bari): cloni di Pioppo (*Populus spp.*) in aprile 2011.

Foto 3a - Sesto 3 x 0,5 m.

Foto 3b - Sesto 3 x 2 m.

Foto 4a - Il pioppeto ad aprile 2011.

Foto 4b - Il pioppeto ad agosto 2011.

Per valutare il grado di adattamento dei pioppi alle condizioni semi-aride, nell'autunno 2010 sono stati rilevati la percentuale di sopravvivenza e alcuni parametri biometrici (diametro e altezza del fusto principale, numero di polloni e percentuale di fusti ramificati). Durante la primavera e l'estate del 2011 (maggio, giugno, luglio ed agosto) sono stati determinati tra le 10:00 e le 13:00 i seguenti parametri ecofisiologici: a) potenziale idrico fogliare (Ψ_l); b) contenuto relativo d'acqua (RWC); c) conduttanza stomatica (g_s); d) contenuto relativo di clorofilla (SPAD), in 5 esemplari per trattamento.

a) Il potenziale idrico fogliare (Ψ_l) si utilizza per definire inequivocabilmente lo stato idrico delle piante. Il potenziale idrico per l'acqua libera è pari a zero e scende a valori negativi in presenza di fattori fisico-chimici che riducono la disponibilità dell'acqua. Il potenziale idrico fogliare (Ψ_l) è stato misurato usando una camera di pressione (Mod. 3000, Soil Moisture Equipment Co., Santa Barbara, CA, USA), in accordo con la tecnica descritta da Scholander *et al*. (1965) (Foto 5). In pratica, una foglia completamente distesa della parte apicale (tra la 6ª e la 12ª) della pianta viene tagliata con una lama e avvolta in un sacchetto di plastica. Il picciolo si inserisce rapidamente nella guarnizione che sigilla la camera di pressurizzazione. All'interno della camera si aumenta la pressione ad un ritmo di 0,03 MPa s^{-1} immettendo azoto allo stato gassoso, fino a quando non compare un menisco di acqua sulla superficie di taglio del picciolo.
b) La quantità di acqua presente nei tessuti vegetali è probabilmente la misura più semplice per definire lo stato idrico della pianta. Il contenuto di acqua del tessuto vegetale solitamente si esprime in rapporto al peso dell'acqua a completa saturazione del tessuto (RWC, relative water content). Il contenuto relativo d'acqua (RWC) dei tessuti fogliari è stato determinato secondo l'equazione riportata da Barrs e Weatherley (1962):

$$RWC = 100 \times (Pf - Ps / Pt - Ps)$$

dove Pf è il peso fresco fogliare iniziale, Ps è il peso secco e Pt corrisponde al peso fresco a piena saturazione (peso turgido).
c) Il grado di apertura degli stomi è un buon indicatore dello stato idrico delle piante. Attraverso gli stomi le piante perdono la maggior parte dell'acqua ed immagazzinano la CO_2. Il rapporto tra traspirazione e fotosintesi è regolato dall'apertura degli stomi (Schulze *et al.*, 1987). L'attività stomatica è influenzata da numerosi fattori interni ed esterni, come lo stato idrico e la temperatura della foglia, la concentrazione interna ed esterna di CO_2, i regolatori di crescita, la radiazione e l'umidità. La conduttanza stomatica (g_s) è stata misurata su foglie adulte esposte al sole usando un porometro a diffusione (Delta-T AP4, Delta-T Devices Ltd, Cambridge, UK) (Foto 6a), il quale misura la diffusione del vapore d'acqua dalle cavità substomatiche.

d) Il contenuto relativo di clorofilla (SPAD) è stato misurato con un Chlorophyll Meter Minolta SPAD-502 (Foto 6b). Per ottenere questa misura è stato posto il sensore dello strumento al centro di foglie completamente sviluppate sul secondo nodo (dall'apice del fusto). Sono state misurate 3 foglie per albero e 5 alberi per trattamento.

Foto 5 - Misura del potenziale idrico con camera di pressione tipo Scholander.

Foto 6a - Porometro a diffusione (Delta–T AP4) per misurare la conduttanza.

Foto 6b - Misuratore (Minolta SPAD-502) del contenuto relativo di clorofilla (SPAD).

Risultati

I primi germogli e le prime foglioline sono apparsi nei cloni 'Neva', 'Luisa Avanzo' e 'Bellini' (fine marzo), e gli ultimi a germogliare sono stati 'Dvina' e 'Lena' (metà

aprile) (Foto 2). Per quanto riguarda le caratteristiche morfologiche delle foglie, 'Neva' e 'Luisa Avanzo' si distinguono per avere foglie piccole, coriacee e di colore verde scuro (Foto 7), mentre che 'Lena' e 'Dvina' le hanno grandi, sottili e di colore verde chiaro (Foto 7). 'Bellini' si trova nel mezzo sia per quanto riguarda le dimensioni che il colore delle foglie (Foto 7).

Bellini

Luisa Avanzo

Neva

Dvina

Lena

Foto 7 - Agosto del 2011: cloni di Pioppo (*Populus spp.*) allevati con sesto d'impianto 3 x 2 m ad un anno dall'impianto.

Nell'autunno 2010, dopo la caduta delle foglie, sono stati realizzati sui cloni i rilievi biometrici e di sopravvivenza (Tab. 1). Il sesto di impianto non ha influenzato significativamente la % di sopravvivenza, il numero di polloni e le ramificazioni sul fusto. I valori di altezza e diametro del fusto sono stati modificati dal sesto d'impianto: rispetto al sesto 3 x 0,5, il sesto 3 x 2 m è associato ad alberi di taglia inferiore però di maggior diametro (Tab. 1). Il clone 'Neva' si è distinto per i valori più elevati di % di sopravvivenza, diametro del fusto principale e altezza (Tab. 1). Il clone 'Luisa Avanzo' ha mostrato una maggiore attitudine a ramificare e buoni valori di attecchimento e di altezza (Tab. 1). 'Dvina', ma soprattutto 'Lena', sono stati invece caratterizzati da bassi valori di sopravvivenza, altezza e ramificazioni (Tab. 1).

Tabella 1 - Rilievi biometrici e sopravvivenza in pioppo all'inizio dell'autunno 2010.

Trattamenti		% sopravvivenza		D (cm)		H (m)		n° polloni		% fusti con rami	
Clone (C)	Luisa Avanzo	90.24	ab	2.30	b	2.35	b	2.35	a	85.41	a
	Bellini	83.40	ab	2.46	ab	2.45	b	1.9	abc	87.92	a
	Neva	97.27	a	2.75	a	2.62	a	2.1	ab	90.83	a
	Dvina	78.52	bc	2.66	a	2.11	c	1.4	bc	94.17	a
	Lena	65.82	c	2.65	a	1.92	d	1.5	c	87.92	a
Densità (D)	3 x 0,5	86.72	a	2.44	b	2.34	a	1.82	a	85.0	a
	3 x 2	79.38	a	2.69	a	2.24	b	1.88	a	89.5	a
Clone		**		*		***		**		ns	
Densità		ns		**		*		ns		ns	
C x D		ns		ns		ns		ns		ns	

*, **, *** e ns indicano il livello di significatività a 0,05, 0,01, 0,001 e assenza di significatività.

Nelle figure 1 e 2 vengono riportati gli indicatori di stato idrico della pianta (potenziale idrico, $\Psi_{l;}$ contenuto relativo d'acqua, RWC; conduttanza stomatica, g_s). Gli andamenti di questi parametri indicano che durante la primavera le piante si trovano in ottime condizioni idriche, valori meno negativi di Ψ_l (Figg. 1a e b), ed alti valori di RWC (Figg. 1c e d) e g_s (Figg. 2a e b). Nei mesi successivi, a causa della forte richiesta evapotraspirativa dell'ambiente e delle scarse precipitazioni, le riserve idriche del terreno si esauriscono e lo stato idrico delle piante peggiora progressivamente. Infatti si constata che i valori di Ψ_l diventano più negativi (Figg. 1a e b), quelli di RWC (Figg. 1c e 1d) e di g_s (Figg. 2c e 2d) più bassi. Nel caso della conduttanza stomatica, nel mese di agosto gli stomi di tutti i cloni sono risultati chiusi, a prescindere dal sesto di impianto (Fig. 2c). Ciò è dovuto alle condizioni climatiche (alte temperatura e radiazione e scarsità di pioggia) che hanno provocato la riduzione dell'acqua nel terreno, la diminuzione del Ψ_l e, di conseguenza, la chiusura degli stomi.

Nel mese di maggio si osserva come i valori di Ψ_l nei cloni 'Dvina' e 'Lena' sono meno negativi rispetto agli altri 3 cloni (Figg. 1a e b). Più che a un migliore stato idrico, questi valori si devono attribuire allo sviluppo delle foglie: i cloni 'Dvina' e 'Lena' essendo più 'tardivi' nello sviluppo fogliare, al momento della misura di Ψ_l a maggio avevano meno intaccato il contenuto di acqua del terreno. In genere il sesto di impianto non influisce sul valore di Ψ_l, ma è interessante notare come, tra i 5 cloni confrontati, si distingue 'Neva' che mostra valori di Ψ_l meno negativi durante i mesi di maggio, giugno ed agosto, se impiantato con sesto 3 x 0,5 m (Fig. 1a).

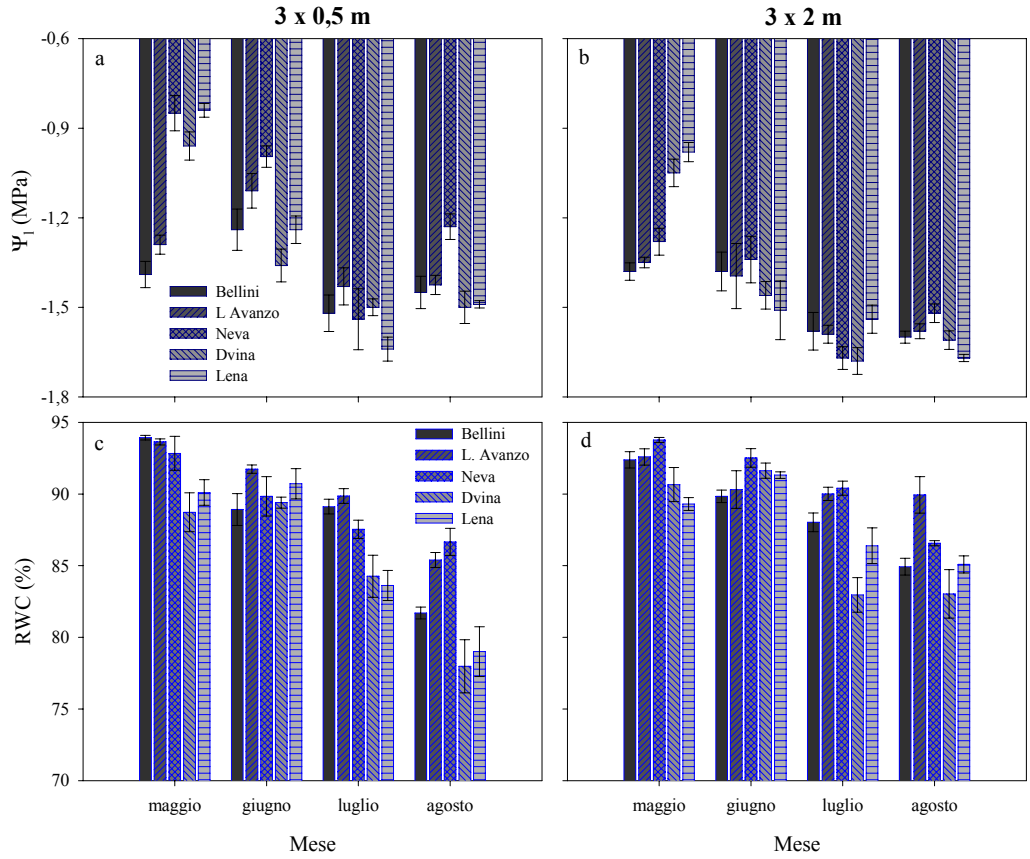


Figura 1 - Potenziale idrico fogliare (Ψ_l; MPa) (a; b) e contenuto relativo d'acqua (RWC; %) (c; d) in cinque cloni di pioppo (Bellini, Luisa Avanzo, Neva, Dvina e Lena) a due sesti di impianto 3 x 0,5 m (a; c) e 3 x 2 m (b; d). Rilievi giornalieri a mezzogiorno durante i mesi di maggio, giugno, luglio ed agosto di 2011.

I valori più alti di g_s del pioppo corrispondono alle misure in primavera per diminuire in estate e raggiungere valori minimi in agosto con la chiusura stomatica (Fig. 2). 'Dvina' e 'Lena' (Fig. 2) sono stati caratterizzati in tutte le stagioni dai più bassi valori di g_s, mentre 'Bellini' ha presentato quelli più alti con il sesto di 3 x 2 (Fig. 2b). Pertanto, questo clone potrebbe essere più facilmente esposto a stress idrici, poiché, mantenendo aperti gli stomi, tende a 'dissipare' la riserva idrica del terreno, anche quando questa si trova a livelli minimi (luglio-agosto). 'Luisa Avanzo' e 'Neva' con sesto 3 x 2, adeguano l'apertura stomatica alla disponibilità idrica del terreno: valori di g_s costanti ed elevati in primavera (con buone condizioni idriche del terreno – fig. 2b) e minimi in estate (condizioni idriche limitate- fig. 2d). A differenza del sesto 3 x 2, con il sesto d'impianto 3 x 0,5 m non sono state trovate grandi differenze di conduttanza stomatica tra i cloni (Figg. 2a e 2c).

Il comportamento stomatico del clone 'Luisa Avanzo' (con sesto 3 x 2) lascia ipotizzare un migliore adeguamento alle condizioni idriche del terreno. Infatti, con l'arrivo delle alte temperature (mese di giugno) questo genotipo adatta l'apertura stomatica alla disponibilità idrica del terreno: gli stomi tendono a chiudersi e di conseguenza si riduce la traspirazione (bassi valori di conduttanza stomatica - fig. 2d). Questo comportamento può essere interpretato come un meccanismo utile a ridurre le perdite di acqua attraverso la traspirazione e, pertanto, ottimizzare le risorse idriche quando la domanda evapotraspirativa è elevata (Navarro *et al*., 2009; Tenhunen *et al.,* 1990). Questo comportamento indica un miglior adattamento di 'Luisa Avanzo' alle condizioni semi-aride. Comunque l'adattamento è la risultante di altri fattori concomitanti che sono stati riscontrati dalle osservazioni su questo clone, quali lo stato fitosanitario delle piante e la morfologia delle foglie. Per quanto riguarda quest'ultimo carattere, rispetto agli altri cloni, Luisa Avanzo presenta foglie più piccole e coriacee che permettono di mantenere elevati e costanti i valori di RWC durante l'estate, a prescindere dai sesti di impianto (Fig. 1c).

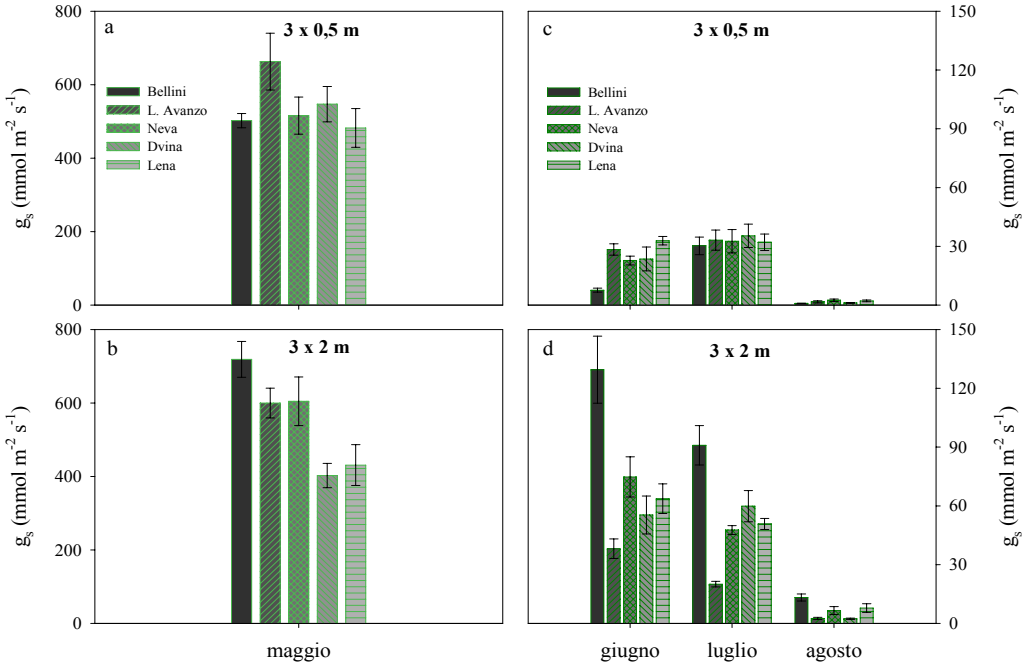


Figura 2. Conduttanza stomatica (g_s; mmol m^{-2} s^{-1}) in cinque cloni di pioppo (Bellini, Luisa Avanzo, Neva, Dvina e Lena) a due sesti di impianto 3 x 0,5 m (a; c) e 3 x 2 m (b; d). Rilievi giornalieri a mezzogiorno durante i mesi di maggio (a; b), giugno, luglio ed agosto di 2011 (c; d).

L'andamento di SPAD (clorofilla - indicatore del colore verde) corrisponde a bassi valori in primavera, quando le foglie sono ancora giovani e di colore verde chiaro, soprattutto nei cloni 'Dvina' e 'Neva,' che sono gli ultimi a germogliare (Foto 2),

elevati in giugno (verde intenso) e di nuovo bassi nei mesi estivi di luglio ed agosto (inizio senescenza - foto 7).

In generale, i cloni con sesto d'impianto 3 x 2 hanno avuto valori più bassi di SPAD rispetto a quelli del sesto 3 x 0,5 m (Figg. 3a e b). Questo fatto è sicuramente dovuto alla maggiore esposizione solare alla quale sono stati sottoposti gli alberi con sesto d'impianto largo. I cloni 'Bellini' e 'Neva' hanno mostrato i valori più alti di SPAD con il sesto 3 x 0,5 (Fig. 3a) e 'Luisa Avanzo' e 'Neva' con sesto il 3 x 2 (Fig. 3b), mentre che con entrambi i sesti d'impianto 'Lena' e 'Dvina' hanno avuto i valori più bassi (Figg. 3a e b).

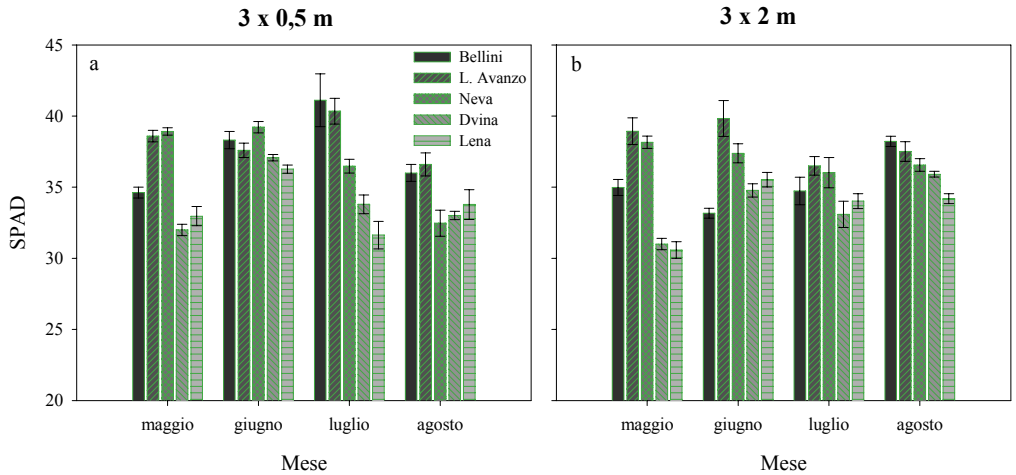


Figura 3. Contenuto relativo di clorofilla (SPAD) nelle foglie dei cinque cloni di pioppo (Bellini, Luisa Avanzo, Neva, Dvina e Lena) a due sesti di impianto 3 x 0,5 m (a) e 3 x 2 m (b). Rilievi a mezzogiorno durante i mesi di maggio, giugno, luglio ed agosto di 2011.

Conclusioni

In base ad alcune caratteristiche eco-fisiologiche, dal confronto tra cinque cloni di Pioppo condotto nel Sud Italia al termine del primo anno di sperimentazione si possono già fare alcune interessanti considerazioni che riguardano il loro adattamento all'ambiente:

- 'Lena' e 'Dvina' hanno mostrato scarso accrescimento e basso grado di attecchimento.
- 'Bellini' ha una scarsa sensibilità degli stomi al contenuto di acqua nel terreno (elevata conduttanza anche durante il periodo di maggiore domanda evapotraspirativa) e modeste performance produttive (dati biometrici in tab. 1).
- 'Luisa Avanzo' e 'Neva' hanno manifestato, invece, un buon grado di attecchimento delle talee, elevati valori di accrescimento e di SPAD. Queste caratteristi-

che si associano a bassi valori di g_s durante il periodo estivo e, nel caso di 'Luisa Avanzo', ad alti valori di RWC. Per questi due cloni, la chiusura stomatica e la morfologia delle foglie indicano la capacità di adattamento agli ambienti semiaridi.

La risposta produttiva dei cloni di pioppo, in termini di biomassa, potrà essere fornita solo al secondo o al terzo anno di sperimentazione quando le piante avranno sviluppato completamente il loro apparato radicale e le chiome.

Bibliografia

Barrs H.D., Weatherley P.E., 1962. A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. Austr. J. Biol. Sci. 15, 413-428.

Monclus R., Dryer E., Villar M., Delmotte F.M., Delay D., Petit J-M., Barbaroux C., Le Thiec D., Brechet C., Brignolas F., 2006. Impact of drought on productivity and water use efficiency in 29 genotypes of *Populus deltoides* x *Populus nigra*. New Phytol. 169, 765-777.

Navarro A., Álvarez S., Castillo M., Bañón S., Sánchez-Blanco M.J., 2009. Changes in tissue-water relations, photosynthetic activity, and growth of *Myrtus communis* plants in response to different conditions of water availability. J. Hort. Sci. Biotechnol. 84(5), 541-547.

Pei M.H., Parker S.R., Hunter T., Royle D.J., 1997. Variation in populations of *Melampsora* willow rust and the implication for design of short rotation coppice plantations. Asp. App. Biol. 49, 91-96.

Sage R.B., Tucker K., 1995. Integrated flora management and pest control in short rotation coppice. In: Wood fuel. The green debate. Harwell Laboratories, Oxford.

Scholander P.F., Hammel H.T., Bradstreet E.D., Hemmingsen E.A., 1965. Sap pressure in vascular plants. Science. 148, 339-346.

Schulze E.D., Robichaux R.H., Grace J., Rundel P.W., Ehleringer J.R., 1987. Plant water balance. BioScience 37, 30-37.

Tenhunen J.D., Sala Serra A., Harley P.C., Dougherty R.L., Reynolds J.F., 1990. Factors influencing carbon fixation and water used by Mediterranean sclerophyll shrubs during summer drought. Oecologia. 82, 381-393.

2 - Prove di adattamento di cloni di pioppo (*Populus* spp.) in Sicilia

*Comparison for adaptability of poplar (*Populus *spp.) clones in Sicily*

Gianni Facciotto*, Giuseppe Nervo*

Riassunto

Oltre all'eolico e al solare, anche le biomasse, in particolare le lignocellulocsiche potrebbero trovare un utilizzo in Sicilia. Recentemente una società energetica tedesca ha annunciato di aver firmato un accordo per la costruzione del primo impianto di cogenerazione da biomassa della potenza di 18,7 MW in questa regione. In una recente indagine la disponibilità regionale di biomasse residuali di origine agricola: potatura di colture arboree, paglie, sanse e vinacce, è stata stimata pari a 640 Ktep; a questi vanno aggiunti circa 11 Ktep provenienti dagli scarti delle utilizzazioni forestali. La maggior parte di questi residui attualmente viene bruciata in campo. La biomassa può anche essere prodotta con colture dedicate come i cedui a turno breve. Questi, secondo uno studio dell'Università di Palermo potrebbero occupare una superficie di circa 350.000 ha. Per verificare la produttività dei cedui a turno breve il CRA-PLF ha avviato una sperimentazione *ad hoc* e in questo lavoro vengono riportati i primi risultati. Nella primavera 2008 sono stati costituiti 4 impianti in tre località della Sicilia Centrale: San Cataldo, Mussomeli e Caltanissetta loc. Misteci. Nelle ultime due località oltre ai pioppi sono state testate anche altre specie: robinia, eucalitti ed acacia saligna. Il suolo è stato arato ed erpicato prima dell'impianto, effettuato con una trapiantatrice. Per i pioppi sono state utilizzate talee di 22 cm, piantate alla densità di 6667 p ha^{-1}. Per le altre specie sono stati impiegati semenzali di un anno piantati alla densità di 3333 p ha^{-1}. Solo al primo anno in tutti i campi è stata effettuata l'irrigazione, in quantità buone solo a Mussomeli dove la

* CRA-PLF, Unità di ricerca per le produzioni legnose fuori Foresta (PLF), Casale Monferrato, IT.

piantagione era prossima a un impianto di fitodepurazione. A San Cataldo tra i pioppi il clone *P* ×*canadensis* 'Orion' ha avuto una produzione interessante, 3,8 t ha^{-1} di s.s in 2 anni. A Misteci le produzioni variano tra le 0,05 t ha^{-1} di s.s. di robinia e le 4,2 t ha^{-1} s.s. di acacia saligna; i pioppi hanno prodotto solo 0,08 t ha^{-1}. A Mussomeli, dove la produzione è stata discreta, pioppo e robinia, hanno raggiunto le 2,9 t ha^{-1} di s.s.; l'acacia saligna invece 12,4 t ha^{-1} anno^{-1} di s.s. Il pioppo nell'ambiente siciliano può essere impiegata in maniera conveniente solo dove viene effettuato lo smaltimento di acque reflue; altrove si potrebbero utilizzare eucalitti ed acacia saligna.

Parole chiave: Pioppo, cloni, biomassa, cedui a turno breve, produzione, Sicilia

Abstract

Besides wind and sun (photovoltaic and thermal) also biomasses, particularly the lignocellulosic ones, could be used in Sicily. Last year a German energy company has announced that it signed an agreement for the construction of the first biomass cogeneration plant in Sicily (18,7 MW). In a recent investigation the regional availability of residual biomasses of agricultural origin: pruning of grapevines, olive trees, citrus orchards, straws of cereal crops and the waste of agro-industry (husk and dregs of pressed grapes) has been assessed near to 640 Kteps; other 11 Kteps, coming from forestry waste must be added. Currently the most part of these residues are burnt near the field. The biomass can also be produced with energy crops, like short rotation coppices (SRC). According to a study of the University of Palermo that utilised the geographical information system (GIS) methodology, considering the currently use of the soil, slopes of the field, climatic condition, etc, SRC could be extended to around 350.000 hectares with an annual dry biomass production around 1,32 Mt. To verify the actual production of poplar species and clones SRC, the Research unit of Intensive wood production of Agricultural Research Council (CRA-PLF), in Spring 2008, established four field trials in three different sites of Caltanissetta province, in the center of the Sicily: San Cataldo, Mussomeli, and Caltanissetta loc. Misteci. In the last two sites besides the poplars other species are been tested: black locust, eucaliptus and acacia saligna. Soils were ploughed (25-30 cm deep) and harrowed before planting. The poplar clones were planted as cuttings (22 cm long) at a density of 6667 cuttings per hectare; black locust, eucalyptus and acacia saligna as 1-year-old seedlings at a density of 3333 trees per hectare. A semi-automatic transplanting machine was used for all the species and clones. No fertilizer was applied. During the first year all the fields were irrigated with drip system. The Mussomeli trial is located near a municipal waste water treatment plant, so 450 mm of water were distributed during the first growing season. Disk-harrowing was carried out two times at Mussomeli and San Cataldo and one time at Misteci only in the first year of cultivation. During the second year any treatment was applied. At San Cataldo among the poplars only the P ×canadensis *'Orion' clone had an interesting production around 3,8 Oven Dry tons per hectare (ODt ha^{-1}) in two years. At Caltanissetta loc. Misteci the biomass production ranged among the 0,05 ODt ha^{-1} of the black locust and the 3.14*

ODt ha^{-1}of the E. camaldulensis and the 4.2 ODt ha^{-1}of the acacia saligna; the poplars produced only 0,08 ODt ha^{-1}. At Mussomeli, where the irrigation has been effected, poplar and black locust produced around to 2,9 ODt ha^{-1}; excellent the performance of the acacia saligna, 12,4 ODt ha^{-1} year^{-1}. The productivity of the poplar clones compared in these trials, including also P. alba *ones, a species that is considered water stress tolerant, resulted rather low. To produce biomass poplars need an annual rainfall of 700 mm, 350-450 during the growing season. This condition is occurred only during the first year at Mussomeli. Even if the trials are still in progress, and normally the second cycle productions increases of over 50% we can already affirm that in the most part of the Sicily, where annual rainfall are under 500 mm, particularly during autumn-winter period, the cultivation of poplar SRC is possible only with irrigation; considering the high cost of this practice poplar could be grown in a sustainability way only near waste water treatment plant.*

Keywords: *Poplar, clones, biomass, short rotation coppice, production, Sicily.*

Le disponibilità di biomassa in Sicilia

Nell'ultimo decennio c'è stato un notevole interesse per la produzione di energia da fonti rinnovabili sia a livello nazionale che regionale. Nelle zone caratterizzate da clima mediterraneo con elevata insolazione e buona ventilazione durante tutto l'anno le fonti preferite sono senz'altro l'eolico e il solare, sia fotovoltaico che termico. Considerando l'elevata estensione della superficie agricola utilizzabile, anche le biomasse possono trovare spazio e tra queste quelle derivate dal settore agro-forestale. Con materiale lignocellulosico è possibile la produzione di energia termica, sia per riscaldamento che per raffrescamento, elettrica, eventualmente in cogenerazione e infine dei biocarburanti di seconda generazione. Tra i materiali utilizzabili ci sono i sottoprodotti del settore agricolo, residui di potatura di viti, ulivi, agrumi e altre colture arboree, le paglie delle colture cerealicole ed i sottoprodotti dell'industria alimentare (sanse e vinacce). I quantitativi di biomasse residuali potenzialmente disponibili in Sicilia ed in tutto il Paese sono riportati in tabella 1. Le biomasse residuali agricole è auspicabile vengano utilizzate a scopo energetico perche al momento secondo una indagine di Itabia (2009) sono prevalentemente bruciate in campo, fino al 90-100%; il loro potenziale energetico viene sprecato e l'anidride carbonica immagazzinata durante la coltivazione è reimmessa direttamente in atmosfera.

A questi si possono aggiungere i sottoprodotti della produzione forestale riportati in tabella 2. Tutti questi dati sono tratti da un recente rapporto edito da ENEA (Motola *et al*, 2009). La biomassa legnosa annualmente disponibile è stata calcolata, al netto delle limitazioni, su scala territoriale. Per le fustaie di conifere o latifoglie la biomassa legnosa per usi energetici è stata quantificata sulla base degli scarti delle utilizzazioni forestali (rami e cimale), vale a dire circa il 30-35% del volume den-

drometrico totale nei boschi a prevalenza di latifoglie e il 15-20% nei boschi a prevalenza di conifere; per i cedui la produttività potenziale annua sostenibile è stata destinata interamente per scopi energetici, fatta eccezione per i cedui di castagno dove è stato ipotizzato un uso del 50% di massa per la produzione di paleria.

Tabella 1 - Riepilogo dei potenziali della biomasse residuali agricole o agro-industriali espresse in t di sostanza secca e di petrolio equivalente in Sicilia e sull'intero territorio nazionale (da Motola *et al*., 2009 mod).

Localizzazione	Paglie		Potature		Sanse + Vinacce	
	t	tep	t	tep	t	tep
Sicilia	731.970	280.450	597.920	258.840	186.350	103.530
Totale nazionale	15.710.890	6.019.520	4.906.410	2.123.990	1.319.880	733.280

Tabella 2 - Biomassa legnosa, in tonnellate di sostanza secca e di petrolio equivalente (tep), potenzialmente ritraibile annualmente dalle foreste della Sicilia e dell'intero territorio nazionale (da Motola *et al*., 2009 mod).

Localizzazione	Biomassa	tep
Sicilia	25.580	11.070
Totale nazionale	2.180.590	943.970

Complessivamente potrebbero essere disponibili in Sicilia poco più di 650 ktep, però questo tipo di materiale deve essere raccolto, eventualmente lavorato (ad esempio sminuzzato nel caso dei residui legnosi) e immagazzinato. Al momento pur essendo state messe a punto tecniche di raccolta e conservazione e immesse sul mercato varie macchine per effettuare questo tipo di operazioni viene ancora preferito l'interramento o la bruciatura.

La biomassa può essere prodotta anche con colture dedicate; nel caso delle specie arboree si sono sviluppati in tutto il mondo i cedui a turno breve o Short Rotation Coppices (SRC). Si utilizzano specie arboree a rapido accrescimento: salice (*Salix* spp), pioppo (*Populus* spp.), robinia (*Robinia pseudoacacia* L.), eucalitto (*Eucalyptus* spp.) ed altre; coltivate su terreni agricoli in piantagioni con elevate densità d'impianto (1000 – 15000 piante per ettaro), e ceduazioni ripetute a distanze ravvicinate, ogni 2-6 anni.

In un recente studio effettuato in Sicilia dall'Università di Palermo (Beccali *et al*, 2009) utilizzando la metodologia GIS e tenendo conto dell'attuale utilizzo del suolo, set-aside, colture di pregio ecc, delle condizioni climatiche, almeno 500 mm annuali

di pioggia per evitare l'irrigazione, della pendenza del terreno, inferiore al 10% per rendere possibile una elevata meccanizzazione di tutte le operazioni colturali e della raccolta, è stata calcolata una disponibilità di circa 350.000 ha con una produzione annuale stimata di circa 1,32 Mt di biomassa legnosa anidra.

Nell'autunno 2010 una società energetica tedesca ha annunciato di aver firmato un accordo per la costruzione in Sicilia del primo impianto di cogenerazione da biomassa da 18,7 MW; dovrebbe produrre 128.000 MWh di energia, quantità sufficiente a soddisfare il fabbisogno di energia elettrica annuale di 30.000 residenti.

Sperimentazione effettuata con pioppo in Sicilia

Al fine di valutare la possibilità di coltivazione dei cedui di pioppo in Sicilia ed eventualmente identificare le più appropriate varietà clonali, nella primavera 2008 sono stati messi a dimora quattro campi sperimentali in tre differenti località della provincia di Caltanissetta: Mussomeli (fig. 1), San Cataldo, e Caltanissetta loc. Misteci (fig. 2); tutti e tre i siti sono localizzati in area collinare; le precipitazioni medie annuali ammontano a circa 500 mm concentrati per lo più nel periodo autunno invernale.

Figura 1 - Mussomeli (CL). Ceduo a turno breve di pioppo al secondo anno dall'impianto.

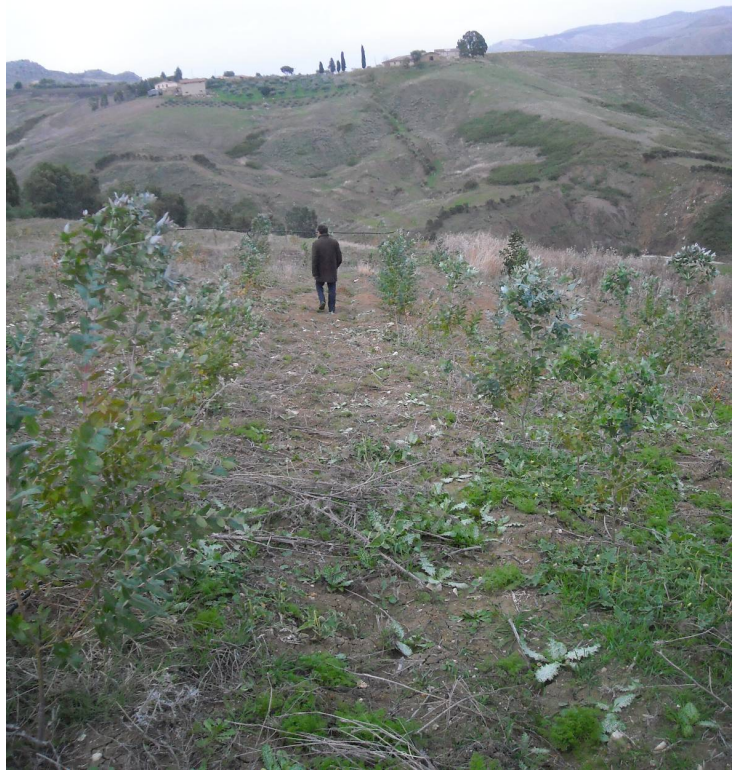


Figura 2 - Caltanissetta località Misteci. Ceduo a turno breve di varie specie a rapido accrescimento.

Il campo sperimentale di Mussomeli è localizzato in prossimità di un impianto di depurazione delle acque reflue e viene irrigato con le acque in uscita dal depuratore tramite il sistema a goccia. Nel campo di località Misteci l'irrigazione può essere effettuata solo per soccorso anche in questo caso tramite impianto a goccia prelevando l'acqua da un laghetto collinare aziendale. Entrambi i campi sono situati su versanti collinari con leggera pendenza. Nei due campi sono stati testati una decina di cloni di pioppo delle specie *Populus deltoides* Marshall e *P.* ×*canadensis* Mönch. In queste due prove oltre al pioppo sono testate anche altre quattro specie: la robinia (*Robinia pseudoacacia* L.), due specie di eucalitto (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnn and *E. globulus* Labill.) e l'*Acacia saligna* (Labill.) H.L.Wendl. Il disegno sperimentale è il blocco completo randomizzato con due replicazioni per ogni specie. Per i cloni di pioppo le replicazioni sono cinque.

Figura 3 - San Cataldo (CL). Confronto cloni di pioppo in ceduo a turno breve.

Figura 4 - San Cataldo (CL). Confronto tra cloni di *P.alba* e *P. ×canadensis* 'Orion' in ceduo a turno breve.

A San Cataldo sono invece stati messi a dimora due campi sperimentali solo con pioppo, in uno (Fig. 3) sono a confronto gli stessi cloni testati nei due precedenti impianti, nell'altro sono confrontati 9 cloni di pioppo bianco (*P.alba* L.) e il clone *P* ×*canadensis* 'Orion' selezionato ed iscritto al Registro Nazionale dei Materiali di Base appositamente per la produzione di biomassa ad uso energetico (fig 4). I due campi si trovano in leggera pendenza trasversale al senso delle file. Analogamente agli impianti delle altre località anche in questi, lungo le file, sono state stese le ali gocciolanti per effettuare l'irrigazione. Il disegno sperimentale è sempre il blocco completo randomizzato con cinque replicazioni.

Prima della messa a dimora è stata effettuata l'aratura (25-30 cm di profondità) seguita da una erpicatura per raffinare le zolle. Per i cloni di pioppo sono state utilizzate talee di 22 cm di lunghezza. Le talee di pioppo sono state messe a dimora ad una densità di 6667 piante per ettaro.

Per le altre specie sono stati impiegati semenzali di circa un anno di età e la densità d'impianto è stata ridotta a 3333 alberi per ettaro. L'impianto è stato effettuato su file singole distanziate di 3 metri, la distanza sulla fila è di 0,5 m per il pioppo e di 1 m per le altre specie. Le piantagioni sono state effettuate utilizzando una trapiantatrice semi-automatica sia per le talee che per i semenzali.

Non è stata effettuata la fertilizzazione di fondo. Durante il primo anno in tutti i campi è stata effettuata l'irrigazione; in tabella 3 sono riportati il numero di interventi irrigui e le quantità di acqua complessivamente distribuita durante tutta la stagione vegetativa. Le lavorazioni del suolo nell'interfila, per il controllo delle infestanti e la rottura della crosta superficiale per limitare l'evaporazione, sono state effettuate due volte a Mussomeli e San Cataldo ed una volta a Misteci soltanto durante la prima stagione vegetativa. Durante il secondo anno di coltivazione non sono stati effettuati interventi colturali se si esclude qualche intervento irriguo a Mussomeli.

Tabella 3 - Numero di interventi irrigui (N°) e quantità di acqua (mm) distribuita complessivamente durante la prima stagione vegetativa.

Località	N°	mm
Mussomeli	15	450
San Cataldo	4	80
Caltanissetta loc. Misteci	2	30

Al termine della prima stagione vegetativa, dato l'accrescimento limitato, sono state misurate solo le altezze delle piante; mentre alla fine del secondo anno, in ogni parcella, sono state misurate le seguenti variabili:

- sopravvivenza delle piante,
- numero di piantine/polloni con altezza maggiore di 150 cm,
- diametro a 130 cm di altezza di tutte le piante con altezza superiore a 150 cm,
- diametro a 10 cm da terra solamente per l'acacia saligna,
- altezza totale.

Tabella 4 - Mussomeli (CL). Media di sopravvivenza (%), numero di ricacci per talea o semenzale (Ri), diametro a petto d'uomo in mm (D130), altezza totale in cm (Ht), biomassa anidra in t ha^{-1} (BS) and in t ha^{-1} $anno^{-1}$ (BSa) delle differenti specie al termine della seconda stagione vegetativa.

Specie	%	Ri	D130	Ht	BS	BSa
A. saligna	99	2,5	30	321	24,8	12,4
E. camaldulensis	71	1,7	30	298	10,6	5,3
E. globulus	85	1,1	31	331	7,8	3,9
Robinia	95	1,6	17	227	2.9	1,4
Pioppi	57	1,4	22	272	2,9	1,5

Per stimare la produzione di biomassa sono state raccolte tra le 10 e le 30 piante per ogni specie/clone. Su ogni pianta sono stati rilevati i diametri a 10 e 130 cm di altezza, l'altezza totale il peso fresco e su un sottocampione il peso secco dopo essicazione in stufa a 103±1°C.

Per l'analisi statistica è stato utilizzato il programma STATISTICA 6.0 per Windows (StatSoft). Sono state calcolate equazioni di regressione per mettere in relazione il peso secco delle piante intere con il diametro. La produttività di biomassa espressa in sostanza secca per ettaro è stata calcolata tenendo conto del numero di ricacci prodotto dalle talee/semenzali e dalla loro sopravvivenza. I dati di sopravvivenza sono stati elaborati dopo trasformazione in arcoseno √%.

La sopravvivenza e gli accrescimenti dell'impianto di Mussomeli sono riportati in tabella 4 e quelli di Misteci in tabella 5.

Tabella 5 - Caltanissetta loc. Misteci. Media di sopravvivenza (%), numero di ricacci per talea o semenzale (Ri), diametro a petto d'uomo in mm (D130), altezza totale in cm (Ht), biomassa anidra in t ha^{-1} (BS) and in t ha^{-1} $anno^{-1}$ (BSa) delle differenti specie al termine della seconda stagione vegetativa.

Specie	%	Ri	D130	Ht	BS	BSa
A. saligna	100	1.0	18	245	4,20	2,10
E. camaldulensis	100	1.0	13	228	3,14	1,57
E. globulus	90	1.1	-	129	0,16	0,08
Robinia	84	1.6	-	68	0,05	0,03
Ploppi	85	1.4	-	101	0,08	0,04

Nelle tabelle 6 e 7 invece sono riportati i risultati ottenuti nelle due prove di San Cataldo condotte con specie e cloni diversi di pioppo.

Tabella 6 - San Cataldo (CL). Prova di confronto tra cloni di *P. deltoides* e *P ×canadensis.*. Media di sopravvivenza (%), numero di ricacci per talea o semenzale (Ri), diametro a petto d'uomo in mm (D130), altezza totale in cm (Ht), biomassa anidra in t ha^{-1} (BS) and in t ha^{-1} anno^{-1} (BSa) delle differenti specie al termine della seconda stagione vegetativa.

Cloni	%	Ri	D130	Ht	BS	BSa
Media generale	61	1,1	15	231	1,09	0,55
Miglior clone	85	1,0	23	308	2,97	1,50

Tabella 7 - San Cataldo (CL). Prova di confronto tra cloni di *P. alba* and *P ×canadensis* 'Orion'. Media di sopravvivenza (%), numero di ricacci per talea o semenzale (Ri), diametro a petto d'uomo in mm (D130), altezza totale in cm (Ht), biomassa anidra in t ha^{-1} (BS) and in t ha^{-1} anno^{-1} (BSa) delle differenti specie al termine della seconda stagione vegetativa.

Species/cloni	%	Ri	D130	Ht	BS	BSa
Media cloni *P. alba*	57	1,1	-	116	0,12	0,06
Miglior clone *P.alba*	56	1,3	12	189	0,55	0,27
Orion	94	1,7	18	292	3,81	1,90

Tra i pioppi allevati a San Cataldo (tabelle 6 e 7) solamente il clone *P ×canadensis* 'Orion' ha avuto un accrescimento interessante, anche se in due anni ha raggiunto le dimensioni che le piante allevate in pianura padana raggiungono in un anno; di conseguenza anche le produzioni di sostanza secca di questo clone sono abbastanza basse comprese tra 1,5 e 1,9 t ha^{-1} anno^{-1}. Per avere produzioni più consistenti è necessario allungare il turno.

A Caltanissetta loc. Misteci (Tab. 5) la produzione di biomassa anidra varia tra le 0,05 t ha^{-1} della robinia e le 3,14 t ha^{-1} del *Eucalyptus camaldulensis* o le 4,2 t ha^{-1} dell'acacia saligna. Le produzioni risultano proporzionate al diverso adattamento delle specie testate all'aridità; i pioppi pur avendo una densità d'impianto pressoché doppia rispetto alle altre specie hanno prodotto solamente 0,08 t ha^{-1}, superando però la robinia.

A Mussomeli, dove l'irrigazione è stata effettuata con regolarità al primo anno, mentre al secondo si sono avuti problemi di distribuzione dell'acqua specialmente nel periodo più arido, la produttività (Tab. 4) è stata sei volte superiore a quella di Misteci e la *performance* dell'acacia saligna (12,4 t ha^{-1} anno^{-1} di s.s.), si avvicina a

quella ottenuta nelle piantagioni commerciali di pioppo della pianura padana. Anche in questa località il pioppo aveva una densità iniziale doppia di quella delle altre specie, purtroppo la carenza idrica dovuta alla sospensione dell'irrigazione nel periodo più arido del secondo anno ha provocato un'elevata mortalità delle piantine riducendo alla fine del secondo anno la sopravvivenza al 57%. Le produzioni del pioppo e della robinia sono le più basse e si attestano a 2,9 t ha^{-1} molto vicine, come d'altronde gli accrescimenti in diametro ed altezza, alle produzioni dei cedui di pioppo alla fine del primo anno nel Nord Italia.

La produttività dei cloni di pioppo comparati in queste prove, compresi quelli di *P. alba* specie considerata relativamente tollerante le condizioni di stress idrico, sono risultate piuttosto basse, probabilmente in questi ambienti è necessario allungare il turno a tre-quattro anni. D'altronde i pioppi per poter crescere e produrre biomassa necessitano di una piovosità di almeno 700 mm annui, di cui almeno 350-450 durante la stagione vegetativa (Bergante *et al*., 2010); se le piogge non sono sufficienti è necessario intervenire con l'irrigazione. Questa condizione si è verificata solo al primo anno nell'impianto di Mussomeli, purtroppo al secondo specialmente nel periodo più arido l'irrigazione è stata sospesa per problemi all'impianto di distribuzione; altrimenti le produzioni sarebbero state molto più alte.

Anche se le prove sono ancora in corso, e normalmente al secondo turno le produzioni aumentano di oltre il 50% o più si può già affermare che nella maggior parte del territorio siciliano, dove la precipitazione sono prossime ai 500 mm annui concentrati nel periodo autunno-invernale, la coltivazione del pioppo a scopi produttivi può essere effettuata solo con irrigazione e dato il costo elevato di questa pratica solo dove viene effettuato lo smaltimento di acque reflue.

Bibliografia

Bergante S., Facciotto G., Minotta G., (2010). Identification of the main site factors and management intensity affecting the establishment of Short-Rotation-Coppices (SRC) in Northern Italy through Stepwise regression analysis, Cent. Eur. J. Biol. 5(4), 522-530.

Itabia, (2009). *Rapporto 2008, I traguardi della bioenergia in Italia elementi chiave per gli obiettivi al 2020*. www.itabia.it

Motola V., Colonna N., Alfano V., Gaeta M., Sasso S., De Luca V., De Angelis C., Sda A., Braccio G. (2009). *Censimento potenziale energetico biomasse, metodo indagine, atlante Biomasse su WEB-GIS*. ENEA Report RSE/2009/167.

D
Meccanizzazione

1 - Lavorazione del terreno nel pioppeto dall'impianto alla raccolta

Soil tillage of poplar: from planting to harvest

Alberto Assirelli*

Riassunto

La lavorazione del terreno riveste fondamentale importanza nella fase di impianto e nella gestione della coltura. Gli aspetti pedoclimatici specifici dell'areale rivestono anche per le operazioni di lavorazione del terreno una notevole importanza richiedendo un'attenta programmazione delle modalità operative e delle attrezzature da utilizzare. L'esecuzione di interventi non adeguatamente ponderati può ridurre notevolmente l'efficienza originariamente attesa. Una buona conoscenza tecnico-funzionale delle macchine, del terreno da preparare ed agronomica della futura coltura da gestire sono solo alcuni degli elementi da considerare per poter razionalmente scegliere la tecnica di preparazione del terreno più opportuna. La conoscenza delle esigenze della coltura che si intende mettere a dimora e delle tecniche di lavorazione seguite negli anni per le colture precedenti possono essere considerati i due aspetti principali da esaminare. Potrebbe inoltre essere consigliabile, prima dell'introduzione di tecniche innovative, valutare la formazione/aggiornare degli operatori addetti alla conduzione delle macchine per ridurre le probabilità che l'efficienza di tali soluzioni possa essere compromessa da errate modalità d'impiego. La preparazione del terreno per colture arboree richiede interventi abbastanza standardizzati per cui può frequentemente accadere che soluzioni radicate da tempo (lavorazioni convenzionali) ed altre più o meno innovative (se. macchine combinate) possano coesistere, fornendo entrambe buoni risultati operativi nelle rispettive condizioni di lavoro. La coesistenza di diverse tipologie di attrezzature e modalità ope-

* CRA-ING - Unità di Ricerca per l'Ingegneria Agraria, Monterotondo (Roma).

rative per la lavorazione del terreno ha rappresentato spesso una fonte di possibili alternative alla quale poter attingere per rispondere all'imprevedibilità delle condizioni di lavoro, a partire dalla raccolta della coltura precedente e dalla gestione dei residui a terra fino alla messa a dimora di quella successiva.

Le lavorazioni ordinarie di gestione dell'impianto rivestono un'importanza molto più contenuta soprattutto superata la fase di impianto della coltura.

Parole chiave: SFR (*Short Rotation Forestry*), lavorazione pre-impianto, lavorazione ordinaria, colture bioenergetiche

Abstract

The soil tillage is of fundamental importance in the process of planting and crop management. The specific aspects of soil and climate of the area, are important too for tillage operations requiring a careful planning and operating procedures of equipment to be used. The implementation of interventions can not adequately weighted, significantly reduce the efficiency originally expected. A good knowledge of the technical-functional machines, to prepare the soil for future crop and agronomic management are just some of the considerations to rationally choose the most appropriate technique for the soil preparation. The knowledge of the needs of the crop you intend to be planted and processing techniques applied in the previous crop year can be considered the two main aspects to be examined. It might also be advisable, before the introduction of innovative techniques, evaluate training/upgrading of the workers to run the machines to reduce the likelihood that the efficiency of these solutions can be compromised by incorrect instructions for use. The preparation of land for tree crops require fairly standardized interventions for which it frequently happen that solutions rooted for a long time (conventional processes) and other more or less innovations (se. combined machines) can coexist, providing both good operating results in their working conditions. The coexistence of different types of equipment and operating procedures for the processing of land has often represented a source of alternatives to which they can draw upon to respond to the unpredictability of working conditions, starting from the harvest of previous crop residues and management of ground up the planting of the next. The ordinary processes of planting management have a minor importance once passed the planting phase post-planting of the crop.

Keywords: *SRF* (Short Rotation Forestry)*, pre-plant tillage, ordinary tillage, bioenergy crops.*

1. Le lavorazioni del terreno in pioppeti da biomassa

La lavorazione del terreno per impianti arborei da biomassa può considerarsi suddivisibile in lavorazioni per la messa a dimora della coltura, talee od astoni a seconda

dell'indirizzo produttivo prescelto, e lavorazioni ordinarie di manutenzione dei filati e degli interfilari.

Per quanto riguarda le lavorazioni per la messa a dimora della coltura o preimpianto le tecniche di lavorazione più tradizionali, incentrate su lavorazioni principali e secondarie, presentano il principale vantaggio della versatilità, e del generale apprezzamento da parte degli agricoltori consentendo soddisfacenti risultati anche nelle condizioni più sfavorevoli. Anche nella lavorazione del terreno negli ultimi anni non solo per colture energetiche, più che ad una ricerca di nuove macchine operatrici, si è assistito ad un perfezionamento delle soluzioni esistenti, specialmente per quanto riguarda l'affidabilità, la funzionalità, l'usura, le modalità d'impiego, gli allestimenti e l'applicazione alle diverse tecniche colturali.

Fra le lavorazioni principali possono essere considerate l'aratura, la discissura, la rotoaratura e la vangatura.

Figura 1 - L'aratura alla pari sta riscuotendo un crescente interesse anche per l'impianto di colture arboree ad uso energetico.

L'aratura (Fig. 1) rappresenta ancora un intervento generalmente piuttosto apprezzato in grado di consentire un rapido impianto della coltura creando un sufficiente strato di terreno esplorabile dalle radici del nuovo impianto, una buona aereazione e capacità di immagazzinamento delle acque meteoriche. Considerando che l'aratura profonda oltre 60 cm frequentemente definita con il termine di "scasso" sta ormai interessando un ridotto numero di utilizzatori soprattutto per via degli elevati costi necessari, negli ultimi anni l'aratura ha avuto un proprio percorso evolutivo assistendo ad una progressiva riduzione della profondità di lavoro che a partire dai primi anni '80 ha visto un progressivo ridimensionamento delle profondità fino agli attuali 30-40 cm ed alla sostituzione delle macchine motrici dalla propulsione cingolata a quella gommata con definitiva affermazione dell'aratura alla pari eseguita con aratri reversibili polivomeri, relegando maggiori profondità solo a colture di pregio, capaci

di valorizzarne i maggiori costi. L'aspetto economico ha sicuramente influito su tale percorso soprattutto operando con colture di limitato pregio o nei casi di marcata esigenza di riduzione dei costi. Fra i principali vantaggi dell'aratura occorre annoverare anche il controllo meccanico sulle malerbe soprattutto nelle prime fasi di impianto e una buona distribuzione degli elementi fertilizzanti distribuiti nel profilo interessato dall'intervento se sparsi precedentemente all'operazione. Il principale limite dell'aratura è comunque caratterizzato dalla pressione sul piano orizzontale del vomere in lavoro che sommato dalla pressione della ruota della trattrice nel caso di lavorazione entro solco, operazione ormai in via di esaurimento, determina la formazione della cosidetta suola di aratura che soprattutto per il pioppo rappresenta un limite ad una pronta radicazione delle talee. Tale aspetto rappresenta un elemento spesso determinante per il successo della coltura soprattutto estendendo gli areali di coltivazione anche in zone meno favorevoli quali il centro/sud Italia. L'impossibilità della radice appena emesse di superare la suola di lavorazione limita la capacità della coltura di superare eventuali stress idrici. Altro limite capace comunque di incidere in modo diversificato a seconda della tipologia di terreno e della presenza di sostanza organica riguarda il rimescolamento profondo che può portare in superficie terreni di minor fertilità ed allo stesso tempo collocare in profondità terreni qualitativamente migliori. Tale limite risulta comunque ridotto dalla generale tendenza alla riduzione della profondità di lavorazione, essendo più marcato in operazioni di aratura eseguite a profondità superiori a 40-50 cm. L'aratura estiva presenta inoltre il limite di favorire i fenomeni di mineralizzazione che portano nel tempo ad una riduzione del contenuto di sostanza organica dei suoli, aspetto che sta progressivamente interessando areali sempre più vasti in cui risulta preferibile in presenza di suola di lavorazione effettuare la lavorazione a due strati con discissura profonda senza rimescolamento e aratura superficiale.

Figura 2 - La discissura trova una favorevole applicazione insieme all'aratura superficiale per effettuare la lavorazione a doppio strato.

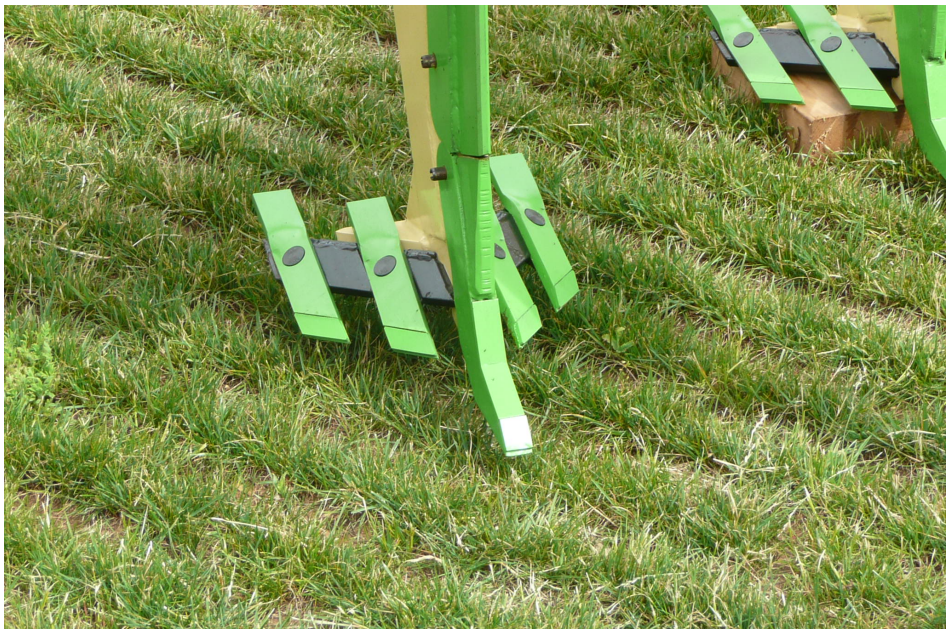


Figura 3 - La forma dell'elemento terminale influisce notevolmente sugli aspetti operativi ed economici dell'intervento.

La discissura o ripuntatura profonda (Fig. 2) viene eseguita a diverse profondità, con diverse tipologie di operatrici ed in modo differenziato a seconda degli utensili di lavoro adottati (Fig. 3). L'operazione consente una fessurazione verticale del terreno senza determinare rimescolamenti fra strati collocati a diverse profondità, la conformazione degli utensili terminali e la presenza di utensili intermedi lungo il discissore principale possono variare notevolmente l'efficienza dell'operazione e gli aspetti energetici dell'intervento. Nel caso dell'impianto di colture arboree per la produzione di energia lo scopo principale dell'intervento discissura è rappresentato dalla rottura degli eventuali strati compattati in profondità, tipici di rotazioni eseguite con frequenti interventi di aratura; in questi casi è consigliabile privilegiare nell'esecuzione della lavorazione la profondità di lavoro, limitando l'impiego di elementi esplosori terminali od intermedi che determinerebbero maggiori assorbimenti energetici. La discissura presenta i vantaggi di non causare suola di lavorazione anzi di rompere quella eventualmente presente agevolando l'approfondimento radicale della coltura ma i principali limiti sono dovuti al ridotto contenimento delle infestanti, ridotto interramento dei fertilizzanti e capacità di immagazzinamento dell'acqua, non operando omogenea frantumazione dello strato di terreno interessato. La discissura trova una buona applicazione se seguita da aratura superficiale consentendo vantaggi sul piano economico ed agronomico per via dell'assenza di suola di lavorazione tipica di un'aratura profonda, pur eliminando la pericolosa suola di aratura tipica di ordinamenti colturali ripetuti in terreni caratterizzati da ridotta componente sabbiosa.

Figura 4 - La rotoaratura rappresenta un'operazione di lavorazione principale eseguita in particolari condizioni operative.

Figura 5 - La vangatura rappresenta un'operazione di lavorazione principale poco utilizzata per l'impianto di arboreti.

Altri interventi di lavorazione principale disponibili ma non di ordinario impiego possono considerarsi la rotoaratura eseguita con operatrice ad elementi di lavoro rotanti su asse orizzontale (Fig. 4) e la vangatura eseguita con apposita operatrice a diversa larghezza operativa (Fig. 5).

Nel caso della rotoaratura l'intervento consente l'esecuzione anche in caso di condizioni pedoclimatiche sfavorevoli e sopratutto in presenza di elevati livelli di umidità, permette di eseguire un discreto rivoltamento del profilo del terreno trattato eliminando il pericolo di creazione di suola di aratura grazie alla non continuità dei settori di lavoro interessati dai diversi organi rotanti. Le profondità di lavoro raggiungono ed a volte superano quelle di un'ordinaria aratura eseguita con aratri polivomeri raggiungendo ed a volte superando i 40 cm. Il fronte di lavoro spesso superiore ai due metri e compreso fra i 2,5 e 3 m consente capacità di lavoro spesso superiori all'ettaro ora risultando facilmente competitivo con l'aratura.

Relativamente alla vangatura l'operazione eseguita meccanicamente riunisce molti positivi aspetti dell'operazione manuale non creando suole di aratura, e realizzando un buon rimescolamento degli strati di terreno interessati. La profondità di lavoro può ritenersi leggermente inferiore ad un'aratura classica, difficilmente raggiunge i 40 cm, il fronte di lavoro generalmente superiore ai 2,5 metri ed una velocità di avanzamento prossima ai 3-3,5 km h^{-1} consente una capacità di lavoro spesso inferiore ad 1 ha h^{-1}. L'assenza di significativi sforzi di trazione consente positive ripercussioni anche sul compattamento del terreno nonostante l'impiego di macchine motrici di medio alta potenza.

Occorre comunque riconoscere come le tecniche di lavorazione principale alternative all'aratura quali rotoaratura e vangatura, anche se applicate in areali piuttosto contenuti e per determinate esigenze colturali difficilmente interessano importanti superfici aziendali.

Nell'ambito delle lavorazioni secondarie rivolte all'ottenimento di un adeguato livello di affinamento superficiale del profilo del terreno sono riunite tutte le erpicature eseguibili con le diverse operatrici disponibili a partire da quelle ad utensili rigidi, elastici, folli od azionati dalla presa di potenza della trattrice. Considerando che la maggior parte dell'apparato radicale sia di talee sia di astoni si sviluppa entro i 60-80 cm (Facciotto, 1998) riveste una certa importanza riuscire a creare le migliori condizioni di contatto con il terreno ed aereazione per favorire i fenomeni di radicazione. Nell'ambito del vasto gruppo di erpici disponibili le soluzioni maggiormente utilizzate sono rappresentate dagli erpici azionati dalla presa di potenza della trattrice, dagli erpici a dischi e dagli erpici ad elementi elastici.

Figura 6 - L'erpicatura con operatrice azionata dalla presa di potenza rappresenta una delle operazioni di lavorazione secondaria di maggior versatilità.

Per quanto riguarda gli erpici azionati dalla presa di potenza della trattrice (Fig. 6) la maggior parte dei modelli riguarda la soluzione ad elementi rotanti su asse orizzontale con utensili di diversa conformazione e dimensioni. La profondità di lavoro è di solito limitata a 15-20 cm e la possibilità di intervento con un buon grado di efficienza anche direttamente sulle zolle di aratura od in presenza di infestanti ne consentono una buona versatilità. Le larghezza di lavoro sono comprese fra 2,5 e 6 metri che a velocità di avanzamento comprese fra 2,5 e 3,5 km h^{-1} consentono interessanti capacità di lavoro. La capacità di rimescolamento del terreno può considerarsi buona anche se la capacità di interramento non si presenta particolarmente efficiente. Le epoche di intervento consigliabili possono spaziare da pochi giorni successivi

alla lavorazione principale soprattutto se eseguita in estate con pericolo di eccessivo asciugamento dello strato interessato con indurimento delle zolle fino a pochi giorni prima dell'impianto nel caso si volesse effettuare anche un certo controllo delle infestanti. In presenza di elevate infestazioni sono spesso consigliabili più di un intervento prima di procedere alla messa a dimora della coltura.

Gli erpici a disco trovano frequente applicazione negli interventi di gestione ordinaria di filari ed interfilari, lasciando agli erpici a denti elastici maggior possibilità di impiego per l'affinamento pre-impianto in alternativa agli erpici azionati dalla presa di potenza della trattrice. L'intervento su terreno già trattato con operatrici per la lavorazione principale non rappresenta una pratica consigliabile soprattutto per l'elevata aggressività dei dischi i quali operando su substrato già mosso possono facilmente essere soggetti ad eccessivo affondamento od irregolarità di funzionamento soprattutto operando a velocità superiori a 3 km h^{-1}.

Figura 7 - L'erpicatura con operatrice ad elementi elastici trova maggior possibilità d'impiego nelle operazioni pre-impianto invernali e primaverili.

Gli erpici a denti elastici (Fig. 7) trovano applicazione nelle condizioni già viste per gli erpici ad utensili azionati dalla pdp con maggiori limitazioni negli impieghi autunnali o prima che i rigori invernali abbiano già influito sulla consistenza delle zolle risultanti dalla lavorazione principale. In applicazioni primaverili pre-impianto trovano generale apprezzamento per via del buon livello di rimescolamento degli strati superficiali e del controllo delle infestanti soprattutto se equipaggiato con utensili terminali a zappetta ed impiegato a velocità di lavoro superiori a 4 km h^{-1} valore che oltre a consentire una buona capacità di lavoro consente anche un buon rimescolamento ed interramento di eventuali ammendanti o fertilizzanti.

Ormai definiti e conosciuti i limiti prevalentemente economici delle lavorazioni tradizionali e spesso agronomici delle soluzioni più economiche (es. minime lavora-

zioni), sono in via di affermazione metodologie che prevedono percorsi intermedi o non rigorosamente definiti quali lavorazioni a bande, fessurazioni profonde solo dietro specifica necessità, ecc. L'adozione di tecniche più innovative (riduzione profondità di lavoro, minime lavorazioni o semina diretta sui residui della coltura precedente), cosiddette anche a minor impatto ambientale, richiede preventivamente una quantità di nozioni che, se disattese, possono elevare pericolosamente il rischio d'insuccesso dell'intero ciclo colturale. La riduzione degli interventi preparatori rispetto ad una corretta programmazione tecnico-colturale aziendale, fenomeno accaduto in passato ed ancora riscontrabile prevalentemente per ragioni climatiche, ha spesso rappresentato un errore che ha poi portato ad improvvisate valutazioni sull'efficienza della tecnica utilizzata, senza le opportune considerazioni sulla correttezza delle modalità applicative seguite.

L'esecuzione di più operazioni in un solo passaggio, obiettivo ricercato con l'adozione delle macchine combinate, non può prescindere dalla considerazione che in una qualsiasi combinazione di più operatrici, quella a minor capacità di lavoro limita tutte quelle ad essa abbinate, da cui un particolare richiamo nella scelta delle macchine da collegare, evitando quelle fra loro a capacità molto diversificata. Sono inoltre da non trascurare i vantaggi derivanti dall'interposizione di alcuni giorni di tempo sia fra operazioni di preparazione, che fra preparazione e semina. Specialmente nella preparazione del terreno, le lavorazioni secondarie sortiscono maggior effetto dopo un certo periodo di riposo, così come in molti casi avviene per la semina.

Può infatti accadere, specialmente negli impianti primaverili, ancor più se in stagione avanzata, che se non si lascia agli strati superficiali la possibilità di stabilizzarsi, specialmente sotto l'aspetto del contenuto di umidità, possano poi sorgere complicazioni all'emergenza della coltura. La massa complessiva dei cantieri di lavoro può presentare limiti legati al compattamento o al danneggiamento della struttura del suolo, apportando quindi riduzioni al periodo utile di esecuzione delle lavorazioni.

Per quanto riguarda la tendenza all'aumento spesso generalizzato delle potenze motrici delle trattrici, se un lato può presentare il vantaggio di permettere l'intervento anche nelle condizioni di lavoro più difficili, dall'altro occorre però tenere presente che tale possibilità ha in più occasioni portato ad interventi forzati spesso negativi sia sotto l'aspetto agronomico che economico, con ripercussioni sulla produttività colturale soprattutto in presenza di impianti poliennali.

La preparazione dei terreni per la messa a dimora delle colture agro energetiche ha rappresentato in molti casi il campo prove di attrezzature per la lavorazione legate a tecniche colturali più o meno innovative. Sperimentazioni condotte nei primi anni '90 (Colorio *et al*., 1996) mettendo a confronto diverse tipologie di intervento (scasso-aratura superficiale, lavorazione doppio strato e sola discissura) hanno evidenziato come la preparazione del terreno rivesta particolare importanza nella fase di impianto della coltura e nei primi anni di vegetazione, tendendo progressivamente a livellarsi oltre il 3° anno vegetativo.

Se da un lato l'estrema adattabilità di alcune colture agro energetiche può aver spinto anche troppo rapidamente la riduzione degli interventi di lavorazione, in altri casi senza le comuni attenzioni sul compattamento del terreno, sull'esigenza di affinamento richiesto o sull'efficienza della rete di allontanamento delle acque meteoriche hanno in più casi costretto ad improvvisi cambi di tecnica.

La tessitura del terreno, l'andamento climatico, la rotazione colturale e la conseguente epoca di raccolta della coltura precedente rappresentano solo alcuni degli elementi da valutare prima della scelta della tecnica di lavorazione da adottare, con la considerazione che più favorevoli sono le condizioni di partenza, migliori saranno i risultati di qualunque soluzione adottata, mentre condizioni progressivamente più sfavorevoli a volte riducono le possibilità di applicazione e di successo delle tecniche disponibili, spesso in modo inversamente proporzionale alla loro semplicità applicativa. Riconoscendo come raramente una specifica tecnica di lavorazioni può essere genericamente applicabile, ancor meno lo può essere in condizioni operative sfavorevoli.

Una rotazione colturale ben programmata prima dell'impianto della coltura poliennale, lasciando intervalli di tempo sufficiente fra le varie fasi colturali, spesso rappresenta il miglior compromesso anche in caso di condizioni avverse. L'adozione ad anni alterni di tecniche di lavorazione differenziate per profondità o tipo di operatrice dà più possibilità di scelta, anche di fronte a rapidi mutamenti climatici. Se l'anno precedente per la coltura da rinnovo sono state eseguite lavorazioni più approfondite, non necessariamente andranno ripetute per la nuova coltura ed ancor meno se le condizioni dovessero divenire meno favorevoli. Dalle esperienze condotte per molte colture legnose agro energetiche può risultare sufficiente la sola fessurazione profonda in prossimità dell'impianto della nuova talea/astone.

L'esecuzione di operazioni al di fuori di accettabili condizioni pedoclimatiche quali ripetuti interventi di affinamento su terreni non in tempera, con aggravio di costi dovuto a maggiori sollecitazioni, con riduzione delle capacità di lavoro dei cantieri, oppure l'adozione di tecniche non concepite per un determinato uso es. aratri rotativi, costruiti per operare su terreni ad elevata umidità, in alcuni casi impiegati su terreni tenaci ove risultava inapplicabile anche l'aratura tradizionale se sono ritenuti scarsamente giustificabili per colture di maggior pregio (es. colture orticole o da riproduzione) ancor meno lo potranno divenire per le colture agroenergetiche. L'impianto di coltivazioni arboree ad uso energetico su terreni ordinariamente coltivati a colture erbacee con frequenti interventi di aratura possono presentare vere e proprie suole di lavorazione alle profondità normalmente interessate dalla lavorazione principale che se non fessurate possono creare serie complicazioni per le colture messe a dimora soprattutto nei primi anni di insediamento o nelle fasi di approfondimento radicale, impedendo alla pianta di acquisire sufficiente resistenza ai primi stress idrici. Per ridurre questo inconveniente rilevato in più occasioni sui suoli nazionali anche l'Unità di Ricerca per l'Ingegneria Agraria del Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura ha svolto diverse sperimentazioni mettendo a punto un cantiere idoneo per la lavorazione in banda del terreno.

2. Lavorazioni ordinarie di manutenzione di filari ed interfilari

Il controllo meccanico delle infestanti rappresenta un aspetto di notevole importanza soprattutto nei primi anni di impianto della coltura fino a quando lo sviluppo vegetativo raggiunto non garantisce un sufficiente limite all'accrescimento vegetale sottostante. Per permettere la valutazione delle diverse soluzioni disponibili verso la fine degli anni '90 l'Istituto Sperimentale di Pioppicoltura ha svolto prove sperimentali volte alla valutazione dell'accrescimento in diverse gestioni degli interfilari mettendo a confronto lavorazione terreno per un numero variabile di anni successivamente seguita da sfalcio in diverse località (Cremona, Firenze, Grosseto) dalle quali si rilevava come la differenza di accrescimento fra particelle inerbite e lavorate superficialmente nelle medesime condizioni sono risultate nulle o statisticamente non significative. Tralasciando le macchine impiegate per lo sfalcio/trinciatura della parte aerea delle infestanti relativamente alle macchine per la lavorazione del terreno sono interessate prevalentemente tre tipologie di operatrici ricadenti nelle categorie degli erpici, delle zappatrici e dei coltivatori. Una prima distinzione occorre effettuarla per suddividere le macchine in grado di operare nell'interfila rispetto a quelle capaci di intervenire anche nella zona interceppo dotate cioè di dispositivi scavallatori dei fusti.

Figura 8 - L'erpicatura con erpici a dischi può considerarsi prevalentemente applicabile nelle lavorazioni ordinarie degli interfilari.

Figura 9 - La zappatrice rotativa per la sua ridotta profondità di lavoro pur essendo un'operatrice per la lavorazione principale trova frequente impiego nelle operazioni di gestione degli interfilari ed interceppi.

Per quanto riguarda le operatrici prive di dispositivi scavallatori una tipologia di macchina frequentemente impiegata per il controllo delle infestanti, l'interramento di ammendanti e fertilizzanti ed un certo rimescolamento degli strati superficiali è rappresentata dagli erpici a dischi (Fig. 8) che trovano nell'elevata aggressività degli elementi di lavoro rappresentati da dischi affilati le ragioni dell'elevato apprezza-

mento dovuto alla buona capacità di intervento anche su terreni compattati ed in presenza di elevati volumi di infestanti. Le ridotte larghezze di lavoro in questo caso limitate dalle interfile di semina rispetto alle versioni da pieno campo trovano nelle discrete velocità di avanzamento (>4 km h^{-1}) una buona capacità di lavoro. Sono disponibili sia in versione trainata sia in versione portata dall'attacco a tre punti della trattrice ed il diametro dei dischi rappresenta un importante aspetto per le capacità operative soprattutto intese come profondità di lavoro e capacità di recisione degli steli delle infestanti. I dischi sono comunemente riuniti in moduli da 4-5-6 elementi e per gli aspetti funzionali il numero e disposizione dei moduli riveste un aspetto piuttosto importante. L'azione di scorrimento dei dischi nel terreno inoltre consente di evitare la formazione di profili inferiori compattati riducendo gli scambi di aria ed acqua con gli strati più profondi di terreno.

Le zappatrici rotative (Fig. 9), frequentemente classificate come operatrici per la lavorazione principale essendo in grado di operare anche su terreni non preventivamente lavorati trovano un certo apprezzamento anche nella gestione degli arboreti da biomassa anche se le ridotte capacità operative difficilmente risultano compensate dal maggior grado di affinamento raggiungibile. La macchina consente un efficace rimescolamento dello strato di terreno interessato anche se l'azione degli utensili tende a creare uno strato sottostante di maggior densità con problematiche in parte simili a quanto già citato per la suola di aratura riguardo alle lavorazioni principali. L'azione di taglio e frantumazione della fetta di terreno e delle infestanti presenti risultano molto energiche come anche l'effetto di rimescolamento ed interramento di prodotti eventualmente distribuiti precedentemente all'intervento. La velocità di lavoro generalmente più contenuta rispetto agli erpici a dischi unita ad un maggior assorbimento energetico e suscettibilità all'usura degli utensili riducono gli aspetti positivi dell'operatrice.

Figura 10 - Le zappatrici rotative con elemento traslante per la gestione degli interceppi trovano frequenti limiti nella distanza d'impianto dell'arboreto lungo la fila.

I coltivatori/estirpatori (Fig. 11) rappresentano un'ulteriore categoria di operatrici atte alla lavorazione degli interfilari volte al controllo infestanti, rimescolamento superficiale con interruzione della capillarità responsabile della perdita di umidità del terreno. Possono presentare diverse tipologie di utensili di varia forma e dimensioni, l'effetto diserbante risulta favorito da utensili a profilo basale molto allargato che però tendono a limitare la profondità di lavoro se non a discapito di un aumento dell'energia necessaria per l'operazione; l'effetto di rimescolamento seppur superficiale può ritenersi piuttosto scarso soprattutto per via dell'azione di taglio orizzontale che su suoli compattati porta frequentemente al distacco di zolle successivamente di complessa frantumazione.

Relativamente alle operatrici dotate di dispositivi atti ad operare anche nella zona interceppi non si possono distinguere principi funzionali dedicati ma piuttosto interventi di adeguamento effettuati sulle operatrici precedentemente descritte magari modificando gli aspetti dimensionali degli organi di lavoro. Sono disponibili operatrici interceppi con dispositivo di lavoro a dischi multipli paralleli, a zappatrice rotativa e ad elementi fissi con utensili terminali di diversa conformazione oltre ad alcuni di struttura molto più semplificata in cui l'elemento mobile è rappresentato da una singola lama orizzontale che recide a pochi centimetri di profondità gli apparati radicali delle infestanti operando anche un parziale rimescolamento del terreno interessato.

Figura 11 - Coltivatori ed estirpatori trovano nella semplicità costruttiva e praticità d'impiego le ragioni del loro apprezzamento per gli interventi di gestione degli interfilari nei primi anni d'impianto.

Aspetto molto importante per l'impiego di queste tipologie di macchine è rappresentato dalla distanza di impianto adottata lungo la fila tenendo ben presente che distan-

ze inferiori al metro possono creare poi complicazioni a livello di sistemi di controllo della posizione dell'elemento scavallatore o ridurre eccessivamente la velocità di lavoro dell'operatrice con serie ripercussioni sugli aspetti economici dell'intervento.

Conclusioni

Le operazioni di lavorazione dei terreni per l'impianto di colture arboree da biomassa frequentemente non richiedono interventi particolari rispetto alle comuni tecniche adottate per la realizzazione di impianti arborei per altre destinazioni.

Le lavorazioni principali vedono l'impiego delle comuni operatrici di frequente dotazione nei parchi macchine delle aziende agricole ed agromeccaniche fra le quali gli aratri in versione polivomere rappresentano la soluzione maggiormente utilizzata soprattutto in funzione della buona versatilità d'impiego.

Le lavorazioni secondarie diversamente da quanto necessario per colture particolarmente esigenti non richiedono un grado di frantumazione degli strati superficiali molto spinto soprattutto per via della modalità d'impianto prescelta che frequentemente ricorre a talee od astoni per la cui radicazione non è richiesta un'eccessiva frantumazione superficiale.

L'epoca di esecuzione delle operazioni riveste particolare importanza per cui eseguendo gli impianti a primavera è piuttosto importante effettuare le lavorazioni principali a fine estate e quelle secondarie di affinamento in autunno o per un miglior contenimento della flora infestante qualche settimana prima dell'impianto.

Le operazioni di gestione dell'impianto soprattutto nei primi anni di sviluppo si può suddividere fra gestione interfilare ove possono essere impiegate le operatrici di larghezza inferiore ormai in via di progressivo abbandono per i lavori di pieno campo (< 2,5-3 metri di larghezza), mentre per la gestione delle aree interceppo, se la distanza di impianto non è inferiore al metro, trovano buone possibilità applicative le operatrici disponibili per frutteti e vigneti dotate di dispositivi scavallatori ad azionamento meccanico/idraulico (Es. zappatrici interfilari).

Una corretta valutazione degli aspetti pedoclimatici e colturali dell'area interessata all'impianto riveste una notevole importanza per il successo della coltura spesso in modo ancor più incisivo rispetto alla scelta della singola tecnica di lavorazione.

Anche nel campo delle colture agro energetiche differenze produttive fra le varie tecniche disponibili (tradizionale con aratura e successive erpicature, ripuntature ed erpicatura, minime lavorazioni e semina diretta), purché correttamente applicate, possono considerarsi molto contenute, divenendo in alcuni casi anche non significative (Vedi esperienze CRA-ING su lavorazioni in banda), giustificando quindi con sufficiente margine le ragioni spesso economiche della loro applicazione. L'operatore stesso, conoscendo personalmente vantaggi e limiti delle proprie attrezzature, do-

vrebbe essere in grado di applicare alla propria realtà aziendale le adeguate tecniche di preparazione disponibili.

Bibliografia

Assirelli A., Bovolenta S., 2002. Si può lavorare il terreno salvaguardando l'ambiente. Rivista Agricoltura 10, 21-27.

Assirelli A., 2004. Le soluzioni innovative nella preparazione del suolo agrario. Rivista Agricoltura 7/8, 78-80.

Colorio G., Beni C., Facciotto G., Allegro G., Frison G., 1996. Influenza del tipo di lavorazione preimpianto su accrescimento e stato sanitario del pioppo. L'Informatore Agrario 22, 51-57.

Corona P., Facciotto G., Lucci S., Mariano A., 1992. Contributo alla conoscenza delle tecniche colturali in piantagioni da legno. Quaderni di ricerca SAF 33, 42.

Facciotto G., 1998. Le lavorazioni del suolo in pioppicoltura. Rivista Sherwood Foreste ed Alberi Oggi 31 febbraio, 39-44.

2 - Il trapianto meccanico del pioppeto per produzione di biomassa, strategie finalizzate alla riduzione dei costi di produzione

The transplanting of poplar for biomass production, strategies for reduction of production costs

Luigi Pari*, Vincenzo Civitarese*

Riassunto

La coltivazione di specie arboree a ceduazione rapida (*Short Rotation Forestry* – SRF) per la produzione di biomassa a destinazione energetica presenta, attualmente, margini di convenienza economica piuttosto ridotti e dipendenti da interventi pubblici. Al fine di incrementare tali margini è necessario incidere sui costi di produzione della coltura operando anche sulla possibile meccanizzazione di alcune fasi del ciclo colturale.

Al fine di contribuire alla sostenibilità economica della filiera agro energetica, attraverso la riduzione dei costi di impianto, si è provveduto ad analizzare ed ottimizzare sia la fase di produzione del materiale di propagazione, attraverso la selezione ottica delle talee, sia la fase di trapianto, attraverso lo studio e la progettazione di un dispositivo per l'alimentazione automatica delle talee da equipaggiare su una trapiantatrice commerciale.

Parole chiave: trapiantatrici, pioppo, SRF.

Abstract

The cultivation of tree species for Short Rotation Forest (SRF) for biomass production destined to energy use, due to the poor quality of product yielded, has low margins of

* CRA-ING - Unità di Ricerca per l'Ingegneria Agraria, Monterotondo (Roma).

economic convenience, frequently relying of public contributions. For increasing such margins the lowering of production costs is required intervening on the mechanization of several phases of cultural cycle.

In order to contribute to the economic sustainability of agro energy chain by reducing planting costs, steps were taken to analyze and optimize both the production phase of the propagation material, through optical selection of cuttings, and the transplantation of cuttings, through the study and design of a device for automatic feeding of the cuttings, the latter to be equipped on a commercial transplanter

Keywords: *transplanters, poplar, SRF.*

1. Introduzione

La recente diffusione, anche negli areali mediterranei, dei cedui a breve rotazione (*Short Rotation Forestry* – SRF) ha determinato la necessità di analizzare in dettaglio i costi di produzione. Tali modelli colturali, pur garantendo un'elevata sostenibilità ambientale associata a buone potenzialità economiche, presentano margini di convenienza ancora piuttosto ridotti e fortemente dipendenti da interventi pubblici.

L'impianto e la raccolta incidono pesantemente sul bilancio economico della coltura arrivando a coprire quasi l'80% dei costi di produzione (Pari e Fredrizzi, 2004). L'impiego di manodopera incide per oltre il 35% (Manzone *et al*., 2009) ed è dunque auspicabile, al fine di incrementare la produttività del lavoro e contenere i costi di produzione della biomassa, ricercare soluzioni efficaci per la meccanizzazione delle operazioni che richiedono una forte componente manuale.

Mentre lo sviluppo tecnologico e innovativo del settore della raccolta meccanizzata è a buon punto e si sta già operando sul miglioramento ingegneristico delle soluzioni individuate (Pari *et al*., 2010; Pari e Civitarese, 2010; Verani *et al*., 2010), la meccanizzazione del trapianto appare ancora in fase evolutiva e certamente migliorabile.

Al fine di contribuire alla sostenibilità economica della filiera agro energetica, attraverso la riduzione dei costi di impianto, si è provveduto ad analizzare ed ottimizzare sia la fase di produzione del materiale di propagazione, attraverso la selezione ottica delle talee, sia la fase di trapianto, attraverso lo studio e la progettazione di un dispositivo per l'alimentazione automatica delle talee da equipaggiare su una trapiantatrice commerciale.

2. L'impianto del pioppeto

Il pioppo è una delle specie più impiegate per la costituzione di impianti a turno breve e l'impianto viene eseguito con talee prodotte in vivaio. Le talee sono porzioni di

fusto ottenute dalla suddivisione degli astoni (fusti di un anno) in segmenti di 20-30 cm di lunghezza.

Il materiale di propagazione viene conservato in cella frigorifera a 0-2°C e due o tre giorni prima dell'impianto viene immerso in acqua per favorirne una rapida ripresa vegetativa e la radicazione. La messa a dimora viene eseguita in autunno o inizio primavera e il sesto di impianto varia in funzione di diversi fattori: caratteristiche pedoclimatiche del sito, clone utilizzato, ritmo di ceduazione, tipo di cantiere di raccolta adottato, destinazione del prodotto finale (industria energetica o industria dei pannelli).

Dal 1995, anno in cui in Italia sono state condotte le prime esperienze di raccolta di colture forestali a rapida rotazione, ad oggi, il settore ha subito una costante evoluzione. Si è passati, difatti, da coltivazioni con turni annuali a turni biennali, da impianti a file binate ad impianti a file singole, da interfile comprese tra 1,60 e 2,80 m ad interfile di 3 m - 3,5 m (nel caso di raccolta in due fasi con andanatura tra le file) (Pari e Civitarese, 2010). La tendenza attuale in Italia è dunque quella di mantenere la densità ad ettaro della coltura impiantata tra le 5.700 e le 6.700 piante ha^{-1}.

Densità superiori a 10.000 piante ha^{-1} vengono, invece, adottate nei paesi nord europei con specie diverse dal pioppo (Bonari *et al*., 2004).

2.1 Le esperienze di meccanizzazione del trapianto

La meccanizzazione dell'impianto di colture per SRF deve necessariamente tenere conto della tipologia del materiale di propagazione impiegato. Sono state così messe a punto e studiate macchine in grado di operare sia con talee (inserite verticalmente nel terreno) sia con astoni orizzontali, sia con piantine radicate (Manzone *et al*. 2006; Bonari *et al*., 2009).

Figura 1 - Trapiantatrice TTP monofila in fase di lavoro.

Il CRA ING ha seguito lo sviluppo della trapiantatrice Spapperi TPP/1 (Fig. 1), una macchina semiportata posteriormente da una trattrice, della larghezza, lunghezza, altezza e massa pari rispettivamente a 1540 mm, 2100 mm, 1300 mm e 580 kg (Pari e Fredrizzi, 2004; Pari, 2005). La macchina è in grado di effettuare in successione le fasi di livellamento del terreno, posa di un film plastico, inserimento della talea al centro del film pacciamante e rincalzatura. La messa a dimora della talea viene effettuata mediante una ruota di metallo (diametro 1300 mm e larghezza 125 mm) sulla quale si trovano 8 elementi iniettori disposti radialmente ed equidistanti tra loro. Questi presentano una pinza a molla dove la talea da trapiantare viene posizionata da un operatore che la preleva dall'apposita cassetta. La macchina può operare su fila singola (in questo caso è necessaria la presenza di un trattorista e di un operatore), oppure su due file con l'aggiunta di un ulteriore elemento trapiantatore e relativo operatore.

La trapiantatrice monofila ha raggiunto una capacità di lavoro effettiva di 0,334 ha h^{-1} e una capacità operativa di 0,257 ha h^{-1} (3,89 ore h ha^{-1}). In un ora la macchina riesce a inserire 1.794 talee (Tab. 1).

Tabella 1 - Tempi di lavoro e prestazioni operative della trapiantatrice TTP monofila.

Tempi di lavoro (%)	
- Tempo effettivo	75,9
- Tempo per voltate	3,2
- Tempo per rifornimenti o scarichi	8,4
- Tempo per manutenzione	3,6
- Tempo accessorio	15,2
- Tempo operativo	91,1
- Tempo di preparazione sul luogo	8,9
- Tempo di impiego o utenza	100,0
Rendimento operativo (%)	83,3
Velocità effettiva (m/s)	0,332
Velocità operativa (m/s)	0,255
Capacità di lavoro effettiva (ha/ora)	0.334
Capacità di lavoro operativa (ha/ora)	0.257
Capacità di lavoro effettiva (talee/ora)	2.333
Capacità di lavoro operativa (talee/ora)	1.794

Figura 2 - Trapiantatrice TTP bifila in fase di lavoro.

Simulazioni fatte sull'opzione bifila (Fig. 2) fanno prevedere un incremento della capacità operativa fino a 3.386 talee h^{-1}. Il costo di esercizio per l'impianto di una talea è risultato pari a 0,012 euro.

Da un punto di vista qualitativo, la macchina ha provveduto a stendere in maniera corretta il film pacciamante, con una ridotta percentuale di fallanze e posizionamenti non corretti, dovuti essenzialmente alla disformità di diametro delle talee impiegate. La macchina, infatti, è progettata per operare con talee del diametro compreso tra 12 e 28 mm. Talee troppo piccole sfuggono alla presa della pinza e tendono a cadere sul terreno prima dell'inserimento, talee troppo sviluppate tendono invece ad incastrarsi nell'organo di presa con conseguente non perfetto inserimento perpendicolare rispetto al terreno. Al fine di migliorare la qualità del lavoro svolto e prevedere lo sviluppo di sistemi automatici di alimentazione delle trapiantatrici, risulta essenziale disporre di materiale perfettamente calibrato.

3. La selezione ottica delle talee

Le fasi di produzione, selezione e insaccamento delle talee partendo dall'astone presentano una serie di problematiche risolvibili operando sul profilo delle meccanizzazione. Gli astoni possono appartenere a cloni diversi e, quindi, avere dimensioni (diametro basale compreso tra 5 mm e 30 mm, altezza compresa tra 1,5 m e 4 m) e con-

formazione (presenza di rami laterali e di curvature del fusto) variabili. A ciò si aggiunga il fatto che, indipendentemente dal clone, l'astone ha forma conica che si traduce in talee che avranno un diametro maggiore se provenienti dalla parte basale ed uno più ridotto se ottenute dalla regione apicale.

Il materiale di propagazione viene attualmente suddiviso ad opera di una macchina dotata di lame circolari poste ad una distanza di 215 mm, che permette di ottenere talee della stessa lunghezza, ma di diverso diametro. La calibrazione a valle della segmentazione viene eseguita a mano con grande dispendio di manodopera e scarsa omogeneità nel risultato finale. Risulta necessario provvedere ad una suddivisione delle talee in classi di diametro il più possibile esatta affinché si possa provvedere allo sviluppo di sistemi di alimentazione automatica della trapiantatrice. Inoltre, va preservata e garantita la vitalità delle gemme, evitando abrasioni e contusioni, nonché mantenuta la polarità della talea per il successivo corretto posizionamento nel terreno.

Al fine di ridurre il costo di impianto del pioppo, voce che incide per quasi 2000 €/ha nel bilancio economico (Pari e Sissot, 2009), il CRA ING, in collaborazione con la Ditta Agrimat di Tortona (AL) e Franco Alasia Vivai di Savignano (AL) e con il supporto finanziario di Enama, ha realizzato una macchina per la selezione ottica delle talee in base al diametro, adattando un sistema di calibrazione già utilizzato per l'asparago.

3.1. La selezionatrice ottica

La macchina, montata a valle del sistema di taglio delle talee, è costituita dai seguenti componenti:

- un nastro con cinghie a "V" da 500 cm, che preleva le talee di pioppo (tutte tagliate ad una lunghezza di 215 mm) all'uscita del sistema per il taglio delle talee;
- un nastro a "V" da cm 200 a velocità variabile atto ad allineare, singolarizzare e distanziare le talee fra di loro di circa 4-5 cm (Fig. 3);
- una calibratrice elettronica ottica dotata di telecamera per la lettura dei diametri (Fig. 4). Le talee vengono trasportate da rullini biconici, che servono a centrare il prodotto sotto la telecamera di lettura;
- un sistema pneumatico (gestito da un software) che, attraverso un soffio d'aria inviato da ugelli erogatori azionati da una valvola elettro-pneumatica, indirizza le talee verso una specifica uscita;
- quattro uscite, una per ciascuna classe di diametro (A, B, C, D), ognuna delle quali scarica alternativamente in due vasche insaccatrici. L'alternanza serve per dar modo e tempo ad un solo operatore, addetto al riempimento manuale dei sacchi, di eseguire tale operazione su tutte e quattro le classi dimensionali.

Figura 3 - Panoramica della macchina per la selezione ottica delle talee. In primo piano le vasche di raccolta delle talee in funzione della classe di diametro.

Le talee fuori misura (diametro < 10 mm) o non riconosciute cadono in un raccoglitore a fine percorso.

3.2. Prestazioni operative

La prova è stata effettuata utilizzando astoni di un anno di età appartenenti al clone AF2, di altezza media pari a circa 2500 mm e diametro basale medio pari a 35 mm.

Ciascun astone produce mediamente 12 talee (compresi i fuori misura). La macchina calibratrice è stata fatta lavorare con i nastri trasportatori delle talee sotto il sistema ottico con una capacità operativa di 6.240 talee h^{-1}. Il software è stato programmato in modo da suddividere le talee in 4 classi di diametro da inviare a 4 corrispondenti uscite (Tab. 2).

Tabella 2 - Classi dimensionali delle talee.

Uscita (vasche)	Diametro (mm)	n. max talee per vasca
A (1-2)	>25	150
B (3-4)	20-25	250
C (5-6)	15-20	400
D (7-8)	10-15	600
Fuori misura	6-10	Illimitato
Fuori misura	< 6	Illimitato

In corrispondenza dell'uscita A, venivano inviate prima alla vasca 1 e, successivamente alla vasca 2, 150 talee di diametro superiore ai 25 mm. Seguendo lo stesso principio, alla uscita B venivano inviate alle vasche 3 e 4, 250 talee di diametro compreso tra i 20 e i 25 mm, alla uscita C venivano inviate alle vasche 5 e 6, 400 talee di diametro compreso tra i 15 e i 20 mm, mentre alla uscita D venivano alle vasche 7 e 8, 600 talee di diametro compreso tra i 10 e i 15 mm.

Si è provveduto a far operare la macchina, rilevando gli errori commessi dal sistema e la tabella 3 riassume i risultati della prova. Il software ha registrato e contato come validi solo le porzioni di astone idonee ad essere impiegati come talea. Il fuori diametro minimo è risultato pari al 22% dei pezzi prodotti.

Tabella 3 - Risultati della prova.

Uscita (vasche)	Diametro (mm)	% talee rilevate dal software	% pezzi contati manualmente	% errore software	% talee perse
A (1-2)	>25	0,8	0,6	0,0	0,0
B (3-4)	20-25	6,3	5,1	0,0	0,2
C (5-6)	15-20	39,9	31,2	1,4	2,0
D (7-8)	10-15	53,0	41,2	2,2	0,0
Totale talee caratterizzate		**100,0**	**78,1**	**3,6**	**2,2**
Fuori misura al fondo		0,0	19,3		
Fuori misura da rulli		0,0	2,6		
Totale fuori misura			**21,9**		

Alcune talee, nell'ordine del 3,6% di quelle prodotte, pur essendo caratterizzate diametralmente in modo corretto dalla macchina, non riescono ad essere spinte dal sistema pneumatico alla corrispondente uscita. Inoltre, circa il 2% delle talee caratterizzate cadono a terra o sono convogliate in una vasca della stessa classe dimensionale, ma non in quella corretta.

Non sono stati registrati errori, invece, nella calibratura e nella polarità delle talee.

Un aspetto critico del sistema valutato è costituito dal sistema di alimentazione della selezionatrice. La taglierina attualmente utilizzata non si è rilevata adatta ed ha capacità operative che non consentono di utilizzare al massimo le potenzialità della macchina selezionatrice. Allo scopo, è in fase di progettazione un sistema di taglio degli astoni basato su coltelli controrotanti, in grado di garantire una alimentazione omogenea delle talee opportunamente distanziate.

Figura 4 - Nastro trasportatore a "V" (a sinistra) e sistema ottico di calibratura (a destra).

4. Automazione del trapianto

L'esperienza condotta sulle trapiantatrici e sulla selezionatrice ottica delle talee ha consentito la prosecuzione dell'attività sperimentale che si è conclusa con lo studio e la progettazione di un dispositivo automatico di alimentazione della talea che potrà essere abbinato a trapiantatrici monofila o bifila ad elementi iniettori radiali.

4.1. Il dispositivo per il trapianto automatico

Tale dispositivo sarà costituito da una cassetta per il contenimento del materiale di propagazione, da un sistema di distribuzione ed uno di alimentazione (Fig. 5) e consentirà di effettuare il prelievo della singola talea dalla cassetta, il suo trasporto fino al piano di inserimento e l'inserimento della stessa nella pinza dell'elemento iniettore.

La cassetta per il contenimento delle talee sarà realizzata in acciaio e avrà una lunghezza, una larghezza ed una altezza pari rispettivamente a 800 mm, 270 mm e 400 mm.

Considerando le dimensioni medie delle talee la cassetta sarà in grado di contenere circa 420 talee.

Il fondo della cassetta sarà inclinato di 75° rispetto al piano orizzontale al fine di favorire l'avanzamento delle talee verso il piano di carico. Un martinetto interno azionerà, invece, un pannello oscillante a posizionamento variabile in grado di regolare il rilascio delle singole talee fino al sistema di distribuzione.

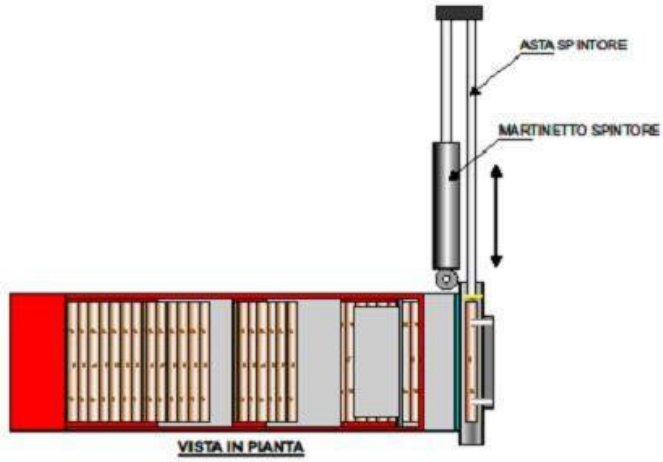


Figura 5 - Fasi di lavoro del martinetto spintore.

Il sistema di distribuzione sarà azionato da un martinetto idraulico e avrà la duplice funzione di provvedere a collocare le talee nella vasca dello spintore, durante il ciclo di andata, e favorire il rilascio delle talee sul piano del distributore, a conclusione del ciclo di ritorno.

Il dispositivo di alimentazione sarà costituito da un terzo martinetto idraulico che provvederà all'inserimento delle talee nelle pinze dei vari elementi iniettori. L'azionamento del martinetto sarà sincronizzato con la ruota della trapiantatrice grazie alla presenza di un sensore di prossimità (Fig. 6).

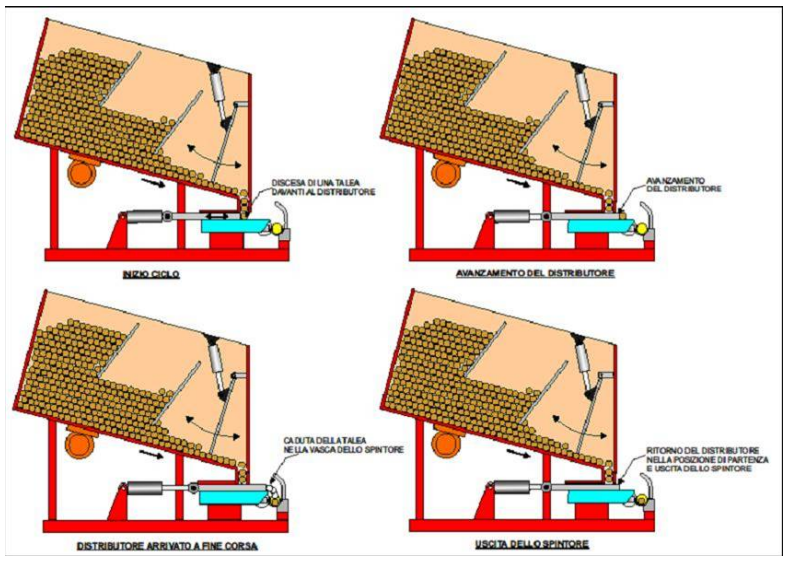


Figura 6 - Fasi di lavoro del dispositivo automatico di alimentazione delle talee.

Conclusioni

Il settore della meccanizzazione del trapianto del pioppeto (ma il discorso può essere esteso anche ad altre specie legnose per SRF) è in evoluzione e le soluzioni adottate appaiono particolarmente interessanti ai fini del raggiungimento dei principali obiettivi legati a tale operazione: incremento della produttività del lavoro, riduzione dei costi di manodopera e, conseguentemente, di impianto. Diverse sono le variabili che possono influenzare le performance delle singole trapiantatrici: il tipo di terreno, il suo stato fisico, la sua preparazione, le caratteristiche dimensionali del materiale di propagazione, ecc.

L'impianto e la raccolta incidono pesantemente sui costi di coltivazione arrivando a coprirne quasi l'80% (Pari e Fredrizzi, 2004) mentre l'impiego di manodopera incide per oltre il 35% (Manzone *et al*., 2009). È dunque, auspicabile ricercare soluzioni innovative ed efficaci per la meccanizzazione delle operazioni che richiedono una forte componente manuale.

La corretta classificazione delle talee in base al diametro ed il rispetto della polarità della talea sono le condizioni necessarie per poter prevedere l'automazione dell'alimentazione della talea alla trapiantatrice. Lo sviluppo di una macchina selezionatrice ottica da usare in vivaio ha permesso non solo di ridurre i costi di produzione della talea ma anche di suddividere correttamente il materiale di propagazione per classi di diametro. Tale risultato ha permesso la prosecuzione dell'attività che è stata successivamente incentrata sulla progettazione di un dispositivo automatico di alimentazione delle trapiantatrici di talee. Una volta terminata la fase sperimentale sarà possibile ottenere una sostanziale riduzione della manodopera utilizzata, con benefici sia in termini economici, attraverso la contrazione dei costi di esercizio del cantiere, sia in termini di produttività, attraverso l'incremento della capacità operativa e della produzione oraria operativa.

Bibliografia

Bonari E., Picchi G., Guidi W., Piccioni E., Fraga A., Villani R., 2004. Le colture da energia. In: Quaderno ARSIA "Le colture dedicate ad uso energetico: il progetto Bioebergy Farm", Ed. ARSIA, Firenze, pp 29-78.

Bonari E., Ragaglini G., Tozzini C., Guidi W., Ginanni M., 2009. Protocollo di coltivazione e raccolta degli impianti di *Short Rotation Forest* di pioppo. In: "La filiera legno-energia. Risultati del progetto Woodland Energy", Ed. ARSIA, Firenze, pp 73-88.

Manzone M., Airoldi G., Balsari P., 2006. Trapiantatrici per impianta da biomassa. Sherwood 128, 49-55.

Manzone M., Airoldi G., Balsari, P. 2009. Energetic and economic evaluation of a poplar cultivation for the biomass production in Italy. Biomass and Bioenergy 33: 1258-1264.

Pari L., Fredrizzi M., 2004. Provata una nuova trapiantatrice per le colture forestali energetiche. L'Informatore Agrario 43, 95-98.

Pari L., 2005. Innovative short rotation forestry planter experimental tests. Proceedings of 14th European Biomass Conference, 17-21 October 2005, Paris, France: 402-405.

Pari L., Sissot F., 2009. Con la selezione ottica le talee di pioppo costano meno. L'Informatore agrario 29, 26-27.

Pari L., Civitarese V., Del Giudice A., 2010. Abbattitrice andanatrice. Versione precommerciale della macchina. In: Innovazioni tecnologiche per le agro energie. Sinergie tra ricerca e impresa. Sherwood 168, supplemento 2, pp 6-10.

Pari L., Civitarese V., 2010. Una semovente per la raccolta e la cippatura. Sviluppo di una macchina dedicata alle colture da biomassa. In: Innovazioni tecnologiche per le agro energie. Sinergie tra ricerca e impresa. Sherwood 168, supplemento 2, pp 11-13.

Verani S., Sperandio G., Di Matteo G., 2010. Analisi del lavoro della Claas Jaguar 880 con testata GBE-1 nella raccolta di un pioppeto da biomassa. Forest@ 7, 22-27.

3 - Cantieri di raccolta delle colture legnose

Harvesting yards for woody crops

Luigi Pari*, Vincenzo Civitarese*

Riassunto

La raccolta del pioppo può avvenire secondo due differenti metodologie: raccolta e cippatura in un unico passaggio e abbattimento e cippatura in due fasi distinte.

Ciascuna tipologia di cantiere presenta vantaggi e svantaggi e la scelta del sistema ottimale sarà dettata da valutazioni di carattere logistico, gestionale ed economico.

Scopo del lavoro è quello di fornire una panoramica della meccanizzazione dedicata alla raccolta del pioppo con particolare riferimento ai vantaggi e svantaggi offerti da ciascuna tipologia di cantiere ed alle capacità operative delle diverse macchine coinvolte nelle operazioni di raccolta

Parole chiave: pioppo, raccolta, meccanizzazione, biomassa.

Abstract

Poplar harvesting may be carried out using two different approaches: harvest and chipping in a single step or cutting and chipping in two distinct phases.

Each type of yard has advantages and disadvantages and the choice of the more appropriate system will be dictated by logistic, management and economic evaluations.

Purpose of this work is to provide an overview of mechanical solutions available for poplar harvesting with particular reference to the emphasizing positive and negative aspects linked to different yards and the showing the operative capacities of the various machines involved in harvesting operations.

Keywords: *poplar, harvesting, mechanization, biomass.*

* CRA-ING - Unità di Ricerca per l'Ingegneria Agraria, Monterotondo (Roma).

1. Introduzione

Le specie impiegabili per la costituzione di impianti a Short Rotation Forestry (SRF) sono principalmente pioppo (*Populus* spp.), robinia (*Robinia pseudoacacia* L.), eucalipto (*Eucalyptus* spp.) e salice (*salix* spp.) (Paris *et al*., 2011; ITABIA 1999; GCI 1999). In Italia la specie più diffusa è il pioppo e i nuovi cloni da biomassa, appositamente selezionati, hanno mostrato livelli di produttività interessanti (Paris *et al*., 2011) raggiungendo le 17,5 t s.s./ha/anno (Bergante *et al* 2010).

La raccolta può incidere fino al 50% dei costi sostenuti nel processo produttivo (Christopherson and Mattson, 1990) e può avvenire secondo due differenti metodologie: raccolta e cippatura in un unico passaggio e abbattimento e cippatura in due fasi distinte. La raccolta e cippatura in un unico passaggio avviene ad opera di falciatrinciacaricatrici, semoventi (Pari e Civitarese, 2008; Pari *et al*., 2009a) o semiportate (Pari e Civitarese, 2009), equipaggiate con testate in grado di eseguire in sequenza le operazioni di taglio, cippatura e scarico del prodotto sui rimorchi trainati da trattrici agricole. I sistemi di lavoro che prevedono l'abbattimento e la cippatura in due fasi distinte, invece, sono attualmente due, entrambi sviluppati dal CRA-ING:

- abbattimento e accatastamento a bordo campo (Pari, 2000), per una successiva cippatura ad opera di cippatrice semovente dotata di braccio idraulico con pinza;
- abbattimento e andanatura tra le file, per una successiva cippatura ad opera di cippatrice dotata di pick up rotativo (Pari *et al*., 2009b).

Ciascuna tipologia di cantiere presenta vantaggi e svantaggi e la scelta del sistema ottimale sarà dettata da valutazioni di carattere logistico, gestionale ed economico.

Scopo del lavoro è quello di fornire una panoramica della meccanizzazione dedicata alla raccolta del pioppo, con particolare riferimento ai vantaggi e svantaggi offerti da ciascuna tipologia di cantiere ed alle capacità operative delle principali macchine utilizzate nelle operazioni di raccolta.

2. Materiali e metodi

I rilievi sulla coltura sono stati effettuati secondo la metodologia pubblicata sulle "linee guida per l'esecuzione delle prove di raccolta in SRF" della Aberdeen University - Department of Forestry (Mitchell *et al.*, 1997) mentre i tempi di lavoro sono stati rilevati secondo la metodologia ufficiale della Commission Internationale de l'Organisation Scientifique du Travail en Agriculture (C.I.O.S.T.A.) e la raccomandazione dell'Associazione Italiana di Genio Rurale (A.I.G.R.) 3^{A} R1, provvedendo a registrare su un apposito software sviluppato in ambiente Visual Basic, i tempi necessari alle diverse operazioni durante la raccolta e ad eseguire le successive elaborazioni.

3. La raccolta in una fase

3.1. Descrizione delle macchine che compongono il cantiere

Le macchine più diffuse sono rappresentate da falciatrinciacaricatrici agricole equipaggiate con testate da biomassa, che raccolgono e cippano le piante scaricando il prodotto sui rimorchi delle trattrici agricole (Fig. 1).

Il CRA ING ha seguito diversi cantieri di raccolta del pioppo con diversi modelli di Claas Jaguar (860 e 890) equipaggiati con testata GBE-1 e rotore sperimentale CRA-ING montato in sostituzione di quello di serie.

Figura 1- Falciatrinciacaricatrice Claas Jaguar in raccolta di pioppo.

3.1.1 La testata GBE-1

La testata GBE-1 ha una massa di 1950 kg ed un ingombro esterno pari a 2800 mm di larghezza e 2000 mm di lunghezza e il baricentro è posizionato a 850 mm dai punti di attacco della Claas. L'apertura anteriore è di 1900 mm e il sistema di alimentazione del cippatore ha una larghezza di 670 mm.

Il diametro e lo spessore delle lame circolari che operano il taglio delle piante sono pari, rispettivamente, a 800 mm e 7 mm, con 80 denti distanziati di 31,5 mm. Il regime di rotazione delle lame è pari a 1700 giri/min, con una velocità periferica di 71,17 m/s.

Il gruppo di alimentazione risulta costituito da 3 rulli con lame a coltello, due nella parte inferiore e uno nella parte superiore, delle seguenti dimensioni:

1° rullo: diametro 290 mm, lunghezza 690 mm;
2° rullo: diametro 390 mm, lunghezza 690 mm;
3° rullo: diametro 390 mm, lunghezza 670 mm.

3.1.2 Il rotore CRA ING

Nella fase progettuale si è tenuto conto della ridotta pezzatura del prodotto ottenuto con il rotore di serie e della limitata capacità di cippare materiale con diametro superiore ai 12-15 cm. Il rotore CRA-ING (Fig. 2), diversamente da quello di serie che può ospitare un minimo di 12 coltelli (due serie da 6), è stato progettato per contenere cinque serie di doppi coltelli sfalsati, per un totale di 10 coltelli. È stato inoltre modificato l'angolo di inserzione dei portacoltelli sul cilindro.

Figura 2 - Rotore CRA ING.

Il nuovo rotore consta di un tamburo in acciaio del diametro di 403 mm e lunghezza di 670 mm, sul quale sono state eseguite un totale di 10 lavorazioni, 5 per parte, equamente distribuite sul mantello del tamburo. Le suddette lavorazioni consentono il corretto posizionamento dei portalama nella successiva fase di saldatura degli stessi e presentano un angolo di inclinazione, rispetto le generatrici del cilindro, di 5°. Il peso del tamburo è pari a 145 kg.

I portalama, della lunghezza di 320mm, sono dotati di una serie di 5 asole ciascuno, per il fissaggio e la regolazione dei coltelli. Le lame hanno una lunghezza mas-

sima di 380 mm, con un angolo di taglio pari a 32.5°, e sono dotate di una serie di 5 fori filettati che consentono il fissaggio sul portalama in corrispondenza delle asole.

3.2. Tempi di lavoro

Una precedente prova sperimentale, condotta su un impianto al secondo turno di ceduazione (R4F2), ha evidenziato per la Claas Jaguar 890 equipaggiata con testata da biomassa GBE-1 e rotore CRA-ING (Pari *et al*., 2009c), una capacità di lavoro operativa pari a circa 1,50 ha/h con una produzione oraria operativa di 120 t/h (Tab. 1).

Tabella 1 - Tempi di lavoro e operatività della Claas Jaguar 890 equipaggiata con testata da biomassa e rotore CRA-ING.

Tipologia di impianto		**R4F2**
Produttività (t/ha)		79,66
Tempo standard TS		
Tempo effettivo (TE)	%	77,02
Tempo accessorio (TA)	%	22,98
- Tempo per voltate (TAV)	%	18,71
- Tempo per rifornim. o scarichi (TAS)	%	0
- Tempo per manutenzione (TAC)	%	4,27
Tempo di riposo (TR)	%	0
Tempo morto inevitabile (TMI)	%	0
Tempo standard	%	**100**
Operatività delle macchine		
Rendimento operativo Ro	%	77,02
Velocità effettiva ve	m/s	2,18
Velocità operativa vo	m/s	1,46
Capacità di lavoro effettiva	ha/h	2,25
Capacità di lavoro operativa	ha/h	1,51
Produzione oraria operativa	t/h	120,29

3.3. Vantaggi e svantaggi

I principali vantaggi offerti dalla raccolta e cippatura in una fase risiedono nel fatto che le raccoglitrici da foraggio presentano rendimenti elevati e il cippato può essere caricato direttamente sugli autotreni e trasportato in centrale. Le stesse macchine, inoltre, possono essere impiegate per altre colture in diversi periodi dell'anno. Il prodotto ottenuto si caratterizza, tuttavia, per un elevato contenuto di umidità (circa

il 55-60%) e, una volta stoccato, risulta soggetto ad inevitabili processi di fermentazione e perdita di sostanza secca. Altro aspetto da prendere in considerazione riguarda la finestra di raccolta piuttosto limitata (novembre-marzo). I cantieri si trovano spesso ad operare su terreni con bassa portanza, con inevitabili danni da compattamento e inverni particolarmente piovosi possono ridurre il numero di giorni di praticabilità dei campi, con ripercussioni di carattere logistico, economico e gestionale.

4. La raccolta in due fasi con stoccaggio a bordo campo

4.1. Descrizione delle macchine che compongono il cantiere

Il cantiere di raccolta risulta costituito da due macchine, una per il taglio e una per l'accumulo. L'abbattitrice effettua il taglio delle piante rilasciandole sul terreno perpendicolarmente alla direzione di avanzamento della trattrice. Le file abbattute vengono di volta in volta raccolte dalla trattrice abbinata al caricatore frontale e accumulate a bordo campo. Le piante verranno quindi cippate in una fase successiva e in funzione delle richieste energetiche della centrale, utilizzando cippatrici semoventi dotate di braccio idraulico con pinza.

Figura 3 - Macchina abbattitrice.

4.1.1. La macchina per il taglio

La macchina per il taglio (Fig. 3) è semiportata su slitte e collegata all'attacco a tre punti del trattore. Ha una massa complessiva di 580 kg e un ingombro massimo, in fase di lavoro, pari a 2600 mm di larghezza x 1600 mm di lunghezza.

Il principio di lavoro si basa su un organo di taglio a lama circolare in acciaio, del diametro di 600 mm e spessore di 4 mm, con denti di taglio rinforzati in widia riportati sul disco con saldo a brasatura. Il moto viene conferito dalla presa di potenza del trattore e il disco, grazie ad un moltiplicatore di giri, esegue il taglio delle piante con una velocità di rotazione di 2200 giri/min (velocità periferica 68,93 m/sec.) (Tab. 2).

Tabella 2 - Caratteristiche tecniche del dispositivo di taglio dell'abbattitrice.

Apparato di taglio	
Diametro lame (mm)	600
Circonferenza lame (mm)	1880
Spessore (mm)	4
Velocità (giri/min)	2200
Velocità periferica (m/sec)	68,93
denti/lama	56
Colpi di dente/sec	2053

L'organo di taglio è collegato al telaio della macchina in modo tale da poter essere ruotato di 90°, consentendo il trasporto su strada. Un martinetto idraulico permette di regolare l'escursione laterale in relazione alle caratteristiche dell'impianto.

L'altezza di taglio è regolata da due slitte laterali che scaricano parte del peso della macchina sul terreno.

Sulla trattrice è montato uno spingitore, costituito da una barra in metallo del diametro di 42 mm, a posizionamento regolabile (sia in altezza che lateralmente), che svolge la funzione di spostare lateralmente le piante prima che queste vengano tagliate. In questo modo si favorisce la loro caduta in posizione ortogonale alla direzione di avanzamento del mezzo (Fig. 4).

Un punto chiave è rappresentato dal fatto che tutte le piante vengono fatte cadere parallele l'una all'altra, al fine di favorire la successiva fase di raccolta e accatastamento a bordo campo.

4.1.2. La macchina per l'accumulo

La macchina per l'accumulo (Fig. 5) è una operatrice adibita alla raccolta delle piante abbattute e al loro posizionamento a bordo campo in cumuli ordinati, al fine di agevolare la successiva fase di cippatura dopo essiccazione, per mezzo di cippatrici mobili.

La macchina è montata su un elevatore frontale portato da una trattrice a 4 ruote motrici della potenza minima di 70 kW.

Figura 4 - Caduta delle piante in posizione ortogonale alla direzione di avanzamento della trattrice.

Figura 5 - Macchina per l'accumulo della biomassa a bordo campo.

Il prototipo è costituito da due puntali di 3130 mm di lunghezza, paralleli e distanti 1850 mm l'uno dall'altro. All'apice dei puntali è montato uno scalpello che ha la funzione di far si che tutte le piante siano raccolte. Allo scopo di far scivolare i puntali sul terreno, dietro allo scalpello è posizionata una slitta dello spessore di 200 mm e ad altezza regolabile.

Nella parte prossimale i puntali si piegano verso l'alto fino a 1400 mm di altezza, in modo da favorire l'accumulo delle piante.

I puntali hanno una altezza da terra pari a 370 mm per far si che le piante abbattute, in fase di caricamento e avanzamento della trattrice, non intacchino le ceppaie tagliate.

Il quantitativo massimo di biomassa che è possibile caricare sull'accumulatore frontale risulta pari a circa 1,4 t.

Poiché il prototipo a sega circolare opera iniziando dalle file esterne dell'apezzamento, l'accumulatore frontale crea ai bordi del campo due andane opposte costituite da singoli cumuli di piante tutte disposte nella stessa direzione.

4.2. Tempi di lavoro

La macchina abbattitrice ha evidenziato, in precedenti prove sperimentali (Pari *et a.l* 2009d), una capacità di lavoro operativa pari a circa 0,50 ha/h, con una produzione oraria operativa di 25,80 t/h.

La macchina per la raccolta e accatastamento, invece, ha raggiunto una capacità di lavoro operativa di poco superiore a 0,50 ha/h, con una produzione oraria operativa di 29 t/h (Tab. 3).

Tabella 3 - Tempi di lavoro e operatività della abbattitrice e della accumulatrice.

Tipologia di impianto		**R2F2**	
Produttività (t/ha)		53	
Tempo standard TS			
		abbattitrice	**caricatore**
Tempo effettivo (TE)	%	78,55	44,96
Tempo accessorio (TA)	%	21,45	55,04
- Tempo per voltate (TAV)	%	21,45	24,18
- Tempo per rifornim. o scarichi (TAS)	%	0	30,86
- Tempo per manutenzione (TAC)	%	0	0
Tempo di riposo (TR)	%	0	0
Tempo morto inevitabile (TMI)	%	0	0
Tempo standard	%	**100**	**100**
Operatività delle macchine			
Rendimento operativo Ro	%	78,55	44,96
Velocità effettiva ve	m/s	0,80	1,58
Velocità operativa vo	m/s	0,63	0,71
Capacità di lavoro effettiva	ha/h	0,62	1,22
Capacità di lavoro operativa	ha/h	0,49	0,55
Produzione oraria operativa	t/h	25,80	29

4.3. Vantaggi e svantaggi

I principali vantaggi offerti da questa tipologia di cantiere risiedono nel fatto che la biomassa può essere stoccata nelle capezzagne di testa (che resterebbero altrimenti inutilizzate) e cippata in funzione delle richieste energetiche della centrale, incrementando, di fatto, il periodo utile per il conferimento del prodotto che potrà avvenire durante l'intero arco dell'anno. Le piante intere risentono in misura minore dei processi biologici di degradazione (con riduzione delle perdite complessive di sostanza secca) e durante la fase di stoccaggio vanno incontro ad un naturale processo

di disidratazione che consente di ottenere, nella successiva fase di cippatura, un prodotto più stabile e meno soggetto a processi fermentativi.

La cippatura a bordo campo può essere eseguita con macchine caratterizzate da elevate produttività e costi di esercizio orari inferiori a quelli delle trinciatrici da foraggio. Infine, occorre considerare il minore compattamento del terreno rispetto al cantiere in una fase, soprattutto in condizioni di elevata umidità dello stesso, per il ridotto peso delle operatrici.

Tale sistema impone, di contro, il passaggio di una macchina in più, la disponibilità di ampie superfici non sempre disponibili e la necessità di movimentare le piante abbattute dal letto di caduta alle capezzagne.

5. La raccolta in due fasi con stoccaggio nell'interfila

5.1. Descrizione delle macchine che compongono il cantiere

Il cantiere di raccolta risulta costituito da due macchine, un'abbattitrice che esegue il taglio e il rilascio delle piante nell'interfila (parallelamente alla direzione di avanzamento della trattrice) e una cippatrice equipaggiata con testata pick up per la raccolta e la cippatura delle piante andanate (Pari *et a.l* 2009b; Pari *et a.l*, 2010). L'abbattitrice andanatrice viene impiegata nel periodo di riposo vegetativo, posticipando l'ingresso della raccoglitrice con pick up e dei dumper tra la fine di aprile e i primi di giugno.

Figura 6 - Macchina abbattitrice andanatrice

5.1.1 La macchina abbattitrice andanatrice

La macchina abbattitrice è una macchina semiportata (Fig. 6) per il cui impiego è richiesta una trattrice della potenza minima di 60 kW (Tab. 4).

Tabella 4 - Dati tecnici del sistema di trasporto e del sistema di scarico della abbattitrice andanatrice.

Sistema di trasporto		
Catene gommate	N°	4
Catena gommata superiore destra	N°	1
– Lunghezza	Passi	92
– Lunghezza di lavoro	mm	2.300
– Numero gomme	N°	46
– Altezza da terra	mm	1.745
– Numero denti delle corone	N°	10 -10
Catena gommata superiore sinistra	N°	1
– Lunghezza	Passi	82
– Lunghezza di lavoro	mm	2.070
– Numero tasselli gommati	N°	41
– Altezza da terra	mm	1745
– Numero denti delle corone	N°	10 -10
Catena gommata inferiore destra	N°	1
– Lunghezza	Passi	80
– Lunghezza di lavoro	mm	2.030
– Numero tasselli gommati	N°	40
– Altezza da terra	mm	610
– Numero denti delle corone	N°	10 -10
Catena gommata inferiore sinistra	N°	1
– Lunghezza	Passi	82
– Lunghezza di lavoro	mm	2.070
– Numero tasselli gommati	N°	41
– Altezza da terra	mm	610
– Numero denti delle corone	N°	10 -10
Sistema di scarico		
Profilato in metallo	N°	2
– Altezza da terra (massima e minima)	mm	2.780 – 1.170

La macchina, con massa complessiva di 1000 kg ed ingombro esterno, in fase di lavoro, di 3060 mm, monta su un telaio di profilati metallici una serie di dispositivi di taglio, convogliamento e trasporto, oltre agli organi per l'indirizzo della pianta nell'interfila.

Il sistema di taglio è costituito da una lama del diametro e spessore pari rispettivamente a 650 mm e 6 mm, con denti forniti di supporto indurito al vidia. La lama deriva il proprio moto dalla presa di potenza del trattore attraverso un rinvio che ne moltiplica il numero di giri in modo che la lama possa operare a 2000-22000 giri/min. Le due ruote folli sulle quali poggia la macchina svolgono la triplice funzione di sorreggere la macchina in fase di lavoro, agevolare l'intercettazione della pianta da parte del sistema di convogliamento (essendo folli sul proprio asse), regolare l'altezza di taglio.

Il sistema di convogliamento è costituito da due catene dentate da 40 passi, posizionate a 1400 mm dal terreno.

La pianta, spinta verso il sistema di convogliamento dal trattore in fase di avanzamento, viene successivamente intercettata dal sistema di trasporto, costituito da due coppie di catene gommate contro rotanti accoppiate, una inferiore e una superiore, distanziate tra loro di 1130 mm. La coppia inferiore è posizionata a 610 mm da terra, quella superiore ad un'altezza di 1745 mm. Il sistema di trasporto svolge, in parte, anche la funzione di convogliamento grazie alla posizione più avanzata delle catene gommate poste sul lato destro.

Il moto è fornito da tre motori idraulici, uno per le catene posizionate sul lato sinistro, che risultano montate sugli stessi alberi, e due per le catene posizionate sul lato destro.

Il sistema di trasporto è dotato di una certa elasticità ed è in grado di adattarsi ai diversi diametri delle piante e alla naturale rastremazione dei fusti. Le catene montate sul lato destro infatti, diversamente da quelle di sinistra, sono a posizionamento variabile e possono traslare fino ad un massimo di 150 mm. Tale risultato è stato raggiunto collegando i piani di scorrimento delle suddette catene e il telaio della macchina attraverso due coppie di braccetti snodati (della lunghezza di 220 mm), abbinati a molle a variabile resistenza a compressione.

Il dispositivo di trasporto è configurato in maniera tale da rilasciare le piante prima dalla parte basale e, successivamente, dalla parte apicale, grazie alla diversa lunghezza delle catene e al diverso posizionamento delle stesse sui due piani di riferimento. La catena superiore di destra ha una maggiore lunghezza, al duplice scopo di compensare la sua posizione più avanzata rispetto a quella adiacente (410 mm) e trattenere le piante più a lungo rispetto alla coppia di catene inferiori. Questo accorgimento fornisce la giusta inclinazione alla pianta per la successiva deposizione in andana. Le catene posizionate sul lato sinistro sono dotate di 41 tasselli gommati ed hanno una lunghezza di trasporto di 2070 mm. Le catene posizionate sul lato destro, invece, hanno una lunghezza diversa: la catena inferiore è dotata di 40 tasselli gom-

mati e ha una lunghezza di trasporto di 2030 mm, quella superiore è dotata di 46 tasselli gommati ed ha una lunghezza di trasporto di 2300 mm.

Alla fine di questo percorso la parte basale della pianta viene trattenuta leggermente mentre la parte apicale cade nelle interfila, guidata lateralmente da due profilati in metallo, parallelamente alla direzione di avanzamento della macchina (Fig. 7).

Figura 7 - Andana prodotta dal passaggio dell'abbattitrice andanatrice.

Figura 8 - Falciatrinciacaricatrice Spapperi mod. RT equipaggiata con testata pick up.

5.1.2 La macchina per la raccolta e la cippatura delle piante andanate

La macchina per la raccolta e la cippatura delle piante andanate risulta costituita da una falciatrinciacaricatrice Spapperi mod. RT equipaggiata con testata pick up (Pari *et al*, 2009b).

La macchina è in grado di avanzare lungo le interfile cippando le piante precedentemente abbattute e deposte in andana. Il prodotto viene quindi scaricato su rimorchi trainati da trattrice, analogamente a quanto avviene per la raccolta e cippatura in una fase (Fig. 8).

Il dispositivo pick up raccoglie le piante da terra sollevandone i calci, mentre il moto di avanzamento della trattrice e il dispositivo di convogliamento a martelli flottanti favoriscono l'ingresso delle stesse verso i rulli di alimentazione del dispositivo cippatore. Il prodotto viene quindi cippato e scaricato sui rimorchi.

Il dispositivo raccoglitore è costituito da un pick up rotativo cilindrico del diametro e lunghezza pari rispettivamente a 110 mm e 1690 mm, dotato di quattro rilievi in acciaio dello spessore ed altezza di 10 mm e 30 mm, che svolgono la funzione di presa e sollevamento del calcio delle piante. ll suo asse di rotazione dista 540 mm dal sistema di alimentazione della cippatrice, con uno spazio utile allo scarico di eventuale materiale estraneo di 465 mm.

Il moto rotativo del pick up è derivato da una pompa idraulica posizionata sul lato sinistro e protetta da un carter in metallo. Una valvola consente di regolarne la velocità di rotazione in base alla velocità di avanzamento della macchina e al quantitativo di biomassa presente sul terreno.

Un sistema autolivellante “folle”, montato sui due lati del pick up, garantisce il contatto tra il dispositivo raccoglitore e il terreno, assecondandone le irregolarità.

Il dispositivo di convogliamento è stato ampliato tramite un dispositivo a forma di imbuto della larghezza di 1750 mm, che svolge la funzione di favorire l’indirizzamento dei calci delle piante, non perfettamente allineati nel centro dell’interfila, verso il sistema di alimentazione della cippatrice.

Tutti gli interventi eseguiti sulla macchina sono reversibili in modo tale da poter utilizzare la stessa macchina sia in raccolta di piante in piedi che di piante andanate.

5.2. Tempi di lavoro

La macchina abbattitrice andanatrice, nei test effettuati su impianti al primo (R2F2) e secondo turno di ceduazione (R4F2), ha evidenziato una capacità di lavoro operativa pari a circa 1,50 ha/h, con una produzione oraria operativa superiore a 77 t/h (Tab. 5).

Tabella 5 - Tempi di lavoro e operatività della macchina abbattitrice andanatrice su impianti biennali al I (R2F2) e II (R4F2) taglio.

Tipologia di impianto		**R2F2**	**R4F2**
Produttività (t/ha)		50	58
Tempo standard TS			
Tempo effettivo TE	%	82,30	77,75
Tempo accessorio TA	%	17,70	22,25
- Tempo per voltate TAV	%	15,31	20,73
- Tempo per rifornim. o scarichi TAS	%	0	0
- Tempo per manutenzione TAC	%	2,39	1,51
Tempo di riposo TR	%	0	0
Tempo morto inevitabile TMI	%	0	0
Tempo standard	%	**100**	**100**
Operatività della macchina			
Rendimento operativo Ro	%	82,30	77,75
Velocità effettiva ve	m/s	1,74	1,67
Velocità operativa vo	m/s	1,43	1,30
Capacità di lavoro effettiva	ha/h	1,89	1,80
Capacità di lavoro operativa	ha/h	1,55	1,40
Produzione oraria operativa	t/h	77,50	81,20

La macchina per la raccolta e la cippatura, invece, ha raggiunto una capacità di lavoro operativa pari a circa a 0,50 ha/h, con una produzione oraria operativa superiore a 18 t/h (Tab. 6).

Tabella 6 - Tempi di lavoro e operatività della cippatrice con pick up su impianti biennali al I (R2F2) e II (R4F2) taglio.

Tipologia di impianto		**R2F2**	**R4F2**
Produttività (t/ha)		50	58
Tempo standard TS			
		R2F2	**R4F2**
Tempo effettivo TE	%	80,81	79,62
Tempo accessorio TA	%	19,19	20,38
- Tempo per voltate TAV	%	15,15	14,81
- Tempo per rifornim. o scarichi TAS	%	0	0
- Tempo per manutenzione TAC	%	4,04	5,57
Tempo di riposo TR	%	0	0
Tempo morto inevitabile TMI	%	0	0
Tempo standard	%	**100**	**100**
Operatività della macchina			
Rendimento operativo Ro	%	80,81	79,62
Velocità effettiva ve	m/s	0,56	0,60
Velocità operativa vo	m/s	0,45	0,48
Capacità di lavoro effettiva	ha/h	0,61	0,65
Capacità di lavoro operativa	ha/h	0,49	0,51
Produzione oraria operativa	t/h	18,45	21,27

5.3. Vantaggi e svantaggi

I benefici offerti da questa tipologia di cantiere sono in parte assimilabili a quelli offerti dal cantiere che prevede lo stoccaggio a bordo campo. Lo stoccaggio nell'interfila, tuttavia, consente di migliorare la gestione di alcuni aspetti negativi insiti nella metodologia precedente:

- lo stoccaggio, avvenendo nell'interfila, non richiede la disponibilità di ampie capezzagne;
- il prodotto stoccato non necessita di movimentazione prima della cippatura in quanto l'impiego di falciatrinciacaricatrici con pick up consente di raccogliere il prodotto direttamente nell'interfila;

- la cippatura non avviene ad opera di macchine specializzate ma ad opera di falciatrinciacaricatrici in grado di operare sia su prodotto andanato, sia direttamente sulle piante in piedi (sostituendo la parte frontale della testata pick up con appositi dispositivi per il taglio e il convogliamento).

L'abbattitrice andanatrice risulta molto leggera e, a parità di condizioni, è in grado di produrre una minore compattazione del terreno rispetto alle altre macchine che compongono i diversi cantieri. Il passaggio della cippatrice con pick up e dei trattori carichi di cippato viene rinviato tra la fine di aprile e i primi di giugno, periodo questo che garantisce, in linea di massima, condizioni ambientali tali da ritenere che il passaggio del cantiere non influisca negativamente sul compattamento del suolo.

Di contro occorre considerare che tale metodologia, al fine di evitare il danneggiamento delle ceppaie, impone una distanza tra le file non inferiore a 3,5 m (con una minore densità di piante ad ettaro) e la necessità di cippare il prodotto entro i primi di giugno, con un periodo utile per il conferimento del prodotto inferiore a quanto previsto con lo stoccaggio a bordo campo.

6. Discussioni e conclusioni

La fase di raccolta influenza pesantemente la redditività della coltura e per tale ragione occorre utilizzare una meccanizzazione razionale. Ciascuna tipologia di cantiere presenta vantaggi e svantaggi e la scelta del sistema ottimale dipende molto dalle circostanze e dal contesto produttivo in cui l'azienda è chiamata ad operare. Diversi fattori possono influenzare il metodo di raccolta: le condizioni climatiche (inverni piovosi o secchi), le caratteristiche delle piantagioni (età dell'impianto, tipo di ciclo, diametro del fusto), il terreno (struttura, composizione, localizzazione, presenza di un sistema di drenaggio efficiente), la struttura delle aziende agricole, il livello di meccanizzazione, la localizzazione degli impianti di trasformazione, nonché le proprietà chimiche e fisiche del prodotto. La flessibilità deve essere la parola "chiave". Il sistema di raccolta deve essere valutato caso per caso in modo da garantire una fornitura continua e dimensionata per le capacità di trattamento dell'impianto di trasformazione. La raccolta in una fase può fornire il prodotto durante l'inverno e dovrebbe essere utilizzato quando le condizioni pedologiche e climatiche sono tali da garantire la salvaguardia della risorsa suolo. Il cantiere in due fasi potrebbe essere una soluzione ottimale in inverni piovosi e per terreni con una tendenza alla compattazione. In questo caso l'alimentazione della centrale potrà avvenire tra aprile e giugno o per tutto l'arco dell'anno, a seconda del sistema di stoccaggio previsto (in capezzagna o nell'interfila), fornendo un prodotto a basso contenuto di umidità, meno soggetto a processi di fermentazione e a perdita di materia organica.

Bibliografia

Bergante S., Facciotto G.,Minotta G., 2010. Identification of the main site factors and management intensity affecting the establishment of Short-Rotation-Coppices (SRC) in Northern Italy through Stepwise regression analysis. Central European Journal of Biology 5(4), 522-530.

Christopherson N.S., Mattson J.A. Mechanization of the operational aspects of short-rotation forestry. Biomass 1990; 22: 123-133.

Gruppo di coordinamento italiano (GCI), 1999. Progetto ALTENER-BIOGUIDE. Le coltivazioni da biomassa per un'energia alternativa, Agricoltura 47, 57-99.

ITABIA 1999. Guide book on how to grow Short Rotation Forestry to produce Energy in an environmentally sustainable manner. Altener Programme BIOGUIDE Project, Final Report of the Environmental Liaison Group, pp 1-40.

Mitchell C.P., Kofman P.D., Angus-Hankin C.M., 1997. Guidelines for conducting harvesting trias in short rotation forestry, Aberdeen University, Forestry Reserch Paper:1, 1-50.

Pari L., 2000. ISMA system for mechanical harvesting of short rotation woody crops (SRWC). 1st World Conference on Biomass for Energy and Industry, Sevilla.

Pari L., Civitarese V., 2008. Nuova testata di raccolta in prova su pioppo biennale. L'informatore Agrario 35, 48-51.

Pari L., Civitarese V., 2009. Falciatrinciacaricatrice Spapperi riveduta e corretta. Energia rinnovabile, supplemento dell'Informatore Agrario 5, 18-22.

Pari L., Civitarese V., Del Giudice A., 2009a. Claas Jaguar 890 e 860, prove di raccolta su pioppo. Agroenergie dall'impianto alla raccolta, supplemento n. 1 dell'Informatore Agrario 29, 31-33.

Pari L., Civitarese V., Del Giudice A., 2009b. Cantiere innovativo di raccolta di pioppo a turno breve. Agroenergie dall'impianto alla raccolta, supplemento n. 1 dell'Informatore Agrario 29, 34-37.

Pari L., Civitarese V., Gallucci F., Del Giudice A., Giannini E., 2009c. Un nuovo rotore per la Claas Jaguar 890. Agroenergie dall'impianto alla raccolta, supplemento n. 1 dell'Informatore Agrario 29, 41-43.

Pari L., Civitarese V., Suardi A., 2009d. I vantaggi di stoccare il pioppo a bordo campo. Agroenergie dall'impianto alla raccolta, supplemento n. 1 dell'Informatore Agrario 29, 38-40.

Pari L., Civitarese V., Del Giudice A., 2010. Abbattitrice andanatrice, versione precommerciale della macchina. Innovazioni tecnologiche per le agroenergie, sinergie tra ricerca e impresa, supplemento n. 2 a Sherwood - Foreste ed alberi oggi 168, 6-10.

Paris P, Mareschi L, Sabatti M, Pisanelli A, Ecosse A, Nardin F, Scarascia, Mugnozza G., 2011. Comparing hybrid Populus clones for SRF across northern Italy after two biennial rotations: Survival, growth and yield. Biomass and Bioenergy 35, 1524-1532.

4 - Stoccaggio del cippato di pioppo a destinazione energetica

Storage of poplar wood chips for energetic use

Luigi Pari*, Francesco Gallucci*, Angelo Del Giudice*

Riassunto

La raccolta di legno da impianti di pioppo a turno breve (*Short Rotation Forest*) è limitata al periodo di riposo vegetativo coincidente con i mesi invernali. La stagionalità della produzione di cippato impone l'individuazione della migliore strategia per la conservazione del "biocombustibile" e per l'ottenimento di un prodotto che abbia caratteristiche fisiche idonee, con valori dei principali parametri qualitativi in accordo con le soglie riportate dalle norme europee. Poiché la destinazione del cippato è piuttosto diversificata, dall'impiego in utenze domestiche fino all'utilizzazione in grandi centrali, al fine di ottimizzarne le prestazioni è necessario utilizzare una biomassa di buona qualità in relazione soprattutto alla pezzatura, al contenuto idrico e alle ceneri.

Lo stoccaggio ha lo scopo di abbassare il contenuto di umidità per limitare la degradazione microbiologica e mantenere il potere calorifico, riducendo la produzione di vapore acqueo, che comporta problemi di depurazione dei fumi. La conservazione del cippato può aver luogo all'aperto o in locali chiusi. Nel primo caso le scelte di conservazione interesseranno la superficie di stoccaggio (su terra o su cemento), la protezione del cumulo (con copertura o senza copertura), la sua forma (es. conici) e dimensione (grandi, piccoli), nonché l'applicazione o meno del rimescolamento del cumulo. Nel secondo caso le variabili riguardano soprattutto le soluzioni tecniche legate al sistema di ventilazione.

Il CRA-ING, nell'ambito del progetto SUSCACE, ha impostato diverse sperimentazioni mirate all'identificazione delle condizioni migliori per lo stoccaggio naturale all'aperto, al fine di definire parametri di efficienza, economicità e funzionalità in grado di

* CRA-ING - Unità di Ricerca per l'Ingegneria Agraria, Monterotondo (Roma).

garantire alle aziende agricole la fornitura di biocombustibile in maniera continua e con il corretto tenore di umidità. Il presente lavoro discute le problematiche relative allo stoccaggio di cippato di pioppo e illustra alcuni dei risultati più salienti ottenuti nel corso della pluriennale attività dell'Unità di Ricerca.

Parole chiave: pioppo, *Short rotation forestry*, stoccaggio naturale, potere calorifico.

Abstract

The wood harvest from poplar grown as Short Rotation Forest (SRF) *is restricted to the dormant season corresponding to the winter months. The seasonality of wood chips production requires the identification of the best strategy for the conservation of "biofuels" and for obtaining a product having suitable physical traits with values of the main parameters according to the European standards. Because the final destination of the chips is quite diverse, varying from domestic use to feeding large power plants, in order to optimize its performance, a biomass of good quality in relation to size, water and ashes content, should be used.*

Purpose of the storage is to lower the moisture content for reducing microbiological degradation and maintaining the calorific value by lowering the production of water vapor, which leads to problems of fumes depuration. The chips storage can take place in open air or in closed environments. In the first case, the choices will affect the area of storage (on soil or on cement), the protection of the heap (with or without coverage), its shape (e.g. conical) and size (large, small), and the application whether or not of heap mixing. In the second case, the variables mainly concern the technical solutions related to the ventilation system.

The CRA-ING, within the SUSCACE project, has set up several experiments aimed at to identify the best conditions for natural storage in open air in order to define the parameters of efficiency, economy and functionality ensuring the supply of biofuel to farms in a continuous manner and with the proper moisture content. This paper argues the issues related to the storage of wood chips of poplar and illustrates some of the most salient results achieved during the long activity of Research Unit.

Keywords: *poplar,* Short rotation forestry, *natural storage, calorific value.*

1. Introduzione

La principale produzione della filiera legno-energia è costituita dal cippato, utilizzato tal quale oppure pre-essiccato per migliorarne la combustione oppure ancora trasformato in pellett (Bonari *et al*., 2009). Il prodotto finale, ai fini della sua utilizzazione energetica, deve possedere determinate caratteristiche qualitative, quali pezzatura, contenuto idrico e ceneri, definite sulla base della norma europea EN 14961-4

(Tab. 1). Il cippato destinato alla produzione di energia può trovare utile impiego in svariati ambiti, da centrali elettriche di grandi dimensioni ad impianti medio-piccoli a livello locale fino alle utenze domestiche (Tab. 2).

Tabella 1 - Principali caratteristiche richieste per il cippato in base alla norma EN 14961-4 (modificato da Francescato e Antonini, 2009).

Dimensioni o pezzatura	
Codice	Frazione principale >80% (massa)
P16	3,15 mm ≤ P≤ 16 mm
P45	3,15 mm ≤ P≤ 45 mm
P63	3,15 mm ≤ P≤ 63 mm
Contenuto idrico (M)	
Codice	
M20	≤20% essiccato
M30	≤30% stagionato all'aria ed adatto ad essere stoccato nel silo
M40	≤40% non stagionato e non adatto ad essere stoccato nel silo
Contenuto in cenere (%s.s.)	
Codice	
A0,7	≤0.7%
A1,5	≤1.5%
A3,0	≤3.0%

Tabella 2 - Principali caratteristiche qualitative del cippato richieste dalle caldaie automatiche a cippato (da Francescato e Antonini, 2009).

Tipo di caldaia	Classe di potenza (kWt)	Griglia	Sistema di alimentazione	Pezzatura (P)	Contenuto idrico (M)	Ceneri (A)
Manuale a legna	<100	Fissa	Manuale	P330-1000	M20	-
Automatica a cippato	<150	Fissa	Coclea	P16-45	M20-M30	A1,5
	150-1000	Fissa/semimobile	Coclea	P16-45	M20-M40	A1,5-3,0
	>1000	Mobile	Spintone	P16-100	M30-M55	A3,0-A10,0

Un aspetto fondamentale nella produzione di cippato è costituto dal suo stoccaggio, in quanto le scelte logistiche con cui viene gestita la fase post-raccolta influenzano in maniera determinante la qualità della biomassa finale. La conservazione della biomassa raccolta sotto forma di cippato consente di disporre del "biocombustibile" legnoso per tutto l'anno (la raccolta delle SRF è limitata al periodo di riposo vegetativo coincidente con i mesi invernali) ed, al contempo, le trasformazioni che avvengono nella massa riducono il suo tenore di umidità, che, al momento della raccolta, è generalmente superiore al 60% su base umida. Ai fini della conversione energetica, infatti, in funzione di quanto prescritto dalla tecnologia di combustione cui il materiale sarà destinato, l'umidità dovrà raggiungere valori dell'ordine del 30-35%.

Lo stoccaggio ha lo scopo di abbassare i livelli di umidità favorendo la riduzione dei fenomeni degradativi che ne determinerebbero il decadimento qualitativo. Inoltre, l'utilizzo di cippato con tenori di umidità elevati comporta una sostanziale riduzione del potere calorifico (2.44 MJ per Kg di H_2O evaporata) e una notevole produzione di vapore acqueo (con svantaggi legati alla depurazione del fumi ed ai fenomeni chimici corrosivi dovuti alla condensa).

L'essiccazione del cippato (e, nel caso specifico, quello di pioppo) è un fenomeno controllato da diversi fattori legati al microclima, alla pezzatura e alla modalità di conservazione. Il range di temperatura da 10 a 65°C rilevabile in un cumulo di cippato consente lo svolgimento di reazioni biochimiche ascrivibili alla microflora fungina o a reazioni biologiche. Se la temperatura supera i 65°C hanno luogo reazioni puramente chimiche ossidative, influenzate dal tenore di ossigeno e dal contenuto di umidità, che provocano la decomposizione della materia organica e, quindi, la perdita di sostanza secca (Pari *et al*., 2008). Il processo di degradazione della biomassa può essere sicuramente rallentato e, probabilmente, quasi azzerato: la discriminante fondamentale è data dal sistema di stoccaggio e dai relativi costi, limitati, nel caso di essiccazione naturale, notevoli e con un elevato dispendio di risorse energetiche se con ventilazione forzata.

Sostanzialmente lo stoccaggio del cippato può aver luogo all'aperto o in locali chiusi. Nel primo caso le scelte di conservazione interesseranno la superficie di stoccaggio (su terra o su cemento), la protezione del cumulo (con copertura o senza copertura), la sua forma (es. conici) e dimensione (grandi, piccoli), nonché l'applicazione o meno del rimescolamento del cumulo. Per quel che concerne lo stoccaggio della biomassa in locali chiusi (diffusi soprattutto nei paesi del Nord Europa) le variabili di cui tener conto riguardano il sistema di ventilazione forzata adottato: con aria a temperatura ambiente, con aria riscaldata, senza ventilazione. Anche in questo caso l'essiccamento può essere effettuato con o senza rimescolamento. Lo stoccaggio al chiuso permette di limitare al massimo le perdite di prodotto, ma i vantaggi che ne derivano non sempre giustificano gli investimenti richiesti (Bonari *et al*., 2009).

La scelta del metodo di stoccaggio è funzione di considerazioni logistiche (disponibilità di spazio o di strutture *ad hoc*) ed economiche. Soluzioni valide per l'efficiente riduzione del contenuto di umidità possono in realtà rivelarsi difficilmente realizzabili in quanto non convenienti da un punto di vista economico ed energetico.

Il CRA-ING ha posto in essere un'attività pluriennale, nell'ambito del progetto SUSCACE, mirata ad identificare le condizioni migliori per lo stoccaggio naturale all'aperto di cippato di pioppo, al fine di individuare parametri di efficienza, economicità e funzionalità in grado di garantire alle aziende agricole la fornitura di biocombustibile in maniera continua e con il corretto tenore di umidità.

2. Stoccaggio all'aperto

a) Essiccazione naturale

Nell'essiccazione naturale la riduzione della quantità di acqua contenuta nel legno avviene a seguito dell'instaurarsi di un gradiente tra il legno e l'aria circostante, fino al raggiungimento di un equilibrio tra la forza disseccante dell'atmosfera in normali condizioni igrometriche e il potere igroscopico della sostanza legnosa. Tale equilibrio viene raggiunto quando si arriva al più basso gradiente di umidità nelle condizioni ambientali a cui la biomassa legnosa viene esposta. La velocità del fenomeno è direttamente proporzionale alla differenza di contenuto idrico tra legno ed aria presente nel materiale in cumulo; quest'ultima è legata al suo ricambio (presenza di vento o ventilazione forzata) ed all'umidità e alla temperatura dell'aria esterna al cumulo.

Nello studio delle modalità con cui avviene l'essiccamento naturale è importante considerare gli aspetti che governano le dinamiche relative al contenuto di umidità della biomassa stoccata e che sono influenzate sia da caratteristiche intrinseche del materiale e del tipo di conservazione sia da variabili di tipo biologico e ambientale. Nel cumulo, la perdita di acqua procede gradualmente dall'esterno (la superficie esposta agli eventi atmosferici) verso l'interno (dove i processi fermentativi determinano temperature particolarmente elevate) con modalità non uniformi nel tempo e nello spazio. In genere, la perdita d'acqua segue un gradiente longitudinale e la velocità dell'allontanamento dell'acqua di imbibizione è maggiore rispetto a quella dell'acqua di saturazione.

La corteccia rappresenta una barriera importante per il movimento del vapore acqueo e, benché la porosità non sia un indice di permeabilità, la consistenza del legno entra a far parte degli elementi da considerare nei processi di disidratazione.

Non meno determinanti risultano essere i fattori ambientali: l'esposizione (posizione assolata o in ombra), la scarsa ventilazione, l'andamento meteorico (frequenza di piogge abbondanti), il contatto con il suolo (in terreni pesanti potrebbero verificarsi problemi aggiuntivi a causa di fenomeni di risalita capillare), la presenza ed il contatto con erbe spontanee sono tutti elementi che non solo rallentano l'essiccazione naturale, ma favoriscono lo sviluppo di infezioni batteriche e fungine che portano a perdite di sostanza legnosa.

Dalle considerazioni appena esposte emerge un ulteriore elemento di analisi: il movimento dell'acqua è bidirezionale poiché nello stoccaggio all'aperto l'assenza di riparo dagli eventi meteorici (pioggia, neve, nebbia), genera un flusso inverso, dal-

l'ambiente al legno. In questo caso, la presenza della corteccia rallenta l'assorbimento dell'acqua, mentre i legni leggeri e più porosi si imbibiscono più facilmente.

La pezzatura del cippato riveste un ruolo di notevole importanza in quanto riducendo le classi dimensionali aumenta la percentuale esposta priva di corteccia e, quindi, con maggiore probabilità di riassorbimento di acqua. Aumentando il rapporto superficie/volume (S/V) aumenta il flusso di materia (acqua) verso l'esterno, con conseguente perdita di umidità da parte del materiale e disidratazione più rapida dello stesso. Dimensioni troppo fini delle scaglie legnose non solo aumentano la superficie disponibile ed esposta all'azione degradativa dei microorganismi, ma dal punto di vista dell'efficienza energetica del prodotto comportano problemi in fase di combustione, influenzando negativamente sia il rendimento che il costo di manutenzione dell'impianto (Pari e Sissot, 2009).

Lo stoccaggio all'aperto rappresenta una soluzione relativamente semplice ed economica per la disidratazione del cippato, molto diffusa nella realtà italiana. L'influenza dei fattori appena richiamati, alcuni difficilmente controllabili, legati all'essiccazione naturale, richiede, però, uno studio approfondito e puntuale delle soluzioni tecniche applicabili al metodo di stoccaggio del prodotto pezzato che consentano il contenimento dei fenomeni degradativi.

b) Effetto della copertura del cumulo

La quasi totalità delle valutazioni sperimentali relative allo stoccaggio di cippato di legno sono state condotte nel nord Europa, in condizioni climatiche quindi completamente diverse dalle nostre. Allo scopo di valutare quale, fra quelli ipotizzabili, fosse il sistema di stoccaggio che potesse permettere il contenimento dei fenomeni fermentativi, il CRA-ING ha iniziato nel 2007 prove sperimentali volte a valutare le temperature interne ai cumuli, le variazioni dei tenori di umidità, le variazioni del potere calorifico inferiore (PCI) e le perdite di sostanza secca in diverse condizioni operative.

Figura 1 - Allestimento delle prove per la comparazione dell'effetto della copertura in cumuli di cippato di pioppo sottoposti ad essiccazione naturale.

Figura 2 - Apertura dei cumuli di cippato di pioppo sottoposti ad essiccazione naturale.

Tenendo conto delle considerazioni riportate precedentemente sull'influenza che le condizioni climatiche esercitano sulle caratteristiche qualitative del cippato di pioppo, sono state condotte delle prove allo scopo di valutare l'effetto della copertura del cumulo di stoccaggio sui principali parametri fisici del prodotto finale (Figg. 1 e 2). I dati derivano da due diverse sperimentazioni effettuate nel 2007 a Savigliano (CN) e nel 2009 a Mantova (Gallucci *et al*., 2010a). In entrambi i casi è stata seguita un'identica metodologia sperimentale formando due cumuli di cippato di pioppo di forma tronco-piramidale, posizionati su un piazzale asfaltato: uno dei due cumuli è stato lasciato scoperto, mentre l'altro è stato protetto con un telo geotessile Top-Tex®. Quest'ultimo è un tessuto non tessuto di polipropilene non attaccabile dagli agenti ambientali; è in grado di resistere alla degradazione e, grazie alla stabilizzazione ai raggi UV dei polimeri, può essere utilizzato per almeno 5 anni. La sua proprietà più interessante ai fini dello stoccaggio è la capacità di impedire l'entrata dell'acqua meteorica consentendo, allo stesso tempo, la fuoriuscita del vapore acqueo dal cumulo. Nel corso delle due sperimentazioni il monitoraggio delle temperature è stato effettuato posizionando all'interno di ogni cumulo 12 sonde a termoresistenza del tipo PT100 distribuite a tre livelli, L1, L2 ed L3, rispettivamente ad 1 m, 3 m e 4 m dal suolo.

Nei cumuli scoperti si è rilevata la formazione di una crosta secca, una barriera che protegge esternamente dalla penetrazione dell'acqua meteorica ed internamente dalla fuoriuscita di aria umida. Una delle differenze principali osservate nel confronto tra presenza e assenza di copertura è costituta dalla percentuale di volume di cippato risultato asciutto (e, quindi, con PCI potenzialmente superiore) dopo circa otto mesi di stoccaggio. Nel 2007 il volume di materiale asciutto, con un umidità del 37,5%, presente nel cumulo coperto era pari al 93% della massa, mentre tale volume, con umidità media del 35,5%, ammontava nel cumulo scoperto al 59%. Il dato indica chiaramente come la protezione del cumulo risulti raccomandabile quando si voglia ottenere del cippato qualitativamente superiore. Nelle prove del 2009, invece, l'umidità è scesa mediamente al 26,4% nel cumulo scoperto e al 25% in quello coperto, al di sotto dei limiti indicati per il cippato stagionato all'aria. In entrambe le sperimentazioni sono stati, comunque, raggiunti, sia per il cumulo scoperto che per quello coperto, valori particolarmente alti del potere calorifico ed un contenuto di ceneri che è risultato più basso nel cumulo coperto rispetto allo scoperto, probabilmente per un apporto di materiale inerte all'interno del cumulo non protetto (Fig. 3). Le ceneri rappresentano, infatti, i sali minerali presenti nei tessuti vegetali e quelli presenti negli inquinanti (terriccio, inerti in genere). Per quanto riguarda la biomassa legnosa, un contenuto in ceneri elevato è indice di una elevata quota di corteccia rispetto al durame ma, soprattutto, di inquinamento da inerti. Ciò si traduce in una maggiore manutenzione degli impianti e in maggiori quantità di ceneri da gestire.

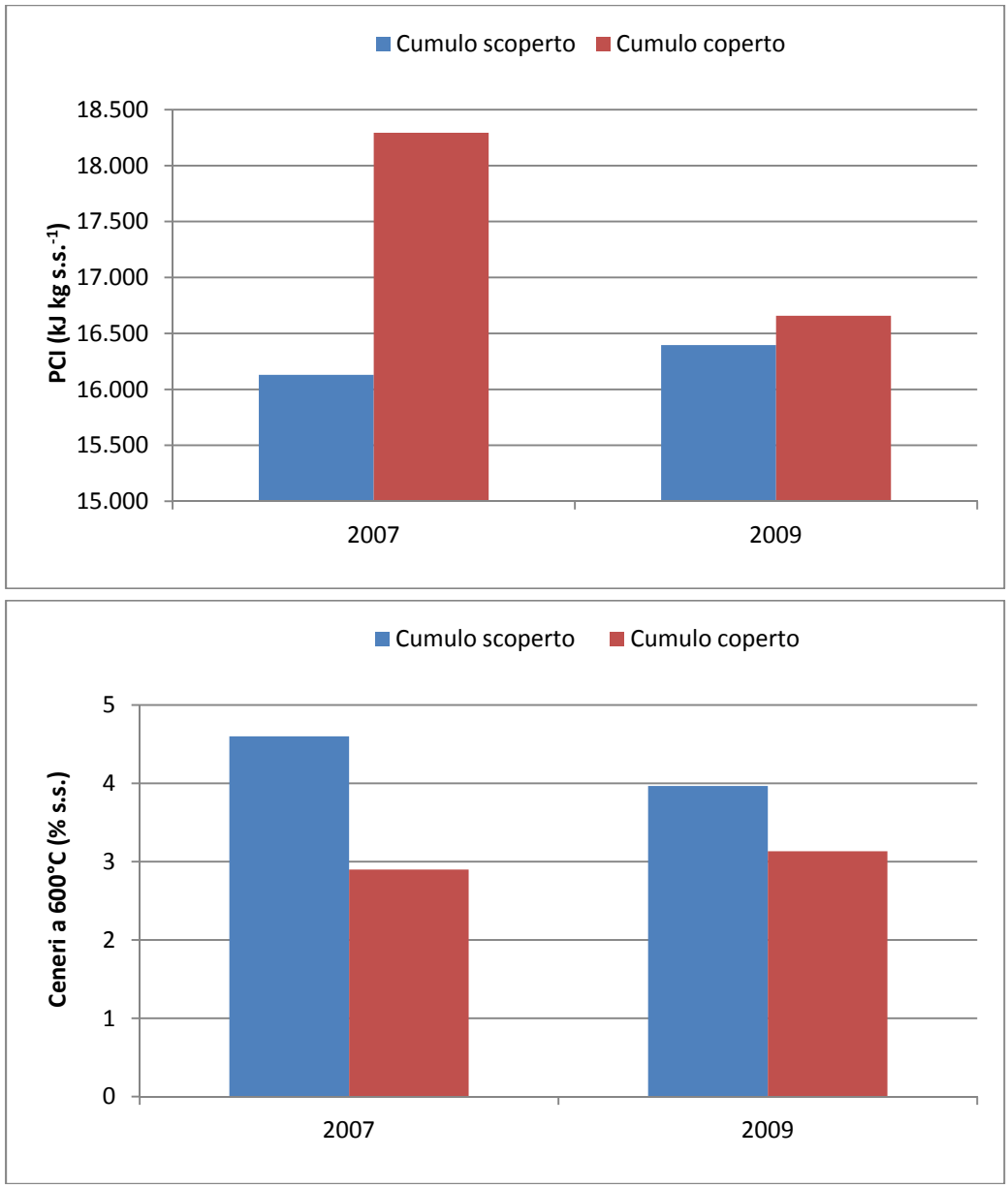


Figura 3 - Potere Calorifico Inferiore (PCI) e contenuto in ceneri rilevati in campioni di cippato conservato con cumuli coperti o scoperti.

Il sistema di stoccaggio con copertura appare, quindi, avere una certa convenienza, ma con risultati che possono variare in funzione delle condizioni ambientali. In annate in cui la copertura non determina un vantaggio in termini qualitativi, diventa discriminante l'investimento economico. Il telo del tipo TopTex® ha infatti un costo

orientativo di 2 € m^{-2} ed una durata stimata di 5 anni. Ciò significa che il costo annuale per unità di superficie risulta di 0,4 € m^{-2}.

I vantaggi del ricorso al telo sono relativi ad un più pronto collocamento sul mercato di materiale di buona qualità. L'utilizzo della copertura sembra essere adatto per materiale destinato ad impianti presenti in aziende agricole o comunque di piccola taglia: la messa in opera del telo comporta operazioni che non sono ragionevolmente proponibili nel caso di grossi volumi, quali possono essere quelli propri della sezione di stoccaggio presso una centrale di notevole dimensione.

c) Effetto della pezzatura del cippato

Come discusso precedentemente, le caratteristiche dimensionali del cippato hanno un'importanza notevole sulle dinamiche legate alla perdita di umidità del cumulo ed anche sulla destinazione finale del prodotto. Da questo punto di vista un ruolo fondamentale è rivestito dalle caratteristiche delle macchine utilizzate per l'ottenimento del prodotto.

Sul cippato raccolto nell'inverno 2008, il CRA-ING ha condotto delle prove comparative di stoccaggio di materiale di diversa pezzatura (Gallucci *et al*., 2010b), mettendo a confronto 2 cumuli scoperti di cippato di pioppo allevato a SRF: il primo raccolto con falciatrinciacaricatrice Claas Jaguar 890; il secondo raccolto con Claas Jaguar 890 equipaggiata con rotore sperimentale sviluppato da CRA- ING. La modifica principale inserita in questa seconda macchina aveva lo scopo di produrre un cippato a granulometria maggiore ed era costituita dal montaggio di 10 coltelli fissi (nel rotore di serie sono 12), con una inclinazione di 5° rispetto l'asse di rotazione. Il cumulo a pezzatura più grossolana (rotore CRA-ING) è stato realizzato presso la Franco Alasia Vivai di Savigliano (CN), mentre il secondo a pezzatura più ridotta (rotore di serie), è stato realizzato presso la centrale San Matteo Bioenergie di Bando di Argenta (FE). Come per la prova precedentemente descritta, per il monitoraggio delle temperature interne dei due cumuli si è fatto ricorso a sonde a termoresistenza del tipo PT100 posizionate all'interno del cumulo e distribuite su tre livelli, lungo tre sezioni longitudinali (L1, L2 ed L3) e due diverse sezioni trasversali.

L'analisi granulometrica del cippato ha messo in evidenza come la modifica introdotta sulla macchina abbia determinato una rilevante variazione nella distribuzione delle classi dimensionali all'interno dei due cumuli: utilizzando il rotore CRA-ING la classe di pezzatura più fine si è quasi dimezzata rispetto all'impiego del rotore di serie, mentre la percentuale di quella intermedia (10-25 mm) è aumentata dal 49 al 65% e la percentuale volumetrica della classe più grossolana è raddoppiata (Fig. 4). In entrambi i casi è stata, comunque, rilevata la presenza di uno strato umido superficiale dello spessore di circa 30 cm, ad indicare che, nei cumuli scoperti, la presenza di tale strato non risulta influenzata dalle caratteristiche dimensionali del cippato.

Ciò che è importante sottolineare è l'influenza che la pezzatura del cippato ha sulle caratteristiche qualitative del prodotto finale (Tab. 3). Dopo 4 mesi di stoccaggio, le perdite di sostanza secca ed energia sono risultate mediamente più basse nel

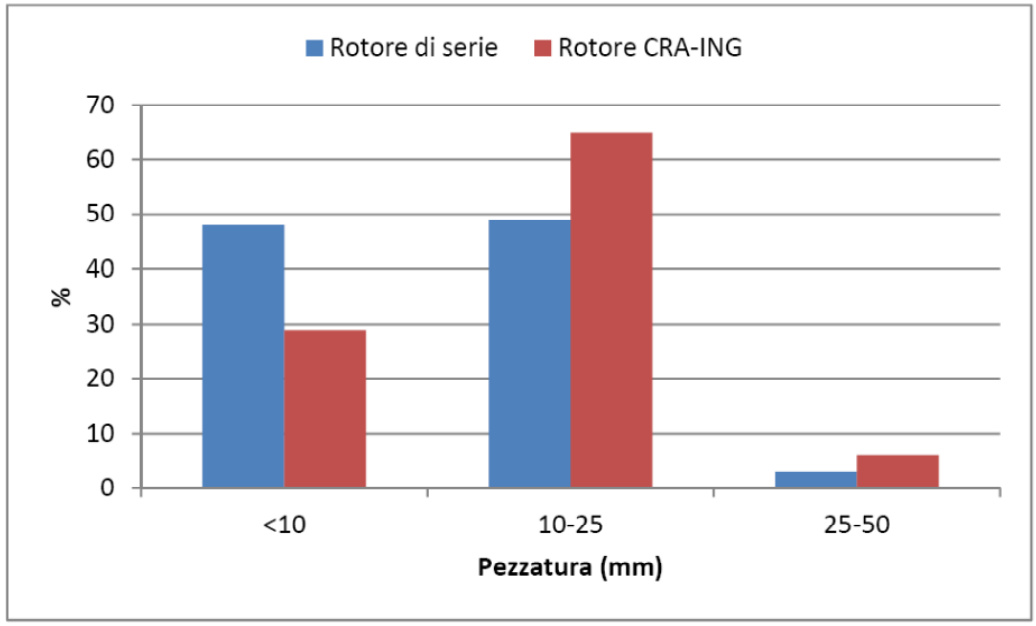


Figura 4 – Distribuzione percentuale delle classi dimensionali di cippato ottenuto con rotore di serie o rotore modificato dal CRA-ING.

Tabella 3 - Perdite di sostanza secca, energia e kJ kg^{-1} per g H_2O evaporata osservate dopo 4 mesi di stoccaggio per i cumuli di cippato di pioppo a diversa distribuzione di pezzatura ed ottenuti con i due rotori a confronto (modificato da Gallucci *et al*., 2010).

Rotore	Sezione	Perdite		
		Sostanza secca (%)	Energia (%)	kJ kg^{-1} g H_2O evap.$^{-1}$
di serie	L1	11,8	13,7	6,0
	L2	13,2	14,1	6,1
	L3	3,6	5,4	2,8
	Media	9,5	11,1	5,0
CRA-ING	L1	7,4	9,2	5,3
	L2	6,8	8,8	5,3
	L3	7,4	9,5	5,4
	Media	7,2	9,2	5,3

cippato ottenuto con il rotore CRA-ING, soprattutto nei livelli centrale (L2) e basso (L1) del cumulo. La misura della perdita di sostanza secca (con il suo contenuto energetico) per unità di peso di acqua evaporata rappresenta il "costo" che si è sostenuto per l'essiccazione. In media le perdite in kJ per g di acqua persa risultano com-

parabili, risultando, nel cippato a pezzatura più grossolana, più basse ai livelli L1 ed L2 e maggiori nella parte del cumulo più vicino alla superficie esposta all'aria. In questa seconda sperimentazione i valori di PCI e contenuto in ceneri si sono equivalsi tra le due tesi (16,4 e 16,3 MJ kg^{-1} s.s., rispettivamente per il rotore di serie e quello CRA-ING, come PCI; 4,0 e 4,2% s.s., rispettivamente per il rotore di serie e quello CRA-ING, relativamente al contenuto in ceneri).

Anche se in maniera non così evidente, le sperimentazioni descritte hanno messo in luce la possibilità di migliorare le condizioni di stoccaggio del cippato di pioppo aumentandone la pezzatura, un carattere questo che ha mostrato una proporzionalità diretta con la velocità di essiccazione. Un aspetto importante emerso è quello relativo alla perdita di sostanza secca, che si traduce in perdita di energia chimica potenziale del combustibile e che, con pezzature più elevate è possibile ridurre. Le perdite di sostanza secca, se considerate in termini assoluti, sono direttamente proporzionali al tempo di stoccaggio, ma nello stoccaggio di materiale a pezzatura più elevata tali perdite comportano, soprattutto nei primi mesi, una più veloce essiccazione, ottenendo un prodotto prontamente collocabile sul mercato.

3. Considerazioni sull'utilizzazione

Al fine di ottimizzare le prestazioni di un impianto, le utenze aziendali/domestiche devono necessariamente utilizzare una biomassa di buona qualità.

In Figura 5 si riporta il rendimento termico di una piccola caldaia in funzione del contenuto di umidità del combustibile. All'aumentare dell'umidità della biomassa è richiesta una maggiore quantità di energia per vaporizzare l'acqua presente nel combustibile con conseguente una riduzione del suo rendimento.

Se si prende come riferimento un prodotto cippato ottenuto da un ettaro di impianto a SRF con produzione di 20 t ha^{-1} $anno^{-1}$ di materiale tal quale (al 55% di umidità su base umida e considerato senza ceneri), utilizzando la curva di rendimento riportata (Fig. 5) è possibile simulare i risultati energetici ottenibili facendo riferimento anche alle valutazioni sperimentali ottenuti dal CRA-ING (Tab. 4).

Dopo quattro mesi di stoccaggio, la riduzione del tenore idrico, passato dal 55% al 22%, ha determinato modifiche di rilievo nella biomassa del cumulo. A fronte di perdite in sostanza secca del 15%, il quantitativo energetico della biomassa che l'unità di superficie è in grado di fornire passa da poco più di 17 MWh ha^{-1} $anno^{-1}$ a circa 26 MWh ha^{-1} $anno^{-1}$. Ciò significa che, anche in presenza di sostanziali perdite di sostanza secca, ciascun ettaro è in grado di fornire ogni anno il 35% in più energia se la biomassa raccolta e cippata viene stoccata e si riesce a ridurre efficientemente la sua umidità, in quanto, come visto, una riduzione del tenore idrico della biomassa si traduce in un aumento del rendimento in caldaia.

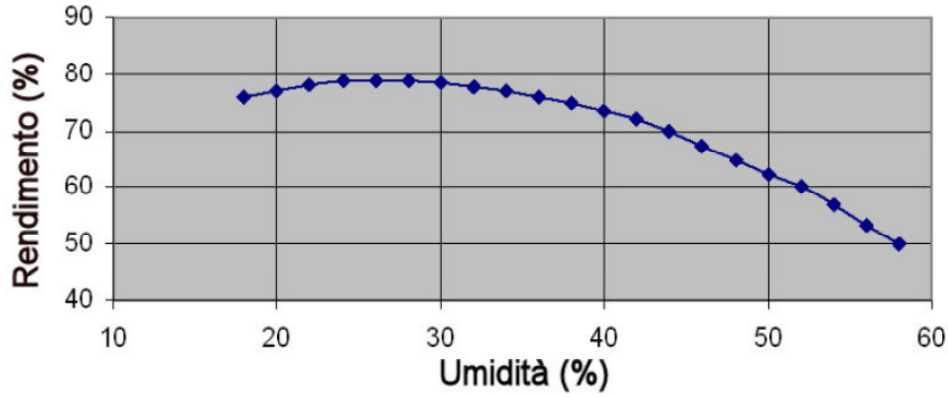


Figura 5 - Rendimento di una piccola caldaia in funzione dell'umidità della biomassa (modificato da Helin, 2005).

Tabella 4 - Energia prodotta da cippato dopo 4 mesi di stoccaggio con cumulo scoperto (modificata da Pari e Sissot, 2009).

Parametri	U.M.	Formazione del cumulo	Cippato dopo 4 mesi di stoccaggio
Umidità	(%)	55	22
Rendimento caldaia	(%)	55	78
Perdite ss	(%)	---	15,0
PCI senza ceneri	(MJ kg^{-1} t.q.)	5,7	12,5
Produzione t.q.	(t $t.q.^{-1}$ ha^{-1} $anno^{-1}$)	20,0	9,8
Energia teorica	(MJ ha^{-1})	113.291	122.243
Energia effettiva	(MJ ha^{-1} $anno^{-1}$)	62.310	95.350
Energia effettiva	(MWh ha^{-1} $anno^{-1}$)	17,31	26,49

Ciò suggerisce alcune considerazioni. Se ben condotto, lo stoccaggio, nonostante il processo di essiccazione determini inevitabili perdite di sostanza secca, permette di ottenere, un prodotto energeticamente valido e, quindi, la produzione di un maggior quantitativo di energia per unità. In altri termini, per avere la stessa quantità di energia, serve meno combustibile.

Lo stoccaggio può eventualmente essere evitato qualora il materiale vada a far parte di una miscela di biocombustibili solidi realizzata al fine di avvicinare le caratteristiche della stessa alle specifiche del progettista/costruttore della caldaia. Risulta evidente come tale soluzione sia sostanzialmente attuabile solo in centrali di grossa taglia per la produzione di energia elettrica dove è possibile miscelare materiale a bassissimo tenore di umidità con cippato di pioppo. Impianti di media taglia o utenze aziendali/domestiche, che in genere si approvvigionano di combustibile autoprodotto o comunque di origine locale, devono necessariamente tenere in considerazione la necessità di aumentare la qualità della biomassa attraverso la fase di stoccaggio.

Ulteriori aspetti da considerare durante la fase di stoccaggio sono le emissioni in ambiente di polveri e l'aumento degli inerti. Relativamente al primo aspetto, la polverosità del materiale, che è in relazione all'umidità dello stesso, può comportare eventuali dispersioni nell'ambiente. È il caso degli stoccaggi in impianti di grossa dimensione, dove a volte si rende necessario bagnare i cumuli per ottemperare alle prescrizioni di legge, mentre il problema generalmente non si pone, date le quantità stoccate, per gli impianti di piccola/media taglia.

Relativamente al secondo aspetto, lo stoccaggio comporta in genere un aumento del contenuto specifico di ceneri. Ciò è dovuto in parte alle perdite di sostanza secca (carbonio e idrogeno, la cui quota specifica aumenta), ma soprattutto alla movimentazione che, se non condotta con attenzione, aumenta inevitabilmente l'inquinamento della biomassa da parte di inerti.

4. Conclusioni

Come è possibile dedurre dalle brevi note esposte, la problematica dello stoccaggio è molto complessa e va affrontata con un approccio integrato che riunisca competenze agronomiche, meccaniche, microbiologiche ed ingegneristiche e che, allo stesso tempo, tenga conto dell'impianto legislativo nazionale ed europeo che la regola e che è in continua evoluzione.

Le esperienze condotte dal CRA-ING hanno sicuramente contribuito ad individuare le dinamiche relative allo stoccaggio del cippato di pioppo da SFR nel nord Italia. I dati ottenuti potranno risultare utili nelle valutazioni strategiche in ciascuna realtà operativa. Tuttavia, risulta evidente come ogni situazione necessiti di specifiche indagini in merito.

Bibliografia

Bonari E., Ragaglini G., Tozzini C., Guidi W., Ginanni M., 2009. Protocollo di coltivazione e raccolta degli impianti di *Short Rotation Forest* di pioppo. In: "La filiera legno-energia. Risultati del progetto Woodland Energy", Ed. ARSIA, Firenze, pp. 73-88.

Francescato W, Antonini E., 2009. Requisiti qualitativi e norme di riferimento. In: "Legna e cippato. Produzione, requisiti qualitativi e compravendita", Ed. AIEL-Associazione Italiana Energie Agroforestali, Legnaro (PD), pp. 45-67.

Gallucci F., Pari L., Croce S., 2010a. Stoccaggio del cippato di pioppo. Confronto tra due differenti metodologie di conservazione. In: Innovazioni tecnologiche per le agro energie. Sinergie tra ricerca e impresa. Sherwood 168, supplemento 2, pp. 39-42.

Gallucci F., Pari L., Croce S., 2010b. Stoccaggio del cippato di pioppo. Variazione delle caratteristiche di prodotti a diversa granulometria. In: Innovazioni tecnologiche per le agro energie. Sinergie tra ricerca e impresa. Sherwood 168, supplemento 2, pp. 39-42.

Helin, M. 2005. Moisture in wood fuels and drying of wood chips. http://www.northernwoodheat.net/htm/news/Finland/Symposiumpres/Dryingofwoodchips.pdf

Pari L., Sissot F., Ciriello A., 2008. La migliore qualità del cippato si ottiene nel cumulo coperto. L'Informatore Agrario 39, 52-55.

Pari L., Sissot F., 2009. Come migliorare il cippato attraverso lo stoccaggio. L'Informatore agrario 29, 47-50.

5 - Pianificazione delle operazioni di raccolta e conferimento delle biomasse

Planning of harvesting operations and biomass conferring

Luigi Pari*, Vincenzo Civitarese*, Massimo Pepe*

Riassunto

L'anello della filiera che collega la produzione agricola all'industria di trasformazione è il settore della logistica, in cui la meccanizzazione occupa un posto fondamentale da un punto di vista economico ed ambientale.

La riforma dell'OCM Zucchero e i piani di riconversione verso le agro energie a cui ha fatto seguito il settore bieticolo saccarifero hanno permesso, per la prima volta nel nostro paese, di seguire e monitorare un intero processo di riconversione industriale. Una delle società coinvolte in tale processo si appresta a realizzare una centrale da 30 MWe da alimentare con la biomassa prodotta da 7.000 ha di piantagioni di pioppo a turno breve.

L'Unità di ricerca per l'Ingegneria Agraria del Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura (CRA-ING), in collaborazione con la società PowerCrop, ha provveduto a rilevare nell'ambito del Progetto di Ricerca SUSCACE (Supporto scientifico alla Conversione Agricola verso le Colture Energetiche) i dati relativi alle caratteristiche degli impianti influenti la meccanizzazione della raccolta e la localizzazione delle colture energetiche impiantate per l'alimentazione della centrale. I dati raccolti sono stati inseriti in un database collegato all'applicativo "SW_ SUSCACE_01" in fase di sviluppo. L'applicativo consente di gestire la logistica delle operazioni di raccolta e trasporto del prodotto alla centrale in relazione alle caratteristiche delle macchine operatrici ed ai parametri pedoclimatici e colturali presenti al momento dell'operazione.

Parole chiave: software, gis, logistica, biomasse, pianificazione.

* CRA-ING - Unità di Ricerca per l'Ingegneria Agraria, Monterotondo (Roma).

Abstract

The link connecting the agricultural production to the processing industry is the sector of logistic, in which the mechanization plays a pivotal role from an economic and environmental point of view.

The OCM sugar reform and the plans of agricultural conversion towards the agro-energies undergone by the sugar beet sector have allowed, for the first time in Italy, to follow and monitor the entire process of industrial restructuring. One of the companies involved in this process is going to build a power plant from 30 MW to be supplied with biomass produced from 7,000 ha of short rotation poplar plantations.

The Research Unit for Agricultural Engineering Council for Research and Experimentation in Agriculture (CRA-ING), in collaboration with the company Powercrop, within the Research Project SUSCACE (Scientific Support to Convert farmers into energy) collected the data concerning the characteristics of plants in order to dimensioning the mechanization of harvesting and the distribution of energy crops cultivations destined to supply the plant. The collected data were entered into a database linked to the application "SW_SUSCACE_01" under development. The application allows to manage the logistics of harvesting and transport of the product to the plant taking into account the characteristics of the machines, soil and climate characteristics and the agronomic parameters at harvest.

Keywords: *software, GIS, logistics, biomass, planning.*

1. Introduzione

L'anello della filiera che collega la produzione agricola all'industria di trasformazione è il settore della logistica, in cui la meccanizzazione occupa un posto fondamentale da un punto di vista economico ed ambientale. La scelta della macchina per la raccolta di una coltura energetica, infatti, influenza non solo la redditività della coltura ma anche i costi di trasporto, la conservabilità del prodotto e la necessità di prevedere sistemi di pre-trattamento alla bocca dell'impianto. Nel caso in cui le colture energetiche siano conferite ad una centrale termoelettrica è fondamentale programmare, in un determinato bacino di utenza, le operazioni di raccolta e conferimento del prodotto.

La riforma dell'OCM Zucchero e i piani di riconversione verso le agro energie a cui ha fatto seguito il settore bieticolo saccarifero hanno permesso, per la prima volta nel nostro paese, di seguire e monitorare un intero processo di riconversione industriale. Una delle società coinvolte in tale processo, la PowerCrop, si appresta a realizzare una centrale da 30 MWe da alimentare con la biomassa prodotta da 7.000 ha di piantagioni di pioppo a turno breve. La centrale verrà realizzata nel comune di

Russi (RA) e le piantagioni saranno localizzate entro un raggio di 70 km dalla centrale stessa (Fig. 1).

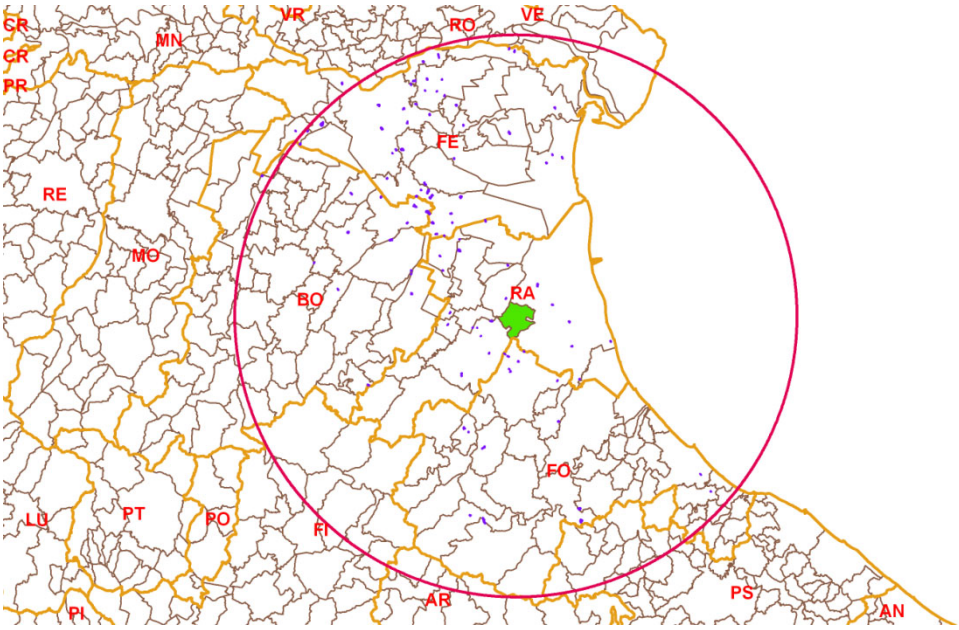


Figura 1 - Bacino di approvvigionamento della centrale a biomassa di Russi.

L'Unità di ricerca per l'Ingegneria Agraria del Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura (CRA-ING), in collaborazione con la società PowerCrop, ha provveduto a rilevare nell'ambito del Progetto di Ricerca SUSCACE (Supporto scientifico alla Conversione Agricola verso le Colture Energetiche) i dati relativi alle caratteristiche degli impianti influenti la meccanizzazione della raccolta e la localizzazione delle colture energetiche impiantate per l'alimentazione della centrale. I dati raccolti sono stati inseriti in un database collegato all'applicativo "SW_SUSCACE_01" in fase di sviluppo. L'applicativo consente di gestire sia la logistica delle operazioni di raccolta e trasporto del prodotto alla centrale, sia le informazioni relative alla produttività attesa, allo stato fitosanitario della coltura, al livello di sviluppo delle infestanti ecc.

Questo strumento può essere utilizzato per programmare la sequenza degli impianti da raccogliere giornalmente dalle operatrici presenti sul territorio e organizzare la relativa logistica per la movimentazione e il trasporto del prodotto, in relazione alle caratteristiche delle macchine operatrici (raccogli cippatrici o taglia abbattitrici) ed ai parametri pedoclimatici e colturali presenti al momento dell'operazione. Nel presente lavoro vengono illustrati i risultati raggiunti al terzo anno di sperimentazione**.**

2. Materiali e metodi

La fase preliminare del progetto è stata incentrata sulla elaborazione di una scheda anagrafica digitale per il monitoraggio delle superfici investite a Short Rotation Forestry (SRF).

I singoli appezzamenti vengono catalogati attraverso un codice identificativo composto da otto numeri, generati da una sequenza di sottocodici assegnati rispettivamente alla società interessata, al tecnico di campo, all'azienda di riferimento e, infine, a ciascun appezzamento di cui l'azienda risulta proprietaria. Tale procedura consente di individuare in maniera univoca ogni singolo appezzamento e il tecnico che ha provveduto alla sua informatizzazione.

La scheda anagrafica contiene diverse informazioni, le principali riguardano i dati dell'azienda proprietaria, le caratteristiche dell'impianto (coltura, varietà, anno, sesto di impianto ecc.), la sua posizione geografica, la situazione fitopatologica, la presenza di infestanti, la portanza del terreno e la produttività. Quest'ultimo aspetto viene affrontato in due fasi distinte:

- nel primo flusso di dati viene valutata la produttività attesa, sulla base dello stato generale della coltura, delle cure colturali effettuate e dei dati provenienti da piantagioni raccolte l'anno precedente, costituite con lo stesso clone nelle medesime zone pedoclimatiche;
- nel secondo flusso di dati, invece, viene valutata la produttività reale e l'umidità del prodotto a seguito delle operazioni di raccolta.

La situazione fitopatologia, la presenza di infestanti e la portanza del terreno vengono valutate in base ad una serie di indici sintetici allo scopo di programmare le operazioni di raccolta in funzione di fattori di priorità.

Le schede compilate dai tecnici della società PowerCrop vengono inviate al personale CRA-ING che provvede a verificarne la correttezza e ad inserire i dati nel geodatabase. L'applicativo SW_SUSCACE_01, oltre alle informazioni contenute nelle schede, utilizza anche gli shape file relativi ai limiti amministrativi (regionali, provinciali e comunali), al particellare catastale, al network stradale e le ortofoto digitali.

3. L'applicativo SW_suscace_01

L'applicativo utilizza come piattaforma GIS il software ESRI®ArcMap 9.2 ed è sviluppato in visual basic for application. La progettazione è avvenuta in due fasi, la prima incentrata all'acquisizione ed elaborazione del supporto cartografico e della banca dati, la seconda all'implementazione dell'applicativo, attraverso un set di moduli personalizzati e integrati per la gestione delle funzionalità, per la definizione dei parametri di input, per l'aggiornamento del sistema e per l'elaborazione dei risultati.

L'applicativo è in grado di operare su diversi livelli attraverso una serie di tools contenuti nella toolbar di lavoro (Fig. 2).

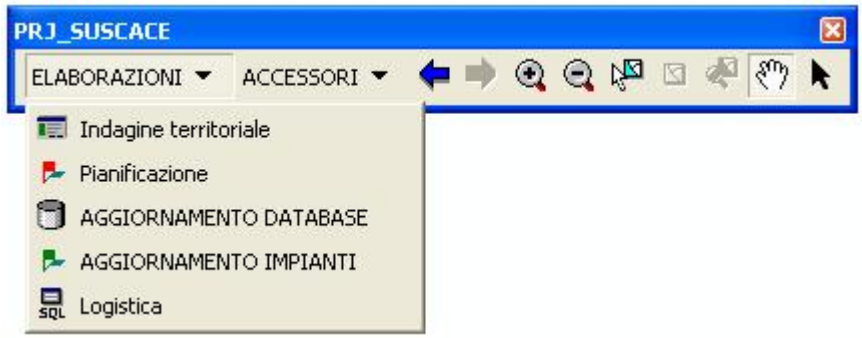


Figura 2 - Toolbar di lavoro del software SW_SUSCACE_01.

I pulsanti "full extent" e "reset" consentono di ripristinare, rispettivamente, le configurazioni standard di rappresentazione dei layer cartografici ed i parametri del sistema.

Il pulsante Google connette l'applicativo sw_suscace_01 col programma Google Earth visualizzando automaticamente le immagini satellitari dell'area oggetto di indagine.

Gli strumenti di gestione ed elaborazione sono rappresentati dai tools "Aggiornamento database", "Indagine territoriale" e "Logistica". Tali strumenti consentono di aggiornare il geodatabase ed estrarre le informazioni in esse contenute per eseguire una indagine territoriale, oppure per avere un quadro sullo stato attuale delle colture e dei mezzi tecnici a disposizione.

Lo strumento di simulazione vero e proprio è rappresentato dal tool "pianificazione" che, sulla base di diversi parametri, è in grado di supportare la fase organizzativa delle operazioni di raccolta del prodotto in campo e di conferimento del cippato in centrale.

3.1. Aggiornamento database

Dal 2009 ad oggi sono stati impiantati circa 1000 ha di SRF e il quadro è in continua evoluzione. Il tool "Aggiornamento database" è in grado di gestire e aggiornare in tempo reale tutte le informazioni alfanumeriche contenute nel geodatabase. Tramite un apposito modulo e le relative combo box di sistema, funzioni select, insert, update e delete, è possibile visualizzare e/o aggiornare i dati di un impianto esistente (selezionandone il codice identificativo), caricare i dati di un nuovo impianto oppure cancellare definitivamente un impianto dal geodatabase.

3.2. Indagine territoriale

Il tool “Indagine territoriale” (Fig. 3) consente di effettuare una rapida analisi sullo stato degli impianti ricadenti in un determinato comprensorio territoriale.

Figura 3 - Modulo di indagine territoriale.

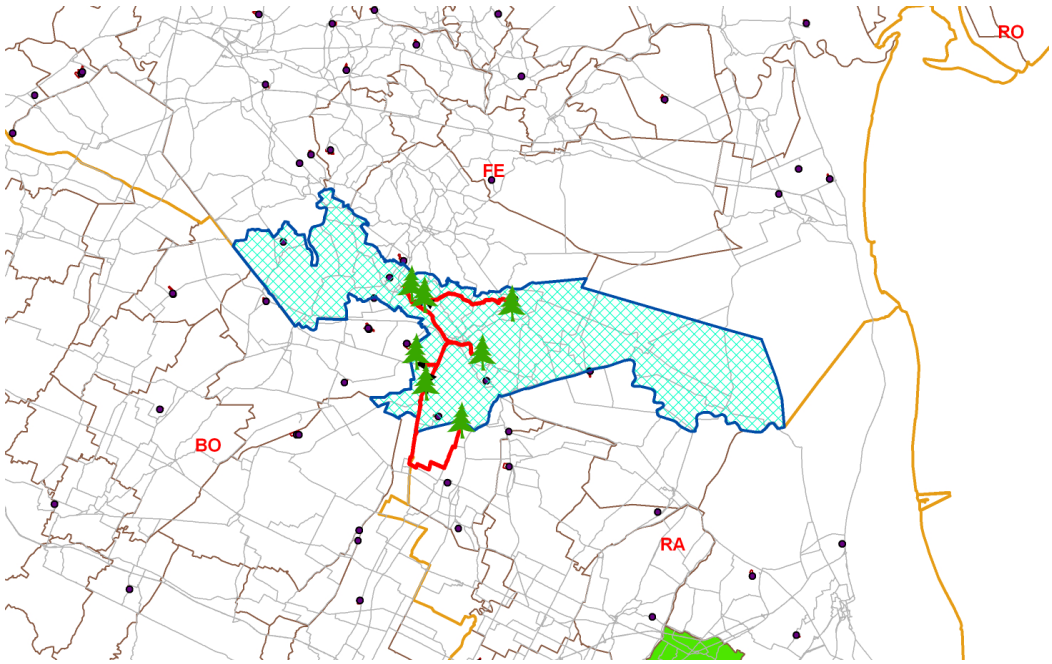


Figura 4 - Risultato grafico dell’elaborazione “Indagine territoriale”.

Occorre indicare l’anno di raccolta e il comune (o i comuni) oggetto di indagine; questi ultimi possono essere selezionati sia graficamente, cliccando i relativi poligoni rappresentati sulla mappa, sia tramite selezione da un menù a tendina. Il pulsante

"elabora" avvia la sessione di lavoro e i risultati vengono mostrati graficamente nel viewer principale (Fig. 4). La mappa evidenzia i comuni, gli impianti ed i relativi collegamenti stradali. Cliccando sul pulsante "Report" viene generata una scheda riepilogativa contenente le seguenti informazioni: comuni oggetto di indagine, anno di raccolta selezionato, codice identificativo della piantagione, coltura presente, superficie e sesto di impianto di ciascun appezzamento, numero di impianti complessivi presenti nel territorio oggetto di indagine, numero di impianti da raccogliere nell'anno selezionato, produttività attesa complessiva, superficie totale interessata dai cantieri, superficie minima, media e massima degli impianti ricadenti nel comprensorio, distanza complessiva che intercorre tra i vari impianti.

3.3. Logistica

Questo tool consente di gestire, sia in forma grafica sia attraverso un report, i dati relativi alle singole piantagioni energetiche e le informazioni sul parco macchine disponibile per le operazioni di raccolta, di proprietà di contoterzisti (CTR). Il tool è suddiviso in due sezioni (Fig. 5), la prima dedicata agli impianti, la seconda dedicata ai contoterzisti (CTR).

Figura 5 - Modulo "Logistica".

Per quanto concerne la sezione dedicata agli impianti, una volta selezionato l'anno di raccolta e l'impianto oggetto di indagine è possibile avviare l'elaborazione (pulsante "elabora"). Terminato il processo di elaborazione cliccando sul pulsante "Re-

port" viene generata una scheda riepilogativa contenente, per ciascuna piantagione, l'elenco di tutte le informazioni contenute nel geodatabase, dai dati del proprietario alla varietà impiantata, dalla data d'impianto, densità, giacitura ecc, ad informazioni riguardanti lo stato fitosanitario della coltura, la portanza del terreno e la tendenza dello stesso a preservare le infestanti.

Per quanto concerne la sezione dedicata ai CTR, invece, è sufficiente selezionare il codice identificativo del contoterzista. Il report fornisce le sue generalità, i recapiti, le coordinate del punto in cui risultano ricoverate le macchine, il numero, il tipo e le caratteristiche delle macchine motrici e operatrici utilizzate per la raccolta delle colture energetiche. La mappa (Fig. 6) completa il quadro delle informazioni evidenziando la posizione dell'azienda contoterzista e gli impianti a lui afferenti. È possibile tuttavia prevedere lo spostamento del CTR in un areale di raccolta più distante in relazione a particolari condizioni (ad esempio operatrici più leggere in condizioni climatiche difficili).

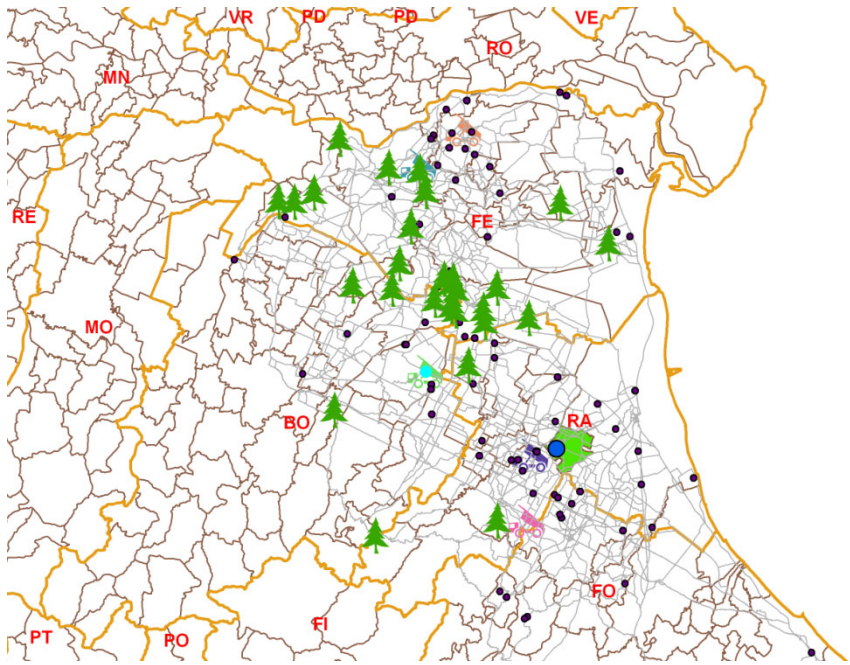


Figura 6 - Risultato grafico dell'elaborazione "Logistica – sez. terzista".

3.4. Pianificazione

Questo tool consente di programmare le operazioni di raccolta e i conferimenti del prodotto in centrale attraverso un processo di simulazione.

Il numero di impianti che è possibile raccogliere nel corso di una giornata viene valutato in funzione delle caratteristiche delle piantagioni, della viabilità, del tipo di

cantiere di raccolta e di macchine operatrici disponibili. Il trasporto del cippato in centrale, invece, viene valutato in funzione della produttività attesa dei campi, della portata dei rimorchi, della viabilità e del tempo tecnico di scarico in centrale.

Figura 7 - Modulo "Pianificazione".

L'interfaccia (Fig. 7) prevede l'inserimento dei seguenti parametri: anno di raccolta, impianto da cui iniziare la raccolta, turno di lavoro (8, 10 o 12 ore), macchina operatrice e relativa capacità di lavoro, tempi tecnici per effettuare lo scarico del prodotto in centrale e portata dei rimorchi che effettuano il trasporto.

Relativamente alle operazioni di raccolta vengono valutate due tipologie di cantieri:

- raccolta e cippatura in un unico passaggio, da effettuarsi con falciatrinciacaricatrici equipaggiate con testate per la raccolta delle piante in piedi;
- raccolta e cippatura in due fasi distinte (1).

In quest'ultimo caso una macchina abbattitrice-andanatrice provvede a tagliare e a deporre le piante nelle interfile nel periodo di riposo vegetativo, mentre la cippatura, ad opera di falciatrinciacaricatrici equipaggiate con testate pick up, viene rinviata tra la fine di maggio e i primi di giugno.

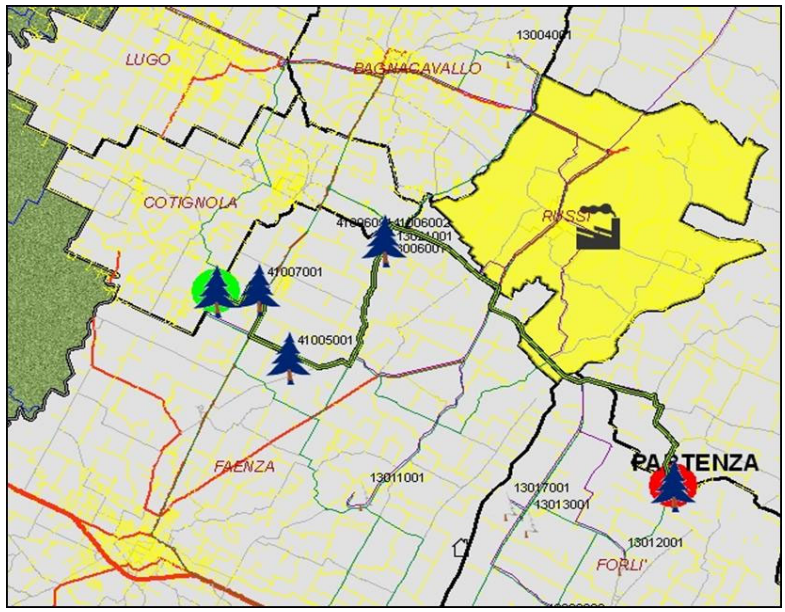


Figura 8 - Risultato grafico dell'elaborazione "Pianificazione".

Una volta inseriti i parametri di input è possibile avviare l'elaborazione dei dati cliccando sul pulsante "Stima". Gli output della simulazione sono evidenziati sia graficamente nel viewer principale (Fig. 8), sia attraverso un report (Tab. 1).

Nella mappa vengono visualizzate le piantagioni che è possibile raccogliere nel corso della giornata di lavoro (a partire dall'impianto selezionato) e i relativi collegamenti stradali. L'impianto di partenza viene indicato con un pallino di colore rosso mentre l'ultimo impianto raccoglibile con un pallino di colore verde.

Il report della simulazione è diviso in due settori:

- nel primo settore vengono fornite informazioni relative ai singoli appezzamenti: generalità e recapiti del proprietario, codice identificativo, coltura, superficie, produttività stimata, tempo di raccolta, tempo per un singolo trasporto, numero di trasporti necessari per conferire il prodotto in centrale e il numero di mezzi necessari per eseguire i suddetti trasporti;
- nel secondo settore, invece, vengono fornite informazioni relative all'intera giornata lavorativa: numero di impianti che è possibile raccogliere nel corso della giornata, superficie totale da raccogliere, produttività attesa totale, distanza complessiva tra i vari impianti, tempo complessivo necessario per le operazioni di raccolta (comprensivo dei tempi di trasferimento del cantiere tra i diversi appezzamenti), numero di trasporti necessari per conferire il prodotto in centrale e numero di mezzi necessari per eseguire i suddetti trasporti.

Il tempo di trasporto del cippato in centrale viene calcolato in funzione delle distanze esistenti tra il margine dell'appezzamento e la centrale a biomassa, sulla base del-

la viabilità ordinaria. I tempi di trasferimento delle macchine che compongono i cantieri di raccolta, invece, vengono valutati anche in funzione della viabilità non ordinaria, costituita da strade interpoderali e interaziendali, per la cui mappatura è stato necessario procedere alla foto interpretazione di immagini satellitari. I dati relativi ai collegamenti stradali vengono analizzati da un algoritmo che, per ciascuna coppia di nodi determina sia il percorso minimo che le singole tipologie dei tratti stradali.

Tabella 1 - Report elaborazione pianificazione operazioni di raccolta e conferimento.

Anno di raccolta	2011				
Tipologia di cantiere	Una fase				
Tipologia macchina	Trinciatrice				
Turno lavoro	8 ore				
Tempo di scarico in centrale	30 minuti				
Capacità camion	15 m^3				
Codice d'impianto	13010001	13011001	13014001	13021001	41002001
Coltura presente	Pioppo	Pioppo	Pioppo	Pioppo	Pioppo
Superficie netta (ha)	1	2,4	1	0,7	0,3
Tempo di raccolta (min)	100	240	100	70	30
Tempo di carico di un camion (min)	30	30	30	30	30
Produttività impianto (t)	50	120	50	35	15
Tempo singolo trasporto (min)	80	80	72	62	67
Trasporti necessari (n°)	4	8	4	3	1
Camion necessari (n°)	3	4	3	3	1
Impianti complessivi (n°)	5				
Superficie (ha)	5,4				
Produttività attesa (t)	270				
Superficie media (ha)	1,08				
Superficie minima (ha)	0,3				
Superficie massima (ha)	2,4				
Distanza complessiva (km)	33,86				
Tempo complessivo (min)	576,52				
Trasporti necessari (n°)	20				
Camion necessari (n°)	14				

4. Risultati

L'applicativo è stato progettato nell'ottica di divenire uno strumento essenziale per il fuel manager della centrale, per colui cioè che dovrà programmare le operazioni di raccolta, conferimento e stoccaggio delle biomasse, per alimentare in maniera costante e con le caratteristiche fisiche volute (pezzatura, umidità) l'impianto durante tutto l'arco dell'anno. Per tale ragione l'applicativo è di facile uso ed aggiornabile.

Il tool "Aggiornamento database", difatti, consente di aggiornare il geodatabase e i dati relativi alle piantagioni energetiche anche alla fine della fase sperimentale, in modo che lo strumento di programmazione possa essere utilizzato anche al termine del progetto di ricerca SUSCACE, dato che, per poter operare, il sistema deve basare le proprie elaborazioni su un dataset di informazioni costantemente aggiornate.

Il tool "Indagine territoriale" può essere inoltre utilmente impiegato dal personale di campo in quanto fornisce un quadro riepilogativo della situazione presente (numero di impianti, loro caratteristiche principali, estensione dei singoli appezzamenti, superficie minima, media e massima).

Il tool "Pianificazione" può essere utilmente impiegato sia dal personale di campo che gestisce la cantieristica in un determinato comprensorio energetico, sia dal personale che opera direttamente dalla centrale e che gestisce l'intero bacino di approvvigionamento. Il tool fornisce indicazioni su quanti e quali impianti, teoricamente, è possibile eseguire la raccolta nell'arco di una giornata. Ciò consente di pianificare e programmare quotidianamente le operazioni di raccolta e conoscere, per una determinata area, il numero di giorni necessari per completare la raccolta. Altro aspetto importante riguarda i conferimenti del prodotto in centrale. Il tool effettua sia la stima del numero di trasporti necessari per conferire il cippato prodotto da ciascun impianto e da tutti gli impianti raccolti nel corso della giornata, sia la stima del numero di mezzi necessari per queste operazioni. A seconda della distanza percorsa da ciascun veicolo e del tempo necessario per effettuare lo scarico in centrale, infatti, alcuni mezzi possono eseguire più trasporti giornalieri. Inoltre, la scelta dei mezzi e la loro programmazione permette di ridurre il numero complessivo di veicoli che si spostano sul territorio, con ripercussioni positive sul piano economico e ambientale.

In questa fase si sta valutando l'efficacia dello strumento attraverso uno studio pilota finalizzato alla valutazione preliminare delle potenzialità e del corretto funzionamento dello strumento stesso. Attualmente il tool "pianificazione", a differenza degli strumenti di elaborazione "Indagine territoriale" e "Logistica", effettua le proprie simulazioni su una superficie rappresentativa che comprende 14 comuni, distribuiti tra le province di Ferrara, Bologna, Ravenna e Forlì, per una superficie complessiva di 2138 km^2. Terminato il processo di verifica sarà possibile gestire in maniera razionale l'intero bacino di approvvigionamento, risolvendo le possibili problematiche che verranno evidenziate nel corso della sperimentazione.

Il tool "Logistica" può essere utilmente impiegato dal personale della centrale che gestisce l'intero bacino di approvvigionamento. Le due sezioni relative agli impianti ed ai CTR consentono di pianificare le operazioni di raccolta in funzione delle caratteristiche degli impianti, delle condizioni meteo, della portanza del terreno, della situazione fitopatologica o del livello di infestazione del terreno. Nel caso di precipitazioni intense, ad esempio, è possibile programmare la raccolta in un'area non interessata dalle precipitazioni, trasferendovi le macchine che compongono i cantieri di raccolta e contattando direttamente i proprietari degli impianti. In caso di precipitazioni poco intense è possibile individuare i terreni caratterizzati da una maggiore portanza e in grado di garantire comunque la praticabilità dei campi. Alcuni terreni tendono ad essere invasi in modo più evidente dalle infestanti e ciò ostacola la raccolta del pioppo andanato con falciatrinciacaricatrici equipaggiate con testata pick up. In questi casi è possibile individuare i terreni critici e anticipare la raccolta delle andane programmando la movimentazione dei cantieri di raccolta in funzione di indici di priorità. La sezione terzisti fornisce anche importanti informazioni sui mezzi meccanici a disposizione e sugli impianti che ciascuna ditta provvederà a raccogliere. Ciò consente di individuare le aree scarsamente servite e di provvedere, pertanto, ad incrementare il numero di mezzi meccanici a disposizione e/o il numero di aziende di contoterzismo che operano sul territorio.

Ogni singolo tool può essere utilizzato in maniera autonoma ma, ovviamente, l'uso integrato di tutti gli strumenti messi a disposizione e dei relativi prodotti elaborati fornisce uno strumento di indagine e pianificazione completo.

5. Conclusioni

Un GIS offre la possibilità di gestire, analizzare ed elaborare dati alfanumerici in relazione alla componente spaziale, garantendo la consistenza e l'integrità del dato di output. In questo lavoro si è presentato un applicativo finalizzato alla pianificazione ed alla ottimizzazione delle fasi organizzative di raccolta e trasporto delle biomasse.

Terminata la fase di riconversione delle ex superfici bieticole, la centrale di Russi si troverà nelle condizioni di dover gestire un elevato numero di piantagioni energetiche, variamente distribuite su un areale di circa 15.000 km^2. In tali condizioni le variabili in gioco sono diverse, da quelle di natura meccanica o agronomica a quelle di natura climatica e pedologica. Il software SW_SUSCACE_01 rappresenta uno strumento di analisi e supporto decisionale indispensabile per la corretta e razionale gestione della filiera agro energetica. L'organizzazione e la memorizzazione di informazioni territoriali e non, in una raccolta di strati tematici legati tra loro, consente di risolvere molteplici problemi legati alla gestione del territorio, riducendo al contempo gli impatti ambientali, per questo l'applicativo proposto è un importante esempio delle potenzialità offerte da un GIS.

Bibliografia

Pari L., Civitarese V., Del Giudice A. 2009. Cantiere innovativo di raccolta di pioppo a turno breve. Agroenergie dall'impianto alla raccolta, supplemento n. 1 al numero 29 dell'Informatore Agrario.

E
Eco-bilanci

1 - Bilancio del carbonio e dei gas serra

Greehouse Gases and Carbon balance

Gianni Facciotto *, Sara Bergante*, Enrico Ceotto, Mario di Candilo****

Riassunto

I principali gas serra legati alle attività agricole sono l'anidride carbonica (CO_2), il metano (CH_4) ed il protossido di azoto (N_2O). Tra i gas ad effetto serra, l'N_2O desta particolari preoccupazioni poiché il suo potere di riscaldamento globale è circa 300 volte maggiore rispetto alla CO_2. Le emissioni di N_2O sono imputabili all'uso dei fertilizzanti azotati. Oggetto di particolari critiche sono le colture annuali utilizzate ai fini energetici, in particolare il mais e la soia, poiché richiedono lavorazioni annuali del terreno nonché elevate quantità di energia fossile sotto forma di input agrotecnici necessari sia alla fertilizzazione, sia al controllo delle malerbe. Sotto questo profilo, invece, le colture perenni da energia, che notoriamente richiedono limitati apporti di azoto, e permettono una riduzione dei trattamenti con pesticidi, sono state suggerite allo scopo di limitare le emissioni in atmosfera. Le colture lignocellulosiche, erbacee poliennali e cedui a turno breve (2-5 anni) di specie arboree a rapida crescita, pur non essendo paragonabili alle coltivazione di specie a ciclo lungo in grado di ricreare formazioni boschive stabili, possono comunque risultare vantaggiose se correttamente gestite, nell'assorbimento di gas serra. Nelle emissioni, e nel sequestro di CO_2 atmosferica gioca un ruolo chiave il tipo di uso del suolo. Terreni arati annualmente tendono ad avere una elevata mineralizzazione del carbonio organico, per contro, terreni sottratti alle lavorazioni tendono ad incrementare il loro contenuto di carbonio organico, e quindi a sequestrare carbonio dall'atmosfera, con effetti positivi sul contenimento del riscaldamento globale. Anche da questo punto di vista, il ruolo che le specie perenni da biomassa possono svolgere è di primario interesse poiché richiedono dopo il primo anno nulle o limitate lavorazioni del terreno. Nel

* CRA-PLF, Unità di ricerca per le Produzioni Legnose fuori Foresta, Casale Monferrato, IT.
** CRA, Centro di Ricerca per le Colture Industriali, Bologna.

lavoro sono riportati alcuni risultati recentemente ottenuti nell'ambito dei progetti finanziati da MiPAAF.

Parole chiave: cedui a turno breve, erbacee poliennali, bilancio gas serra, bilancio carbonio.

Abstract

The primary greenhouse gases (GHG) in the atmosphere are carbon dioxide (CO_2), methane (CH_4), nitrous oxide (N_2O). Among the GHG considered, the N_2O has a long atmospheric lifetime and a global warming potential (GWP) that is around 300 times greater to the GWP of CO_2. N_2O emissions are imputable to the use of the nitrogenous fertilizers. Energy crop can play an important role for GHG reduction because the amount of CO_2 emitted during combustion of biomass or biofuel is absorbed during photosynthesis by replacement biomass growth. The annual crops used for energetic purpose, particularly for liquid fuel (bioethanol and biodiesel), like corn and soybean, are object of particular criticisms. In some studies the author contend that ethanol, and biofuels in general, are "energy negative", meaning they take more energy to produce than is contained in the final product. Under this aspect, instead, the perennial crops dedicated for energy production, particularly short rotation coppices with poplar, black locust, eucalyptus and other fast growing species or perennial crops (giant reed, miscanthus) that notoriously require limited amount of nitrogen, and allow a reduction of the pest treatments, have the potential to displace fossil fuel and to mitigate CO_2 emission; naturally the potential is not so great as large-scale forest plantation. Also the soil can play a role as carbon sink. The rate of soil organic carbon sequestration depends on soil texture and structure, rainfall, temperature, farming system, and soil management. Strategies to increase the soil carbon content include, no-till farming, appropriate nutrient management, manuring and sludge application, efficient irrigation. Increasing carbon content means also to increase soil fertility. Italy must improve the reduction of GHG according to the goals of Kyoto Protocol, so the agricultural sector is expected to significantly contribute to climate change mitigation, specially with bio-energy crops cultivation. In this chapter are reported some results recently obtained within the project "Scientific support to the agricultural conversion toward the energetic crops" (SUSCACE) financed by the Italian Ministry of Agriculture (MiPAAF).

Keywords: *Poplar, short rotation coppice, fertilization, irrigation, production.*

Introduzione

Al fine di ridurre le emissioni di CO_2 e di altri gas serra in atmosfera e rallentare il conseguente cambiamento climatico, i settori agronomico, zootecnico e forestale,

con una corretta gestione delle colture, degli allevamenti e delle foreste possono contribuire molto, in misura diversa nelle varie realtà sociali e geografiche del Mondo (Kirschbaum, 2003). Nell'ambito dei settori agronomico e forestale, il cambiamento d'uso del suolo, da monocolture annuali intensive con elevate richieste energetiche (fertilizzanti, acqua, pesticidi, lavorazioni, ecc), a coltivazioni poliennali, diversificate e con ridotte richieste energetiche è in grado di contribuire al raggiungimento degli obiettivi mondiali di mitigazione delle emissioni di gas climalteranti. Con riferimento ai dati di emissione reperibili per l'anno 2009, l'Unione Europea ha ridotto le proprie emissioni del 12,7% (rispetto al 1990) con azioni non incluse nelle misure LULUCF (Land Use – Land Use Change and Forestry) e del 15% se, invece si calcolano anche le misure LULUCF; in particolare, tra i vari Paesi dell'UE, l'Italia ha diminuito le proprie emissioni di gas serra solo del 5,4 % se non si considerano le misure di afforestazione e riforestazione; considerandole invece la percentuale passa a 13,32 % e tra i vari settori (industria, energia, carburanti, ecc) le misure LULUCF sono state proprio quelle maggiormente utili; mentre altri settori, come quello dei trasporti hanno continuato nell'aumento di emissioni (EEA, 2011).

Nella letteratura scientifica è in atto un vivace dibattito sui vantaggi e sugli svantaggi della utilizzazione delle colture da energia come fonte di energia rinnovabile. Sebbene alcuni ricercatori siano convinti che le colture da biomassa costituiscano una preziosa opportunità per le nostre società, altri studiosi sono invece molto critici e mettono in guardia dai rischi di una diffusione su larga scala delle colture ad uso energetico.

Nella valutazione del contributo che le colture da energia possono fornire alla domanda di energia rinnovabile, assicurando al tempo stesso un limitato impatto ambientale, due aspetti devono essere considerati come prioritari: 1) la quantità di energia fossile richiesta per produrre ciascuna unità di energia rinnovabile; 2) le emissioni di gas serra che sono rilasciate direttamente ed indirettamente come conseguenza della coltivazione delle colture ad uso energetico. (Liebig *et al*., 2008).

I principali gas serra legati alle attività agricole sono l'anidride carbonica (CO_2), il metano (CH_4) ed il protossido di azoto (N_2O). Tra i gas ad effetto serra, l'N_2O desta particolari preoccupazioni poiché il suo potere di riscaldamento globale è 296 volte maggiore rispetto alla CO_2. Le emissioni di N_2O sono una conseguenza indesiderata dell'uso dei fertilizzanti azotati. Oggetto di particolari critiche sono le colture annuali utilizzate ai fini energetici, in particolare il mais e la soia, poiché richiedono lavorazioni annuali del terreno nonché elevate quantità di energia fossile sotto forma di input agrotecnici necessari sia alla fertilizzazione, sia al controllo delle malerbe. Sotto questo profilo, invece, le colture perenni da energia, che notoriamente richiedono limitati apporti di azoto, e permettono una riduzione dei trattamenti con pesticidi, sono state suggerite allo scopo di limitare le emissioni in atmosfera (Crutzen *et al.,* 2008).

Le coltivazioni di pioppo, pioppeti tradizionali con turno tra 10 e 15 anni oppure i cedui a turno breve, pur non essendo paragonabili ad azioni di afforestazione e riforestazione con specie ad alto fusto a ciclo lungo in grado di ricreare formazioni boschive stabili, possono comunque risultare vantaggiose se correttamente gestite, nel-

l'assorbimento di gas serra e come freno all'erosione dei suoli, soprattutto se paragonate a incolti (*sed-aside*), o a coltivazioni annuali che richiedono elevati input energetici come ad esempio il mais. Il pioppo è una specie arborea a rapido accrescimento: circa il 50% della massa totale secca di un individuo, considerando anche foglie e apparato radicale, è costituito da carbonio; che tramite la fotosintesi, è stato estratto in forma di CO_2, dall'atmosfera. Da un interessante lavoro presentato di Seufert G. (2010) è possibile valutare la capacità di scambio (input/output) di C in un pioppeto tradizionale (330 piante ha^{-1}) negli ultimi anni del turno (9÷12 anni), coltivato in Pianura Padana. Le misure sono state effettuate grazie a sensori posizionati, per un intera annata, appena al di sopra della chioma del pioppeto ed elaborate con la tecnica della "eddy covariance". I dati (figura 1) mostrano una intensa attività di assorbimento durante la stagione vegetativa (come si può notare il caldo e la siccità del 2003 hanno diminuito tale attività rispetto al 2002) mentre durante la stagione di riposo è stata rilevata una leggera emissione probabilmente prima dovuta alla più intensa attività di respirazione (più ore di buio, progressiva degenerazione delle strutture fotosintetizzanti) e poi alla decomposizione della lettiera e dei tessuti morti.

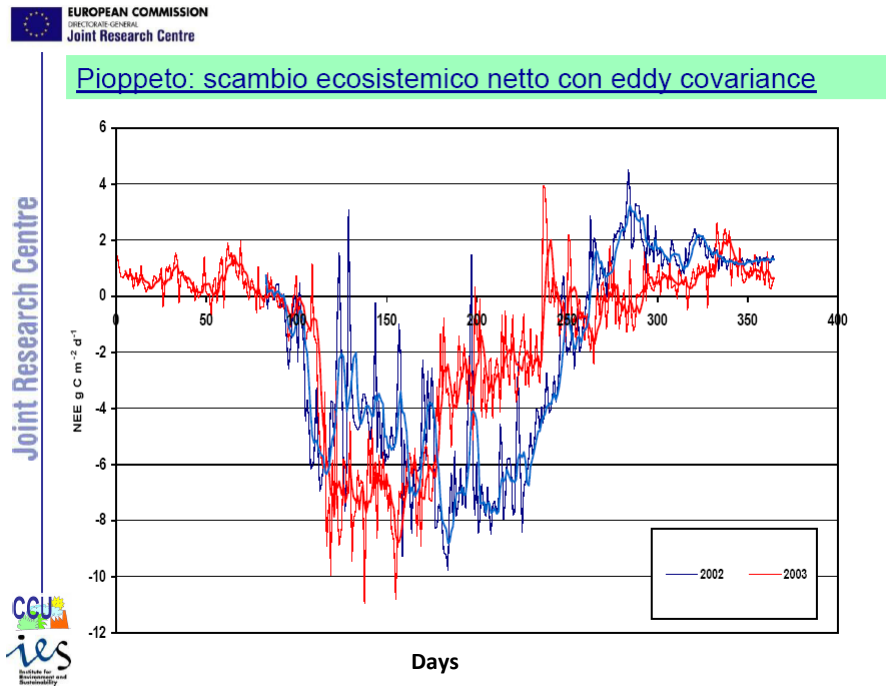


Figura 1 - Net Ecosystem Exchange (NEE) in grammi di carbonio per metro quadrato per giorno (g C m^{-2} d^{-1}) durante le annate 2002 e 2003 di un pioppeto maturo.

Il bilancio risulta tuttavia molto spostato verso l'assorbimento, con un picco massimo di 11 g CO_2 per m^2 per giorno di assorbimento.

In un pioppeto tradizionale, dopo la raccolta, il fusto e i rami maggiori vengono trasformati in fogli, segati e chips per la produzione di mobili, oggetti vari, pannelli, pallets e carta, ovvero oggetti in cui il carbonio rimane imprigionato stabilmente. Infatti, solo nel caso della combustione diretta o della decomposizione questo viene riemesso in atmosfera. L'apparato radicale viene distrutto tramite triturazione (raramente prelevato dal terreno) ed interrato e come nel caso della decomposizione della lettiera contribuirà, in minima parte alle emissioni di CO_2 dal suolo e per una ulteriore parte allo sviluppo di organismi animali, vegetali e fungini nel suolo.

Nel caso dei cedui a turno breve anche se la biomassa epigea viene asportata periodicamente con frequenza biennale o quinquennale, l'apparato radicale non viene prelevato e rimane quindi nel suolo col suo stock di carbonio. Ovviamente un pioppeto tradizionale o un impianto ceduo sono in grado di stoccare meno carbonio rispetto ad un bosco misto, per via di molti fattori tra cui il numero di specie, la densità, le dimensioni delle piante, e l'età, anche se è stato dimostrato che una formazione giovane e in crescita è in grado di stoccare più carbonio rispetto ad una simile formazione stabile e matura.

Le coltivazione del pioppo e delle altre specie lignocellulosiche erbacee poliennali ed arboree pur essendo in grado di stoccare grandi quantità di anidride carbonica richiedono comunque l'energia per la loro coltivazione che si traduce in emissioni di gas serra.

Numerosi studi sono stati avviati sia a livello Comunitario (CCR, Ispra) che nei singoli Paesi, Europei e non, per comprendere quanto, in realtà, le biomasse arboree, con pioppo e con altre specie siano in grado di contribuire all'assorbimento e quindi alla riduzione delle emissioni in atmosfera. In un primo lavoro, effettuato in Italia sono stati confrontati pioppeti tradizionali con il ceduo a turno breve della stessa specie (Tedeschi *et al.,* 2005) considerando tutti gli input energetici e le produzioni legnose per ottenere un bilancio dei gas serra. Il bilancio è risultato spostato verso un netto assorbimento di gas serra per entrambe le coltivazioni con il risultato che per ogni tonnellata di CO_2 spesa per la coltivazione di biomassa ed emessa in atmosfera, da 16,8 a 18,1 tonnellate di CO_2 sono state sottratte all'atmosfera, conseguentemente anche il bilancio energetico è risultato positivo.

Sperimentazione nell'ambito del progetto SUSCACE

Gli effetti del cambiamento d'uso del suolo da coltivazioni annuali intensive a coltivazioni poliennali estensive sono suddivisibili in effetti diretti e indiretti, a breve e a lungo termine. Spesso, nel settore delle energie rinnovabili, si sente parlare di "emissioni di CO_2 equivalente evitate" intendendo la quantità di gas serra come CO_2, CH_4, N_2O, che sarebbero stati immessi in atmosfera per produrre la stessa quantità di energia con una tecnologia non rinnovabile. Allo stesso modo è possibile evitare emissioni di gas serra in atmosfera coltivando specie che da un lato non richiedono esagerati input colturali, dall'altro sono in grado di immagazzinare nei propri tessuti (epigei ed ipogei) e nel suolo in modo più o meno stabile elevate quantità di CO_2. Inoltre queste stesse specie potrebbero essere utilizzate per la produzione di energia

tramite combustione o gassificazione o produzione di biocarburanti di seconda generazione, in modo da immettere in atmosfera solo la quantità di CO_2 preventivamente assorbita e immagazzinata durante la crescita. Nel caso dei cedui a turno breve di pioppo, robinia, eucalitto o nelle colture di erbacee poliennali, l'apparato radicale non viene utilizzato, e rimane nel terreno, immagazzinando e trasferendo nel suolo in modo pressoché stabile la CO_2 assorbita. Tuttavia anche le colture lignocellulosiche dedicate richiedono un certo numero di operazioni colturali, seppur in quantità ridotta rispetto ad altre coltivazioni, e diversi modelli colturali (a ciclo biennale o quinquennale, monovalente o plurivalente) che in situazioni ambientali variabili si differenziano nel numero e nella tipologia delle operazioni colturali.

Al fine di valutare l'entità dell'effetto benefico delle colture lignocellulosiche dedicate sull'assorbimento di gas serra, sia in generale, sia rispetto alle coltivazioni tradizionali è opportuno effettuare per ogni situazione un bilancio del Carbonio strettamente connesso con il bilancio generale dei gas serra; in genere si usa la metodologia LCA (ISO, 2006). Poiché queste coltivazioni sono sistemi aperti è difficile effettuare un bilancio che tenga conto di tutte le matrici ambientali partecipanti ed inoltre, prima di iniziare è bene chiarire all'interno dell'intera filiera, il punto di partenza e il punto di arrivo nei calcoli da effettuare; ad esempio, in molti casi si parte dalle operazioni necessarie alla preparazione del materiale vegetale per l'impianto (talee nel caso del pioppo, rizomi per la canna comune), e si arriva fino al carico e al trasporto della biomassa raccolta alla centrale di utilizzo. Nel bilancio generalmente vengono conteggiate le emissioni di CO_2, CH_4, ed N_2O, ma poiché ci si sta riferendo al carbonio, unica moneta di scambio per i sistemi biologici, tutti i gas, attraverso il rispettivo *Global Warming Potential* (*GWP*) vengono fatti equivalere all'anidride carbonica.

Le emissioni, in un ceduo a turno breve, sono ovviamente dovute alle operazioni colturali e, in particolare l'utilizzo del fertilizzanti azotati gioca un ruolo importante (Tedeschi *et al*., 2005). Ciò è dovuto a più fattori: 1) nel bilancio vengono conteggiate anche le emissioni dovute alla produzione della dose di fertilizzante azotato utilizzato, che notoriamente richiede grandi quantità di energia; 2) la fertilizzazione azotata induce emissioni dirette dal suolo di N_2O; 3) la fertilizzazione richiede l'utilizzo di macchinari e quindi di combustibili fossili.

Le altre operazioni colturali possono essere più o meno incidenti sul bilancio, in base al modello colturale. Il taglio e la raccolta, ad esempio, sono generalmente molto influenti, per via dell'utilizzo di macchine dalla potenza e dai consumi elevati, ma in base al modello colturale, all'età delle piante e al tipo di terreno possono rendersi necessarie attrezzature differenti con conseguenti differenti consumi. Nelle figure 2 e 3 si riportano le emissioni dirette ed indirette delle diverse operazioni colturali effettuate nei primi due anni in un ceduo di pioppo e nei primi tre anni di uno di canna comune, fatti dalle industrie saccarifere coinvolte nel progetto SUSCACE; il pioppo ha ciclo di raccolta biennale la canna invece annuale, al primo anno le produzioni però sono molto basse e non sempre viene raccolta.

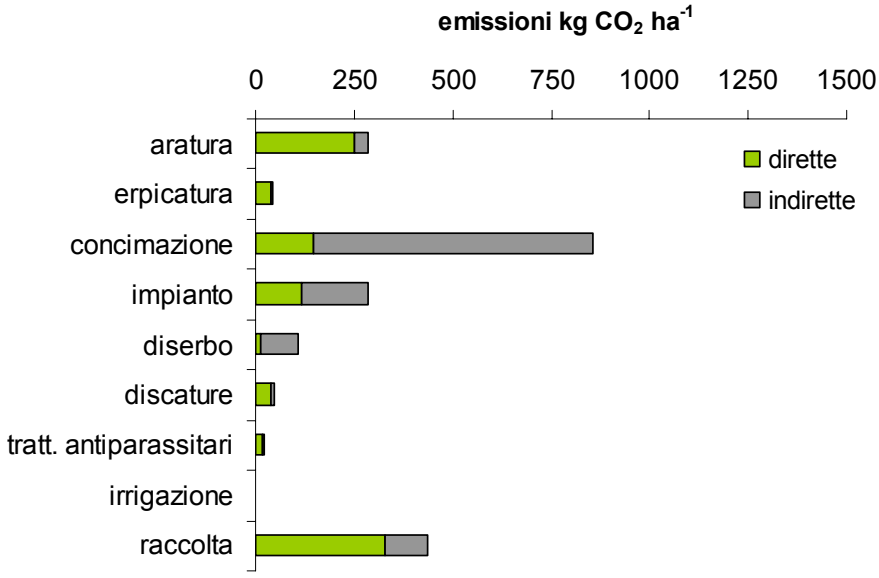


Figura 2 - Emissioni dirette ed indirette calcolate al fine del primo ciclo biennale di raccolta in un ceduo commerciale di pioppo monitorato nell'ambito del progetto Suscace.

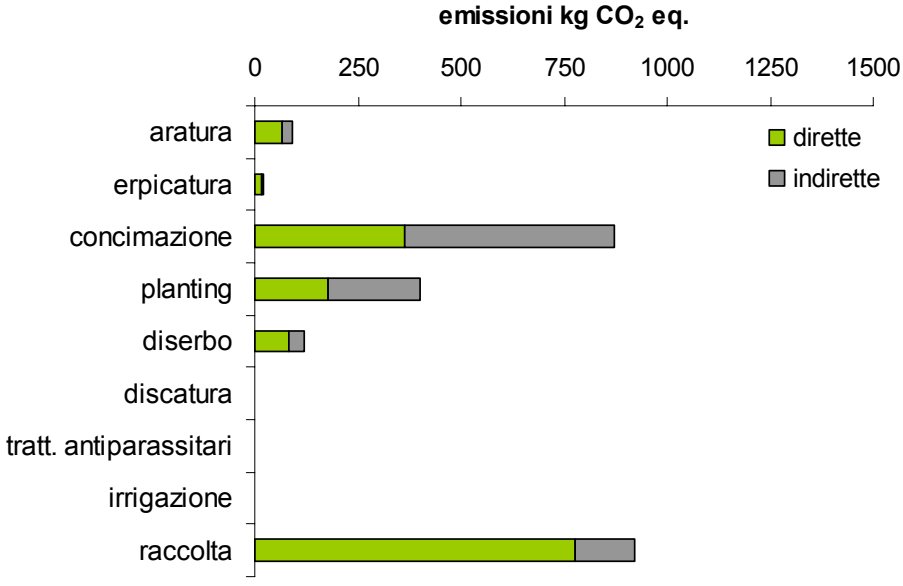


Figura 3 - Emissioni dirette ed indirette calcolate alla fine dei primi tre anni di coltivazione di canna comune in un impianto commerciale monitorato nell'ambito del progetto Suscace.

Nei grafici 4 e 5 è riportato il bilancio dei gas serra dei primi anni di coltivazione negli stessi impianti di pioppo e canna comune. Data l'elevata produttività la canna risulta immagazzinare nella biomassa epigea una quantità di CO_2 equivalente superiore a quella del pioppo; per la canna però sono stati considerati i primi tre anni (3 raccolti, di cui il primo molto basso) mentre per il pioppo solo due anni (1 raccolto).

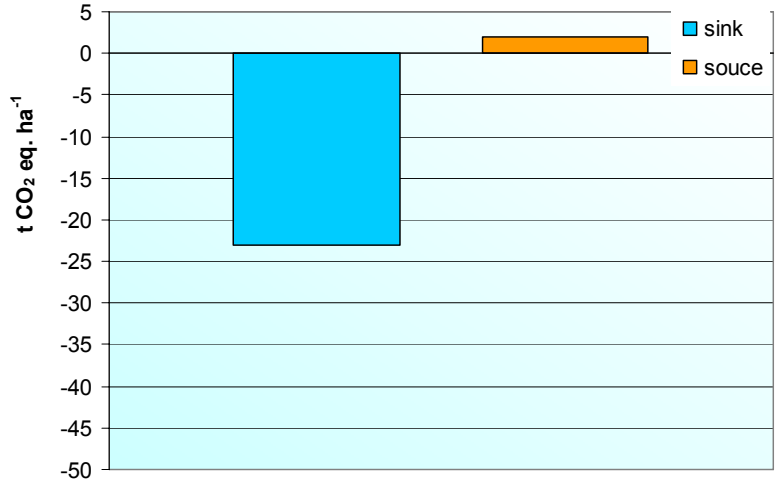


Figura 4 - Immagazzinamento (sink) ed emissioni (source) di CO_2 nella biomassa epigea del primo ciclo biennale di raccolta in un ceduo di pioppo commerciale monitorato nell'ambito del progetto Suscace.

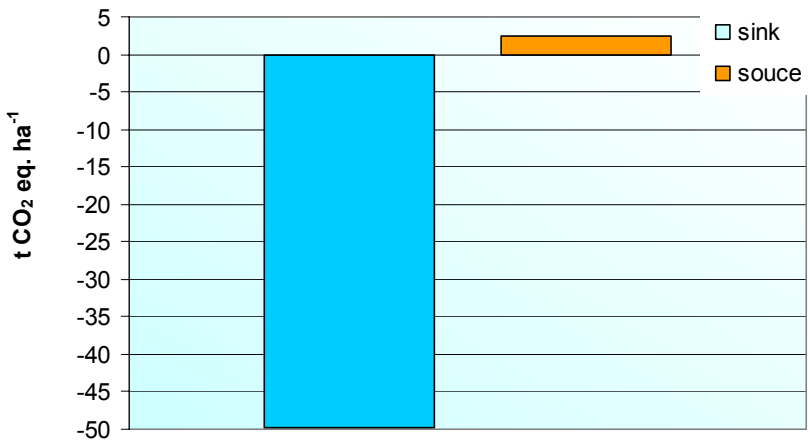


Figura 5 - Immagazzinamento (sink) ed emissioni (source) di CO_2 del primi tre anni di coltivazione (2 raccolti) in un impianto commerciale di canna comune monitorato nell'ambito del progetto Suscace.

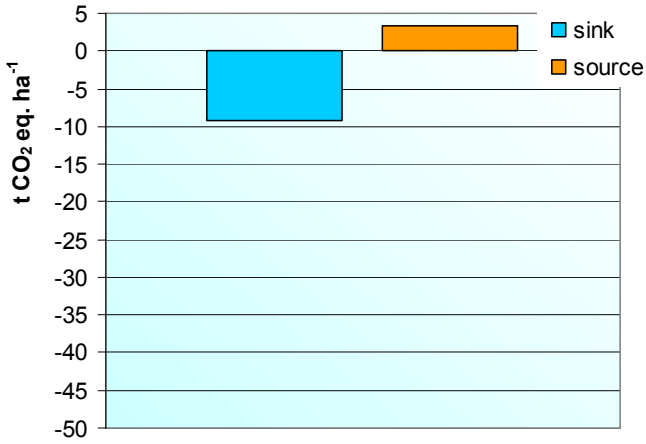


Figura 6 - Immagazzinamento (sink) ed emissioni (source) annuali di CO_2 in una coltivazione commerciale di colza monitorata nell'ambito del progetto Suscace.

Sul piatto opposto della bilancia, quello dell'assorbimento di gas serra, deve essere posta la produzione totale di biomasse epigea ed ipogea; nella prima sono comprese anche le foglie che non vengono conteggiate poichè, al termine dalla stagione vegetativa, cadono, non vengono raccolte per cui si decompongono producendo CO_2. L'apparato radicale, che non viene estratto dal suolo durante le ripetute raccolte, immagazzina, durante lo sviluppo, una quantità stimata tra il 40 e il 60 % del carbonio totale assimilato come CO_2 dalla pianta (Venturi *et al*., 2005). Solo una piccola parte di C viene scambiata con il suolo mediante il *tourn-over* delle radici fini. Come è possibile immaginare, le specie legnose a portamento arboreo e rapida crescita come il pioppo (la robinia, l'eucalipto e il salice) e le poliennali erbacee sono quindi eccellenti accumulatori di carbonio paragonate con le erbacee annuali come la colza (Fig. 6).

Di seguito vengono presentati alcuni dati ottenuti da impianti sperimentali situati presso l'Azienda "Mezzi" del CRA-PLF di Casale Monferrato (AL) costituiti nell'ambito del progetto Suscace.

Il campo sperimentale, di 1,54 ettari, è stato suddiviso in 4 appezzamenti, due coltivati rispettivamente a colture tipiche di un'azienda cerealicolo-zootecnica della pianura padana: erba medica (*Medicago sativa* L.) e mais (*Zea mais* L.) e due a pioppo da biomassa (*Populus* spp.). La prova è iniziata nella primavera 2009 mentre la medica, che precedentemente occupava l'intero campo, era già stata seminata nel 2008. Il pioppo per la produzione di biomassa a scopo energetico, è coltivato con due diversi modelli: ceduo a turno breve e brevissimo. Nel primo modello denominato 'rado' la densità è elevata (1111 piante per ettaro, $p \cdot ha^{-1}$) e il ciclo di ceduazione è quinquennale; esso consente la produzione di diversi assortimenti di legno (segati per pallet, tronchetti per cartiera, cippato per energia). Nel secondo modello, denominato 'fitto', la densità è molto elevata (8333 $p \cdot ha^{-1}$) e la produzione è destinata esclusivamente al settore energetico; in questo appezzamento la prima ceduazione

è stata effettuata alla fine del primo anno, per formare le ceppaie, mentre le ceduazioni successive saranno biennali.

Erba medica e mais sono coltivati secondo le consuetudini aziendali, mentre per il pioppo sia 'rado' che 'fitto' è previsto il confronto tra quattro tesi: testimone non trattato, irrigato, irrigato e fertilizzato e solo fertilizzato. Ciascuno degli appezzamenti a pioppo occupa una superficie di 3780 m^2; nel 'rado' le piante sono disposte in quadro con una spaziatura di 3 × 3 m, nel 'fitto' le piante sono disposte con sesto rettangolare ad una spaziatura di 3 m tra le file e 0,40 m sulla fila. Per la prova, è stato scelto il clone *P.* ×*canadensis* "Imola".

Le cure colturali dedicate al pioppo sono molto simili per i due modelli: il terreno è stato arato e affinato appena prima della piantumazione. Le infestanti sono state controllate con interventi meccanici (discatura o triturazione) tra le file in entrambe le annate ed uno manuale sulla fila, solo al primo anno. Nell'impianto 'fitto' dopo la ceduazione è stato fatto un trattamento diserbante con una miscela di prodotti antigerminello, *Metholaclor e Pendimethalin,* e disseccante, *Glufosinate d'ammonio,* per eliminare le erbe già sviluppate. Nell'impianto 'rado' è stato distribuito manualmente sulla fila (con pompa a spalla) lo stesso disseccante nell'estate del secondo anno.

Nel corso delle due stagione vegetativa sono stati effettuati trattamenti insetticidi all'occorrenza (*Clorpirifos-metile* + *Cipermetrina*) contro insetti defogliatori quali Crisomela (*Chrysomela populi* L.) e Ifantria (*Hyphantria cunea* L.), mentre alla fine del periodo di riposo invernale si è intervenuto contro lo xilofago Punteruolo del pioppo (*Cryptorhynchus lapathi* L.), con D*eltametrina,* solo nell'impianto 'rado'. Un maggior dettaglio delle operazioni colturali è riportato in tabella 1.

Tabella 1 - Numero e tipo di operazioni colturali eseguite nei cedui a turno breve di pioppo: modello fitto e rado.

Operazioni colturali	Pioppo 8.333 p·ha^{-1}		Pioppo 1.111 p·ha^{-1}	
	2009	2010	2009	2010
Aratura	1	-	1	-
Erpicatura	1	-	1	-
Fertilizzazione di fondo (NPK)	-	-	-	-
Messa a dimora	1	-	1	-
Diserbo all'impianto	-	-	-	-
Scerbatura manuale	1	-	1	-
Controllo meccanico infestanti	1	2	3	3
Diserbo chimico	-	2	-	1
Controllo defogliatori	4	3	4	2
Controllo xilofagi	-	-	1	-
Fertilizzazioni in copertura (N)	1	1	1	1
Irrigazione	25	22	24	24
Ceduazione e raccolta	1	-	-	-

L'irrigazione è stata effettuata tramite un impianto a goccia, con tre interventi settimanali da giugno a settembre di ogni anno, restituendo i quantitativi di acqua evapotraspirati nelle giornate precedenti l'irrigazione, calcolati sulla base dei dati rilevati da evaporimetro 'Class A'. In tabella 2 sono riportati i quantitativi totali di acqua erogata, in mm, nelle due annate.

Tabella 2 - Quantità di acqua (in mm) distribuita nelle parcelle irrigate dei cedui a turno breve di pioppo.

Modello	2009	2010
Rado	66	208
Fitto	94	175

La concimazione azotata è stata effettuata una volta per anno, all'inizio della primavera, distribuendo manualmente un concime azotato a lenta cessione. Sono state distribuite dosi corrispondenti a 60 unità di azoto per ettaro in entrambi i modelli. Il concime è stato successivamente interrato con un'erpicatura fatta su tutto l'impianto. Nel modello fitto, alla fine del primo anno, sono state effettuate contemporaneamente la ceduazione e la raccolta, con una falcia-trincia-caricatrice da mais 'John Deere' con testata modificata per il taglio di giovani piante arboree. Le ceppaie nella primavera del secondo anno hanno ricacciato nuovi polloni che grazie all'apparato radicale già presente hanno avuto un accrescimento superiore alle piantine sviluppatesi da talea nel primo anno.

Tabella 3 - Numero e tipo di operazioni colturali eseguite negli appezzamenti coltivato a mais ed erba medica.

Operazioni colturali	Mais		Erba medica	
	2009	2010	2009	2010
Aratura	1	1	-	-
Erpicatura	2	1	-	-
Fertilizzazione di fondo (NPK)	1	1	-	-
Semina	1	1	-	-
Diserbo chimico	1	1	-	-
Controllo meccanico infestanti	1	1	-	-
Fertilizzazioni in copertura (N)	1	1	-	-
Irrigazione	2	1	2	1
Taglio	-	-	5	5
Raccolta	1	1	4	4

Il mais, che occupa una superficie di 3250 m^2, è stato seminato ogni anno previa aratura, fertilizzazione di fondo con ternario (alla dose per ettaro di 94 kg di N, 56 kg di P_2O_5, 150 kg di K_2O) ed erpicatura del terreno. È stato effettuato un diserbo in pre-

emergeza (miscela di *Mesotrione*; *S-Metolachlor*; *Terbutilazina* alla dose di 4 $l \cdot ha^{-1}$). Durante la primavera è stata effettuata una concimazione azotata con concime ureico alla dose di 215 kg di N per ettaro, mentre le irrigazioni a pioggia sono state effettuate in numero variabile nei due anni; un maggior dettaglio delle operazioni è riportato in tabella 3. Al termine della prima stagione vegetativa la granella è stata raccolta come di *routine*; nella seconda stagione vegetativa il mais invece è stato trinciato.

Nel quarto appezzamento, delle dimensioni di circa 4060 m^2 è stato mantenuto il medicaio già presente. Il medicaio, nei due anni di prova, non è stato concimato ed ha ricevuto lo stesso numero di irrigazioni del mais. Durante ciascuna stagione vegetativa sono state effettuate 5 sfalciature, 4 raccolte; l'ultimo sfalcio è stato lasciato in campo (Tab. 3).

Per ogni operazione colturale effettuata, seguendo la metodologia LCA ISO 14040:2006 (ISO, 2006), sono stati registrati: potenza delle macchine operatrici, tipo e peso degli attrezzi utilizzati, tempi di lavoro, quantità di carburante consumato, tipologia e quantità di prodotti chimici distribuiti, quantità di prodotto raccolto.

Con questi dati è stato possibile calcolare le emissioni di gas ad effetto serra, dirette ed indirette, per la coltivazione come riportato in bibliografia. Con i dati relativi alle produzioni è stata calcolata la quantità di C immagazzinata nella biomassa epigea (Fiala *et al*., 2009).

Per monitorare le emissioni dal suolo dei principali gas ad effetto serra (CO_2, N_2O e CH_4) sono state posizionate 24 camere nell'impianto di pioppo fitto: 12 più grandi per la misurazioni di N_2O e CH_4 12 più piccole per quella della CO_2; parte delle camere sono state poste sulla fila e le altre al centro dell'interfila per evidenziare l'eventuale effetto 'posizione'. Negli altri tre appezzamenti sono state posizionate 4 camere ciascuno per il rilevamento della sola CO_2. Dalle camere più grandi sono stati estratti campioni d'aria, durante le ore centrali della giornata, ogni 15 giorni circa durante la stagione vegetativa e mensilmente durante la stagione invernale. Per poter soppesare il contributo degli organismi del suolo alle emissioni di CO_2 (respirazione eterotrofa) sono stati creati 8 *trench* sull'intero campo. Attorno ad uno scavo rettangolare che isola una porzione di suolo con superficie di 120 × 80 cm e profonda tra 70 e 100 cm è stato posto un telo di tessuto non tessuto permeabile all'acqua ma in grado di impedire l'intromissioni degli apparati radicali delle colture circostanti. La superficie è stata mantenuta diserbata.

Gli accrescimenti del pioppo, monitorati con regolarità nella stagione vegetativa non hanno mostrato differenze statisticamente significative tra i vari trattamenti né sul modello rado, né sul modello fitto. Tuttavia, anche se l'andamento della crescita è stato identico in tutte le tesi, si è notato un costante maggior accrescimento per le piante irrigate. Nel periodo estivo quelle dell'impianto fitto sono cresciute in altezza mediamente al ritmo di 40 cm ogni 15 giorni.

Tabella 4 - Medie ed ANOVA delle produzioni di biomassa anidra legnosa e fogliare durante i primi due anni, suddivisa per tesi di coltivazione nei due modelli di pioppo ceduo.

Tesi	Fitto				Rado			
	2009		2010		2009		2010	
	legno	foglie	legno	foglie	legno	foglie	legno	foglie
testimone	4,03	3,10	5,53	2,41	2,15	1,40	9,25	2,60
concimato	3,03	2,33	5,75	3,10	1,90	0,85	9,90	2,44
irrigato	5,13	3,63	8,98	3,69	3,81	1,43	19,81	4,35
irr. + conc.	5,63	3,31	10,18	3,75	2,70	1,28	15,58	3,75
media gen.	4,46	3,09	7,61	3,24	2,64	1,24	13,64	3,28
ANOVA:								
Conc	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Irrig	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	29,3**	n.s.	296,1**	33,2*.
Irr. × Con	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Al primo anno l'impianto rado ha prodotto mediamente 2,64 $t \cdot ha^{-1}$ di sostanza secca legnosa (fusto e rami) e 1,24 $t \cdot ha^{-1}$ di s.s. fogliare, mentre l'impianto fitto ha prodotto rispettivamente 4,46 $t \cdot ha^{-1}$ e 3,09 $t \cdot ha^{-1}$ (Tab. 4). Durante il secondo anno le produzioni sono aumentate, sia per il rado che per il fitto ceduato. Infatti l'impianto rado ha raggiunto una media allo stato anidro di 13,64 $t \cdot ha^{-1}$ di legno (con un incremento corrente di 11,0 $t \cdot ha^{-1}$) e 3,28 $t \cdot ha^{-1}$ di foglie; mentre il modello fitto, ripartendo da ceppaia ha dato una produzione media allo stato anidro di 7,61 $t \cdot ha^{-1}$ di legno e 3,24 $t \cdot ha^{-1}$ di foglie. In tabella 4 sono riportate le produzioni epigee separate per tesi nei due impianti con pioppo. Per l'impianto fitto tra le tesi non sono state riscontrate differenze significative nella produzione di biomassa legnosa in tutti e due gli anni (Tab. 5). Nell'impianto rado invece, sia durante il primo anno che durante il secondo anno di crescita le parcelle irrigate sono cresciute significativamente di più rispetto alle altre. La biomassa fogliare presenta differenze statisticamente significative solo al secondo anno nel rado. La biomassa ipogea del ceduo di pioppo, alla fine del primo anno, è pari a circa il 50 % della biomassa epigea.

Durante il primo anno il mais ha dato una produzione di granella nella media della zona: 7,12 $t \cdot ha^{-1}$ di sostanza secca. La biomassa totale epigea anidra è stata di 14,25 $t \cdot ha^{-1}$. Durante il secondo anno, il mais prometteva una buona produzione ma il forte temporale di fine luglio ne ha provocato un esteso allettamento, e alla trinciatura la granella è stata stimata in 4,07 $t \cdot ha^{-1}$ di secco. La produzioni di biomassa epigea è risultata di 9,17 $t \cdot ha^{-1}$ di sostanza secca.

Il medicaio si è rivelato la coltura più produttiva, nonostante le limitate irrigazioni. Sono state infatti effettuati 5 sfalci in entrambi gli anni. Il dettaglio delle raccolte è riportato in tabella 5.

Le produzioni del secondo anno sono state inferiori a quelle del primo, e questo a causa di una primavera fresca e piovosa che ha permesso di effettuare il primo raccolto solo in giugno, e al fortunale di fine luglio che ha allettato il terzo raccolto.

Tabella 5 - Dettaglio della produzione di erba medica.

2009	S.s. t·ha^{-1}	2010	S.s. t·ha^{-1}
19 maggio	5,42	7 giugno	4,50
25 giugno	4,01	8 luglio	3,10
30 luglio	3,62	4 agosto	1,46
28 agosto	3,56	13 settembre	2,52
16 ottobre	1,33	24 novembre	1,43
Totale	17,94	Totale	13,01

Emissioni di gas climalteranti dal suolo. Per quanto riguarda il rilevamento di N_2O nell'impianto di pioppo 'fitto' sono risultate statisticamente significative (p=0,004) le differenze tra testimone e tesi solo concimata e fra quest'ultima e la tesi irrigata e concimata (p=0,035). Il picco di emissione è stato rilevato a fine aprile nelle tesi concimate, subito dopo la distribuzione del concime azotato. Il test ANOVA conferma che non esistono differenze significative nei flussi di N_2O tra filare ed interfilare. Dai dati rilevati nel 2010 sembra che la parcella testimone ossidi più CH_4 rispetto alle altre tesi, ma l'analisi statistica non individua differenze significative. Infine anche la respirazione del suolo (CO_2) non risulta significativamente differente fra le varie parcelle sperimentali.

Bilancio dei gas serra (tabella 6). La coltivazione del mais ha emesso complessivamente nei due anni il maggior quantitativo di CO_2 equivalente, 8,5 t·ha^{-1}·anno^{-1}; la maggior parte delle quali dovute all'utilizzo dei fertilizzanti, alla loro produzione e alle emissioni dirette di N_2O dal suolo. Le altre coltivazioni hanno emesso minor quantità di gas ad effetto serra; in particolare per l'erba medica, non concimata, sono state riscontrate emissioni importanti solo nelle fasi di raccolta, che richiedono l'utilizzo di differenti macchinari e attrezzature. Nella coltivazione del pioppo sono state riscontrate solo lievi differenze di emissione tra gli stessi trattamenti dei due modelli. Le maggiori emissioni si sono verificate, come ci si poteva aspettare, nelle tesi irrigate e concimate, 3,9 t·ha^{-1} in entrambi i modelli, contro 1,5 e 1,3 t·ha^{-1} della tesi testimone rispettivamente per rado e fitto. Gli assorbimenti più elevati si riscontrano nell'erba medica (-51,1 t·ha^{-1}) e nella parcella solo irrigata del rado (-44,1 t·ha^{-1}). Tuttavia il bilancio va valutato nella sua completezza; i migliori rapporti tra assorbimento ed emissione si rilevano nella tesi irrigata del rado e nel testimone di entrambi i modelli del ceduo di pioppo, il peggiore rapporto nel mais.

Tabella 6 - Emissioni (source) e assorbimento (sink) nella biomassa epigea in t di CO_2 eq. totali dei due anni per coltura e trattamento.

	Mais	Erba medica	Pioppo rado				Pioppo fitto			
			test	fert	Irr	irr+fer	test	fert	irr	irr+fer
Source (so)	8,7	4,3	1,5	2,8	2,5	3,9	1,3	2,7	2,5	3,9
sink	-37,4	-51,1	-21,7	-22,5	-44,1	-34,3	-17,5	-16,1	-25,9	-29,0
sink/so	-4,3	-11,9	-14,7	-7,9	-17,5	-8,9	-13,2	-6,0	-10,1	-7,4

La parte di biomassa epigea solitamente non raccolta può avere un ruolo molto importante ai fini del recupero di CO_2: ad esempio la granella di mais assorbe circa un terzo della CO_2 contenuta nella biomassa epigea, mentre il resto rimane nei tessuti della pianta, compresi quelli ipogei, qui non considerati, che alla fine ritornano al suolo. Le foglie del pioppo, non considerate nel calcolo degli assorbimenti, possono costituire una frazione importante, come si vede dalle produzioni, per restituire carbonio e nutrienti al suolo. La porzione di biomassa residuale, di tutte le colture, che resta in campo contribuisce alle emissioni di CO_2 durante i processi di decomposizione nei quali è naturalmente coinvolta.

Dopo soli due anni di sperimentazione non è ancora possibile trarre delle conclusioni ma si possono già fare alcune considerazioni:

- Le colture erbacee, nei due anni, hanno prodotto complessivamente più sostanza secca epigea delle arboree. Ma per queste ultime ci si aspetta un incremento crescente negli anni a venire; infatti i primi due anni sono necessari alle piantine di pioppo per costituire chioma e apparati radicali estesi ed efficienti.
- Nelle colture poliennali, in particolare nelle arboree, la biomassa ipogea rappresenta comunque una quota significativa dell'immagazzinamento della CO_2 già nei primi anni di crescita.
- Il rapporto tra emissione ed immagazzinamento di CO_2 equivalente è a favore di quest'ultimo in tutte le colture. I valori meno favorevoli si riscontrano nella coltivazione del mais (rapporto *sink*/*source* -4,3), migliore ma di poco quello rilevato nelle parcelle di pioppo sia fitto che rado concimate (rapporto sink/source che varia tra -6,0 e -8,9). Questi valori sono imputabili soprattutto alla produzione dei fertilizzanti (emissioni indirette) e alle emissioni dirette dal suolo di N_2O rilevate dopo la concimazione.
- Per l'emissione dal suolo degli altri gas climalteranti, al momento, non sono state riscontrate differenze significative tra le tesi e le colture considerate.

I benefici ambientali della filiera di produzione della biomassa legnosa sono indubbi ma possono variare anche ampiamente a seconda delle condizioni ambientali (disponibilità idrica e fertilità del suolo) e soprattutto della intensità colturale.

Contributo del suolo all'immagazzinamento di CO_2

Nelle emissioni, e nel sequestro di CO_2 atmosferica gioca un ruolo chiave il tipo di uso del suolo. Terreni arati annualmente tendono ad avere una elevata mineralizzazione del carbonio organico, per contro, terreni sottratti alle lavorazioni tendono ad incrementare il loro contenuto di carbonio organico, e quindi a sequestrare carbonio dall'atmosfera, con effetti positivi sul contenimento del riscaldamento globale. Anche da questo punto di vista, il ruolo che le specie perenni da biomassa possono svolgere è di primario interesse. Poiché le colture perenni, sia erbacee che legnose, negli anni successivi all'impianto non richiedono lavorazioni del terreno, possono favorire il sequestro del carbonio nel suolo (Rowe *et al.*, 2009). In ragione di ciò, la quantità di carbonio organico rilasciato, o eventualmente sequestrato, dal profilo del suolo gioca un ruolo chiave nella valutazione del bilancio del carbonio delle colture da energia e, di conseguenza, nella formulazione del giudizio complessivo sulla sostenibilità ambientale dei sistemi agricoli destinati a produrre energia (Righelato e Spracklen, 2007). E tuttavia, poiché l'interesse per le colture da biomassa ad uso energetico è piuttosto recente, in letteratura ci sono ancora relativamente pochi studi che permettono di quantificare l'effetto delle colture da energia sul contenuto di carbonio organico del suolo.

Il suolo ha un ruolo importante nel bilancio dell'anidride carbonica poiché a livello globale il suo contenuto di carbonio è 3,3 volte quello dell'atmosfera e 4,5 volte quello dell'intera biosfera. Nel corso del tempo la sostituzione delle praterie e dei boschi e delle foreste naturali con le colture agrarie ha determinato una riduzione consistente del contenuto di sostanza organica del terreno. Circa il 30 % del carbonio contenuto nel terreno fino alla profondità di 100 cm viene perduto nei primi 30-50 anni dal momento in cui cambia l'uso del suolo (Post e Know, 2000). E stato stimato che a causa dell'espansione dell'agricoltura nel corso dei secoli sono stati emessi in atmosfera circa 450 Gt di carbonio, di cui 320 nel periodo preindustriale e 130 successivamente; mentre con l'utilizzo dei combustibili fossili negli ultimi 250 anni sono state stimate emissioni complessive di soltanto 270 Gt (Lal, 2004).

Accumulare carbonio nei suoli fortemente depauperati è possibile e le potenzialità sono elevate, purché si persegua un appropriato utilizzo del suolo e si adottino opportune pratiche gestionali. Le stime più credibili riportano valori di 55-78 Gt di C potenzialmente accumulabile nel terreno a livello globale. Non tutti i suoli però hanno le stesse potenzialità. La tessitura, le caratteristiche del profilo, il clima e l'uso precedente condizionano la quantità e la velocità con cui il terreno può accumulare carbonio. In generale, tutte le pratiche o gli usi del suolo che comportino un incremento delle quantità di biomassa residuale che rimane in campo, una riduzione delle lavorazioni, una migliore conservazione dell'acqua e degli elementi nutritivi, un miglioramento delle struttura del terreno e un incremento della diversità specifica della pedofauna sono potenzialmente utili per sequestrare carbonio nel suolo (Tonon, 2004).

Le piantagioni di tipo forestale effettuate su larga scala possono dare un contributo importante al sequestro dell'anidride carbonica e alla riduzione dell'effetto serra; tra queste anche i cedui a turno breve e altre colture dedicate alla produzione di bionergia (Tuskan e Walsh, 2001). Per le colture energetiche dedicate, cedui a turno breve con specie a rapido accrescimento, si assiste ad una iniziale perdita di carbonio organico del suolo in conseguenza delle operazioni di impianto (lavorazione del suolo, concimazione) seguita poi da un successivo incremento (Grigal e Berguson, 1998). Non è però facile verificare in maniera precisa il cambiamento del contenuto di sostanza organica a causa dell'eterogeneità del suolo, anche sullo stesso sito, delle variazioni ambientali e del diverso uso che ne è stato fatto nel tempo. Da uno studio fatto negli Stati Uniti da Coleman *et al.* (2004) su 27 siti dove erano a confronto colture di pioppo da biomassa e varie colture agricole sono state trovate poche differenze per quanto riguarda la variazione del contenuto di sostanza organica e di carbonio; un incremento nell'accumulo di carbonio organico nel suolo è stato verificato nella coltivazione di pioppo solo quando il suolo inizialmente ne era molto povero. Questo risultato dipende probabilmente dal fatto che la coltivazione del pioppo viene effettuata in maniera intensiva tanto quanto le colture agrarie. Risultati analoghi si stanno verificando anche nelle colture lignocellulosiche dedicate costituite nell'ambito del progetto SuSCACE dove alla fine del secondo anno di sperimentazione non si notano ancora variazioni nei contenuti in carbonio organico dei suoli. Invece da una prova condotte in Italia centrale (POP-EUROFACE) su ceduo di pioppo è stato invece registrato un accumulo di C organico nel suolo indipendentemente dai trattamenti effettuati: arricchimento della CO_2 atmosferica e concimazione azotata (Lagomarsino *et al.*, 2009).

Risultati interessanti sono stati ottenuti, dopo sette anni di coltivazione, in un impianto sperimentale del Centro di ricerca per le colture industriali (CRA-CIN) sito ad Anzola dell'Emilia (BO) in cui sono a confronto due specie erbacee poliennali: Miscanto e Canna comune, e tre arboree: Pioppo, Robinia e Salice. Le due specie erbacee vengono raccolte annualmente mentre le arboree ogni due anni. Il suolo è di tipo franco limoso e le precipitazioni annuali ammontano a circa 600 mm. Le erbacee poliennali vengono fertilizzate annualmente con 120 kg ha^{-1} di N (urea) e con 120 kg ha^{-1} di P_2O_5 (superfosfato), mentre pioppo e salice ricevono le stesse quantità di entrambi i fertilizzanti (120 kg ha^{-1}) soltanto una volta ogni due anni, dopo la raccolta. La robinia, leguminosa considerata autosufficiente per la nutrizione azotata, riceve solo la concimazione fosfatica nelle stesse dosi e modalità delle altre specie arboree. L'irrigazione e le lavorazioni ordinarie del suolo (erpicature) sono state effettuate solo nel corso della prima stagione vegetativa per favorire un rapido insediamento delle diverse specie. Nel corso degli anni si è intervenuto, quando necessario, con insetticidi per proteggere le *Salicaceae* dai defogliatori.

Alla fine del settimo anno, nel mese di febbraio, sono stati prelevati campioni di suolo nei primi due strati superficiali: 0-20 cm e 20-40 cm sia parcelle delle cinque specie a confronto che su un seminativo ed un prato stabile coltivati in prossimità

dell'impianto sperimentale. Per la determinazione del carbonio organico è stato utilizzato il metodo Walkley-Black.

I dati medi del contenuto di carbonio organico nelle diverse specie a confronto è riportato in tabella 7. Dopo sette anni di coltivazione di canna comune e dei cedui a turno breve di pioppo e di salice si ha un incremento del contenuto di carbonio organico statisticamente significativo rispettivamente del 46% per le prime due colture e del 53% per il salice in confronto ad un seminativo soggetto ad aratura annuale. Anche per le altre colture considerate si ha un incremento che però non risulta statisticamente significativo. L'incremento dell'immagazzinamento di C organico nello strato più superficiale del suolo non risulta correlato alla produzione di biomassa lignocellulosica (Tab.7).

Infatti, sebbene la canna comune fornisca produzioni annue di biomassa nettamente superiori alle specie legnose, il contenuto di carbonio organico misurato sotto detta coltura è analogo a quello osservato nelle diverse specie legnose. Ciò probabilmente dipende dal turn-over delle radici fini e dalla maggiore produzione di lettiera delle specie legnose rispetto alla canna comune.

Tabella 7 - Medie della produzione media annuale di biomassa anidra delle colture energetiche e della quantità di carbonio organico rilevato nello strato superficiale del suolo, tra 0 e 20 cm di profondità, incremento medio annuale di carbonio e corrispondente immagazzinamento di CO_2 nel suolo alla fine del 7 anno di coltivazione di cinque colture bioenergetiche confrontate con un seminativo ed un prato stabile. Medie associate a lettere uguali non sono significativamente diverese per P<0,05 (LSD).

Coltura	Biomassa anidra in t ha^{-1} $anno^{-1}$	C nel suolo in t ha^{-1}	Incremento medio annuale di C in t ha^{-1}	Immagazzinamento annuale di CO_2 nel suolo in t ha^{-1}
Canna comune	39,6 a	37,7 a	1,70	6,23
Miscanto	25,2 b	34,0 ab	1,18	4,32
Robinia	15,3 c	33,9 ab	1,15	4,23
Pioppo	12,0 c	37,7 a	1,70	6,23
Salice	10,8 c	39,4 a	1,94	7,12
Prato stabile	-	31,7 ab	0,84	3,07
Seminativo	-	25,8 b	0,00	0,00

Nessuna differenza invece è stata rilevata nello strato tra 20 e 40 cm di profondità.

Secondo recenti stime (Lal, 2004) nel settore agricolo, il passaggio da un sistema colturale tradizionale, basato sulla lavorazione del suolo, ad uno *no-till* permetterebbe di ridurre le emissioni in atmosfera di 30-35 kg C ha^{-1} $anno^{-1}$. Analogamente una riduzione degli interventi colturali nelle colture energetiche dovrebbe favorire un maggior accumulo di carbonio come è avvenuto nella prova di Anzola (BO).

L'eventuale aumento del contenuto di carbonio organico nel suolo non riuscirà comunque a compensare l'incremento attuale di carbonio in atmosfera; secondo sti-

me affidabili il suolo potrebbe assorbire quantità comprese tra 0,4 e 1,2 Gt C anno^{-1} mentre in atmosfera il carbonio cresce annualmente di 3,3 Gt anno^{-1}. Ai fini del bilancio del carbonio nel suolo è importante anche considerare se esso viene immagazzinato in forma labile, e quindi ritornerà in atmosfera nel giro di pochi anni o in forma stabile con ciclo di vita di secoli o millenni.

L'aumento del carbonio nel suolo non ha solo effetti sulla riduzione delle emissioni di gas ad effetto serra ma anche un effetto positivo sulla fertilità del terreno e quindi sulla produzione. Nel caso dei climi aridi un incremento della sostanza organica contribuisce alla riduzione dei rischi di desertificazione poiché permette di trattenere con più efficienza l'acqua disponibile, e quindi di gestire meglio i periodi siccitosi (Tonon, 2004).

Bibliografia

Ceotto E., Librenti I., Di Candilo M., 2010. Can bioenergy production and soil carbon storage be coupled? A case study on dedicated bioenergy crops in the Low Po Valley (Northern Italy). Proceedings of the18th European Biomass Conference, 3-7 May 2010, Lyon, France. 2261-2264.

Coleman M.D., Isebrand J.G., Tolsted D.N., Tolbert V.R., 2004. Comparing soil carbon of short rotation poplar plantation with agricultural crops and woodlots in north central United States. Environmental Management 33 (1): 299-308.

Crutzen P.J., Mosier A.R., Smith K.A., Winiwarter W. (2008) N2O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels. Atmos. Chem. Phys., 8, 389-395. Grigal D. F., Berguson W.E., 1998. Soil carbonchanges associated with short-rotation system. Biomass and Bioenergy 14: 371-377.

EEA European Environment Agency, 2011. Annual European Union greenhouse gas inventory 1990–2008 and inventory report 2010. Submission to the UNFCCC Secretariat. Technical report No.2/2011.

Fiala M., Bacenetti J., 2009. Filiere agro energetiche a confronto: bilancio economico, energetico e ambientale. Atti del IX Convegno Nazionale dell'Associazione Italiana di Ingegneria Agraria Ischia Porto. pp 10.

ISO, 2006. International Organization for Standardization, ISO 14040-44. Url: www.iso.org.

Kirshbaum M.U.F., 2003. To sink or burn? A discussion of the potential contributions of forests to greenhouse gas balances through storing carbon or providing biofuels. Biomass and Bioenergy 24 (2003); 297-310

Liebig M.A., Schmer M.R., Vogel K.P., Mitchell R.B. 2008. Soil Carbon Storage by Switchgrass Grown for Bioenergy. Bioenerg. Res, 1:215–222.

Lagomarsino A., De Angelis P., Moscatelli M.C., Grego S., Scarascia Mugnozza G., 2009. Accumulo di C nel suolo di una piantagione di Populus spp. in condi-

zioni di elevata CO2 atmosferica e fertilizzazione azotata. Forest@ 6: 229-239 on line URL: http://www.sisef.it/forest@/.

Lal R. 2004. Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security. Science:Vol. 304, 1623-1627.

Post W.M., Know K.C. 2000. Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential. Global Change Biology 6: 317-327.

Righelato R., D.V. Spracklen (2007) Carbon Mitigation by Biofuels or by Saving and Restoring Forests? Science, 317, 902.

Rowe R.L., Street N.R., Taylor G., 2009. Identifying potential environmental impacts of large-scale deployment of dedicated bioenergy crops in the UK. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13: pag 271- 290.

Seufert G., 2010. Il "Kyoto Experiment" del CCR di Ispra: La Pioppicoltura come sequestratore di carbonio. Presentazione alla VII Edizione Vegetalia Agroenergie, 19-21 Marzo 2010, Cremona.

Tedeschi V., Federici S., Zenone T., Facciotto G., Bergante S., Matteucci G., Lumicini A., Seufert G., 2005. Greenhouse gases balance of two poplar stands in Italy: a comparison of a Short Rotation Coppice and a Standard Rotation Plantation. In: '14° European Conference & Exhibition, Biomass for Energy, Industry and Climate Protection' Proceedings of the European Conference held in Paris, France. 17-21 October 2005. 2014-2016.

Tonon G., 2004. Accumulare carbonio nel suolo è una strategia vincente contro i cambiamenti climatici e la fame nel mondo. Forest@ 1(2): 76-77. online URL: http://www.sisef.it/.

Tuskan G.A., Walsh M.E., 2001. Short rotation woody crop system, atmospheruc carbon dioxide and carbon management: a U.S. case study. Forestry Chronicle77: 259-264.

Venturi G., Monti A., 2005. Energia da colture dedicate: aspetti ambientali ed agronomici. Conferenza Nazionale sulla Politica Energetica in Italia. Bologna 18-19 aprile 2005. [On-line: www.tecnosophia.org/documenti/2005_04_conferenza_energia_bologna.htm].

2 - Colture energetiche e cambio d'uso del suolo: criticità e sostenibilità

Energy crops and land use: criticity and sustainability

Luigi Pari*, Alessandro Suardi*

Riassunto

L'inarrestabile aumento dei prezzi dei combustibili fossili, unita alle sempre più preoccupanti conseguenze ambientali legate al loro impiego, in un sistema produttivo insostenibile, ormai da anni stanno spingendo la comunità scientifica e i governi, a puntare sull'impiego razionale delle fonti energetiche rinnovabili. Tra queste le biomasse rappresentano senza dubbio un'interessante risorsa energetica, sia termica che elettrica. Se da un lato però la coltivazione di colture dedicate alla produzione di biomassa per scopo energetico rappresenta, come detto, una possibilità di sviluppo, è altresì importante valutare i molteplici impatti ambientali che possono derivare da una loro vasta diffusione. La fase agricola rappresenta uno stadio del processo di produzione delle biomasse, estremamente vario e con impatti ambientali specifici. Gli impatti legati al cambio d'uso del suolo, ad esempio, risultano essere estremamente importanti da valutare, potendo rappresentare una causa di emissioni non trascurabili sia in atmosfera che in idrosfera; fertilizzazioni e lavorazioni del terreno possono comportare rilevanti emissioni sia dirette che indirette. Attraverso le concimazioni si ottiene un più rapido accrescimento delle colture ma questo comporta, allo stesso tempo, importanti ricadute a livello ambientale. Alla luce delle considerazioni fatte, Il lavoro cercherà di toccare alcuni aspetti critici legati al cambio d'uso del suolo in agricoltura e all'utilizzo di azoto quale input più impattante. Partendo quindi dal dilemma esistente tra colture food e no-food, si daranno alcune indicazioni sui possibili scenari sostenibili possibili.

Parole chiave: colture energetiche, sostenibilità ambientale, cambio d'uso del suolo, Life Cycle Assessment.

** CRA-ING, Unità di Ricerca per l'Ingegneria Agraria, Monterotondo (Roma).

Abstract

With the relentless rise in prices of fossil fuels and increasingly troubling environmental consequences of their use, in a production system no longer sustainable, scientific communities and governments are pushing to focus on the rational use of renewable energy sources. Biomass, as an alternative energy source has immerged as the most appealing resource to produce heat and electricity. While the cultivation of dedicated energy crops to produce biomass is a probable direction for development, it is also important to evaluate the multiple environmental impacts that may result from its intense exploitation. The agricultural phase is one aspect of the production of biomass that is extremely diverse with different and specific environmental impacts. The impact from changes in land use, for example, is also connected to atmosphere and hydrosphere emissions, such as the amount of nitrogen released from the soil during tillage or fertilization. Fertilization is achieves more rapid growth of the crop but this has important repercussions on the environment. In light of these considerations, this study analyzes the effects of the change of land use in agriculture as well as the major input and impacts (nitrogenous fertilizers and green house gases) connected to this change. Starting with the dilemma between food and non-food crops, the study will provide some indication of possible sustainable scenarios.

Keywords: *Energy crops, sustainability, land use, Life Cycle Assessment.*

Entro il 2020 l'Italia ha assunto l'obiettivo di coprire con l'energia da fonti rinnovabili il 17% dei suoi consumi finali lordi (Ministero dello Sviluppo Economico, 2010). Tra queste, le biomasse rappresentano una fonte di carbonio utilizzabile per la produzione di energia, sia termica che elettrica, su cui le politiche e i piani strategici italiani stanno puntando. L'interesse per lo sfruttamento della biomassa per la produzione di energia non è nuovo; in tutta la storia dell'umanità il legno è stato usato come la fonte primaria di energia per il riscaldamento e la cottura dei cibi (Nonhebel, 2005).

Un secolo fa il 20% dei terreni a seminativi in Europa e in Nord America erano destinati alla produzione di avena, il cereale che rappresentava la quota maggiore nelle diete alimentari di cavalli e muli per il trasporto agricolo e urbano (Gressel, 2008). Nel 1890 circa il 75% dell'energia era ancora fornita da combustibili a biomassa, mentre il carbone copriva la restante parte (Smil, 1994). Nel periodo compreso tra il 1890 e il 1990, a causa della disponibilità di petrolio a basso prezzo, la produzione energetica mondiale è passata dai biocarburanti ai combustibili fossili (Galloway e Cowling, 2002). Ad oggi, più del 60% del complesso di tutte le estrazioni petrolifere mondiali è destinato ad essere utilizzato come combustibile per il trasporto, e più del 96% dell'energia utilizzata dal settore dei trasporti proviene dal

petrolio (U.S. Energy Inforamation Administration, online), per questo l'articolo punterà l'attenzione principalmente sulle colture energetiche per la produzione di biocarburanti e sugli aspetti ambientali estremamente importanti quali l'uso del suolo, il suo cambio di destinazione e la fertilità. Quale fonte non rinnovabile il petrolio è destinato a passare in disuso o ad esaurirsi prima della fine del secolo corrente. Si presenta quindi la necessità di trovare un alternativa al suo uso per continuare a fornire energia specifica soprattutto per il settore dei trasporti, prima di una futura rivoluzione energetica e distributiva.

Il rinnovato interesse verso le colture energetiche per la produzione di biocombustibili (tra cui il bioetanolo e il biodisel) risulta quindi essere la conseguenza di una serie di aspetti politici, economici e sociali che Koh e Ghazoul nei loro studi (2008) hanno riassunto in tre motivi principali:

1. raggiungere la sicurezza energetica: l'instabilità politica di paesi ricchi di petrolio e gas, combinata con l'aumento dei prezzi dell'energia, hanno spinto molti paesi a diversificare il loro portafoglio energetico cercando di ridurre la dipendenza dai combustibili fossili importati. La minaccia di congelamento e di buio è sicuramente la motivazione principale per la promozione della bioenergia.
2. la percezione generale che il passaggio da combustibili fossili a biocarburanti possa contribuire nel limitare l'aumento delle emissioni di gas a effetto serra, anche se il dibattito in corso risulta essere alquanto acceso.
3. promuovere lo sviluppo rurale: una diffusione capillare di biomassa per la produzione di energia, può favorire l'occupazione e maggiori entrate per le popolazioni delle aree rurali. L'incremento del prezzo dei cereali, potenzialmente attribuibile all'aumento della domanda per produrre biocarburanti, può essere visto come un beneficio per le popolazioni rurali (Koh e Ghazoul, 2008).

Questi aspetti vanno visti alla luce degli investimenti e dei milioni di ettari che entro il 2020 verranno dedicati alla produzione di biomassa per fini energetici in tutta Europa (European Commision, 2005) con conseguenti impatti ambientali, economici e sociali per certi versi ancora non del tutto chiari. Tra gli impatti ambientali attribuibili al settore primario, sicuramente i cambiamenti di uso del suolo possano incidere in modo importante su tutta una serie di aspetti ambientali (Firbank, 2008). Pertanto la diffusione su larga scala delle colture energetiche ha dato il via ad una serie di infiniti dilemmi tra cui la possibile minaccia che i biocarburanti possono causare alla sicurezza alimentare. L'incremento della domanda globale di cibo, combinata alla competizione per il suolo tra le colture alimentari e quelle destinate alla produzione di biocarburanti, continuano a rimanere questioni di grande preoccupazione per i governi (Monti *et al.*, 2009). Allo stesso tempo, un certo numero di studi, indicano che dal 15% al 75% delle superfici impiegate per la produzione agricola convenzionale potrebbero, entro il 2050, essere disponibili per la produzione di biomassa da colture energetiche dedicate, senza conseguenze sull'aumento dei prezzi degli alimenti (Smeets *et al.*, 2007). Numerosi sono gli articoli scientifici che si occupano di

colture energetiche e dei loro impatti ambientali, ma risultano tuttora necessari ulteriori indagini, al fine di fare maggiore luce su questi aspetti, soprattutto a seguito di recenti ricerche che hanno ottenuto risultati controversi sui reali benefici apportati dalle colture energetiche (Monti *et al.*, 2009).

Studi di Pimentel e Patzek (2005) mostrano che l'utilizzo di mais o biomassa ligno-cellulosica per la produzione di bioetanolo richiede dal 29% al 57% di combustibili fossili in più rispetto all'etanolo prodotto. Altri studi (Searchinger *et al.*, 2008) sottolineano che la produzione di bioetanolo da swichgrass in terreni da sempre vocati alla coltivazione del mais, comportavano, per esempio, un emissione di carbonio in atmosfera superiore del 50% (Monti *et al.*, 2009). Continuando, Fargione *et al.* (2008) hanno dimostrato che la conversione dell'ecosistema naturale in colture energetiche comporterebbe un debito di carbonio così alto da non poter essere recuperato per decenni o centinaia di anni, dal solo biocombustibile producibile. Allo stesso tempo Fargione ha anche osservato come le colture poliennali da energia in terreni marginali comportano un basso o assente debito in carbonio con positivi impatti sul clima (Fargione *et al.*, 2008).

Sempre Pimentel (1992) e Tilman (Tilman *et al.*, 2006) affermano inoltre che le filiere produttive dei biocarburanti, proprio per le alte produzioni richieste, azzerano i benefici energetici e la riduzione delle emissioni climalteranti ottenibili nel sostituire i combustibili fossili.

La criticità maggiore è sicuramente legata al possibile aumento della produzione industriale di fertilizzanti azzotati. Questi infatti associano all'elevato costo energetico necessario alla loro produzione, il rilascio successivo in atmosfera di ossido di azoto, uno tra i più potenti gas ad effetto serra.

Nel 2009 Tilman *et al.* hanno evidenziato come, nella ricerca della migliore soluzione al problema energetico globale e alla sicurezza alimentare, le società non avrebbero potuto accettare gli effetti negativi prospettati da una produzione di biocombustibili effettuata in modo non sostenibile. Allo stesso tempo, non avrebbero accettato di perderne i benefici nel caso di produzioni compatibili dal punto di vista economico ed ambientale (Tilman *et al.*, 2009). Gli stessi autori hanno sottolineato che la sostenibilità delle colture energetiche è anche legata ad una loro bassa o assente competizione con le colture alimentari. Per questo risulta utile prima di tutto distinguere tra biocarburanti di prima e di seconda generazione. Alla base delle differenze troviamo la competizione con le colture alimentari e l'efficienza del bilancio del carbonio. I biocarburanti di prima generazione sono ottenuti essenzialmente da colture impiegate anche per produrre cibo e permettono una limitata, se presente, riduzione dell'effetto serra. La seconda generazione di biocarburanti, invece, sono ottenuti da colture non alimentari o dai residui delle colture alimentari ed è stato stimato che siano in grado di ridurre del 50%, le emissioni di gas serra (Erisman *et al.*, 2009). È assai noto che, le colture lignocellulosiche poliennali possono portare ad un importante contributo ambientale rispetto alle colture annuali (Rowe *et al.*, 2009).

Risulta chiaro come lo stimare gli impatti ambientali delle attività agricole sia fondamentale per riuscire a portare avanti l'obiettivo della sostenibilità. Tra i differenti approcci possibili, il Life Cycle Assessment (LCA) che tradotto corrisponde alla Valutazione del Ciclo di Vita, è uno tra i metodi conosciuti più rigorosi la stima di tutti gli impatti ambientali di un prodotto, processo o sistema (Spugnoli *et al.*, 2009).

Tale metodologia permette di raggiungere due importanti obiettivi:

- valutare l'impatto ambientale complessivo della filiera energetica a partire dalla produzione della biomassa fino alla sua conversione energetica. Oltre alle emissioni dirette dei singoli processi (per esempio i fumi di combustione emessi da una caldaia) vengono calcolate anche le cosiddette emissioni indirette associate ai processi di produzione di ciascun materiale considerato come input nella filiera energetica.
- paragonare, sempre da un punto di vista energetico e ambientale, la filiera energetica oggetto di studio ad altre filiere energetiche che abbiano stessa funzionalità e stessi output.

Uno studio LCA si articola in 4 fasi principali:

- definizione degli scopi e degli obbiettivi (goal and scope definition) è la fase preliminare in cui vengono definiti le finalità dello studio, i criteri di acquisizione dei dati, l'unità funzionale, i confini del sistema studiato, il fabbisogno di dati, le assunzioni ed i limiti;
- inventario (life cycle inventory, LCI) rappresenta la prima fase operativa, dedicata allo studio del ciclo di vita del processo o attività; lo scopo principale è quello di ricostruire il flusso dell'energia e dei materiali che permettono il funzionamento del sistema produttivo in esame e dei relativi sottoprocessi;
- analisi degli impatti LCIA (life cycle impact assessment) è lo studio dell'impatto ambientale provocato dal processo o dall'attività, ed ha lo scopo di evidenziare l'entità delle alterazioni ambientali generate a seguito dei consumi di risorse e delle emissioni calcolati nell'inventario;
- interpretazione e miglioramento (life cycle engineering) è la parte conclusiva di una LCA, facoltativa nella procedura delineata dalle normative ISO, che ha lo scopo di evidenziare i cambiamenti necessari a ridurre l'impatto ambientale dei processi o attività considerati, proponendo alternative, valutandole in maniera iterativa con la stessa metodologia. Questi diversi momenti di analisi costituiranno il punto di riferimento per gli interventi su un processo di produzione esistente o per il progetto di un nuovo prodotto.

Il Life Cycle Assessment (LCA) in agricoltura

L'LCA è un approccio sistemico per valutare l'impatto ambientale di prodotti, servizi e processi definito "from crudle to grave" (dalla culla alla tomba) che prevede

un'analisi quantitativa approfondita dei flussi di materia ed energia che partecipano alla creazione di un prodotto, processo o servizio, partendo dall'estrazione e trasformazione delle materie prime, attraverso la produzione, il trasporto e l'utilizzo, fino al riciclo o allo smaltimento dello stesso, permettendo di individuare le fasi in cui si concentrano maggiormente le criticità ambientali, i soggetti che dovranno farsene carico (produttore, utilizzatore ecc.) e le informazioni necessarie per realizzare gli interventi migliorativi.

La standardizzazione della metodologia è stata compiuta da SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) e da ISO (International Standard Organization) che ha definito ed emanato una norma che offre riferimenti per la corretta applicazione dell'analisi del ciclo di vita (la norma UNI EN ISO 14040:44).

L'LCA oggi è prevalentemente impiegata nello studio di processi industriali, ma l'interesse dell'applicazione di questa metodologia risulta crescente anche su processi agricoli, nei quali però, le variabili climatiche, pedologiche e biologiche pongono alcuni limiti di precisione e di validità dei risultati ottenuti.

L'impatto ambientale dei sistemi agricoli oggi è pertanto molto spesso dibattuto, tuttavia sono molto pochi gli studi che prendono in considerazione il problema da un punto di vista multi-criteriale. Spesso infatti gli studi sull'effetto ambientale sono limitati alla lisciviazione azotata, all'erosione, o comunque correlati al livello di input agronomici utilizzati nei processi di coltivazione.

Attuando appositi accorgimenti, la metodologia LCA risulta comunque efficace anche nel valutare il carico ambientale derivante dalla pratica agricola. I sistemi agricoli contribuiscono ad un ampia gamma di tipologie di impatto ambientale (es. acidificazione, cambiamento climatico, eutrofizzazione etc.), ma l'analisi dei singoli effetti, come possono ad esempio essere le perdite di azoto, non consente di trarre una conclusione da un punto di vista globale. Inoltre nel caso di comparazione tra due sistemi di produzione differenti, non consente di stabilire quale di essi sia il meno impattante. Risulta quindi necessario approfondire in maniera sito-specifica alcuni aspetti, per ottenere un risultato attendibile. Ad esempio, per la lisciviazione azotata, non può essere preso un valore di riferimento, ma lo studio deve essere approfondito con un apposito modello, che tenga conto del tipo di terreno, della piovosità dell'areale considerato, della distribuzione delle piogge in relazione all'epoca di concimazione etc. (Fazio, 2010)

La LCA è stata creata per studiare tutti gli impatti ambientali connessi ad un intero processo produttivo, quindi utilizzando questa metodologia non si determinano esclusivamente gli impatti derivanti dalla produzione delle colture solo sul campo, ma anche tutti gli impatti connessi alla realizzazione dei fattori di produzione, come ad esempio le emissioni e il consumo di risorse dovuta alla produzione di fertilizzanti. È ovvio che la fase agricola, nella concezione aziendale tipica dei paesi industrializzati, non è quasi mai fine a se stessa, l'intero ciclo di vita del prodotto agricolo infatti, passa quasi sempre per una fase agro-industriale, o di commercializzazione. Lo studio LCA del processo di coltivazione quindi, deve es-

sere integrabile con i risultati di studi analoghi del resto della filiera, pertanto le metodologie applicate e gli indicatori ambientali considerati devono essere il più possibile omogenei (Fazio, 2010).

Esistono alcuni effetti ambientali, tipicamente territoriali o biologici, fortemente influenzati dai processi agricoli (e.g. erosione, immagazzinamento del carbonio e di altri elementi), che sono inesistenti nelle successive fasi di produzione, ma che hanno una ricaduta importante sull'impatto locale e globale dei processi di coltivazione. Tra questi, l'uso del suolo (land use) rappresenta uno tra i maggiori impatti ambientali attuati dalle attività antropiche: difficile da modellizzare non basandosi su bilanci di massa ed energia. Il lavoro cercherà di toccare quindi alcuni aspetti critici legati al cambio d'uso del suolo in agricoltura e agli input (concimi azotati) che, a cascata, portano ad ulteriori impatti nell'atmosfera e nell'idrosfera. Partendo dalle considerazioni fatte da Ceotto E. e Di Candilo M. in un loro lavoro (2010) si riassumono in fine gli aspetti su cui poter intervenire al fine di mantenere intatta la fertilità dei terreni, riducendo i consumi energetici e le emissioni climalteranti.

Competizione per il suolo: colture bioenergetiche *vs* colture alimentari

Da un punto di vista propriamente ecologico, l'uso dei combustibili fossili era stato definito come "terra prestata dal passato" perché il carbonio stoccato nelle riserve fossili era stato accumulato attraverso la fotosintesi in milioni di anni (Wackernagel e Rees, 1993). In quest'ottica, la sostituzione dei combustibili fossili con i biocarburanti implica che la terra prestata dal passato diventi una porzione reale di terreno usata nel presente, consumando l'attuale capacità bioproduttiva (Stoeglehner e Narodoslawsky, 2009). Stoeglehner e Narodoslawsky nel 2009 hanno usato il concetto di impronta ecologica (ecological footprint), con il significato di quantità di terra necessaria per sostenere le attività umane considerate. Nel caso dei combustibili fossili l'impronta ecologica può essere stimata in due modi:

- attraverso la determinazione dell'area necessaria per produrre la stessa quantità di energia dalle risorse agricole;
- stimando l'area necessaria per sequestrare la CO_2 emessa durante la combustione dei combustibili fossili (Stoeglehner e Narodoslawsky, 2009).

Superfici coltivabili, una risorsa in diminuzione

Spiertz nel 2009 mise in luce la ridotta disponibilità e la vulnerabilità delle terre coltivabili su scala globale (Spiertz e Ewert, 2009).

Attualmente, l'ammontare della terra media arabile pro capite è circa 0,45 ha, anche se questa superficie è distribuita disugualmente tra le nazioni: la Cina, per esem-

pio ha solamente il 7% della terra coltivabile mondiale. Nonostante questo deve alimentare approssimativamente il 20% della popolazione globale.

Ma a questo punto, la questione più importante a cui rispondere è: quanta superficie, di questi 0.45 ha per persona impiegati per la produzione di cibo, può essere destinata alla produzione di bio-carburanti? Sebbene le superfici necessarie per la produzione di colture energetiche, non insistano solamente sulle terre coltivabili per l'alimentazione umana, al tempo stesso, entro il 2050 le previsioni indicano un raddoppiamento della richiesta di cibo a livello globale (Koning *et al.*, 2008). Questo aumento dei consumi è legato a due aspetti principali: la crescita della popolazione mondiale ed il trend corrente del cambiamento della dieta dei Paesi in via di Sviluppo, con un aumento previsto del consumo di carne da 40 ad 80 kg per anno per persona (Spiertz, 2009).

Oltre all'aumento del consumo di carne, incide anche in maniera non trascurabile l'aspetto qualitativo dello stesso. Infatti, il consumo crescente dei non ruminanti (come maiali e polli) ha spostato la richiesta produttiva dai foraggi ai seminativi, con conseguente aumento degli inputs impiegati sulle superfici coltivabili.

Inoltre Koning *et al*. (2008) avevano congetturato che, entro il 2050, il 3% di ogni terreno coltivato potenziale, sarebbe stato impiegato per la costruzione di edifici, strade e parcheggi ecc.

Certamente l'impiego dei fertilizzanti azotati ha migliorato la produttività dei sistemi agricoli, elevando l'efficienza di utilizzazione della radiazione solare, con un aumento della produzione dei raccolti di circa il 2%. Senza approvvigionamento di azoto molto più terra sarebbe necessaria, per cui, i fertilizzanti possono essere considerati come uno strumento per risparmiare terra coltivabile (Loomis e Connor, 1992; IFA, 2009). Nonostante l'aumento di efficienza, la quantità di terreno coltivabile implica attualmente un consumo di energia enorme.

Mentre il Brasile per produrre il 10% del suo intero consumo di combustibile richiederebbe solo il 3% della propria superficie agricola, per gli Stati Uniti raggiungere quel target significherebbe occuparne il 30% e per l'Europa il 72% (Pearce, 2006).

Differenti ma comunque impressionanti risultano le stime dell'International Energy Autority secondo cui, per coprire il 10% del fabbisogno di Diesel e Benzina negli USA e in Europa, si richiederebbero rispettivamente il 43% ed il 38% delle superfici attualmente coltivate (IEA, 2004).

Questo implicherebbe la necessità di convertire zone naturali, foreste e praterie in aree agricole per la coltivazione di colture energetiche, con una conseguente e rapida ossidazione del carbonio immagazzinato nel terreno e nella biomassa, e con emissioni di molto superiori rispetto ai benefici raggiungibili dalla produzione di biocombustibili (Righelato e Spracklen, 2007).

Searchinger *et al.* (2008) hanno utilizzato un modello agricolo per stimare le emissioni derivate dai cambiamenti nell'uso dei suoli. In base a questo stimarono che il mais per la produzione di etanolo, coltivato su terreni forestali riconvertiti, avrebbe bisogno di 167 anni per ripristinare il credito di carbonio.

Pertanto, l'uso efficiente dei terreni, sia per scopi alimentari che per il sequestro del carbonio, si rivela uno strumento incredibilmente potente ai fini strategici e decisionali sia a livello locale che globale.

Colture energetiche e ciclo dell'azoto

L'integrazione di azoto alle colture è una pratica agronomica fondamentale per migliorare la produttività e il reddito economico, sia nelle colture alimentari che in quelle energetiche.

Erisman *et al.* nel 2009 hanno indicato che la produttività del grano ben concimato è 4,5 volte superiore rispetto a quello che non riceve apporti di azoto (Erisman *et al.*, 2009). Inoltre, l'assimilazione totale di CO_2 netta di una coltura in condizioni non limitanti, permette di coprire le emissioni coinvolte nella produzione dei fertilizzanti minerali utilizzati per sostenere la sua crescita (Ceotto, 2005). Di conseguenza, nelle terre coltivate, molto più carbonio viene fissato nella biomassa e nella sostanza organica del suolo. Risulta quindi chiaro che la concimazione azotata può essere considerata uno strumento molto efficace per migliorare l'efficienza con cui vengono utilizzati i terreni coltivati. Purtroppo, l'azoto applicato alle colture sottoforma di concimi e fertilizzanti, è dato in maniera inefficiente (30-60%) nella maggior parte dei sistemi colturali (Helsel, 1992). Di conseguenza, la frazione non utilizzata può contaminare risorse idriche superficiali e suolo, oppure può disperdersi in atmosfera (Kitchen e Goulding, 2001). Diversi esperimenti hanno segnalato perdite dal 20% al 50% di fertilizzanti azotati nella produzione cerealicola. Queste perdite sono state attribuite agli effetti combinati di denitrificazione, volatilizzazione e dilavamento (Raun e Johnson, 1999).

Implicazioni dei concimi azotati minerali sull'energia e i gas climalteranti

Mentre circa un terzo dell'energia fossile impiegata dall'agricoltura moderna è consumata direttamente nell'azienda agricola, per esempio sottoforma di combustibile (diesel) ed elettricità, i rimanenti due terzi sono consumati indirettamente per la produzione di beni, impiegati nelle attività agricole (Ceotto, 2005). Il principale uso indiretto dell'energia fossile è legato alla produzione ad alta intensità energetica dei fertilizzanti azotati di sintesi. Gli inputs di energia necessari per la produzione di fertilizzanti a base di fosforo e potassio è molto inferiore rispetto a quelli azotati (Helsel, 1992). Nella maggior parte delle analisi energetiche di filiere agricole, l'energia attribuita ai fertilizzanti azotati varia dal 30% al 50% dell'energia fossile totale (Kitchen e Goulding, 2001). La maggior parte del fabbisogno energetico del settore è

utilizzato nella produzione di ammoniaca, il composto da cui tutti i fertilizzanti azotati derivano. I combustibili fossili più comunemente utilizzati per la produzione di fertilizzanti sono il gas naturale (67%), il carbone (27%), l'olio combustibile (3%) e, in misura minore, la nafta (2%) (IFA, 2004). Nel complesso, la produzione di fertilizzanti azotati richiedono circa l'1,2% di energia fossile utilizzata in tutto il mondo (Erisman *et al.*, 2009). In effetti, questa è solo una piccola parte dell'energia totale adoperata dalle società moderne, soprattutto se si considera l'importanza dell'agricoltura nella vita del'uomo. Mentre un uso più parsimonioso del consumo di energia fossile potrebbe essere raggiunto dai sistemi agricoli, le emissioni di gas a effetto serra legate all'uso di fertilizzanti azotati industriali rappresenta un duplice problema. È utile distinguere tra le emissioni precedenti e quelle successive all'applicazione in campo dei fertilizzanti. Le emissioni di gas a effetto serra precedenti all'applicazione in campo sono la conseguenza di energia fossile utilizzata per la produzione industriale di fertilizzanti azotati. Trasporto e distribuzione in campo comportano delle emissioni aggiuntive. Le emissioni successive all'applicazione in campo dei fertilizzanti azotati sono dovute al rilascio di protossido di azoto (N_2O). Tra i sottoprodotti indesiderati dell'azoto applicato in agricoltura, il più preoccupante è proprio il protossido di azoto, un composto originato dagli ecosistemi terrestri a seguito del processo di denitrificazione. Nei suoli agricoli, l'aumento di azoto minerale disponibile, porta ad una maggiore nitrificazione e denitrificazione, e di conseguenza anche un aumento delle emissioni di protossido di azoto (Lal e Pimentel, 2007). Questo è un gas serra con un potenziale medio di riscaldamento globale (GWP) di 100 anni, 296 volte maggiore della CO_2. Come fonte di NO_x, svolge anche un ruolo importante nella chimica dell'ozono stratosferico (Crutzen *et al.*, 2009). L'efficacia del protossido di azoto nel trattenere il calore è la causa principale del suo tempo di permanenza in atmosfera di 114 anni (FAO, 2006).

In accordo con studi di Mosier (Mosier *et al.*, 1998) essendo le molecole di azoto riutilizzate all'interno dei cicli del terreno, più volte prima di essere denitrificate, al fine di ridurre le perdite, risulta importante minimizzare l'uso di azoto minerale nella concimazione delle colture bioenergetiche. Dai risultati di Crutzen *et al.* (2008) le emissioni stimate di protossido di azoto, emesse dai terreni con colture ad alta richiesta di azoto (come mais o colza) risultate dell'ordine del 3-5% (notevolmente superiori rispetto all'1% dell'IPCC). Gli stessi hanno comunque affermato che "piante energetiche", come il panico verga (*Panicum virgatum*) e miscanto (*Miscanthus x giganteus ibrido*), potrebbero avere un effetto moderatamente positivo sul clima, proprio grazie al loro inferiore rapporto di azoto per kg di sostanza secca prodotta (Crutzen *et al.*, 2008).

Infatti una strategia valida per minimizzare gli effetti indesiderati sull'ambiente legati all'applicazione dell'azoto minerale rimane sicuramente quella di coltivare colture energetiche che permettono elevata produttività con basso apporto di fertilizzanti azotati. Erisman *et al.* (2009) ha studiato che applicando 192 kg ha^{-1} di azoto è possibile produrre 9,3 Mg ha^{-1}di frumento, mentre il raccolto in assenza di concima-

zione azotata si abbassa a 2,07 Mg ha^{-1}. Così, l'efficienza complessiva dell'uso di azoto, nel grano può raggiungere i 37,7 kg di granella per kg di azoto applicato. Risultati simili sono stati ottenuti con il mais (Erisman *et al.*, 2009). Spiertz (2009) ha indicato che la resa di granella di mais può essere portata da 3 a 14 Mg ha^{-1} con un adeguato apporto di N (Spiertz, 2009). È interessante notare che Angelini *et al.* (2005), lavorando sulla canna comune, hanno ottenuto una produzione media di 27 Mg ha^{-1} di biomassa con una fertilizzazione annuale di 200 kg di azoto. Sorprendentemente la produttività della tesi non concimata è stata di 23 Mg di biomassa per ettaro (Angelini *et al.*, 2005). Mentre l'efficienza di uso dell'azoto nella canna comune è inferiore ai cereali (circa 20 kg di biomassa prodotta per kg N applicato), la produttività di questa specie è risultata al contrario eccezionale alla luce di un periodo di 6 anni senza fornitura di azoto. La spiegazione risiede probabilmente sull'uso prudente di azoto da parte delle colture poliennali rizomatose, attraverso una traslocazione dello stesso dalla parte epigea a quella ipogea durante il periodo invernale. Per tale motivo il taglio della canna, che si fa in inverno, comporta ridotte perdite di azoto rispetto ad altre colture. Pertanto le colture lignocellulosiche perenni hanno molto da offrire se l'obiettivo è quello di produrre biomassa per energia riducendo gli apporti di fertilizzanti azotati.

Sfruttamento delle colture con duplice scopo: alimentari ed energetiche, sullo stesso terreno e nel medesimo tempo

In questa continua competizione tra colture energetiche e colture alimentari i residui possono rappresentare un compromesso interessante se gestiti nel modo corretto. I cereali, e in particolare il frumento, possono essere considerati come colture dal duplice scopo e potrebbe essere conveniente sfruttarli per produrre, sulla stessa superficie, materie prime alimentari e biomasse. Come Ceotto (2008) ha sottolineato, dal momento che circa la metà della materia secca prodotta dai cereali non ha alcun valore nutritivo e non può essere impiegata per l'alimentazione umana, i residui delle colture possono potenzialmente fornire una fonte strategica di biocarburanti. Grazie al suo basso contenuto di azoto (~ 0,5% della sostanza secca) e un basso contenuto di umidità (10-13% del peso totale) la paglia di grano è particolarmente adatta per essere bruciata per ottenere energia in forma di calore ed elettricità, con basse emissioni di azoto. Anche la paglia di mais è adatta, anche se normalmente è raccolta a contenuti di umidità più elevati. Infatti, il vantaggio principale dei residui del raccolto si trova proprio sul suo basso contenuto di umidità al momento della raccolta. Questo comporta una diminuzione dei costi energetici per il trasporto e per l'evaporazione dell'acqua durante la combustione. L'uso della paglia per la produzione di energia certamente non minaccia la sicurezza alimentare globale, se però viene mantenuta la fertilità del terreno. Al contrario, un reddito aggiuntivo derivante dai resi-

dui delle colture alimentari, potrebbe stimolare gli agricoltori a produrre più cereali. Tuttavia, è importante sottolineare che l'uso di paglia per l'energia implica che l'energia fossile e le emissioni di gas ad effetto serra relative alla concimazione azotata, siano attribuibili alla produzione di granella, dove viene allocata la maggior parte dell'azoto. Il grano cresce su 200 milioni di ettari di terreni agricoli in tutto il mondo (Ortiz *et al.*, 2008), quindi la potenzialità derivante dallo sfruttamento della paglia come fonte di energia è grande. Certamente, i residui delle colture sono un bene prezioso, indispensabile al mantenimento della fertilità del suolo e per prevenire l'erosione (Lal, 2004). Quindi, si pone una questione cruciale: qual'è la frazione dei residui delle colture che potrebbero essere raccolti dal campo senza intaccare la sostanza organica e senza ridurre o aumentare l'erosione del suolo? Un ricerca Canadese di Lafond *et al.* (2009) hanno valutato l'effetto della rimozione della paglia sul carbonio organico del suolo e sulla produttività di grano. Essi hanno riscontrato che, a seconda del sistema di raccolta impiegato, solo il 26-40% del totale dei residui fuori terra delle colture, tolta la granella, vengono rimossi con la pressatura. Essi hanno inoltre indicato che 50 anni di rimozione di paglia non ha influenzato le rese di granella e la concentrazione proteica della stessa. Inoltre non sono stati riscontrate differenze significative misurabili sulla quantità di carbonio organico del suolo (Lafond *et al.*, 2009). Lal e Pimentel (2007) non sono d'accordo, sottolineando che le colture bioenergetiche dovrebbero essere coltivate in terre specificamente individuate, come terreni marginali e d'avanzo, suoli degradati o drasticamente disturbati (Lal e Pimentel, 2007). Gressel (2008) invece suggerisce che potrebbe essere saggio effettuare il taglio della paglia a maggior altezza, rimuovendo solo l'80% dei residui destinabili per i biocarburanti e lasciando il resto al suolo.

Conclusioni

La quantità di terra che potrebbe essere dedicata a colture energetiche senza effetti dannosi in termini di emissioni di gas serra e di disponibilità di cibo è limitata, quindi è fondamentale migliorare la produttività per unità di superficie. Nel frattempo, la sfida è quella di minimizzare la quantità di fertilizzanti azotati di sintesi utilizzati per la crescita delle colture da biomassa.

Ci sono diverse vie da intraprendere per migliorare l'efficienza produttiva di biomassa:

- attraverso una corretta classificazione e quantificazione, a livello regionale, del terreno adatto e dedicato per la produzione di bioenergia. Oltre alle terre marginali, poco adatte per la coltivazione dei seminativi a causa della loro bassa fertilità, sarebbe importante considerare anche le terre arabili che, a causa di elevata tossicità o per motivi sanitari, non potrebbero essere utilizzate per la produzione di cibo o foraggio per il pascolo (es. aree inquinate, vicinanze di impianti indu-

striali, impianti di scarico o incenerimento dei rifiuti urbani, strisce circostanti le autostrade, ecc.). Il termine "terra marginale" si riferisce normalmente al basso valore economico che la contraddistingue; la conversione di terreni a pascolo, zone umide o foreste per la coltivazione di biocarburanti dovrebbe, anche se in terreni marginali, essere attentamente valutata dal punto di vista ecologico e ambientale. Il messaggio principale di questa revisione è pertanto che la bioenergia dovrebbe essere vista come un prodotto complementare alla produzione degli alimenti e dei mangimi, ma soprattutto un prodotto da ottenere con filiere molto efficienti in termini di uso del suolo, dell'azoto e dell'acqua. L'uso sostenibile del territorio potrebbe essere migliorato integrando i terreni disponibili per la produzione di colture alimentari e i pascoli, con terreni per la produzione di colture energetiche.

- sulle superfici disponibili per la produzione delle colture energetiche, dovrebbero essere incoraggiate solo le colture con le caratteristiche migliori ed in particolare le poliennali che permettono il sequestro del carbonio nel terreno, apportando contemporaneamente importanti servizi ecologici come l'impollinazione e la conservazione di specie animali selvatiche, aumentando così la biodiversità.
- l'uso dei residui dei seminativi per la produzione di energia merita ulteriori considerazioni. Utilizzare la stessa superficie per la produzione di cereali per produrre cibo e paglia per la bioenergia, potrebbe essere un compromesso valido. Rotazioni colturali e altezze di taglio adeguate sono necessariamente importanti per garantire il contenuto di sostanza organica del suolo, e quindi la sua fertilità, aspetti che altrimenti si esaurirebbero nel corso del tempo.

Al fine di realizzare questi obiettivi, risulta chiaro come proprio le politiche, supportate da studi e basi scientifiche, siano la chiave di svolta per un utilizzo ed uno sfruttamento razionale del territorio, che risulti sostenibile da un punto di vista economico, ambientale e sociale.

Bibliografia

Angelini G.L., Ceccarini L., Bonari E. (2005) Biomass yield and energy balance of giant reed (*Arundo donax* L.) cropped in central Italy as related to different management practices. European Journal of Agronomy, 22, pp. 375-89. DOI:10.1016/j.eja.2004.05.004.

Ceotto E. (2005) The issues of energy and carbon cycle: new perspectives for assessing the environmental impact of animal waste utilization, Bioresource Technol. 96, pp. 191-196. DOI: 10.1016/j.biortech.2004.05.007.

Ceotto E., Di Candilo M., (2010) Sustainable bioenergy production, land and nitrogen use. In: Lichtfouse E. (ed.) Biodiversity, Biofuels, Agroforestry and Conservation Agriculture. Sustainable Agriculture Reviews, Vol. 5, pp. 101-122.

Crutzen P.J., Mosier A.R., Smith K.A., Winiwarter W. (2008) N_2O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels. Atmos. Chem. Phys., 8, pp. 389-395.

Crutzen P.J., Mosier A., Smith K., Winiwarter W. (2009) Atmospheric N2O Releases from Biofuel Production Systems: A Major Factor Against "CO2 Emission Savings": A Global View. In: C. Zerefos, G. Contopoulos, Skalkeas G. (Eds.) Twenty Years of Ozone Decline, Proceedings of the Symposium for the 20th Anniversary of the Montreal Protocol. Pp. 67-70. DOI: 10.1007/978-90-481-2469-5.

Erisman J.W., van Grinsven H., Leip A., Mosier A., Bleeker A. (2009).Nitrogen and biofuels; an overview of the current state of knowledge. Nutr. Cycl. Agroecosyst.

Erisman J.W., van Grinsven H., Leip A., Mosier A., Bleeker A. (2009). Nitrogen and biofuels; an overview of the current state of knowledge. Nutr. Cycl. Agroecosyst. (in press) DOI 10.1007/s10705-009-9285-4.

European Commission. (2005). Action Plan for Energy Efficiency: Realising the Potential. Brussels: s.n., 7.12.2005 COM(2005) 628.

FAO (2006) Livestock long shadows, environmental issues and options. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. The Livestock, Environment and Development (LEAD) Initiative website: http://www. virtualcenter.org. Chapter 3: Livestock role in climatic change and air pollution, pp. 79-133.

Fargione J., Hill J., Tilman D., Polasky S., Hawthorne P. (2008).Land clearing and biofuel carbon debt. Science. Vol. 319, 5867, pp. 1235-8.

Fazio S. Analisi ambientale della coltivazione di biomasse a scopo energetico con metodologia Life Cycle Assessment (LCA). (2010). Tesi di Dottorato in Colture Erbacee, Genetica Agraria, Sistemi Agroterritoriali. Bologna. pp. 65-67.

Firbank L.G. (2008). Assessing the Ecological Impacts of Bioenergy Projects. Bioenerg. Res. 1, pp. 12-19.

Galloway J.N., Cowling E.B. (2002).Reactive Nitrogen and The World: 200 Years of Change. Ambio., 31, pp. 64-71.

Gressel J. (2008).Transgenic are imperative for biofuel crops. Plant science. 174, pp. 246-263.

Helsel, Z.R. (1992) Energy and alternatives for fertilizer and pesticide use,. In: Fluck, R.C. (Ed.), Energy in Farm Production. Vol. 6, Stout B.A. (Ed.) Energy in World Agriculture, Elsevier Science, Amsterdam pp. 177-202.

Kitchen N.R., Goulding K.W.T. (2001) On farm technologies and practices to improve nitrogen use efficiency. In: Follett R.F., Hatfield J.L. (Eds.) Nitrogen and the environment: Sources, Problems and Management. Elsevier Science B.V., Amsterdam, pp. 335-369.

Koh L.P., Ghazoul J. (2008). Biofuels, biodiversity, and people: Understanding the conflicts and finding opportunities. Biological Conservation. 141, pp. 2450-2460.

Koning, N.B.J., Van Ittersum M.K., Becx G.A., Van Boekel M.A.J.S., Brandenburg W.A., Van Den Broek J.A., Goudriaan J., Van Hofwegen G., Jongeneel R.A., Schlere J.B., Smies M. (2008) Long term global availability of food: continued abundance or new scarcity? NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences, 55, pp. 229-292.

IEA (2004) International Energy Authority: Biofuels for Transport: An International Perspective, chap. 6; www.iea.org/textbase/nppdf/free/2004/ biofuels2004.pdf.

IFA (2009) International Fertilizer Industry Association: Fertilizers, Climate Change and Enhancing Agricultural Productivity Sustainably. First Edition, IFA, Paris.

Lafond G.P., Stumborg M., Lemke R., May W.E., Holzapfel C. B., Campbell C. A. (2009) Quantifying Straw Removal through Baling and Measuring the Long-Term Impact on Soil Quality and Wheat Production. Agron. J. 101:529–537. DOI:10.2134/agronj2008.0118x.

Lal R. (2004) Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security, Science, 304, pp. 1623-1627.

Lal R., Pimentel D. (2007) Biofuels from crop residues. Soil & Tillage Research, 93, 237–238. DOI:10.1016/j.still.2006.11.007.

Loomis R.S., Connor D.J. (1992) Crop Ecology: productivity and management in agricultural systems. Cambridge University Press, Cambridge. Chapter 15, pp. 400-427.

López-Bellido R.J., Castillo J.E., López-Bellido L. (2008) Comparative response of bread and durum wheat cultivars to nitrogen fertilizer in a rainfed Mediterranean environment: soil nitrate and N uptake and efficiency, Nutr. Cycl. Agroecosys. 80, pp. 121-130.

Ministero dello Sviluppo Economico. (2010). Sintesi del Piano di Azione Nazionale per le Energie Rinnovabili (direttiva 2009/28/CE). pp. 1-33.

Monti A., Fazio S., Venturi G. (2009). Cradle-to-farm gate life cycle assessment in perennial energy crops. Europ. J. Agronomy. 31, pp. 77-84.

Mosier A., Kroeze C., Nevison C., Oenema O., Seitzinger S., van Cleemput O., (1998) Closing the global N2O budget: nitrous oxide emissions through the agricultural nitrogen cycle, Nutr. Cycl. Agroecosys., 52, pp. 225-248. DOI: 10.1023/A:1009740530221.

Mosier A.R. (2001) Exchange of Gaseous Nitrogen Compounds between Terrestrial Systems and the Atmosphere. In: Follett R.F., Hatfield J.L.(Eds.) Nitrogen and the environment: Sources, Problems and Management. Elsevier Science B.V., Amsterdam, pp. 291-309.

Nonhebel S. (2005). Renewable energy and food supply: will there be enough land? Renewable and Sustainable Energy Reviews., Vol. 9, pp. 191–201.

Ortiz R., Sayre K.D., Govaerts B., Gupta R., Subbarao G.V., Ban T., Hodson D., Dixon J.M., Ortiz-Monasterio J.I., Reynolds M. (2008) Climate change: Can wheat beat the heat? Agriculture, Ecosystems and Environment 126, pp. 46-58. DOI:10.1016/j.agee.2008.01.019.

Pearce F. (2006) Fuels gold. Are biofuels really the greenhouse-busting answer to our energy woes? NewScientist, 2570, pp. 36-41. www.newscientist.com.

Pimentel D. (1992). Energy Inputs in Production Agriculture. Energy in Farm Production. in: Fluck R.C. (Ed.), Vol. 6, pp. 13-29.

Pimentel D., Patzek T.W. (2005). Ethanol production using corn, switchgrass and wood; biodiesel production using soybean and sunflower. Nat. Resour. Res, 14, pp. 65-76.

Raun W.R., Johnson, G.V. (1999) Improving Nitrogen Use Efficiency for Cereal Production. Agron. J., 91, pp. 357-363.

Righelato R., Spracklen D.V. (2007) Carbon Mitigation by Biofuels or by Saving and Restoring Forests? Science, 317, 902. DOI:10.1126/science. 1141361.

Rowe R.L., Street N.R., Taylor G. (2009).Identifying potential environmental impacts of large-scale deployment of dedicated bioenergy crops in the UK. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 13, pp. 271-290.

Searchinger T., Heimlich R., Houghton R.A., Dong F., Elobeid A., Fabiosa J., Tokgoz S., Hayes D., Yu T.H. (2008). Use of U.S. Croplands for Biofuels Increases Greenhouse Gases Through Emissions from Land-Use Change. Science. 319, pp. 1238-1240.

Smeets E., Faaij A., Lewandowsky I.,Turkenburg W. (2007). A bottom-up assessment and review of global bioenergy potentials to 2050. Prog. Energ. Combust. Vol. 33, 1, pp. 56-106.

Smil V. (1994).Energy in world history. Westview Press, Boulder, CO.

Spiertz J.H.J. (2009) Nitrogen, sustainable agriculture and food security. A review. Agron. Sustain. Dev. DOI: 10.1051/agro/2008064.

Spiertz J.H.J., Ewert F. (2009) Crop production and resource use to meet the growing demand for food, feed and fuel: opportunities and constraints. NJAS Wageningen Journal of Life Sciences, 56-4, pp. 281-300.

Spugnoli P., Baldi F., Parenti A. (2009).An LCA Model to assess the environmental improvement of new farming system. J. of Ag. Eng. 4, pp. 19-25.

Stoeglehner G., Narodoslawsky M. (2009) How sustainable are biofuels? Answer and further questions arising from an ecological footprint perspective. Bioresource Technology, 100, pp. 3825-3830. DOI:10.1016/j.biortech.2009. 01. 059.

Tilman D., Hill J., Lehman C. (2006).Carbon-negative Biofuels from Low-Input High-Diversity Grassland Biomass. Science. p. 314, pp. 1598-1600.

Tilman D., Socolow R., Foley J.A., Hill J., Larson E., Lynd L., Pacala S., Reilly J., Searchinger T., Somerville C., Williams R. (2009). Beneficial Biofuels-The Food, Energy, and Environment Trilemma. Science. 325, pp. 270-271.

Wackernagel M., Rees W. (1993) How Big is Our Ecological Footprint – a Handbook for Estimating a Community's Carrying Capacity, Vancouver.

U.S. Energy Information Administration. http://tonto.eia.doe.gov. Independent statistics and analysis. [Online]

3 - Valutazioni economiche: pioppo, robinia, eucalitto

Economic evaluations: poplar, black locust, eucaliptus

Domenico Coaloa*, Alessandra Grignetti*

Riassunto

La riduzione della coltivazione della barbabietola ha portato alla conversione di migliaia di ettari di terreno agricolo a colture energetiche dal 2008. Grazie al progetto nazionale di ricerca "SuSCACE", a supporto tecnico-scientifico per la conversione delle coltivazioni agricole verso colture energetiche, è stato possibile raccogliere ed elaborare dati sulle colture energetiche attualmente esistenti. Il database è attualmente costituito da 2.969 ettari coltivati in 386 appezzamenti, sono coinvolte 312 aziende agricole dislocate in 11 regioni d'Italia. I risultati ottenuti riguardano le superfici investite a ciascuna coltura, il relativo numero di campi e la loro distribuzione regionale, le produzioni, i costi di coltivazione e di produzione il bilancio economico. I dati raccolti riguardanti tutte le operazioni colturali agricole, gli input energetici ha permesso di stimare l'impatto ambientale e il bilancio energetico delle diverse colture. Le produzioni ottenute per le colture annuali da biomassa e le oleaginose sono risultate mediamente buone con differenze significative a livello regionale, nelle condizioni attuali di mercato la redditività è risultata generalmente positiva. Le piantagioni per la biomassa hanno raggiunto già buoni risultati produttivi nei primi anni di coltivazione, anche se migliorabili. Nelle attuali condizioni di mercato la redditività è fortemente dipendente dalle particolari condizioni di prezzo che si possono ottenere mediante contratti di lungo periodo con le imprese di trasformazione energetica.

Parole chiave: arboricoltura, SRF, costi di coltivazione, bilanci colturali.

* CRA-PLF, Unità di Ricerca per le Produzioni Legnose fuori Foresta, Casale Monferrato (AL).

Abstract

The reduction of beet cultivation has led to the conversion of thousands of hectares of agricultural land to energy crops since 2008. Thanks to the national research project "SuSCACE", set up as a technical-scientific support for the cultivation of energy crops, it has been possible to gather and process data on the currently existing energy crops. The database currently concern of 2,969 hectares in 386 plots, 312 farms and 11 regions of Italy affected. The results obtained regard the areas planted to each crop, the relative number of fields and their regional distribution, their yields, cultivation and production costs and their economic balance. The data collected regarding all farming operations and energy inputs allowed us to estimate the environmental impact and energy balance of the different crops. The products obtained for annual field crops are good on average, significant differences at the regional level. The analysis of the production and profitability of the most widespread oilseed species, has shown generally positive results in the current market. Plantations for biomass have reached, in the first years of cultivation, good, though improvable, yields; however in the present market conditions profitability is highly dependant on special price conditions agreed on in contract with the processing industries.

Keywords: *arboriculture, SRF, cultivation cost, crop balance.*

1. Introduzione

L'applicazione della riforma della OCM zucchero ha comportato una riduzione di oltre il 50% della capacità produttiva nazionale dello zucchero e di conseguenza anche una sensibile riduzione della superficie coltivata a barbabietola. Alcune società produttrici di zucchero hanno presentato piani di riconversione della filiera bieticolo-saccarifera verso le filiere agroenergetiche con l'obiettivo di ottenere energia elettrica da biomasse ligno-cellulosiche, biodiesel da esterificazione di oli vegetali e bioetanolo da fermentazione di cereali. Il raggiungimento di tali obiettivi richiede elevate produzioni di biomasse, soprattutto ligno-cellulosiche per far fronte alle esigenze di attivazione di nuovi centri di trasformazione energetica da fonti rinnovabili. Una ulteriore spinta verso i programmi di produzioni energetiche alternative è derivata anche dalle misure di sostegno ed incentivi riguardanti i nuovi coefficienti moltiplicatori dei certificati verdi per le filiere corte (Legge n. 244/2007).

Sulla base delle caratteristiche e sulle potenzialità produttive dei diversi ambiti agricoli, tenuti in considerazione gli obiettivi progettuali per la diversificazione della produzione di energia da parte dei vari distretti energetici (Loi, 2008), le aziende agricole stanno affrontando la riconversione con colture erbacee annuali e perenni (girasole, colza, brassica, sorgo da fibra e canna comune), e con colture arboree (pioppo, robinia, eucalitto).

Nell'ambito dell'attività del progetto SuSCACE "Supporto Scientifico alla Conversione Agricola verso le Colture Energetiche", finanziato dal Mipaaf e coordinato dal Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura (C.R.A), è stato possibile raccogliere, con la collaborazione delle aziende agricole, informazioni necessarie per analizzare e valutare sotto l'aspetto economico e organizzativo la riconversione agricola che coinvolge il settore.

Metodologia

Costituiscono il database i dati relativi a 350 appezzamenti coltivati per complessivi 2.514 ettari in 11 regioni; 255 sono le aziende agricole coinvolte. Le informazioni riguardano colture poliennali, pioppo, robinia, eucalitto, canna comune, e colture erbacee annuali, colza, girasole, brassica carinata e sorgo da fibra. Per le prime sono stati raccolti dati di localizzazione secondo coordinate geografiche nel sistema metrico WGS84UTM32, riferite al punto centrale degli appezzamenti interessati, invece per quelle annuali al momento si dispongono di dati di localizzazione riferiti soltanto a livello comunale in attesa di dati puntuali.

Grazie alla georeferenziazione degli appezzamenti, tutti i dati acquisiti, riguardanti le caratteristiche ambientali e organizzative delle singole aziende coinvolte, le colture praticate e gli interventi rilevati in tutte le fasi operative, sono stati organizzati in un geo-database (ArcGIS 9.2), gestito dal C.R.A.-PLF (Unità di Ricerca per le Produzioni Legnose fuori Foresta, ex Istituto di Sperimentazione per la Pioppicoltura di Casale Monferrato).

Lo strumento per il rilevamento e la registrazione dei dati è costituito da fogli elettronici in formato Excel appositamente predisposti. In particolare si tratta di tre fogli, "Anagrafica azienda", "Anagrafica appezzamento", Anagrafica coltura". Il primo contiene le informazioni e dati identificativi dell'azienda agricola: id_società, id_tecnico, id_azienda, cod_azienda, denominazione, indirizzo della sede, località, cap, provincia, referente, telefono, cellulare, centralina meteorologica, dimensione azienda, forma di conduzione, valore indicativo dei terreni.

Il foglio relativo all'appezzamento riporta informazioni che riguardano: indirizzo, località, coltura precedente, produttività coltura precedente, altre colture praticate in rotazione, superficie coltivata, giacitura, tessitura, irrigazione e tipo di irrigazione, posizione geografica secondo coordinate di longitudine e latitudine.

Il foglio relativo alla coltura "anagrafica coltura", che può cambiare di anno in anno per appezzamento, almeno per quelle erbacee annuali, considera oltre ai caratteri identificativi codificati nei precedenti fogli: coltura, varietà, materiale di propagazione, data di semina/impianto, densità, spaziature, centro di conferimento pelle produzioni.

Il foglio "diario appezzamento" nel quale sono descritte tutte le operazioni e interventi in modo cronologico: data, tipo intervento, tipo prodotto, prodotto, quantità,

costo unitario, trattrice, potenza, tipo attrezzo, larghezza di lavoro, profondità di lavoro, operai impiegati, superficie lavorata, tempo impiegato, costo complessivo contoterzista.

Sulla base dei dati finora raccolti relative alle colture erbacee e arboree destinate alla produzione di biomasse per uso energetico è stato creato l'archivio cartografico su base GIS. Il data base, che comprende dati stazionali e qualitativi relativi a ciascun sito di coltivazione e alle diverse colture energetiche, potrà consentire di mettere in luce correlazioni a livello nazionale tra caratteristiche ambientali e livelli produttivi potenziali.

Il coordinamento, la verifica e la validazione dei dati rilevati, ha costituito un importante impegno ed ha comportato una attenta valutazione delle criticità registrate in molte fasi di rilevamento e registrazione dei dati di campo relativi alle coltivazioni praticate nel 2009 e nel 2010 secondo il programma di attuazione delle conversione agricole.

Dall'analisi dei dati rilevati direttamente dai tecnici aziendali, riguardanti l'impiego delle macchine, della manodopera, carburanti, sementi, fertilizzanti, erbicidi ed eventuali interventi di terzisti, sono stati calcolati i costi complessivi di coltivazione per ogni coltura e per tutte le superfici interessate.

Il costo orario delle macchine motrici e degli attrezzi è stato calcolato utilizzando software dedicato (Maso *et al.*, 2006). Quando gli interventi sono stati svolti da imprese esterne all'azienda agricola, i costi delle operazioni sono comprensivi del costo della manodopera e del costo delle macchine.

Le produzioni riguardanti le colture arboree e le colture poliennali erbacce sono espresse in tonnellate di sostanza secca per ettaro per anno. Normalmente al momento della raccolta nel periodo di riposo vegetativo, le piante arboree presentano un contenuto idrico dal 50% fino al 60%. Tutti i dati di produzione fanno riferimento alla sostanza secca, ossia alla biomassa fresca viene sottratto il contenuto idrico relativo; Ciò permette di rendere omogenei i dati riguardanti le diverse specie in esame.

Le valutazioni economiche hanno riguardato in sintesi i bilanci colturali, ciò ha reso possibile esprimere valutazioni sulla redditività delle colture nel programma di riconversione agricola, in questo elaborato sono considerate le coltivazioni arboree di pioppo, robinia ed eucalitto.

Pioppo, robinia, eucalitto

Le specie arboree oggetto di analisi rappresentano le piantagioni da biomassa che sono presenti in modo prevalente negli ambiti agricoli in Italia in particolare nelle regioni settentrionali e centrali con estensioni di diverse migliaia di ettari. Già nel 2007 erano presenti oltre 5.000 ettari di coltivazioni arboree da biomassa soprattutto

in Lombardia (Aa.Vv., 2008). Si tratta di modelli colturali che prevedono impianti ad alta e media densità di piante e turni di ceduazione biennali o quinquennali.

Le piantagioni realizzate nel programma di conversione hanno seguito il modello colturale ad elevata densità e breve turno di raccolta, cosiddetto Short Rotation Forestry (SRF) (Facciotto *et al.*, 2007). Nel caso delle piantagioni con cloni di pioppo sono stati adottati in prevalenza densità di 5.700 talee per ettaro con turni di taglio biennali. Per la robinia invece sono stati adottate densità piuttosto variabili da 2.400 a 6.000 piantine per ettaro, mentre nelle piantagioni di eucalitto la densità è stata mediamente di circa 2.850 piantine per ettaro, anche inizialmente era stata adottata una densità più elevata. In tutti casi si è prevista una durata almeno decennale dell'impianto (tab. 1).

Tabella 1 - Modelli colturali.

	densità	spaziatura	turno raccolta	durata
	piante·ha^{-1}	mxm	anni	anni
pioppo biennale	5.700	0,5x3,5	2	10
robinia	3.600/5.700	0,8/0,5x3,5	2	10
eucalitto	2.850/3.500	0,8/1,0x3,5	2	10

Risultati

Localizzazione

Gli impianti con specie arboree di pioppo, robinia ed eucalitto, sottoposti a monitoraggio e considerati ai fini delle elaborazioni economiche, sono stati realizzati in quattro regioni per complessivi 535,96 ettari distribuiti in 125 unità; le aziende agricole coinvolte sono 99. Il **pioppo** è la specie più impiegata e rappresenta l'82% della superficie investita, principalmente concentrato nelle pianure dell'Emilia Romagna dove sono programmati i distretti principali per la produzione energetica. La dimensione media delle 91 unità colturali, omogenee per specie, età e modello colturale (appezzamenti), è pari a 4,83 ettari. Le aziende agricole che hanno deciso di inserire nei loro ordinamenti colturali anche impianti di biomassa con pioppo sono 80. La **robinia** con **11** impianti incide per l'11% con circa 55 ettari localizzati in territori collinari dell'Emilia Romagna soprattutto, Toscana e Abruzzo; la dimensione media degli appezzamenti è di 4,81 ettari. L'**eucalitto** è presente soltanto in Sardegna con numerosi appezzamenti (**22**) di piccole dimensioni, mediamente di 1,77 ettari. In tab. 2 sono riportate le superfici delle piantagioni e in fig. 1 sono evidenziate le provincie interessate dalle colture.

Tabella 2 - Distribuzione territoriale delle colture arboree da biomassa per specie, superfici e appezzamenti.

	pioppo			robinia			eucalitto		
	superficie ha	appezzamenti n	sup. media ha	superficie ha	appezzamenti n	sup. media ha	superficie ha	appezzamenti n	sup. media ha
Emilia Romagna	349,42	74	4,72	50,72	9	5,64			
Toscana	48,06	8	6,01	2,00	1	2,00			
Abruzzo	19,29	8	2,41	2,50	1	2,50			
Lazio	23,00	1	23,00						
Sardegna							38,97	22	1,77
totale	439,77	91	4,83	55,22	11	5,02	38,97	22	1,77

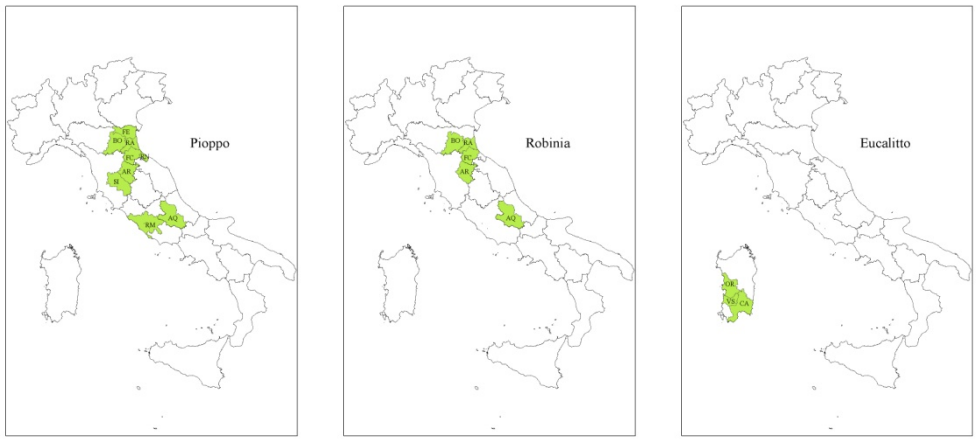


Figura 1 - Mappe della localizzazione per specie delle colture arboree da biomassa.

Pioppo

Figura 2 - Impianto fitto di pioppo (SRF).

Analisi dei costi

Gli impianti di pioppo sono stati realizzati a partire dal 2008, inizialmente con esigue superfici (37,55 ha), nell'anno successivo sono stati piantati quasi 214 ha in 45 appezzamenti, nel 2010 in 34 appezzamenti per 188,57 ha (fig. 3). Di tutti gli impianti sono stati rilevati gli interventi colturali dalla preparazione del terreno, concimazione e messa a dimora delle talee, al diserbo e cure colturali post impianto. Relativamente ai primi impianti del 2008 si dispongono anche i dati riguardanti le operazioni di raccolta e quantità di biomassa prodotte al primo taglio biennale.

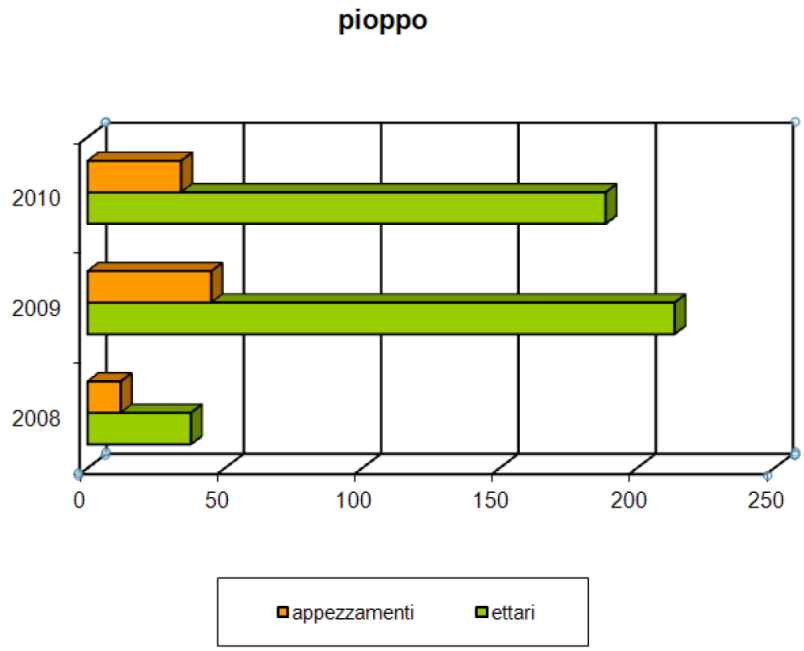


Figura 3 - Superfici e appezzamenti di pioppo per anno d'impianto.

Al fine di comprendere meglio gli impegni in termini di costi di tutti i fattori della produzione che la coltivazione di biomasse implica, è stato necessario elaborare i dati in modo da tenere separati gli impianti per anno di costituzione. I dati riportati in tabella 3 sono disposti in 4 colonne, la prima si riferisce al gruppo di 34 impianti messi a dimora nel 2010 per i quali sono stati rilevati tutti gli interventi effettuati nel corso del primo anno di crescita. Le due colonne successive riguardano i 45 impianti realizzati l'anno precedente (2009) e considerano le attività svolte nei primi due anni di crescita. Nella quarta colonna sono riportati i dati medi riguardanti i 12 appezzamenti messi a dimora nel 2008 che alla conclusione della seconda stagione vegetativa sono stati sottoposti al taglio tra dicembre del 2009 e aprile 2010.

Tabella 3 - Caratteristiche degli impianti di **pioppo** realizzati secondo il modello SRF.

pioppo		2010 1° anno	2009 1° anno	2010 2° anno	raccolta biennale
appezzamenti	N	34	45	45	12
superficie	ha	188,57	213,65	213,65	37,55
superf. media app.	ha	5,55	4,75	4,75	3,13
densità impianto	piante/ha	5.700	5.700	5.700	5.700
manodopera	h/ha	14,32	13,33	3,00	3,00
tempi macchina	h/ha	8,31	9,63	3,00	3,00
potenza impiegata	kWh/ha	887,86	1053,94	236,64	312,06
concimi N	kg/ha	87,10	58,21	80,00	-
concimi PK	kg/ha	93,31	85,52	-	-
erbicidi	kg/ha	3,61	3,20	-	-
insetticidi	kg/ha	0,50	1,63	1,00	-
costo coltivazione	€/ha	537,75	755,04	250,00	200,00
costo prodotti	€/ha	1.554,04	1.515,19	100,00	-
costo totale	€/ha	2.091,79	2.270,23	350,00	200,00

Figura 4 - Operazione di impianto di talee di pioppo.

I dati delle prime due colonne, si riferiscono a due gruppi di impianti i primi messi a dimora nel 2010 gli altri nel 2009, trattano ugualmente delle attività svolte nel primo anno per la messa a dimora delle piante e per le prime cure colturali necessarie per la buona riuscita dell'impianto. Dal loro confronto emerge una buona corrispondenza dei dati medi relativi ai tempi e ai prodotti impiegati; i minori costi totali (2.092 con-

tro 2.270 €/ha) che si evidenziano per gli impianti 2010 sono da imputare a minori potenze impiegate in termini energetici e a minori costi di coltivazione, forse legati anche alla maggiore dimensione delle unità colturali che consentono di ottimizzare l'impiego dei fattori della produzione (fig. 4). La voce "costo coltivazione" comprende la preparazione del terreno, le operazioni di impianto, cure colturali e di raccolta, costo delle macchine e della manodopera. Il solo costo di messa a dimora delle piante richiede mediamente 1.600 €/ha di cui circa 1.400 € soltanto per il materiale propagativo. A questo proposito il materiale per l'impianto è rappresentato da talee, porzioni di fusto lignificato di 20-30 cm di lunghezza e 2-3 cm di diametro, messe a dimora meccanicamente. Sono stati impiegate in questi impianti talee di pioppo appartenenti ai cloni "Monviso" e "AF2" in quantità di 5700 per ettaro, disposte in file come riportato nella tabella 1.

Le sole informazioni rilevate nel primo anno di coltivazione non aiutano certamente a stimare gli impegni globali in termini di costi dell'impianto per tutta la sua durata decennale. I dati che emergono nella terza colonna (tab. 3) indicano gli impegni della manodopera delle macchine e dei prodotti, quindi rappresentano i costi affrontati nel secondo anno vegetativo, relativi al gruppo degli impianti costituiti nel 2009. Sostanzialmente nel secondo anno di coltivazione i costi si riducono in modo rilevante rispetto al primo anno poiché implicano soltanto interventi di fertilizzazione e di lavorazione del terreno con erpicature per complessivi 350 €/ha. Nei casi fin qui esaminati non è stato rilevato alcun intervento di irrigazione. Per completare il quadro degli impegni che richiede la piantagione nel suo complesso è necessario conoscere accuratamente anche la fase di raccolta che si effettua ogni due anni. I dati riguardanti la raccolta di 12 appezzamenti, riportati nell'ultima colonna, mettono in rilievo l'elevata richiesta di potenza in termini energetici (26% del primo biennio) con un costo medio di 200 €/ha. I cantieri per la raccolta biennale della biomassa legnosa sono costituiti da una falcia trincia caricatrice di potenza 220-280 CV assistita da due trattrici con carro a grande capacità per il trasporto del cippato, generalmente presso il centro aziendale (Pari, 2007).

Produzioni

Al termine della seconda stagione vegetativa sono stati sottoposti al taglio 12 appezzamenti per complessivi 37,55 ettari messi a dimora nel 2008. Le operazioni di raccolta con la trinciatura integrale delle piante in campo mediante falcia trincia caricatrice (fig. 5) è stata eseguita nel periodo dicembre 2009 e aprile 2010. Gli appezzamenti interessati dalla raccolta, localizzati in Abruzzo e Toscana, hanno dimensioni molto variabili da 1 ha a 11 ha, mediamente di poco superiori a 3 ettari.

Le quantità di biomassa anidra rilevate risultano molto variabili tra gli appezzamenti, sono state rilevate infatti produzioni da 5 tss/ha/anno a oltre 16 tss/ha/anno, in media si sono ottenuti 8,55 tss/ha/anno.

Figura 5 - Raccolta biomassa pioppo.

Dal punto di vista varietale il clone "AF2" ha fornito migliori prestazioni rispetto all'altro clone ("Monviso") con produzioni maggiori del 10% rispetto alla media.

Costo di produzione e bilancio colturale

In generale non si dispongono ancora di dati sufficienti riguardanti le produzioni per i diversi turni di raccolta che una piantagione dovrebbe fornire, per cui è del tutto prematuro fare delle considerazioni finali sui costi di produzione e sui bilanci colturali. Tuttavia nel caso del pioppo, sulla base dei dati fin qui raccolti, si è tentata una simulazione impostando i seguenti parametri: produzioni medie di circa 9 tonnellate di sostanza secca per anno ottenute con 5 ceduazioni in 10 anni (90 tss/ha), in assenza di irrigazione, trasporto presso centro aziendale, con attualizzazione dei costi al saggio di interesse del 3% (tab. 4). In questo modo si è ottenuto un costo di produzione di circa 68 Euro per tonnellata di sostanza secca (34 €/t di biomassa al contenuto idrico del 50%).

Tabella 4 - Costi di produzione e utile di coltivazione della biomassa prodotta in 10 anni da piantagione di pioppo (SRF).

costo impianto, coltivazione, raccolta	€/ha	4.303,00
costo prodotti	€/ha	2.433,00
costi totali	€/ha	6.736,00
costi totali attualizzati *	€/ha	6.084,00
produzione	tss/ha/anno	9,00
produzione attesa (10 anni)	tss/ha	90,00
costo produzione	€/tss	68,00
prezzo biomassa	€/tss	90,00
VAN	€/ha	927,00
VAN/anno	€/ha/anno	93,00

(*) saggio interesse del 3%.

Se al quantitativo prodotto si attribuisce il prezzo di mercato della biomassa lignocellulosica di 45 €/t al 50% di contenuto idrico, equivalente a 90 €/tss, si ottiene un valore attuale netto (VAN) pari a 927 Euro per ettaro (93 €/ha/anno). Il valore attuale netto (VAN) consente di calcolare il valore attuale (in questo caso con saggio di interesse del 3%) di un investimento o di una serie di flussi di cassa (ricavi-costi) per ogni anno considerato che produrrà un certo beneficio in futuro. L'investimento risulta tanto più conveniente quanto più elevato è il suo valore attuale netto (Torquati, 2003).

Il prezzo di mercato riferito a impianti di pioppo per biomassa indicato sulla piazza di Pavia raggiunge 18 Euro per tonnellata con la "vendita delle piante in piedi"; il cippato (contenuto idrico del 50%) consegnato alla centrale di produzione energia può essere valutato fino a 45-50 € per tonnellata. È da tenere in considerazione che nel mercato del legno per l'industria del pannello, il cippato ottenuto dai residui della utilizzazione del pioppeto, consegnato allo stabilimento è valutato circa 35 € per tonnellata (C.C.I.A.A., 2010). Con queste prospettive di mercato e nelle condizioni produttive fin qui registrate, l'investimento per la produzione di biomassa è da considerare ai limiti della sostenibilità economica. Le produzioni rilevate in occasione del primo taglio biennale possono essere superate nei tagli successivi come hanno dimostrato prove condotte in impianti sperimentali (Facciotto, 2010), ma nello stesso tempo si deve tenere conte del possibile deperimento o la devitalizzazione delle ceppaie negli ultimi anni del ciclo colturale che possono determinare riduzione di produzione.

La produzione di biomasse da parte dell'azienda agricola può diventare sostenibile soltanto con opportuni contratti di coltivazione con le centrali di produzione energetica (Coaloa *et al.*, 2010, 2011). Tali contratti prevedono impegni del coltivatore e del collettore per una durata di 12 anni, e in base a particolari condizioni di fornitura, si possono ottenere prezzi anche superiori a 80 € per tonnellata (contenuto idrico 40%) per la biomassa prodotta in filiera corta.

Robinia

Figura 6 - Impianto fitto di robinia (SRF) prima della raccolta biennale.

Analisi dei costi

Gli impianti di robinia analizzati sono 11 per complessivi 55,22 ettari, suddivisi per anno di impianto come riportato in fig. 7: 2 impianti (2,50 ha) realizzati nel 2008, 5 (39,70 ha) nel 2009 e 4 (13,02 ha) nel 2010.

Per tutti gli impianti sono stati rilevati gli interventi colturali dalla preparazione del terreno, concimazione e messa a dimora delle talee, al diserbo e cure colturali post impianto. Relativamente ai primi impianti del 2008 si dispongono anche i dati riguardanti le operazioni di raccolta e quantità di biomassa prodotte al primo taglio biennale.

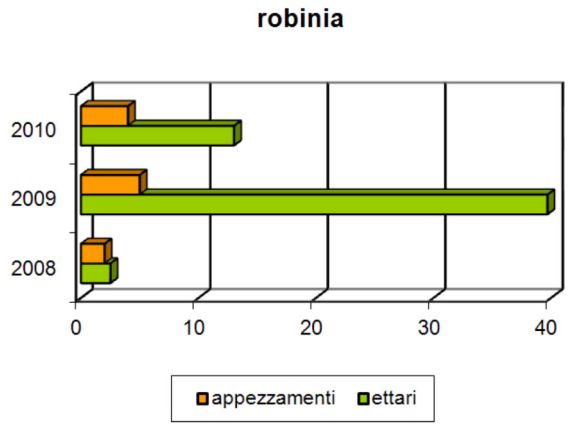


Figura 7- Superfici e appezzamenti di robinia per anno d'impianto.

Nella tabella 5 sono riportati i dati di sintesi relativi agli impianti di robinia. Nelle prime due colonne (2010/1°anno; 2009/1°anno) i dati si riferiscono a due gruppi di impianti messi a dimora nel 2010 e nel 2009, in cui sono state analizzate le attività svolte nel primo anno per la messa a dimora delle piante e per le prime cure colturali necessarie per la buona riuscita dell'impianto. Nonostante siano gruppi differenti per superficie complessiva e per dimensione media delle unità colturali, i costi complessivi risultano molto equivalenti. Molto distanti tra loro sono invece i costi di coltivazione e dei prodotti impiegati. In relazione al costo di coltivazione, il maggior costo degli impianti costituiti nel 2009 è da imputare principalmente ai più elevati tempi di manodopera e di tempo macchine (maggiori del 50%); la potenza energetica delle macchine per unità di superficie coltivata risulta doppia rispetto all'anno successivo. Il costo dei prodotti invece risulta decisamente superiore nel 2010. Il maggior costo in questo caso è da attribuire essenzialmente al costo del materiale di impianto in quanto è stato adottata una maggiore densità di impianto, da 3.600 piante per ettaro a 5.700 negli impianti realizzati nel 2010. Mediamente il costo del solo materiale d'impianto, costituito da piantine radicate, incide per 850 €/ha fino a 1.995 €/ha in base al costo unitario e al numero di piante.

Tabella 5 - Caratteristiche degli impianti di **robinia** realizzati secondo il modello SRF.

robinia		2010 1° anno	2009 1° anno	2010 2° anno	raccolta biennale
appezzamenti	N	4	5	5	2
superficie	ha	13,02	39,70	39,70	2,50
sup. media app.	ha	3,26	7,94	7,94	1,25
densità d'impianto	piante /ha	5.700	3.600	3.600	3.600
manodopera	h/ha	12,65	23,72	3,00	3,00
tempi macchina	h/ha	9,68	14,85	3,00	3,00
potenza impiegata	kWh/ha	930,50	1843,53	236,64	312,06
concimi N	kg/ha	-	55,43	-	-
concimi PK	kg/ha	-	105,98	-	-
erbicidi	kg/ha	2,24	4,93	-	-
insetticidi	kg/ha	-	-	-	-
costo coltivazione	€/ha	596,22	1.228,16	35,00	218,00
costo prodotti	€/ha	1.666,83	1.117,78	110,00	-
costo totale	€/ha	2.279,39	2.345,94	145,00	218,00

Le sole informazioni rilevate nel primo anno di coltivazione non aiutano certamente a stimare gli impegni globali in termini di costi dell'impianto per tutta la sua durata decennale. I dati che emergono nella terza colonna (tab. 5) indicano gli impegni della manodopera delle macchine e dei prodotti, quindi dei costi affrontati nel secondo anno vegetativo relativi al gruppo degli impianti costituiti nel 2009. I dati dei costi sono sostanzialmente molto meno rilevanti rispetto al primo anno poiché implicano soltanto interventi di fertilizzazione e di lavorazione del terreno con erpicature per complessivi 145 €/ha. Nei casi fin qui esaminati non è stato rilevato alcun intervento di irrigazione. Per completare il quadro degli impegni che richiede la piantagione nel suo complesso è necessario conoscere accuratamente anche la fase di raccolta che si effettua ogni due anni. dai dati riguardanti la raccolta di soli 2 appezzamenti, riportati nell'ultima colonna, si rileva un costo medio di 218 €/ha. I cantieri per la raccolta biennale della biomassa legnosa sono costituiti da una falcia trincia caricatrice di po-

tenza 220-280 CV assistita da due trattrici con carro a grande capacità per il trasporto del cippato, generalmente presso il centro aziendale.

Produzioni

Al termine della seconda stagione vegetativa sono stati sottoposti al taglio 2 appezzamenti per complessivi 2,50 ettari messi a dimora nel 2008. Le operazioni di raccolta con la trinciatura integrale delle piante in campo mediante falcia trincia caricatrice è stata eseguita nel periodo dicembre 2009 e aprile 2010.

Gli appezzamenti interessati dalla raccolta, localizzati in Emilia Romagna e Toscana, hanno dimensioni ridotte da 0,50 a 2,00 ha.

Le quantità di biomassa anidra rilevate risultano particolarmente variabili tra i vari appezzamenti, vanno da circa 6 tss/ha/anno a oltre 17 tss/ha/anno, in media si sono ottenuti 8,10 tss/ha/anno.

Costo di produzione e bilancio colturale

In generale non si dispongono ancora di sufficienti dati inerenti le produzioni per i diversi turni di raccolta che una piantagione dovrebbe fornire, per cui è del tutto prematuro fare delle considerazioni finali sui costi di produzione e sui bilanci colturali. Tuttavia nel caso della robinia, sulla base dei dati fin qui raccolti, si è tentata una simulazione impostando i seguenti parametri: produzioni medie di circa 8,50 tonnellate di sostanza secca per anno ottenute con 5 ceduazioni in 10 anni (85 ts.s./ha), in assenza di irrigazione, trasporto presso centro aziendale, con attualizzazione dei costi al saggio di interesse del 3% (tab. 6). In questo modo si è ottenuto un costo di produzione di circa 58 Euro per tonnellata di sostanza secca (29 €/t di biomassa al contenuto idrico del 50%).

Tabella 6 - Costi di produzione e utile di coltivazione della biomassa prodotta in 10 anni da piantagione di robinia (SRF).

costo impianto, coltivazione, raccolta	€/ha	3.619,00
costo prodotti	€/ha	1.807,00
costi totali	€/ha	5.426,00
costi totali attualizzati *	€/ha	4.897,00
produzione	tss/ha/anno	8,50
produzione attesa (10 anni)	tss/ha	85,00
costo produzione	€/tss	58,00
prezzo biomassa	€/tss	90,00
VAN	€/ha	1.725,00
VAN/anno	€/ha/anno	172,00

(*) saggio interesse del 3%.

Se al quantitativo prodotto si attribuisce il prezzo di mercato della biomassa lignocellulosica di 45 €/t al 50% di contenuto idrico, equivalente a 90 €/tss, si ottiene un

valore attuale netto (VAN) di 1.725 Euro per ettaro (172 €/ha/anno). Il VAN consente di calcolare il valore attuale (in questo caso con saggio di interesse del 3%) di un investimento o di una serie di flussi di cassa (ricavi-costi) per ogni anno considerato che produrrà un certo beneficio in futuro. L'investimento risulta tanto più conveniente quanto più elevato è il suo valore attuale netto.

Il prezzo di mercato riferito a impianti di pioppo per biomassa indicato sulla piazza di Pavia raggiunge 18 Euro per tonnellata con la "vendita delle piante in piedi"; il cippato (contenuto idrico del 50%) consegnato alla centrale di produzione energia può essere valutato fino a 45-50 € per tonnellata. È da tenere in considerazione che nel mercato del legno per l'industria del pannello, il cippato ottenuto dai residui della utilizzazione del pioppeto, consegnato allo stabilimento è valutato circa 35 € per tonnellata [9]. Con queste prospettive di mercato e nelle condizioni produttive fin qui registrate, l'investimento per la produzione di biomassa è da considerare ai limiti della sostenibilità economica, ma lievemente più positivo rispetto al pioppo.

La produzione di biomasse da parte dell'azienda agricola può diventare sostenibile soltanto con opportuni contratti di coltivazione con le centrali di produzione energetica [11], [12]. Tali contratti prevedono impegni del coltivatore e del collettore per una durata di 12 anni, e in base a particolari condizioni di fornitura, si possono ottenere prezzi anche superiori a 80 € per tonnellata (contenuto idrico 40%) per la biomassa prodotta in filiera corta.

Eucalitto

Figura 8 - Impianto fitto di eucalitto (SRF) dopo il secondo anno dall'impianto

Analisi dei costi

Gli impianti di eucalitto sottoposti ai rilevamenti sono 22 per complessivi 38,97 ettari, sono suddivisi per anno di impianto come riportato in fig. 9: 1 (1,50 ha) realizzati nel 2008, 2 (2,00 ha) nel 2009 e 19 (35,47 ha) nel 2010 (fig. 9).

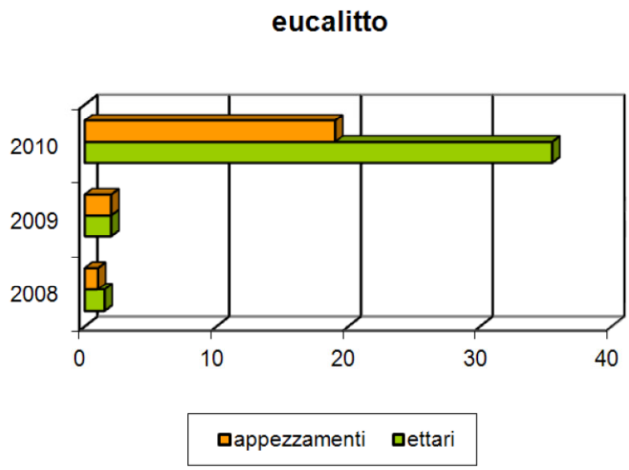


Figura 9 - Superfici e appezzamenti di eucalitto per anno d'impianto.

Tabella 7 - Caratteristiche degli impianti di eucalitto realizzati secondo il modello SRF.

eucalitto		2010 1° anno	2008/09 1° anno	2010 2° anno
appezzamenti	N	19	3	3
superficie	ha	35,47	3,50	3,50
sup. media app.	ha	1,87	1,17	1,17
manodopera	h/ha	14,49	18,27	6,00
tempi macchina	h/ha	11,33	9,94	6,00
potenza impiegata	kWh/ha	988,91	492,95	300,00
concimi N	kg/ha	43,57	40,00	100,00
concimi PK	kg/ha	112,95	0,00	-
erbicidi	kg/ha	1,87	4,14	-
insetticidi	kg/ha	0,00	0,50	-
costo coltivazione	€/ha	688,05	597,53	200,00
costo prodotti	€/ha	1237,93	1354,43	150,00
costo totale	€/ha	1925,98	1951,96	350,00

Nella tabella 7 sono riportati i dati di sintesi relativi agli impianti di eucalitto. Nelle prime due colonne (2010/1°anno; 2008/09/1°anno) i dati si riferiscono a due gruppi di impianti: 19 messi a dimora nel 2010 e 3 nel 2008 e 2009 (per semplicità gli impianti figurano insieme nella tabella). in entrambi i casi i dati illustrano le attività svolte nel primo anno per la messa a dimora delle piante e per le prime cure colturali necessarie per la buona riuscita dell'impianto. Nonostante siano gruppi differenti per numerosità per superficie complessiva e per dimensione media delle unità colturali, i costi complessivi risultano quasi coincidenti. Mediamente il costo del solo materiale d'impianto, costituito da piantine radicate, incide per 1.140 €/ha.

Le sole informazioni rilevate nel primo anno di coltivazione non aiutano certamente a stimare gli impegni globali in termini di costi dell'impianto per tutta la sua durata decennale. I dati che emergono nella terza colonna (2010/2°anno) indicano gli impegni della manodopera delle macchine e dei prodotti, quindi dei costi affrontati nel secondo anno vegetativo relativi al gruppo degli impianti costituiti nel 2009. Come nei casi del pioppo e della robinia, l'analisi dei costi evidenzia che sono sostanzialmente meno rilevanti rispetto al primo anno poiché implicano soltanto interventi di fertilizzazione e di lavorazione del terreno con erpicature per complessivi 350 €/ha. Per completare il quadro degli impegni che richiede la piantagione nel suo complesso è necessario conoscere accuratamente anche la fase di raccolta che si effettua ogni due anni.

Nel caso dell'eucalitto non si dispongono ancora sufficienti dati riguardanti la raccolta, ma si può ritenere che almeno per quanto concerne i costi della raccolta possano essere equivalenti a quelli ottenuti per il pioppo.

Considerazioni conclusive

I risultati che emergono dall'analisi dei dati relativi alle tre specie arboree considerate, mettono in evidenza sostanziali differenze, in termini di impegno finanziario iniziale, tra i gruppi di impianti della stessa specie costituiti in anni differenti. Gli impianti arborei di durata pluriannuale sono caratterizzati da impegni economici iniziali molto rilevanti che superano già nel primo anno il 30% dell'investimento globale (tab. 8).

I costi di realizzazione dell'impianto arboreo sono certamente consistenti ma possono variare in modo rilevante in funzione delle condizioni e delle caratteristiche della stazione (giacitura, tipo di terreno), dell'organizzazione e tipo di conduzione aziendale, dimensione dell'unità colturale, modalità di messa a dimora delle piante (meccanizzazione a bassa o alta capacità), densità d'impianto (piante per ettaro), andamento stagionale e incidenza degli attacchi parassitari...

Con gli elementi fin qui acquisiti che fanno riferimento ai primi anni di coltivazione (costituzione impianto, coltivazione successiva e raccolta) è possibile ipotizzare gli impegni finanziari necessari per mantenere la piantagione nelle condizioni ottimali fino al termine del ciclo colturale e produttivo in modo sostenibile. Lo scenario possibile contempla, oltre agli elementi considerati nei primi anni di coltivazione già sopra esaminati, interventi colturali per ogni anno seguente, e la raccolta per ogni

biennio. Oltre al ripristino del terreno a fine ciclo colturale, sono da prevedere interventi fitosanitari con insetticidi per il controllo degli insetti defogliatori e xilofagi in occasione di attacchi particolarmente gravi.

I valori medi relativi ai costi espressi in tabella 8 derivano da elaborazioni ponderate dei diversi impianti che risentono più o meno dei fattori sopra elencati.

Tabella 8 - Costi medi per a la durata dell'impianto.

	costo 1°anno €/ha	costi medi dal 2° al 10°anno €/ha/anno	totale costi €/ha	totale costi attualizzati €/ha
pioppo	2.187,00	505,50	6.736,00	6.084,00
robinia	2.329,00	344,11	5.426,00	4.897,00
eucalitto	1.928,00	425,56	5.758,00	5.193,00

I costi del primo anno comprendono la preparazione del terreno, materiali per l'impianto e le cure colturali post impianto. I costi medi per anno riferiti dal secondo al decimo anno, rappresentano delle stime calcolate in base alle osservazioni del secondo anno di crescita, comprendono attività colturali di fertilizzazione, interventi per contenimento delle infestanti e raccolta biennale della biomassa. I costi complessivi sono espressi come costi totali dalla sommatoria del costo del primo anno e dei costi per i nove anni successivi, e sono anche rappresentati secondo l'attualizzazione dei costi con saggio di interesse del 3% per una durata decennale dell'investimento.

Il costo medio annuale di coltivazione e complessivo più alto è raggiunto dal pioppo; la coltivazione della robinia si dimostra complessivamente nettamente inferiore nonostante sia più elevato il costo del primo anno dove incide il maggiore costo del materiale di propagazione.

Per quanto riguarda le produzioni di biomassa anidra si può rilevare che il pioppo ha fornito produzioni quasi del 10% superiori rispetto alla robinia.

Bibliografia

AA.VV. "Il libro bianco della pioppicoltura", Commissione Nazionale per il Pioppo. Supplemento al n. 26/2008 di Agrisole. p. 80, [It].

C.C.I.A.A. Pavia - http://cciaa-pv.zeus.it/cciaa-pv-salemerci/default.html, 30/11/2010.

Coaloa D., Grignetti A., "Arboricoltura a fini energetici: nuova opportunità per l'agricoltore?". Sherwood - Foreste ed Alberi Oggi (2010), 169, pp. 29-33

Coaloa D., Grignetti A., "Production, profitability and enviromental impact of crops for energy use in Italy". In Proceedings 19th European biomass Conference and Exibition. ICC Berlin, Germany. 6-10 June 2011. [En]. (2011), p. 4.

Facciotto G., Bergante S., Mughini G., Gras M.L.A., Nervo G. Tecnica e modelli colturali per cedui a breve rotazione. L'Informatore Agrario (2007), 63, pp. 38-42.

Facciotto G., Bergante S., Mughini G., Gras M.L.A. Presentazione del Sottoprogetto 2.3 di RI.SELV.ITALIA: biomasse legnose ad uso energetico ed industriale. La Produttività delle specie. In: Atti del Convegno 'Arboricoltura e biomasse legnose'. Portogruaro (VE), 29 novembre 2007, (2010) pp. 11-28.

Loi A. Come procede la riconversione degli ex zuccherifici. L'Informatore Agrario (2008), 44, 40-43.

Maso D., Pettenella D. Valutazione degli investimenti in arboricoltura da legno. Sherwood - Foreste ed Alberi Oggi (2006), 128, pp. 43-45.

Pari L. Short rotation di qualità, decisivi raccolta e stoccaggio. L'Informatore Agrario (2007), 63, pp. 43-45.

Torquati B. Economia gestionale dell'impresa agraria. Edagricole, Bologna. (2003), pp. 365.

F
Utilizzo e destinazione

1 - Utilizzo e destinazione delle colture energetiche legnose

Woody crops utilization for energy production

Giuseppe Altieri*, Francesco Genovese*, Antonella Tauriello*, Carmen D'Antonio*

Riassunto

Le colture energetiche, coltivazioni in grado di fornire substrato per la produzione di energia termica e/o elettrica, si distinguono in specie erbacee, di tipo annuale e poliennale, e legnose.

Quest'ultime specie sono quelle maggiormente deputate alla produzione di energia termica e/o elettrica, per combustione, gassificazione o pirolisi.

La combustione rappresenta attualmente il metodo più comune di conversione della biomassa legnosa e le caldaie rappresentano ormai una tecnologia matura, pur essendo necessario perfezionare alcuni aspetti legati alla proprietà delle ceneri derivanti dalla combustione di particolari tipologie di biomassa ed ai rendimenti ottenibili. Sul mercato sono in commercio caldaie innovative di piccola potenza ed alimentate con colture legnose di taglia medio-piccola da installare presso aziende agricole, o di taglia industriale da impiegare per il riscaldamento di complessi di edifici, industrie e per la creazione di reti di teleriscaldamento.

Per la produzione esclusiva di energia elettrica si hanno rendimenti molto bassi, che crescono con la cogenerazione (contemporanea produzione di energia elettrica e termica) o la trigenerazione (produzione contemporanea di energia elettrica, termica e frigorifera). Negli ultimi anni sono in corso di sviluppo una vasta gamma di tecnologie di conversione per applicazioni su piccola e media scala, per l'impiego di biomasse per la co-

* Università degli Studi della Basilicata, Facoltà di Agraria, Dipartimento Tecnico Economico per la Gestione del Territorio Agricolo-Forestale, Potenza.

generazione e di sistemi basati su cicli combinati di gassificazione o pirolisi, che necessitano però ancora di ulteriori ricerche volte all'ottimizzazione degli impianti.

Parole chiave: combustione, biomassa, cogenerazione, trigenerazione.

Abstract

Biomass is a fundamental source of renewable energy so, because of the increasing global awareness about environmental issues a great emphasis is being laid on the promotion of bioenergy.

Biomass may be used for energy production at different scales (large-scale power generation or small-scale thermal heating) and includes agricultural crops, agro forestry residues and wood.

Woody biomass, which is the most important renewable energy source if proper management of vegetation is ensured, has many benefits as follows: easily available over the world's surface, availability of conversion technologies, attractiveness for local, regional and national energy self-sufficiency, reduction in GHGs emissions; then it provides opportunities to local farmers and rural population with the aim of a sustainable development. In fact, while burning fossil fuels increases CO_2 emissions in the atmosphere, using biomass fuels contributes to lower CO_2 levels due to the absorption amount of growing plants.

Energy woody crops could be produced from fast growing trees using intensive management practices, and include poplar, willow, etc.

There are many ways to generate energy from these biomass, through direct fired boilers for thermal energy production, or associating turbines for the generation of electrical power (cogeneration systems), and adsorption plants for the production of cooling power (trigeneration systems).

Most of the plants for woody biomass to energy conversion use direct-fired system (or steam boiler), whereby biomass feedstock is directly burned to produce steam leading to generation of electricity.

Usually before to be burned biomass is dried, sized into smaller pieces and then pelletized or briquetted. Pelletization is a process of reducing the bulk volume of biomass feedstock by mechanical means to improve handling and combustion characteristics of biomass.

Woody energy crops biomass can play a great role in reducing the need for fossil fuels by making use of thermal conversion technologies. In addition, the increased utilization of biomass will be fundamental safeguarding the environment, generating new job opportunities, sustaining development and health improvements in rural areas. The development of efficient biomass handling technology, improvement of agro-forestry systems and establishment of small and large-scale biomass-based power plants can play a major role in rural development. Biomass energy could also aid in modernizing the agricultural economy.

Keywords: *woody crops, biomass firing, cogeneration and trigeneration.*

Introduzione

Con il termine biomassa si qualifica un insieme molto eterogeneo di materiali organici. Secondo il decreto legislativo n. 387/2003 per biomassa si intende: "*la parte biodegradabile dei prodotti, rifiuti e residui provenienti dall'agricoltura (comprendente sostanze vegetali ed animali) e dalla silvicoltura e dalle industrie connesse, nonché la parte biodegradabile dei rifiuti industriali ed urbani*". Uno dei vantaggi fondamentali delle biomasse consiste nella possibilità di produrle e convertirle indipendentemente dalla disponibilità di energia fossile (Di Renzo *et al.*, 1984; Sims *et al*., 2006).

Tra le varie forme di biomassa, le colture energetiche sono quelle coltivazioni in grado di fornire substrato per la produzione di energia termica e/o elettrica: si distinguono specie erbacee di tipo annuale (girasole, colza, kenaf, topinambur, sorgo), poliennale (cardo, miscanto, canna) e legnose (pioppo, salice, eucalipto, robinia) (Galli *et al*., 2004; Venendaal *et al.,* 1997).

Le colture energetiche danno la possibilità di risolvere problematiche di natura ambientale e di natura socioeconomica; infatti la loro diffusione può contribuire allo sviluppo di territori rurali, specialmente di zone marginali o di aree nelle quali le attività economiche sono limitate, a causa dell'abbandono progressivo delle stesse. È noto infatti che la messa in campo di colture a scopo energetico può costituire una fonte di reddito aggiuntiva rispetto alle attività agricolo forestali, ed al tempo stesso rendono disponibile una fonte energetica alternativa a quelle tradizionali di natura fossile (Galli *et al*., 2004; Sims *et al*., 2006).

Le colture energetiche di natura ligno-cellulosica sono generalmente destinate alla produzione di energia termica e/o elettrica, per combustione, gassificazione o pirolisi (Venendaal *et al*., 1997; McKendry, 2002). In genere la produzione esclusiva di energia elettrica ha rendimenti molto bassi, questi rendimenti crescono con la cogenerazione (contemporanea produzione di energia elettrica e termica) o la trigenerazione (produzione contemporanea di energia elettrica, termica e frigorifera) (Rentizelas *et al*., 2009). A causa della bassa densità energetica del materiale vegetale generalmente utilizzato, oltre che dei costi per l'allestimento dei cantieri di raccolta (Di Renzo *et al.,* 1987), del trasporto e dei pretrattamenti necessari, l'obiettivo finale è la qualità della biomassa (come contenuto in ceneri e minerali), la massimizzazione della sostanza secca e l'energia prodotta dalla conversione (Di Renzo *et al*., 1985; Mosier *et al*., 2005, Sims *et al*., 2006).

Negli ultimi anni sono state sviluppate una vasta gamma di tecnologie di conversione per applicazioni su piccola e media scala per l'impiego delle biomasse per la cogenerazione, e di sistemi basati su cicli combinati di gassificazione o pirolisi, che necessitano però ancora di ulteriori ricerche volte all'ottimizzazione degli impianti. Resta di particolare interesse l'evidenza che le emissioni di CO_2 per la generazione di un'unità di bioenergia sono da dieci a venti volte minori rispetto alle emissioni per la generazione da fonti combustibili fossili (McKendry, 2002; Mann *et al*., 2004;

Sims *et al*., 2006). Nell'ottica di ipotizzare impianti di conversione adatti alle colture energetiche è necessario che la biomassa ideale soddisfi una serie di requisiti in relazione alla facile reperibilità, all'uniformità qualitativa del materiale, ed alla possibilità di sostituire la biomassa senza eccessivi interventi impiantistici (McKendry *et al*., 2002; Sims *et al.,* 2006). Inoltre, per via della crescente consapevolezza ed informazione delle comunità sui problemi ambientali e sui potenziali rischi degli impianti di conversione energetica, è necessario che tanto le piattaforme di conversione quanto l'approvvigionamento e l'utilizzo delle biomasse godano di una sufficiente accettabilità sociale (Galli *et al*., 2004).

Caratteristiche del pellet e processo di produzione

Il prodotto finale che si ottiene dalle colture legnose è generalmente cippato di legno, fresco o essiccato, e pellet aventi varie caratteristiche sia dimensionali che per quanto riguarda il contenuto d'acqua espresso come umidità relativa percentuale (UR% o M%) (cfr. Tab.1 e Tab.2), e, sebbene gli studi effettuati in relazione all'impiego dei biocombustibili legnosi evidenzino la bassa convenienza energetica dell'impiego delle varie forme di legna (in pezzi, cippato o pellet) rispetto ai sistemi tradizionali con caldaie a metano o gasolio, è altresì vero che allo stato attuale le moderne caldaie sono in grado di raggiungere rendimenti intorno al 75% se alimentate con legna a pezzi o cippata, e fino al 90% circa se alimentare con pellet (Lazzarin *et al*., 2005).

Tabella 1 - Massa sterica dei principali biocombustibili solidi (modificata da Francescato *et al.,* 2009).

COMBUSTIBILI LEGNOSI	**UR%**	**SPECIE**	**MASSA STERICA (kg/ms)**
Legna da ardere 33 cm in catasta	15	faggio/abete	445/304
Cippato	30	faggio/abete	328/223
Corteccia di conifere	15		180
Segature	15		160
Trucioli di pialla	15		90
Pellet	8		620-650
COMBUSTIBILI DI ORIGINE AGRICOLA	**UR%**	**SPECIE**	**MASSA STERICA (kg/ms)**
Balle parallelepipede	15	miscanto	140
Triturato	15	miscanto	110
Granella	15	triticale	750

Tabella 2 - Umidità alla raccolta ed energia teorica ricavabile dalla combustione di alcune colture energetiche (modificata da Candolo *et al*., 2006).

Specie	Umidità relativa alla raccolta (%)	Energia teorica (GJ/ha)
Canna comune	55-70	240-600
Sorgo da fibra	55-70	330-507
Pioppo	50-60	160-450
Robinia	50-60	178-231

Il pellet presenta tra i suoi numerosi vantaggi: un'elevata densità apparente, superiore di circa sette volte a quella della segatura e tre volte rispetto a quella del cippato (circa 750-800 kg m^{-3}), che favorisce condizioni ottimali per il trasporto e lo stoccaggio. Si pensi che per lo stoccaggio presso l'utenza finale è sufficiente prevedere per ogni tonnellata di prodotto un deposito di poco inferiore a 2 m^3, molto inferiore rispetto agli altri prodotti ligno-cellulosici.

Il pellet inoltre è un materiale molto omogeneo, proprietà che unita alla granulometria ed alla bassa umidità (prossima al 10%) consente una movimentazione molto semplificata, con coclee, nastri trasportatori e sistemi pneumatici di aspirazione. Anche le caldaie per la combustione del materiale sfruttano tecnologie di combustione molto avanzate che, per effetto delle positive caratteristiche del materiale, comportano anche elevati rendimenti energetici (prossimi al 90%).

Inoltre il basso contenuto di umidità agevola lo stoccaggio evitando fenomeni di fermentazione e riduce i costi di trasporto, ciò è dovuto al fatto che per via del processo di estrusione che avviene durante la produzione, i pellets presentano la superficie laterale liscia e compatta e questo limita il loro carattere igroscopico rendendoli particolarmente durevoli.

Infine l'aspetto fondamentale riguardante l'impiego come combustibile del pellet è quello relativo all'elevato potere calorifico (circa 5 kWh kg^{-1}) che lo rende una fonte di calore particolarmente interessante tra i biocombustibili. Il pellet presenta un buon potere calorifico inferiore (PCI) anche nei confronti dei combustibili fossili, si consideri infatti che 1 kg di pellet equivale a circa 0,5 litri di gasolio, 0,5 m^3 di gas naturale e 0,6 kg di carbone. La formula per il calcolo del potere calorifico del legno (MJ/Kg) con un dato contenuto idrico (M% o UR%) è la seguente (pc_o è il potere calorifico del legno anidro che mediamente e con buona approssimazione risulta pari a 18,5-19 MJ kg^{-1} per le diverse specie legnose e 16,5-17,5 MJ kg^{-1} per le colture erbacee utilizzate come combustibili di origine agricola):

$$pc_M = \frac{pc_0 \times (100 - M) - 2.44 \times M}{100}$$

Per la fabbricazione del pellet si ricorre ad un processo basato sull'essiccamento del materiale e sulla sua successiva triturazione; segue poi la pellettizzazione, il raffreddamento del materiale e l'insacchettamento. Ad una riduzione della biomassa in scaglie, mediante la triturazione, segue l'allontanamento dei corpi estranei di natura ferrosa (con appositi magneti) che sarebbero causa di rotture meccaniche durante la trafilazione. La trasformazione in pellet avviene ad opera di macchine che basano il loro funzionamento sulla compressione del materiale legnoso, che viene spinto attraverso dei fori di estrusione (generalmente cilindrici) a valori di pressione intorno a 200 atmosfere.

Allo scopo di ottenere pellet con migliori caratteristiche qualitative in termini di consistenza e ridotto contenuto in polveri attualmente è disponibile anche una tecnologia innovativa (Steam Explosion) che prevede l'alimentazione della biomassa all'interno di una caldaia ove viene creata un'elevata pressione iniettando vapore saturo e successivamente un'improvvisa depressione che determina l'esplosione della biomassa e la sua riduzione in fibre con fuoriuscita della lignina intenerita, e quindi più facile da trasformare in pellet (Mosier *et al*., 2005, Ramos *et al*., 1992; Brownell *et al*., 1986).

Produzione di energia termica da biomassa

La combustione rappresenta attualmente il metodo più comune di conversione della biomassa e le caldaie rappresentano ormai una tecnologia matura, pur essendo necessario perfezionare alcuni aspetti legati alla proprietà delle ceneri derivanti dalla combustione di particolari tipologie di biomassa (colture erbacee) ed ai rendimenti ottenibili (Sims *et al.,* 2006).

I principali combustibili utilizzati in questo caso sono: a) legna in ciocchi o tronchetti, delle dimensioni variabili fra 100 e 1000 mm, essenze tipiche sono faggio, quercia, pioppo o le conifere, con almeno un anno di stagionatura all'aria, preferibilmente sotto una tettoia, in modo da garantire un contenuto di umidità inferiore al 25-30%; b) cippato, un combustibile derivato dalla sminuzzatura di legno derivante da scarti di lavorazione, potature, manutenzioni dei boschi, ecc., con dimensioni e contenuti di umidità variabili a seconda delle macchine cippatrici utilizzate e delle tipologie di legno e stagionatura adottate; c) pellet, cilindretti della dimensione di alcuni millimetri di legno essiccato e pressato, con il duplice vantaggio di avere un potere calorifico inferiore (PCI) e densità energetiche nettamente superiori e una notevole facilità di trasporto (cfr. Tab.1).

Lo sviluppo tecnologico delle caldaie si è focalizzato nell'utilizzo delle biomasse legnose come combustibile; a tal scopo sono state sviluppate diverse tecnologie di combustione che hanno permesso di sfruttare efficacemente ed efficientemente le potenziali tipologie di biomasse legnose disponibili sul mercato, le quali si differenziano, in particolare, per il contenuto idrico ed il contenuto in ceneri (McKendry, 2002).

Le principali caratteristiche qualitative delle biomasse legnose richieste dalle caldaie sono la pezzatura, il contenuto idrico e di ceneri. La Tab. 3 fornisce un quadro indicativo delle caratteristiche richieste dai generatori termici a legna e cippato.

Tabella 3 - Caratteristiche delle biomasse legnose richieste dai generatori termici a legna e cippato (modificato da Francescato *et al.,* 2009).

Tipo di caldaia	Classe di caldaia (kWt)	Griglia	Sistema di alimentazione	Pezzatura (P)	Contenuto idrico (M) come UR%	Ceneri % (A)
Manuale a legna	< 100	fissa	manuale	P330-1000	M20	-
Automatica a cippato	< 150	fissa	coclea	P16-45	M20-M30	A1.5
	150-1000	fissa/ semimobile	coclea	P16-45	M20-M40	A1.5-3.0
	>1000	mobile	spintore	P16-100	M30-M55	A3.0-10.0

Preliminarmente, prima della conversione in energia elettrica, in energia termica o in combustibili liquidi, le biomasse devono essere sottoposte ad una serie di pretrattamenti: innanzitutto è necessario ridurre il contenuto di umidità del materiale a disposizione, al fine di ottimizzare la successiva combustione. La riduzione di umidità può avvenire grazie all'essiccazione in regime naturale e forzando la circolazione di aria mediante sistemi a convezione forzata. Nel caso di essiccazione naturale, che può essere effettuata direttamente sulla materia prima (in campo) o su biomasse lavorate (nel caso di cippato), si raggiungono valori finali di umidità intorno al 20% partendo da valori iniziali prossimi al 45-50%, ma il contenuto finale di acqua dipende molto dal tempo di essiccamento della biomassa.

Per l'essiccamento di cippato proveniente dalle coltivazioni SRF (*Short Rotation Forestry*), che danno biomasse mediamente più umide, si ricorre ad uno stoccaggio all'aperto, con cumuli che raggiungo un'altezza intorno ai 6 metri; con tale sistema l'umidità può essere abbassata dal 50% al 30% circa. Per effetto delle perdite di sostanza secca ad opera della decomposizione naturale del materiale, bisogna tenere in conto anche perdite di peso intorno al 5% nei mesi iniziali di conservazione, e dell'1,5% dopo il terzo/quarto mese.

Nei sistemi a convezione forzata è necessario invece prevedere appositi sistemi (motori elettrici e ventilatori) che forzano il passaggio di aria calda attraverso il materiale legnoso, e ne favoriscono la rimozione dell'umidità, tuttavia con costi aggiuntivi per il processo.

Possiamo ricordare i sistemi a ventilazione forzata e con aria preriscaldata dall'energia solare. Si tratta di strutture con sistemi di ventilazione forzata di aria preriscaldata in un'apposita intercapedine sotto tetto. L'aria preriscaldata dal sole viene successivamente convogliata in un camino di ventilazione e forzata dal basso con un ventilatore all'interno dei cumuli del cippato (Francescato *et al.,* 2009).

Per quanto riguarda le caldaie, attualmente, a livello commerciale, si possono distinguere diverse tipologie di caldaia, distinte oltre che per alcuni aspetti costruttivi, principalmente per la potenza termica prodotta. Le caldaie di piccola taglia (0,1-0,5 kW) sono generalmente alimentate a cippato, pellets e residui vari di legno e sono in grado di soddisfare le esigenze di tipo civile ed industriale. Mediante l'accoppiamento a sistemi ORC (*Organic Rankine Cycle*) parte dell'energia termica può essere impiegata per la produzione di energia elettrica (Schuster *et al*., 2008) utilizzando un ciclo Rankine con espansione del fluido in una turbina accoppiata ad un generatore elettrico.

Per esigenze produttive maggiori esistono impianti sia di media taglia (0,5-1 MW) che di grossa taglia (1-50 MW). Negli impianti di grossa taglia, per la produzione di energia elettrica è preferibile la soluzione dell'accoppiamento con turbine a vapore.

Caldaie di piccola potenza

Sono disponibili commercialmente caldaie innovative a biomassa, di piccola potenza ed alimentate con colture legnose tra le quali anche il pioppo, di taglia medio-piccola da installare presso aziende agricole, o di taglia industriale (fino a svariati MW) da impiegare per il riscaldamento di edifici, industrie e per la creazione di reti di teleriscaldamento: la ditta Mawera (www.mawera.com) realizza caldaie alimentate con cippato di biomasse provenienti da colture energetiche legnose e nei modelli commerciali con potenza nominale fino a 1250 kW è possibile utilizzare legna con contenuto di acqua fino al 50%, come nei modelli prodotti da KWB (www.kwb.com), che produce caldaie di piccola taglia (fino a 300 kW) caratterizzate da soluzioni originali ed innovative relative alla griglia, alla camera di combustione ed al sistema di estrazione delle ceneri.

Il cuore della macchina è costituito da un sistema a griglia girevole, composto da un innesto laterale, una griglia girevole e un dispositivo di asportazione della cenere. La camera di combustione a ciclone, disposta verticalmente, è servita da un sistema di insufflazione di aria che crea una corrente rotante in grado di generare una combustione completa e bassissime emissioni, oltre ad una separazione ottimale delle particelle di cenere volatili.

Il sistema di combustione è ottimizzato grazie alla presenza di un sistema di regolazione costituito da una sonda Lambda, un sistema di regolazione della temperatura della camera, un sistema di regolazione del livello di riempimento e un sistema di controllo della combustione. Tale sistema integrato permette la combustione di materiale dalle caratteristiche eterogenee in termini di contenuto di umidità, granulometria e potere calorifico, che assicura prestazioni elevate anche in presenza di un alto contenuto di ceneri.

Caldaie di media-grossa potenza

Quando vi sia ampia disponibilità di sottoprodotti dell'industria del legno o di biomasse residuali di provenienza agricola (residui della vite, dell'olivo, di frutteti) l'impiego di caldaie di potenza medio-grande rappresenta la soluzione tecnologica preferibile. Allo stato attuale gli aspetti più critici del funzionamento di tali impianti sono quelli legati all'ottimizzazione della combustione ed al trattamento dei fumi. Una combustione ottimale si rende necessaria ai fini di una riduzione dei composti nocivi quali CO (monossido di carbonio) e di composti inorganici azotati (NO_x) e può essere ottenuta alimentando biomasse adatte al tipo di caldaia progettata.

Inoltre l'impiego di caldaie di grossa potenza può giustificare la realizzazione di reti di teleriscaldamento in grado di servire utenze domestiche o edifici civili di altra natura (piscine, scuole). La lunghezza delle reti di teleriscaldamento varia da qualche centinaio di metri (nei casi più semplici) fino a qualche km nel caso di reti più complesse.

Tra le varie tipologie di caldaie, gli impianti a cippato offrono la possibilità di raggiungere potenze termiche abbastanza elevate (dell'ordine di diversi MW) e risultano preferibili per il riscaldamento di grosse unità produttive (scuole, ospedali, unità abitative) mediante reti di teleriscaldamento.

I modelli di caldaia a griglia si distinguono in quelli di tipo fisso o mobile (in relazione alla tipologia della griglia). La griglia fissa è adatta alla combustione di biomassa legnosa a basso contenuto di umidità, mentre la griglia mobile è adatta ai combustibili più umidi (fino al 50%), anche di pezzatura grossolana.

Nell'ambito delle attività correlate al progetto FAESI sono stati condotti alcuni rilievi presso aziende produttrici di caldaie alimentate con biomasse legnose di varia tipologia (legno, cippato) al fine di rilevare i costi degli impianti commercializzati; tali dati sono stati anche confrontati con alcune "*review*" e ricerche condotte in altri territori nazionali e internazionali.

Attualmente si evidenzia che per caldaie alimentate a cippato, con capacità fino a 0,3 MW è necessario un investimento massimo di 160.000 € (circa la metà per una caldaia di potenza 0,15 MW) e disponibilità di biomassa variabile da ca. 40 t/anno per una caldaia 0,15 MW fino a 100 t/anno per una caldaia 0,3 MW. Per impianti medio grandi si arriva ad un investimento di ca. 350.000 € per 0,5 MW e fino a 500.000 € per capacità di 1 MW. Un impianto di 1 MW richiede inoltre la disponibilità di ca. 300 t/a di biomassa. Dai dati disponibili (anche in letteratura) si evince che al costo totale dell'investimento contribuiscono in proporzione diversa varie voci: il corpo caldaia (ca. 60% dell'investimento), i circuiti e le tubazioni annesse (20%), il sistema di estrazione (15%) ed il montaggio (5%).

Includendo anche le opere edili e nell'ipotesi di realizzazione di reti di teleriscaldamento si può stimare che i costi da sostenere per la realizzazione dell'impianto possano variare dai 1000 €/kW per impianti fino a 100 kW fino a ca. € 500/kW per impianti tra 0,1 ed 1 MW.

Si evince inoltre che i leader nel mercato delle caldaie a biomasse solide sono i costruttori svedesi, tedeschi ed austriaci, grazie al fatto che questi Paesi sono stati i primi a sviluppare le tecnologie dello sfruttamento energetico delle biomasse solide, sia per una elevata disponibilità di materia prima che per una maggiore sensibilità verso le tematiche ambientali e correlate allo sfruttamento delle risorse energetiche (Venendaal *et al*., 1997).

La tecnologia maggiormente sviluppata è senz'altro quella della caldaia a fiamma inversa, nelle quali l'aspetto particolare è legato alla posizione della camera di combustione che è situata al di sotto della zona di carico della legna (si possono caricare pezzi lunghi da 40-50 cm per caldaie fino a 50 kW e fino a 100 cm per caldaie di media-grossa taglia, dell'ordine delle centinaia di kilowatt). In tale modello di caldaia la fiamma è tale da non investire direttamente il combustibile, ed in tale modo si ottengono combustioni più efficaci e durature. Le moderne caldaie a fiamma inversa sono dotate poi di diverse tecnologie che le rendono più affidabili e sicure: generalmente è presente un sistema di ventilazione che forza l'aria di combustione all'interno della camera di combustione posto nella parte anteriore oppure nella parte posteriore per l'aspirazione dei fumi (con conseguente depressione in camera di combustione che richiama l'aria comburente). L'aria è sempre divisa fra aria primaria (che viene introdotta immediatamente sopra la griglia sulla quale è appoggiata la legna e consente l'avvio della combustione e la formazione di uno strato di braci che permettono la gassificazione del legno e la conseguente pirolisi con formazioni di gas combustibili, soprattutto CO e H_2) e secondaria (che viene immessa direttamente in camera di combustione dove avviene appunto la combustione con i gas).

La progettazione dei canali dell'aria e della camera di combustione è di fondamentale importanza ai fini di un corretto funzionamento della caldaia e per garantire il rispetto dei criteri di sicurezza dell'impianto. Infatti, l'eventuale presenza di turbolenze o temperature ottimali adatte allo sviluppo della fiamma richiedono la permanenza dei gas caldi nel focolare per un tempo sufficiente al completamento delle reazioni di combustione e quindi, in ultima analisi, per ottenere emissioni inquinanti ridotte al minimo. Nei modelli più evoluti il ventilatore di espulsione dei fumi è a giri variabili e vi è la presenza di una sonda lambda per il controllo del tenore di ossigeno nei fumi tramite l'azione sulle serrande dell'aria; ciò consente di ottimizzare la combustione anche durante i transitori di accensione/spegnimento ed i funzionamenti ai carichi parziali (pochi modelli hanno la modulazione continua, la maggior parte è monostadio o bistadio).

Le moderne caldaie a legna inoltre possiedono tutte uno scambiatore di emergenza: si tratta sostanzialmente di una serpentina di rame immersa nell'acqua di caldaia, con un lato allacciato ad una presa di acqua fredda e l'altro ad uno scarico. Lo scopo è quello di garantire la sicurezza in caso di situazioni di emergenza (interruzione dell'alimentazione elettrica o guasto della pompa di circolazione), in quanto questo tipo di caldaie, una volta accese, sono caratterizzate da una notevole inerzia termica (causata dalla presenza di una elevata quantità di combustibile al proprio interno). È

inoltre presente una valvola di sicurezza termica il cui elemento sensibile, costituito da un bulbo di mercurio, comanda un dispositivo meccanico che fa aprire la valvola quando la temperatura di caldaia si avvicina ai 100°C.

Un aspetto altrettanto importante è quello relativo ai criteri di dimensionamento e di installazione dell'impianto: in caso di sovradimensionamento della caldaia si osserva, oltre ad un inutile aumento dei costi fissi per l'investimento, un funzionamento non corretto della macchina. Tale malfunzionamento potrebbe manifestarsi con interruzioni (anche frequenti) della combustione, minore efficienza, maggiore produzione di inquinanti e ceneri, eccessivo sporcamento del camino e della caldaia, maggiori oneri per la pulizia della camera di combustione.

Un accorgimento molto utile per la risoluzione di questi problemi è quello di impiegare un serbatoio inerziale di accumulo al servizio della caldaia. Alcuni modelli più evoluti di caldaie a legna prevedono la regolazione, tramite microprocessore, della potenza erogata in funzione delle temperature rilevate a diverse altezze del serbatoio, in modo da evitare una troppo rapida saturazione dell'accumulo stesso. (Lazzarin *et al*., 2005).

Impianti di cogenerazione

Tali impianti permettono la generazione contemporanea di energia termica ed elettrica. Secondo la norma UNI 8887-1987 si intende per cogenerazione l'insieme delle operazioni volte alla produzione combinata di energia meccanica/elettrica e calore, partendo da una qualsiasi sorgente di energia. Il calore generato viene trasferito all'utenza finale in forme diverse (vapore, acqua calda, aria calda), e può essere destinato a usi civili di riscaldamento e/o raffreddamento o a usi industriali. Finora il principale ostacolo allo sviluppo dei sistemi cogenerativi è stato rappresentato dagli elevati costi iniziali di impianto per via della complessità di tali sistemi, se confrontati con i costi di altri sistemi tradizionali (Duvia *et al*., 2004).

I principali vantaggi associati agli impianti di cogenerazione consistono in un miglioramento dei rendimenti (diminuzione dei consumi a parità di potenza) ed in un minor impiego di combustibile a parità di energia ricavata, di contro per l'impiego di impianti di cogenerazione è necessario che sia presente contemporaneamente la domanda di energia termica e di energia elettrica in quanto l'elettricità non è accumulabile e il calore lo è solo per brevi periodi. Dal punto di vista logistico, le utenze termiche ed elettriche dovrebbero trovarsi nelle vicinanze dell'impianto di generazione.

Tra i sistemi maggiormente diffusi per la cogenerazione di energia termica ed elettrica vi sono quelli basati su sistemi ORC, turbine a gas o su motori endotermici (Drescher *et al*., 2007; Duvia *et al*., 2004; Schuster *et al*., 2008).

Nel caso di impianti di taglia medio-piccola (fino a 2 MW elettrici) possono essere impiegati sistemi basati sul riscaldamento di olio diatermico e macchina a ciclo ORC,

mentre nel caso di impianti a servizio di aziende che necessitano di produzione di vapore e di energia termica costante durante l'anno (ad esempio per un caseificio) l'energia elettrica può essere prodotta mediante produzione di vapore che alimenta una turbina. Le macchine ORC permettono una resa di conversione di biomassa in energia elettrica pari a 0,15-0,17, e presentano numerosi vantaggi operativi tra cui quello di garantire una produzione elettrica evitando la produzione di vapore (e dunque di tutti gli accessori connessi) ed eliminando la presenza di circuiti in pressione.

Nei sistemi con turbina a gas azionata dai fumi provenienti dalla camera di combustione la turbina costituisce il motore e le trasformazioni termodinamiche alla base del principio sono tipicamente quelle di un ciclo *Brayton*. Tali impianti sono dotati di elevata flessibilità grazie alla generazione indipendente di potenza termica e di potenza meccanica e permettono inoltre l'incremento della produzione di energia termica realizzando una post-combustione recuperando i gas di scarico in uscita dalla turbina (a contenuto di ossigeno molto elevato).

Un grosso svantaggio invece, dei sistemi basati sulle turbine a gas è la necessità di impiegare combustibili quali gas e oli leggeri per evitare la corrosione e l'abrasione delle palette della turbina.

Infine, nella tipologia di impianti dotati di motori endotermici (provvedono alla generazione di energia meccanica convertita poi in elettrica tramite apposito alternatore) si prevede l'utilizzo di motori ad accensione comandata oppure ad accensione spontanea, basati rispettivamente sul ciclo Otto o sul ciclo Diesel.

A livello commerciale sono diverse le soluzioni proposte per la cogenerazione termica ed elettrica, oggetto anche di numerosi studi bibliografici, che si distinguono per alcuni aspetti progettuali ed operativi: generatore elettrico, scambiatori di calore, strumentazione di regolazione e controllo dell'impianto, sistemi antinquinamento e di insonorizzazione.

Addirittura per taglie piccole (fino a 350 kW) sono attualmente disponibili impianti muniti di microturbina o anche celle a combustibile, ma entrambe le soluzioni presentano tuttora costi molto elevati (fino a 2500 €/kWe nel caso della microturbina e fino a 5000 €/kWe nel caso delle celle a combustibile). Per di più, nel caso delle microturbine, l'efficienza meccanica risulta relativamente bassa e la cogenerazione è limitata ad applicazioni a bassa temperatura (Drescher *et al*., 2007; Rentizelas *et al.*, 2009). Le celle a combustibile, alimentabili con idrogeno, propano, metanolo o gas naturale, permettono la produzione di energia termica per la produzione di acqua calda o di vapore a bassa od alta pressione.

Per taglie da 0,5 MW fino a 50 MW le turbine a gas presentano il vantaggio di produrre energia termica di elevata qualità, senza prevedere la presenza di sistemi di raffreddamento. Tuttavia la turbina a gas necessita di gas ad alta pressione e presenta bassa efficienza a basso carico (Schuster *et al*., 2008).

Per taglie fino a 250 MW anche i sistemi basati su turbina a vapor d'acqua consentono un'elevata efficienza accanto ad un'alta affidabilità e lunghi tempi di esercizio. Di contro il rendimento elettrico con questi sistemi è molto basso (0,10-0,30).

Trigenerazione

La trigenerazione consiste nella produzione contemporanea di energia elettrica, termica e frigorifera a partire da un unico combustibile ed unisce alle due funzioni della cogenerazione anche quella di condizionamento dell'aria e di raffrescamento. La produzione di energia frigorifera si basa generalmente sull'impiego di un ciclo frigorifero ad assorbimento in grado di trasformare l'energia termica in energia frigorifera, realizzando la trasformazione di stato del fluido refrigerante in combinazione con una sostanza utilizzata come assorbente.

Le macchine ad assorbimento, pur basando il loro funzionamento sulla presenza di un condensatore e di un evaporatore (come avviene in una comune macchina frigorifera a compressione di vapori saturi), sono di fatto prive del compressore, e presentano un assorbitore e delle pompe per la circolazione di una soluzione salina (acqua e bromuro di litio), oppure di una soluzione di ammoniaca ed acqua, che è maggiormente impiegata nelle applicazioni di refrigerazione industriale. Per via della bassa pressione presente a livello dell'evaporatore, la soluzione refrigerante assorbe calore dal fluido da raffreddare e si concentra, mentre il solvente evaporato viene recuperato nella parte rimanente del ciclo e nuovamente immesso nel sistema.

Un'altra tipologia di macchine frigorifere impiegate nei sistemi a trigenerazione è quello delle macchine ad adsorbimento ove il fluido di processo (acqua) in forma di vapore viene continuamente adsorbito e rilasciato da una sostanza adsorbente (gel di silice). Come nel caso delle macchine ad assorbimento anche in questo caso è presente un evaporatore che si trova nel lato di bassa pressione (0.01 bar, con temperatura di evaporazione intorno a 10-11°C) ed un condensatore (la temperatura di condensazione è superiore a quella dell'ambiente esterno). Il calore richiesto per il desorbimento dell'acqua può essere fornito a temperature intorno ai 50°C. Anche in queste macchine viene ad essere assente il compressore, che è sostituito da due camere delle quali una è a contatto con l'evaporatore ed una con il condensatore, e nelle quali si svolgono le principali trasformazioni termodinamiche tipiche di questo ciclo.

Gli svantaggi tipici di queste tipologie di macchine sono rappresentati oltre che da costi elevati (sono limitati i produttori di tali impianti), anche dal notevole ingombro e dal peso.

Teleriscaldamento

Di particolare interesse al giorno d'oggi è l'impiego di energia termica prodotta con fonti rinnovabili per il riscaldamento di edifici civili (scuole, piscine, palestre, condomini) mediante le cosiddette reti di teleriscaldamento.

Tale soluzione impiantistica consiste nella distribuzione del calore per il riscaldamento di edifici e comunque per impieghi a bassa temperatura (acqua calda per

uso igienico-sanitario) per mezzo di una rete di tubazioni interrate coibentate che connettono il generatore termico con le utenze finali attraverso uno scambiatore.

Il vantaggio delle reti di teleriscaldamento consiste sostanzialmente nell'offrire una fornitura diretta di acqua calda o surriscaldata in assenza di combustibili e di fiamme dirette e quindi con una maggior sicurezza derivante dall'assenza di rischi legati a incendi e fughe di gas.

Tra i vari esempi di impianti operativi in Italia si può citare quello del comune di Rosà, che consiste in un impianto di cogenerazione e teleriscaldamento a biomassa legnosa. Per la produzione della materia prima, proveniente dall'ambito locale, viene utilizzato cippato di pioppo da *Short Rotation Forestry*. L'impianto, di potenza termica installata pari a circa 3 MW, è al servizio di una rete di teleriscaldamento lunga circa due chilometri alla quale sono allacciate 15 utenze, e prevede un fabbisogno annuo stimato di biomassa pari a circa 1.200 tonnellate di cippato di legno.

Tabella 4 - Costi dell'energia primaria a confronto rispetto al cippato (modificata da manuale legna e cippato, AIEL).

Prodotto	MWh termici teorici	Prezzo €	Prezzo energia termica €/MWh
1 t cippato (M30, P45)	3.40	85	25.00
1 t cippato (M40, P45)	2.81	70	25.00
1 t cippatino (M20, P8)	3.98	120	30.15
1 t legna da ardere (M20, P330)	3.98	127	31.98
1 t pellet (M30) - sfuso	4.70	200	42.55
1 t sansa esausta - sfusa	4.86	114	23.46
100 m^3 metano 'servito'	1.00	70	70.00
1 t gasolio per serre (accisa 22%)	11.7	625	53.56
1 t gasolio da riscaldamento	11.7	950	81.41
100 litri GPL	6.82	1172	171.85

Un aspetto molto importante e fondamentale, quando si è di fronte alla scelta del sistema di riscaldamento e/o produzione energetica, è la valutazione del grado di penetrabilità dei combustibili legnosi nel mercato locale. È fondamentale conoscere i prezzi di mercato dei vari combustibili, sia legnosi che fossili caratterizzati da poteri calorifici differenti. Il parametro che permette di confrontare il prezzo dei combustibili è il costo dell'energia primaria, vale a dire il costo dell'energia che essi contengono prima della loro conversione in energia utile (cfr. Tab. 4) a ciò va applicato il rendimento di conversione per ciascuna tipologia di utilizzo: combustione in caldaia, azionamento motori endotermici, produzione di biogas per azionamento motori endotermici; e per ciascuna tipologia di conversione energetica desiderata: energia

meccanica, energia elettrica, energia frigorifera. Il costo energetico globale va quindi rapportato alla forma di energia finale che si vuole ottenere a cui occorre sommare il costo di impatto ambientale per ciascun combustibile utilizzato.

Conclusioni

Allo stato attuale le colture energetiche rappresentano non soltanto la soluzione in grado di fornire substrato per la produzione di energia termica e/o elettrica ma una prospettiva di lungo periodo per la risoluzione di problematiche di natura ambientale e di natura socioeconomica, in quanto capaci di contribuire allo sviluppo dei territori rurali, di zone marginali e di aree con limitate attività economiche. Inoltre l'impianto di colture a scopo energetico può costituire una fonte di reddito aggiuntiva rispetto alle attività agricolo forestali.

Attualmente le aziende produttrici di impianti di conversione energetica alimentati a biomassa forniscono diversi modelli di caldaia, differenziati per alcuni aspetti costruttivi (tipo di alimentazione, geometria della griglia, controllo dei parametri operativi, potenza termica prodotta). Le caldaie di piccola taglia (0,1-0,5 kW), che ben si prestano nell'ottica di un utilizzo nella piccola azienda agricola, sono generalmente alimentate a cippato, pellets e residui vari di legno e sono in grado di soddisfare le esigenze di tipo civile ed industriale.

Invece, laddove vi sia ampia disponibilità di sottoprodotti dell'industria del legno o di biomasse residuali di provenienza agricola (residui della vite, dell'olivo, di frutteti) l'impiego di caldaie di potenza medio-grande rappresenta la soluzione tecnologica preferibile, magari in associazione con reti di teleriscaldamento in grado di servire utenze domestiche o edifici civili di altra natura (piscine, scuole).

In ogni caso, nella scelta della caldaia più adatta ad una determinata applicazione vanno fatte anche considerazioni di carattere economico relative ai costi edili per la realizzazione di locali di deposito della biomassa che alimenta la caldaia, e per la realizzazione di un sistema di estrazione automatica.

Mediante l'accoppiamento a sistemi ORC (*Organic Rankine Cycle*) parte dell'energia termica può essere impiegata per la produzione di energia elettrica, o addirittura, per grandi impianti si può aggiungere la terza opzione che consente di operare in trigenerazione (produzione contemporanea di energia elettrica, termica e frigorifera), con impianti ad assorbimento o adsorbimento. In ogni caso tali impianti frigoriferi attualmente rappresentano soluzioni tecnologiche dai costi elevati (sono limitati i produttori di tali impianti), ma anche dal notevole ingombro e dal peso eccessivo.

Nel complesso, pur disponendo di tecnologie mature per la conversione energetica di biomasse legnose, la convenienza economica passa dalle considerazioni dei vari aspetti che concorrono alla determinazione dei costi fissi e dei costi di esercizio dell'impianto.

Si evidenzia che le caldaie a biomassa presentano elevati costi iniziali per l'acquisto della macchina e per la realizzazione delle opere termotecniche, sebbene i costi elevati dell'impianto si giustificano con la presenza di elementi di particolare raffinatezza tecnologica (scambiatori, sistemi di estrazione delle ceneri, sensori, filtri) e di una serie di accorgimenti tecnici che concorrono a definire la sicurezza complessiva dell'impianto.

Bibliografia

Amirante P., Di Renzo G.C. (1987). Experimental tests on a prototype machine for harvesting forestry trimming wastes", in Biomass Energy, Elsevier Applied Science.

Amirante P., Di Renzo G.C., Pellerano A. (1985) Prove sperimentali di bricchettatura di biomasse ligno-cellulosiche", Atti del convegno di Meccanica Agraria, Perugia.

Amirante P., Di Renzo G.C., Scarascia Mugnozza G. (1984) Interventi per il risparmio energetico e per l'utilizzazione delle energie rinnovabili in agricoltura, Riv. Tecnopolis.

Brownell H.H., Yu E.K.C., Saddler J.N. (1986) Steam explosion pretreatment of wood: effect of chip size, acid, moisture content, and pressure drop. Biotechnology and Bioengineering, 28, 792-801.

Candolo G., Meriggi, P. (2006). Le biomasse vegetali, tante energie da coltivare. L'informatore agrario, 1, 30-35.

Drescher U., Bruggemann D., (2007). Fluid selection for the Organic Rankine Cycle (ORC) in biomass power and heat plants. Applied thermal engineering, 27, 223-228.

Duvia A., Gaia M., (2004). Cogenerazione a biomassa mediante turbogeneratori ORC Turboden: tecnologia, efficienza, esperienze pratiche ed economia. Relazione del Convegno "Energia prodotta da scarti del legno: opportunità di cogenerazione nel distretto del mobile".

Francescato V., Antonini E., Zuccoli Bergoni L. (2009). Legno e cippato. AIEL – Associazione Italiana Energie Agroforestali.

Galli M., Pampana S. (2004). Le fonti rinnovabili per la produzione di energia: il ruolo delle biomasse. Quaderno ARSIA – Le colture dedicate ad uso energetico: il progetto Bioenergy Farm.

Lazzarin R.M., Minchio F., Noro M. (2005). Utilizzo delle biomasse nel riscaldamento civile ed industriale: aspetti energetici, tecnologici ed ambientali.

Mann M.K., Spath P.L. (2004). Biomass power and conventional fossil systems with and without CO_2 sequestration – comparing the energy balance, greenhouse gas emissions and economics. Technical Report National Renewable Energy Laboratory.

McKendry P. (2002). Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. Bioresource Technology, 83, 37-46.

Mosier N., Wyman C., Dale B., Elander R., Lee Y.Y., Holtzapple M., Ladisch M. (2005). Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass, Bioresource Technology, 96, 673-686.

Ramos L.P., Breuil C., Saddler J.N. (1992). Comparison of steam pretreatment of eucalyptus, aspen, and spruce wood chips and their enzymatic hydrolysis. Applied Biochemistry and Biotechnology, 34/35, 37-48.

Rentizelas A., Karellas S., Kakaras E., Tatsiopoulos I. (2009). Comparative techno-economic analysis of ORC and gasification for bioenergy applications. Energy conversion and management, 50, 3, 674-681.

Schuster A., Karellas S., Kakaras E., Spliethoff H. (2008). Energetic and economic investigation of Organic Rankine Cycle applications. Applied Thermal Engineering, 29, 1809-1817.

Sims R.E.H., Hastings A., Schlamadinger B., Taylor G., Smith P. (2006). Energy crops: current status and future prospects. Global Change Biology 12, 2054-2076.

Venendaal R., Jorgensen U., Foster C.A. (1997). European energy crops: a synthesis. Biomass and Bioenergy, 13, 3, 147-185.

G
Prospettive

1 - Prospettive delle colture arboree dedicate alla produzione di biomassa da energia

Perspectives of woody crops dedicated to biomass production for energy use

Mario Di Candilo*, Gianni Facciotto**

Riassunto

Fra le specie arboree, pioppo, salice, robinia ed eucalipto sono ritenute le più idonee per la realizzazione di colture ad uso energetico in Italia. Oltre ad evidenziare le buone caratteristiche qualitative della biomassa di queste specie per la conversione termochimica, particolare enfasi viene data alla loro capacità di svolgere importanti "servizi ambientali" quali: accumulo di carbonio nel terreno; difesa del suolo dall'erosione e dai dissesti idrogeologici; tutela della biodiversità; fitorimedio di terreni inquinati. Inoltre, vengono evidenziate le buone prospettive di diffusione del pioppo in particolare, grazie alla selezione di cloni ad hoc per la produzione di biomassa, alla messa a punto di idonei modelli colturali e al miglioramento dei cantieri di raccolta. Infine vengono sottolineati gli obiettivi da perseguire con la ricerca per dare alle coltivazioni arboree a turno breve maggiori prospettive di affermazione e diffusione.

Parole chiave: pioppo, salice, robinia, eucalipto, cedui a turno breve.

Abstract

Among woody species, poplar, willow, black locust and eucalyptus are considered well suited crops for energy use. They do not only possess favorable qualitative characteris-

* CRA – Centro di Ricerca per le Colture Industriali, Bologna.
* CRA – Unità di Ricerca per le Produzioni Legnose fuori Foresta, Casale Monferrato (AL).

tic for combustion, they also can provide important ecosystem services, notably: soil organic carbon accumulation, protection against soil erosion, increased biodiversity, phytoremediation of polluted soils. Moreover, we point out the good perspectives for diffusion of poplar, owing to: the selection of clones improved for biomass productivity; the well defined agronomic techniques, and the well tested machinery for harvesting. Finally, we underscore the research objectives to be pursued to foster the diffusion of short rotation coppice.

Keyword: *poplar, willow, black locust, eucalyptus, short rotation coppice.*

Le ricerche svolte in Italia nell'ultimo decennio hanno dimostrato che le essenze legnose di maggiore interesse per la produzione di biomasse da energia sono il pioppo, il salice, la robinia e l'eucalitto. Le prime due, date le loro maggiori esigenze idriche (almeno 700 mm per il pioppo e 1.000 mm per il salice), trovano la loro naturale collocazione sui terreni più freschi del Nord Italia. La robinia è indubbiamente meno esigente rispetto al pioppo e al salice, sia dal punto di vista idrico che nutrizionale e, pertanto, si adatta bene anche in zone collinari e montane (Gras, 1991). La robinia è una specie azotofissatrice e miglioratrice del terreno che non richiede concimazioni azotate, perciò presenta un bilancio energetico complessivo migliore delle altre specie. Inoltre, la pianta di robinia, per la sua elevata capacità pollonifera, si presta meglio del pioppo ai tagli ripetuti a distanze ravvicinate (2-3 anni).

L'eucalipto ha esigenze termiche piuttosto elevate, pertanto può essere coltivato solo nelle zone più calde del Centro-Sud Italia. In queste aree sembra possibile ottenere buoni risultati con le specie *Eucalyptus globulus* Labill. subsp *globulus, Eucalyptus globulus subsp. bicostata* (Maiden, Blakely & J.Simm.) J.B. Kirkp ed *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.; in particolare, con la provenienza di quest'ultima specie 'Lago Albacutya' che riesce a crescere anche in zone con scarsa piovosità e suoli salini (Mughini *et al*., 2007).

Fra le specie sopra citate quella che ha maggiori prospettive di diffusione è indubbiamente il pioppo. Attualmente la pioppicoltura nazionale si estende su una superficie di oltre 80.000 ettari, inoltre ci sono circa 7.000 ha di piantagioni a ciclo breve per biomassa da energia per la maggior parte di pioppo. Dell'intera superficie nazionale circa l'88% dei pioppeti è dislocato nelle regioni Piemonte, Lombardia, Veneto, Friuli V.G. ed Emilia-Romagna, dalle quali proviene il 95% del legname prodotto in Italia (ISTAT, 2005). Nel resto d'Italia sono riscontrabili modeste superfici pioppicole in zone di pianura e di fondovalle collinare, soprattutto in Toscana, nel Lazio, in Campania e Calabria. La Pianura Padana è indubbiamente la macroarea più idonea alla coltivazione, ed è proprio in tale ambiente che la pioppicoltura da energia ha buone prospettive di diffusione. Il Sud della Penisola in generale è poco adatto alla realizzazione delle colture arboree in SRF su larga scala a causa del decorso primaverile-estivo par-

ticolarmente siccitoso che non permette di realizzare produzioni soddisfacenti senza il supporto dell'irrigazione, il che implica maggiori costi di produzione; inoltre, la forte polverizzazione aziendale non si presta alla realizzazione di colture estensive e all'impiego di macchine operatrici di grosse dimensioni. In zone particolari delle varie regioni si possono comunque trovare condizioni pedoclimatiche idonee che consentono di ottenere buone produzioni ad esempio negli ambienti pedemontani calabresi con pioppi e robinia e nelle altre regioni con eucalitto.

La intensa attività di ricerca e sperimentazione svolta in questi ultimi anni nel nostro Paese sulle colture legnose dedicate, note come cedui a turno breve o come Short Rotation Forestry (SRF) hanno permesso di mettere a punto i più idonei modelli colturali (densità e sesti d'impianto, durata dei turni, durata economica delle coltivazioni, ecc.) e di ottenere varietà clonali ad hoc per la produzione di biomassa lignocellulosica da energia (Facciotto *et al*., 2008). Di fatto, in Italia sono già iscritti al Registro nazionale dei Cloni Forestali, appositamente per la biomassa e quindi commercializzabili, nove cloni di pioppo (Marte, Saturno, Pegaso, Sirio, Monviso, AF2, AF8, Orion ed Imola); tra questi i più promettenti sembrano, 'AF2', 'AF8', 'Monviso' e 'Orion', altri sono in corso di sperimentazione (Facciotto *et al*., 2006). Mentre con i cloni della pioppicoltura tradizionale si ottenevano produzioni medie di 6-10 t ha^{-1} $anno^{-1}$ di sostanza secca, l'introduzione di cloni appositamente selezionati, con elevate capacità di crescita, ricaccio e resistenza alle principali avversità, ha consentito un sostanziale incremento produttivo con produzioni medie di 12-15 t ha^{-1} $anno^{-1}$, fino a punte di 20 t ha^{-1} $anno^{-1}$ di sostanza secca in terreni di buona fertilità (Mareschi *et al*., 2005; Minotta *et al*, 2007; Nervo e Facciotto, 2008; Paris *et al*., 2011).

D'altra parte, l'incremento delle conoscenze agronomiche ha dimostrato che la scarsa fertilità del terreno e la scarsa cura della coltivazione non si conciliano con le aspettative di redditività. Per ottenere risultati soddisfacenti, oltre alla scelta dei migliori cloni, è fondamentale: i) utilizzare terreni in buono stato e dotati di buona fertilità; ii) eseguire con cura e tempestività la preparazione del terreno e le operazioni colturali; e iii) adottare un'adeguata meccanizzazione dall'impianto alla raccolta.

La tendenza attuale è quella di andare verso un allungamento dei turni di raccolta (triennale o quinquennale), con parallela riduzione della densità d'impianto. L'adozione di turni di ceduazione più lunghi consente prima di tutto una minore incidenza dei costi di raccolta, in secondo luogo allunga il ciclo di vita dell'impianto (minore mortalità delle ceppaie), migliora la qualità della biomassa (per riduzione dell'incidenza della corteccia, notoriamente più ricca di minerali rispetto al legno) ed il bilancio energetico della coltura. Tale modello colturale è stato reso possibile grazie alla messa a punto di prototipi e/o testate di macchine falciatrinciacaricatrici in grado di tagliare anche piante/polloni con diametro basale superiore ai 10-12 cm.

Sotto il profilo qualitativo va evidenziato che il pioppo produce una biomassa di primissima qualità, contraddistinta da un basso contenuto di nutrienti: è noto infatti che un elevato contenuto di minerali è un cattivo indice di qualità ai fini della combustione, dato che incrementa il contenuto di ceneri, riduce il potere calorifico della

biomassa ed aumenta le emissioni nocive (Jorgensen and Schelde, 2001). Va pure sottolineato che le biomasse legnose, rispetto alle erbacee, si contraddistinguono per un maggiore contenuto di lignina ed un minore contenuto in emicellulosa; questo duplice fattore comporta, oltre ad un maggiore potere calorifico della biomassa legnosa, anche una migliore attitudine alla pellettizzazione, in quanto è la lignina l'agente legante delle varie particelle di biomassa nei pellets (Picco, 2007).

Particolari di una coltivazione di pioppo da biomassa ad uso energetico.

Oltre a produrre biomassa di buona qualità ad uso energetico le arboree in SRF, analogamente alle colture di specie erbacee perennanti (canna comune, miscanto, panìco), possono fornire una serie di "servizi ambientali". Il più importante di questi risiede nella loro capacità di immobilizzare il carbonio nel terreno (Ceotto *et al*., 2008; Boccasile, 2008) e nelle biomasse. Di fatto, queste coltivazioni non richiedono lavorazioni annuali del terreno, inoltre rilasciano sulla superficie del suolo un'abbondante strato di foglie, pertanto possono sicuramente costituire dei depositi di carbonio molto più efficienti rispetto a qualunque sistema colturale basato su specie annuali. Ciò anche in virtù del fatto che queste colture accumulano carbonio negli organi di riserva delle piante non soggetti a raccolta (ceppaie e radici). Studi eseguiti dall'European Commission Joint Research Center di Ispra su impianti di pioppo in SRF in Lombardia hanno evidenziato sequestri di CO_2 pari a 15.2 t ha^{-1}, in coltivazioni di un anno, e di 26.4 t ha^{-1} in coltivazioni di 2 anni; valori che sono destinati ad aumentare, poiché la concentrazione di CO_2 atmosferica sta aumentando, favorendo così la fotosintesi, il sequestro della CO_2 e la produttività (Scarascia-Mugnozza *et al*., 2006). La minore esigenza di lavorazioni favorisce l'incremento del contenuto di sostanza organica nei terreni (Hansen, 1993; Makeschin, 1994; Tolbert *et al*., 2002; Hoosbeek *et al*., 2006). Smith *et al*. (2000) hanno calcolato che si può ottenere un incremento annuo sul contenuto in sostanza organica nel terreno dell'1.17% passando da un terreno arativo ad una produzione in SRF. L'aumento della sostanza organica determina, a sua volta, effetti positivi sulla struttura del terreno, sulla capacità idrica di campo, sulla disponibilità e trattenimento dei nutrienti da parte del terreno stesso (Bullard and Metcalfe, 2001).

Particolari di una coltivazione di Salix alba ad uso energetico.

Altre importantissime funzioni svolte dalle colture arboree in SRF riguardano la difesa del suolo dall'erosione e dai dissesti idrogeologici (Ball *et al*., 2005). Esse, tramite la coltre vegetativa (spessa ed estesa per buona parte dell'anno) e l'azione colonizzatrice svolta dagli apparati radicali, non disturbati dalle lavorazioni, offrono una eccellente difesa del terreno contro l'effetto battente delle piogge, smottamenti, fenomeni erosivi e conseguente perdita di fertilità.

Inoltre, le SRF possono offrire un notevole contributo alla tutela della biodiversità (AA.VV., 2006b). Di fatto, le coltivazioni di queste piante offrono protezione e rifugio a numerose specie di uccelli, anfibi e rettili, tutelandone la sopravvivenza, messa a rischio dai sistemi agricoli intensivi, basati su colture a ciclo annuale (Green *et al*. 2005). Al riguardo, è importante sottolineare che la raccolta della biomassa delle colture arboree in SRF avviene normalmente durante l'inverno, periodo in cui gli uccelli non nidificano. Queste colture consentono, fra l'altro, l'utilizzo di superfici inadatte alla coltivazione di tipo alimentare: il pioppo ed il salice, ad esempio, si prestano ad essere coltivati in terreni non idonei ai cereali, poiché periodicamente inondati (golene dei fiumi). Esiste poi una potenziale utilizzazione di queste specie, finora poco esplorato in Italia, che merita di essere approfondito; ci si riferisce alla coltivazione in zone inquinate da metalli pesanti e sostanze organiche. Si sente spesso parlare di alimenti inquinati da diossina, di tracce di sostanze tossiche negli alimenti come latte e carni. Ebbene, le zone limitrofe a stabilimenti industriali inquinanti, a discariche o inceneritori di rifiuti, a depuratori di acque derivanti da scarichi urbani o industriali, a strade ed autostrade con elevata intensità di traffico, alle linee ferroviarie, potrebbero essere destinate ad impianti arborei in SRF ad uso energetico. Il pioppo, unitamente ad altre Salicaceae, trova ampie possibilità d'applicazione per il fitorimedio, in virtù della sua rapidità d'accrescimento e degli alti tassi di traspirazione, che si traducono in interessanti quantitativi di contaminanti assorbiti nella biomassa (Scarascia-Mugnozza e Paris, 2008). In Svezia, USA, e Australia il pioppo è largamente impiegato nelle pratiche di fitodepurazione dei reflui provenienti dalla depurazione degli scarichi civili e per l'assorbimento dei nitrati e dei metalli pesanti. In Serbia e Montenegro sono stati condotti studi sull'utilizzo di tale pianta nella fi-

toestrazione del cadmio, in Nuova Zelanda per quella del boro. Risultati interessanti sono stati ottenuti anche con l'eucalitto per la fitoestrazione di arsenico (Mughini *et al.*, 2007b).

E di tutta evidenza che eventuali residui di sostanze tossiche e/o la presenza di batteri patogeni per l'uomo diventano di trascurabile importanza per biomasse destinate alla combustione piuttosto che ad entrare nella catena alimentare.

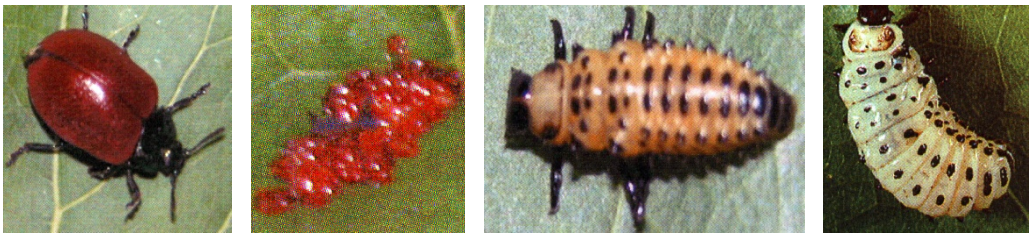
Altro fatto importante è che le colture arboree ad uso energetico diminuiscono la pressione antropica sui boschi naturali, consentendo a questi ultimi di esaltare la propria funzione di serbatoi di carbonio.

Infine, non va trascurato il fatto che talune essenze legnose quali robinia, salice ed eucalipto, oltre ad essere adatte alla produzione di biomasse, sono importanti specie mellifere, perciò se allevate con intervalli di taglio in grado di consentire la fioritura (5-6 anni) possono fornire un importante contributo alla produzione di miele e allo sviluppo dell'entomofauna impollinatrice. Dunque, in aggiunta all'interesse economico derivante dalla produzione commerciale di miele e prodotti affini (polline, propoli, pappa reale) è importante sottolineare che la produzione di polline e nettare, e quindi la presenza di una catena alimentare basata su insetti utili, costituisce un servizio ambientale di grande valore ecologico. Tali servizi ambientali dovrebbero tradursi in riconoscimenti economici a favore dei produttori di biomasse (crediti di carbonio, ecc).

Particolari di una coltivazione di Robinia pseudoacacia ad uso energetico.

Attualmente per il pioppo, più di qualsiasi altra specie poliennale da biomassa, è disponibile l'intero pacchetto tecnologico necessario per la realizzazione della coltivazione a fini energetici; tuttavia, per aumentarne le prospettive di diffusione è fondamentale il continuo supporto della ricerca che si dovrà concentrare prioritariamente sui seguenti obiettivi: i) selezionare nuove varietà più produttive di quelle presenti oggi, con buone capacità di adattamento a condizioni ambientali non ottimali, con maggiori resistenze ai parassiti, in particolare alla bronzatura fogliare, indotta da *Marssonina brunea*, alle ruggini (*Melampsora larici-populina* e *M. allii-populina*) e, soprattutto, agli insetti (Allegro *et al*., 2008). Fra questi ultimi quelli più temibili so-

no rappresentati dal punteruolo del pioppo (*Cryptorhynchus lapathy*), dall'afide lanigero (*Phloeomyzus passerinii*), dalla crisomela (*Chrysomela populi*) e dall'ifantria americana (*Hyphantria cunea*). I primi due possono provocare danni molto gravi come la rottura del fusto e la morte della pianta; le larve di *Chrysomela populi* e di *Hyphantria cunea*, invece, possono determinare severe defogliazioni, compromettendo lo sviluppo dei polloni. L'introgressione di resistenze ai patogeni è di fondamentale importanza anche in considerazione del fatto che qualsiasi tipo di lotta chimica troverebbe difficoltà difficilmente superabili per motivi sia di ordine tecnico che economico; ii) sotto il profilo agronomico occorre puntare su tecniche semiestensive e sostenibili, caratterizzate da un ridotto impatto ambientale; iii) inoltre, è necessario ottimizzare le fasi di raccolta e della logistica della filiera.



Chrysomela populi: adulto, uova e stadi larvali. Le larve di questo insetto possono provocare gravi defogliazioni sul pioppo.

Bibliografia

AA.VV., 2006a. Energia dalle biomasse. Le tecnologie, i vantaggi per i processi produttivi. I valori economici ed ambientali. Coordinamento scientifico: Jodice R. and E. Tomasinsig. A cura di: AREA Science Park – Progetto Novimpresa. Trieste. N. 24.

Allegro G., Gennaro M., Giorcelli A., 2008. Evoluzione della situazione fitosanitaria. In "Il libro bianco della pioppicoltura". Agrisole, Suppl. al n. 26: 28-30.

Ball J. Carle J., Del Lungo A., 2005. Contribution of poplars and willows to sustainable forestry and rural development. Unasylva, 221(56): 3-9.

Boccasile G., 2008. Il pioppo per la biomassa. In: "Il libro bianco della pioppicoltura. Agrisole, Suppl. al n. 26: 69-70.

Bullard M. and P. Metcalfe, 2001. Estimating the energy requirements and CO2 emission from production of the perennial grasses miscanthus, switchgrass and reed canary grass. ADAS Colsulting Ltd. Crown, 2001.

Ceotto E., Librenti I., Di Candilo M., 2010. Can bioenergy production and soil carbon storage be coupled? A case study on dedicated bioenergy crops in the Low Po Valley (Northern Italy). Proceedings of the18th European Biomass Conference, 3-7 May 2010, Lyon, France, 2261-2264.

Facciotto G., Di Candilo M., Vergante S., Lioa C., Diozzi M., 2008. Poplar clones for biomass production in italian SRC. Proceedings of 16th European Biomass Conference & Exhibition, 2-6 June, Valencia, Spain: 170-173.

Facciotto G., Giorcelli A., Vietto L., Allegro G., Castro G., Picco F., 2006. Nuovi cloni di pioppo. Agricoltura 6: 71-78.

Gras, M. A., 1991. Robinia pseudoacacia L. Annotazioni da una ricerca bibliografica. SAF Roma.

Green R.E., Cornell S.J., Scharlemann J.P.W., Balmford A., 2005. Farming and the Fate of Wild Nature, Science 308: 550–555.

Green R.E., Cornell S.J., Scharlemann J.P.W., Balmford A., 2005. Farming and the Fate of Wild Nature, Science 308: 550–555.

Hansen E.A., 1963. Soil carbon sequestration beneath hybrid poplar plantations in the north central United States. Biomass and Bioenergy, 5: 431-436.

Hoosbeek M.R., Li Y., Scarascia-Mugnozza G., 2006. Free atmospheric CO2 enrichment (FACE) increate labile and total carbon in the mineral soil of a short rotation Poplar plantation. Plant and Soil, 281: 247-254.

ISTAT, 2005. Annuario statistico italiano, Roma.

Jorgensen U. and Schelde K., 2001. Energy crop water and nutrient use efficiency. The international Energy Agency. IEA Bioenergy Task 17, Short Rotation Crops. (www.p2pays.org/ref/17/16275.pdf).

Makeschin F., 1994. Effects of energy forestry on soils. Biomass and Bioenergy, 6: 63-79.

Mareschi L., Paris P., Sabatti M., Nardin F., Giovanardi R., Manazzone S., Scarascia Mugnozza G. 2005. Le nuove varietà di pioppo da biomassa garantiscono produttività interessanti. L'Infor-matore Agrario, 18: 49-53.

Minotta G., Facciotto G., Bergante S., Frenguelli L., Giovanardi R., Gras M., Maggiore T., Mughini G., Muzzi E., Bonari E., Seufert G., Zenone T., 2007. Ongoing researches on the productivity of SRF plantations in Italy. In proceeding of '15th European Biomass Conference & Exhibition'. 7-11 May 2007. Berlino, Germania: 15-18.

Mughini G., Alianiello F., Mascia M.G., Aromolo R., Benedetti A., Gras M.A., Facciotto G., 2007b. Short rotation forestry for biomass production and phytoremediation of soils contaminated by arsenic. In: Proceedings of 15th European Biomass Conference & Exibition, Berlin, Germany 7-11 May 2007: 709-710.

Mughini G., Gras M.A., Facciotto G., 2007. Eucalyptus clones selection in Central - South Italy for biomass production. In: Proceedings of 15th European Biomass Conference and Exhibition. Berlin, Germany 7-11 May 2007: 711-713.

Nervo G., Facciotto G., 2008. Bioenerlegno Project. In: Proceedings of the '16th European Conference & Exhibition, From Research to Industry and Markets' 2-6 June 2008 Valencia, Spain: 630-635.

Paris P., Mareschi L., Sabatti M., Pisanelli A., Ecosse A., Nardin F., Scarascia-Mugnozza G., 2011 Comparing hybrid Populus clones for SRF across north-

ern Italy after two biennial rotations: Survival, growth and yield. Biomass and Bioenergy. 35, 4: 1524-1532.

Picco D., 2007. Il progetto Biocolt – Colture energetiche per il disinquinamento della laguna di Venezia - Analisi conoscitiva. http://biocolt.venetoagricoltura.org/

Scarascia Mugnozza G. e Paris P., 2008. Nuovi impieghi ambientali per il pioppo. In "Il libro bianco della pioppicoltura". Agrisole, Supplemento al n. 26: 44-46.

Scarascia-Mugnozza G., Calfapietra C., Cuelemans R., Gielen B., Cotrufo M.F., De Angelis P., P. Goildbod D. Hoosbeek MR., Kull O., Lukac M., Marek M., Maglietta F., Polle A., Raines C., Sabatti M., Anselmi N. and Taylor G., 2006. response to elevated CO2 of a Short Rotation Multispecies polar plantation: the POPFACE/EROFACE Experiment. Ecological Studies, Vol. 187: 173-195.

Smith P., Powlson D.S., Smith J.U., Falloon P. and Coleman K., 2000. Meeting Europe's climate change commitments: quantitative estimates of the potential carbon mitigation by agriculture. Global Change Biology, 6: 525-539.

Tolbert V.R., Todd Jr. D.E., Mann L.K., Jawdy C.M., Mays D.A., Malik R., Bandaranayake W., Houston A., Tyler D. and D.E. Pettry, 2002. Changes in soil quality and below-ground carbon storage with conversion of traditional agricultural crop lands to bioenergy crop production. Environmental Pollution, 116: 97-106.

II. Colture erbacee annuali

A
Colza, girasole, Brassica carinata

1
Botanica, biologia, genetica

a - Classificazione e risorse genetiche del colza

Andrea Del Gatto*

Origine e classificazione

Il colza (*Brassica napus* L. var *oleifera* Metzg) è una dicotiledone appartenente alla famiglia delle Brassicacee che deriva il suo nome dal fiammingo *koolzaad*, ossia seme di rapa. Il suo areale di origine è ancora controverso: alcuni lo individuano nella Regione euro-asiatica (testimonianze della sua coltivazione sono state reperite in India, riportate in scritti sanscriti risalenti al 2.000-1.500 a.C); altri lo collocano nel Bacino del Mediterraneo come coltura finalizzata alla produzione di olio per illuminazione e per uso alimentare, da dove per il perdente confronto con il più radicato olivo ha indirizzato la sua espansione verso altri paesi.

Le zone di principale produzione sono dislocate principalmente in Asia (India, Cina, Pakistan), dove si concentra circa il 50% della produzione mondiale di olio, mentre in Europa ha avuto una forte espansione nel corso degli anni ’80 concentrandosi prevalentemente nella fascia continentale (Germania e Francia detengono più del 70% della produzione Comunitaria, seguite da Polonia e Gran Bretagna).

Negli ultimi anni la coltivazione del colza sembra aver ridestato nuovo interesse negli operatori del mondo agricolo che ha fatto riscontrare, nel nostro paese, un inversione di tendenza con un rilevante incremento percentuale della superficie investita, anche se modesto in termini assoluti.

Così se nel corso dei primi anni del duemila il riallineamento degli aiuti ai semi oleaginosi e la nuova politica del disaccoppiamento ha drasticamente ridimensionato, riducendo significativamente gli effetti meramente speculativi ad esso associati, gli investimenti a colza, portandoli fino al limite minimo di circa 3.000 ha, nell’ulti-

* CRA - Centro di Ricerca per le Colture Industriali, Osimo.

mo triennio si è assistito ad una apprezzabile ripresa con un sensibile aumento della superficie nazionale dedicata alla coltura.

Numerosi sono i tipi disponibili: in base all'habitus si distinguono varietà alternative (più indicate per le zone meridionali) e non (più adatte agli areali centro settentrionali); dal punto di vista genetico si distinguono linee pure (L), associazioni varietali (AV), di solito costituite da un miscuglio di seme contenente per l'80% una linea maschio sterile e per la restante porzione un'impollinante, o veri e propri ibridi (H); a seconda della composizione acidica dell'olio si distinguono varietà "O" (con assenza di acido erucico) e "OO" (con, inoltre, basso contenuto di glucosinolati) o ad alto contenuto di acido erucico (>60%).

Morfologia e biologia della pianta

Il colza presenta un apparato radicale fittonante moderatamente ramificato generalmente non molto profondo (0,35-0,40 m). Il fusto, eretto, ramificato, costituito da 20, 22 internodi, può superare 1,5 m di altezza. Le foglie di colore verde glauco (ricoperte di pruina), semplici e con disposizione alterna; sulla stessa pianta sono presenti due tipi di foglie: quelle basali (picciolate, lobate, lirato-pennatosette con lobo terminale molto grande) e quelle superiori (sessili, intere, oblunghe, parzialmente amplessicauli).

L'infiorescenza è terminale a grappolo con più di 300 fiori: questi presentano 4 sepali liberi, 4 petali liberi di colore giallo, 4+2 stami, ovario supero bicarpellare contenente fino a 20 ovuli (Fig. 1).

Figura 1 - Particolare di infiorescenza di colza in fioritura.

La fioritura è scalare, può durare fino a 35-40 giorni; procede in senso acropeto (i fiori aperti non superano quelli sovrastanti ancora in boccio); la fecondazione è prevalentemente autogama (30%, circa, di fecondazione incrociata favorita dagli insetti e dal vento.

Il frutto è una siliqua di forma allungata, con falso setto, terminante con un piccolo rostro; porta da 12 a 15 semi. Questi, piccoli sferici, con diametro di 2 mm circa e peso di 3,5-5,5 mg, con tegumento di colore variabile da rosso-bruno fino a nero, presentano solitamente il seguente contenuto:

- 30-50 % di olio con varia composizione acidica,
- 21-24 % di proteine,
- 4-5 % di zuccheri,
- 7-11 % di fibra,
- ~0-1 % di tioglucosinolati

Quando il contenuto di acqua dei semi è sceso intorno al 35% il colza ha raggiunto la maturazione fisiologica: da questo momento in poi non si avranno ulteriori aumenti di produzione, ma solo perdita di acqua; pertanto, potrebbe essere iniziata la raccolta. Tuttavia, l'intervento deve essere ritardato perché, anche potendo trebbiare il seme senza difficoltà, si otterrebbe un prodotto troppo umido che causerebbe seri inconvenienti, quali: conservazione impossibile senza essiccazione artificiale (maggiori costi), difficoltà nella estrazione e raffinazione dell'olio, qualità scadente dell'olio per eccessivo contenuto di clorofilla. Per una raccolta "in sicurezza" di deve aspettare che l'umidità dei semi scenda sotto il 14%; a questo stadio lo stelo è ancora verde (chiaro) nella metà inferiore, le silique e le ramificazioni sono completamente secche, mentre i semi hanno acquisito il tipico colore nero.

Esigenze ambientali

Il colza è una pianta microterma; avendo uno "zero di vegetazione" di circa 0°C è adatta ad essere coltivata in ciclo autunno-primaverile. Quando la coltura ha emesso 6-8 foglie (escluse quelle cotiledonari) e la radice ha un diametro al colletto di 7-8 mm può sopportare abbassamenti di temperatura fino a 10-12 °C sotto lo zero (senza copertura nevosa); teme le alte temperature (specialmente quando accompagnate da siccità) durante la fioritura, poiché causano una riduzione della percentuale di allegagione e/o una caduta delle silique appena formate. È molto adattabile ai diversi terreni, ma non tollera i ristagni idrici. Non sono adatti i suoli sabbiosi (scarsa capacità di ritenzione per l'acqua) e quelli torbosi. Mostra una buona tolleranza per il pH e la salinità.

Risorse genetiche

Il potenziale sviluppo della coltura da olio per fini industriali sembra poter essere favorito dalla elevata resa in olio (cresciuta considerevolmente negli ultimi anni) con composizione in acidi grassi di interesse industriale. È noto come il lavoro di selezione si sia orientato prevalentemente alla costituzione di varietà con contenuto nell'olio di sostanze ritenute nocive alla salute (acido erucico, glucosinolati…) sempre più ridotto per uso alimentare. Più di recente l'interesse dell'industria chimica si è rivolto all'impiego di acidi grassi a 22 atomi di carbonio (acido erucico e behenico) di particolare interesse per il maggior grado di purezza rispetto a quelli a catena più corta e per le caratteristiche fisiche di pregio, che li rendono più adatti alla trasformazione tecnologica.

Per conseguenza un considerevole lavoro di miglioramento genetico sul colza ha permesso di selezionare un elevato numero di tipi migliorati per l'assenza di acido erucico e basso contenuto in glucosinolati, differenti per precocità, produttività e caratteristiche tecnologiche del seme.

Recentemente sono state rese disponibili costituzione ibride più vigorose e performanti, in grado di realizzare produzioni superiori alle vecchie varietà. Attualmente l'interesse per l'olio di colza, oltre che per la destinazione come combustibile nella filiera biodiesel, è volto verso varietà a sempre più elevato contenuto di acido erucico, con, possibilmente, un basso contenuto in glucosinolati, in considerazione di un impiego di questo acido grasso come punto di partenza per molteplici sintesi organiche sussidiarie alla petrolchimica. Inoltre sono in fase di studio individui transgenici resistenti ad erbicidi ed insetti predatori, al fine di una riduzione di interventi chimici.

b - Classificazione e risorse genetiche del girasole

Andrea Del Gatto*

Origine e classificazione

Il girasole (*Heliantus annuus* L.) è una dicotiledone appartenente alla famiglia delle Compositae, subfamiglia delle Tubuliflorae, tribù delle Heliantheae. Si ritiene che la specie abbia avuto origine in Centro America e si sia diffusa in epoche remote nei territori attualmente facenti parte dell'Arizona e del Nuovo Messico, estendendosi poi verso le aree settentrionali degli attuali Stati Uniti. Nel 1510 una spedizione spagnola riportò alcuni acheni dal Nuovo Messico che vennero seminati in un orto botanico di Madrid; dalla Spagna il girasole si sarebbe poi diffuso rapidamente in Europa come pianta ornamentale. Sul finire del '700, in Russia, venne riconosciuta la sua importanza per la produzione di olio alimentare, ma solo nel 1830 iniziò l'estrazione di olio su scala industriale. Da allora il girasole si è diffuso velocemente facendo della Russia il principale produttore mondiale, cui fanno seguito l'Argentina, l'Ucraina e la Cina.

In questo secolo la produzione di semi di girasole è quasi decuplicata; in Europa il grosso della produzione si concentra in Francia (un milione e mezzo di tonnellate) e Ungheria (850mila tonnellate). Seguono la Spagna e, a distanza, l'Italia, dove la coltura, estesa nel 1970 solamente su 4.000 ettari, ha trovato un ottimo areale di diffusione con produzioni sufficientemente costanti da un anno all'altro, raggiungendo, nel 1990, i 148.000 ettari. Al contrario di colza e soia che, seppur possibili, sono legate ad ambienti più umidi o con buona disponibilità di acqua durante la granigione, il girasole riesce a fornire produzioni agronomicamente accettabili, nei terreni profondi del Centro Italia, qualora riportati a capacità di campo durante l'inverno, anche senza precipitazioni durante il ciclo colturale, cosa che lo rende difficilmente sostituibile special-

* CRA - Centro di Ricerca per le Colture Industriali, Osimo.

mente negli ordinamenti colturali della collina asciutta. Nonostante la sfavorevole situazione congiunturale degli ultimi anni e le mutevoli condizioni innescate dalla politica agricola comunitaria, che hanno decisamente influenzato le scelte degli agricoltori, ridisegnando la distribuzione della coltura sul territorio nazionale, la superficie investita a girasole si è attestata, nelle ultime due campagne, sopra i 120.000 ettari, con un concentramento in tre regioni, Umbria, Marche e Toscana.

L'induzione di mutazioni che controllano l'espressione di elevate concentrazione di acido oleico nella frazione lipidica e la selezione di varietà dotate di tale caratteristica ha portato alla selezione di due tipi distinti in base alla composizione dell'olio in acidi grassi:

- tipi ad alto contenuto di acido linoleico (convenzionali) (43-61%)
- tipi ad alto contenuto di acido oleico (> 80%); con questi si sono ampliate le possibilità di impiego comprese quelle dell'alimentare, mantenendo intatte tutte le peculiarità del girasole comune; la selezione di varietà con diversificazione della composizione acidica dell'olio consente, perciò, al girasole un'ampia versatilità nelle possibili utilizzazioni, sia in campo alimentare umano (food), che animale (feed), che industriale (non food), nei paesi avanzati.

Morfologia e biologia della pianta

Il girasole presenta un apparato radicale fittonante, con numerose radici laterali fibrose e robuste, capace di espandersi fino a 2 m di profondità (la maggior parte è sviluppato nei primi 45 cm).

Il fusto, solitamente non ramificato, costituito da 10-15 nodi, ha portamento eretto e presenta un'altezza variabile, in relazione al genotipo e alle condizioni colturali, normalmente compresa fra 1,5-2,5 m,

Le foglie di colore verde glauco, in numero variabile, sono semplici, munite di un lungo picciolo, cordate od ovate, acute, dentate. La emissione di nuove foglie si arresta quando alla base del verticillo fogliare terminale compare il bottone fiorale (1-2 cm di diametro), in guisa di una struttura a forma di stella. Procedendo l'accrescimento, il bottone fiorale aumenta di dimensioni e si allontana progressivamente dal piano delle ultime foglie mantenendo una posizione orizzontale. L'infiorescenza terminale, unica, è un capolino ("calatide") costituito da un ricettacolo disciforme circondato da una doppia o plurima serie di brattee; porta da 1500 a 3000 fiori, di cui quelli periferici, sterili (60-80), sono muniti di una grande ligula gialla (Fig. 1).

Negli altri fiori l'emissione degli stili carichi di polline e la recettività degli stigmi si realizzano scalarmente, procedendo dai fiori più esterni verso quelli posti al centro del disco. Per questi, pertanto, essendo gli ultimi ad essere fecondati, è possibile che le successive fasi di allegagione e di formazione degli acheni avvengano in condizioni di accentuato stress idrico, termico e di competizione con i frutti già in

via di sviluppo. Di conseguenza molti fiori posti al centro del capolino potrebbero non allegare, dando luogo ad una zona centrale priva di acheni utili. Tale area improduttiva (impropriamente detta “sterile”) può essere più o meno ampia in dipendenza della intensità delle condizioni ambientali avverse e della varietà.

Figura 1 – Calatide di girasole in fioritura.

La fecondazione è allogama (fecondazione incrociata entomofila, anemofila) e porta alla formazione di un frutto (achenio) di forma allungata, romboidale, contenente il seme, di colore variabile (grigio scuro, bruno-nerastro, con striature bianche o bianco-argentee).

Allo stadio di maturazione fisiologica il dorso del capolino è di colore giallo-bruno, gran parte delle foglie sono secche, il tasso di umidità degli acheni è superiore al 35%. Successivamente la perdita di acqua dei tessuti del capolino e degli acheni è molto rapida, e può procedere al ritmo di 2 punti percentuali al giorno.

Il seme costituisce il 70-75% del peso dell’achenio. Esso contiene il 50-65 % di olio con varia composizione acidica (40-50% nell’intero achenio) e il 24-35 % di proteine.

Esigenze ambientali

Pianta originaria dei climi temperati ha esigenze termiche modeste, intermedie tra barbabietola da zucchero e mais. Può germinare a temperature molto basse, ma per

evitare di incorrere in nascite scalari e lente si può asserire che nasca accettabilmente bene quando il terreno, alla profondità di semina, abbia raggiunto i 10°C.

Molto adattabile a diversi terreni (sani sotto l'aspetto idraulico) rifugge da quelli acidi (6< pH >8); l'unica vera esigenza è che il terreno sia profondo e con buona ritenzione idrica.

Il girasole non è particolarmente aridoresistente né possiede consumi idrici unitari più bassi di altre specie; è però in grado di produrre discretamente quando altre vengono danneggiate dalla deficienza idrica.

Il suo massimo fabbisogno è compreso tra i 20 giorni precedenti la fioritura ai 25 giorni dopo; anticiparne la semina significa traslare le fasi maggiormente sensibili allo stress idrico (formazione e riempimento degli acheni) prima che la stagione divenga particolarmente secca.

Risorse genetiche

Le favorevoli condizioni allo sviluppo del girasole hanno incrementato notevolmente, negli ultimi anni, il numero delle cultivar iscritte nel Registro nazionale ed immesse nella rete di commercializzazione, tant'è che al 2010 risultavano censite 583 varietà, mentre altre 157 venivano proposte per l'iscrizione [MIPAAF, S.I.A.N., 2010]. La notevole gamma di varietà che vivacizza il ritmo del ricambio varietale, però, risulta prevalentemente di provenienza estera, selezionata quindi per ambienti a profilo climatico diverso dai comprensori nei quali è diffusa la coltura in Italia. Poter disporre di genotipi selezionati nell'ambiente di coltivazione, meglio tamponati nei confronti delle mutevoli condizioni pedoclimatiche dovrebbe consentire una certa costanza nelle produzioni attraverso una migliore estrinsecazione delle potenzialità produttive.

Riuscendo a collocare in maniera più idonea il ciclo colturale nell'anno, anticipando la fase di granigione in condizioni evapotraspirative meno critiche, si potrebbe ottenere un migliore utilizzo dei fattori produttivi, sfruttando meglio le condizioni ambientali del centro Italia. Ben diverso, invece, è selezionare per la precocità che significa comprimere il ciclo colturale della pianta e, di conseguenza, accorciare la fase di riempimento degli acheni, con inevitabili ripercussioni negative sulla produzione. Meglio ricorrere a genotipi in grado di emergere e svilupparsi in condizioni termiche più basse degli standard termici abituali, anticipando perciò le fasi più critiche in periodi della stagione dove l'acqua non è un fattore limitante. È stato osservato in proposito che piante di girasole in grado di anticipare l'emergenza in condizioni non consuete presentano un migliore potenziale produttivo

Un altro obiettivo del miglioramento genetico consiste sicuramente nell'introduzione di resistenza alla peronospora (*Plasmopara helianthi* Novot.), notoriamente considerata una tra le più diffuse e pericolose malattie per il girasole, la cui diffusione nell'ultimo decennio è stata favorita forse dalla pratica piuttosto diffusa di ridurre

la dose di principio attivo conciante, in alcuni casi ben oltre il 50%, della dose stabilita dalla normativa.

Le infezioni primarie precoci della malattia si manifestano, inizialmente, con un arresto nello sviluppo della giovane pianta e la sua conseguente morte. Qualora l'infezione sia tardiva, le piante subiscono una "nanizzazione" rispetto a quelle sane, con internodi raccorciati e calatidi erette. Anche in questo caso la perdita produttiva è pressoché totale in quanto le calatidi sono generalmente sterili oppure producono pochi semi che risultano infetti, in quanto il micelio si localizza nei tessuti degli acheni. Le infezioni secondarie colpiscono esclusivamente le piante adulte e non causano danni alla pianta che presenta uno sviluppo del tutto normale, ma sono importanti in quanto rappresentano una pericolosa fonte di inoculo della malattia. La resistenza genetica alla peronospora è conosciuta da tempo, ma, nonostante ciò, la maggior parte delle cultivar disponibili è sprovvista dei geni specifici di resistenza. In Francia la presenza della resistenza nel genotipo è condizione indispensabile per l'iscrizione al registro varietale, cosa che non avviene in Italia. Il controllo genetico è di tipo dominante, perciò è sufficiente che l'ibrido riceva il gene da uno dei genitori per presentare lo stesso livello di resistenza.

Nell'agricoltura convenzionale la rinuncia all'effettuazione della sarchiatura per la riduzione dei costi colturali e l'uso di pochi principi attivi per il controllo delle malerbe ha portato a costituire una flora infestante di sostituzione difficilmente controllabile con i prodotti disponibili, problema di non trascurabile importanza che sta emergendo a causa dei ristretti avvicendamenti colturali e della continua importazione di seme di girasole, anche dalle zone di origine della specie e il diffondersi di girasoli selvatici che, appartenendo alla stessa specie, sono totalmente compatibili con i tipi coltivati, ma da cui differiscono per seme più piccolo, fusto, foglie e infiorescenza più intensamente colorati, piante più esili e facilmente allettabili, ramificazioni abbondanti. Tali tipi non possono essere controllati dai comuni erbicidi utilizzati per il girasole, essendo rappresentanti della stessa specie, e, pertanto, competendo come una vera e propria infestante nei confronti della coltura, raggiungendo spesso livelli d'infestazione prossimi al 100%, sono in grado di ridurre significativamente la produzione. La selezione di genotipi resistenti a tutte le molecole degli imidazolinoni a partire dalla resistenza intrinseca della specie ad una molecola della famiglia di questi principi attivi, l'imazametabenz, ha offerto un'altra opportunità nel controllo delle infestazioni su girasole.

c - Classificazione e risorse genetiche della *Brassica carinata*

Andrea Del Gatto*

Origine e classificazione

La Brassica carinata (*Brassica carinata* A. Braun) è una dicotiledone appartenente alla famiglia delle Brassicacee derivata dall'ibridazione interspecifica di *Brassica nigra* e *Brassica oleracea*.

Ritenuta originaria dell'Africa orientale (altipiani dell'Etiopia, dove sono stati reperiti oltre 900 popolazioni selvatiche e dove negli ultimi 40 anni si è diffusa tra i 2000 e 2700 m s. l. m.), recentemente ha suscitato notevole interesse anche in altri paesi con caratteristiche climatiche non particolarmente favorevoli alla coltivazione del colza (Spagna e California). Le ragioni sembrerebbero risalire ad una maggiore vigoria e potenzialità produttiva in determinati ambienti e alla maggiore resistenza a stress biotici e abiotici. Inoltre la particolare composizione del suo olio, ricco di acido erucico, linolenico e glucosinolati, lo renderebbe particolarmente indicato per usi industriali. Recentemente, inoltre, la presenza di questi composti nelle farine di estrazione ne suggerirebbero un efficace utilizzo come prodotto ammendante e antiparassitario del terreno.

Morfologia e biologia della pianta

Pianta erbacea a ciclo annuale dal portamento eretto presenta un apparato radicale fittonante, sviluppato nei primi 0,40-0,50 m di profondità, con scarsa capacità di penetrazione. Sul fusto robusto e parzialmente lignificato alla base, alto fino a 2,8 m, si inseriscono, a partire dalla porzione mediana e distale, numerose ramificazioni. Le

* CRA - Centro di Ricerca per le Colture Industriali, Osimo.

foglie, di colore verde glauco (ricoperte di pruina), durante la fase di rosetta (in inverno) si presentano picciolate e lirato-pennatosette, mentre durante la levata risultano intere, lanceolate e semiamplessicauli. L'infiorescenza è un racemo terminale che porta fino a 200 fiori (Fig. 1). La fioritura è scalare, procede in senso acropeto e può durare fino a 35-40 giorni; la fecondazione è autogama (30% di fecondazione incrociata anemofila o entomofila). Il frutto, una siliqua di forma cilindrica, non o parzialmente settata apicalmente, porta da 10 a 20 semi globosi uni seriati. Il seme, piccolo, sferico, con diametro di 2 mm circa e peso di 2-5 mg, presenta il tegumento di colore variabile da rosso-bruno fino a nero.

Figura 1 – Particolare di *Brassica carinata* in fioritura.

Esso può contenere:

- 30-50 % di olio con varia composizione acidica - a. erucico (dal 35 al 48%), a. linoleico 18-25%), a. oleico (11-17%) ed a. linolenico (10-16%).
- 20-30 % di proteine,
- 3-5 % di zuccheri,
- 7-11 % di fibra
- 0-1% di tioglucosinolati.

Esigenze ambientali

Pianta dotata di maggiore rusticità rispetto al colza, presenta uno "zero di vegetazione" di circa 0 °C ed è adatta ad essere coltivata in ciclo autunno-primaverile; tendenzialmente più sensibile al freddo del tradizionale colza da olio, le scarse esigenze di vernalizzazione evidenziate ne renderebbero possibile la coltivazione negli ambienti settentrionali anche in epoca di semina primaverile.

La coltura sembra in grado di adattarsi sia a terreni tendenzialmente sciolti come a quelli argillosi, purché sufficientemente drenati e strutturati; infatti, come la B. napus, essa rifugge dall'eccesso di umidità.

Non presenta particolari esigenze idriche, ma una prolungata assenza di precipitazioni può risultare comunque dannosa per la coltura sia in fase di germinazione che durante il periodo di ingrossamento delle silique. In quest'ultimo caso essa è risultata in grado di valorizzare le scarse precipitazione primaverili dimostrandosi particolarmente resistente a condizioni di stress idrico. In questo la B. carinata è facilitata, rispetto alla maggior parte delle varietà migliorate di B.napus, dalla più lunga durata del periodo fioritura-maturazione

Risorse genetiche

Il recente interesse per la coltura non ha ancora permesso il necessario implemento nel lavoro di miglioramento genetico in grado di donare alla specie il giusto corredo caratteriale in grado di farla apprezzare concorrenzialmente rispetto al simile colza. In particolare ci si riferisce alle minori performance produttive che è in grado di esplicare rispetto alle nuove costituzioni di colza, non tanto relativamente alla resa in granella, quanto a quelle in olio, più che altro dovute al tenore di sostanza grassa nei semi, inferiore, mediamente, di oltre 10 punti percentuali rispetto al colza. L'ampio scarto nel tenore lipidico suggerisce il consolidamento di programmi di selezione per la costituzione di varietà a più alto contenuto di olio per colmare un gap dovuto, essenzialmente al relativamente recente interesse per questa pianta ed al conseguente scarso progresso nel miglioramento genetico ottenuto, per sfruttare al meglio gli innegabili vantaggi che la *B. carinata* presenta rispetto alla *B. napus*.

2
Tecnica colturale

a - Un biennio di prove di valutazione di cultivar di girasole in Italia Centrale e Sud-orientale

Two years of sunflower agronomic evaluation in Central and South-eastern Italy

Andrea Del Gatto*, Sandro Pieri*, Giovan Mario Ridoni, Angelo Sarti⁂, Eugenio Cozzolino◈, Luciano Concezzi◈, Giuseppe De Mastro⍋**

Riassunto

Al fine di accertare adattamento, produttività e qualità delle varietà di girasole proposte in commercio la Rete nazionale di valutazione varietale finanziata dall'AIS, grazie anche alla collaborazione instaurata nell'ambito del progetto SuSCACE, ha effettuato prove di valutazione agronomica in sette località Italiane (Toscana, Umbria, Marche, Emilia Romagna, Puglia Basilicata e Campania [quest'ultima nel solo 2009]), valutando 26 ibridi nel 2009, 30 nel 2010.

La sperimentazione ha posto in evidenza le buone potenzialità produttive del girasole in tutti gli ambienti colturali di indagine. I risultati hanno fornito una conferma delle caratteristiche agronomiche e produttive di un gruppo di varietà posizionatesi

* Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura Centro di Ricerca Colture Industriali (CRA-CIN) Ex S.O.P. Osimo (AN).

** Agenzia Regionale per lo Sviluppo e l'Innovazione nel settore Agricolo e forestale (ARSIA)-Centro di Collaudo e Trasformazione dell'Innovazione di Cesa (AR).

⁂ ASTRA Innovazione e Sviluppo-Unità Operativa Mario Neri, 18, Imola (BO).

◈ Consiglio per la Ricerca e la sperimentazione in Agricoltura Unità di Ricerca per le Colture Alternative al Tabacco (CRA-CAT) Scafati (SA)

◈ 3A-Parco Tecnologico Agroalimentare dell'Umbria Soc. Cons. a r.l., Area Innovazione e Ricerca, Todi (PG).

⍋ Dipartimento di Scienze Agro-ambientali e Territoriali, Facoltà di Agraria, Università degli Studi, Bari.

spesso ai vertici delle classifiche degli ultimi anni, tra cui vanno ricordate Doriana, Mas 92.B, PR64H41, NK Camen, Ruby e evidenziato ibridi molto interessanti e promettenti, come Mas 84.E, Mas 83.R, Inostarck, NX 64005, Mas 90.T, che, però, data la loro inclusione per la prima volta in valutazione, necessitano di conferme in successive esperienze.

Le varietà alto oleico hanno anzitutto confermato un elevato e stabile contenuto di questo acido grasso nelle diverse località, in alcuni casi con valori superiori al 90%. Inoltre hanno perso definitivamente quelle caratteristiche di taglia delle piante e tardività nel ciclo che le relegava ad essere etichettate come varietà di serie B, evidenziando invece, una più spiccata precocità di fioritura ed una altezza equivalente alle altre. Soprattutto, però, nella stagione 2010, hanno oramai raggiunto la parità produttiva con i tipi convenzionali: la resa media delle varietà convenzionali in prova in tutte le località ha superato di appena 60 kg per gli acheni e 20 kg per l'olio quella delle alto oleico, mentre ad Osimo, Gravina e Policoro queste ultime hanno offerto prestazioni superiori alle prime. Nell'arco temporale del biennio, invece, le varietà presenti si sono assolutamente equivalse, confermando la raggiunta equiparazione fra i diversi tipi. L'utilizzo di varietà ad alto contenuto di acido oleico nella frazione lipidica, non comportando alcuna differenza nella tecnica di coltivazione, permette, grazie alla maggiore versatilità di utilizzo dell'olio ad elevato tenore in acido C 18:1, la destinazione ad un'ampia gamma di impieghi.

Parole chiave: varietà, ibrido, olio, achenio, acido oleico.

Abstract

In 2009 and 2010 the national net of varietal evaluation carried out some agronomical assessment tests in seven Italian locations (Toscana, Umbria, Marche, Emilia Romagna, Puglia, Basilicata and Campania, the latter only in 2009) to check adaptation, productivity and quality of the wide different species scenery proposed in the Italian sunflower crop. The national net of varietal evaluation was financed by AIS, which extended its investigation thanks' to the collaboration established with SuSCACE project.

26 hybrids were tested in 2009 and 30 in 2010; during the former year 10 were high oleic acid content species, 11 during the latter year. Tests were performed in triplicate, based on an experimental design with randomized blocks and 6 plants m^{-2} were used for all different varieties. Main phenological, morphological and productive remarks were made during this experimentation that was carried out according to regular agronomical practice.

Tests have highlighted good productive potentiality of sunflower in all locations of cultivation, demonstrating good quality of the material evaluated. Results have also confirmed productive and agronomical characteristics of some species such as Doriana, Mas 92.B, PR64H91, NK Camen and Ruby which were often at the top of last few years classifications. Mas 84.E, Mas 83.R, Inostarck, NX 64005 and Mas 90.T are very interesting and promising hybrids too, however they need more future testing to confirm these results, since they have been included in this experimental project for the first time.

Foremost, high oleic acid content species have confirmed high and stable content of this kind of fat acid in every locations, sometime showing values higher than 90%. Moreover these species have definitively lost characteristics such as plant size and living-cycle delay that relegated them at the bottom of the plant quality ranking. On the contrary they have showed a marked blossoming precocity and the same plant height of other species. Most of all, in 2010, these varieties achieved the same productivity of conventional ones. The average production of conventional varieties tested in each location exceeded the yield of the high oleic species of just 60 kg for the achenes and 20 kg for the oil content. Whereas in Osimo, Gravina and Policoro the high oleic varieties showed better performances than conventional ones.

From 2009 to 2010, on the contrary, the varieties analyzed were all equivalent, confirming the reached equalization among different varieties. The utilization of high oleic acid content species in the lipid fraction allows them to be involved for a diffuse range of uses. These results were achieved without changes in the cultivation technique and thanks' to a greater versatility of rich C 18:1 oil.

Keywords: *variety, hybrid, oil, achene, oleic acid.*

Introduzione

Accertare il valore agronomico delle cultivar è un problema generale che investe tutte le specie agrarie; per il girasole risulta particolarmente pressante, data la prevalente destinazione dell'oleifera in ambienti il cui profilo pedoclimatico può condizionare fortemente la già non elevata potenzialità produttiva. Va inoltre ricordato che le varietà attualmente disponibili sono per la quasi totalità di provenienza estera, selezionate perciò per ambienti diversi dai comprensori nei quali sono coltivate in Italia (Monotti *et al.*, 2004). Inoltre, l'attività dei costitutori si presenta notevolmente intensa, vivacizzando il ritmo del ricambio varietale e rendendo necessario un costante aggiornamento sulle attitudini del materiale proposto (Monotti *et al.*, 2001).

A tale scopo, per evitare inutili e dispendiose sovrapposizioni, si è ritenuto che la rete nazionale di prove sperimentali, già in essere e consolidata da anni con il Progetto "Qualità girasole" finanziato da Assosementi-AIS, che annualmente valuta le nuove varietà di girasole immesse sul mercato unitamente a quelle dimostratesi più interessanti negli ultimi anni (Laureti *et al.*, 2006) con lo scopo di sostenere il girasole nell'importante ruolo, in alcuni casi insostituibile, che esso ricopre, nonostante i mutevoli scenari economici del mercato agricolo, in numerosi areali del paese (Frascarelli, 2010), supportata dalle esperienze in corso ad Osimo con il Progetto regionale "Girasole alto oleico"(Del Gatto *et al.*, 2008), potesse fornire sufficienti informazioni sulla coltura. Si è perciò ritenuto opportuno integrare in ambito SuSCACE le indicazioni fruibili dall'impianto empirico già consolidato integrandolo con l'aggiunta di una unità operativa nell'Italia sud-orientale, in Puglia.

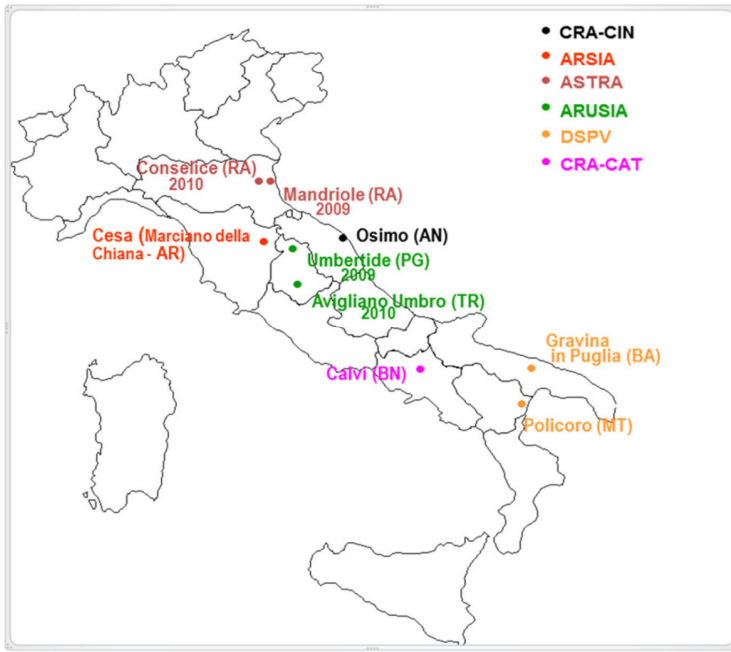


Figura 1 - Località di prova e unità operative coinvolte nella sperimentazione.

Organizzazione della sperimentazione

Nel 2009, quindi, la rete operativa si è allargata fino ad annoverare sette località (Fig. 1): oltre a quelle storiche di Osimo, nelle Marche e Cesa, in Toscana, dopo quattro anni di assenza è rientrata una località umbra (Umbertide (PG); è stata confermata la realizzazione di una prova in Emilia Romagna (già al terzo anno), spostando, però, il sito d'indagine nel Ravennate (Mandriole); per la seconda volta ha partecipato, a titolo volontario, il CRA-CAT di Scafati con la prova di Calvi (BN), mentre, per il primo anno, come accennato, si è inserito il Dipartimento di Scienze della Produzione Vegetale dell'Università di Bari che ha svolto una sperimentazione in Puglia (Gravina) e un'altra in Basilicata (Policoro). L'anno successivo si è ritirata dalla sperimentazione la località campana, mentre in Umbria si è investigato ad Avigliano Umbro (TR) ed in Romagna a Conselice (RA). Istituzioni e responsabili che hanno condotto le ricerche sono indicati in tabella 1; varietà e ditte sementiere coinvolte nelle prove sono elencate in tabella 2.

Le schede agronomiche sono descritte nelle tabelle 3 e 4. Le località di Calvi e Policoro, non rappresentative di areali tipicamente elianticoli, ma da considerare in prospettiva, per le particolari caratteristiche pedologiche e di conduzione agronomica sono state considerate separatamente.

Tabella 1 - Località, istituzioni e responsabili della sperimentazione.

Progetto	Località di prova	Istituzione	Responsabile
Qualità girasole	Mandriole (RA) Conselice (RA)	ASTRA Innovazione e Sviluppo - Unità operativa "Mario Neri", Via Emilia Levante, 18 - 40026 Imola (BO)	Dr. Angelo Sarti
Qualità girasole	Località Cesa Marciano della Chiana (AR)	Agenzia Regionale per lo Sviluppo e l'Innovazione nel settore Agricolo –Forestale ARSIA, Via Pietrapiana 30, 50121 Firenze	Dr. Giovan Mario Ridoni
Qualità girasole	Osimo (AN)	Consiglio per la Ricerca e la sperimentazione in Agricoltura-Centro di ricerca per le Colture Industriali (CRA-CIN) Ex SOP, Via Cagiata, 90, 60027 Osimo (AN)	Dr. Andrea Del Gatto (coordinatore)
Qualità girasole	Umbertide (PG) Avigliano Umbro (TR)	3A-Parco Tecnologico Agroalimentare dell'Umbria Soc. Cons. a r.l., Area Innovazione e Ricerca, Fraz. Pantalla - 06059 Todi (PG)	Dr. Luciano Concezzi (Parco 3A)
SUSCACE	Gravina in Puglia (BA) Policoro (MT)	Dipartimento Scienze Produzioni Vegetali (DSPV), Facoltà di Agraria – Università degli Studi, Via Amendola 165/A, 70126 Bari	Prof. Giuseppe De Mastro

Tabella 2 - Elenco delle varietà e delle ditte partecipanti alla prova.

n.	Varietà	Ditta distributrice	n.	Varietà	Ditta distributrice
1	Arena PR	*Syngenta*	**20**	Mas 95.IR(2)	*Maisadour*
2	Barolo RM	*KWS*	21	Mas 97.A(1)	*Maisadour*
3	Cartago(2)	*Semillasfito*	22	**Mas 97.OL(1)**	*Maisadour*
4	DKF3554	*Monsanto(2009) Syngenta(2010)*	23	Mauro(2)	*SIS*
5	**DKF 2727(2)**	*Syngenta*	24	Methasol	*KWS*
6	Doriana	*KWS*	25	**Montijo(1)**	*S.I.S.*
7	Inostarck(2)	*APSOVSEMENTI*	26	**NK Camen**	*Syngenta*
8	**Inotop(2)**	*APSOVSEMENTI*	27	NX 64005(2)	*Syngenta*
9	**Iolline(1)**	*APSOVSEMENTI*	28	**Oleko**	*Syngenta*
10	LG 56.68	*Limagrain*	29	**Ollimi CL**	*APSOVSEMENTI*
11	**LG 56.72 HO**	*Limagrain*	30	**Orasole**	*Monsanto(2009) Syngenta(2010)*
12	Mas 83.R(2)	*Maisadour*	31	**Pacific**	*SIS*
13	Mas 84.E(2)	*Maisadour*	32	**PR64H41**	*Pioneer*
14	**Mas 89.OL(2)**	*Maisadour*	33	Ruby	*Maisadour*
15	Mas 90.T(2)	*Maisadour*	34	Rumbasol OR(1)	*Monsanto*
16	Mas 91.A(1)	*Maisadour*	35	Sanbro MR	*Syngenta*
17	Mas 91.IR(2)	*Maisadour*	36	Sillouet	*APSOVSEMENTI*
18	Mas 92.B	*Maisadour*	37	Solaris	*S.I.S.*
19	**Mas 92.OL(1)**	*Maisadour*	38	Vidoc(1)	*Maisadour*

In **grassetto** le varietà alto oleico
(1): varietà saggiate solo nel 2009
(2): varietà saggiate solo nel 2010

Tabella 3 - Informazioni agronomiche sulla conduzione delle prove 2009.

Operazione	Località													
	Cesa (AR)		Gravina (BA)		Mandriole (RA)		Osimo (AN)		Umbertide (PG)		Calvi (BN)		Policoro (MT)	
Precessione	Frumento		Orzo		Frumento		Frumento		Frumento		Girasole		Maggese nudo	
Lavorazioni	aratura, frangizolle, estirpature		ripuntatura, erpicature, fresatura		aratura, erpicature		aratura, erpicature		aratura, erpicature		araripuntatura, fresatura		aratura, frangizzollature, fresatura	
Concimazioni (kg ha^{-1}):	P_2O_5	N	P_2O_5	N	P_2O_5	N	P_2O_5	N	P_2O_5	N	P_2O_5	N	P_2O_5	N
pre-semina	100	45	30	80		100	92			69		80	30	80
copertura		55						100		30				
Controllo infestanti: sarchiatura			19 maggio								19 maggio		11 maggio	
diserbo in pre-emergenza (l ha^{-1})	Challenge (1,5) + Dual Gold (1) + Activus EC (2)				Roundup (3)+ Stomp (2)+ Challenge (1)		Stomp (3)+ Challenge (1)+ Gliphosate (1,5)		Stomp (4)					
Semina	15 aprile		8 aprile		17 aprile		6 aprile		17 aprile		29 aprile		1 aprile	
Emergenza	26 aprile		26 aprile		24 aprile		15 aprile		29 aprile		10 maggio		12 aprile	
Irrigazioni (m^3 ha^{-1})											06/07 (400 m^3 ha^{-1})		3/04 (250 m^3/ ha^{-1})	27/05 (250 m^3 ha^{-1})
Raccolta	4 settembre		3 settembre		15 settembre		27 agosto		24 settembre		11 settembre		scalare 10-27/08	

Tabella 4 - Informazioni agronomiche sulla conduzione delle prove 2010.

Operazione	Località											
	Avigliano Umbro (TR)		Cesa (AR)		Conselice (RA)		Gravina (BA)		Osimo (AN)		Policoro (MT)	
Precessione	Frumento duro		Frumento		Frumento		Frumento		Frumento duro		Frumento	
Lavorazioni	ripuntatura, estirpatura, erpicatura		frangizollatura, erpicature		aratura, erpicature		ripuntatura, erpicatura, fresatura		aratura, erpicature		aratura, frangizollatura, erpicatura	
Concimazioni (kg ha^{-1}):	P_2O_5	N	P_2O_5	N	P_2O_5	N	P_2O_5	N	P_2O_5	N	P_2O_5	N
pre-semina	20	100	100	46			30	50	92		30	50
copertura				55		80				100		
Controllo infestanti: sarchiatura											15 giugno	
diserbo in pre-emergenza (l ha^{-1})			Challenge (1,5)+ Dual G (1)+ Activus EC (2)		Activus EC (2)+ Challenge (1,5) Galigan (0,5)				Activus EC (3) + Challenge (1) Gliphosate (1,5)			
Semina	28 maggio		16 aprile		19 aprile		28 aprile		8 aprile		30 aprile	
Emergenza	11-15 giugno		26 aprile		27 aprile		20 maggio		15 aprile		14 maggio	
Irrigazioni											4/05 (250m^3 ha^{-1})	30/05 (250m^3 ha^{-1})
Raccolta	7 ottobre		29 settembre		13 settembre		30 settembre		25 agosto		15 settembre	

Le prove sono state realizzate con disegno sperimentale a blocchi randomizzati con tre ripetizioni.

L'investimento è stato di 6 piante m^{-2} per tutte le varietà. I rilievi bio-morfologici (data di emergenza, fioritura, maturazione agronomica, altezza delle piante, superficie della calatide e della zona sterile centrale), produttivi e qualitativi (peso 1000 acheni, produzione parcellare su una superficie di almeno 9 m^2, contenuto percentuale di olio negli acheni, tramite NMR e composizione acidica dell'olio tramite gascromatografia dei metil esteri degli acidi grassi, per le varietà alto oleico) e calcolate resa ettariale in acheni ed olio con le modalità più volte descritte nella presentazione dei risultati in analoghe esperienze (L'Informatore Agrario n. 11/2003).

Risultati

2009

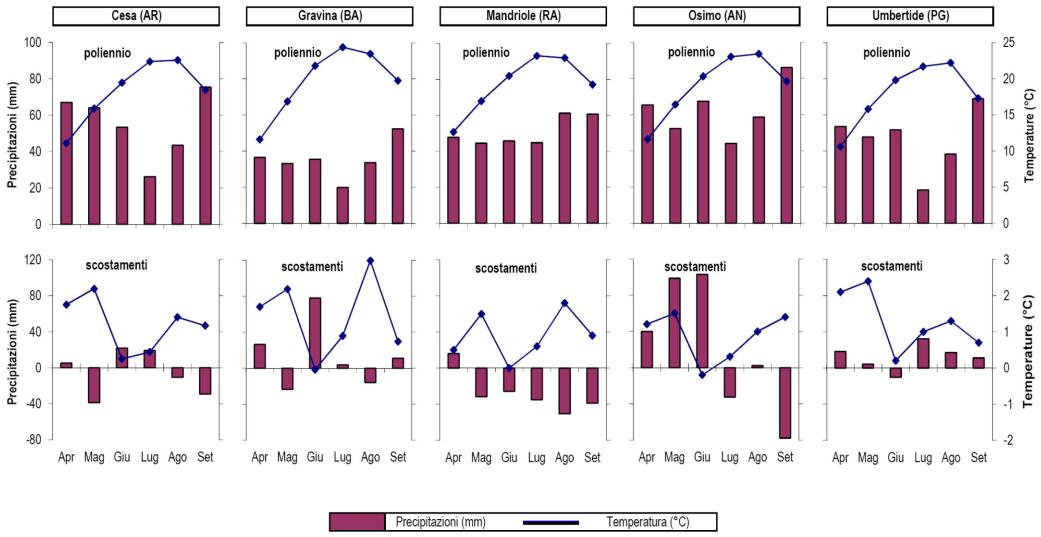


Figura 2a - Precipitazioni e temperature medie poliennali di Cesa (AR), Gravina (BA), Mandriole (RA), Osimo (AN) e Umbertide (PG) e scostamenti rilevati nel 2009.

Per le diverse località nei grafici di figura 2 sono riportate, per precipitazioni e temperature medie, i dati poliennali e gli scostamenti registrati nel 2009. Ne emergono, in tratti salienti, decorsi termici praticamente speculari con sensibili scostamenti positivi per tutto il ciclo della coltura, tranne che nei mesi di giugno (quando ad Osimo si è raggiunto anche un apice negativo) e luglio; le precipitazioni abbondanti dei mesi primaverili nella fase precedente la fioritura hanno fatto registrare successivamente fenomeni utili alla coltura a Calvi, Umbertide e Gravina.

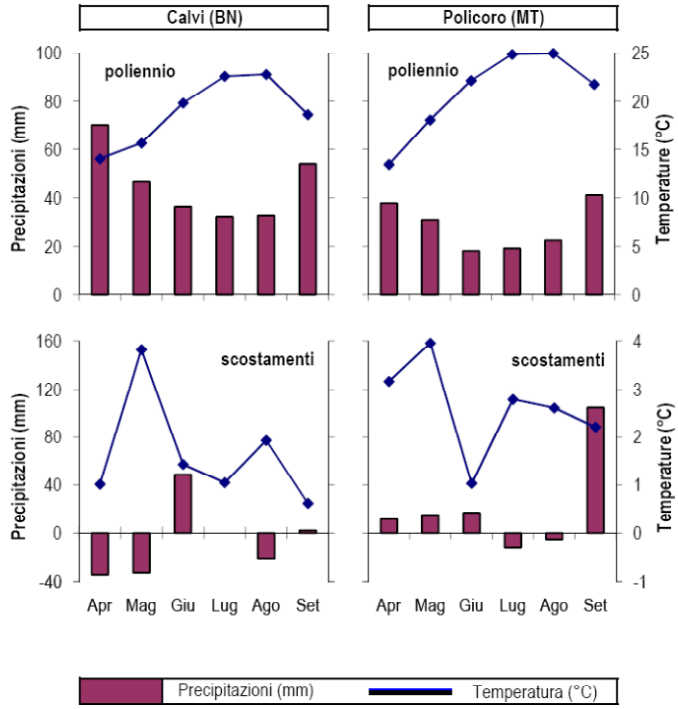


Figura 2b - Precipitazioni e temperature medie poliennali di Calvi (BN) e Policoro (MT) e scostamenti rilevati nel 2009.

La resa in acheni negli ambienti del Centro Italia e di Gravina è riportata in tabella 5. La differenziazione varietale è risultata significativa in tutte le località rivelandosi maggiormente evidente nel Ravennate, nell'Anconetano ed in Puglia.

A Cesa tre varietà hanno raggiunto le 40 t ha^{-1} (Barolo RM, Pacific e Orasole) e altre sedici non vi si sono diversificate statisticamente; complessivamente i genotipi in valutazione hanno dimostrato buone performance conseguendo una produzione media di 3,68 t ha^{-1}. Analogamente può dirsi per Umbertide, dove la resa media è stata di 3,95 t ha^{-1}, con diciotto varietà che non si sono diversificate statisticamente da Solaris, migliore in assoluto, pur evidenziando uno scarto tra i valori estremi (1,4 t ha^{-1}) quasi doppio rispetto alla località precedente. Tale divario è risultato massimo a Mandriole (1,84 t ha^{-1}) dove si è anche ottenuta la più alta produzione media (4,16 t ha^{-1}): al vertice della graduatoria si è situata LG 56.68 con 4,98 t ha^{-1}, a cui si sono affiancate, senza differenze statistiche, altre nove accessioni, con produzioni superiori a 4,4 t ha^{-1}. La maggior discriminazione varietale si è evidenziata ad Osimo e Gravina. Nella prima località da Mas 92.B (3,83 t ha^{-1}) non si sono differenziate, nell'ordine, Sanbro RM, Doriana, PR64H41 e NK Camen, tutte con produzioni superiori alle 3,5 t ha^{-1}. In Puglia a Solaris, che ha sortito i migliori risultati con 3,0 t ha^{-1}, si sono approssimate PR64H41 e Arena PR.

Tabella 5 - Produzione di acheni al 9 % di umidità nel 2009.

Varietà	Cesa (AR)		Gravina (BA)		Mandriole (RA)		Osimo (AN)		Umbertide (PG)		Media
	t ha^{-1}	grad.	t ha^{-1}	grad.	t ha^{-1}	grad.	t ha^{-1}	grad.	t ha^{-1}	grad.	2009
Doriana	3,88 ac	7	1,94 eh	14	4,81 ab	3	3,55 ac	4	4,46 ab	3	3,73
Mas 92.B	3,82 ac	8	1,46 h	26	4,83 ab	2	3,83 a	1	4,37 ac	4	3,66
PR64H41	3,74 ae	12	2,73 ab	2	4,13 ei	15	3,55 ac	5	4,07 ad	11	3,65
Orasole	4,00 a	3	2,19 cg	8	4,49 af	9	3,11 eg	17	4,05 ad	12	3,57
Rumbasol OR	3,80 ad	9	1,81 fh	18	4,77 ac	4	3,13 eg	16	4,25 ad	7	3,55
Ruby	3,90 ab	5	2,30 bf	6	4,57 af	8	3,02 eh	20	3,78 ae	18	3,51
Solaris	3,65 ae	15	3,06 a	1	3,24 jk	25	2,76 h	25	4,54 a	1	3,50
LG 56.68	3,62 ae	18	2,21 bg	7	4,98 a	1	2,94 fh	23	3,69 be	20	3,49
Mas 91.A	3,57 ae	19	1,88 eh	15	4,72 ad	5	2,96 fh	22	4,29 ac	6	3,48
Sanbro MR	3,79 ad	10	2,00 dg	12	4,16 di	13	3,72 a	2	3,62 ce	22	3,46
Oleko	3,99 a	4	1,70 gh	24	4,64 ae	6	3,63 ab	3	3,17 e	25	3,43
Barolo RM	4,04 a	1	2,04 dg	10	3,59 ik	24	3,32 be	7	4,09 ad	10	3,42
Pacific	4,01 a	2	1,79 fh	19	3,65 hk	22	3,26 cf	10	4,22 ad	8	3,39
Mas 92.OL	3,41 be	22	1,85 eh	16	4,12 ei	16	3,20 df	14	4,31 ac	5	3,38
NK Camen	3,75 ae	11	1,48 h	25	4,45 af	10	3,51 ad	6	3,62 ce	23	3,36
Ollimi	3,25 e	26	1,95 dh	13	4,59 af	7	2,84 gh	24	4,17 ad	9	3,36
LG 56.72 HO	3,67 ae	14	1,78 fh	20	4,33 bg	11	3,21 cf	13	3,79 ae	17	3,36
Arena PR	3,43 be	20	2,58 ac	3	3,61 ik	23	3,23 cf	12	3,91 ae	15	3,35
Sillouet	3,64 ae	16	1,76 gh	22	4,20 ch	12	3,24 cf	11	3,79 ae	16	3,33
Methasol	3,67 ae	13	2,14 cg	9	3,72 hk	20	2,99 eh	21	4,01 ad	14	3,31
Mas 97.A	3,41 be	21	1,81 fh	17	3,78 gj	19	3,02 eh	18	4,48 ab	2	3,30
Iolline	3,88 ac	6	1,77 gh	21	3,84 gi	18	3,27 cf	9	3,68 be	21	3,29
Vidoc	3,63 ae	17	2,03 dg	11	4,15 di	14	3,31 be	8	3,14 e	26	3,25
Mas 97.OL	3,36 be	23	2,36 be	5	3,70 hk	21	3,02 eh	19	3,78 ae	19	3,24
Montijo	3,35 ce	24	1,73 gh	23	4,03 fi	17	3,15 eg	15	3,46 de	24	3,14
DKF3554	3,28 de	25	2,47 bd	4	3,14 k	26	2,69 h	26	4,02 ad	13	3,12
Medie	**3,68**		**2,03**		**4,16**		**3,21**		**3,95**		**3,41**
C.V. %	**0,89**		**1,58**		**0,85**		**0,65**		**1,26**		
LSD 0,05	**0,54**		**0,53**		**0,58**		**0,34**		**0,81**		

Il contenuto in olio degli acheni (Tab. 6) è risultato mediamente più alto ad Umbertide (49,5 %) e più basso a Gravina (40,5 %), mostrando il più ampio divario fra ambienti nella storia del progetto; è anche vero che per la prima volta la sperimentazione ha considerato località così numerose e distanti per caratteristiche pedo-clima-

tiche. Nella località umbra si è registrato il più alto valore in assoluto con PR64H41 (52,3%), il più alto divario fra cultivar (9,7%), il maggior numero di ibridi che hanno superato la media della località (diciassette) e il valore del 50% (quattordici).

Tabella 6 - Contenuto di olio degli acheni in percentuale di sostanza secca nel 2009.

Varietà	Cesa (AR)		Gravina (BA)		Mandriole (RA)		Osimo (AN)		Umbertide (PG)		Media
	%	grad.	%	grad.	q ha^{-1}	grad.	%	grad.	q ha^{-1}	grad.	2009
Doriana	49,7 ab	2	41,3 ae	9	49,1 ad	5	46,5 a	1	52,1 ab	2	47,8
Mas 92.B	45,5 jl	23	38,1 gh	25	45,5 ij	20	43,5 df	12	50,0 dh	15	44,5
PR64H41	48,0 ce	9	43,0 ab	2	47,0 ei	13	45,2 bc	5	52,3 a	1	47,1
Orasole	46,4 fj	19	41,4 ae	7	49,1 ad	4	44,0 ce	7	49,3 fh	18	46,1
Rumbasol OR	47,7 cf	12	39,7 eh	20	50,8 a	1	45,5 ab	3	50,7 ah	10	46,9
Ruby	46,9 dj	17	40,2 dg	13	45,7 hi	19	43,7 df	8	46,8 i	23	44,7
Solaris	44,1 l	26	39,7 eh	18	42,0 l	26	39,6 i	26	46,9 i	22	42,6
LG 56.68	47,7 cf	11	38,0 h	26	48,4 bf	7	42,5 fh	17	50,1 dh	14	45,3
Mas 91.A	48,2 ce	5	39,7 eh	21	43,5 kl	23	42,5 fh	18	50,6 bh	11	44,9
Sanbro MR	47,4 ch	15	39,7 eh	19	43,8 jk	21	43,1 eg	13	45,0 j	24	43,8
Oleko	47,1 di	16	38,3 gh	24	43,8 jl	22	42,9 eh	15	42,6 k	26	42,9
Barolo RM	44,8 kl	25	38,6 fh	23	43,0 kl	24	42,9 eh	16	50,4 ch	12	43,9
Pacific	45,9 hk	21	39,3 eh	22	46,9 ei	14	42,1 gh	21	50,0 dh	16	44,8
Mas 92.OL	48,7 bc	3	40,5 cf	11	47,3 ei	11	43,6 df	10	51,2 ae	6	46,3
NK Camen	47,4 cg	14	40,0 dh	15	48,7 be	6	45,7 ab	2	51,6 ad	4	46,7
Ollimi	45,4 jl	24	40,2 dg	14	46,6 fi	15	41,6 h	25	49,3 fh	19	44,6
LG 56.72 HO	50,6 a	1	40,9 be	10	47,4 dh	10	45,5 ab	4	50,8 ag	9	47,0
Arena PR	48,0 ce	10	39,8 eh	16	46,1 hi	17	42,4 fh	20	50,8 ag	8	45,4
Sillouet	48,1 ce	7	42,5 ac	5	46,4 gi	16	42,9 eg	14	51,0 af	7	46,2
Methasol	45,7 ik	22	42,6 ac	4	46,0 hi	18	43,5 df	11	49,1 h	21	45,4
Mas 97.A	47,5 cg	13	39,8 eh	17	47,2 ei	12	42,0 gh	22	49,7 eh	17	45,2
Iolline	48,1 ce	8	41,3 ae	8	49,4 ac	3	43,6 df	9	51,4 ad	5	46,8
Vidoc	46,8 ej	18	40,5 cf	12	42,1 kl	25	42,5 fh	19	44,8 j	25	43,3
Mas 97.OL	48,1 ce	6	43,0 ab	3	49,8 ab	2	41,7 gh	24	50,2 ch	13	46,6
Montijo	48,4 bd	4	42,0 ad	6	48,1 bg	8	44,6 bd	6	49,3 gh	20	46,5
DKF3554	46,2 gk	20	43,3 a	1	47,9 cg	9	41,8 gh	23	51,8 ac	3	46,2
Medie	**47,3**		**40,5**		**46,6**		**43,3**		**49,5**		**45,4**
C.V. %	**1,9**		**3,2**		**2,4**		**1,9**		**2,1**		
LSD 0,05	**1,5**		**2,2**		**1,8**		**1,3**		**1,7**		

Doriana, mantenendo posizioni di vertice in ogni località, ha manifestato il contenuto medio più elevato (47,8%).

Tabella 7 - Produzione di olio sulla sostanza secca nel 2009.

Varietà	Cesa (AR)		Gravina (BA)		Mandriole (RA)		Osimo (AN)		Umbertide (PG)		Media
	t ha^{-1}	grad.	t ha^{-1}	grad.	t ha^{-1}	grad.	t ha^{-1}	grad.	t ha^{-1}	grad.	2009
Doriana	1,75 a	1	0,73 cg	11	2,15 ab	3	1,50 a	2	2,11 a	1	1,65
Mas 92.B	1,58 ae	15	0,51 h	26	1,99 ac	5	1,52 a	1	1,99 ac	4	1,52
PR64H41	1,64 ad	10	1,08 a	2	1,77 cg	14	1,46 a	3	1,94 ac	7	1,58
Orasole	1,69 ad	4	0,83 bf	8	2,00 ac	4	1,25 cd	15	1,82 ae	13	1,52
Rumbasol OR	1,65 ad	8	0,65 eh	21	2,21 a	1	1,30 bc	8	1,96 ac	6	1,55
Ruby	1,66 ad	7	0,84 be	6	1,90 ce	8	1,20 ce	19	1,61 cf	22	1,44
Solaris	1,46 df	24	1,11 a	1	1,24 k	26	0,99 g	26	1,93 ac	8	1,37
LG 56.68	1,59 ae	14	0,62 fh	23	2,19 a	2	1,24 cd	17	1,72 be	18	1,47
Mas 91.A	1,56 af	16	0,68 eh	17	1,87 ce	9	1,14 df	23	1,97 ac	5	1,45
Sanbro MR	1,63 ad	11	0,73 cg	12	1,66 eh	18	1,46 a	5	1,48 eg	24	1,39
Oleko	1,71 ab	2	0,60 gh	24	1,84 cf	11	1,42 ab	6	1,23 g	26	1,36
Barolo RM	1,65 ad	9	0,72 dh	14	1,40 ik	24	1,30 bc	9	1,87 ad	11	1,39
Pacific	1,67 ad	5	0,64 eh	22	1,56 gj	21	1,25 cd	14	1,92 ad	9	1,41
Mas 92.OL	1,51 bf	19	0,69 eh	15	1,77 cg	13	1,27 cd	12	2,01 ab	3	1,45
NK Camen	1,61 ad	12	0,54 gh	25	1,98 ac	6	1,46 a	4	1,70 be	21	1,46
Ollimi	1,35 f	26	0,72 dh	13	1,95 bd	7	1,07 eg	24	1,87 ad	12	1,39
LG 56.72 HO	1,67 ad	6	0,83 bf	9	1,86 cf	10	1,22 ce	18	1,71 be	20	1,46
Arena PR	1,50 bf	20	0,94 ac	4	1,51 hj	23	1,24 cd	16	1,81 ae	14	1,40
Sillouet	1,60 ae	13	0,69 eh	16	1,77 cg	12	1,27 cd	13	1,77 ae	16	1,42
Methasol	1,53 af	18	0,83 bf	7	1,56 gj	22	1,19 ce	20	1,78 ae	15	1,38
Mas 97.A	1,47 cf	22	0,66 eh	20	1,62 fi	19	1,16 cf	21	2,03 ab	2	1,39
Iolline	1,70 ac	3	0,67 eh	18	1,73 dh	16	1,30 bc	7	1,72 be	19	1,42
Vidoc	1,55 af	17	0,75 cg	10	1,59 gj	20	1,28 bd	10	1,28 fg	25	1,29
Mas 97.OL	1,47 cf	23	0,92 ad	5	1,68 eh	17	1,15 df	22	1,73 be	17	1,39
Montijo	1,48 cf	21	0,66 eh	19	1,76 cg	15	1,28 bd	11	1,55 dg	23	1,35
DKF3554	1,38 ef	25	0,97 ab	3	1,37 jk	25	1,02 fg	25	1,89 ad	10	1,33
Medie	**1,58**		**0,75**		**1,77**		**1,27**		**1,79**		**1,43**
C.V. %	**0,87**		**1,76**		**0,85**		**0,71**		**1,29**		
LSD 0,05	**0,23**		**0,22**		**0,25**		**0,15**		**0,38**		

Riguardo la resa in olio (Tab. 7), carattere derivato dalla combinazione delle due precedenti componenti, si è confermata la diversificazione tra località, precedentemente riscontrata, con la migliore resa media realizzata ad Umbertide, seguita da quella di Mandriole, con un minimo scarto, e, quindi, di Cesa, Osimo e Gravina. Anche in questo caso le località umbra e toscana hanno manifestato una scarsa differenziazione tra varietà; in entrambe Doriana ha raggiunto la migliore resa, non diversamente da altre quindici e diciassette accessioni, rispettivamente. Nel Ravennate, dove si è registrato il maggiore divario tra cultivar (9,7 q ha^{-1}), meglio della precedente hanno fatto, solo in assoluto, Rumbasol OR e LG 56.68, superando e sfiorando, nell'ordine, le 2,2 t ha^{-1} di olio su sostanza secca. Ad esse sono risultate simili Orasole, Mas 92.B e NK Camen. Nelle Marche a Doriana e Mas 92.B, che hanno confermato le posizioni raggiunte nella passata sperimentazione (nell'ordine al terzo e primo posto), si sono aggiunte PR64H41, Sanbro MR, NK Camen, tutte con lo stesso valore produttivo (1,46 t ha^{-1}), che, invece, nel 2008 non avevano fatto osservare performance altrettanto buone. A Gravina si sono messe in evidenza, oltre alla già ricordata PR64H41, Solaris, DKF3554, Arena PR e Mas 97.OL.

Spesso, come precedentemente osservato, la resa in olio degli acheni viene sensibilmente influenzata dal tenore lipidico; per tale motivo non sempre le graduatorie produttive relative ai due caratteri concordano. Pertanto, ai fini di una più completa e coerente valutazione delle varietà sotto il profilo della potenzialità di resa in prodotto utile, teoricamente rappresentato dall'olio più che dal "seme" (Monotti *et al*., 2005), pur considerando che il mercato del girasole assume ancora quest'ultimo come unico criterio di valutazione, è necessario considerare contestualmente produttività in acheni ed olio. Possono così evidenziarsi varietà in grado di coniugare alte rese sia in acheni che in olio, come Mas 92.B, NX 64005, DKF 2727, Mas 89.OL, Methasol e Inostark, altre per cui la resa in olio migliora la valutazione basata sulla resa in acheni, come Doriana, Mas 84.E, Mas 83.R, NK Camen, Mas 90.T, altre ancora, quali Sillouet, PR64H41, Ruby, Sanbro MR, Barolo, che, viceversa, giudicate positivamente per quest'ultima, non lo sono altrettanto per la produzione in olio.

Dal riscontro analitico effettuato con il mezzo gas-cromatografico sugli acheni ottenuti dai capolini autofecondati degli ibridi ad alto contenuto di acido oleico si evince che tutte le accessioni hanno palesato un elevato e stabile tenore di questo acido grasso nelle varie località; cinque di queste, Iolline, Pacific, LG 56.72, Mas 92.OL, Mas 97.OL, hanno fatto registrare, in ogni ambiente, valori comunque superiori all'85%; le prime due con un contenuto in acido linoleico inferiore al 3%.

Relativamente alla precocità delle cultivar, espressa come numero di giorni dall'emergenza alla fioritura, la risposta delle varietà agli ambienti è stata simile con un intervallo tra le più precoci e le più tardive di circa 10 giorni, tranne ad Umbertide dove questo è risultato più ampio, (19 giorni). In tutti i siti di prova Oleko si è sempre dimostrata la prima a fiorire; Methasol e Solaris le più tardive, evidenziando tale caratteristica nelle Marche ed in Umbria, la prima, in Puglia la seconda.

Tabella 8 - Produzione di acheni, tenore e resa in olio su s.s. a Calvi (BN) e Policoro (MT) nel 2009.

Varietà	Produzione di acheni al 9 % di umidità						Contenuto di olio degli acheni su s.s.						Produzione di olio su s.s.					
	Calvi (BN)		Policoro (MT)		Media		Calvi (BN)		Policoro (MT)		Media		Calvi (BN)		Policoro (MT)		Media	
	t ha^{-1}	grad.	t ha^{-1}	grad.	2009		%	grad.	%	grad.	2009		t ha^{-1}	grad.	t ha^{-1}	grad.	2009	
Doriana	4,62 ab	13	5,81 bg	11	5,22		45,8 ad	4	47,9 a	1	46,9		1,92 ac	6	2,54 ac	3	2,23	
Mas 92.B	5,01 a	1	5,87 bf	8	5,44		43,9 bg	13	45,7 bg	12	44,8		2,01 ab	2	2,45 ad	7	2,23	
PR64H41	4,28 be	20	5,82 bg	10	5,05		44,4 af	10	46,4 ad	6	45,4		1,73 cf	18	2,46 ad	5	2,10	
Orasole	3,69 e	26	5,68 bg	17	4,68		41,3 hj	21	46,3 af	9	43,8		1,39 h	26	2,39 ae	15	1,89	
Rumbasol OR	4,70 ab	8	5,91 be	7	5,30		46,1 a	1	45,0 ci	17	45,6		1,97 ac	5	2,42 ad	11	2,20	
Ruby	4,71 ab	7	5,20 dg	23	4,95		42,0 gi	19	44,7 ej	19	43,3		1,80 af	15	2,11 df	24	1,96	
Solaris	4,71 ab	6	6,26 ab	3	5,49		43,7 dg	15	42,1 kl	25	42,9		1,88 ad	10	2,40 ae	13	2,14	
LG 56.68	4,72 ab	5	5,74 bg	13	5,23		45,9 ac	3	45,8 bg	11	45,8		1,98 ac	4	2,40 ae	14	2,19	
Mas 91.A	4,77 ab	4	5,96 ad	6	5,37		42,7 fi	17	45,3 cg	14	44,0		1,85 ae	12	2,47 ad	4	2,16	
Sanbro MR	3,83 de	25	6,73 a	1	5,28		41,1 ij	23	45,2 ch	16	43,1		1,43 gh	24	2,77 a	1	2,10	
Oleko	4,27 be	21	6,05 ac	4	5,16		41,0 ij	24	44,6 fj	20	42,8		1,59 fh	22	2,46 ad	6	2,02	
Barolo RM	4,69 ab	10	6,03 ac	5	5,36		41,3 hj	22	43,3 ik	23	42,3		1,76 bf	17	2,38 bf	17	2,07	
Pacific	4,30 bd	18	5,71 bg	14	5,01		40,6 ij	25	45,6 bg	13	43,1		1,59 fh	23	2,37 bf	18	1,98	
Mas 92.OL	4,70 ab	9	5,62 bg	21	5,16		44,8 af	6	47,7 a	2	46,2		1,91 ac	7	2,44 ad	9	2,18	
NK Camen	3,99 ce	23	5,70 bg	15	4,85		45,1 ae	5	47,1 ab	3	46,1		1,64 dh	20	2,45 ad	8	2,04	
Ollimi	4,48 ac	17	5,67 bg	18	5,07		44,0 ag	11	44,4 gj	21	44,2		1,79 af	16	2,29 cf	20	2,04	
LG 56.72 HO	4,61 ab	14	5,27 cg	22	4,94		44,5 af	8	45,3 cg	15	44,9		1,87 ae	11	2,17 cf	21	2,02	
Arena PR	4,66 ab	11	5,76 bg	12	5,21		44,4 af	9	46,4 ad	5	45,4		1,88 ad	9	2,43 ad	10	2,16	
Sillouet	4,64 ab	12	6,33 ab	2	5,49		44,7 af	7	46,3 ad	7	45,5		1,89 ad	8	2,68 ab	2	2,28	
Methasol	5,00 a	2	5,10 fg	25	5,05		43,8 cg	14	43,2 jk	24	43,5		1,99 ab	3	2,01 f	26	2,00	
Mas 97.A	4,56 ac	15	5,83 bg	9	5,20		43,9 bg	12	44,8 dj	18	44,4		1,82 af	13	2,38 bf	16	2,10	
Iolline	4,26 be	22	5,07 g	26	4,66		42,6 fi	18	46,3 ae	8	44,4		1,65 dg	19	2,13 df	22	1,89	
Vidoc	3,86 de	24	5,66 bg	19	4,76		39,6 j	26	41,3 l	26	40,5		1,39 h	25	2,13 df	23	1,76	
Mas 97.OL	4,28 be	19	5,62 bg	20	4,95		41,5 hj	20	45,9 bg	10	43,7		1,62 eh	21	2,36 bf	19	1,99	
Montijo	4,56 ac	16	5,15 eg	24	4,85		43,4 eh	16	43,5 hk	22	43,4		1,80 af	14	2,04 ef	25	1,92	
DKF3554	4,82 ab	3	5,69 bg	16	5,26		46,1 ab	2	46,6 ac	4	46,3		2,02 a	1	2,42 ae	12	2,22	
Medie	**4,49**		**5,74**		**5,12**		**43,4**		**45,2**		**44,3**		**1,78**		**2,37**		**2,07**	
C.V. %	**0,82**		**0,85**				**3,1**		**2,3**				**0,88**		**0,99**			
LSD 0,05	**0,60**		**0,80**				**2,2**		**1,7**				**0,26**		**0,38**			

La diversificazione varietale ha raggiunto, con la statura delle piante, la sua massima espressione: ben 92 cm hanno separato la località di Umbertide da Gravina (211 vs. 119 cm), mentre il maggiore scarto tra le estreme dimensioni si è riscontrato proprio in Umbria (41 cm). Solaris ha raggiunto, in Puglia, il valore minimo, in assoluto, Montijo, in Umbria, il massimo; la stessa varietà è risultata mediamente la più alta raggiungendo, con 186 cm, la maggiore taglia in tre località su cinque; alla stessa maniera Arena PR, con 159 cm, la più bassa.

Informazioni supplementari sulle capacità di produzione dell'oleaginosa possono essere desunte dai risultati delle prove svolte in Campania e Basilicata, seppure in ambienti dalle potenzialità produttive particolarmente spinte, vocati l'uno alla coltivazione del tabacco, l'altro di essenze prevalentemente orticole e con l'ausilio irriguo. In entrambe le località (Tab. 8) si sono ottenute produzioni ragguardevoli a conferma della validità del materiale in valutazione (4,49 e 5,74 t ha^{-1} per la resa in acheni; 1,78 e 2,37 t ha^{-1} per quella in olio, rispettivamente a Calvi e Policoro), con il Materano che ha permesso di estrinsecare produzioni, per acheni ed olio, del 22 e 25% superiori al Beneventino. Nel primo ambiente si sono messe in evidenza Mas 92.B (5,01 t ha^{-1}) e Methasol (5,0 t ha^{-1}) per la resa in acheni, nel secondo Sanbro MR (6,73 t ha^{-1}), non distinguendosi però da altre 15 e 4 varietà, nell'ordine.

Il contenuto in olio, in cui hanno primeggiato Rumbasol OR (46,1%) a Calvi e Doriana (47,9%) a Policoro, ha ridisegnato la graduatoria per la resa in olio, dove sono risaltate DKF3554 (2,02 t ha^{-1}) e Sanbro MR (2,77 t ha^{-1}), con le migliori rese in valore assoluto, rispettivamente nelle due località di prova, senza, però, differenziarsi statisticamente, in entrambe, da altre 14 accessioni.

Dal punto di vista morfo-fenologico le cultivar hanno raggiunto la fioritura mediamente quattro giorni prima rispetto alla media delle altre località, con Oleko fra le più precoci e LG 56.68 fra le più tardive.

A Calvi gli ibridi hanno espresso una maggiore statura con uno scarto di 25 cm sull'altra località: Mas 92.B, con 206 cm, è risultata la più alta, NK Camen, con 171, la più bassa.

Anche in queste due località le accessioni alto oleico hanno mostrato valori elevati del contenuto in acido oleico, costantemente superiore all'80%, con Pacific che, in media, ha superato il 90%.

2010

I tratti climatici del 2010 hanno evidenziato un'abbondanza di precipitazioni in fine primavera, in particolare nella località marchigiana, cui ha fatto seguito un periodo estivo più secco, specialmente a Gravina, dove già le precipitazioni risultano mediamente più scarse. Il decorso termico ha evidenziato leggeri scostamenti positivi nei mesi di luglio e aprile, negativo in settembre, in tutte le località. Complessivamente il quadro stagionale non può dirsi sia stato avverso al girasole, che, anche a causa della

disponibilità idrica, favorita da precipitazioni episodiche in prossimità della fioritura, nelle località di Osimo e, soprattutto, Conselice, ha potuto estrinsecare le potenzialità produttive, manifestando delle notevoli rese medie in acheni ed olio.

Tabella 9 - Produzione di acheni al 9 % di umidità nel 2010.

Varietà	Avigliano U. (TR)		Cesa (AR)		Conselice (RA)		Gravina (BA)		Osimo (AN)		**Media**
	t ha^{-1}	grad.	t ha^{-1}	grad.	t ha^{-1}	grad.	t ha^{-1}	grad.	t ha^{-1}	grad.	**t ha^{-1}**
Doriana	3,22 bd	4	3,09 ae	7	3,93 ej	21	2,15 a	1	3,90 ac	3	**3,26**
Mas 84.E	2,68 di	23	2,85 di	15	5,32 a	1	1,54 fk	20	3,90 ac	4	**3,26**
Mas 83.R	2,50 fi	27	3,24 ab	3	4,88 ab	2	1,64 bj	13	4,00 ab	2	**3,25**
NK Camen	3,02 bf	8	3,03 af	9	4,35 bi	10	1,38 jl	28	4,14 a	1	**3,18**
Inostarck	3,27 bc	3	3,20 ac	4	3,92 fj	22	1,87 b	2	3,52 cf	11	**3,15**
Mas 92.B	3,14 be	6	3,10 ad	6	4,14 cj	17	1,65 bj	12	3,53 cf	9	**3,11**
Sillouet	3,18 bd	5	2,94 bg	13	4,17 cj	16	1,79 bf	6	3,35 dh	17	**3,08**
NX 64005	2,90 ch	12	2,60 hk	21	4,74 ad	4	1,62 bk	15	3,52 cf	10	**3,08**
Mas 90.T	2,89 ch	13	2,85 di	16	4,42 bf	7	1,69 bi	10	3,45 dg	14	**3,06**
PR64H41	2,73 ci	21	3,00 af	11	4,40 bg	8	1,57 dk	17	3,45 dg	15	**3,03**
Ruby	2,81 ci	18	3,01 af	10	4,33 bi	11	1,51 hk	25	3,49 dg	12	**3,03**
Sanbro MR	4,30 a	1	2,44 km	27	3,67 hj	26	1,63 bj	14	3,10 gj	25	**3,03**
Barolo	2,72 ci	22	2,94 bg	12	4,08 dj	18	1,78 bg	7	3,60 be	8	**3,02**
Mas 89.OL	2,92 cg	11	3,30 a	1	3,65 ij	28	1,52 gk	24	3,65 bd	6	**3,01**
DKF 2727	2,80 ci	19	2,74 fk	18	3,99 ej	20	1,81 bd	4	3,66 bd	5	**3,00**
Methasol	2,99 bf	10	3,18 ac	5	3,91 fj	23	1,53 fk	21	3,21 ei	22	**2,97**
Pacific	2,56 ei	26	2,64 gk	20	4,63 ae	5	1,54 ek	19	3,46 dg	13	**2,97**
Oleko	2,87 ch	16	2,44 km	28	4,30 bi	13	1,81 be	5	3,39 dh	16	**2,96**
LG 56.68	3,51 b	2	2,49 jl	24	4,00 ej	19	1,77 bh	8	2,92 ij	28	**2,94**
Orasole	2,86 ci	17	2,50 jl	23	4,36 bh	9	1,60 ck	16	3,28 di	20	**2,92**
DKF 3554	3,05 bf	7	2,91 ch	14	3,66 hj	27	1,86 bc	3	3,12 fj	24	**2,92**
Solaris	2,78 ci	20	3,07 ae	8	4,19 bj	15	1,74 bh	9	2,78 j	30	**2,91**
Mas 91.IR	2,65 di	24	2,67 gk	19	4,55 bf	6	1,36 kl	29	3,01 hj	27	**2,85**
Mas 95.IR	2,28 i	30	3,26 a	2	4,19 bj	14	1,13 l	30	3,35 dh	18	**2,84**
Arena PR	2,88 ch	15	2,78 ej	17	3,87 fj	24	1,44 ik	27	3,21 ei	21	**2,84**
Cartago	2,99 bf	9	2,45 kl	25	3,57 j	29	1,53 fk	22	3,62 be	7	**2,83**
Ollimi CL	2,37 gi	28	2,45 kl	26	4,33 bi	12	1,57 dk	18	3,29 di	19	**2,80**
Mauro	2,32 hi	29	2,20 lm	29	4,79 ac	3	1,46 ik	26	3,01 hj	26	**2,76**
LG 56.72 HO	2,58 ei	25	2,59 ik	22	3,49 j	30	1,53 fk	23	3,16 fj	23	**2,67**
Inotop	2,88 ch	14	2,13 m	30	3,70 gj	25	1,68 bi	11	2,91 ij	29	**2,66**
Medie	**2,89**		**2,80**		**4,18**		**1,62**		**3,40**		**2,98**
C.V. %	**12,40**		**6,89**		**10,41**		**10,02**		**7,37**		
LSD 0,05	**0,59**		**0,32**		**0,71**		**0,27**		**0,41**		

Per le rese areiche in acheni, riportate in tabella 9, spicca tra tutte la produzione di Conselice, che ha sfiorato i 42 q ha^{-1}, cui ha fatto seguito quella di Osimo, con circa 8 q ha^{-1} in meno, quindi Avigliano e Cesa, che hanno mantenuto uno scarto di quasi 13 e 14 q ha^{-1}, rispettivamente, mentre a Gravina si è ottenuta una resa di oltre 2,5 volte inferiore a quella della località romagnola. In tutti gli ambienti le differenze tra ibridi sono risultate significative; la differenziazione varietale è risultata maggiormente evidente ad Avigliano e Conselice, dove gli scarti tra la cultivar a più alta resa e la meno produttiva hanno raggiunto, nell'ordine, le 2,02 e 1,83 t ha^{-1}. Nella prima Sanbro MR ha superato le 4 t ha^{-1} risultando significativamente la migliore tra le accessioni in prova; le hanno fatto seguito altre nove con produzioni oscillanti intorno alle 3 t ha^{-1} di acheni.

A Cesa si sono distinte Mas 89.OL (3,30 t ha^{-1}) e Mas 95.IR (3,26 t ha^{-1}) che non si sono differenziate statisticamente da altre 9 cultivar. A Conselice Mas 84.E ha raggiunto la resa massima con 5,32 t ha^{-1}, seguita da Mas 83.R, Mauro, NX 64005 e Pacific, tutte con una resa superiore alle 4,5 t ha^{-1}. Ad Osimo NK Camen ha fatto registrare 4,14 t ha^{-1} di acheni, non differenziandosi da Mas 83.R, Mas 84.E e Doriana. A Gravina quest'ultima ha raggiunto 2,15 t ha^{-1} (una produzione pari alla più bassa ottenuta nella peggiore località del Centro-Nord), unica a superare la soglia delle 2 t ha^{-1} in Puglia.

Il tenore percentuale di olio negli acheni (Tab. 10) è risultato, nella variabilità dei risultati nelle varie località, mediamente identico a quello rilevato nella passata stagione.

Analogamente al 2009 esso è stato più alto in Umbria (46,5%) e più basso in Puglia (41,8%). Ad Avigliano Umbro si è anche registrato il valore più alto in assoluto, superiore al 50%, con Mas 84.E che ha costantemente denotato lo stesso comportamento anche nelle altre località; è noto infatti che tale carattere è maggiormente dipendente dal genotipo piuttosto che dall'ambiente (Monotti *et al*., 1998). Si sono inoltre distinte Mas 91.IR, con il più alto tenore medio (47,3%), Doriana, Mas 83.R, Mauro, NK Camen, Mas 90.T.

Il maggior divario fra cultivar si è osservato a Gravina (9,4%) dove è anche stato registrato il minor numero di ibridi che ha superato la media delle località (undici contro quindici di tutte le altre).

Tabella 10 - Contenuto di olio degli acheni espresso in percentuale di sostanza secca nel 2010.

Varietà	Avigliano U. (TR)		Cesa (AR)		Conselice (RA)		Gravina (BA)		Osimo (AN)		Media
	%	grad.	%	grad.	%	grad.	%	grad.	%	grad.	%
Doriana	48,8 ac	5	48,3 ad	4	44,1 bh	12	47,9 a	1	46,3 bg	10	**47,1**
Mas 84.E	50,1 a	1	49,7 a	1	45,6 ab	2	42,9 cf	8	47,6 ae	6	**47,2**
Mas 83.R	49,7 a	2	49,5 ab	2	44,5 bf	10	43,3 cd	6	47,3 af	8	**46,9**
NK Camen	46,3 ek	18	47,0 dg	10	44,7 bf	8	41,0 fk	21	48,5 ab	2	**45,5**
Inostarck	46,8 dh	14	45,6 gl	20	47,1 a	1	42,3 dh	10	45,0 fk	19	**45,4**
Mas 92.B	44,4 kl	28	47,4 df	7	44,2 bg	11	41,7 dj	15	47,7 ad	5	**45,1**
Sillouet	45,0 hl	24	47,3 df	9	40,6 mn	29	43,4 cd	5	44,6 gk	20	**44,2**
NX 64005	46,5 di	16	46,7 ei	12	43,7 cj	14	41,4 dj	18	48,4 abc	3	**45,3**
Mas 90.T	47,2 cf	9	48,3 bd	5	45,2 bd	5	39,9 jl	27	47,0 af	9	**45,5**
PR64H41	44,9 il	25	45,2 jm	23	42,5 gl	19	40,4 hl	24	42,0 mn	29	**43,0**
Ruby	45,9 ek	20	46,8 eh	11	41,8 lm	26	39,3 kl	29	41,8 n	30	**43,1**
Sanbro MR	45,5 fk	22	44,0 mn	28	41,6 ln	27	40,0 il	26	44,5 gl	21	**43,1**
Barolo	45,5 fk	21	45,8 gl	18	40,6 mn	28	39,3 kl	28	43,3 jn	25	**42,9**
Mas 89.OL	47,2 cf	10	46,1 fk	16	45,4 ac	3	41,4 dj	17	46,2 bg	11	**45,3**
DKF 2727	47,3 cf	8	45,1 jm	24	44,8 be	7	43,4 cd	4	45,8 di	15	**45,3**
Methasol	45,2 gl	23	46,4 fj	15	43,7 dk	15	43,0 ce	7	47,6 ae	7	**45,2**
Pacific	46,9 dg	12	45,9 gl	17	42,0 km	24	41,1 ek	20	45,3 ej	16	**44,2**
Oleko	46,1 ek	19	44,7 km	26	42,4 hl	21	41,7 dj	14	44,3 gm	22	**43,8**
LG 56.68	46,3 ej	17	44,6 lm	27	45,4 bc	4	41,1 ek	19	42,1 ln	28	**43,9**
Orasole	47,6 be	7	47,3 df	8	43,1 fl	17	42,5 dg	9	46,2 bg	12	**45,4**
DKF 3554	47,1 cf	11	45,3 im	22	42,1 jm	23	40,2 il	25	42,9 kn	27	**43,5**
Solaris	42,4 m	30	42,2 o	30	41,9 km	25	40,6 gk	23	43,7 hn	23	**42,2**
Mas 91.IR	49,3 ab	4	48,9 ac	3	45,0 be	6	44,6 bc	3	48,8 a	1	**47,3**
Mas 95.IR	44,8 il	26	45,8 gl	19	42,6 gl	18	41,6 dj	16	45,9 dh	14	**44,2**
Arena PR	46,8 dh	13	45,0 km	25	42,3 im	22	40,7 gk	22	43,0 jn	26	**43,6**
Cartago	46,7 di	15	46,5 fj	13	42,5 hl	20	41,9 dj	12	45,1 fk	17	**44,5**
Ollimi CL	44,5 jl	27	46,4 fj	14	43,3 el	16	42,0 di	11	47,8 ad	4	**44,8**
Mauro	49,6 a	3	48,0 ce	6	44,5 bf	9	46,6 ab	2	45,1 fk	18	**46,8**
LG 56.72 HO	48,3 ad	6	45,6 hl	21	43,9 ci	13	41,7 dj	13	46,1 ch	13	**45,1**
Inotop	43,6 lm	29	42,9 no	29	40,1 n	30	38,5 l	30	43,5 in	24	**41,7**
Medie	**46,5**		**46,3**		**43,4**		**41,8**		**45,4**		**45,4**
C.V. %	**2,4**		**1,9**		**2,4**		**3,0**		**3,2**		
LSD 0,05	**1,9**		**1,4**		**1,7**		**2,0**		**2,4**		

Tabella 11 - Produzione di olio sulla sostanza secca nel 2010.

Varietà	Avigliano U. (TR)		Cesa (AR)		Conselice (RA)		Gravina (BA)		Osimo (AN)		**Media**
	t ha^{-1}	grad.	t ha^{-1}	grad.	t ha^{-1}	grad.	t ha^{-1}	grad.	t ha^{-1}	grad.	**t ha^{-1}**
Doriana	1,43 bc	3	1,36 ac	3	1,58 fk	20	0,94 a	1	1,58 ad	4	**1,38**
Mas 84.E	1,22 cg	15	1,29 bf	9	2,21 a	1	0,60 ci	17	1,63 ac	3	**1,39**
Mas 83.R	1,13 ei	23	1,46 a	1	1,98 ab	2	0,65 bg	8	1,66 ab	2	**1,37**
NK Camen	1,27 bf	8	1,30 bf	8	1,77 bf	7	0,51 ij	29	1,76 a	1	**1,32**
Inostarck	1,39 bd	4	1,33 be	7	1,69 ch	12	0,72 b	2	1,38 eh	11	**1,30**
Mas 92.B	1,27 bf	9	1,34 ad	6	1,67 ci	13	0,62 bi	11	1,47 cf	7	**1,27**
Sillouet	1,30 be	6	1,26 bg	11	1,54 gk	22	0,71 bc	4	1,30 fj	19	**1,22**
NX 64005	1,22 cg	16	1,11 im	20	1,89 bd	4	0,61 bi	15	1,49 be	5	**1,26**
Mas 90.T	1,24 cg	12	1,25 bh	12	1,82 bf	6	0,61 bi	14	1,41 dg	10	**1,27**
PR64H41	1,11 ei	25	1,23 ci	13	1,70 bh	11	0,58 di	23	1,26 gk	23	**1,18**
Ruby	1,17 dh	20	1,28 bf	10	1,65 dj	16	0,54 gi	27	1,27 gk	20	**1,18**
Sanbro MR	1,78 a	1	0,98 mn	28	1,39 ik	28	0,59 di	19	1,20 il	25	**1,19**
Barolo	1,13 ei	24	1,23 di	14	1,51 gk	24	0,64 bh	10	1,36 ei	14	**1,17**
Mas 89.OL	1,25 cg	10	1,38 ab	2	1,51 gk	23	0,57 ei	25	1,47 cf	6	**1,24**
DKF 2727	1,21 dg	17	1,12 hl	19	1,62 dj	17	0,71 b	3	1,46 cf	8	**1,23**
Methasol	1,23 cg	13	1,34 ad	5	1,56 fk	21	0,60 ci	16	1,33 ej	16	**1,21**
Pacific	1,09 ei	26	1,10 im	21	1,77 bh	8	0,58 di	24	1,37 ei	12	**1,18**
Oleko	1,20 dg	18	0,99 ln	27	1,66 dj	14	0,68 bd	5	1,30 fj	18	**1,17**
LG 56.68	1,48 b	2	1,01 kn	26	1,65 dj	15	0,66 bf	7	1,06 l	29	**1,17**
Orasole	1,24 cg	11	1,08 jn	22	1,71 bh	10	0,62 bi	13	1,32 ej	17	**1,19**
DKF 3554	1,30 be	5	1,20 ej	15	1,40 ik	26	0,68 be	6	1,16 jl	27	**1,15**
Solaris	1,07 fi	27	1,18 fj	17	1,60 ek	19	0,64 bh	9	1,05 l	30	**1,11**
Mas 91.IR	1,18 dg	19	1,19 fj	16	1,86 be	5	0,55 fi	26	1,27 gk	21	**1,21**
Mas 95.IR	0,93 i	30	1,36 ad	4	1,62 dj	18	0,43 j	30	1,34 ej	15	**1,14**
Arena PR	1,23 cg	14	1,14 gk	18	1,49 hk	25	0,53 hj	28	1,20 hl	24	**1,12**
Cartago	1,27 bf	7	1,04 kn	24	1,38 jk	29	0,58 di	21	1,43 dg	9	**1,14**
Ollimi CL	0,96 hi	29	1,04 kn	25	1,71 bh	9	0,60 ci	18	1,36 ei	13	**1,13**
Mauro	1,04 gi	28	0,96 no	29	1,94 ac	3	0,62 bi	12	1,17 jl	26	**1,15**
LG 56.72 HO	1,14 ei	22	1,07 jn	23	1,40 ik	27	0,58 di	22	1,27 gk	22	**1,09**
Inotop	1,14 ei	21	0,83 o	30	1,34 k	30	0,59 di	20	1,10 kl	28	**1,00**
Medie	**1,22**		**1,18**		**1,65**		**0,62**		**1,35**		**1,20**
C.V. %	**11,18**		**6,95**		**10,36**		**11,01**		**8,33**		
LSD 0,05	**0,22**		**0,13**		**0,28**		**0,11**		**0,18**		

Riguardo la resa in olio (Tab. 11), si è confermata la diversificazione tra località precedentemente rilevata, con la migliore prestazione media realizzata a Conselice, seguita da quella di Osimo, con uno scarto di 3 q ha^{-1}, quindi di Avigliano, Cesa e Gravina. Il comportamento delle varietà ha riflettuto in gran parte quello descritto per la resa in acheni, con alcune differenze: alcune hanno assicurato alte produzioni di olio grazie alla capacità produttiva degli acheni, indipendentemente dal contenuto lipidico degli stessi, come le sei accessioni in graduatoria, oltre a NX 64005; in altri casi l'elevata percentuale di olio ha migliorato il giudizio derivante dalla resa in acheni, come per Mas 91.IR, capace di guadagnare undici posizioni, Mauro e Orasole, sei, DKF 2727 e mas 89.OL, cinque, Mrthasol, quattro; sono stati rilevati anche casi contrari, in cui lo scarso contenuto in grasso del "seme" ha peggiorato la posizione in classifica: così Solaris, barolo e PR64H41 hanno perduto sei posizioni, Sillouet quattro.

Ad Avigliano, dove l'intero ciclo è risultato più contratto, anche a causa della semina appositamente ritardata per la particolare dislocazione della località (collina interna a 420 m s.l.m.), le cultivar hanno iniziato prima l'antesi, con 20 giorni di anticipo su Cesa, dove si è manifestato il maggior ritardo. Inotop e Sanbro MR sono risultate, mediamente, le più precoci; quest'ultima ha confermato tale caratteristica in 3 delle 5 località di prova; LG 56.72 HO, LG 56.68 e Mas 95.IR sono giunte alla fioriuta più in ritardo, le ultime due anche in due dei cinque ambienti di studio.

Nonostante la disponibilità idrica del periodo primaverile la statura delle piante è rimasta su livelli abbastanza contenuti, sviluppandosi maggiormente a Conselice ed Osimo, mantenendosi su valori minimi a Gravina; la taglia massima e minima, infatti, sono state rilevate nelle suddette località con Methasol e Mauro, rispettivamente. Nella media, invece, la più alta è risultata Mas 89.OL; la più bassa Barolo.

In tabella 12 sono riportati i risultati delle prove svolte a Policoro. Le produzioni sono state notevoli e lo scarto produttivo rispetto alla località pugliese con condizioni in asciutto è stato rilevante (35 e 33% per la resa in acheni e olio), considerando che persino l'espressione del contenuto in olio è stata mediamente superiore di oltre due punti percentuali (44,0 vs 41,86). Doriana ha denotato i massimi caratteri produttivi: 6,22 e 2,72 t ha^{-1} di produzione in acheni ed olio, 48,1% di tenore in sostanza grassa. Per il primo carattere altre cinque accessioni hanno superato le 5,0 t ha^{-1} di resa in acheni: Oleko, che statisticamente non ha mostrato differenze da Doriana, Inostarck, DKF 3554 e PR64H41; le stesse, con l'aggiunta di Mas 90.T, hanno superato la soglia delle 2 t ha^{-1} di olio teorico.

Tabella 12 - Caratteristiche produttive, fenologiche e biometriche degli ibridi a confronto a Policoro (MT) nel 2010.

Varietà	Prod. acheni al 9% di um.		Olio s.s.			
			contenuto		produzione	
	t ha^{-1}	grad.	%	grad.	t ha^{-1}	grad.
Doriana	6,22 a	1	48,1 a	1	2,72 a	1
Mas 84.E	4,53 ek	19	45,7 be	6	1,88 fi	17
Mas 83.R	4,40 hk	23	47,3 ab	2	1,90 ei	13
NK Camen	4,82 ch	13	42,5 il	24	1,87 fj	19
Inostarck	5,32 b	3	43,8 ek	15	2,12 bc	3
Mas 92.B	4,93 be	9	44,3 dj	13	1,99 cg	8
Sillouet	4,94 be	7	45,2 cg	9	2,03 bf	7
NX 64005	4,90 bf	11	44,3 dj	14	1,97 cg	9
Mas 90.T	4,98 be	6	46,7 ac	4	2,12 bd	4
PR64H41	5,06 bd	5	44,9 ch	11	2,06 bf	6
Ruby	3,82 lm	29	43,1 hl	18	1,50 ln	28
Sanbro MR	4,87 cg	12	42,7 il	21	1,89 ei	15
Barolo	4,61 ej	17	42,4 jl	25	1,78 gk	21
Mas 89.OL	4,17 jl	25	42,7 il	22	1,62 kn	26
DKF 2727	4,80 ch	14	43,2 gl	17	1,89 fi	16
Methasol	4,73 dh	15	43,0 hl	20	1,85 fj	20
Pacific	4,47 fk	20	43,1 hl	19	1,75 hk	22
Oleko	5,87 a	2	41,9 km	28	2,24 b	2
LG 56.68	4,68 di	16	45,5 bf	7	1,94 ch	11
Orasole	4,60 ej	18	45,5 bf	8	1,90 di	12
DKF 3554	5,19 bc	4	44,5 di	12	2,11 be	5
Solaris	4,94 be	8	41,6 lm	29	1,87 fj	18
Mas 91.IR	4,09 kl	26	45,9 bd	5	1,71 il	23
Mas 95.IR	3,94 lm	27	42,4 jl	26	1,52 ln	27
Arena PR	3,84 lm	28	42,3 jl	27	1,48 mn	29
Cartago	3,49 m	30	44,9 ch	10	1,43 n	30
Ollimi CL	4,92 be	10	43,5 fl	16	1,95 ch	10
Mauro	4,44 gk	22	46,8 ac	3	1,89 ei	14
LG 56.72 HO	4,27 il	24	42,7 il	23	1,66 jm	24
Inotop	4,45 fk	21	40,2 m	30	1,63 kn	25
Medie	**4,68**		**44,0**		**1,88**	
C.V. %	**5,92**		**2,8**		**7,15**	
LSD 0,05	**0,45**		**2,0**		**0,22**	

Risultati del biennio

Per garantire un più ampio margine di successo è auspicabile che le cultivar, stante il vivace ritmo di ricambio varietale che richiede un costante aggiornamento nel collaudo delle nuove costituzioni proposte sul mercato, siano testate per più anni allo scopo di garantire una sufficiente costanza e stabilità di prestazione (Del Gatto *et al*., 2006).

In tabella 13 sono riportati i risultati medi relativi alle diciassette cultivar saggiate nel biennio 2009-2010 nei cinque ambienti oggetto di prova (Toscana, Emilia-Romagna, Umbria, Marche e Puglia).

Tabella 13 - Caratteristiche quali-quantitative degli ibridi in prova nel biennio 2009-2010.

Varietà	Produzione acheni t ha^{-1}	Olio s.s.:		Emerg.-fioritura d	Ciclo emerg.-mat. d	Altezza pianta cm	Peso 1000 acheni g
		contenuto %	produzione t ha^{-1}				
Arena PR	3,09 cd	44,5 de	1,31 bd	62 be	114 e	156 e	46,3 h
Barolo RM	3,22 bd	43,4 f	1,32 bd	63 ad	118 ae	157 e	57,6 ce
DKF3554	3,02 d	44,8 ce	1,30 cd	65 ab	120 ac	159 de	51,3 g
Doriana	3,49 a	47,4 a	1,56 a	64 ab	119 ae	168 ad	60,4 bc
LG 56.72 HO	3,21 bd	44,6 de	1,37 bd	65 a	117 ae	169 ac	60,2 bc
LG 56.68	3,01 d	46,1 b	1,34 bd	65 a	120 ad	157 e	55,5 ef
Mas 92.B	3,39 ab	44,8 ce	1,44 ab	64 ad	118 ae	173 a	64,5 a
NK Camen	3,27 ac	46,1 b	1,42 bc	61 de	121 a	159 de	60,4 bc
Oleko	3,19 bd	43,4 f	1,30 cd	57 g	117 ae	164 ae	64,6 a
Ollimi	3,08 cd	44,7 ce	1,29 cd	62 ae	121 ab	163 ae	52,1 g
Orasole	3,24 bd	45,7 bc	1,39 bd	61 de	116 de	168 ad	62,9 ab
Pacific	3,18 bd	44,5 de	1,32 bd	60 ef	117 ae	161 be	58,5 ce
PR64H41	3,34 ab	45,1 cd	1,41 bc	61 ce	116 be	155 e	58,8 cd
Ruby	3,27 ac	43,9 ef	1,34 bd	64 ac	118 ae	171 ab	56,3 de
Sanbro MR	3,24 bd	43,5 f	1,35 bd	58 fg	116 ce	164 ae	63,2 ab
Sillouet	3,21 bd	45,2 bd	1,36 bd	62 ae	114 e	160 ce	58,3 ce
Solaris	3,18 bd	42,3 g	1,27 d	65 a	117 ae	157 e	53,2 fg
Medie	**3,21**	**44,7**	**1,36**	**62**	**118**	**162**	**57,9**
C.V. %	**14,82**	**6,9**	**18,65**	**9,4**	**6,9**	**12,4**	**10,2**
LSD 0,05	**0,24**	**0,3**	**0,13**	**3,0**	**n.s.**	**10,2**	**3,0**

La produzione media di acheni è risultata soddisfacente, superando i 32 q ha^{-1}, mentre la peggiore è comunque risultata superiore alle 3 t ha^{-1}, a testimonianza della validità del materiale in valutazione.

Doriana ha fornito la migliore prestazione, sfiorando le 3,5 t ha^{-1}; ad essa si sono affiancate, con produzioni non differenti statisticamente Mas 92.B, PR64H41, NK Camen e Ruby.

La percentuale di olio degli acheni non è risultata molto elevata: Doriana ha evidenziato il migliore contenuto, mentre altri cinque ibridi hanno superato il valore del 45%.

Questo carattere ha inevitabilmente condizionato i risultati relativi alla resa in olio, dove solo Doriana, al vertice in tutte le graduatorie di merito produttivo, e Mas 92.B hanno mantenuto le posizioni più alte.

Riguardo alla precocità delle accessioni, intesa come intervallo di giorni tra l'emergenza e l'inizio della fioritura, quando cioè almeno il 50% delle calatidi di una varietà mostrano le ligule gialle perpendicolari al disco, otto giorni hanno separato l'ibrido che ha raggiunto per primo l'antesi (Oleko) dai più tardivi (LG 56.72, LG 56.68, Solaris e DKF3554). Per quanto riguarda l'intero ciclo, inteso come intervallo emergenza-maturazione agronomica, Sillouet e Arena PR sono state le più precoci, NK Camen e Ollimi le più tardive, con uno scarto di sette giorni.

L'altezza delle piante è risultata abbastanza contenuta, con 162 cm di media: Mas 92.B, la varietà più alta, ha raggiunto i 173 cm, PR64H41, la più bassa, 155.

Il peso medio degli acheni è oscillato tra gli 0,463 g di Arena PR e gli 0,645 di Mas 92.B.

Osservazioni conclusive

Nel vasto panorama delle varietà proposte per l'elianticoltura italiana sono evidenti significative differenziazioni nei riguardi delle attitudini produttive e qualitative, nonché della stabilità di espressione di tali caratteristiche. Sulla base di queste osservazioni sembra indispensabile la verifica delle nuove costituzioni offerte con notevole dinamismo dal settore sementiero, per valorizzare ogni possibile opportunità di miglioramento delle rese, condizione essenziale per la sopravvivenza della coltura o della sua estensione ai comprensori meno facili. A tale esigenza risponde puntualmente la Rete nazionale di valutazione varietale finanziata dall'ASSOSEMENTI (AIS), che, nel biennio 2009-2010, ha visto ampliare il proprio campo di indagine, grazie alla collaborazione instaurata nell'ambito del progetto SuSCACE, per ottenere una valutazione di tipo globale, che coinvolga aspetti legati all'adattamento, produttività e qualità delle varietà proposte in ambito commerciale.

La sperimentazione ha posto in evidenza le buone potenzialità produttive del girasole in tutti gli ambienti colturali oggetto di indagine anche a dimostrazione della qualità del materiale posto in valutazione. I risultati hanno fornito una conferma delle caratteristiche agronomiche e produttive di un gruppo di varietà posizionatesi spesso ai vertici delle classifiche degli ultimi anni, tra cui vanno ricordate Doriana, Mas 92.B, PR64H41, NK Camen, Ruby e evidenziato ibridi molto interessanti e promettenti, come Mas 84.E, Mas 83.R, Inostarck, NX 64005, Mas 90.T, che, però, data la loro inclusione per la prima volta in valutazione, necessitano di conferme in successive esperienze.

Le varietà ad alto contenuto di acido oleico hanno anzitutto confermato un elevato e oramai stabile contenuto di questo acido grasso nelle diverse località, in alcuni casi con valori superiori al 90%. Inoltre hanno perso definitivamente quelle caratteristiche di taglia delle piante e tardività nel ciclo che le relegava ad essere etichettate come varietà di serie B, evidenziando, invece, una più spiccata precocità di fioritura ed una altezza equivalente alle altre. Soprattutto, però, hanno effettuato la salita di un ulteriore gradino verso la parità produttiva con i tipi convenzionali (Del Gatto *et al*, 2009), che nella stagione 2010 può dirsi pienamente raggiunta: la media produttiva delle varietà convenzionali in prova in tutte le località ha superato di appena 60 kg per gli acheni e 20 kg per l'olio la resa delle alto oleico, mentre ad Osimo, Gravina e Policoro queste ultime hanno offerto prestazioni superiori alle prime. Nell'arco temporale del biennio, invece, le varietà presenti si sono assolutamente equivalse, confermando la raggiunta equiparazione fra i diversi tipi. L'utilizzo di varietà ad alto contenuto di acido oleico nella frazione lipidica, non comportando alcuna differenza nella tecnica di coltivazione, permette, grazie alla maggiore versatilità di utilizzo dell'olio ad elevato tenore in acido C 18:1 la destinazione ad un'ampia gamma di impieghi.

Bibliografia

Del Gatto A., Pieri S., Laureti D., 2006. Valutazione di ibridi commerciali di girasole nelle Marche. Dal seme, 2, 40-52.

Del Gatto A., Toscano G., Foppa Pedretti E., Seghetta D., Angelini P., Pieri S., Cardinali A., 2008. Il girasole alto oleico: nuove opportunità per una coltura multifunzionale. Dal seme, 4, 55-62.

Del Gatto A., Pieri S, Ridoni G., Sarti A., Cozzolino E., Leone V., 2009. Quale girasole seminare nel 2009. L'Informatore Agrario, 10, 45-49.

Frascarelli A., 2010. Dalla pac una spinta al girasole. L'Informatore Agrario, 12, 45-47.

Laureti D., Monotti M., Conti D., Del Pino A.M., Pieri S., Ridoni G. 2006. Girasole: panorama varietale per il 2006. L'Informatore Agrario LXII 10, Speciale Girasole, 34-39.

Monotti M., Del Pino A.M., Tanzi F., Coletti A.**,** Laureti D., Mazzoncini M., Sunseri F, Capitanio R., Polazzo D., Pieri, S, Brugna E., 1998. Valutazione di varietà di girasole in diversi ambienti italiani nel 1997. L'Informatore Agrario, LIV, Supplemento al n. 10, 9-30.

Monotti, M., Laureti, D., Conti, D., Del Pino A.M.; Pieri; S., Ridoni, G., 2001. Valutazione di varietà di girasole per la coltivazione in Italia. L'Informatore Agrario LVII 11, Speciale Girasole, 49-56.

Monotti, M., Conti D**.,** Laureti D., Del Pino A.M., Pieri S., Ridoni G. 2003. Valutazione di varietà di girasole in ambienti dell'Italia centrale. L'Informatore Agrario LIX, 11, Speciale Girasole, 35-41.

Monotti M., Laureti D., Conti D., Del Pino A.M.; Pieri S., Ridoni G. 2004. Girasole: conferme e novità della sperimentazione varietale 2003. L'Informatore Agrario LX 10, Speciale Girasole, 47-55.

Monotti M., Laureti D., Conti D., Del Pino A.M.; Pieri S., Ridoni G. 2005. Nuovi aggiornamenti del panorame varietale del girasole. L'Informatore Agrario LXI 10, Speciale Girasole, 35-39.

b - Un biennio di prove di valutazione di cultivar di *Brassica napus* e *Brassica carinata* in Italia

A two-years long assessment tests of Brassica napus *and* Brassica carinata *cultivars in Italy*

Andrea Del Gatto*, Sandro Pieri*, Mario Di Candilo, Giuseppe De Mastro⁂, Marco Signor◈, Gianluca Carboni◆, Giovan Mario Ridoni⅄**

Riassunto

La drastica riduzione della produzione bieticola nazionale a seguito della riforma OCM zucchero ha comportato la necessità di riconversione delle superfici un tempo destinate alla chenopodiacea con colture, magari a destinazione energetica, per le quali è quanto mai indispensabile l'approfondimento delle ricerche in campo agronomico in relazione alla loro adattabilità agli ambienti di produzione.

A tale scopo, nell'ambito del progetto SuSCACE, è stata impostata, nel biennio 2009-2010, una rete di prove di valutazione di 34 varietà di colza e 7 di *Brassica carinata* distribuite rispettivamente da 16 e 3 ditte sementiere, in 6 località, con un disegno sperimentale a blocco randomizzato con 3 ripetizioni, parcelle di 15-18 m^2, una densità di investimento di 60-65 semi germinabili m^{-2}.

* Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura Centro di Ricerca Colture Industriali (CRA-CIN) Ex S.O.P. Osimo (AN).

** Consiglio per la Ricerca e la sperimentazione in Agricoltura-Centro di ricerca per le Colture Industriali (CRA-CIN), Bologna.

⁂ Dipartimento di Scienze Agro-ambientali e Territoriali, Facoltà di Agraria, Università degli Studi, Bari.

◈ Agenzia regionale per lo Sviluppo rurale - ERSA, Gorizia.

◆ Agris Sardegna-Dipartimento per la Ricerca nelle Produzioni Vegetali, Cagliari.

⅄ Agenzia Regionale per lo Sviluppo e l'Innovazione nel settore Agricolo Forestale-ARSIA, Firenze.

L'andamento climatico, specialmente nel secondo anno, ha fortemente condizionato le colture particolarmente nelle località estreme, penalizzando drasticamente la produzione in ambienti tradizionalmente vocati, esaltandola in altri dove invece la coltura fatica normalmente a trovare condizioni confacenti.

I risultati hanno evidenziato differenze sostanziali tra genotipi, giunte anche fino al 40% della migliore produzione. Le cultivar ibride hanno confermato la loro superiorità, denotando, generalmente, una maggiore vigoria e produttività delle altre, con l'eccezione di Alpaga, unica linea pura del gruppo di merito, che ha evidenziato il miglior contenuto in olio. Excalibur, Pulsar, Tassilo, Exagone, NK Formula, si sono dimostrate, inoltre, in grado di fornire sufficienti garanzie di stabilità.

La *Brassica carinata* ha mostrato minori capacità produttive, non tanto per la resa in seme, quanto relativamente al tenore in olio, mediamente inferiore di oltre 9 punti percentuali. Tale indicazione suggerisce il consolidamento di programmi di selezione per la costituzione di varietà a più alto contenuto di olio per colmare questo gap. In ogni caso, fra le varietà a confronto si sono distinte CT 180 CT 204 e Serena, che hanno evidenziato risultati apprezzabili.

Parole chiave: colza, carinata, biodiesel, olio, ibrido, varietà.

Abstract

A drastic reduction of national beet production led to reconversion of areas once appointed to Chenopodiacea, *as a consequence of sugar OCM reform.*

Main alternatives, individualized in the bio-energetic chain, make a research deepening in the agronomical matter very necessary, in relation to adaptability to the production localities of energy destined cultivations.

Among cultivations, rape seed and Brassica carinata *play an interesting role for both environmental and economical implications.*

The "Scientific Support to Agronomical Conversion towards Energetic Cultivation" (SUSCACE) project was born as a support to the reconversion plans of the major national sacchariferous industries towards different agro-energetic chains.

In this context, SUSCACE deals with the study of certain aspects of the agronomical technique, which may be fundamental for the cultivation outcome, including varietal selection.

In order to achieve this aim, from (2008) 2009-(2009) to 2010 a network of evaluation tests of 34 different rape seed varieties and 7 of Brassica carinata *was planned.*

Rape seed varieties were distributed to 16 seed companies, while Brassica carinata to 3 ones.

Tests were made in 6 locations, separately for the 2 species and they were based on a block randomized experimental design and in triplicate for both the species.

Seeding areas were 15-18 m^2 wide (with an exploitable surface of 10 m^2 at least) and the investment density was of 60-65 germinable seeds m^{-2}.

The chosen sowing season enabled the achievement of the "rosette phase" as soon as the first winter cold arrived.

Main phenological, morphological and productive remarks were made during tests execution.

Climatic trend greatly affected development of cultivations, particularly in extreme locations and especially during the second year of experimentation (2010).

This drastically penalized production in traditionally vocated locations, exalting it in other areas where cultivation are hardly able to normally find suitable conditions.

Results have confirmed the necessity to provide farmers with supporting information about varietal selection, which remains one of the most crucial points in the management of an agricultural cultivation, which is so sensitive from this point of view.

For colza seed, in fact, differences among genotypes have been essential, amounting till 40% of the best production.

Furthermore, fast renewal of varietal range should not be disregarded, since it necessitates specification of information about genotype adaptability, introducing new cultivars selected for locations that are different from ours, where the cultivations are much more widespread.

Hybrid cultivars have confirmed their superiority, generally indicating greater productivity and vitality than other varieties.

One exception was Alpaga, the only pure line of the merit group, which has denoted the best oil content.

Moreover Excalibur, Pulsar, Tassilo, Exagone, NK Formula have shown to provide sufficient guarantees of stability.

Brassica carinata *has revealed less productive capacity, not in relation to seed yields, but mostly to oil content, that is in medium 9 percentage points lower.*

This big difference in lipid content suggests the consolidation of some breeding programs for the constitution of varieties characterized by a greater oil content.

These selections are directed to fill a gap essentially due to the relatively recent interest in this plant and the resulting scanty progress achieved in its genetic improvement so far, in order to take advantage of benefits showed by Brassica carinata *respect to* Brassica napus.

In connection with that, Brassica carinata *may be more favorably used in areas where the typical climatic conditions make the cultivation of rape seed particularly difficult.*

It is exemplifying that in Sardegna the varietal test on rape seed was compromised because of the critical wind conditions during the harvesting phase, widening the already delicate issue of spontaneous siliques' dehiscence.

On the contrary, Brassica carinata *harvesting was regularly performed in the same areas, as it is known to be insensible to this problem.*

In any case, CT 180, CT 204 and Serena have shown good results distinguishing themselves among all the tested varieties.

Keywords: *rape seed, mustard, oil, hybrid, variety.*

Introduzione

Negli ultimi anni la coltivazione del colza sembra aver ridestato nuovo interesse negli operatori del mondo agricolo. Questa coltura, tipicamente diffusa nelle nazioni del Centro-Nord Europa, (l'UE rappresenta il leader fra i paesi produttori mondiali; Germania e Francia detengono più del 70% della produzione Comunitaria, seguite da Polonia e Gran Bretagna), ha fatto riscontrare nel nostro paese un inversione di tendenza con un rilevante incremento percentuale della superficie investita, anche se modesto in termini assoluti, vuoi per la tradizionale diffidenza degli agricoltori verso colture diverse da quelle più familiari, vuoi per alcuni difetti (deiscenza delle silique, suscettibilità all'allettamento) evidenti in vecchie varietà, vuoi per insuccessi subiti per cattivi impianti della coltura (Onofri *et al*., 2005).

Con lo sviluppo delle bioenergie, invece, il colza torna ad essere una coltura di interesse (Palmieri *et al*., 1992) sia per i risvolti ambientali, che per quelli economici (Boschetti, 2008).

Così se nel corso dei primi anni del duemila il riallineamento degli aiuti ai semi oleaginosi e la nuova politica del disaccoppiamento ha drasticamente ridimensionato, riducendo significativamente gli effetti meramente speculativi ad esso associati, gli investimenti a colza nel nostro paese, portando fino al limite minimo di circa 3.000 ha (Menguzzato *et al*., 2007) la superficie nazionale dedicata alla coltura, nell'ultimo triennio si è assistito ad una apprezzabile ripresa degli investimenti. A tal proposito hanno giocato un ruolo determinante il sensibile calo dei prezzi dei cereali e la drastica riduzione della produzione bieticola nazionale a seguito della riforma OCM zucchero che ha comportato la necessità di riconversione delle superfici destinate alla chenopodiacea (Marinelli, 2009), processo già in atto a causa del sopra ricordato effetto della modifica e relative convenienze legate al disaccoppiamento degli aiuti comunitari che hanno collocato gli agricoltori in un contesto di assoluta incertezza.

Le principali alternative, individuate nella filiera bionergetica, rendono quanto mai indispensabile l'approfondimento delle ricerche in campo agronomico in relazione all'adattabilità delle coltivazioni a destinazione energetica agli ambienti di produzione (Innocenti *et al*., 2008; Laureti, 1989), affinando la tecnica colturale in funzione della massimizzazione delle rese e riduzione dei costi colturali, in un contesto di organizzazione della logistica e razionalizzazione della filiera (Lazzeri *et al*., 2009).

In questo ambito il progetto SuSCACE (Supporto Scientifico alla conversione Agricola verso le Colture Energetiche), nato come risposta del MIPAAF alla domanda di ricerca formulata dalle proprietà industriali Eridania Sadam, S.F.I.R., Co.Pro.B. Italia Zuccheri, a supporto dei loro piani di riconversione del settore bieticolo-saccarifero verso le diverse filiere agro-energetiche, per favorire, nei bacini di approvvigionamento degli impianti derivati dagli zuccherifici, la conversione delle superfici destinate a barbabietola da zucchero in colture energetiche, ha affrontato nel

sottoprogetto "Aggiornamento delle conoscenze inerenti la scelta varietale e l'agrotecnica delle principali colture erbacee dedicate alla produzione dei biocombustibili solidi (biomasse) e liquidi (biodiesel e bioetanolo)" lo studio di alcuni aspetti di tecnica agronomica che possono risultare fondamentali nella riuscita della coltura. Tra queste la scelta delle varietà adatta all'ambiente di coltivazione è determinante per conseguire risultati economicamente validi (Toniolo *et al*., 1992), anche perché le numerose varietà disponibili sono frutto del lavoro di miglioramento genetico svolto all'estero, data l'importanza che, come già detto, questa coltura riveste al di fuori dei confini nazionali (Mosca *et al.*, 2007).

Numerosi sono i tipi disponibili (De Mastro e Bona, 1998): in base all'habitus si distinguono varietà non alternative (più adatte agli areali centro settentrionali) e varietà alternative (più indicate per le zone meridionali); dal punto di vista genetico si individuano linee pure (L), associazioni varietali (AV), di solito costituite da un miscuglio di seme contenente per l'80% una linea maschio sterile e per la restante porzione un'impollinante, o veri e propri ibridi (H); a seconda della composizione acidica dell'olio si distinguono varietà "O" (con assenza di acido erucico) e "OO" (con, inoltre, basso contenuto di glucosinolati) o ad alto contenuto di acido erucico (> 60%).

Accanto al colza un'altra coltura praticabile al fine di un suo utilizzo dal punto di vista energetico è la Brassica carinata, una brassicacea oleifera che presenta moltissime affinità morfologiche e colturali con il più conosciuto colza, ma che, d'altro canto, presenta molti aspetti vantaggiosi: la maggiore rusticità, la più lunga durata del periodo fioritura-maturazione e la maggiore capacità di valorizzare le scarse precipitazioni primaverili che la rendono più resistente a condizioni di stress idrico, la minore esigenza in concimazioni minerali che si traduce in un cospicuo risparmio di azoto da somministrare, la maggiore resistenza a talune avversità parassitarie, il pressoché inesistente fenomeno della deiscenza delle silique che le consente di superare i problemi di perdita alla raccolta che affliggono invece il colza (Del Gatto *et al.*, 2010)

L'interesse relativamente recente per questa coltura non ha permesso un deciso implemento nel lavoro di miglioramento genetico sulla specie che, allo stato attuale, vanta poche varietà disponibili (meno di una decina) per cui resta, comunque, indispensabile una valutazione di adattamento ambientale.

Organizzazione della sperimentazione

Al fine di valutare adattamento e potenzialità produttiva delle principali varietà commercializzate nel territorio nazionale, ed in special modo negli areali maggiormente interessati al fenomeno di riconversione agricolo-industriale innescato dalla riforma, individuati dalle imprese saccarifere coinvolte nel progetto, è stata impostata, nel biennio (2008-) 2009/(2009-) 2010, una rete di prove di valutazione di 34 va-

rietà di colza e 7 di *Brassica carinata* distribuite rispettivamente da 16 e 3 ditte sementiere (Tab.1).

Tabella 1 - Elenco dei materiali in valutazione e relativa ditta distributrice.

*Brassica napus**

	VARIETA'	DITTA
1	**ES ARTIST**	APSOVSEMENTI
2	**ES BETTY**	APSOVSEMENTI
3	**VECTRA**	CARLAIMPORT SEMENTI
4	**HERCULES**	CARLAIMPORT SEMENTI
5	**EXAGONE**	DEKALB-AGROQUALITA'
6	**EXCALIBUR**	DEKALB-MONSANTO
7	*CATALINA*	DEKALB-MONSANTO
8	***FACILE***	FLORISEM
9	*ALPAGA*	FLORISEM
10	*KUTIBA*	ISEA
11	*ILIA*	ISEA
12	REMY	KWS Italia Spa
13	**TASSILO**	KWS Italia Spa
14	**CHAMPLAIN**	LIMAGRAIN
15	*SAVANNAH*	LIMAGRAIN
16	*MAKILA*	MAISADOUR
17	**TOCCATA**	MAISADOUR
18	**HYBRISTAR**	MORETTI CEREALI
19	**HYBRIGOLD**	MORETTI CEREALI
20	SHAKIRA	PADANA SEMENTI ELETTE
21	HENRY	PADANA SEMENTI ELETTE
22	**PR46W10**	PIONEER
23	**PR46W14**	PIONEER
24	***PR45D04***	PIONEER-AGROQUALITA'
25	*ECARLATE*	SEMFOR
26	ACROBATE LSC 72	SEMFOR
27	***AVENIR***	SIS
28	**PULSAR**	SIS
29	**NK PETROL**	SYNGENTA
30	**NK FORMULA**	SYNGENTA
31	**HORNET**	VENTUROLI
32	*LIONESS*	VENTUROLI
33	**TRAVIATA**	KWS Italia Spa
34	**FORZA**	MORETTI CEREALI

Brassica carinata

	VARIETA'	DITTA
1	CT 180	CEREALTOSCANA
2	CT 204	CEREALTOSCANA
3	ISCI 7	CEREALTOSCANA
4	SINCRON	PRO.SE.ME
5	SERENA	PRO.SE.ME
6	CARINA	SYNGENTA
7	CT 207	CEREALTOSCANA

* In neretto le cultivar ibride, in corsivo le varietà a libera impollinazione, sottolineate quelle dwarf o semi-dwarf

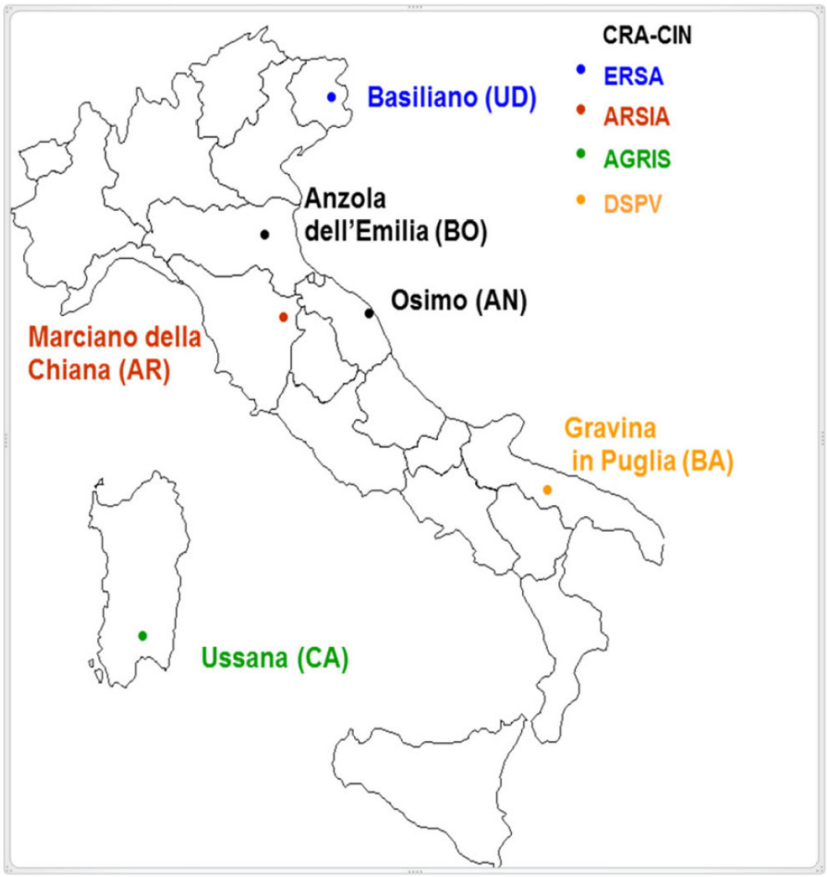


Figura 1 - Località di prova e unità operative coinvolte nella sperimentazione.

Le prove sono state effettuate in 6 località (Fig. 1), separatamente per le due specie, adottando, per entrambe, un disegno sperimentale a blocco randomizzato con 3 ripetizioni, parcelle di 15-18 m^2 (con una superficie utile di raccolta di almeno 10 m^2), una densità di investimento di 60-65 semi germinabili m^{-2} ed un epoca di semina tale da consentire il raggiungimento dello stadio di rosetta all'arrivo dei primi freddi.

Durante l'esecuzione delle prove sono stati effettuati i seguenti rilievi: data di semina, emergenza, inizio e fine fioritura, maturazione agronomica e raccolta; investimento all'emergenza, a fine inverno, alla raccolta; precocità di ripresa vegetativa, altezza della pianta, presenza di patogeni; allettamento, deiscenza delle silique, superficie raccolta, peso campione parcellare; umidità; contenuto di olio nei semi (determinazione NMR); produzione parcellare; peso di 1.000 semi in sostanza secca; sono stati inoltre calcolati resa areica in granella e olio.

Istituzioni coinvolte e responsabili che hanno condotto le ricerche sono indicati in tabella 2.

Tabella 2 - Località, istituzioni e responsabili della sperimentazione.

Località di prova	Istituzione	Responsabile
Basiliano (UD)	Agenzia regionale per lo Sviluppo rurale –ERSA-Via Montesanto 17 - 34170 Gorizia	Dr. Marco Signor
Anzola dell'Emilia (BO)	Consiglio per la Ricerca e la sperimentazione in Agricoltura-Centro di ricerca per le Colture Industriali (CRA-CIN), Via di Corticella, 133, 40128 Bologna	Dr. Mario Di Candilo
Località Cesa Marciano della Chiana (AR)	Agenzia Regionale per lo Sviluppo e l'Innovazione nel settore Agricolo Forestale-ARSIA-, Via Pietrapiana 30, 50121 Firenze	Dr. Giovan Mario Ridoni
Osimo (AN)	Consiglio per la Ricerca e la sperimentazione in Agricoltura-Centro di ricerca per le Colture Industriali (CRA-CIN) Ex SOP, Via Cagiata, 90, 60027 Osimo (AN)	Dr. Andrea Del Gatto (coordinatore)
Ussana (CA)	Agris Sardegna-Dipartimento per la Ricerca nelle Produzioni Vegetali ,V.le Trieste, 111, - 09123 Cagliari	Dr. Gianluca Carboni
Gravina in Puglia (BA)	Dipartimento Scienze Produzione Vegetali (DSPV), Facoltà di Agraria – Università degli Studi, Via Amendola 165/A, 70126 Bari	Prof. Giuseppe De Mastro

Risultati

2008-2009

Il perdurare di condizioni meteo avverse, che hanno preceduto e seguito la semina della prova in Toscana, non hanno consentito una sufficiente emergenza delle colture per cui i risultati delle prove per colza e carinata relativi alla suddetta regione non sono stati inseriti; lo stesso dicasi per quanto riguarda la *B. carinata* in Friuli ed in Puglia, dove l'emergenza è stata insufficiente ad assicurare una densità adeguata della coltura e la prova non è stata presa in considerazione; in Sardegna, invece, un eccezionale burrasca di scirocco in prossimità della raccolta ha inficiato la prova varietale di *B. napus*; non altrettanto per la *B. carinata* che gode di pregevoli caratteristiche di indeiscenza delle silique.

In relazione alle condizioni meteorologiche gli ambienti di coltivazione sono risultati quanto mai diversificati (Fig. 2). Basiliano ha presentato un decorso pluviometrico a dir poco eccezionale, con precipitazioni superiori di quasi 800 mm a quelle, già abbondanti, riscontrate nella media poliennale nel periodo novembre-marzo e temperature che raramente sono risultate sotto media; ad Anzola le temperature sono sempre state superiori alla media tranne nei mesi di dicembre-febbraio, mentre le precipitazioni, normalmente non particolarmente abbondanti, sono cadute più copiose di oltre 100 mm nel mese di novembre; ad Osimo l'andamento meteo è risultato abbastanza regolare, con precipitazioni superiori alla norma nel periodo invernale e

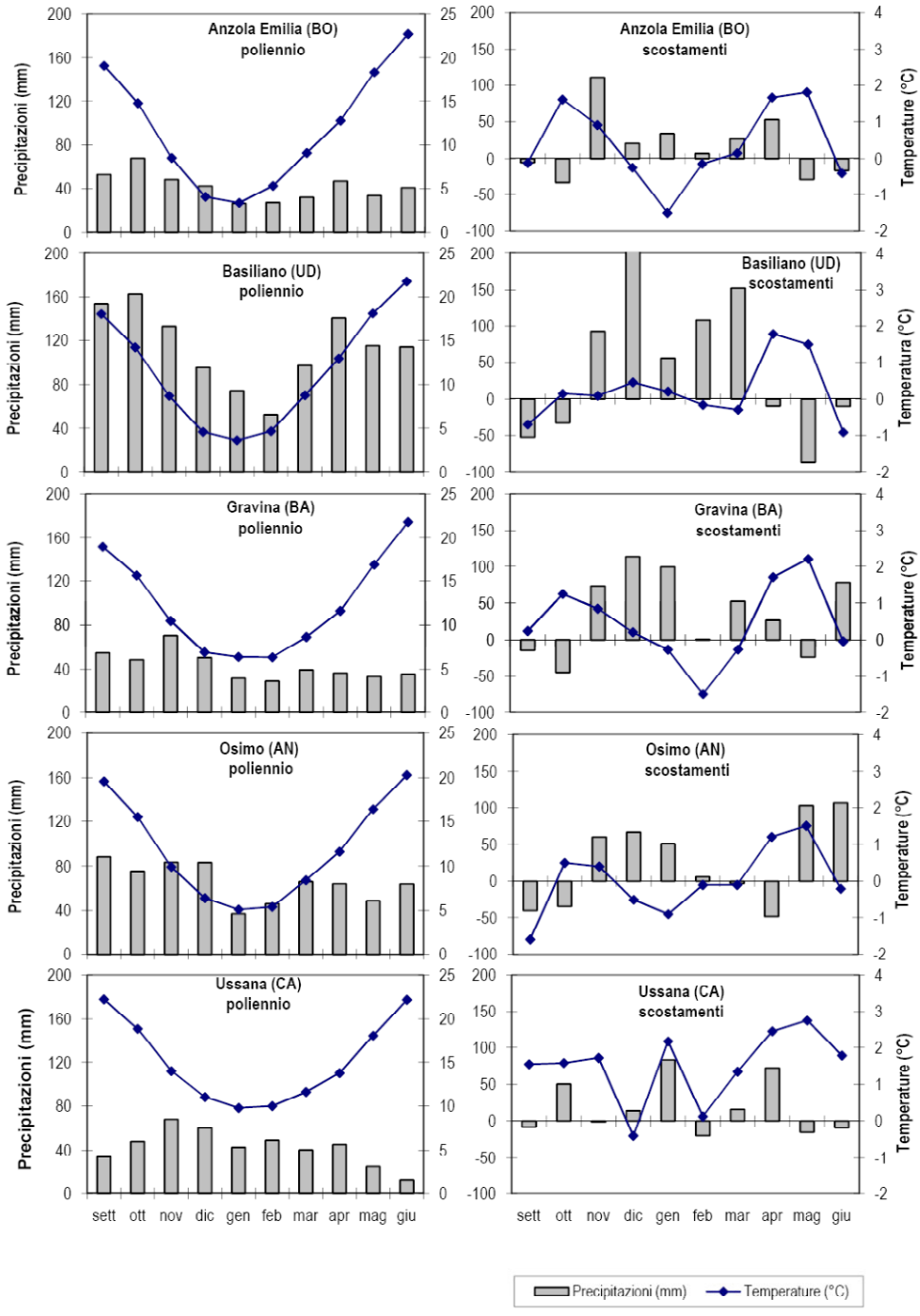


Figura 2 - Precipitazioni e temperature medie poliennali delle località e loro scostamenti rilevati nel primo anno.

di fine primavera, con temperature più basse nel mese di settembre e nel periodo invernale che si sono repentinamente innalzate nel mese di aprile e maggio. Le località meridionali hanno fruito di un incremento nelle piogge, solitamente scarse, nei mesi di ottobre, gennaio e aprile, per Ussana, e nei mesi invernali e di inizio primavera, per Gravina, con temperature, però, quasi sempre al di sopra della media poliennale.

B. napus

Riguardo la produzione in granella l'ambiente settentrionale di Anzola dell'Emilia è quello che meglio degli altri ha permesso alle accessioni di esplicare le potenzialità produttive; si sono sfiorate, infatti, le 4 tonnellate di resa media, con una differenza di quasi 12 q rispetto alla media di campo della località marchigiana (28 q ha^{-1}), subito seguente per produttività quella emiliana. Nei due ambienti di latitudine estrema, invece, le cultivar hanno conseguito risultati decisamente inferiori, cosa presumibilmente prevedibile per la località pugliese, alquanto inusuale per quella friuliana.

In quest'ultimo caso, come già accennato, all'inverno particolarmente piovoso, che sicuramente ha influito negativamente sulla capacità di approfondimento radicale e di assorbimento dell'azoto da parte della pianta, ha fatto seguito un periodo, corrispondente alla fase di riempimento dei semi, caldo e siccitoso che ha drasticamente decurtato le produzioni che sono perciò risultate più basse di quelle realizzate negli anni passati, del tutto assimilabili a quelle ottenute nella stessa annata in altre realtà del medesimo areale. La prova ha comunque permesso una certa differenziazione produttiva fra le tesi (Tab. 3): Excalibur ed Alpaga hanno raggiunto le migliori produzioni superando, insieme ad Hornet, i 21 q ha^{-1} nella resa in granella; hanno seguito, con produzioni assimilabili e senza differenze statisticamente significative tra loro e con le prime, PR46W10, Exagone, Ecarlate, Toccata, PR46W14, Champlain e Pulsar.

Ad Anzola la differenziazione statistica fra le performance produttive delle accessioni è stata relativa: ben 16 cultivar hanno superato o raggiunto le 4 t di resa ettariale, due di esse, Hornet e ES Betty, oltrepassando 4,5 t ha^{-1}.

Ad Osimo Pulsar ha raggiunto il vertice della graduatoria (3,36 t ha^{-1}), non differenziandosi statisticamente da Alpaga, Facile, Acrobate LSC 72 e Lioness (tutte con produzioni comunque superiori ai 30 q ha^{-1}), Tassilo, Hybristar e Remy.

A Gravina di Puglia tra le migliori varietà figurano Hybristar (2,05 t ha^{-1}) e Vectra (2,03 t ha^{-1}) le uniche due a superare la soglia dei 20 q ha^{-1}, insieme a Champlain, Acrobate LSC 72, Hercules, Hornet, PR46W14, NK Formula, Alpaga ed Excalibur.

Nella colonna relativa alla media cumulata delle località la migliore e la peggiore accessione hanno presentato un divario produttivo di 75 kg, mentre la resa media di tutte le tesi ha sfiorato i 25 q ha^{-1}.

Hornet è risultata la varietà più produttiva con 28,2 q ha^{-1}; a seguire altre undici accessioni non si sono diversificate statisticamente da queste: tra esse figura una sola linea pura, Alpaga, con la seconda prestazione in assoluto insieme ad altri dieci ibridi (Hybristar, PR46W14, Excalibur, Pulsar, Vectra, NK Formula, ES Betty, Champlain, Hercules e Toccata.

Tabella 3 - Produzione di granella al 9% di umidità nella stagione 2008-2009.

Varietà	Anzola Emilia (BO)		Basiliano (UD)		Gravina (BA)		Osimo (AN)		Media 2009	
	t ha^{-1}	grad.	t ha^{-1}	grad.	t ha^{-1}	grad.	t ha^{-1}	grad.	t ha^{-1}	grad.
HORNET	4,54 a	1	2,15 ab	3	1,77 ae	6	2,83 bg	15	2,82 a	1
ALPAGA	4,00 ad	16	2,16 a	2	1,69 ag	9	3,24 ab	2	2,77 ab	2
HYBRISTAR	4,23 abc	7	1,73 cj	15	2,05 a	1	2,93 af	8	2,73 ac	3
PR46W14	4,37 ac	5	1,94 ae	8	1,73 af	7	2,68 dg	23	2,68 ad	4
EXCALIBUR	3,87 ad	20	2,18 a	1	1,67 ah	10	2,89 bf	10	2,65 ae	5
PULSAR	4,11 ad	12	1,85 ag	10	1,25 hm	21	3,36 a	1	2,65 ae	6
VECTRA	4,22 ac	8	1,71 cj	16	2,03 ab	2	2,61 dg	25	2,64 ae	7
NK FORMULA	4,35 ac	6	1,66 cj	21	1,71 ag	8	2,84 bg	14	2,64 ae	8
ES BETTY	4,53 a	2	1,81 bh	11	1,29 gm	20	2,72 dg	21	2,59 af	9
CHAMPLAIN	3,71 ad	26	1,88 af	9	1,99 ac	3	2,76 cg	19	2,59 af	10
HERCULES	4,09 ad	13	1,71 cj	17	1,83 ad	5	2,71 dg	22	2,58 af	11
TOCCATA	4,06 ad	14	1,94 ae	7	1,53 dj	13	2,79 bg	16	2,58 ag	12
ACROBATE LSC 72	3,57 bd	28	1,50 hj	28	1,97 ac	4	3,03 ad	5	2,52 bg	13
NK PETROL	3,97 ad	17	1,81 ch	12	1,52 dj	14	2,73 dg	20	2,51 bh	14
TASSILO	4,37 ac	4	1,09 k	32	1,61 bi	11	2,96 ae	6	2,51 bh	15
REMY	4,13 ad	10	1,69 cj	19	1,21 im	24	2,93 af	7	2,49 bi	16
LIONESS	4,14 ad	9	1,56 fj	26	1,21 im	23	3,03 ad	4	2,49 bi	17
FACILE	3,97 ad	18	1,74 cj	14	0,99 km	29	3,20 ac	3	2,47 bi	18
ECARLATE	3,80 ad	22	1,95 ad	6	1,37 el	17	2,77 cg	17	2,47 ci	19
CATALINA	3,87 ad	21	1,80 ci	13	1,34 em	18	2,88 bf	11	2,47 ci	20
HYBRIGOLD	4,47 ab	3	1,71 cj	18	0,94 mn	31	2,77 cg	18	2,47 ci	21
AVENIR	4,12 ad	11	1,63 dj	22	1,20 im	25	2,87 bf	12	2,46 ci	22
PR46W10	4,03 ad	15	1,98 ac	4	1,21 im	22	2,52 eg	30	2,44 di	23
EXAGONE	3,63 ad	27	1,97 ad	5	1,14 im	27	2,90 bf	9	2,41 di	24
PR45D04	3,78 ad	23	1,66 cj	20	1,57 ci	12	2,60 dg	26	2,40 di	25
ES ARTIST	3,96 ad	19	1,46 ij	30	1,19 im	26	2,85 bg	13	2,37 ei	26
SHAKIRA	3,74 ad	25	1,54 gj	27	1,51 dj	15	2,54 eg	29	2,33 fj	27
SAVANNAH	3,77 ad	24	1,58 fj	24	1,12 im	28	2,66 dg	24	2,28 gj	28
ILIA	3,47 cd	31	1,56 fj	25	1,42 dk	16	2,41 g	32	2,21 hj	29
HENRY	3,56 bd	30	1,44 j	31	1,32 flm	19	2,48 fg	31	2,20 ij	30
KUTIBA	3,57 bd	29	1,60 ej	23	0,52 n	32	2,59 dg	28	2,07 j	31
MAKILA	3,26 d	32	1,48 hj	29	0,95 lm	30	2,59 dg	27	2,07 j	32
Medie	**3,98**		**1,73**		**1,43**		**2,80**		**2,49**	
C.V. %	**14,48**		**12,11**		**18,30**		**9,95**		**14,90**	
LSD 0,05	**0,94**		**0,34**		**0,43**		**0,45**		**0,30**	

Tabella 4 - Contenuto di olio in sostanza secca nella stagione 2008-2009.

Varietà	Anzola Emilia (BO)		Basiliano (UD)		Gravina (BA)		Osimo (AN)		Media 2009	
	%	grad.	%	grad.	%	grad.	%	grad.	%	grad.
HORNET	44,7 af	9	42,2 bg	21	43,4 gh	29	44,4 ci	16	43,7 fn	18
ALPAGA	45,7 ab	2	42,9 ae	10	47,3 a	1	46,3 a	1	45,6 a	1
HYBRISTAR	43,3 dj	25	42,4 bg	19	45,5 af	9	42,8 jk	28	43,5 ip	24
PR46W14	44,4 ai	13	42,9 ae	11	46,1 ac	4	45,2 ad	6	44,7 ae	6
EXCALIBUR	45,0 ae	7	43,2 ad	5	45,2 bh	12	43,6 ej	20	44,2 ci	11
PULSAR	42,0 j	32	42,7 af	14	44,6 ch	19	44,9 bd	9	43,6 gp	20
VECTRA	42,4 hj	30	42,5 bg	17	44,5 ch	20	42,8 jk	29	43,0 mp	29
NK FORMULA	45,2 ad	5	43,5 ac	3	45,3 bg	10	44,5 ch	14	44,6 bf	7
ES BETTY	42,7 fj	28	42,0 dg	28	43,3 gh	31	42,7 jk	30	42,7 op	31
CHAMPLAIN	44,5 ah	11	42,2 cg	25	44,9 ch	14	43,5 fk	23	43,7 en	17
HERCULES	42,5 gj	29	41,3 g	32	44,7 ch	16	42,7 jk	31	42,8 np	30
TOCCATA	44,6 ag	10	43,6 ab	2	45,8 ad	7	43,9 dj	19	44,5 bg	8
ACROBATE LSC 72	45,6 ac	3	43,2 ae	6	47,1 ab	2	45,2 ad	4	45,3 ab	3
NK PETROL	43,8 bj	21	42,2 cg	23	43,8 eh	27	43,2 hk	26	43,2 kp	26
TASSILO	44,8 af	8	43,4 ad	4	46,9 ab	3	45,0 ad	8	45,0 ac	4
REMY	43,5 cj	22	42,2 cg	22	44,0 dh	26	43,4 gk	25	43,3 ip	25
LIONESS	45,2 ad	4	43,9 a	1	45,9 ad	5	46,2 ab	2	45,3 ab	2
FACILE	44,4 ai	16	43,1 ae	7	44,5 ch	21	44,4 ci	15	44,1 cl	14
ECARLATE	44,4 ai	14	42,6 ag	15	44,7 ch	17	43,5 ek	21	43,8 dm	16
CATALINA	44,2 bi	19	43,0 ae	9	44,9 ch	13	45,2 ad	5	44,3 ci	10
HYBRIGOLD	42,3 ij	31	41,8 eg	30	44,3 ch	22	44,2 ci	17	43,1 lp	28
AVENIR	43,1 dj	26	42,0 dg	29	43,3 h	32	42,2 k	32	42,7 p	32
PR46W10	44,2 bi	18	42,8 af	12	44,1 dh	25	43,4 gk	24	43,6 go	19
EXAGONE	43,4 dj	24	43,0 ae	8	45,7 ae	8	44,1 dj	18	44,0 dl	15
PR45D04	45,1 ad	6	42,1 cg	26	45,9 ad	6	44,8 cf	11	44,5 bh	9
ES ARTIST	42,9 ej	27	42,1 cg	27	44,2 dh	23	43,5 ek	22	43,2 lp	27
SHAKIRA	44,4 ai	15	42,7 af	13	44,8 ch	15	44,8 be	10	44,2 cj	12
SAVANNAH	44,5 ah	12	42,6 ag	16	44,1 dh	24	45,4 ac	3	44,2 ck	13
ILIA	43,5 dj	23	42,2 cg	24	43,7 fh	28	44,7 cg	12	43,5 ip	22
HENRY	44,0 bj	20	42,3 bg	20	44,7 ch	18	43,0 ik	27	43,5 ip	23
KUTIBA	44,3 ai	17	41,4 fg	31	43,4 gh	30	45,1 ad	7	43,6 hp	21
MAKILA	46,3 a	1	42,5 bg	18	45,3 bg	11	44,7 cg	13	44,7 ad	5
Medie	**44,1**		**42,6**		**44,9**		**44,2**		**43,9**	
C.V. %	**2,9**		**2,0**		**2,7**		**1,9**		**2,7**	
LSD 0,05	**2,1**		**1,4**		**2,0**		**1,4**		**0,9**	

Il contenuto in olio dei semi (Tab. 4), espresso come percentuale del peso secco, è risultato più o meno equivalente in tutte le località, risultando mediamente inferiore di meno di due punti percentuali a Basiliano, a conferma del fatto che il carattere risulta fortemente legato al genotipo. Le differenze tra varietà sono state poco marcate, oscillando tra i 2,6 punti percentuali della località udinese ed i quasi 4 delle altre. Il valore più alto è stato raggiunto in Puglia con Alpaga (47,3 %), che ha anche fatto registrare il contenuto più elevato (45,6 %) nella media generale, il valore più basso a Basiliano con Hercules (41,3 %), mentre nella media complessiva è Avenir che è risultata la cultivar con il tenore inferiore.

Anche per la produzione in olio (Tab. 5) Anzola ed Osimo sono risultati gli ambienti più favorevoli, mentre a Basiliano e a Gravina le rese medie sono rimaste lontane dalla tonnellata di olio ha^{-1}, valore sfiorato nella media fra le località. In quest'ultima graduatoria non tutte le costituzioni hanno confermato le posizioni di vertice raggiunte per la resa in acheni: Vectra, Champlain, Hercules ed ES Betty a causa dello scarso tenore in olio non possono più essere annoverate fra le migliori, al contrario di Acrobate LSC 72, che, proprio grazie all'espressione di un buon contenuto in olio, guadagna quattro posizioni rientrando tra le migliori nove accessioni. Nelle singole località i cambiamenti maggiori rispetto alle graduatorie produttive illustrate per la granella riguardano Anzola e Osimo: nel primo caso i cambiamenti (Pulsar ha perso sette posizioni, altrettante ne ha guadagnate Alpaga; Hercules e Vectra ne hanno perse quattro ed altrettante ne hanno risalite Excalibur e NK Formula) non hanno riguardato le differenze statistiche tra cultivar, come, invece, nella località marchigiana, dove Catalina è entrata nel gruppo delle migliori, mentre Hybristar e Remy lo hanno abbandonato.

Riguardo la precocità, intesa come numero di giorni dall'emergenza alla fioritura, la risposta agli ambienti delle accessioni è stata simile, con un intervallo medio tra la più precoce (Catalina) e la più tardiva (Avenir) di 10 giorni. Mediamente gli ibridi sono risultati i più precoci (96 giorni), con un giorno di ritardo le varietà a libera impollinazione e, più tardivi, gli ibridi semi-dwarf (100 giorni). Tali differenziazioni si sono alquanto attenuate considerando l'intervallo dell'intero ciclo semina-maturazione agronomica, dove le cultivar in prova hanno mostrato uno scarto di appena 3 giorni.

Queste hanno presentato una taglia contenuta superando appena il metro e mezzo di altezza, con uno scarto tra la più alta e la più bassa (rispettivamente Exagone, con 164 cm e Savannah, con 135) di circa 29 cm. Come atteso gli ibridi hanno mostrato una maggiore vigoria con, mediamente, 9 cm più delle varietà. Gli ibridi semi-dwarf, con una statura media di 144 cm, sono i genotipi che hanno presentato, fra i vari tipi, il minor allettamento; tra le più sensibili a questo carattere si sono invece dimostrate Exagone, la più alta, e Hercules ed Henry. Tutte le tesi in prova hanno fatto riscontrare un buon investimento, valutabile mediamente in poco più della metà di quello previsto alla semina (65 semi germinabili m^{-2}), che non è mai sceso sotto le 30 pp m^{-2}, tranne che per Savannah, Ilia e Kutiba, che hanno presentato maggiori problemi di emergenza rispetto alle altre.

Tabella 5 - Produzione di olio in sostanza secca nella stagione 2008-2009.

Varietà	Anzola Emilia (BO)		Basiliano (UD)		Gravina (BA)		Osimo (AN)		Media 2009	
	t ha^{-1}	grad.	t ha^{-1}	grad.	t ha^{-1}	grad.	t ha^{-1}	grad.	t ha^{-1}	grad.
HORNET	1,85 a	1	0,82 ac	3	0,70 af	9	1,14 bg	12	1,13 ab	2
ALPAGA	1,66 ae	9	0,84 ab	2	0,73 ae	6	1,37 a	2	1,15 a	1
HYBRISTAR	1,66 ae	8	0,67 dj	15	0,85 a	1	1,14 bg	13	1,08 ac	4
PR46W14	1,77 ab	4	0,76 af	8	0,72 ae	7	1,10 bg	18	1,09 ac	3
EXCALIBUR	1,58 ae	16	0,86 a	1	0,69 ag	10	1,15 bg	11	1,07 ae	6
PULSAR	1,57 ae	19	0,72 bg	10	0,51 gj	21	1,38 a	1	1,04 af	7
VECTRA	1,63 ae	12	0,66 dj	16	0,82 ab	3	1,01 eg	29	1,03 bh	10
NK FORMULA	1,78 ab	2	0,65 dj	17	0,70 af	8	1,15 bg	10	1,07 ad	5
ES BETTY	1,76 ac	5	0,69 ci	13	0,51 gj	20	1,06 dg	25	1,00 ch	15
CHAMPLAIN	1,49 be	26	0,72 ag	9	0,81 ac	4	1,09 cg	21	1,03 bh	11
HERCULES	1,58 ae	17	0,64 dj	20	0,75 ad	5	1,05 dg	26	1,01 ch	14
TOCCATA	1,64 ae	10	0,77 ae	6	0,64 ci	13	1,12 bg	15	1,04 ag	8
ACROBATE LSC 72	1,48 be	27	0,59 gj	28	0,85 a	2	1,25 ad	5	1,04 ag	9
NK PETROL	1,58 ae	18	0,69 ci	12	0,60 di	15	1,08 dg	22	0,99 ci	18
TASSILO	1,78 ab	3	0,43 k	32	0,69 ag	11	1,21 ae	6	1,03 bh	12
REMY	1,63 ae	11	0,65 dj	19	0,48 hj	24	1,16 bg	9	0,98 cj	20
LIONESS	1,70 ad	7	0,62 fj	22	0,51 gj	22	1,28 ac	4	1,03 bh	13
FACILE	1,60 ae	15	0,68 dj	14	0,40 j	29	1,30 ab	3	1,00 ch	17
ECARLATE	1,53 ae	23	0,76 af	7	0,56 ej	17	1,10 bg	19	0,99 cj	19
CATALINA	1,55 ae	20	0,70 ch	11	0,55 ej	18	1,18 af	7	1,00 ch	16
HYBRIGOLD	1,71 ad	6	0,65 dj	18	0,38 jk	31	1,11 bg	16	0,96 dj	23
AVENIR	1,62 ae	13	0,62 fj	23	0,47 hj	26	1,10 bg	20	0,95 fk	25
PR46W10	1,61 ae	14	0,77 ad	4	0,49 hj	23	0,99 fg	30	0,97 dj	22
EXAGONE	1,43 de	29	0,77 ae	5	0,47 hj	27	1,16 bg	8	0,96 ek	24
PR45D04	1,55 ae	22	0,64 ej	21	0,65 bh	12	1,06 dg	24	0,98 cj	21
ES ARTIST	1,55 ae	21	0,56 ik	30	0,48 hj	25	1,13 bg	14	0,93 gl	27
SHAKIRA	1,51 be	25	0,60 gj	27	0,62 di	14	1,03 eg	28	0,94 fk	26
SAVANNAH	1,52 ae	24	0,61 gj	24	0,45 ij	28	1,11 bg	17	0,92 hl	28
ILIA	1,37 e	32	0,60 gj	26	0,56 ej	16	0,98 g	31	0,88 il	29
HENRY	1,43 de	30	0,55 jk	31	0,54 fj	19	0,97 g	32	0,87 jl	30
KUTIBA	1,43 ce	28	0,60 gj	25	0,20 k	32	1,06 dg	23	0,83 l	32
MAKILA	1,37 e	31	0,57 hj	29	0,39 j	30	1,05 dg	27	0,85 kl	31
Medie	**1,59**		**0,67**		**0,59**		**1,13**		**0,99**	
C.V. %	**12,71**		**12,40**		**19,22**		**10,92**		**14,17**	
LSD 0,05	**0,33**		**0,14**		**0,18**		**0,20**		**0,11**	

B. carinata

Le produzioni di seme (Tab. 6) sono risultate, tutto sommato, soddisfacenti, sia ad Anzola Emilia (2,3/t ha^{-1}) che ad Osimo (2,8 t ha^{-1}), località che, per questa specie, ha scalzato l'ambiente emiliano dalla posizione di vertice raggiunta per il colza. Riguardo Basiliano valgono le considerazioni già espresse per il colza, mentre ad Ussana, località inserita in sostituzione di Gravina di Puglia, dove la densità della coltura era particolarmente critica e che, perciò, non è stata considerata, si è prodotto lo stesso quantitativo di granella ottenuto con il colza nella località pugliese.

Tabella 6 - Produzione di granella al 9% di umidità nell'annata 2008-2009.

Varietà	Anzola Emilia (BO)		Basiliano (UD)		Osimo (AN)		Ussana (CA)		Media 2009	
	t ha^{-1}	grad.	t ha^{-1}	grad.	t ha^{-1}	grad.	t ha^{-1}	grad.	t ha^{-1}	grad.
CT 180	3,00 a	1	1,20 ab	2	3,34 a	1	2,17 a	1	2,42 a	1
CT 204	2,15 c	5	1,37 a	1	3,25 a	2	1,77 ab	2	2,14 ab	2
ISCI 7	2,37 ac	3	1,10 ac	3	2,83 a	4	1,55 bc	3	1,96 bc	3
SINCRON	1,33 d	6	0,58 d	6	1,89 b	6	1,10 cd	5	1,22 d	6
SERENA	2,20 bc	4	1,03 bc	4	3,07 a	3	0,70 d	6	1,75 c	5
CARINA	2,80 ab	2	0,87 c	5	2,78 ab	5	1,33 bc	4	1,95 bc	4
Medie	**2,31**		**1,02**		**2,86**		**1,43**		**1,91**	
C.V. %	**15,39**		**15,12**		**17,45**		**23,01**		**18,93**	
LSD 0,05	**0,65**		**0,28**		**0,91**		**0,60**		**0,30**	

Fra le varietà risalta CT 180, che ha primeggiato in tutte le località considerate, risultando, in assoluto, la migliore nella media degli ambienti (2,42 t ha^{-1}). Da essa non si è distinta CT 204 (2,14 t ha^{-1}) che, invece, ha leggermente difettato nella località emiliana; le altre hanno prodotto mediamente sotto i 20 q ha^{-1}, anche se ISCI 7 e Carina vi si sono approssimate.

Tabella 7 - Contenuto di olio s.s. nell'annata 2008-2009.

Varietà	Anzola Emilia (BO)		Basiliano (UD)		Osimo (AN)		Ussana (CA)		Media 2009	
	%	grad.	%	grad.	%	grad.	%	grad.	%	grad.
CT 180	33,5 a	1	32,1 ab	4	31,5 b	5	36,9 a	3	33,5 a	3
CT 204	31,2 ab	5	32,0 b	5	34,6 a	1	37,0 a	2	33,7 a	2
ISCI 7	33,2 a	2	32,3 ab	3	33,0 ab	4	34,7 ab	5	33,3 a	4
SINCRON	27,2 b	6	29,8 c	6	29,5 c	6	37,2 a	1	30,9 b	6
SERENA	31,7 ab	4	33,5 a	1	33,9 a	3	32,4 b	6	32,9 a	5
CARINA	31,9 ab	3	33,5 ab	2	34,2 a	2	36,5 a	4	34,0 a	1
Medie	**31,4**		**32,2**		**32,8**		**35,8**		**33,1**	
C.V. %	**8,7**		**2,6**		**2,7**		**6,2**		**5,5**	
LSD 0,05	**5,0**		**1,5**		**1,6**		**4,0**		**1,5**	

Il contenuto in olio (Tab. 7) evidenziato dalla *B. carinata* è nettamente più basso di quello della *B. napus*, risultando mediamente inferiore di oltre 10 punti percentuali.

Ad Ussana si sono espressi i valori migliori, mentre tra le varietà Carina ha mostrato il tenore più alto.

Tabella 8 - Produzione di olio s.s. nell'annata 2008-2009.

Varietà	Anzola Emilia (BO)		Basiliano (UD)		Osimo (AN)		Ussana (CA)		Media 2009	
	t ha^{-1}	grad.	t ha^{-1}	grad.	t ha^{-1}	grad.	t ha^{-1}	grad.	t ha^{-1}	grad.
CT 180	0,91 a	1	0,35 ab	2	0,95 a	2	0,73 a	1	0,74 a	1
CT 204	0,61 b	5	0,40 a	1	1,02 a	1	0,60 ab	2	0,66 ab	2
ISCI 7	0,71 ab	3	0,32 ac	3	0,85 a	5	0,49 bc	3	0,59 bc	4
SINCRON	0,33 c	6	0,16 d	6	0,51 b	6	0,37 cd	5	0,34 d	6
SERENA	0,63 b	4	0,31 bc	4	0,95 a	3	0,21 d	6	0,53 c	5
CARINA	0,82 ab	2	0,26 c	5	0,86 a	4	0,44 bc	4	0,60 bc	3
Medie	**0,67**		**0,30**		**0,86**		**0,47**		**0,58**	
C.V. %	**17,96**		**14,19**		**17,58**		**24,92**		**20,13**	
LSD 0,05	**0,22**		**0,08**		**0,27**		**0,21**		**0,10**	

La produzione in olio, che, in definitiva, risulta determinante ai fini della coltura (Tab. 8), è stata, in assoluto, decisamente scarsa, di gran lunga inferiore a quella ottenibile con il colza, nella media degli ambienti circa la metà (0,99 VS 0,58 t ha^{-1}). Nulla cambia rispetto alla graduatoria relativa al precedente carattere produttivo per le posizioni di vertice, mentre ISCI 7 e Carina hanno invertito le loro posizioni in virtù del differente tenore in olio dei semi.

La specie ha mostrato una maggiore tardività in relazione al colza, con, mediamente, cinque giorni di ritardo per la fioritura e undici per l'intero ciclo.

CT 180 è risultata, in ogni caso, la cultivar più precoce, Serena quella che ha fiorito più tardi, ISCI 7 e Sincron quelle con il ciclo più lungo.

L'altezza delle piante è stata, in media, del tutto simile al colza: 60 cm hanno separato la statura della più alta, ISCI 7 (170 cm), dalla più bassa, Sincron (110 cm).

Su carinata si è registrato un maggiore allettamento, carattere che si è maggiormente evidenziato nei tipi più alti (Serena e ISCI 7), evidenziando una diretta correlazione con la taglia delle piante.

L'investimento alla raccolta è stato più basso che nel colza: la coltura ha mostrato problemi di fittezza fin dall'emergenza risultata più problematica che nell'altra specie, dimostrando, però, notevoli capacità di ripresa e compensazione.

2009-2010

L'andamento climatico della stagione 2009-2010 (Fig. 3) ha fortemente condizionato le colture specialmente nelle località estreme della rete di prove, spostando il baricentro della produttività dal Nord verso le regioni centro-meridionali. Se da un lato il picco di gelo verificatosi nella notte tra il 19 e 20 dicembre (-18,6 °C) ha causato

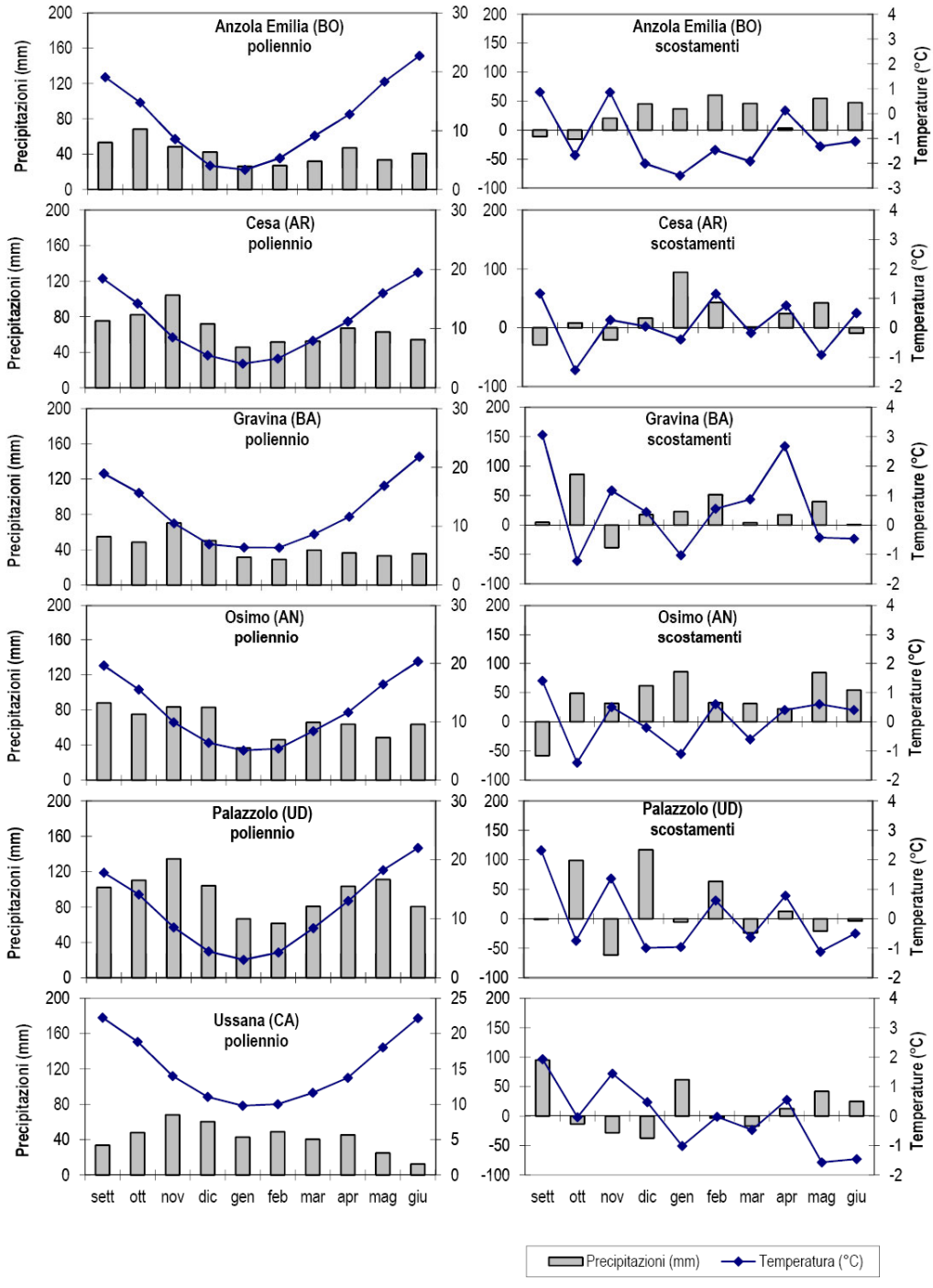


Figura 3 - Precipitazioni e temperature medie poliennali delle località e loro scostamenti rilevati nel secondo anno.

danni irreversibili alle piante di *Brassica carinata* in Friuli, dove la coltura è risultata irrimediabilmente compromessa ed il protrarsi di temperature molto basse durante la stagione invernale, unitamente alla abbondante piovosità dello stesso periodo, molto superiore alla media dell'ultimo decennio, ha condizionato drasticamente lo sviluppo della *B. napus,* causando evidenti danni da freddo e limitando l'altezza delle piante di almeno una trentina di centimetri rispetto alla media dello scorso anno, penalizzando drasticamente la produzione, mediamente la più bassa fra quelle di tutti gli ambienti di prova, d'altro canto, in Puglia le condizioni termo-pluviometriche sono risultate eccezionalmente favorevoli, con precipitazioni che hanno ben accompagnato le colture in tutte le fasi di sviluppo, consentendo produzioni del tutto inusuali per l'ambiente, ma paragonabili a quelle di pieno campo realizzate in aziende limitrofe a quelle oggetto di sperimentazione.

B. napus

Le migliori rese in granella (Tab. 9) sono state realizzate ad Osimo e Gravina (4,20 e 4,09 t ha^{-1}, rispettivamente); in Emilia si sono più o meno confermati i risultati raggiunti nella passata stagione, con una flessione di appena il 10%, mentre in Toscana ed in Sardegna, dove l'anno precedente le colture erano risultate compromesse, si sono superate le due tonnellate per ettaro. Mediamente l'annata è risultata migliore di quella precedente, con un incremento medio di circa il 16%. Nelle Marche Pulsar ha raggiunto, come il 2009, la migliore produzione in assoluto, con 47,5 q ha^{-1}, non differenziandosi statisticamente da altre diciotto accessioni, tutte con prestazioni superiori alle 4 t ha^{-1}. In Puglia diciannove cultivar hanno superato tale valore, ben tre di queste, tutte indifferenti tra loro statisticamente, con rese superiori alle 5 t ha^{-1}: Excalibur (5,75), Tassilo (5,65) e Savannah (5,40). In Emilia le due nuove entrate, Forza, al primo posto della graduatoria assoluta e Traviata hanno superato i 40 q ha^{-1}, non differenziandosi statisticamente da altre dodici accessioni. Nell'ambiente toscano Vectra ha sortito i migliori risultati superando, da sola, i 30 q ha^{-1}, non differenziandosi, però, da Hercules, Ecarlate ed Excalibur, che le si sono approssimate. In Sardegna Exagone si è posizionata al vertice della graduatoria, con 32,2 q ha^{-1}, seguita da Excalibur e Pulsar, entrambe con 30,8 q ha^{-1}, ed altre nove varietà, tutte al di sotto delle 3 t ha^{-1}, ma non differenti statisticamente dalle prime tre. In Friuli si è realizzata la maggiore differenziazione tra cultivar: Excalibur (2,84 t ha^{-1}) ha raggiunto il vertice, seguita da Exagone, che, con 190 kg in meno, non si è differenziata statisticamente da questa; in tale ambiente altre dieci cultivar hanno superato o eguagliato le 2 t ha^{-1}. Nella media delle sei località, venti accessioni hanno superato o eguagliato le 3 t ha^{-1}, mentre nessuna aveva raggiunto tale valore nella passata sperimentazione. Tra queste spiccano Excalibur, con la migliore resa (3,79 t ha^{-1}), sempre nelle posizioni di vertice in tutte le prove, la già menzionata Exagone e Tassilo, al vertice quattro volte su sei, poi, nell'ordine, Pulsar, Traviata, ES Artist, PR46W10, Vectra ed Hercules, nelle posizioni di vertice in tre delle sei località.

Tabella 9 - Produzione di granella al 9 % di umidità nella stagione 2009-2010.

Varietà	Anzola E. (BO)		Cesa (AR)		Gravina (BA)		Osimo (AN)		Palazzolo (UD)		Ussana (CA)		Media 2010	
	t ha^{-1}	grad.	t ha^{-1}	grad.	t ha^{-1}	grad.	t ha^{-1}	grad.	t ha^{-1}	grad.	t ha^{-1}	grad.	t ha^{-1}	grad.
EXCALIBUR	3,75 ag	11	2,72 ad	4	5,75 a	1	4,61 ab	4	2,84 a	1	3,08 ab	2	3,79 a	1
EXAGONE	3,87 ae	6	2,20 ei	18	4,61 cd	6	4,28 ag	15	2,65 ab	2	3,22 a	1	3,47 ab	2
TASSILO	3,97 ac	3	2,40 cg	9	5,65 a	2	4,37 af	13	1,93 fh	13	2,48 af	9	3,47 ab	3
PULSAR	3,85 ae	8	2,31 ch	15	4,00 eh	21	4,75 a	1	2,46 bc	5	3,08 ab	3	3,41 bc	4
TRAVIATA	4,05 ab	2	2,33 cg	13	4,64 cd	5	4,45 af	12	2,06 df	9	2,43 af	11	3,33 bd	5
NK FORMULA	3,53 bh	17	2,53 bf	8	4,88 bc	4	3,99 bi	21	2,47 bc	4	2,33 ag	12	3,29 be	6
ES ARTIST	3,70 ah	13	2,35 cg	11	4,12 dh	18	4,48 af	11	2,00 eg	12	2,64 af	7	3,21 be	7
PR46W10	3,73 ag	12	2,25 ei	17	3,66 gi	24	4,63 ab	3	1,92 fi	15	2,61 af	8	3,13 cf	8
ALPAGA	3,91 ad	4	2,34 cg	12	4,00 eh	20	4,64 ab	2	1,67 il	19	2,22 bh	14	3,13 cf	9
FORZA	4,14 a	1	2,18 ei	21	4,32 ce	11	4,57 ad	6	1,50 ko	23	1,93 ci	18	3,11 cg	10
VECTRA	3,87 ae	5	3,10 a	1	3,66 gi	23	4,55 ae	7	2,06 df	8	1,35 hj	29	3,10 cg	11
ES BETTY	3,30 ek	25	2,60 be	5	3,02 j	30	4,29 ag	14	2,58 b	3	2,80 ac	4	3,10 cg	12
HORNET	3,43 cj	23	2,36 cg	10	4,22 dg	14	3,50 i	32	2,30 cd	6	2,66 ae	6	3,08 cg	13
CHAMPLAIN	3,60 ah	14	2,18 ei	20	4,15 dh	15	4,51 ae	8	2,25 ce	7	1,77 ei	21	3,08 cg	14
PR46W14	3,75 ag	10	1,85 hk	25	4,47 ce	9	4,60 ac	5	1,90 fi	16	1,86 di	19	3,07 dg	15
FACILE	3,54 bh	16	2,28 dh	16	4,56 ce	7	3,91 ci	24	1,60 jm	20	2,48 af	10	3,06 dg	16
CATALINA	3,51 bi	18	2,31 ch	14	4,47 ce	10	4,23 ah	16	2,01 eg	10	1,78 di	20	3,05 dh	17
HERCULES	3,80 af	9	2,93 ab	2	4,26 df	13	4,08 ai	19	1,73 hk	18	1,36 hj	28	3,03 dh	18
ECARLATE	3,50 bi	19	2,76 ac	3	3,61 hi	26	3,87 ei	28	1,59 jm	21	2,67 ad	5	3,00 dh	19
NK PETROL	3,86 ae	7	2,12 fj	22	3,71 fi	22	4,49 af	10	1,80 gj	17	2,02 ch	17	3,00 dh	20
TOCCATA	3,50 bi	20	2,55 bf	7	4,14 dh	16	3,65 gi	30	1,92 fi	14	2,17 ch	15	2,99 eh	21
AVENIR	3,48 bi	22	2,06 gk	23	4,14 dh	17	4,04 bi	20	1,57 jn	22	1,75 fi	22	2,84 fi	22
HENRY	3,17 gk	28	1,68 jm	28	4,47 ce	8	3,80 fi	29	1,48 ko	24	2,22 bh	13	2,80 fj	23
ACROBATE LSC 72	3,49 bi	21	1,79 il	26	3,61 hi	25	4,23 ah	17	1,47 lo	25	2,16 ch	16	2,79 gj	24
HYBRISTAR	3,20 gk	27	2,58 bf	6	3,60 hi	27	3,95 bi	23	2,00 eg	11	1,38 hj	26	2,79 gj	25
SAVANNAH	3,59 ah	15	1,30 m	31	5,40 ab	3	3,90 di	25	1,15 pr	30	1,37 hj	27	2,79 gj	26
KUTIBA	3,26 fk	26	2,05 gk	24	4,09 dh	19	4,50 ae	9	1,06 r	32	1,43 gj	24	2,73 hj	27
MAKILA	2,95 ik	30	1,61 km	29	4,30 de	12	3,88 di	27	1,32 nq	27	1,06 ij	31	2,52 ik	28
SHAKIRA	3,36 dk	24	1,70 jm	27	3,25 ij	28	4,21 ah	18	1,38 mp	26	1,09 ij	30	2,50 jk	29
LIONESS	3,14 hk	29	2,19 ei	19	2,96 j	31	3,95 bi	22	1,25 or	29	1,43 hj	25	2,49 jk	30
PR45D04	2,83 k	32	1,36 lm	30	3,21 ij	29	3,56 hi	31	1,32 oq	28	1,51 gi	23	2,30 k	31
ILIA	2,87 jk	31	1,28 m	32	1,93 k	32	3,89 di	26	1,08 qr	31	0,58 j	32	1,94 l	32
Medie	**3,55**		**2,19**		**4,09**		**4,20**		**1,82**		**2,03**		**2,98**	
C.V. %	**10,03**		**12,98**		**8,55**		**10,13**		**8,51**		**27,29**		**16,95**	
LSD 0,05	**0,58**		**0,47**		**0,57**		**0,69**		**0,25**		**0,90**		**0,33**	

Tabella 10 - Contenuto di olio su sostanza secca nella stagione 2009-2010.

Varietà	Anzola E. (BO)		Cesa (AR)		Gravina (BA)		Osimo (AN)		Palazzolo (UD)		Ussana (CA)		Media 2010	
	(%)	igrad.	(%)	igrad.	(%)	igrad.	(%)	igrad.	(%)	igrad.	(%)	igrad.	t ha^{-1}	igrad.
EXCALIBUR	45,7 ae	6	46,5 fg	12	42,8 ab	10	46,0 ah	9	46,0 ae	7	42,8 d	12	45,0 ae	6
EXAGONE	44,2 fl	21	47,1 ce	5	44,6 a	3	44,7 gk	22	45,5 ch	12	44,0 bc	7	45,0 ad	5
TASSILO	45,6 af	8	47,4 bc	3	43,2 ab	4	46,8 ab	2	45,6 bg	10	40,3 fg	22	44,8 af	9
PULSAR	43,6 il	29	44,6 lm	27	41,7 ab	21	44,5 hk	26	44,5 il	25	38,9 hi	30	43,0 m	32
TRAVIATA	46,0 ac	4	47,7 b	2	42,4 ab	14	46,4 ad	4	46,4 ac	3	43,8 c	9	45,4 ab	3
NK FORMULA	45,8 ad	5	47,0 cf	6	40,9 ab	27	45,8 bi	12	46,1 ae	6	39,1 hi	27	44,1 ck	18
ES ARTIST	43,0 kl	31	45,8 hi	17	42,0 ab	18	44,5 ik	27	43,4 m	32	43,9 bc	8	43,7 gm	22
PR46W10	44,0 gl	23	45,6 ij	18	41,1 ab	26	44,8 fk	19	44,5 il	24	40,4 eg	21	43,4 im	24
ALPAGA	46,3 a	1	45,8 hi	16	42,0 ab	17	46,7 ac	3	46,6 a	1	47,1 a	1	45,7 a	1
FORZA	43,8 hl	27	42,6 p	32	42,1 ab	16	44,9 ek	18	43,7 lm	30	41,1 ef	19	43,0 lm	30
VECTRA	42,8 l	32	46,3 gh	14	42,7 ab	11	43,5 kl	30	43,8 lm	29	39,0 hi	29	43,0 lm	29
ES BETTY	43,9 hl	25	45,3 ij	23	42,9 ab	9	44,6 gk	24	44,8 gj	19	42,8 d	11	44,1 dk	19
HORNET	45,2 ah	14	46,5 eg	11	42,3 ab	15	45,6 bi	14	46,3 ad	4	44,6 b	3	45,1 ac	4
CHAMPLAIN	43,8 hl	28	46,8 dg	7	39,6 b	32	44,6 hk	25	44,0 jm	27	40,1 g	25	43,1 km	28
PR46W14	45,2 ah	12	45,1 jl	25	42,9 ab	8	46,1 ag	7	45,6 bh	11	44,5 bc	4	44,9 af	8
FACILE	45,4 ag	11	45,5 ij	19	43,1 ab	5	46,0 ah	10	45,8 af	8	44,0 bc	6	45,0 ae	7
CATALINA	44,4 dj	19	44,0 o	31	43,0 ab	7	45,1 dj	17	45,7 af	9	41,1 e	18	43,9 fm	21
HERCULES	43,9 hl	24	46,7 dg	10	40,8 ab	28	43,5 kl	31	44,1 jm	26	38,9 hi	31	43,0 lm	31
ECARLATE	45,5 af	10	45,3 ik	24	41,4 ab	23	45,8 bi	11	44,7 hk	22	42,8 d	10	44,2 ci	13
NK PETROL	44,3 ek	20	44,5 ln	28	41,8 ab	20	44,6 gk	23	44,7 hk	21	39,1 hi	28	43,2 jm	26
TOCCATA	45,7 ae	7	47,1 bd	4	42,7 ab	12	45,7 bi	13	44,8 gj	18	42,4 d	14	44,7 bg	10
AVENIR	44,8 bj	17	44,2 mo	29	44,7 a	1	43,0 l	32	43,8 km	28	39,7 gh	26	43,4 im	25
HENRY	44,2 fl	22	45,4 ij	22	44,7 a	2	44,0 jl	29	43,6 m	31	42,0 d	17	44,0 el	20
ACROBATE LSC 72	43,4 jl	30	46,3 gh	13	40,1 b	31	44,7 fk	21	45,3 ei	14	46,7 a	2	44,4 ch	11
HYBRISTAR	45,1 ah	15	46,7 dg	8	42,5 ab	13	44,0 jl	28	44,7 gj	20	42,3 d	15	44,2 ci	14
SAVANNAH	44,9 ai	16	46,7 dg	9	40,6 ab	30	46,3 ae	5	46,2 ad	5	40,2 g	23	44,2 cj	17
KUTIBA	44,6 cj	18	45,4 ij	21	41,1 ab	25	46,0 ah	8	44,7 hk	23	40,5 eg	20	43,7 hm	23
MAKILA	46,2 ab	2	45,4 ij	20	41,6 ab	22	47,4 a	1	45,4 dh	13	38,8 i	32	44,2 ci	15
SHAKIRA	45,2 ah	13	44,7 km	26	41,2 ab	24	46,1 af	6	45,1 fi	16	42,6 d	13	44,2 cj	16
LIONESS	46,0 ac	3	49,0 a	1	43,0 ab	6	44,8 fk	20	46,4 ab	2	44,1 bc	5	45,6 ab	2
PR45D04	45,5 af	9	45,8 hi	15	41,8 ab	19	45,3 cj	15	45,3 ei	15	42,3 d	16	44,3 ci	12
ILIA	43,9 hl	26	44,0 no	30	40,7 ab	29	45,3 cj	16	44,8 gj	17	40,2 g	24	43,2 jm	27
Medie	**44,8**		**45,8**		**42,1**		**45,2**		**45,1**		**41,9**		**44,1**	
C.V. %	**2,0**		**0,8**		**6,1**		**2,0**		**1,2**		**1,2**		**3,5**	
LSD 0,05	**1,4**		**0,6**		**n.s.**		**1,5**		**0,9**		**0,8**		**1,0**	

Tabella 11 - Produzione di olio in sostanza secca nella stagione 2009-2010.

Varietà	Anzola E. (BO)		Cesa (AR)		Gravina (BA)		Osimo (AN)		Palazzolo (UD)		Ussana (CA)		Media 2010	
	t ha^{-1}	igrad.	t ha^{-1}	igrad.	t ha^{-1}	igrad.	t ha^{-1}	igrad.	t ha^{-1}	igrad.	t ha^{-1}	igrad.	t ha^{-1}	igrad.
EXCALIBUR	1,56 ad	5	1,15 ac	3	2,24 a	1	1,93 ab	2	1,19 a	1	1,20 ab	2	1,55 a	1
EXAGONE	1,56 ad	6	0,94 dg	16	1,87 bc	4	1,74 ah	17	1,10 ab	2	1,29 a	1	1,42 ab	2
TASSILO	1,65 ab	3	1,03 cde	9	2,22 a	2	1,86 ae	9	0,80 fi	12	0,91 bg	13	1,41 ab	3
PULSAR	1,52 ae	9	0,94 dg	17	1,51 gk	20	1,92 ab	4	1,00 bd	5	1,09 ac	3	1,33 bd	5
TRAVIATA	1,69 a	1	1,01 cf	10	1,79 be	7	1,88 ad	7	0,87 eg	8	0,97 af	9	1,37 bc	4
NK FORMULA	1,47 bg	13	1,08 bd	7	1,82 bd	5	1,66 bh	20	1,04 bc	4	0,83 cj	16	1,32 be	6
ES ARTIST	1,45 bh	17	0,98 cf	12	1,57 dk	17	1,81 af	12	0,79 gj	13	1,05 ad	6	1,28 ce	8
PR46W10	1,49 ag	12	0,93 dg	18	1,37 im	25	1,89 ac	5	0,78 gj	16	0,96 af	10	1,24 ch	13
ALPAGA	1,65 ab	2	0,98 cf	14	1,53 ek	18	1,97 a	1	0,71 il	18	0,95 af	11	1,30 be	7
FORZA	1,64 ac	4	0,84 eh	23	1,66 ch	12	1,87 ae	8	0,59 mp	24	0,72 dk	18	1,22 di	16
VECTRA	1,51 af	11	1,31 a	1	1,42 hl	22	1,80 ag	13	0,82 fh	10	0,48 km	29	1,22 dh	14
ES BETTY	1,32 ej	25	1,07 bd	8	1,18 lm	30	1,74 ah	15	1,05 bc	3	1,09 ac	4	1,24 cg	12
HORNET	1,41 dh	22	1,00 cf	11	1,63 ci	13	1,46 h	32	0,97 ce	6	1,08 ac	5	1,26 cf	9
CHAMPLAIN	1,43 ch	19	0,93 dg	19	1,50 gk	21	1,83 af	10	0,90 df	7	0,64 el	21	1,21 di	19
PR46W14	1,54 ad	8	0,76 gi	25	1,74 bg	10	1,93 ab	3	0,78 gj	14	0,75 ck	17	1,25 cf	10
FACILE	1,46 bg	14	0,94 dg	15	1,79 bf	8	1,63 ch	22	0,67 kn	20	0,99 ae	8	1,25 cg	11
CATALINA	1,42 dh	20	0,92 dg	20	1,75 bg	9	1,74 ah	16	0,84 fh	9	0,67 el	20	1,22 dh	15
HERCULES	1,52 af	10	1,24 ab	2	1,57 dk	16	1,62 ch	25	0,69 jm	19	0,48 jm	28	1,19 ei	20
ECARLATE	1,45 bh	18	1,14 ac	4	1,36 jm	26	1,62 ch	24	0,65 ko	21	1,04 ad	7	1,21 di	18
NK PETROL	1,55 ad	7	0,86 eh	21	1,41 hm	23	1,82 af	11	0,73 hk	17	0,72 dl	19	1,18 ei	21
TOCCATA	1,45 bg	16	1,09 bd	6	1,60 dj	15	1,52 gh	30	0,78 gj	15	0,83 ci	15	1,21 di	17
AVENIR	1,41 dh	21	0,83 fh	24	1,68 cg	11	1,57 fh	28	0,63 lp	22	0,63 fl	22	1,13 fj	22
HENRY	1,28 gj	29	0,70 hj	27	1,81 bd	6	1,52 gh	29	0,59 nq	25	0,85 ch	14	1,12 fj	23
ACROBATE LSC 72	1,37 di	24	0,76 gi	26	1,32 km	27	1,72 ah	18	0,60 lp	23	0,92 bg	12	1,12 gj	25
HYBRISTAR	1,31 fj	28	1,10 bd	5	1,40 hm	24	1,58 eh	27	0,81 fi	11	0,53 hm	25	1,12 fj	24
SAVANNAH	1,46 bg	15	0,55 j	31	2,00 ab	3	1,64 bh	21	0,49 qs	30	0,50 im	27	1,11 hj	26
KUTIBA	1,32 ej	26	0,85 eh	22	1,53 fk	19	1,88 ad	6	0,43 s	32	0,53 hm	26	1,09 ij	27
MAKILA	1,24 hj	30	0,67 hj	29	1,63 ci	14	1,68 bh	19	0,55 or	27	0,37 lm	31	1,02 jk	29
SHAKIRA	1,38 di	23	0,69 hj	28	1,21 lm	29	1,77 ag	14	0,57 nq	26	0,42 km	30	1,01 jk	30
LIONESS	1,31 ej	27	0,98 cf	13	1,15 m	31	1,63 ch	23	0,53 ps	29	0,57 gl	24	1,03 jk	28
PR45D04	1,17 ij	31	0,57 ij	30	1,22 lm	28	1,46 h	31	0,54 or	28	0,58 gl	23	0,92 k	31
ILIA	1,14 j	32	0,51 j	32	0,72 n	32	1,60 dh	26	0,44 rs	31	0,21 m	32	0,77 l	32
Medie	**1,44**		**0,92**		**1,57**		**1,73**		**0,75**		**0,78**		**1,20**	
C.V. %	**9,08**		**12,98**		**10,24**		**10,23**		**8,75**		**27,51**		**17,21**	
LSD 0,05	**0,21**		**0,19**		**0,26**		**0,29**		**0,11**		**0,35**		**0,13**	

Il contenuto in olio dei semi (Tab. 10) è variato tra gli ambienti in maniera più sensibile di quanto non sia avvenuto nella stagione precedente; è anche vero che i siti considerati sono stati quest'anno in numero superiore. La percentuale è oscillata tra il 45,8 di Cesa ed il 41,9 di Ussana, con un divario del 3,9%. La maggiore differenziazione si è realizzata in Sardegna dove 8,3 punti percentuali hanno separato il contenuto di Alpaga (47,1%) e Makila, il più basso, unico a scendere sotto il 39%. Le

minori oscillazioni si sono verificate a Palazzolo e Anzola (rispettivamente 3,2 e 3,5%), mentre il valore più alto fra tutti quelli ottenuti dall'intera rete è stato registrato con Lioness (49%) a Cesa, dove si sono distinte anche Traviata (47,7%) ed Exagone (47,1%). Mediamente il migliore tenore è stato riscontrato in Alpaga, Lioness, Traviata, Hornet, Exagone, Excalibur e Facile, in tutte pari o superiore al 45%.

Per la produzione in olio le località hanno mantenuto le stesse posizioni osservate per la resa in granella, con un incremento produttivo medio rispetto allo scorso anno di circa il 18 % (Tab. 11). Ad Osimo, dove si è raggiunta una resa media di 1,73 t ha^{-1}, si è distinta Alpaga (1,97 t ha^{-1}), insieme ad altre diciassette accessioni. A Gravina tre varietà hanno raggiunto (Savannah), o superato (Excalibur e Tassilo) le 2 t ha^{-1} di produzione, mentre solo quindici hanno presentato un risultato inferiore a quello medio. Ad Anzola si è distinta Traviata, da cui non si sono differenziate undici varietà. Né a Ussana, né a Palazzolo i genotipi in prova hanno conseguito mediamente una resa teorica di 1 t ha^{-1} di olio: nella prima località, dove si è distinta Exagone, questo valore è stato raggiunto o approssimato da undici varietà, nella seconda, dove si è posta in evidenza Excalibur, solo da cinque. Nella graduatoria generale le posizioni di vertice sono state mantenute dalle stesse cultivar evidenziatesi per la produzione in granella. Da rilevare che, grazie ad un buon tenore in olio, Hornet ha guadagnato quattro posizioni, così come PR46W14 e Facile sono avanzate di cinque; per il motivo opposto, Forza ha perso sei posti, cinque PR46W10 e Champlain, tre Vectra.

La risposta delle varietà agli ambienti, circa la precocità di fioritura è stata simile, con un intervallo di una settimana tra la più precoce, Vectra, e la più tardiva, Ilia. Anche quest'anno, mediamente, gli ibridi hanno mostrato una maggiore precocità, con lo stesso scarto (1 giorno) rispetto alle varietà a libera impollinazione; più tardivi gli ibridi semi - dwarf, con un ulteriore ritardo di 3 giorni. Le differenziazioni fra cultivar in relazione all'intervallo dell'intero ciclo semina-maturazione agronomica si sono alquanto attenuate, con una differenza di appena 4 giorni.

Come precedentemente accennato, nel 2010 la taglia delle piante è risultata piuttosto contenuta, non raggiungendo, in media, il metro e mezzo di altezza, compresa tra i 163 cm di Exagone ed i 131 di Henry; gli ibridi si sono confermati come i tipi più alti con circa 10 cm più delle varietà, a loro volta di 4 cm superiori ai semidwarf; anche per questo motivo questi ultimi, con un altezza media di 139 cm, non hanno praticamente presentato problemi di allettamento, cosa che, invece, si è verificata per Ecarlate, NK Formula e NK Petrol ed, in misura minore, per Es Artist. Più contenuto il problema per Exagone che, viceversa, l'anno precedente aveva mostrato la maggiore suscettibilità.

Tutte le accessioni hanno fatto riscontrare un buon investimento finale con una riduzione di poco più del 30% rispetto a quanto previsto all'impianto. Solo quattro di esse hanno presentato un valore inferiore alle 40 pp m^{-2}.

B. carinata

Riguardo questa specie (Tab. 12) l'annata è risultata generalmente soddisfacente: la resa media si è approssimata a quella del colza, riducendo la differenza dal 58%

dell'anno precedente ad appena il 10 %. In tutti gli ambienti si è osservata una buona risposta produttiva tranne in Toscana, dove si è raggiunta la metà della produzione media della rete. Spicca il dato di Ussana dove le condizioni ambientali, più confacenti rispetto all'anno precedente, hanno permesso alla coltura di estrinsecare ottime prestazioni, con un incremento medio del 54 %. In tale areale si è distinta CT 180 che, con 4,14 t ha^{-1}, ha raggiunto il migliore risultato fra tutti gli ambienti; da questa non si sono differenziate Serena e CT 207, entrambe con produzioni superiori ai 30 q ha^{-1}. Per Gravina, località dove la coltura è stata maggiormente valorizzata, vale il discorso già affrontato per la *B. napus*. Anche in questo caso si è distinta CT 180 (3,7 t ha^{-1}), ma solo ISCI 7 ha prodotto meno di 3 t ha^{-1}, approssimandovisi. Osimo ed Anzola hanno confermato i risultati del 2009: nella località marchigiana spicca il risultato di Serena, in quella emiliana, dove la differenziazione varietale è stata minima, quello di CT 207, uniche a oltrepassare, nei rispettivi ambienti, la soglia dei 30 q ha^{-1} di resa. A Cesa Serena ed ISCI 7 si sono distinte superando i 17 q ha^{-1}; Sincron è risultata del tutto insoddisfacente a causa dei problemi di investimento dovuti alla scarsa emergenza. Mediamente CT 180 e Serena sono risultate le migliori accessioni, seguite, senza differenze statisticamente significative, da CT 207 e CT 204.

Tabella 12 - Produzione granella al 9% di umidità nell'annata 2009-2010.

Varietà	Anzola E. (BO)		Cesa (AR)		Gravina (BA)		Osimo (AN)		Ussana (CA)		Media 2010	
	t ha^{-1}	grad.	t ha^{-1}	grad.	t ha^{-1}	grad.	t ha^{-1}	grad.	t ha^{-1}	grad.	t ha^{-1}	grad.
CT 207	3,01 a	1	1,19 c	5	3,00 bc	5	2,88 ab	3	3,25 ac	3	2,67 ab	3
CT 180	2,82 a	4	1,62 ab	3	3,70 a	1	2,38 b	6	4,14 a	1	2,93 a	1
CT 204	2,84 a	3	1,33 bc	4	3,55 ab	2	2,86 ab	4	2,55 cd	5	2,63 ac	4
ISCI 7	2,74 a	5	1,71 a	2	2,87 c	6	2,88 ab	2	2,32 d	6	2,50 bc	5
SERENA	2,88 a	2	1,75 a	1	3,31 ac	3	3,16 a	1	3,48 ab	2	2,91 a	2
SINCRON	2,25 b	6	0,53 d	6	3,12 bc	4	2,81 ab	5	2,84 bd	4	2,31 c	6
Medie	**2,76**		**1,35**		**3,26**		**2,83**		**3,10**		**2,66**	
C.V. %	**8,49**		**13,43**		**9,67**		**13,15**		**16,06**		**17,31**	
LSD 0,05	**0,43**		**0,33**		**0,57**		**0,68**		**0,91**		**0,34**	

Il punto nevralgico della coltura, come precedentemente osservato, risulta il contenuto in olio dei semi che, seppur ridotto rispetto al 2009, mostra pur sempre un gap di 8,3 punti percentuali rispetto al colza. Ad Ussana (Tab. 13) si sono registrati i valori più alti (38,7 % di media), mentre, nell'insieme delle località, CT 204 è risultata la migliore.

Per la produzione di sostanza grassa (Tab. 14) ad Ussana e Gravina si sono riscontrati i migliori risultati con la stessa produzione media ambientale (1,08 t/ha), mentre Serena, sfiorando la tonnellata per ettaro, può dirsi la varietà più produttiva, seguita, senza differenze significative, da CT 180 e CT 204.

Nel 2010 si è confermata la maggiore tardività della specie rispetto al colza con 11 giorni di ritardo per l'inizio fioritura e 4 per l'intero ciclo. CT 180 si è mostrata la più precoce a fiorire, come nel 2009, CT 207 la più tardiva e quella col ciclo più lungo, mentre Sincron col più breve.

Tabella 13 - Contenuto di olio su sostanza secca nell'annata 2009-2010.

Varietà	Anzola E. (BO)		Cesa (AR)		Gravina (BA)		Osimo (AN)		Ussana (CA)		Media 2010	
	%	grad.	%	grad.	%	grad.	%	grad.	%	grad.	%	grad.
CT 207	32,0 b	6	34,1 c	5	35,0 ab	5	35,5 a	1	34,9 e	5	34,3 c	6
CT 180	34,0 b	3	36,0 b	2	37,9 a	2	35,1 a	3	34,7 e	6	35,5 bc	4
CT 204	36,9 a	1	38,5 a	1	37,0 ab	3	34,2 a	5	43,3 a	1	38,0 a	1
ISCI 7	34,0 b	4	36,0 b	3	36,6 ab	4	33,8 a	6	37,9 d	4	35,6 bc	3
SERENA	34,2 b	2	35,6 b	4	33,5 b	6	35,2 a	2	41,6 b	2	36,0 b	2
SINCRON	33,3 b	5	30,3 d	6	38,3 a	1	34,4 a	4	39,9 c	3	35,3 bc	5
Medie	**34,1**		**35,1**		**36,4**		**34,7**		**38,7**		**35,8**	
C.V. %	**4,1**		**1,1**		**6,2**		**5,2**		**1,2**		**6,6**	
LSD 0,05	**2,5**		**0,7**		**4,1**		**n.s.**		**0,8**		**1,7**	

Tabella 14 - Produzione di olio su sostanza secca nell'annata 2009-2010.

Varietà	Anzola E. (BO)		Cesa (AR)		Gravina (BA)		Osimo (AN)		Ussana (CA)		Media 2010	
	t ha^{-1}	grad.	t ha^{-1}	grad.	t ha^{-1}	grad.	t ha^{-1}	grad.	t ha^{-1}	grad.	t ha^{-1}	grad.
CT 207	0,88 a	3	0,37 b	5	0,95 c	6	0,93 a	2	1,03 ab	4	0,83 bd	4
CT 180	0,87 a	4	0,53 a	3	1,28 a	1	0,76 a	6	1,31 a	2	0,95 ab	2
CT 204	0,95 a	1	0,46 ab	4	1,19 ab	2	0,89 a	3	1,00 ab	5	0,90 ac	3
ISCI 7	0,85 a	5	0,56 a	2	0,96 c	5	0,89 a	4	0,80 b	6	0,81 cd	5
SERENA	0,90 a	2	0,57 a	1	1,01 bc	4	1,02 a	1	1,32 a	1	0,96 a	1
SINCRON	0,68 b	6	0,15 c	6	1,09 ac	3	0,88 a	5	1,03 ab	3	0,77 d	6
Medie	**0,85**		**0,44**		**1,08**		**0,89**		**1,08**		**0,87**	
C.V. %	**9,38**		**13,80**		**10,60**		**18,06**		**16,96**		**18,66**	
LSD 0,05	**0,15**		**0,11**		**0,21**		**n.s.**		**0,33**		**0,12**	

La pianta ha dimostrato anche quest'anno una maggiore vigoria superando mediamente di 13 cm il colza: fra le più alte (CT 207 e ISCI 7) e la più bassa (CT 180) sono intercorsi 57 cm.

Sviluppando una maggiore biomassa la *B. carinata* risulta più suscettibile all'allettamento (34% vs. 8,4%) che, pur non presentando differenze significative tra le tesi a confronto, si è maggiormente evidenziato, in valore assoluto, in ISCI 7 (47,9%) e CT 207 (45,8%).

Sia il peso medio dei semi che l'investimento non si sono discostati dai valori registrati per il colza; per quest'ultimo carattere Sincron ha evidenziato maggiori problemi.

Risultati del biennio

La pregevolezza di una varietà dipende dal raggiungimento di risultati positivi e dalla capacità di mantenere tali risultati nel tempo e al variare delle condizioni ambientali, cioè da caratteristiche di produttività e stabilità. Le informazioni disponibili permettono la costruzione delle tabelle 15 e 16, dove sono riportati i risultati relativi al confronto di trenta genotipi saggiati in dieci ambienti nei due anni di esperienza.

B. napus

Il colza (Tab. 15) ha generalmente fornito produzioni soddisfacenti; la resa media in granella ha infatti sfiorato le 2,8 t ha^{-1}, apprezzabile, considerando che tra gli ambienti di sperimentazione ne sono annoverati alcuni dove la coltura non dispone abitualmente di condizioni climatiche ottimali. Inoltre i 2/3 delle accessioni presentavano valori pari o superiori a tale limite, a dimostrazione della validità del materiale in valutazione.

Tabella 15 - Caratteri produttivi e morfo fenologici di 30 varietà comuni nel biennio 2008-2009 e 2009-2010.

Varietà	Prod. granella al 9% di um.	Olio sostanza secca		Inizio fioritura	Durata ciclo	Altezza fusto	Allettamento	Investimento alla raccolta	Peso 1000 semi
		contenuto	produzione						
	t ha^{-1}	%	t ha^{-1}	data	d	cm	%	piante m^{-2}	g
EXCALIBUR	3,34 a	44,7 ce	1,36 a	11/4 bc	254 ej	145 ko	3,5 ik	34,3 fh	4,16 ln
PULSAR	3,10 ab	43,2 ln	1,22 bf	12/4 ab	256 a	148 hm	17,4 ch	30,7 h	3,94 pq
TASSILO	3,08 bc	44,9 bc	1,26 ab	4/4 p	255 be	152 ej	11,1 ek	43,1 ac	4,92 ab
EXAGONE	3,05 bd	44,6 cf	1,23 bd	4/4 op	253 kl	155 bh	17,4 ch	43,5 ab	4,93 a
NK FORMULA	3,03 be	44,3 ch	1,22 be	8/4 eg	255 di	153 di	2,8 ik	37,2 dg	4,23 im
ALPAGA	2,99 bf	45,7 a	1,24 bc	8/4 fj	255 ei	138 pr	5,6 hk	36,1 eg	4,33 gk
HORNET	2,98 bf	44,5 cf	1,21 bg	9/4 de	254 hl	140 nq	6,3 gk	42,1 ac	3,79 q
VECTRA	2,92 bg	43,0 mn	1,15 ci	7/4 hl	255 ch	160 ac	6,3 gk	43,6 ab	4,67 de
PR46W14	2,91 bg	44,8 bd	1,19 bh	5/4 np	254 ej	147 jn	12,5 ej	44,7 ab	4,64 df
ES BETTY	2,89 bg	43,5 in	1,15 ci	4/4 p	255 ei	139 or	17,4 ch	43,6 ab	4,92 ab
CHAMPLAIN	2,88 bg	43,4 jn	1,14 di	6/4 km	256 ab	150 gl	35,4 a	43,8 ab	4,22 jm
ES ARTIST	2,88 bg	43,5 in	1,14 di	6/4 ln	256 ad	155 bg	9,0 fk	45,7 a	4,88 ac
PR46W10	2,85 cg	43,5 in	1,13 ej	7/4 gk	255 ch	156 bg	6,9 gk	42,7 ac	4,74 ce
HERCULES	2,85 cg	42,9 n	1,11 gk	8/4 fi	255 di	152 ej	2,1 ik	42,0 ad	4,36 gj
FACILE	2,83 dh	44,6 cf	1,15 ci	13/4 a	254 il	145 lo	3,5 ik	42,0 ad	4,04 np
TOCCATA	2,82 dh	44,6 cf	1,14 ci	6/4 km	254 ej	153 ei	9,0 fk	33,5 gh	4,13 lo
CATALINA	2,82 dh	44,1 ej	1,13 ei	8/4 eh	255 bf	157 bf	18,1 cg	35,5 fh	4,38 gi
NK PETROL	2,80 ei	43,2 ln	1,10 hk	7/4 im	255 bf	143 mp	2,1 ik	40,9 ad	4,15 ln
ECARLATE	2,79 ei	44,1 ej	1,12 fk	8/4 ef	255 cf	159 ad	19,4 cf	45,0 ab	4,72 ce
HYBRISTAR	2,77 fi	43,9 fk	1,11 hk	7/4 hl	254 gl	154 ch	5,6 hk	42,2 ac	4,42 gh
AVENIR	2,69 gj	43,1 mn	1,06 il	6/4 jm	255 ei	141 nq	0,0 k	45,0 ab	3,98 op
ACROBATE LSC 72	2,68 gj	44,8 be	1,08 ik	5/4 mo	254 ej	147 im	0,7 jk	41,8 ad	4,20 kn
SAVANNAH	2,59 hk	44,2 di	1,03 jm	8/4 eg	254 jl	158 ae	25,0 ad	45,5 ab	4,16 ln
HENRY	2,56 il	43,8 gl	1,02 km	7/4 im	255 ch	160 ab	27,8 ac	43,4 ab	4,60 ef
LIONESS	2,49 jl	45,5 ab	1,03 km	6/4 ln	256 ac	152 ej	1,4 ik	43,8 ab	4,27 hl
KUTIBA	2,47 jl	43,6 hm	0,98 lm	8/4 fj	254 fk	140 oq	13,2 di	44,4 ab	4,77 bd
SHAKIRA	2,43 kl	44,2 di	0,98 lm	6/4 km	255 cg	134 r	22,2 be	42,3 ac	4,42 gh
PR45D04	2,34 l	44,4 cg	0,94 m	6/4 kn	254 ej	151 fk	4,9 ik	38,4 cf	4,49 fg
MAKILA	2,34 l	44,4 cg	0,95 m	9/4 ef	256 ad	163 a	34,0 ab	42,1 ac	4,07 mp
ILIA	2,05 m	43,3 kn	0,81 n	10/4 cd	253 l	136 qr	6,9 gk	40,7 be	4,25 il
Medie	**2,77**	**44,1**	**1,11**	**7/4**	**255**	**149**	**11,6**	**41,3**	**4,39**
C.V. %	**17,42**	**3,1**	**17,56**	**2,5**	**0,7**	**7,7**	**158,4**	**21,9**	**6,77**
LSD 0,05	**0,24**	**0,7**	**9,90**	**1,3**	**1,0**	**6,2**	**12,0**	**4,8**	**0,16**

Excalibur è risultata la cultivar più produttiva (3,34 t ha^{-1}) da cui non si è diversificata statisticamente Pulsar; hanno fatto seguito altre 10 varietà, tutte con produzioni prossime o superiori alle 2,9 t ha^{-1} tra cui possono essere menzionate Tassilo, Exagone e NK Formula, che hanno prodotto più di 3 t ha^{-1} di granella. Non va dimenticata Alpaga, unica varietà a libera impollinazione nelle posizioni di vertice. Va fatto notare, infatti, come gli ibridi occupino la parte alta della graduatoria, mentre le varietà a libera impollinazione siano raggruppate in fondo, con, inframmezzati, i tipi semi–dwarf: la media produttiva fra gruppi ha visto primeggiare le cultivar ibride con 2,92 t ha^{-1}, seguite dai tipi dwarf e, quindi, dalle varietà, con uno scarto produttivo del 10 e 12%, rispettivamente.

Il tenore in olio dei semi, è risultato abbastanza uniforme fra le tesi, superando di poco il 44% di media e oscillando tra il 45,7% di Alpaga (unica, insieme a Lioness a superare la soglia del 45%) e il 42,9% di Hercules.

L'andamento della resa in olio, carattere derivante dalla combinazione delle due precedenti componenti, ha rispecchiato, generalmente, quello già descritto per la granella, specialmente per i 7 ibridi al vertice della graduatoria che, anche se in ordine diverso, sono rimasti gli stessi. Sono comunque state apprezzate alcune differenze: talune accessioni hanno migliorato il giudizio ottenuto per la resa in granella grazie al miglior contenuto lipidico dei semi, come Alpaga, Facile e Toccata, in grado di guadagnare 3, 5 e 4 posti, rispettivamente, nella graduatoria assoluta di merito; altre lo hanno invece peggiorato retrocedendo di alcune posizioni, come Pulsar ed Hercules (4), Vectra, Champlain e PR46W10 (3).

La precocità, intesa come data di inizio della fioritura, è risultata superiore per gli ibridi, che hanno preceduto di 1 giorno le varietà e di 2 i tipi ad habitus dwarf. Tassilo ed Es Betty hanno raggiunto per prime l'antesi, Pulsar e Facile, per ultime con uno scarto di 9 giorni.

Le differenziazioni in relazione alla durata dell'intero ciclo si sono alquanto attenuate con un divario di appena tre giorni tra le più precoci (Exagone, PR64W14) e le più tardive (Pulsar, Es Artist, PR46W10, Kutiba e Ilia), evidenziando una sorta di compensazione tra i vari sottoperiodi.

La taglia delle piante è risultata abbastanza contenuta con una media inferiore al metro e mezzo; Makila, la cultivar più alta, ha superato di 29 cm Shakira, la più bassa.

Non sono stati evidenziati valori allarmanti di allettamento, che mediamente si è assestato poco al di sopra del 10%; le varietà (17,3%) sono risultate più sensibili a questo fenomeno – meno gli ibridi (9,8%) – che è risultato quasi impercettibile per i tipi dwarf (2,8%). Makila, Henry, Savannah e Shakira sono state le varietà più colpite; non va dimenticato Champlain che, pur appartenendo al gruppo degli ibridi, ha presentato la maggiore suscettibilità riscontrata in prova (35,4%).

Tutte le accessioni hanno fatto riscontrare un buon investimento alla raccolta, con una riduzione poco superiore al 35% rispetto a quanto previsto all'impianto; solo 6 di esse hanno presentato un valore inferiore alle 40 piante m^{-2}.

Il peso medio dei semi è risultato abbastanza uniforme tra le cultivar, oscillando intorno ai 4,39 mg: i tipi dwarf hanno presentato semi più piccoli (4,17 mg), leggermente più grandi gli ibridi (4,43 mg), perfettamente in media le varietà.

B. carinata

La B. carinata (Tab. 16) ha prodotto mediamente il 16% di granella in meno rispetto al colza. Tra tutte si è distinta CT 180, con 2,71 t ha^{-1} di resa. Il contenuto in olio dei semi rappresenta il vero punto nevralgico della coltura che ha mostrato, nel biennio di sperimentazione, un gap di 9,4 punti percentuali rispetto alla *B. napus*. CT 204 ha evidenziato il tenore più alto, inferiore, comunque, di quasi 7 punti rispetto al valore più basso registrato su colza. Proprio a causa del basso contenuto in sostanza grassa dei semi la resa in olio ha subito una maggiore flessione. Mediamente si sono appena superati i 7 q ha^{-1}. CT 180 si è confermata la cultivar più produttiva in assoluto. Sincron è stata la prima a iniziare la fioritura, mentre Serena quella che ha concluso per prima il ciclo colturale. In media la *B. carinata* è stata più tardiva di 8 giorni riguardo l'antesi, senza apprezzabili differenze per la lunghezza del ciclo. La taglia delle piante è stata del tutto paragonabile tra le due specie, anche se la differenziazione varietale, in questa specie, per questo carattere, è stata molto pronunciata: tra Sincron (la più bassa) e Serena e ISCI 7 (le più alte) la differenza è stata di quasi 60 cm. L'allettamento ha mediamente raggiunto proporzioni superiori; ISCI 7 si è dimostrata la più suscettibile, seguita da Sincron e CT 180, tutte con valori superiori al 40%. L'investimento, leggermente più basso del colza, ha evidenziato il valore minore con CT 204.

Tabella 16 - Caratteri produttivi e morfo-fenologici di 5 varietà comuni di B. carinata nel biennio 2008-2009 e 2009-2010.

Varietà	Prod. granella al 9% di um.	Olio sostanza secca		Inizio fioritura	Durata ciclo	Altezza fusto	Investimento alla raccolta	Allettamento	Peso 1000 semi
		contenuto	produzione						
	t ha^{-1}	%	t ha^{-1}	data	d	cm	piante m^{-2}	%	g
CT 180	2,71 a	34,6 b	0,85 a	20/4 a	256 a	145 b	44,1 a	41,7 a	4,4 b
CT 204	2,41 b	36,1 a	0,79 ab	18/4 a	258 a	155 b	28,2 c	25,8 b	4,5 ab
ISCI 7	2,26 b	34,6 b	0,71 b	18/4 a	258 a	175 a	37,1 ab	47,5 a	4,3 b
Serena	2,40 b	34,6 b	0,77 ab	18/4 a	252 b	173 a	37,4 ab	15,8 b	4,4 b
Sincron	1,83 c	33,3 b	0,58 c	13/4 b	258 a	117 c	32,4 bc	43,3 a	4,6 a
Medie	**2,32**	**34,7**	**0,74**	**17/4**	**256**	**153**	**35,8**	**34,8**	**4,4**
C.V. %	**20,76**	**7,0**	**22,69**	**3,9**	**2,9**	**12,1**	**35,2**	**47,1**	**8,0**
LSD 0,05	**0,26**	**1,3**	**0,09**	**2,6**	**4,2**	**10,0**	**7,2**	**12,0**	**0,2**

Considerazioni conclusive

I risultati della rete di sperimentazione istituita nell'ambito del progetto SuSCACE hanno confermato la necessità di dotare gli agricoltori di informazioni di supporto in sede di scelta varietale, che resta uno dei nodi cruciali nell'ambito della gestione agronomica di una coltura, da questo punto di vista, così sensibile. Le differenze tra genotipi, infatti, sono state sostanziali, ammontando finanche a circa il 40% della migliore produzione. Non va trascurato, inoltre, il rapido rinnovamento del panorama varietale che, introducendo nuove cultivar selezionate per ambienti diversi dal nostro, dove la coltura è molto più diffusa, rende necessario puntualizzare le informazioni relative alla adattabilità dei genotipi. Le cultivar ibride hanno confermato la loro superiorità, denotando, generalmente, una maggiore vigoria e produttività delle altre, con l'eccezione di Alpaga, unica linea pura del gruppo di merito, che ha denotato il miglior contenuto in olio. Excalibur, Pulsar, Tassilo, Exagone, NK Formula, si sono dimostrate, inoltre, in grado di fornire sufficienti garanzie di stabilità.

La *Brassica carinata* ha denotato minori capacità produttive, non tanto per la rese in seme, quanto relativamente al tenore in olio, mediamente inferiore di oltre 9 punti percentuali. L'ampio scarto nel tenore lipidico suggerisce il consolidamento di programmi di selezione per la costituzione di varietà a più alto contenuto di olio per colmare un gap dovuto, essenzialmente, al relativamente recente interesse per questa pianta ed al conseguente scarso progresso nel miglioramento genetico ottenuto, per sfruttare al meglio gli innegabili vantaggi che la *B. carinata* presenta rispetto alla *B. napus*. A tal proposito potrebbe più favorevolmente essere impiegata in areali dove le particolari condizioni meteo rendono particolarmente problematico praticare la coltura del colza. È esemplificativo il fatto che in Sardegna la prova varietale relativa a questa specie sia stata compromessa alla raccolta a causa delle critiche condizioni di vento in prossimità di questa fase, accentuando il già delicato problema della spontanea deiscenza delle silique e sia stata, al contrario, regolarmente eseguita nello stesso ambiente quella della *B. carinata*, notoriamente insensibile a tale problematica. In ogni caso, fra le varietà a confronto si sono distinte CT 180 CT 204 e Serena, che hanno evidenziato risultati apprezzabili.

Bibliografia

Boschetti A., 2008. I contratti per la prossima campagna colza. L'Informatore Agrario, LXIV, 33, 33.

De Mastro G., Bona E., 1998. Oleaginose non alimentari. Colza. Edagricole, 29-35.

Del Gatto A., Pieri S., Mangoni L., Di Candilo M., Diozzi M., De Mastro G., Verdini L., Signor M., Barbiani G., Carboni G., Cauli F., Ridoni G., Fabbrini L., 2010. Le varietà di Brassica carinata per le prossime semine. L'Informatore Agrario, LXVI, 38, 52-54

Innocenti A., Poli M., Dal Re L., 2008. Coltivazione del colza: esperienze nel Ravennate. Agricoltura, Novembre, 77-79

Laureti D., 1989. la coltivazione del colza da olio in Italia: scelta varietale Marche interne. L'Informatore Agrario XLV, 32, 37-38

Lazzeri L., D'Avino L., Leoni O., Mazzoncini M., Antichi D., Mosca G., Zanetti F., Del Gatto A., Pieri S., De Mastro G., Grassano N., Cosentino S., Copani V., Ledda L, Farci R., Bezzi G., Lazzari A., Dainelli R., Spugnoli P., 2009. On farm agronomic and first environmental evaluation of oil crop for sustainable bioenergy chains. Italian Journal of Agronomy, 4, 171-180

Marinelli G., 2009. Dalle bietole al colza, l'impegno di Sada. L'Informatore Agrario, LXV, 35, 70-71

Menguzzato A., Rossetto L., 2007. Le aspettative sul biodiesel fanno da traino al colza italiano. L'Informatore Agrario, LXIII, 33,33-36.

Mosca G., Zanetti F., 2007. Ottime rese del colza con le giuste scelte agronomiche. L'Informatore Agrario, LXIII, 33, 38-42.

Onofri A., Laureti D., Peccetti G., Zanetti F., 2005. Panorama varietale del colza. Agroindustria, 4,1,81-90.

Palmieri S., Leoni O., Iori R., 1992. Il colza oleaginosa di buone prospettive: aspetti fisiologici, tecnologici e qualitativi. Agricoltura Ricerca, 134, 63-70

Toniolo L., Mosca G., Berti A., Miceli F., Fontana F., Paradisi U., Laureti D., Ciriciofolo E., Bonari E., Marzi V., Sarli G., Perniola M., Copani V., Leto C., 1992. Risultati della rete nazionale di valutazione varietale del colza (1980-89). Agricoltura Ricerca, 14 (134), 9-18.

c - Concimazione azotata e densità di semina in colza (*B. napus* L.)

*Nitrogenous fertilization and seed density in rape seed (*B. napus *L.)*

Andrea Del Gatto*, Sandro Pieri*, Lorella Mangoni*, Marcello Mastrorilli **, Pasquale Campi**

Riassunto

Il colza è una specie che presenta delle peculiarità che le consentirebbero facilmente l'introduzione negli ordinamenti colturali di numerose aree italiane. Purtroppo, alcuni problemi come la competizione con i cereali, con cui condivide il ciclo vegetativo, difficoltà nella raccolta dovute alla scarsa resistenza alla deiscenza delle silique, nel tempo ne hanno limitato l'introduzione negli ordinamenti produttivi. La possibilità di utilizzare l'olio di colza per la produzione di biodiesel, ha, negli ultimi anni, ampliato la possibilità della sua diffusione, con nuove possibilità di reddito per l'agricoltore, ma è imprescindibile l'adozione di una tecnica agronomica che le permetta di raggiungere rese soddisfacenti e stabili.

Per fornire un contributo sull'argomento nel progetto nazionale SuSCACE finanziato dal MiPAAF è stata impostata una apposita sperimentazione realizzata ad Osimo (AN) e a Rutigliano (BA). Questa ha previsto il confronto di quattro dosi di concimazione azotata, 50, 100, 150, 200 kg ha^{-1} di N, in combinazione con due densità d'investimento, 50 e 100 semi germinabili m^{-2}, in due varietà ibride, una a taglia normale (NK FORMULA), l'altra semi- dwarf (AVENIR). È stato adottato un disegno sperimentale a parcella suddivisa con le varietà nelle parcelle, le densità di semina nelle sub parcelle e le dosi di

* Consiglio per la Ricerca e la sperimentazione in Agricoltura, Centro di ricerca per le Colture Industriali (CRA-CIN), Osimo (AN).
** Unità di Ricerca per i Sistemi Colturali degli Ambienti caldo aridi (CRA-SCA), Bari.

concimazione azotata nelle sub-sub parcelle; queste ultime misuravano una superficie di 18 m^2.

I risultati hanno evidenziato che con le nuove varietà ibride è inutile abbondare nella distribuzione di seme all'impianto della coltura. Questa, infatti, non ha mostrato alcun vantaggio passando dall'investimento di 50 a quello di 100 semi germinabili m^{-2}: in quest'ultimo caso, infatti, pur presentando un numero medio di piante alla raccolta pressoché doppio rispetto a quello riscontrato sulla tesi con investimento dimezzato, non ha fatto apprezzare alcun incremento di resa, evidenziando, invece, le caratteristiche di plasticità e compensazione tipiche di questa specie.

Lo stesso vale riguardo la concimazione azotata per la quale non è conveniente spingersi oltre le 150 unità di N ha^{-1}: non si ottengono apprezzabili vantaggi dal punto di vista produttivo, ma si va incontro alla concreta possibilità di riduzione del tenore in olio dei semi, oltre all'aumento del rischio di allettamento

Parole chiave: colza, concime azotato, densità di semina, ibrido, dwarf.

Abstract

Rape seed has certain characteristics that would easily introduce it in the production localities in many Italian areas. Unfortunately some problems as competition with cereals, since they have the same vegetative cycle, problems during the harvesting phase due to the weak resistance to the siliques'dehiscence, they gradually limited its diffusion in Italian production systems. The possibility of using oil rape seed to produce biodiesel has lately extended the possibility of its diffusion, with new income possibilities for the farmer, bat it is essential to use an adequate agronomic technique in order to obtain successful results.

In order to contribute to the "Scientific Support to Agronomical Conversion towards Energetic Cultivation" (SUSCACE) national project sponsored by MiPAAF an apposite experimentation carried out at Osimo (AN) and at Rutigliano (BA) as been made. The tests provided the comparison of four doses of nitrogenous fertilization (50, 100, 150, 200 Kg ha^{-1} of N) in combination with two planting density applied on two hybrid varieties (NK Formula and Avenir). A split-plot experimental scheme has been chosen arranging the varieties in the plots, seed density in the sub-plots and the nitrogenous fertilization doses in the sub-sub-plots (which had a surface of 18 m^2).

The results obtained with the new cultivars showed the uselessness in abounding with the distribution of seed in the culture implanting process; Infact the passage from 50 to 100 germinable seeds m^{-2} did not show any benefit. The same result was observed with nitrogenous fertilization, it is not convenient to use it at a concentration higher than 150 units ha^{-1}: since no significant advantages in terms of production are not obtained, on the contrary, it will probably cause the reduction of seeds'oil content.

The results obtained with the new cultivars showed the uselessness in abounding with the distribution of seed in the culture implanting process; In fact the passage from 50 to 100 germinable seeds m^{-2} did not show any benefit, the spite the number of plants ob-

tained from the 100 seeds m^{-2} seeding area was double compared to the number obtained from the other seeding area. The same result was observed with nitrogenous fertilization it is not convenient to use it at a concentration higher than 150 units ha^{-1}: since no significant advantages in terms of production are not obtained, on the contrary, it will probably cause the reduction of seeds'oil content.

Keywords: *rape seed, nitrogenous fertilization, seed density, hybrid, dwarf.*

Introduzione

Il colza è una specie che presenta delle peculiarità che le consentirebbero facilmente l'introduzione negli ordinamenti colturali di numerose aree italiane (Copani *et al*., 1988; De Mastro *et al*., 1992; Toniolo *et al*., 1992; Del Gatto *et al*., 2010). Infatti, oltre a richiedere modesti investimenti di capitale (Laureti, 1989), essendo una coltura di testa, con cui aprire, cioè, la rotazione, libera presto il terreno favorendo le lavorazioni per gli impianti successivi, apportando un cospicuo quantitativo di residui colturali restituisce macroelementi minerali organicati, copre presto il terreno all'inizio dell'inverno, ostacolando lo sviluppo delle infestanti invernali e proteggendo il suolo da tutte le insidie cui e suscettibile senza una coltura di copertura

Purtroppo, nonostante le premesse, alcuni problemi, come la competizione con altre specie con cui condivide il ciclo vegetativo (ad esempio i cereali), la scarsa resistenza alla deiscenza delle silique, associata ad una accentuata scalarità di fioritura-maturazione, la limitata disponibilità di erbicidi specifici efficaci ed alcune problematiche tecniche alla raccolta, nel tempo ne hanno limitato l'introduzione negli ordinamenti produttivi (Zanetti *et al*, 2008).

La possibilità di utilizzare l'olio di colza per la produzione di biodiesel, ha, negli ultimi anni, ampliato la possibilità della sua diffusione, con nuove possibilità di reddito per l'agricoltore (Mosca e Bona, 1994), ma è imprescindibile l'adozione di una tecnica agronomica che le permetta di raggiungere rese soddisfacenti e stabili (Zanetti *et al*., 2005).

Il colza viene infatti comunemente ritenuta una specie abbastanza tecnica, per la cui coltivazione è necessario adottare accorgimenti mirati alla riduzione dei costi di produzione e al conseguimento di un prodotto per la trasformazione in linea con le più recenti esigenze e regolamentazioni per un'agricoltura moderna e rispettosa dell'ambiente (Bona *et al.*, 2000).

Se da un lato può essere considerata una coltura a basso input per quanto concerne la lavorazione del terreno (Bonari *et al.*, 1992; Ciriciofolo *et al*., 1992), altre operazioni non vanno sicuramente trascurate, come la scelta varietale, l'epoca, la densità di semina e il livello di concimazione azotata.

In relazione a quest'ultimo aspetto va considerato che, se da un lato occorre garantire alla pianta una buona sopravvivenza invernale, dall'altro la somministrazione

dell'azoto in inverno è particolarmente pericolosa, in quanto rende disponibili nel terreno ingenti quantitativi di nitrati (Gabrielle e Gosse, 1995) in un periodo solitamente ricco di precipitazioni, aumentando notevolmente il rischio di lisciviazione. Questo dualismo può essere risolto solamente con una oculata gestione della concimazione azotata per una coltura non food che possa rappresentare una alternativa agronomicamente ed economicamente valida (Zanetti *et al.*, 2003)

Dato per assodato che, procedendo dal Nord verso il Sud Italia, sia raccomandabile effettuare la semina a partire dalla 2° decade di settembre (Ciriciofolo *et al*, 2000), per permettere alla pianta di raggiungere uno stadio che le conferisca una buona resistenza al freddo (6-8 foglie vere e 8 mm di diametro al colletto), l'intenso e rapido rinnovamento del panorama varietale che introduce sul territorio nazionale varietà selezionate per ambienti diversi dal nostro, dove magari la coltura è più diffusa, rende necessario adeguare e puntualizzare le informazioni a disposizione in relazione alla concimazione azotata e alla densità di investimento, non sempre improntate a criteri di univocità.

Metodologia

Per fornire un contributo sull'argomento nel progetto nazionale SuSCACE finanziato dal MiPAAF (Del Gatto *et al*., 2009) è stata impostata una apposita sperimentazione realizzata ad Osimo, presso l'azienda agraria della ex SOP del CRA-CIN (Centro di ricerca per le colture industriali) e a Bari, presso il CRA-SCA (Unità di Ricerca per i Sistemi Colturali degli Ambienti caldo aridi). Questa ha previsto, in due anni di indagine (2008-09/2009-10) il confronto di quattro dosi di concimazione azotata, 50, 100, 150, 200 kg ha^{-1} di N, distribuite in due frazioni, in copertura, a distanza di un mese l'una dall'altra, a partire dall'uscita dell'inverno, oltre al testimone non concimato, in combinazione con due densità d'investimento, 50 e 100 semi germinabili m^{-2}, in due varietà ibride, una a taglia normale (NK FORMULA), l'altra semi- dwarf (AVENIR). È stato adottato un disegno sperimentale a parcella suddivisa con le varietà nelle parcelle, le densità di semina nelle sub parcelle e le dosi di concimazione azotata nelle sub-sub parcelle; queste ultime misuravano una superficie di 18 m^2.

I rilievi effettuati hanno riguardato la data di emergenza, inizio, fine fioritura, e maturazione agronomica, l'altezza delle piante, l'allettamento, l'investimento iniziale e alla raccolta, il peso medio dei semi (1000) e il loro contenuto in olio tramite analisi NMR. Sul campione parcellare sono poi stai calcolati resa ettariale in seme e olio.

I risultati ottenuti sono stati sottoposti ad analisi statistica della varianza; di seguito verranno illustrati solo quelli risultati significativi.

Risultati

Relativamente alle varietà (Tab. 1) nessuno dei caratteri esaminati ha subito influenza se non in maniera combinata con la località di indagine.

Tabella 1 - Effetti della varietà in funzione della località di prova sui caratteri produttivi.

Località	Produzione granella al 9 % di um. (t ha^{-1})		Contenuto olio su s.s. (%)		Produzione olio s.s. (t ha^{-1})	
	Rutigliano	Osimo	Rutigliano	Osimo	Rutigliano	Osimo
Avenir	1,40 c	2,88 a	41 d	45 b	0,51 c	1,18 a
NK Formula	2,14 b	2,84 a	44 c	46 a	0,85 b	1,20 a
Medie	**1,77**	**2,86**	**42,0**	**45,8**	**0,68**	**1,19**
C.V. %	**16,10**		**5,63**		**18,20**	
LSD 0,05	**0,13**		**0,89**		**0,06**	

Dal punto di vista produttivo la differenzazione varietale si è evidenziata esclusivamente nella località pugliese, a vantaggio di NK Formula, risultata superiore per la resa in seme e olio, con uno scarto del 35 e 40%, rispettivamente; ad Osimo mediamente si sono registrate le migliori produzioni con risultati superiori del 38 e 43% relativamente alla resa in seme e olio, nell'ordine, rispetto all'altra località. Il contenuto in olio più elevato si è ottenuto nella località marchigiana con la varietà più produttiva, che ha fatto comunque registrare i valori più alti in entrambi gli ambienti di prova.

Tabella 2 - Effetti della varietà sui caratteri morfo-fenologici in funzione della località di prova.

Località	Ciclo (g)		Altezza (cm)		Investimento (piante m^{-2})		Peso 1000 al 9 % di um. (g)	
	Rutigliano	Osimo	Rutigliano	Osimo	Rutigliano	Osimo	Rutigliano	Osimo
Avenir	219 d	260 b	98,8 d	154,3 b	66 a	43 b	3,8 c	4,5 b
NK Formula	221 c	261 a	123,3 c	161,4 a	69 a	41 b	4,4 b	4,8 a
Medie	**220**	**260**	**111,1**	**157,9**	**67,6**	**41,8**	**4,07**	**4,64**
C.V. %	**0,48**		**7,16**		**15,81**		**11,40**	
LSD 0,05	**0,42**		**3,47**		**3,11**		**0,18**	

Il ciclo colturale (Tab. 2), inteso come intervallo semina–maturazione agronomica, ha fatto registrare differenze minime fra varietà, denotando una maggiore tardività di NK Formula, mentre tra località l'ampio divario è attribuibile esclusivamente alle diverse date di impianto, ritardata in Puglia dello stesso intervallo che ha separato le due località.

NK Formula ha fatto registrare una superiore taglia e peso medio dei semi; i valori di tali caratteri sono risultati superiori nella località marchigiana.

Riguardo all'investimento alla raccolta non si è avuta influenza da parte della varietà, ma ad Osimo è stata evidenziata la flessione maggiore (di circa il 38%) rispetto all'impianto, dovuta quasi esclusivamente al diverso rapporto di sopravvivenza invernale tra le due località, caratterizzate da decorsi termici stagionali abbastanza diversificati.

Tabella 3 - Effetti della densità su ciclo, altezza e investimento in funzione della località di prova; sul peso dei semi in base al genotipo.

Località	Ciclo (g)		Altezza (cm)		Investimento (piante m^{-2})		Peso 1000 al 9 % di um. (g)	
	Rutigliano	Osimo	Rutigliano	Osimo	Rutigliano	Osimo	Avenir	NK Formula
50 semi m^{-2}	220 c	261 a	109,2 c	159,5 a	45 c	31 d	4,1 b	4,63 a
100 semi m^{-2}	220 c	260 b	113,0 b	156,2 a	90 a	53 b	4,2 b	4,50 a
Medie	**220**	**260**	**111,1**	**157,9**	**67,6**	**41,8**	**4,15**	**4,57**
C.V. %	**0,48**		**7,16**		**15,81**		**11,40**	
LSD 0,05	**0,42**		**3,47**		**3,11**		**0,18**	

La densità di semina non ha influenzato significativamente i caratteri produttivi. Relativamente al ciclo colturale (Tab. 3) le differenze sono da imputare, come già esposto, quasi esclusivamente alle diverse date di impianto fra i due areali a confronto, mentre si è registrato un minimo ritardo nelle Marche con la densità inferiore.

L'altezza delle piante, di quasi mezzo metro superiore nella località marchigiana, ha evidenziato differenze solo in Puglia dove le piante hanno mostrato una statura superiore di 4 cm con la maggiore densità.

L'investimento finale, superiore mediamente a Rutigliano, ha fatto apprezzare in questa località una riduzione rispetto a quello teorico del 10% per entrambe le densità adottate, del 38 e 47%, invece, ad Osimo, rispettivamente con l'impianto di 50 e 100 semi germinabili.

Per il peso dei 1000 semi non si è avuta alcuna differenza statistica entro varietà, indipendentemente dall'investimento adottato; Avenir ha presentato un peso medio comunque inferiore ad NK Formula.

Gli effetti della concimazione azotata (Tab. 4) sono risultati anch'essi condizionati dalle località di prova, tranne che per la resa in olio.

In quest'ultimo, la migliore produzione si è ottenuta già con 150 Kg ha^{-1} di elemento fertilizzante, mentre la dose successiva non ha fatto apprezzare ulteriori incrementi; riducendo l'apporto azotato si è evidenziato un gradiente decrescente.

Tabella 4 - Effetti delle dosi di azoto su resa in olio e, in funzione della località, su altezza, peso, contenuto in olio e produzione di semi.

N	Altezza (cm)		Peso 1000 al 9 % di um. (g)		Produzione granella al 9 % di um. (t ha^{-1})		Contenuto olio su s.s. (%)		Produzione olio s.s (t ha^{-1})
kg ha^{-1}	Rutigliano	Osimo	Rutigliano	Osimo	Rutigliano	Osimo	Rutigliano	Osimo	
0	86,0 f	151,4 b	4,5 ab	4,6 a	0,93 g	2,18 d	43,2 cd	46,1 a	0,64 d
50	100,3 e	153,3 b	4,3 bc	4,6 a	1,36 f	2,73 b	44,2 bc	45,9 a	0,84 c
100	116,5 d	159,8 a	4,0 cd	4,6 a	1,81 e	2,91 b	42,3 de	46,0 a	0,96 b
150	124,5 c	162,3 a	3,7 e	4,7 a	2,42 c	3,22 a	41,3 e	45,4 ab	1,13 a
200	128,1 c	162,5 a	3,8 de	4,7 a	2,31 cd	3,26 a	39,1 f	45,5 ab	1,10 a
Medie	**111,1**	**157,9**	**4,1**	**4,6**	**1,77**	**2,86**	**42,0**	**45,8**	**0,93**
C.V. %	**7,16**		**11,40**		**16,10**		**5,63**		**18,20**
LSD 0,05	**5,49**		**0,28**		**0,21**		**1,41**		**0,07**

Lo stesso andamento ha caratterizzato la resa in granella entro località: a Rutigliano concimare con 150 o 200 unità di N ha^{-1} è risultato indifferente, sortendo comunque i migliori risultati, mentre al diminuire dell'azoto la produzione è decresciuta proporzionalmente; lo stesso è avvenuto ad Osimo, con la differenza che anche le dosi di 50 e 100 Kg ha^{-1} non si sono differenziate statisticamente. In quest'ultimo ambiente si sono ottenuti valori produttivi mediamente superiori del 38% rispetto a quello pugliese, dove il migliore risultato è comunque stato inferiore rispetto a quello ottenuto nelle Marche con la dose di concime più basso.

Ad Osimo si è registrato un contenuto in olio dei semi mediamente superiore di quasi 4 punti percentuali rispetto a Rutigliano, e senza differenze imputabili alla concimazione; nella località pugliese, invece, i valori di tale carattere sono proporzionalmente peggiorati all'aumentare della dose di azoto somministrata.

Per l'altezza delle piante la differenziazione è risultata più evidente in Puglia dove la taglia maggiore è stata raggiunta, indifferentemente, con le dosi più alte; ad Osimo invece il fattore discriminante si è posizionato tra la dose di 50 e 100 Kg ha^{-1} di N.

La coltura ha evidenziato, come già detto, un peso medio dei semi superiore ad Osimo, dove non si è osservata alcuna differenziazione relativamente alla concimazione azotata; a Rutigliano, invece, questo carattere, assimilabile al dato medio osimano in assenza di concimazione, è decresciuto all'aumentare della disponibilità di azoto fino ad un valore inferiore del 15%.

Conclusioni

La prova di confronto fra densità di semina e concimazione azotata effettuata ad Osimo e Bari, nell'ambito del progetto SuSCACE, nelle annate 2008/09-2009/10 ha permesso di ottenere alcune utili indicazioni.

Con le nuove varietà ibride è inutile abbondare nella distribuzione di seme all'impianto della coltura. Questa, infatti, non ha mostrato alcun vantaggio passando dall'investimento di 50 a quello di 100 semi germinabili m^{-2}: in quest'ultimo caso, infatti, pur presentando un numero medio di piante alla raccolta pressoché doppio rispetto a quello riscontrato sulla tesi con investimento dimezzato, non ha fatto apprezzare alcun incremento di resa, evidenziando, invece, le caratteristiche di plasticità e compensazione tipiche di questa specie.

Lo stesso vale riguardo la concimazione azotata per la quale non è conveniente spingersi oltre le 150 unità di N ha^{-1}: non si ottengono apprezzabili vantaggi dal punto di vista produttivo, ma si va incontro alla concreta possibilità di riduzione del tenore in olio dei semi, oltre all'aumento del rischio di allettamento.

Bibliografia

Bonari E., Mazzoncini M., Peruzzi A., Silvestri N., 1992. Esperienze di aratura e di lavorazione minima per la coltura del colza invernale da granella. Agricoltura Ricerca14, 33-42.

Bona S., Mosca G., Vamerali T., 2000. Energy and CO_2 balance in biodiesel fuel production: the role of variability in agricolture pratices. Proceedings of 1^{sth} "World International Conference and Exibition on Biomass for Energy and Industry". Sevilla, Spain, 5-9 June, 159-162.

Ciriciofolo E., Laureti D., Luciani F., Sarli G., 1992. Diversi sistemi di lavorazione del terreno nel colza invernale da olio. Agricoltura Ricerca14, 19-32.

Ciriciofolo E., Natalizi G., Bruni R., 2000. Manuale di corretta prassi per la coltivazione integrata del colza Edito da 3A parco Tecnologico Agroalimentare dell'Umbria, 1-29.

Copani V., Patanè C., Foti S., 1988. Ricerche sulla potenzialità produttiva del colza, nuova coltura autunno-vernina in Sicilia. In "Stato attuale e prospettive delle colture oleaginose in Italia". Pisa, 24-26 febbraio. Pacini Editore, 513-525.

De Mastro G., Lamacchia M., Sarli G., Castrignano A., 1992. un biennio di osservazioni sul ritmo di accrescimento del colza (*Brassica napus* L. var. oleifera D.C.) in ambiente meridionale. Agricoltura ricerca, 14, 85-94.

Del Gatto A., Pieri S., Mangoni L., Di Candilo M., De Mastro G., Grassano N., Signor M., Barbiani G., Carboni M., Cauli F., 2009.Le varietà per uso energetico di colza e *Brassica carinata.* L'Informatore Agrario, 35, 37-42.

Del Gatto A., Pieri S., Mangoni L., 2010. Introduzione del colza negli ordinamenti colturali marchigiani. Dal seme 4, 59-67.

Gabrielle B., GosseG., 1995. Bilan environnemental du colza: premiers résultats expérimentaux. Oleagineaux Crop gras Lipides, 6, 443-444.

Laureti D., 1989. La coltivazione del colza da olio in Italia: tecnica colturale. L'Informatore Agrario, XLV (32), 59-64.

Mosca G., Bona S., 1994. Oil seed crops for methylester production: Energy analysis and productivity of some species. Rivista di Ingegneria Agraria, 3, 151-161.

Toniolo L., Mosca G., Berti A., Miceli F., Fontana F., paradisi U., Laureti D., Ciriciofolo E., Bonari E., Marzi V., Sarli G., Perniola M., Copani V., Leto C., 1992. Risultati della rete nazionale di valutazione varietale del colza (1980-89). Agricoltura Ricerca, 14, 9-18.

Zanetti F., Bona S., Berto R., Massignan A., 2003. Non sempre abbondare con l'azoto favorisce maggiori rese in granella. L'Informatore Agrario 35, 39-41.

Zanetti F., Bezzi, G., Pannacci E., Amaducci M.T., Ciriciofolo E., Mosca G., 2005. Itinerari colturali sostenibili in colza invernale. Agroindustria, 4, 1, 91-100.

Zanetti F., Mosca G., Loddo S., 2008. Colza, remunerativo ma da specialisti. L'Informatore Agrario, LXIV, 33, 31-36.

3
Coltivazione nel Sud Italia

a - Brassicacee da olio per biodiesel in Sicilia

Oilseed Brassicas for biodiesel in Sicily

Umberto Anastasi*, Venera Copani*, Salvatore Cosentino*

Riassunto

I biocarburanti, tra i quali il biodiesel, rappresentano una fonte energetica rinnovabile di cui è auspicata la diffusione nell'Unione Europea per ridurre progressivamente la dipendenza dai carburanti convenzionali e l'emissione di gas serra. L'implementazione di questa filiera bioenergetica passa attraverso l'individuazione di specie da olio idonee ad essere coltivate nei diversi ambienti. Tra queste specie, le Brassicacee come il colza (*Brassica napus* L. var. *oleifera* D.C.) e la mostarda etiopica (*Brassica carinata* A. Braun) sono considerate opzioni valide per gli ambienti caldo-aridi del meridione italiano. Dopo avere richiamato i principali caratteri botanici, la biologia e le esigenze, sono descritti i criteri di scelta delle varietà e i diversi aspetti della gestione agronomica di entrambe le specie, alla luce della pluriennale sperimentazione condotta dal DISPA dell'Università di Catania in alcuni ambienti siciliani. I risultati indicano l'opportunità di puntare su genotipi precoci e su semine autunnali anticipate, una volta valutate le disponibilità idriche naturali del periodo di semina. È emerso, inoltre, che nella pianura costiera siciliana le produzioni di granella e il contenuto di olio in *B. carinata*, alla quale recentemente è stata rivolta maggiore attenzione, superano quelle di *B. napus*. Il bilancio energetico per *B. carinata* nelle condizioni ambientali siciliane, evidenzia che nonostante la resa energetica sia notevolmente inferiore a quella di specie lignocellulosiche, la coltura rappresenta comunque un'opportunità, poiché la filiera del biodiesel può essere facilmente organizzata in tempi brevi. I margini per il miglioramento dell'efficienza energetica della coltura sono da ricercare in una riduzione degli input rappresentati soprattutto dalla concimazione azotata, attraverso l'adozione di precessioni colturali che prevedano la presenza di leguminose.

Parole chiave: Colza, Mostarda etiopica, biodiesel, bilancio energetico.

* Dipartimento di Scienze delle Produzioni Agrarie e Alimentari (DISPA), Università degli Studi di Catania.

Abstract

Biofuels, including biodiesel, are a renewable energy source of which the spreading in the European Union is hoped in order to gradually reduce dependence from the conventional fuels and the emission of greenhouse gases. The implementation of this bioenergy sector is possible first of all through the identification of oilseed species suitable for cultivation in different environments. Among these species, Brassicaceae *such as oilseed rape* (Brassica napus *L. var.* oleifera *DC) and Ethiopian mustard* (Brassica carinata *A. Braun) are considered viable options for semi-arid environments of southern Italy. After the recalling of the main botanical traits, biology and requirements, are described the criteria of choice of varieties and the different aspects of agronomic management of both species, taking into account the pluriannual experimentation conducted by the DISPA Department of Catania University in some Sicilian environments. The results indicate the opportunity to focus on earliness genotypes and to early autumn sowing, taking into consideration the availability of rainfall during the sowing period. It also emerged that in the Sicilian coastal plain grain yield and the average content of oil in* B. carinata, *which has recently been received more attention, exceed those of* B. napus. *The energy balance for* B. carinata *under the environmental conditions of Sicily shows that, despite the energy yield of this crop is significantly lower than that of lignocellulosic species, its cultivation is still an opportunity, because the biodiesel sector can be easily organized in a short time. The margins for improving energy efficiency of the crop can be found in a reduction of inputs represented mainly by nitrogen fertilization, through the insertion of legume species in the cultural rotation.*

Keywords: *Rapeseed, Ethiopian mustard, biodiesel, energy balance.*

Il quadro di riferimento europeo sui biocarburanti

Nell'Unione Europea la quota di energia destinata al settore trasporti rappresenta oltre il 30% di quella complessivamente consumata (DIR 2003/30/CE); di questa, l'80% è utilizzata per i trasporti su strada. Le fonti di approvvigionamento sono rappresentate dal gas naturale e dal petrolio, provenienti quasi esclusivamente da giacimenti extracomunitari, limitati e circoscritti. Negli ultimi anni, il prezzo dei carburanti convenzionali, è andato incontro a un progressivo aumento a causa della politica attuata dai paesi detentori delle riserve, dell'aumento della domanda internazionale e in vista di un esaurimento a breve di tali risorse. Secondo le stime disponibili, sempre i trasporti sono responsabili del 21% delle emissioni di gas serra (COM 2006 34 dell'8/2/2006), alla cui riduzione i paesi dell'Unione si sono impegnati sottoscrivendo il protocollo di Kyoto. In questo quadro i biocarburanti rappresentano la risposta più immediata all'obiettivo comunitario di aumentare la quota di energia da fonti rinnovabili, limitando così la dipendenza dai paesi produttori e contribuendo alla riduzione dei gas ser-

ra. Il documento 20 20 by 2020 - Europe's climate change opportunity (COM 2008) fissa i tempi per una svolta significativa nelle politiche ambientali ed energetiche dell'Europa che puntano decisamente sulle energie rinnovabili.

L'evidenza che biodiesel e bioetanolo possano essere facilmente ricavati dalle più importanti specie agrarie (frumento, orzo, mais, colza, soia, girasole, sorgo da granella, barbabietola da zucchero, etc.) comporta implicazioni favorevoli di natura economica, tecnica e sociale, dal momento che si tratta di colture di solida ed antica coltivazione. Com'è noto, tuttavia, l'utilizzazione di piante a fini energetici è fortemente avversata a causa dell'incremento dei prezzi cui vanno incontro le stesse materie prime destinate all'alimentazione umana ed animale (Cosentino *et al.*, 2007).

Il biodiesel, in particolare, è considerato un ottimo sostituto del gasolio, e può essere ricavato da oli vegetali usati o grassi animali ma anche da colture oleaginose dedicate (Cardone *et al.*, 2003). Per queste ultime è richiesto che il rapporto input/output sia basso, in modo che l'energia utilizzata nel processo produttivo superi quella resa disponibile dal biocarburante. Questo è generalmente sotto forma di metilestere (diestere), facilmente prodotto attraverso un processo di transesterificazione (trasformazione di un estere in un altro per reazione con un alcool) degli acidi grassi di oli vegetali che prevede l'impiego di metanolo (o etanolo) in presenza di un catalizzatore (generalmente idrossido di Na o di K).

Specie da olio per biodiesel adatte agli ambienti caldo-aridi

Nel meridione italiano, la filiera biodiesel ha trovato concrete prospettive di implementazione nei tradizionali areali cerealicoli, nei quali, per ottemperare ai dettami della nuova PAC è necessario disporre di specie alternative da avvicendare con il grano duro.

Tenendo presenti i vincoli di natura climatica di queste regioni e il fatto che l'acqua disponibile per l'irrigazione è destinata prevalentemente a colture più redditizie, la scelta di specie a ciclo autunno-primaverile è stata quasi obbligata. Tra queste le Brassicacee quali, il colza (*Brassica napus* L. var. *oleifera* D.C.), la mostarda etiopica (*Brassica carinata* A. Braun) e altre specie minori (*Brassica juncea* L. Czern, *Brassica rapa* L., *Sinapis alba* L. e *Crambe abyssinica* Hochst ex Fries.) sono state tra quelle di più facile introduzione.

Il colza in Italia e nel meridione in particolare, è specie a diffusione alquanto limitata se paragonata alle superfici dei paesi dell'Europa continentale; può contare comunque su una ricerca agronomica che ha efficacemente analizzato e risolto i principali quesiti posti nel momento del suo ingresso nel panorama colturale italiano (Foti *et al.*, 1997; Cosentino *et al.*, 2005, 2008). I risultati produttivi relativi a prove realizzate nel corso di una pluriennale sperimentazione rivelano una elevata variabilità tra gli anni (Tab. 1). Produzioni analoghe a quelle del Nord si alternano a rese aleatorie inferiori a 1 t ha^{-1} (campo di variabilità 0,8-3,8 t ha^{-1}).

Tabella 1 - Prove su Brassicacee da olio per energia realizzate in ambienti del sud Italia: aspetti agronomici e risultati produttivi (*).

Specie	*Semina (mese/stagione)*	*Raccolta (mese)*	*Resa (t ha^{-1} s. s.)*	*Contenuto di olio (%)*	*Riferimento bibliografico*
Brassica napus (Colza)	X-XI	V-VI	0,8-3,1	34-44	Toniolo *et al*., 1992
	X-XI	V-VI	1, 0-3,8		Abbate *et al*., 1993
			1,6-2,2	41-43	Mazzoncini e Angelini, 2002
	Autunno		2,5-2,9		De Mastro *et al*., 2006
	Autunno		0,8-2,1	33	De Mastro *et al*., 1999
	Primavera		0,9-1,6	32	De Mastro *et al*., 1999
Brassica juncea	X	V-VI	1,2	34	Copani *et al*., 2007
	XI-XII	VI	0,7-2,1	31-42	Copani *et al*., 1999
	Autunno		0,7-1,6	31	De Mastro *et al*., 1999
	Primavera		0,7-0,9	29	De Mastro *et al*., 1999
Brassica carinata	X	V-VI	2,7	34	Copani *et al*., 2007
	Autunno		1,0-3,4	31	De Mastro *et al*., 1999
	Primavera		0,6-3,5	30	De Mastro *et al*., 1999
			1,9-3,5	34-38	Mazzoncini e Angelini, 2002
Crambe abyssinica	XII	V	1,6	30	Copani *et al*., 1999
	Autunno		0,9-2,4	33	De Mastro *et al*., 1999
	Primavera		1,0	21	De Mastro *et al*., 1999
			1,5-2,1	33-34	Mazzoncini e Angelini, 2002

(*) Tabella rielaborata da Cosentino *et al*., 2007

Dagli anni ’90 l’attenzione è stata rivolta ad altre *Brassicaceae* contenenti acido erucico (eliminato per via genetica nel colza per uso alimentare), per il quale esiste un forte interesse da parte dell’industria nei settori della motoristica e della lipochimica (Mazzoncini e Angelini, 2002). Sono state valutate a questo scopo varietà e linee HEAR (High Erucic Acid Rapeseed) di colza, e genotipi di *Brassica carinata* A. Braun, *Brassica juncea* L. Czern, *Brassica rapa* L., *Sinapis alba* L. e *Crambe abyssinica* Hochst ex Fries. La sperimentazione condotta in Italia (Cosentino *et al.*, 2007) ha reso evidenti soddisfacenti livelli produttivi delle cultivar di *Brassica napus*. *Brassica carinata* ha manifestato ottima adattabilità agli ambienti meridionali, grazie alla precocità di fioritura, alla indeiscenza delle silique a maturazione, alla resistenza all’allettamento, allo stress idrico e alle principali avversità biotiche, che si sono tra-

dotti in una maggiore stabilità produttiva rispetto al colza. Il contenuto di olio nei semi e di acido erucico nell'olio è risultato quasi sempre inferiore nella *B. carinata* rispetto alla *B. napus*, ma la resa in olio non si è discostata da quella del colza. Maggiori limitazioni in relazione alla scelta dell'areale di coltivazione hanno posto *Crambe abyssinica*, *Brassica juncea* e *Sinapis alba*. In particolare, per il Crambe è stata sottolineata la scarsa resistenza alle basse temperature, che ne consiglierebbe la coltivazione solo al sud (Copani *et al.*, 2007).

Si riportano di seguito le principali informazioni su scelta varietale, tecnica colturale e bilancio energetico relative alle specie di maggiore interesse per la Sicilia.

1 - *Brassica napus* L. var. *oleifera* D.C.

Principali caratteri botanici, biologia ed esigenze

Il colza è una pianta ad *habitus* annuale o biennale, provvista di apparato radicale fittonante e robusto, lateralmente poco espanso. Il fusto, eretto, è alto da 0,5 a 1,5 m, ramificato nella parte mediana e distale. Le foglie, glauche e pruinose, sono peduncolate, semplici, lirato-pennatosette quelle basali, e parzialmente amplessicauli, oblunghe quelle mediano-distali. I fiori gialli sono riuniti a formare grappoli terminali e presentano la struttura a croce tipica della famiglia. La fioritura è asincrona. Il frutto è una siliqua più o meno deiscente a maturità, contenente 20-30 semi. Questi sono di forma tondeggiante e di colore rosso-bruno o nero, con un peso unitario di 35-45 mg.

Per quanto riguarda le esigenze, è importante soprattutto che la pianta riesca a formare 6-8 foglie e raggiunga un diametro della radice al colletto di circa un cm prima dell'inverno, poiché a questo stadio (rosetta) può agevolmente fronteggiare le basse temperature. Predilige terreni profondi, di medio impasto o tendenzialmente argillosi con buona capacità di ritenzione idrica, che riesce a valorizzare meglio dei cereali vernini grazie alla maggiore precocità. Il colza è una specie annuale, a ciclo autunno-primaverile, potendosi inserire vantaggiosamente negli avvicendamenti delle zone asciutte (colza-cereale vernino; colza-cereale vernino-leguminosa; colza cereale vernino-erbaio) (Copani *et al.*, 2008). In Sicilia e nel meridione italiano in generale, di norma, riesce a completare il ciclo entro la prima decade di giugno (Santonoceto e Anastasi, 1999; Santonoceto e Anastasi, 2003). È una specie competitiva nei confronti delle infestanti, grazie alla buona copertura del suolo nel periodo primaverile, e malgrado abbia elevate esigenze nutrizionali, restituisce al suolo, con i residui colturali (6-8 t ha^{-1} di biomassa secca) buona parte degli elementi minerali somministrati con la concimazione. La granella di colza, oltre ad essere una ricca fonte di olio (43-44%), presenta un contenuto proteico del 21-24%, il 4-5% di carboidrati e il 7-11% di fibra. La presenza di acido erucico nell'olio (35-48%), così come di glucosinolati nelle farine disoleate (120-200 µmoli g^{-1}) possono rappresen-

tare un problema o una risorsa in rapporto alla destinazione del prodotto. Infatti, l'olio di colza, se privo di acido erucico può essere utilizzato nelle filiere alimentare ed energetica (biodiesel), se ricco di acido erucico presenta un esteso campo di applicazioni per l'ottenimento di numerosi prodotti industriali (plastiche, lubrificanti, cosmetici, detergenti) (Copani *et al.*, 1999). La presenza dei glucosinolati nel panello residuo costituisce un limite per l'impiego zootecnico, perché tossici per gli organismi animali in elevata concentrazione, ma più recentemente è stata valutata la possibilità di valorizzare questi composti sia come agrochimici per l'azione biocida nei confronti di diversi parassiti e patogeni del suolo (biofumigazione), sia come principi attivi farmaceutici e nutraceutici utili per la riduzione del rischio di insorgenza di diversi tipi di cancro.

Scelta delle varietà

La disponibilità varietale del colza, grazie all'intenso lavoro di breeding condotto soprattutto all'estero, è ampia e articolata. Una prima distinzione ormai classica delle cultivar di colza, operata in rapporto alle esigenze di vernalizzazione, è quella tra:

- genotipi "invernali" (*B. napus* L. var. *oleifera* D.C. *forma biennis*). Richiedono un periodo di freddo per fiorire (vernalizzazione). Sono ampiamente diffuse in Europa poiché assicurano rese più elevate rispetto alle "primaverili" per la maggiore durata del ciclo biologico. La sperimentazione effettuata in Sicilia indica che i migliori risultati si ottengono con le varietà "invernali" precoci (Abbate *et al.*, 1993);
- genotipi "primaverili" (*B. napus* L. var. *oleifera* D.C. *forma annua*), non richiedono un periodo di freddo per fiorire (alternativi).

Le condizioni climatiche della Sicilia consentono la semina autunnale dei tipi primaverili che dimostrano una buona capacità produttiva grazie alla maggiore durata del ciclo, alla maturazione precoce quando nel suolo sono ancora presenti riserve idriche disponibili per la pianta. Nel caso di semine tardive (dicembre), o di ambienti della pianura costiera in cui i valori termici del periodo invernale non sono in grado di soddisfare le esigenze in freddo delle cv "invernali", la scelta delle "primaverili" appare obbligata. In base al contenuto di acido erucico e di glucosinolati esistono quattro categorie di genotipi:

- "doppio alto", ad alto tenore di acido erucico e glucosinolati;
- "0", a basso tenore di acido erucico;
- "00" o "doppio zero", quasi privi di acido erucico e con di 5-10 μmoli di glucosinolati g^{-1} di farina disoleata;
- "000", privi sia di acido erucico che di glucosinolati, e a ridotto tenore in fibra.

A queste categorie si sono recentemente aggiunte le "linee ibride composte" (CHL, composite hybrid line) ottenute mettendo insieme una linea maschiosterile (80%) e una impollinante (20%), oggi soppiantate dai cosiddetti "veri ibridi" (CHH composite hybrid hybrid) con fertilità maschile completamente ristorata. Questi ultimi a loro volta possono essere: "CHH a taglia normale", che essendo vigorosi sono in grado in condizioni agronomiche adeguate di esprimere una elevata potenzialità produttiva; "CHH nani o semi-nani" (dwarf o semi-dwarf), meno sensibili all'allettamento, ma che avendo minore capacità di crescita necessitano di essere seminate precocemente, all'inizio dell'autunno. Tuttavia, i vantaggi agronomici di utilizzazione degli ibridi rispetto alle varietà tradizionali, si riducono fino a scomparire se sono coltivati in condizioni ambientali sfavorevoli o in regime low input.

Tecnica colturale

Avvicendamento

Per il corretto inserimento del colza nell'avvicendamento è essenziale prendere in considerazione le implicazioni di ordine fitopatologico determinate dalle altre specie coltivate che ospitano i medesimi parassiti e patogeni. Il colza infatti è ospite di *Heterodera schachtii*, il nematode della barbabietola da zucchero, e di *Sclerotinia sclerotiorum*, fungo che parassitizza anche il girasole e la soia e che permane nel terreno per molto tempo sotto forma di "sclerozi". Pertanto si richiedono avvicendamenti ampi, destinando a colza soltanto una quota non superiore al 30% della superficie aziendale e/o coltivandolo in areali dove non siano diffusi questi parassiti e patogeni.

Preparazione del terreno e semina

Il letto di semina deve essere accuratamente preparato per permettere un adeguato contatto dei piccoli semi con le particelle del terreno. Lo strato profondo deve essere soffice per favorire la penetrazione dell'apparato radicale. Normalmente le lavorazioni del terreno consistono in un'aratura a 25-30 cm, generalmente estiva, seguita durante l'autunno da lavorazioni complementari con estirpatori, frangizolle e/o altri erpici che hanno il duplice compito di rinettare il suolo dalla flora spontanea e di amminutarlo rendendolo idoneo alla semina. Una sperimentazione recente del DISPA ha verificato la possibilità di impiegare la minima lavorazione che richiede comunque un controllo più attento delle erbe infestanti.

Seminare per tempo è un imperativo categorico. In Sicilia, come in tutte le regioni caldo-aride, l'epoca di semina è condizionata dall'andamento delle piogge. La semina deve ricadere in un periodo in cui la piovosità raggiunge almeno i 50 mm. Sulla base della piovosità media mensile di circa un trentennio, rilevata da stazioni dislocate uniformemente su tutto il territorio siciliano, è stato possibile stimare l'inizio del periodo di semina, compreso tra la prima decade di ottobre nelle aree a

piovosità autunnale elevata (collina e montagna) e la seconda decade di dicembre nelle aree a piovosità ridotta (pianura costiera) (Tab. 2).

Tabella 2 - Epoca di semina del colza in Sicilia in relazione alla distribuzione delle piogge (Foti *et al.*, 1997).

Ambiente	Epoca di semina
Pianura	
Piana di Catania	III decade ottobre
Piana di Gela	III decade dicembre
Collina	
Palazzolo Acreide	III decade ottobre
Caltagirone	II decade novembre
Mazzarino	III decade ottobre
Barrafranca	I decade novembre
Montagna	
Nebrodi	I decade ottobre

In relazione alle esigenze della coltura è utile ricordare che le cv invernali garantiscono i migliori risultati produttivi con semine intorno alla fine del mese di ottobre e non oltre la prima decade di novembre; le varietà primaverili consentono di programmare le semine in un più ampio arco di tempo (da ottobre a dicembre) e risultano, quindi, più adatte a semine forzatamente tardive.

La dose di seme è funzione della densità d'investimento prevista (da 50 a 70 piante m^2), delle condizioni di semina (grado di affinamento del suolo, profondità, regolarità, attacchi parassitari), delle condizioni meteorologiche subito dopo la semina, del peso del seme. A tale riguardo, la dose di seme può variare tra 5 e 9 Kg ha^{-1}.

La semina a fila continua con seminatrici da grano è la norma, ma se le condizioni del terreno e la preparazione del letto di semina lo consentono, la semina con macchine pneumatiche di precisione può assicurare maggiore regolarità. Nel primo caso valgono le seguenti regole: velocità di avanzamento inferiore a 6 Km h^{-1}, distanza tra le file tra 17 e 40 cm, profondità di semina intorno a 2 cm. L'interfila adottata con la semina di precisione, di norma, è di 45 cm con distanza sulla fila di 2-2,5 cm.

Concimazione

Per una corretta nutrizione della coltura è necessario considerare che il colza presenta elevati fabbisogni dei principali elementi nutritivi che tuttavia restituisce in buona parte al terreno con la biomassa residua qualora questa non venga asportata. L'azoto (N) può essere frazionato tenendo presente che dall'emergenza allo stadio di rosetta (dicembre-gennaio) la pianta assorbe circa il 20% del fabbisogno complessivo, dal-

l'inizio della levata alla fioritura viene utilizzato circa il 70% dell'elemento ed il restante 10% viene assorbito durante la fase di riempimento del seme. Il fosforo (P_2O_5) e il potassio (K_2O) devono essere interrati, preferibilmente con la lavorazione principale, e sono assorbiti in quantità non superiore al 20% nel corso dell'inverno, la restante parte viene utilizzata dalla coltura alla levata e durante la fioritura.

La dose di concime è calcolata in funzione della presumibile produzione, dipendente dal genotipo, dalla dotazione del terreno in elementi nutritivi e dalle condizioni meteoriche. Per una resa di 2 t ha^{-1} di seme il fabbisogno di azoto è considerato di circa 140 Kg ha^{-1}, quello di fosforo da 50 a 100 Kg^{-1}. Per questi ultimi elementi, comunque, se i residui colturali sono interrati, può essere sufficiente restituire le asportazioni (Tab. 3).

Tabella 3 - Fabbisogni (per ogni 100 Kg di seme prodotto) di macroelementi e percentuali di questi presenti nel seme e nei residui colturali.

Elementi nutritivi	Fabbisogno (Kg)	% nel seme	% nei residui colturali
Azoto	7	50	50
Fosforo	2,5	60	40
Potassio	10	10	90
Zolfo	6	40	60
Calcio	5	10	90
Magnesio	2,5	20	80

Il colza presenta elevate esigenze di zolfo (S). Le carenze si manifestano con l'ingiallimento dei lembi delle foglie giovani mentre le nervature rimangono verdi; alla fioritura i fiori si decolorano e abortiscono. È consigliabile, pertanto, somministrare concimi contenenti zolfo (es. tra gli azotati, solfato ammonico)

Controllo delle infestanti

Le strategie d'intervento sono legate principalmente alla conoscenza della flora dell'ambiente di coltivazione e alla modalità di semina. Le infestanti più temibili sono le graminaceae invernali appartenenti ai generi *Alopecurus, Lolium, Avena, Phalaris, Poa*, e tra le dicotiledoni annuali, le Brassicacee afferenti ai generi *Sinapis, Rapistrum, Brassica, Myagrum*, ed altre specie, comuni anche ai cereali vernini, ascritte ai generi *Veronica, Stellaria, Papaver, Matricaria, Galium, Fallopia, Polygonum.* Tra le perenni si riscontrano talora i generi *Cirsium, Sylibum, Equisetum.* Un ulteriore problema possono costituire le rinascite di orzo e frumento.

In generale, con semina a file spaziate (interfila 45 cm) è consigliato un intervento chimico pre-emergenza seguito eventualmente da una sarchiatura meccanica prima che la coltura chiuda la fila; nel caso di semina fitta (interfila 17-20 cm) si potrà eseguire un trattamento erbicida pre-emergenza, seguito se necessario da altri interventi

chimici post-emergenza contro graminacee annuali. La presenza di infestanti appartenenti alla famiglia delle *Brassicaceae* rappresenta l'aspetto critico principale, perchè oltre alla competizione per le risorse ambientali, può comportare uno scadimento della qualità dell'olio. In questi casi sono suggeriti l'avvicendamento abbinato all'interfila più ampia e alla sarchiatura in quanto mancano erbicidi selettivi efficaci. Tra gli erbicidi da utilizzare pre-semina si segnalano il gliphosate e il glufosinate ammonio, il cui ampio spettro d'azione è in grado di controllare numerose specie graminacee, dicotiledoni e perenni. Pre–emergenza il metazaclor, che in questa fase è selettivo per la coltura, riesce a controllare efficacemente oltre a diverse graminaceae, le dicotiledoni appartenenti ai generi *Amaranthus*, *Diplotaxis*, *Solanum*, *Stellaria*, *Veronica*, *Polygonum*, e in parte le Brassicacee (*Capsella*, *Sinapis*, etc.). Lo stesso p.a. può essere utilizzato, con la dovuta cautela, per interventi post-emergenza insieme a graminicidi come haloxyfop-ethoxyethyl oppure cicloxydim, fluazifop-p-butyl, quizalofop-ethyl eventualmente addizionati con olio. Tali erbicidi sono disponibili in diverse formulazioni commerciali cui fare riferimento per la dose da impiegare.

Raccolta

La raccolta è eseguita quando le foglie si disseccano, benché spesso gli steli rimangano ancora verdi, le silique virano dal verde al bruno e i semi si colorano presentando un'umidità inferiore al 15%. Dato che per la parziale deiscenza delle silique le perdite possono essere anche molto elevate, è consigliato evitare la raccolta nelle ore più calde della giornata. Si utilizzano mietitrebbie con testate specifiche oppure quelle per la raccolta dei cereali adattate allo scopo. L'altezza di taglio deve essere la più alta possibile, specie se ci sono steli ancora verdi e se sono presenti infestanti. La macchina deve essere opportunamente regolata come segue:

- velocità battitore: circa 600 giri al minuto,
- distanza tra battitore e controbattitore: anteriore 13 mm e posteriore 3 mm,
- vagli: superiore chiuso per ¾, inferiore con fori ∅ 4-5 mm,
- ventilazione: ridotta al minimo.

La granella di colza deve essere conservata e avviata alla commercializzazione e trasformazione con un contenuto di umidità pari a 8-9%.

2. *Brassica carinata* A. *Braun*

Principali caratteri botanici, biologia ed esigenze

La mostarda etiopica è una specie erbacea a ciclo annuale. L'apparato radicale è di tipo fittonante con scarse ramificazioni, ma profondo ed in grado di esplorare meglio di *B. napus* il suolo e attingere meglio l'acqua. Sul fusto, che è robusto e parzialmente lignificato alla base, s'inseriscono numerose ramificazioni a partire dalla por-

zione mediana e distale. La pianta può raggiungere e superare un'altezza di 2 m. Le foglie, glabre e dal colore glauco, sono picciolate nella fase di rosetta; dopo la levata si differenziano foglie intere, lanceolate e semiamplessicauli.

L'infiorescenza è un racemo terminale con un numero di fiori variabile in relazione allo sviluppo della pianta, da 50 a 200 e più. La fioritura è scalare, inizia dai fiori basali e procede verso l'apice. Il fiore, ermafrodita, ha petali di colore variabile dal giallo al bianco o, talvolta, bicolore con venature violacee (Fig. 1). I petali hanno generalmente dimensioni maggiori rispetto a quelli di *B. napus*. *B. carinata* è specie autofertile ma la quota di incrocio per effetto del vento e dei pronubi può arrivare al 30%. Il frutto è una siliqua di forma e dimensioni anche molto diverse; la lunghezza può raggiungere i 10 cm (Fig. 2), la sezione è generalmente ovale. A differenza di quanto accade per il colza, le silique di *B. carinata* non sono deiscenti. Ogni siliqua contiene da 10 ai 20 semi globosi, di colore marrone scuro, chiaro o giallo. Il peso di un seme è pari a circa 4 mg.

Figura 1 - Fiori di *B. carinata* di colore bianco (Foto DISPA).

Figura 2 - Silique di *B. carinata* in fase di maturazione (Foto DISPA).

Il contenuto di olio dei semi supera quasi sempre il 40%. Gli acidi grassi maggiormente presenti nella frazione lipidica dell'olio sono l'erucico (dal 35 al 48%), il linoleico (dal 15 al 19%), l'oleico dal 10-15% ed il linolenico dal 9-15%. Il contenuto proteico medio è pari al 17%.

Il ciclo biologico di *B. carinata* è autunno-primaverile. I dati di recenti sperimentazioni effettuate in Sicilia (Copani *et al.*, 2009, 2011; Sortino *et al.*, 2007) indicano che la durata media del ciclo, dalla semina alla maturazione fisiologica del seme, è pari a circa 170 giorni, con oscillazioni in relazione al genotipo, alle condizioni ambientali e all'epoca di semina, che possono variare da un minimo di 130 giorni ad un massimo di 202 giorni (Tab. 4). La fase di germinazione dura in media 15 giorni (da 5 giorni con semina ad ottobre in pianura a 27 giorni con semina a novembre in collina). La fase successiva, emergenza-inizio fioritura, dura in media 130 giorni; anche

in questo caso le oscillazioni possono essere notevoli (da 117 a 152 giorni). L'intervallo fioritura-maturazione, che dipende ampiamente dalla temperatura dell'aria, ma anche dalla disponibilità idrica del suolo, dura poco più di 60 giorni. Nel complesso, la durata media del ciclo biologico di *B. carinata* può anche superare quella di *B. napus* (specie nel caso di cv invernali), tuttavia non sono stati osservati fenomeni di scarso riempimento e di striminzimento del seme. È opportuno porre l'accento sul fatto che *B. carinata* non richiede la vernalizzazione, per cui la scelta della varietà di questa specie è più semplice che per *B. napus*.

Tabella 4 - Genotipi in prova in diversi ambienti della Sicilia, e date di semina dei principali stadi del ciclo colturale e di raccolta.

Genotipo	*Semina*	*Emergenza*	*Fioritura (F1)*	*Maturazione (G5)*	*Trebbiatura*
			Catania		
ISCI 7	26/11/2007	10/12/2007	03/04/2008	03/06/2008	23/06/2008
CT 207	26/11/2007	10/12/2007	08/04/2008	07/06/2008	24/06/2008
CT 204	26/11/2007	10/12/2007	03/04/2008	03/06/2008	21/06/2008
CT 180	26/11/2007	10/12/2007	26/03/2008	29/05/2008	21/06/2008
			Enna		
ISCI 7	08/11/2007	05/12/2007	11/04/2008	11/06/2008	26/06/2008
CT 207	08/11/2007	05/12/2007	21/04/2008	20/06/2008	26/06/2008
CT 204	08/11/2007	05/12/2007	05/04/2008	16/06/2008	26/06/2008
CT 180	08/11/2007	05/12/2007	02/04/2008	05/06/2008	26/06/2008
			Ispica		
ISCI 7	31/10/2007	05/11/2007	04/04/2008	18/06/2008	01/07/2008
CT 207	31/10/2007	05/11/2007	19/04/2008	28/06/2008	01/07/2008
CT 204	31/10/2007	05/11/2007	24/03/2008	06/06/2008	01/07/2008

La coltura predilige gli ambienti caldo-aridi più che quelli di tipo continentale. Le ricerche effettuate in Sicilia indicano che nella pianura costiera le produzioni di *B. carinata* ed il contenuto medio di olio superano quelle di *B. napus*.

Le esigenze idriche della specie non sono state oggetto di studi specifici, ma alla luce dei risultati della sperimentazione si può affermare che le precipitazioni autunno-vernine e quelle primaverili di minore entità hanno consentito alla coltura di raggiungere livelli produttivi soddisfacenti. Negli ambienti in cui sono state condotte le

prove la piovosità complessiva del periodo utile ai fini dell'utilizzazione da parte della coltura ha superato i 450 mm con punte intorno a 600 mm (Fig. 3). I suddetti dati di piovosità, registrati nel 2008-2009 sono risultati in linea con la piovosità media pluriennale di questi ambienti. Le fasi critiche sono quelle della germinazione, della fioritura e della formazione delle silique.

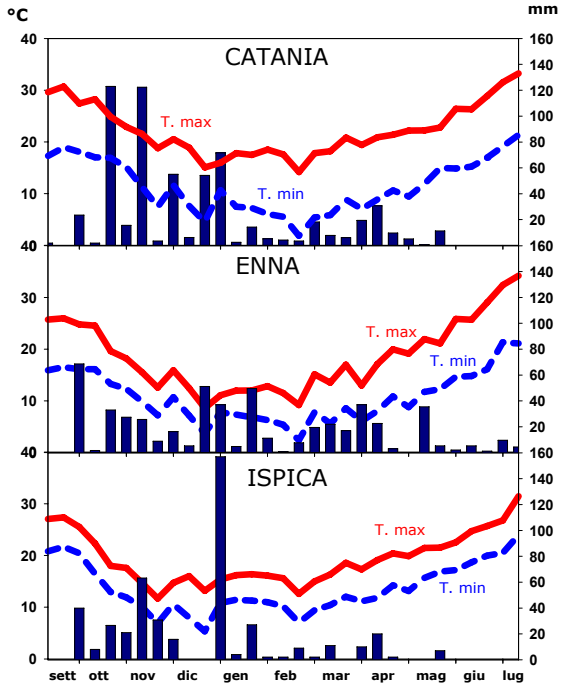


Figura 3 - Andamento meteorologico nel 2007-2008 in tre ambienti della Sicilia a diversa quota altimetrica sede delle prove (Copani *et al.*, 2009).

Scelta delle varietà

In Italia l'attività di miglioramento genetico su *B. carinata* è stata realizzata solo da poche ditte sementiere (Cerealtoscana, PRO.SE.ME.). Cerealtoscana ha selezionato, in collaborazione con il CRA-CIN di Bologna alcuni genotipi contrassegnati dalla sigla CT (204, 207, 180) ed ISCI 7. PRO.SE.ME. ha costituito le cv Sincron e Serena. Questi genotipi saggiati in diversi ambienti, si sono differenziati, tra l'altro, per la durata del ciclo. Nelle prove realizzate in Sicilia CT180 è stata la più precoce, completando il ciclo biologico in 185 (pianura) e 210 giorni (collina); CT207 la più tardiva con un ritardo di circa 10-15 giorni rispetto alla precedente (Copani *et al.*, 2009, 2011).

Tecnica colturale

La tecnica colturale di *B. carinata* è riconducibile, nelle linee essenziali, a quella di *B. napus*, alla quale si rimanda per maggiori particolari. Si sottolineano comunque alcuni aspetti peculiari riguardanti questa specie.

Avvicendamento

B. carinata per la sua buona resistenza a stress biotici e abiotici, può trovare spazio in ambienti caratterizzati da piovosità non superiore a 400 mm, condizione che si verifica frequentemente nelle aree costiere meridionali della Sicilia, dove il colza non trova spazi di coltivazione. In generale, questa brassicacea può essere utilizzata in avvicendamento con i cereali vernini come pure dopo il carciofo, usufruendo, in questo secondo caso, dell'acqua che residua nel suolo dopo l'irrigazione della coltura precedente. I residui colturali interrati costituiscono una precessione colturale di elevato valore agronomico, non solo in termini ponderali (oltre il 30% della biomassa totale della pianta, dati del DISPA non pubblicati) ma anche perché particolarmente ricchi di azoto e come precedentemente segnalato di composti attivi (glucosinolati) nel controllo di parassiti e patogeni del suolo.

Preparazione del terreno e semina

La preparazione del terreno per la semina segue lo stesso itinerario descritto per il colza.

L'epoca di semina dipende dalla disponibilità di acqua nel suolo, pertanto si colloca in un periodo compreso tra la fine di ottobre e dicembre in rapporto all'entità delle piogge utili. Le semine precoci sono sempre da preferire perché garantiscono un più lungo periodo di crescita ed accumulo di fotosintetati che influenzano positivamente la fioritura, la formazione delle silique e il riempimento della granella.

Le semine tardive sono da sconsigliare per la maggiore sensibilità al freddo della specie rispetto al colza che ritarda i tempi di emergenza e può compromettere l'investimento unitario. A questo proposito, le indicazioni emerse dalla sperimentazione fanno ritenere che un numero di piante sull'unità di superficie pari a 50 sia da considerare ottimale. Tuttavia, l'elevata plasticità della pianta riesce a compensare fittezze anche inferiori, intorno a 20 piante m^2. Un'investimento unitario basso, comunque, può avere ripercussioni sul controllo delle infestanti.

Raccolta

La meccanizzazione delle operazioni di raccolta effettuata nelle prove del 2007-2008 in Sicilia ha potuto accertare la scarsa perdita di seme nel corso della trebbiatura, grazie alla non deiscenza delle silique. Questa caratteristica aumenta i margini di sicurezza al momento della trebbiatura nel senso che non è richiesta la tempestività della raccolta, pena la perdita di quote significative di seme. È stata accertata, anche, la piena idoneità della specie alla raccolta meccanizzata, e la possibilità di utilizzare una normale mietitrebbia da grano, con l'unico accorgimento della riduzione della ventilazione e della velocità di avanzamento del battitore.

Produzione areica di granella e di olio

La produzione di seme può variare significativamente, in relazione ad alcune scelte di ordine agronomico (epoca di semina, genotipo) e ai fattori meteorologici. Nelle prove effettuate in Sicilia, la produzione areica media di seme è stata di quasi 2 t ha^{-1}, sia a Catania che a Enna (Fig. 4, a sinistra). A Ispica non era presente il genotipo precoce CT 180, che è stato il più produttivo negli altri due ambienti (resa media, 2 t ha^{-1}), mentre ISCI 7 ha raggiunto una produzione di granella di quasi 3 t ha^{-1}.

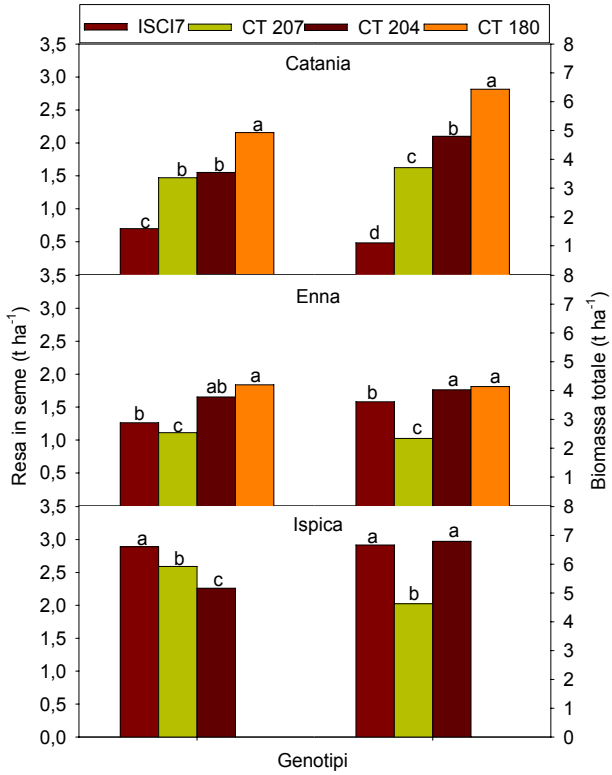


Figura 4 - Resa in seme e biomassa residua (t ha^{-1} s.s.) nelle prove realizzate in Sicilia nel 2007-2008 (Copani *et al.*, 2009).

Nella stessa prova la biomassa aerea è stata pari in media a 4,5 t ha^{-1}, ed è variata soprattutto per effetto dell'investimento unitario (Fig. 4, a destra). Il migliore risultato in termini di biomassa secca è stato conseguito a Ispica con quasi 7 t ha^{-1}.

Qualità dei semi e della biomassa residua

In generale, gli ambienti di pianura, caratterizzati da un andamento termico con valori delle temperature massime e minime più elevati rispetto alla collina, hanno favorito l'accumulo dell'olio (Fig. 5). A Catania e Ispica, infatti, il contenuto di olio nei semi è stato pari al 39,5% e 41,0% rispettivamente, valori significativamente più e-

levati di quello di Enna (34,1%). Il valore massimo è stato ottenuto a Ispica (CT 204, 44,5%), il più basso a Enna (CT 204, 29,0%). La resa in olio più elevata è stata ottenuta a Ispica (1,1 t ha^{-1}).

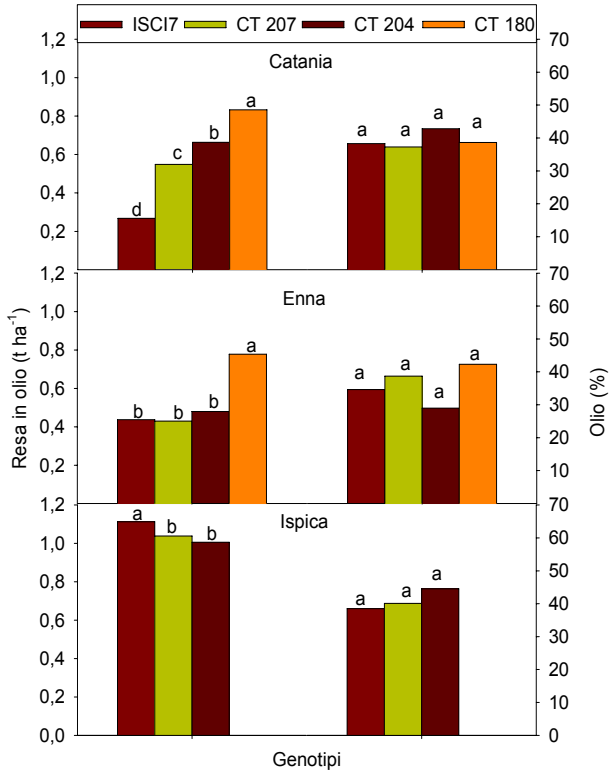


Figura 5 - Contenuto di olio nei semi e produzione areica di olio nelle prove realizzate in Sicilia nel 2007-2008 (Copani *et al.*, 2009).

Bilancio energetico della coltura

Al fine di quantificare l'energia impiegata nel processo produttivo, nel bilancio della coltura devono essere considerati le operazioni colturali, i mezzi tecnici impiegati, i materiali utilizzati ed i tempi di esecuzione (Mantineo *et al.*, 2007, 2009). Da questi dati sono calcolati, sia gli input energetici relativi alla meccanizzazione, irrigazione, concimazione e trattamenti antiparassitari, sia i costi diretti (carburante, lubrificanti, ecc.) che quelli indiretti (contenuto di energia dei materiali che costituiscono le macchine agricole, il loro assemblaggio, mantenimento e riparazione). Il valore dei costi indiretti è calcolato tenendo conto del peso delle macchine e utilizzando costi energetici unitari riportati in letteratura per ciascun'operazione colturale (aratura, irrigazione, semina, concimazione, diserbo, raccolta).

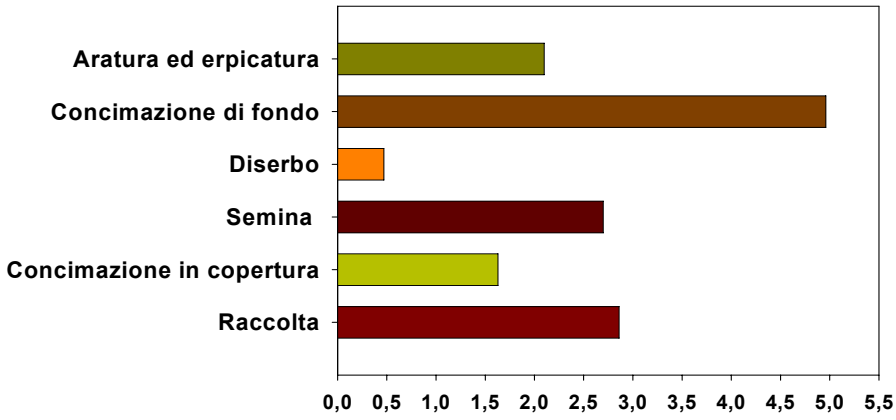


Figura 6 - Costo energetico delle operazioni colturali (GJ ha^{-1}) delle prove condotte in Sicilia nel 2008-2009 (Copani *et al.*, 2007).

L'energia contenuta nella biomassa prodotta è determinata sulla base della sua composizione in proteine, carboidrati e lipidi, utilizzando un fattore di conversione proposto da Odum (1988): 0.0167 MJ g^{-1} s.s. per i carboidrati, 0.0209 MJ g^{-1} s.s. per le proteine e 0.0385 MJ g^{-1} s.s. per i lipidi.

La valutazione dell'energia prodotta è stimata come "energia netta" (differenza tra l'energia contenuta nell'output meno quella dell'input per ha) e come "efficienza energetica" (rapporto tra output e input per ha).

L'energia ausiliaria impiegata (input) negli itinerari tecnici utilizzati è risultata pari a 14,7 GJ ha^{-1} pari all'8-16% (rispettivamente a Catania e Ispica) dell'energia prodotta (output). La voce di spesa energetica più onerosa, pari a quasi il 50% del totale, è stata quella per la concimazione, seguita da quella per le operazioni di raccolta (19%), semina (18%), preparazione del terreno (142%) (Fig. 6).

Il contenuto medio di energia contenuta nella biomassa prodotta è stato pari a 93 GJ ha^{-1}, con variazioni comprese tra 18 GJ ha^{-1} (seme) e 13 GJ ha^{-1} (biomassa residua) a Catania (ISCI 7) e 74 GJ ha^{-1} (seme) e 111 GJ ha^{-1} (biomassa residua) a Ispica con lo stesso genotipo.

La resa energetica è variata tra 16,7 GJ ha^{-1} (ISCI 7) e 135,2 GJ ha^{-1} (CT 180) a Catania; tra 47,8 GJ ha^{-1} (CT 207) e 74,2 (CT 180) a Enna; tra 129,1 GJ ha^{-1} (CT 207) and 171,2 GJ ha^{-1} (ISCI 7) a Ispica.

L'efficienza energetica più elevata, nelle condizioni in cui si è operato, con la tecnica colturale utilizzata è stata raggiunta con i genotipi che hanno fatto rilevare la resa più alta: 10,2 (CT 180, Catania), 7,1 (CT 204, Enna), 12,6 (ISCI 7, Ispica).

Considerazioni conclusive

La durata del ciclo colturale rappresenta uno degli aspetti di maggior criticità ai fini della coltivazione delle Brassicacee negli ambienti caldo-aridi. Un ciclo troppo lungo, infatti, rischia di collocare la fase di maturazione del seme (che avviene tra maggio e giugno) in un periodo non più favorevole a causa della progressiva riduzione delle riserve idriche del terreno. Ciò è tanto più importante per la mostarda etiopica dal momento che, dalle prove effettuate, è risultato che il ciclo colturale di questa specie è più lungo di quello di altre specie Brassicacee come il colza, la *Brassica juncea*, la *Sinapis alba*, ecc. (Copani *et al.*, 2007, 2009), e mediamente più lungo di alcuni giorni del ciclo del frumento duro negli stessi ambienti.

Nelle ricerche effettuate, la durata del ciclo di *Brassica carinata* è stata influenzata dal genotipo, dall'ambiente e dall'itinerario tecnico. Nell'ambito dei quattro genotipi studiati sono stati individuati tipi quali CT 180 e CT 204 che hanno concluso il ciclo con un anticipo di circa di 10-15 giorni rispetto al genotipo più tardivo (CT 207).

La più lunga durata del ciclo osservata nell'ambiente della pianura costiera (Ispica) può essere in parte spiegata con la più lunga durata dell'intervallo emergenza-fioritura (163 giorni) rispetto a quella di Catania e Enna (114 e 129, rispettivamente), come conseguenza della semina più anticipata a Ispica rispetto alle altre due località (di 26 e 8 giorni rispetto a Catania e Enna).

Sullo sviluppo delle piante oltre ai fattori genetici hanno influito fattori tecnici quali il basso investimento unitario. Questo è stato osservato, sia a Catania sia a Enna, ed è da imputare in parte al decorso meteorico (abbassamenti termici dopo la semina) al quale, a Catania, si è aggiunta la scarsa azione di controllo esercitata dal diserbante sulle infestanti, in larga parte anch'esse brassicacee (*Sinapis arvensis* L.). È noto, tuttavia, che le brassicacee sono dotate di elevata plasticità morfologica, per cui sono in grado di occupare lo spazio disponibile attraverso l'aumento delle ramificazioni.

Il mancato controllo delle infestanti, da un lato suggerisce l'opportunità di aumentare la dose di seme per la semina fino a 7-10 kg ha^{-1}, che avrebbe anche il vantaggio di accelerare la maturazione di silique più coeve tra loro, dall'altro pone l'accento sull'esigenza di potere disporre di erbicidi selettivi con i quali eventualmente assistere la coltura con interventi post-emergenza tardiva.

La produzione di seme e di biomassa rappresenta l'aspetto al quale si presta la maggiore attenzione. Anche in questo caso il risultato finale è stato condizionato in una certa misura dall'investimento unitario, ma la ripetizione dell'esperimento in ambienti diversi dal punto di vista climatico consente di isolare gli aspetti più interessanti. Infatti, il risultato produttivo migliore è quello di Ispica con una resa media di 2,6 t ha^{-1} di granella, proprio grazie anche alla regolarità dell'investimento unitario. A Catania ed Enna, tuttavia, la varietà CT 180 (non presente a Ispica), la più precoce e quella con l'investimento unitario più alto, raggiunge livelli produttivi

prossimi o superiori a 2 t ha^{-1} e si differenzia nettamente in entrambe le località soprattutto dalla più tardiva CT 207, a conferma dell'importanza del carattere precocità in questi ambienti.

La migliore risposta produttiva a Ispica rispetto agli altri due ambienti può essere spiegata con la precocità di semina, che garantisce una lunga fase vegetativa e le condizioni termiche più favorevoli. Quest'ultima condizione è in linea con precedenti prove condotte negli stessi ambienti che dimostrano come *Brassica carinata* manifesti le sue potenzialità, nelle condizioni di soddisfacente rifornimento idrico, negli ambienti della pianura piuttosto che in collina, caratterizzati da temperature più elevate, in accordo con l'origine della specie (dati non pubblicati). Il livello produttivo raggiunto dai genotipi allo studio può essere considerato vicino a quello potenziale per l'area in esame, giacché dal punto di vista meteorologico l'annata 2007-2008 ha beneficiato di livelli termici ottimali senza improvvisi eccessi e di una piovosità soddisfacente per le esigenze della coltura. Dati precedenti di prove condotte su colza negli stessi ambienti indicano, infatti, che esiste una relazione tra i valori della piovosità e la produzione areica che non aumenta oltre i 450 mm (Abbate *et al.*, 1993).

La meccanizzazione delle operazioni di raccolta ha potuto accertare (anche se non quantificare in maniera precisa) la scarsa perdita di seme nel corso della trebbiatura, grazie alla non deiscenza delle silique. Questo dato è del tutto nuovo rispetto a quanto osservato in *B. napus* o *B. juncea* (DISPA dati non pubblicati); questa caratteristica aumenta i margini di sicurezza al momento della trebbiatura nel senso che non è richiesta la tempestività nella realizzazione di questa operazione, pena la perdita di quote significative di seme. È stata accertata, anche, la piena idoneità della specie alla raccolta meccanizzata, nonché la possibilità di utilizzare una normale mietitrebbia da grano opportunamente modificata.

Anche la produzione di biomassa segue esattamente il comportamento descritto in relazione ai genotipi e agli ambienti.

L'accumulo di olio nei semi, così come accertato in precedenti ricerche, è maggiore negli ambienti più caldi e nelle varietà precoci per effetto del più lungo periodo disponibile per la traslocazione. Per cui, i genotipi precoci, CT 180, CT 204, garantiscono produzioni più elevate rispetto ai genotipi tardivi, e contenuto di olio nei semi più alto.

Infine, il bilancio energetico di questa oleaginosa indica chiaramente come anche nelle migliori condizioni la resa energetica sia di gran lunga inferiore a quella delle specie lignocellulosiche (arundo, miscanto, cardo) che potrebbero trovare spazi per la coltivazione negli ambienti caldo-aridi (Cosentino *et al.*, 2005a,b, 2006, 2007, 2009). Tuttavia, nella fase attuale in cui la Unione Europea punta alla crescita strategica dei biocarburanti liquidi per i quali accusa la maggiore dipendenza, lo sfruttamento della biomassa lignocellulosica per la produzione di bioetanolo di seconda generazione (attraverso processi chimici per la rottura delle catene lunghe e il successivo attacco enzimatico) appare lontano dall'essere una realtà operativa. In questo

scenario, le brassicacee e la *Brassica carinata* in particolare rappresentano un'opportunità di facile realizzazione, dal momento che la filiera in molti casi esiste e comunque può essere approntata in tempi brevi.

I margini per il miglioramento dell'efficienza del sistema colturale possono derivare essenzialmente da una riduzione delle voci di spesa (input) più onerose che in questo caso sono rappresentate dalla concimazione e di quella azotata in particolare. Una soluzione possibile che non pregiudichi il soddisfacimento delle esigenze nutritive della coltura potrebbe essere trovata in ambito agronomico attraverso l'adozione di precessioni colturali che prevedano la presenza di specie leguminose.

Bibliografia

Abbate V., Cosentino S., Copani V., 1993. La produzione di colza (*Brassica Napus* L. var. *oleifera* DC.) in ambiente mediterraneo. Riv. Agron., 2:125-134.

Cardone M., Mazzoncini M., Menini S., Rocco V., Senatore A., Seggiani M., Vitolo S., 2003. *Brassica carinata* as an alternative oil crop for the production of biodiesel in Italy: agronomic evaluation, fuel production by transesterification and characterization. Biomass and Bioenergy, 25: 623-636.

COM 2006 34 dell'8/2/2006 - Strategia dell'UE per i biocarburanti.

Commissione delle Comunità Europee 2008. 20 20 by 2020 Europe's climate change. 30 final, Brussels, 23.1.2008.

Copani V., Cammarata M., Abbate V., Ruberto G., 1999. Caratteristiche biologiche e qualità dell'olio di crucifere diverse in ambiente mediterraneo. Atti XXXIII Convegno della Società Italiana di Agronomia su «Le colture "non alimentari"», Legnaro (PD), 20-23 Settembre.

Copani V., Cosentino S. L, Anastasi U., Sortino O, Lazzeri L., Virgillito S., 2011. Ethiopian mustard as a novel multifunctional crop for the Mediterranean environment. 19th European Biomass Conference and Exhibition, Berlin, Germany, 6-10 June 2011.

Copani V., Cosentino S.L, Sortino O, Terranova G, Mantineo M, Virgillito S., 2009. Agronomic and energetic performance of *Brassica carinata* A. Braun in Southern Italy. 17th European Biomass Conference and Exhibition, Hamburg, Germany, 29 June- 3 July 2009, 166-170.

Copani V., Cosentino S.L., Mantineo M., Testa G., Cosentino A., 2007. High erucic acid genotypes for oil crops biorefinery in the South of Italy. On: 15th European Biomass Conference & Exhibition, 7-11 May 2007, Berlin, Germany, 795-798.

Copani V., Mantineo M., Sortino O., Patanè C., Terranova G., 2007. Comportamento agronomico di brassicaceae diverse ad alto contenuto di acido erucico per lo sviluppo di bioraffinerie nel sud Italia. Atti XXXVII Convegno della Società Italiana di Agronomia. Catania, 13-14 settembre 2007, 139-140.

Copani V., Testa G., Cosentino A. D., Litrico A., 2008. Sustainable Crop Rotations for the Production of Biodiesel from Rapeseed (*Brassica napus* L. var. *oleifera* D.C.) in the semi-arid Mediterranean environment. 10th Congress of European Society of Agronomy, Bologna, 15-19 settembre 2008. Italian Journal of Agronomy, 3, 3 supplemento, 513-514.

Cosentino S.L., Copani V., Patanè C., Mantineo M., D'Agosta G. M., 2007. Le colture da biomassa per energia per gli ambienti italiani. Attualità e prospettive. I Georgogili. Quaderni, 2007-II, 1-48.

Cosentino S., Bona S., Copani V., Patanè C., Mantineo M., D'Agosta G., 2006. Aspetti agronomici, energetici e ambientali di colture da biomassa per energia per gli ambienti italiani. Atti Workshop «L'Agricoltura per l'Energia Rinnovabile: I Futuri Scenari». Potenza, 23-24 novembre 2006.

Cosentino S., Copani V., D'Agosta G.M., Mantineo, M. 2005. Performance of different biomass crops for energy in Mediterranean environment. Proc. 14th European Biomass Conference & Exibition. Biomass for energy, Industry and Climate Protection. Paris, 17-21 October 2005.

Cosentino S., Copani V., Mantineo M., D'Agosta G., Virgillito S., 2009. Annual and perennial biomass energy crops suitable for South Europe environments. 2° Convegno SIBA, Roma 4/5 maggio 2009.

Cosentino S., Foti S., D'Agosta G.M., Mantineo V., Copani V., 2005. Confronto tra gli impatti di biocombustibili e di combustibili fossili per mezzo della «Life Cycle Assessement» (LCA). Agroindustria 4: 109-127.

Cosentino S.L., D'Agosta G.M., Mantineo M., Copani V., 2005. Colture poliennali ed annuali da biomassa per energia in ambiente mediterraneo. Atti XXXVI Convegno Società Italiana di Agronomi «Ricerca ed innovazione per le produzioni vegetali e la gestione delle risorse agro-alimentari». Foggia, 20-22 settembre 2005, 254-255.

Cosentino S.L., Copani V., Patanè C., Mantineo M., D'Agosta G.M., 2008. Agronomic, Energetic and Environmental Aspects of Biomass Energy Crops Suitable for Italian Environments. Italian Journal of Agronomy. 3, No. 2, 81-95.

De Mastro G., Grassano N., Verdini L., Manolio G., 2006. Confronto tra sistemi colturali per la produzione di colza (*Brassica napus* L. var. *oleifera*) ad uso energetico «Congresso piante mediterranee», Bari, 27-28 Ottobre.

De Mastro G., Tedone L., Rotondo G., Marzi V., 1999. Valutazione bioagronomica di Crocifere ad alto erucico in Basilicata. Atti XXXIII Convegno Società Italiana di Agronomia. Legnaro (PD) 20-23 settembre, 237-238.

Direttiva 2003/30/CE del Parlamento europeo e del Consiglio dell'8 maggio 2003 sulla «Promozione dell'uso dei biocarburanti di altri carburanti nei trasporti».

Foti S., Cosentino S., Copani V., Patanè C., Guarnaccia P., 1997. «Land suitability» di colza (*Brassica napus* var. *oleifera* D.C.) e sorgo zuccherino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.) in Sicilia. Rivista di Agronomia, 31, 2, 454-464.

Mantineo M., D'Agosta M., Copani V., Patanè C., 2007. Energy balance of three perennial crops for energy in Southern Italy. Proceedings Farming Systems design 2007: an international symposium on Methodologies for Integrated Analysis Of Farm Production Systems, I. 43-44.

Mantineo M., D'agosta G.M., Copani V., Patanè C., Cosentino S.L., 2009. Biomass yield and energy balance of three perennial crops for energy use in the semiarid Mediterranean environment. Field Crops Research, 114: 204-213.

Mazzoncini M., Angelini L., 2002. *Brassicaceae* e nuove specie oleaginose per usi industriali non alimentari. Rivista di Agronomia 36, 1:53-68.

Odum, E.P., Basi di Ecologia, Piccin, Padova, (1988) pp. 584.

Santonoceto C., Anastasi U., 1999. Phenological response of an annual and a biennial oilseed rape cultivar to southern Italy environmental conditions. Proceeding of 10nd International Rapeseed Congress. «New Horizons for an Old Crop». Canberra-Aurstalia 26-29 September 1999, 8 pp, (CD ROM).

Santonoceto C., Anastasi U., 2003. Biological and productive responses of different oilseed rape (Brassica napus L. var. oleifera D.C.) varieties to the southern Italy environmental conditions. Proceedings 11th International Rapeseed Congress «Toward Enhanced Value of Cruciferous Oilseed Crops by Optimal Production and use of the High Quality Seed Components». Copenhagen, Denmark 6-10 July 2003, 3: 829-831.

Sortino O., Cartabellotta D., Terranova G., Copani V., Cosentino S.L., 2007. Primi risultati sulla coltivazione di Brassicacee diverse per la produzione di biodiesel nell'Altopiano ibleo. Atti XXXVII Convegno della Società Italiana di Agronomia. Catania, 13-14 settembre 2007, 141-142.

Toniolo L., Mosca G., Berti A., Miceli F., Fontana F., Paradisi U., Laureti D., Ciriciofolo E., Bonari E., Marzi V., Sarli G., Perniola M., Copani V., Leto C., 1992. Risultati della rete nazionale di valutazione varietale del colza (1980-89). Agricoltura e ricerca 134:9-18.

4
Meccanizzazione

a - Brassicacee: scelta della raccoglitrice in funzione delle perdite

Brassicacee: choice of the harvester on the seed losses

Luigi Pari*, Alberto Assirelli*, Alessandro Suardi*

Riassunto

Alla famiglia botanica delle Brassicaceae appartengono molte specie di piante di elevato interesse economico ed ambientale. Tra queste, la *Brassica carinata* e la *Brassica napus* vengono coltivate sopratutto per scopi energetici. La loro coltivazione in Italia ha avuto un notevole sviluppo negli ultimi anni e le perdite di granella oltre al danno diretto come perdita di produzione comportano negative ripercussioni sulle colture successive. In molti areali italiani la coltivazione in particolar modo di *Brassica napus* ha incontrato serie limitazioni a causa delle perdite di granella causate dalla naturale deiscenza del seme maturo, elemento che ha spostato l'interesse dei produttori verso la *Brassica carinata*, specie più resistente a tale fenomeno. La raccolta meccanica è stata frequentemente ritenuta responsabile delle scarse produzioni ottenute in alcune realtà a causa dell'apertura delle silique sia per deiscenza naturale sia durante la mietitrebbiatura. La generale mancanza di valori attendibili sulle reali perdite imputabili alla sola operazione meccanica ha contribuito ad alimentare tali responsabilità. Il CRA-ING, coinvolto fin dal 2007 nella valutazione della problematica ha svolto prove in diverse realtà nazionali cercando di fare chiarezza in merito. Sono state svolte prove su *Brassica napus* in Piemonte (2007), su entrambe le specie in Emilia-romagna (2008) oltre a rilievi diretti su *Brassica carinata* in Sicilia utilizzando sia mietitrebbiatrici in versione tradizionale da frumento sia dotate di soluzioni specifiche per Brassicacee. Nel 2009, in località Bizzuno (RA) Italy, si sono svolti gli ultimi test su entrambe le specie (napus e carinata) per verificare quanto già riscontrato nei due anni precedenti di sperimentazione.

Parole chiave: perdite di granella, raccolta, Brassicacee, *Brassica napus*, colza, *Brassica carinata.*

* CRA-ING - Unità di Ricerca per l'Ingegneria Agraria, Monterotondo (Roma).

Abstract

To the botanical family of Brassicaceae belong plants of many species of great economic and environmental. Among these, Brassica carinata *and* Brassica napus *are grown especially for energy purposes. Their cultivation in Italy has had a remarkable development in recent years and losses of grain in addition to direct damage such a crop losses entail negative effects on subsequent crops.*

In many Italian areas, the cultivation of Brassica napus *in particular has encountered serious limitations due to the loss of grain caused by the natural dehiscence of the mature seed, a factor that has shifted the interest of producers to the* Brassica carinata, *species more resistant to this phenomenon. Mechanical harvesting has been frequently held responsible for poor production obtained in some places due to the opening of the siliques for both natural and dehiscence during harvesting. The general lack of reliable values on the real losses attributable solely to the mechanical operation has contributed to these responsibilities. CRA-ING, involved since 2007 in the assessment of the issue has held various national tests in trying to shed light on this. Tests on* Brassica napus *in Piedmont (2007) and on both species in Emilia-Romagna (2008) have been carried out as well as direct measurements of* Brassica carinata *in Sicily, using both the traditional wheat combine harvester and the same equipped with solutions specific to Brassicaceae. In 2009, in the locality Bizzuno (RA) - Italy-last tests were conducted on both species* (Brassica napus *and* B. carinata) *to verify what has already been found in the two previous years of experimentation.*

Keywords: *loss of grain, harvest, Brassicaceae,* Brassica napus, *oilseed rape,* Brassica carinata.

Introduzione

Le Brassicacee contemplano alcune importanti colture per la produzione di biodiesel e la loro diffusione ha avuto un notevole incremento in Italia negli ultimi anni (I-STAT). La coltivazione di *Brassica napus* e *Brassica carinata* non presenta particolari problematiche in molti areali, le perdite di seme a terra invece oltre alla perdita diretta di prodotto comportano anche un'ulteriore complicazione legata all'infestazione per le colture successive a volte difficilmente controllabili (Gulden *et al.*, 2003). La maturazione scalare della coltura con contemporanea presenza di silique a diverso stadio di maturazione sulla stessa piante riveste particolare importanza sulla gestione delle operazioni di raccolta.

La raccolta delle brassicacee negli areali italiani viene comunemente eseguita tramite mietitrebbiatura diretta con coltura eretta, diversamente alle latitudini in cui per l'essiccazione occorre prevedere lo sfalcio e la messa in andana della coltura alcuni giorni prima dell'ideale data di raccolta. Le mietitrebbiatrici utilizzate, pur non

presentando particolari necessità di adeguamento possono essere equipaggiate secondo diverse possibilità offerte sia dai costruttori delle raccoglitrici stesse sia da costruttori di componenti specializzati in allestimenti, spesso specifici per coltura, volti alla massimizzazione delle capacità operative delle macchine, al miglioramento degli aspetti qualitativi ed alla riduzione delle perdite di raccolta. Nella raccolta delle brassicacee già da alcuni anni sono presenti sul mercato diverse possibilità di allestimento della raccoglitrice prevedendo l'installazione di componenti progressivamente più complesse in grado di modificare le possibilità operative della macchina. Sono frequentemente riscontrabili al lavoro su brassicacee sia comuni mietitrebbiatrici in allestimento da frumento senza alcun intervento dedicato, sia macchine equipaggiate con soluzioni specifiche con testate a lama avanzata con possibilità di variazione in continuo della distanza lama/coclea e separatori laterali a lama alternata. Sono inoltre disponibili componenti accessorie collocabili in posizione intermedia rispetto alle due soluzioni precedenti, di diverso impegno anche economico, potenzialmente in grado di influire sul processo di raccolta.

Le soluzioni attualmente utilizzate per la raccolta pur utilizzando le medesime raccoglitrici vedono impegnate soluzioni diversificate a seconda della coltura, della tipologia di fruttificazione e del portamento che interessano prevalentemente la testata di raccolta.

B. napus (Colza) e *B. carinata* sono spesso state limitate nella coltivazione dalle scarse produzioni riscontrate in parte attribuite alle perdite di granella imputabili alla deiscenza del seme maturo, tipiche del colza, che hanno in alcune realtà spostato l'interesse verso la specie carinata, notoriamente più resistente. Anche la raccolta meccanica è stata ritenuta responsabile di perdite e la carenza di valori attendibili ha spinto CRA-ING, nel triennio 2007-09, ad affrontare tale problematica svolgendo prove in diverse realtà italiane e cercando di monitorare tutte le soluzioni disponibili per operare la raccolta della granella cercando di quantificare le perdite dovute alla stessa operazione di raccolta, le sue origini ed eventuali possibilità di riduzione.

Materiali e metodi

La metodica utilizzata, anche se con diverse modalità di applicazione nei tre anni, è sempre stata basata sul rilievo diretto delle perdite a terra in pre e post raccolta, per permettere di scindere in modo inequivocabile le perdite dovute a deiscenza naturale e ad eventi atmosferici, da quelle dovute a cause meccaniche legate alle operazioni di taglio, trebbiatura e separazione. I rilievi delle perdite di raccolta sono stati eseguiti sempre su tre settori ben definiti ("A", "B" e "C" riportati in figura 1) ben identificabili nella proiezione a terra della mietitrebbia. Il settore A rappresenta il lato intermedio della testata di raccolta privo degli effetti imputabili sia agli organi interni della mietitrebbia sia dell'effetto di separazione fra passaggi successivi della testata di raccolta; il settore B rappresenta la zona centrale della mietitrebbiatrice localizza-

to nell'area di scarico dei residui di trebbiatura cumulando le perdite di testata con quelle imputabili agli organi interni della raccoglitrice; il settore C rappresenta il lato esterno dx per la valutazione delle perdite dovute alla separazione dei vari passaggi della mietitrebbia. Tale metodologia è stata applicata al fine di rilevare le perdite dovute all'azione della testata separatamente da quelle dovute agli altri organi di trebbiatura, separazione e pulizia (settore B); suddividendo inoltre a livello di testata di raccolta la zona di separazione delle piante fra un passaggio e l'altro della mietitrebbiatrice (lato dx settore C) dalla zona di solo sfalcio (lato sx settore A). Questo ultimo accorgimento è stato definito per valutare l'efficienza dei dispositivi di separazione a lama verticale frequentemente proposti dai costruttori di mietitrebbiatrici e di testate di raccolta per agevolare la raccolta e ridurre le perdite in colture molto intricate e di complessa separazione naturale.

Le aree di rilievo sono sempre state posizionate ad una distanza di oltre 50 m dal bordo del campo. In tal modo si consentiva all'operatrice di giungere in area di rilievo sempre con i vari apparati a regime ed in ordinarie condizioni di lavoro.

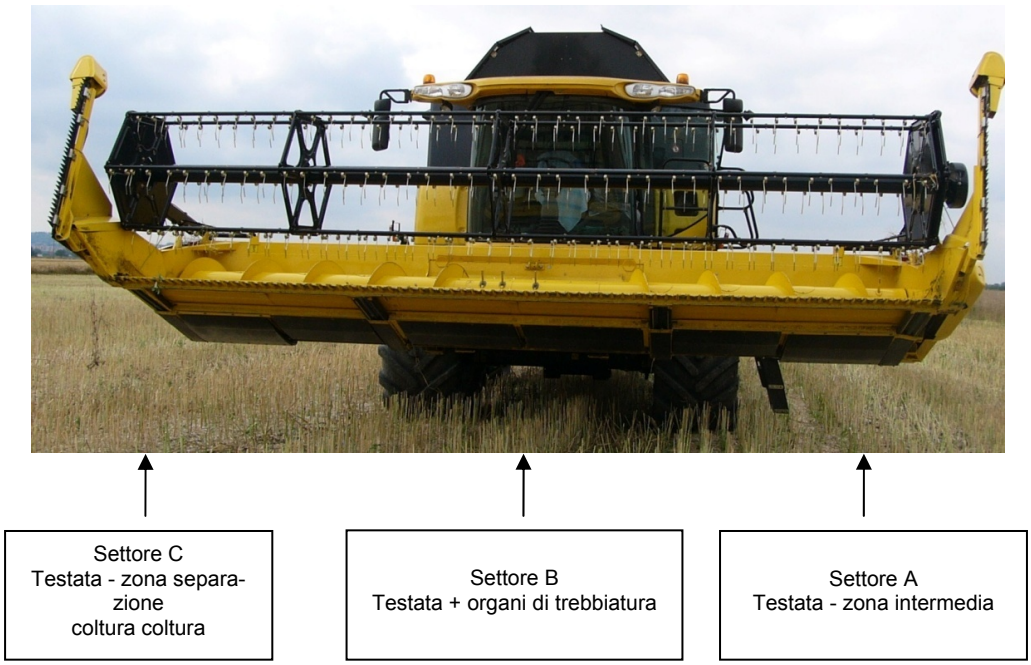


Figura 1 - Particolare dei settori monitorati per il rilievo delle perdite in raccolta.

Nel 2007 e 2009 si è utilizzato il metodo delle vaschette di contenimento (Fig. 2) posizionate nei tre settori definiti. Tali vaschette, realizzate in materiale plastico di dimensioni adeguate all'interfila di semina sono state posizionate immediatamente prima del passaggio della raccoglitrice per evitare di inquinare i dati a causa delle perdite per deiscenza naturale. Le vaschette sono state numerate e posizionate se-

condo preciso schema di rilievo e successivamente al passaggio della raccoglitrice sono state vuotate in sacchetti identificati, ne è stato quindi pesato il contenuto totale, in silique ed in granella.

Figura 2 - Vaschette di contenimento posizionate nelle interfile di semina.

Per quanto riguarda la deiscenza naturale, questa è stata monitorata a partire dalla virata cromatica delle silique verso la maturazione, posizionando i raccoglitori due settimane prima della presunta data di raccolta. Essendo di complessa suddivisione la componente di perdita derivata da deiscenza naturale rispetto a quella provocata da eventi atmosferici, il dato è stato rilevato complessivo e mantenuto tale prendendo nota degli eventi climatici rilevati dalle stazioni metereologiche limitrofe (Stazioni meteo regionali nel 2007-2008, con centralina dedicata nel 2009). I rilievi sulla deiscenza in pre-raccolta sono stati eseguiti in aree dedicate in prossimità dei settori di rilievo in post-raccolta, nel medesimo appezzamento e varietà. Gli schemi di posizionamento delle vaschette sono stati i medesimi per le due tipologie di testate e di colture.

Nel 2008 la rilevazione delle perdite in pre e post raccolta meccanica è stata eseguita mediante rilievo diretto a terra con metro quadro metallico suddiviso in decimetri; tale metodologia è stata resa possibile dopo attenta valutazione della tessitura e granulometria del terreno che confermando l'assenza di crepacciature di rilievo, ne ha consentito l'applicazione. I rilievi sono stati eseguiti separando le silique integre

dalla granella rilevata e conteggiata. Tramite campionamento di seme raccolto si è ottenuto il peso medio di 1000 semi e si è proceduto alla quantificazione delle perdite rilevate nei diversi settori. I campi prove sono stati individuati prima della ripresa vegetativa primaverile e monitorati con cadenza mensile fino alla raccolta per rilevare le fasi vegetative finali di produzione e maturazione della granella.

Le sperimentazioni eseguite hanno consentito oltre a quantificare con precisione l'entità del prodotto non raccolto nelle diverse esperienze condotte anche di valutare l'importanza di una corretta conduzione delle operazioni di raccolta sia in termini di individuazione del reale stadio di maturazione della coltura, sia di regolazioni della raccoglitrice, al fine di ottenere i migliori risultati produttivi.

Nei rilievi 2007 e 2008 oltre ai rilievi si è intervenuto anche a livello di regolazioni della mietitrebbiatrice; successivamente si è deciso di modificare il protocollo di prova non intervenendo direttamente sulle regolazioni impostate dagli operatori in modo da poterne poi valutarne l'incidenza sulle perdite attraverso la metodologia nel frattempo messa a punto (settori monitorati A+B+C).

L'esperienza piemontese del 2007 su colza ha consentito di effettuare un primo confronto fra raccoglitrice dotata di testata specifica da colza dotata di separatori laterali a lama verticale e possibilità di modificazione in continuo dal posto guida della distanza lama coclea, nel 2008 l'allestimento della mietitrebbiatrice su carinata non prevedeva applicazioni specifiche rispetto alla comune dotazione da cereali, mentre nel 2009 sia su colza sia su carinata l'applicazione specifica prevedeva il solo separatore laterale a lama alternata con posizionamento fisso ravvicinato della lama di taglio. Non sono state oggetto della presente sperimentazione le applicazioni fisse di allontanamento della lama di taglio disponibili in molti areali europei per le testate frumento in quanto non riscontrate nelle dotazioni delle aziende agromeccaniche interpellate e strutturalmente molto simili alla soluzione specifica utilizzata nell'esperienza piemontese del 2007.

Risultati

Brassica napus

Le esperienze su colza condotte nel 2007 in Piemonte e nel 2009 in Emilia-Romagna hanno visto realtà produttive locali piuttosto diversificate anche se gli aspetti produttivi non sono risultati molto diversificati.

Le principali caratteristiche delle colture incontrate sono riportate in tabella 1.

Tabella 1 - Caratteristiche delle coltivazioni di colza raccolte nel biennio di sperimentazione.

Descrizione	*Unità di misura*	*Piemonte*	*Emilia-Romagna*
Anno		2007	2009
Località		Castelnuovo Scrivia (Al)	Belricetto (Ra)
Data di semina	gg/mm/aa	27/10/2006	15/10/2009
Interfila di semina	m	0,15	0,45
Densità	n m^{-2}	34	18
Altezza piante	m	1,55	1,35
Granella prodotta	t ha^{-1}	2,58	2,87
Umidità granella	%	9,44	8,36
Data di raccolta	gg/mm/aa	18/06/2007	25/06/2009
Cantiere utilizzato		New Holland CX 8090	New Holland Tx 62

Grazie alla possibilità di rapida rimozione dei dispositivi separatori verticali a lama alternata nelle due esperienze ed alla possibilità di variazione della distanza lama/coclea nell'esperienza piemontese è stato possibile monitorare le due maggiori soluzioni disponibili per la raccolta. In prossimità della raccolta del campo di Castelnuovo Scrivia un importante evento piovoso ha interessato il campo prove influendo direttamente sulla deiscenza naturale pre-raccolta che comunque si è mantenuta al di sotto del 10% (7,93). Nel campo di Belricetto di Lugo (Ra) nel 2009 invece non si sono evidenziati fenomeni di rilievo nel periodo compreso fra la maturità delle silique fino alla raccolta. I diversi settori monitorati hanno permesso di valutare l'influenza sulle perdite degli apparati di trebbiatura e pulizia, rispetto all'apparato di taglio della testata, e nell'ambito di quest'ultima, l'efficienza delle diverse soluzioni meccaniche adottate per contenere le perdite alla barra.

In tabella 2 sono riportate le perdite in pre-raccolta dovute a fenomeni di deiscenza naturale ed eventi atmosferici, oltre alle perdite complessive rilevate sul colza dovute alla raccolta meccanica nel biennio di sperimentazione.

Tabella 2 - Perdite di raccolta riscontrate nelle esperienze su *B. napus*.

Descrizione	*Unità di misura*	*Piemonte*	*Emilia-Romagna*
Anno		2007	2009
Località		Castelnuovo Scrivia (Al)	Belricetto (Ra)
Deiescenza+eventi climatici	%	7,93	0,39
Raccolta meccanica	%	2,58	7,10
Trebbiatura+separazione+pulizia	%	0,60	5,04
Testata di raccolta	%	1,98	2,06

Come evidenziabile in tabella 2 le perdite pre-raccolta risentono notevolmente dell'andamento climatico precedente al momento della raccolta e della tempestività d'intervento una volta raggiunta la completa maturazione della coltura. Presso il campo prove di Belricetto ove la raccoglitrice è intervenuta non appena la coltura era idonea alla raccolta il valore di deiscenza naturale riscontrato (0,39%) può ritenersi molto contenuto considerando anche la potenziale influenza climatica.

Per quanto riguarda invece le perdite complessive di raccolta attribuibili alla raccoglitrice l'aumento di oltre il 4,5% a prevalente carico degli organi di trebbiatura e pulizia, pur rimanendo ugualmente piuttosto contenuto denota una notevole importanza della corretta regolazione della macchina in relazione allo stato della coltura.

Brassica carinata

Le esperienze su *B. carinata* condotte nel 2008 e nel 2009 in Emilia-Romagna avevano anche lo scopo di verificare le perdite di prodotto in pre-raccolta che ci si aspettava fossero inferiori rispetto alla *B. napus*, dato che la siliqua di questa specie non presenta il fenomeno di deiscenza una volta matura.

Le principali caratteristiche delle colture sono riportate in tabella 3.

Tabella 3 - Caratteristiche delle coltivazioni di carinata raccolte nel biennio di sperimentazione.

Descrizione	*Unità di misura*		*Emilia-Romagna*
Anno		2008	2009
Località		Bizzuno (Ra)	Belricetto (Ra)
Data di semina		03/11/2007	07/11/2008
Interfila di semina	m	0,15	0,15
Densità	n°/m^2	51	49
Altezza piante	m	1,68	1,42
Granella prodotta	t/ha	3,23	2,47
Biomassa prodotta (*)	t/ha	5,21	8,11
Data di raccolta		01/07/2008	09/07/2009
Cantiere di raccolta		New Holland CX 8060	New Holland TX 65 Plus

(*) – Produzione stimata

La produzione media in granella delle due coltivazioni di *B. carinata* valutate (2,85 t/ha) ha superato quella ottenuta con la *B. napus* (2,72 t/ha) nonostante la carinata venga considerata di maggior rusticità ma minor produttività; nelle esperienze condotte negli stessi areali, la produttività del colza può ritenersi molto simile a quella della *B. carinata*.

In entrambe le località di prova le fasi finali del ciclo produttivo non hanno evidenziato andamenti climatici sfavorevoli per cui l'epoca di raccolta è stata individuata e rispettata monitorando pressoché quotidianamente i campi prova una volta iniziata la virata cromatica della granella.

Come per il colza anche in questo caso sono stati monitorati i diversi settori per consentire la valutazione dell'influenza degli apparati di trebbiatura e pulizia della raccoglitrice, rispetto alla testata di raccolta.

In tabella 4 sono riportate le perdite in pre-raccolta dovute a fenomeni di deiscenza naturale ed eventi atmosferici, oltre alle perdite complessive legate alla raccolta meccanica ripartite per anno di rilievo.

Tabella 4 - Perdite di raccolta riscontrate nelle esperienze su *B. carinata*.

Descrizione	*Unità di misura*	*Emilia-Romagna*	
Anno		2008	2009
Località		Bizzuno (Ra)	Belricetto (Ra)
Deiescenza+eventi climatici	%	0,01	0,07
Raccolta meccanica	%	2,79	9,29
Trebbiatura+separazione+pulizia	%	0,34	6,82
Testata di raccolta	%	2,45	2,47

Come evidenziabile in tabella 4 su *B. carinata* le perdite pre-raccolta non risentono di fenomeni di deiscenza naturale, mentre l'assenza di eventi climatici di rilievo non ha permesso la valutazione della resistenza della coltura all'apertura delle silique ed al potenziale rilascio della granella.

Per quanto riguarda le perdite complessive di raccolta attribuibili alla raccoglitrice su carinata si è evidenziato un aumento di oltre il 6 % prevalente dovute agli apparati di trebbiatura e pulizia del seme; tale valore può iniziare ad incidere sulla produttività complessiva della coltura.

Influenza delle soluzioni adottate per la raccolta

Nei tre anni di sperimentazione è stato possibile verificare la funzionalità di tutte le soluzioni attualmente diffuse per la raccolta di granella a partire dalle comuni testate da frumento, fino alle versioni specifiche da colza caratterizzate da doppio separatore verticale a lama alternata e possibilità di variazione in continuo della distanza lama - coclea convogliatrice. Applicazione molto diffusa che rappresenta una sorta di compromesso fra la versione tradizionale da frumento e quella specifica da colza appena descritta è rappresentata dall'applicazione di una singola lama verticale sulla comune testata da frumento posizionata sul lato destro comunemente utilizzato per

la delimitazione della larghezza di taglio. Tale applicazione è stata valutata nel 2009 sia su colza sia su carinata.

Brassica napus

In tabella 5 sono rappresentate le perdite in granella riscontrate nei settori C ed A in riferimento alla soluzione adottata nei due anni di sperimentazione.

Tabella 5 - Perdite alla barra in funzione del posizionamento e della testata di raccolta adottata.

Anno	Soluzione tecnica adottata	Perdita % settore C	Perdita % settore A
2007	Testata frumento	2,19	1,65
2007	Testata specifica colza	1,57	1,19
2009	Testata frumento	7,27	2,06
2009	Testata frumento + lama verticale Dx	4,78	2,06

Come rilevabile i valori più contenuti sono stati riscontrati nel 2007 con testata specifica per brassicacee dal quale è evidenziabile come anche in zona intermedia l'avanzamento della lama rispetto alla coclea convogliatrice consente una ulteriore riduzione delle perdite dello 0,46%. Non disponendo di soluzioni specifiche anche l'applicazione laterale di un solo spartitore a lama alternata sul solo lato di spartizione consente comunque un abbattimento delle perdite di oltre il 30%.

Brassica carinata

Nel primo anno di sperimentazione con la *B. carinata* (2008) si è utilizzata una mietitrebbiatrice senza allestimenti specifici, con barra da frumento; nel 2009 invece si è utilizzata una raccoglitrice sia in versione standard come nel 2008 e sia equipaggiata con lama verticale singola sul lato destro.

In tabella 6 sono riportati i dati ottenuti nella sperimentazione su carinata in Emilia-Romagna nel biennio di prova.

Tabella 6 - Ubicazione delle perdite su *B. Carinata* in funzione della testata utilizzata.

Anno	Soluzione tecnica adottata	Settore C Perdite %	Settore A Perdite %
2008	Testata frumento	3,59	1,33
2009	Testata frumento	2,69	0,36
2009	Testata frumento + lama verticale Dx	4,58	0,36

L'impiego dello spartitore laterale a lama alternata nell'esperienza 2009 ha determinato un aumento delle perdite rispetto alla testata tradizionale da frumento. Tale risultato, nella prova riportata, può essere dovuto al fatto che le silique, una volta sezionate, hanno lasciato cadere a terra la granella contenuta, mentre ciò non è avvenuto quando le piante si sono districate tra di loro al passaggio della mietitrebbia.

Regolazione della mietitrebbiatrice

La sperimentazione condotta può essere indicativamente suddivisa in due periodi: nel primo (2007 ed 2008) dove il CRA-ING ha provveduto direttamente alla regolazione della mietitrebbia, nel secondo (2009) in cui si è solo preso nota della regolazione di volta in volta impostata dall'operatore addetto.

In tabella 7 viene evidenziata l'influenza dell'idonea regolazione dell'operatrice in funzione delle condizioni di coltura e di lavoro nelle esperienze condotte su colza e carinata nel triennio 2007-09.

Tabella 7 - Valutazione delle perdite agli apparati di trebbiatura e separazione (settore B) in funzione della regolazione della mietitrebbiatrice.

Valutazione	*Brassica napus*		*Brassica carinata*	
	Operatrice verificata	Operatrice non verificata	Operatrice verificata	Operatrice non verificata
	Perdite %	Perdite %	Perdite %	Perdite %
C. Scrivia (Al) 07	0,60			
Bizzuno (Ra) 08			0,34	
Belricetto (Ra) 09		7,10		
Bericetto (Ra) 09				6,46

Come evidenziabile dalla tabella 7 l'influenza di una corretta regolazione della mietitrebbiatrice incide sulle perdite di granella in modo superiore alle soluzioni più specifiche ed innovative. Per quanto riguarda il colza l'aumento di perdita rilevato è risultato pari al 6,5 % della produzione raccolta, mentre relativamente alla *B. carinata* tale differenza è stata del 6,12 %.

La corretta regolazione degli organi della mietitrebbiatrice rappresenta un'operazione di notevole importanza operando su colture caratterizzate da ridotte dimensioni della granella e buona capacità di trattenimento della stessa da parte della frazione che deve essere scaricata a terra (fusti, foglie e silique).

A seguito delle esperienze maturate nelle tre Regioni (Piemonte, Emilia-romagna e Sicilia), in contesti operativi diversi e utilizzando cantieri di raccolta di diversa età, soluzioni costruttive ed allestimento, ed a seguito del rilievo delle regolazioni che hanno consentito i migliori risultati, sono state sintetizzate le indicazioni riportate in tabella 8.

Le indicazioni di massima vengono fornite facendo riferimento alle più diffuse impostazioni da frumento conosciute ed utilizzate dalla maggior parte degli operatori, tenendo in considerazione i diversi aspetti costruttivi, dimensionale e funzionali delle mietitrebbiatrici attualmente commercializzate.

Tabella 8 - Indicazioni di massima per la regolazione degli organi della mietitrebbia per operare su Brassicacee, rispetto alla regolazione utilizzata su frumento.

Parametro	*Unità di misura*	*Valore*
Battitore	giri/minuto	<20-30%
Apertura Controbattitore	mm	>100-150%(*)
Ventilatore/i	giri/minuto	<15-20%
Crivello/vaglio superiore	mm	8-10/7-9
Crivello/vaglio inferiore	mm	3-3,5/3,5-4

(*) Valutare eventuale presenza di rotori ausiliari di separazione

Le indicazioni riportate in tabella 8 rappresentano una sintesi delle esperienze condotte e vogliono rappresentare un'indicazione di massima sulla quale definire in funzione della coltura e delle condizioni di raccolta la regolazione più specifiche di lavoro.

Conclusioni

Le attività di sperimentazione sulla raccolta delle principali brassicacee da granella condotta in un triennio, hanno portato alle seguenti conclusioni:

- Le perdite di raccolta riscontrate influiscono al massimo per 10% della produzione, anche nelle condizioni più negative caratterizzate da eventi atmosferici avversi o regolazioni di lavoro non ottimali; non possono quindi influire oltre questa percentuale nella determinazione della produttività colturale per la definizione dell'attitudine produttiva delle due specie;
- L'adozione delle principali soluzioni meccaniche disponibili sul mercato per agevolare la raccolta della granella siano esse specifiche per le brassicace o di adattamento delle testate da frumento, comportano vantaggi riassumibili frequentemente in pochi punti percentuali di recupero di granella per cui, considerando una produzione media di 3 t ha^{-1}, possono comportare un aumento di prodotto raccolto di 60-70 kg ha^{-1};
- La puntuale regolazione della mietitrebbia rappresenta il principale aspetto emerso ed in grado di influire decisamente sulla percentuale di granella perduta;
- La valutazione dell'ottimale epoca di raccolta e dello stato della coltura, intesa come grado di sviluppo ed intreccio delle ramificazioni, dovrebbe essere l'aspetto prevalente per definire i requisiti dell'idoneo cantiere di raccolta e delle sue regolazioni.

Bibliografia

Gulden R.H., Shirtliffe S.J., Thomas A.G., 2003. Harvest losses of canola (*Brassica napus*) cause large seedbank inputs. Weed Science 51, 83-86.

ISTAT (Italian Statistic Institute) - Statistical annual industrial crops – www.agri.istat.it.

b - Girasole: valutazione delle soluzioni commerciali disponibili per la raccolta

Sunflower: evaluation of commercial solutions available for harvesting

Alberto Assirelli*

Riassunto

La raccolta meccanizzata della granella di girasole, indipendentemente dal successivo impiego, viene eseguita tramite mietitrebbiatura diretta di coltura eretta equipaggiando la raccoglitrice con diverse soluzioni riguardanti prevalentemente la testata di raccolta. Tali soluzioni possono prevedere diverse modalità applicative e funzionali andando ad interessare sia gli aspetti legati alla qualità del prodotto raccolto sia le perdite a terra con successive complicazioni per le altre colture in rotazione. Le soluzioni disponibili in ordine di complessità crescente prevedono, partendo da quelle più semplici l'allestimento della testata da frumento, la realizzazione di testate specifiche concettualmente piuttosto essenziali, l'adattamento di testate da mais fino alla realizzazione di testate specifiche da girasole dotate di tutti gli accorgimenti necessari per gestire al meglio le diverse fasi di raccolta, soprattutto presa e recisione dello stelo al di sotto della calatide. Quest'ultimo aspetto ed in particolare la capacità di mantenere salda la presa della calatide fino all'inserimento nella coclea convogliatrice rappresenta l'aspetto maggiormente influenzante le perdite di raccolta. Non essendo state svolte specifiche sperimentazioni volte alla determinazione dell'efficienza delle diverse soluzioni disponibili come effettuato da CRA-ING per le Brassicacee nel presente lavoro vengono riportate alcune indicazioni tecniche, funzionali ed economiche per un miglior gestione delle possibilità operative di raccolta.

Parole chiave: raccolta girasole, testate girasole, kit girasole, perdite granella girasole.

* CRA-ING - Unità di Ricerca per l'Ingegneria Agraria, Monterotondo (Roma).

Abstract

The mechanical harvesting of sunflower kernels, regardless of subsequent employment is done by threshing the direct crop equipping the harvester with different solutions mainly concerning the harvesting head. These solutions may provide different application methods and functional affecting the quality aspects of the harvested product and losses on the ground with subsequent complications for other crops in rotation. The solutions available in order of increasing complexity involving, from the most simple setting up of the head of wheat, the production of specific warheads conceptually quite basic, the adaptation of maize to be tested until the creation of specifications from sunflower heads with all necessary steps to better manage the different stages of harvesting, especially gripping and severing the stem below the calatide. This latter aspect, with particular reference, to the ability of gripping the calatide up to the insertion in the feeder screw, is the main aspect influencing harvesting losses. Having not been carried out specific experiments aimed at determining the efficiency of different solutions available as made by CRA-ING for the Brassicaceae, in this paper some technical, functional and economic informations for better management of operational capabilities of harvesting, are showed.

Keywords: *harvest sunflower, sunflower heads, sunflower kit, sunflower grain losses.*

Nell'ambito della raccolta meccanizzata del girasole ad uso energetico le modalità di raccolta seguite non si discostano molto da quelle seguite per le comuni varietà di girasole.

Le modalità di raccolta prevedono sempre l'impiego di mietitrebbiatrici con possibilità di diverso allestimento soprattutto a livello di testata di raccolta con diverse tipologie di sistemi di convogliamento delle piante, di presa e di recisione degli steli in posizione prossimale alla calatide per ridurre l'ingresso di residui nella mietitrebbiatura che potrebbero alterare le qualità della granella (es. umidità).

Le soluzioni attualmente percorribili per la raccolta del girasole prevedono quattro diverse modalità di allestimento della raccoglitrice tutte caratterizzate da diversa efficienza operativa, funzionalità ed economicità di esercizio.

La prima riguarda l'allestimento delle tradizionali testate da frumento, realizzate installando appositi componenti sull'apparato di taglio e sull'aspo abbattitore (Fig. 1). La prima operazione consiste nell'inserimento di elementi separatori inferiori fissati ai denti portalama dell'apparato di taglio, di larghezza inferiore all'interfila di semina appuntiti ed in grado di penetrare all'interno della coltura prima che venga effettuata la recisione degli steli con lo scopo di impedire la caduta anteriore delle calatidi una volta recise ad opera del sistema di taglio originario della testata. Generalmente accoppiato a questo dispositivo si prevede anche un'altra tipologia di inter-

vento sull'aspo abbattitore. Tali interventi possono essere caratterizzati o dall'occlusione dell'aspo stesso, operazione eseguibile mediante eliminazione di tutti gli elementi di presa originariamente fissati sulle barre dell'aspo o mediante sostituzione integrale dell'organo con altro elemento a raggiere completamente chiuse in modo da impedire l'aggancio e l'impigliamento sia delle calatidi sia degli steli recisi.

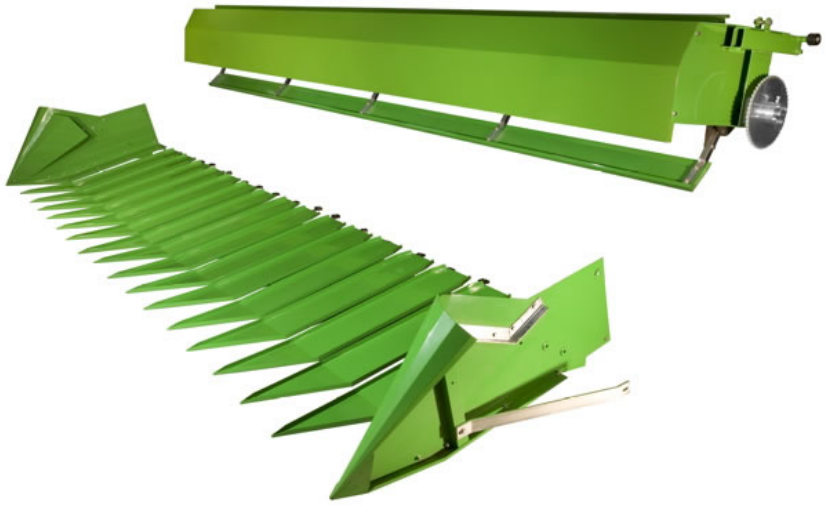


Figura 1 - L'adeguamento delle tradizionali testate da frumento permette l'impiego della maggior parte di mietitrebbiatrici disponibile.

Tale soluzione applicativa rappresenta frequentemente quella più economica per allestire una mietitrebbiatrice in versione frumento senza richiedere la necessità di ulteriori testate, presenta una discreta efficienza operativa e le principali perdite risultano rappresentate o da calatidi intere che una volta recise sfuggono all'aspo a causa del proprio peso ribaltandosi in avanti e sfuggendo così alle piastre inferiori di presa oppure possono anche essere rappresentate da singoli semi che staccati dalle barre dell'aspo cadono a terra senza venire intercettati dalla superficie piana e convergente in mezzeria delle piastre stesse. Limiti piuttosto marcati di tale sistema di raccolta possono considerarsi le colture non perfettamente erette ma inclinate soprattutto in verso opposto alla direzione d'avanzamento della mietitrebbiatrice o in presenza di colture allettate; condizione di per se molto difficile per tutte le soluzioni disponibili limitando le perdite di calatidi e granella a terra. Altro elemento da tenere in considerazione è rappresentato dai tempi necessari per l'installazione e la successiva rimozione del kit di adeguamento che nel caso di frequente ripetizione può portare ad una riduzione dell'aspetto economico prima accennato in quanto per una testata da 4 metri di larghezza di lavoro possono essere necessarie 2-3 ore di lavoro per l'installazione e circa il medesimo tempo per la rimozione delle varie componenti.

Figura 2 - L'adozione di testate specifiche consente di eliminare i tempi di adeguamento.

Una seconda possibilità di allestimento riguarda l'impiego di testate specifiche (Fig. 2) realizzate secondo criteri di economicità per permettere la diffusione di una dotazione dedicata senza richiedere impegni finanziari elevati. Tali soluzioni, costruttivamente e funzionalmente molto simili a quella precedente prevedono testate piuttosto semplificate con medesimo sistema di presa a piastre parallele e convogliamento delle calatidi, sistema di taglio a lama alternata e coclea convogliatrice posteriore. Il vantaggio principale di tale soluzione consiste nell'eliminazione dei tempi necessari per l'allestimento di una testata da frumento, impegno che occorre valutare due volte per considerare anche la successiva rimozione dei componenti installati per la successiva raccolta dei cereali. Un ulteriore aspetto favorevole è rappresentato dalla semplicità costruttiva e quindi anche dalla ridotta massa che rende tale soluzione piuttosto apprezzata in collina ove l'impiego in pendenza con masse contenute rappresenta frequentemente una soluzione molto apprezzata dagli operatori. I principali limiti operativi possono considerarsi simili a quelli della soluzione precedente se non ancora inferiori in quanto queste testate presentano sempre aspo dedicato riducendo il rischio di impigliamento delle calatidi recise e successivo trasporto al di fuori dell'area di presa della coclea convogliatrice tipico di un aspo da frumento. In talune applicazioni per ridurre il volume di sottoprodotti al gruppo trebbiante possono essere inseriti dispositivi atti a scaricare a terra una maggior percentuale di stelo prima della fase di taglio (Fig. 3).

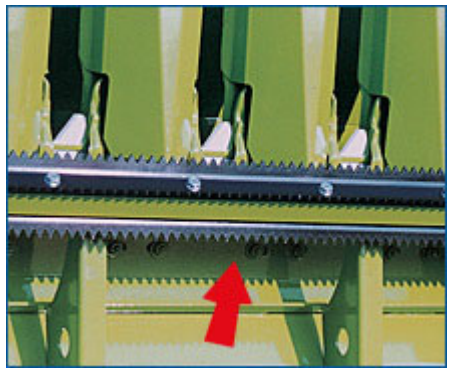


Figura 3 - Per ridurre il volume di sottoprodotti in ingresso e favorire l'operazione di taglio possono essere inseriti alcuni accorgimenti funzionali.

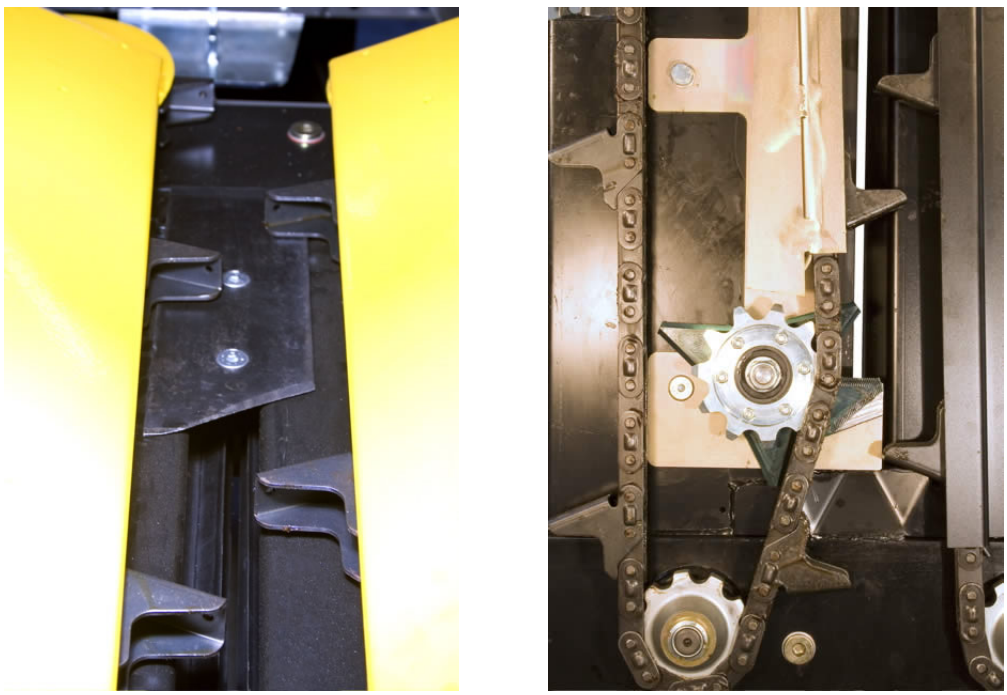


Figura 4 - L'installazione di sistemi di taglio fissi o rotanti consente di aumentare la versatilità delle testate da mais consentendone l'impiego anche su girasole.

La terza possibilità offerta dai costruttori generalmente di sole testate riguarda la possibilità di installazione di un apposito kit su testate da mais (Fig.4) che generalmente prevede il posizionamento di un sistema ausiliario di taglio, assente nelle testate da mais, fisso o mobile e la modifica del percorso delle catene trasportatrici soprattutto con funzione di migliorare la presa degli steli prima di operare la recisione

delle calatidi. Tale sistema può collocarsi in posizione intermedia rispetto ai due precedenti in quanto sono sempre da prevedere tempi di lavoro di diversa durata a seconda del numero di elementi da installare direttamente legato al numero di file della testata e quindi all'interfila di semina della coltura. In condizioni ottimali l'efficienza del sistema può essere anche superiore alle due soluzioni precedenti ma l'assenza di un dispositivo specifico di presa degli steli come si vedrà in seguito limita molto la produttività se ci si allontana dalle condizioni ottimali di steli perfettamente eretti con calatidi rivolte verso la direzione di avanzamento della raccoglitrice. Sul piano economico non presenta particolari rilevanza ma la disponibilità di una testata mais o ad interfila regolabile o ad interfila uguale a quella del girasole ne determina una limitata diffusione. La presenza di dispositivi di presa rende il sistema abbastanza performante anche in presenza di coltura inclinata o non completamente allettata.

Figura 5 - L'impiego di testate specifiche da girasole consente le migliori performance anche su colture non in ottimali condizioni di raccolta.

La quarta possibilità è rappresentata dalle soluzioni appositamente progettate e realizzate per la raccolta del girasole con le più attuali funzionalità disponibili (Fig. 5). Sono generalmente rappresentate da testate ad elementi multipli pari al numero di file raccolte per ogni passaggio che provvedono alla raccolta delle singole calatidi e convogliamento verso il gruppo di trebbiatura della mietitrebbiatrice. Queste testate prevedono generalmente organi di presa dello stelo, organi di recisione dello stesso ed organi di convogliamento delle calatidi verso il canale di alimentazione della mietitrebbia. I sistemi di presa prevedono generalmente una coppia di catene controrotanti, mentre nei modelli più datati tali catene venivano utilizzate scoperte con elementi di presa metallici oggi possono prevedere la presenza di dispositivi di trattenimento ad elementi singoli (Fig. 6) o a nastro continuo (Fig. 7); aspetto molto importante è rappresentato dalla possibilità e capacità di presa solidale dello stelo soprattutto una volta reciso cioè quando il peso della calatide tende a determinare il ri-

baltamento, principale forma di perdita delle soluzioni precedentemente descritte. La capacità del sistema di presa di mantenere eretto lo stelo con la calatide superiore permette alla calatide di essere accompagnata verso la coclea convogliatrice e quindi di garantirne la raccolta.

Figura 6 - Particolare di dispositivo di presa a catena con supporti di tenuta in materiale sintetico ed apparato di taglio a doppi disco rotante.

Figura 7 - L'adozione di sistemi di presa a nastro consentono una buona tenuta dello stelo reciso.

La soluzione appena descritta si applica alle testate specifiche e sotto l'aspetto della capacità di lavoro rappresentano sicuramente le soluzioni più performanti in ogni condizione di lavoro.

I limiti principali rappresentati dal prodotto allettato non senza difficoltà possono comunque essere superati con questa soluzione il cui unico aspetto limitante è generalmente rappresentato dall'aspetto economico che difficilmente ne permette l'applicabilità su superfici contenute, o su raccoglitrici piuttosto datate.

Conclusioni

Le soluzioni disponibili per la raccolta del girasole tramite mietitrebbiatura consentono possibilità applicative per la maggior parte degli utilizzatori. I principi funzionali e la qualità del lavoro svolto, intesa come limitazione delle perdite e dei sottoprodotti inviati al gruppo di trebbiatura principale si comportano in modo piuttosto diversificato a seconda della soluzione adottata.

Figura 8 - L'allestimento delle testate da frumento rappresenta una delle soluzioni più utilizzate per aumentare la versatilità delle raccoglitrici.

L'allestimento delle comuni testate da frumento (Fig.8) rappresenta frequentemente la soluzione più diffusa, presenta alcuni limiti nei tempi di montaggio e rimozione dei componenti, nella raccolta del prodotto allettato, inclinato ed in presenza di infestanti. L'operatività in condizioni ottimali cioè con coltura eretta può considerarsi buona.

L'adozione di testate specifiche di elevata semplicità costruttiva e funzionale rispecchia qualità e limiti già citati per la soluzione precedente, riducendo i costi di allestimento del caso precedente a fronte del maggior impegno finanziario legato al-

l'acquisto di una seconda testata; sotto l'aspetto operativo inteso come contenimento delle perdite ed ingresso di sottoprodotti può considerarsi simile od appena superiore al precedente.

L'allestimento delle testate mais con appositi kit girasole presenta il vantaggio di avere un sistema di presa e trasporto attivo verso la coclea convogliatrice, permettendo un certo successo anche con colture parzialmente allettate od inclinate, presenta un buon contenimento delle perdite anche se l'assenza di un sistema di presa continuativa può determinare il ribaltamento anteriore di alcune calatidi con aumento delle perdite, elemento non trascurabile soprattutto operando in collina può essere rappresentato dalla massa complessiva delle testate da mais generalmente molto più elevata di una testata da frumento.

L'impiego di testate specifiche caratterizzata da elementi di presa degli steli e loro trasporto prima al dispositivo di taglio e poi alla coclea convogliatrice rappresenta la soluzione più performante per la raccolta della granella di girasole sia per destinazione alimentare zootecnica sia energetica, il limite prevalente all'impiego generalizzato è rappresentato dall'aspetto economico che ne rende conveniente l'impiego su superfici minime di raccolta superiori ai 100 ettari annui.

5
Valutazioni economiche

Valutazioni economiche: colza, girasole e *Brassica carinata*

Economic evaluations: rapeseed, sunflower and Brassica carinata

Domenico Coaloa*, Alessandra Grignetti*

Riassunto

La riduzione della coltivazione della barbabietola ha portato alla conversione di migliaia di ettari di terreno agricolo a colture energetiche dal 2008. Grazie al progetto nazionale di ricerca "SuSCACE", a supporto tecnico-scientifico per la conversione delle coltivazioni agricole verso colture energetiche, è stato possibile raccogliere ed elaborare dati sulle colture energetiche attualmente esistenti. Il database è attualmente costituito da 2.969 ettari coltivati in 386 appezzamenti, sono coinvolte 312 aziende agricole dislocate in 11 regioni d'Italia. I risultati ottenuti riguardano le superfici investite a ciascuna coltura, il relativo numero di campi e la loro distribuzione regionale, le produzioni, i costi di coltivazione e di produzione il bilancio economico. I dati raccolti riguardanti tutte le operazioni colturali agricole, gli input energetici ha permesso di stimare l'impatto ambientale e il bilancio energetico delle diverse colture. Le produzioni ottenute per le colture annuali, come il girasole, colza e *Brassica carinata*, sono risultate mediamente buone con differenze significative a livello regionale. Le analisi della produzione e redditività delle specie più diffuse delle colture oleaginose, ha mostrato risultati generalmente positivi nel mercato attuale. Le piantagioni per la biomassa hanno raggiunto già buoni risultati produttivi nei primi anni di coltivazione, anche se migliorabili. Nelle attuali condizioni di mercato la redditività è fortemente dipendente dalle particolari condizioni di prezzo che si possono ottenere mediante contratti di lungo periodo con le imprese di trasformazione energetica.

* CRA-PLF Unità di Ricerca per le Produzioni Legnose fuori Foresta, Casale Monferrato (AL) - Italy.

Parole chiave: colture energetiche, costi di coltivazione, bilanci colturali, colza, girasole e *Brassica carinata.*

Abstract

The reduction of beet cultivation has led to the conversion of thousands of hectares of agricultural land to energy crops since 2008. Thanks to the national research project "SuSCACE", set up as a technical-scientific support for the cultivation of energy crops, it has been possible to gather and process data on the currently existing energy crops. The database currently concern of 2,969 hectares in 386 plots, 312 farms and 11 regions of Italy affected. The results obtained regard the areas planted to each crop, the relative number of fields and their regional distribution, their yields, cultivation and production costs and their economic balance. The data collected regarding all farming operations and energy inputs allowed us to estimate the environmental impact and energy balance of the different crops. The products obtained for annual field crops, such as sunflower, rapeseed and Brassica carinata*, are good on average, significant differences at the regional level. The analysis of the production and profitability of the most widespread oilseed species, has shown generally positive results in the current market. Plantations for biomass have reached, in the first years of cultivation, good, though improvable, yields; however in the present market conditions profitability is highly dependant on special price conditions agreed on in contract with the processing industries.*

Keywords: *energy crops, cultivation cost, crop balance, rapeseed, sunflower,* Brassica carinata.

1. Introduzione

L'applicazione della riforma della OCM zucchero ha comportato una riduzione di oltre il 50% della capacità produttiva nazionale dello zucchero e di conseguenza anche una sensibile riduzione della superficie coltivata a barbabietola. Alcune società produttrici di zucchero hanno presentato piani di riconversione della filiera bieticolo-saccarifera verso le filiere agroenergetiche con l'obiettivo di ottenere energia elettrica da biomasse ligno-cellulosiche, biodiesel da esterificazione di oli vegetali e bioetanolo da fermentazione di cereali. Il raggiungimento di tali obiettivi richiede elevate produzioni di biomasse, soprattutto ligno-cellulosiche per far fronte alle esigenze di attivazione di nuovi centri di trasformazione energetica da fonti rinnovabili. Una ulteriore spinta verso i programmi di produzioni energetiche alternative è derivata anche dalle misure di sostegno ed incentivi riguardanti i nuovi coefficienti moltiplicatori dei certificati verdi per le filiere corte (Legge n. 244/2007).

Sulla base delle caratteristiche e sulle potenzialità produttive dei diversi ambiti agricoli, tenuti in considerazione gli obiettivi progettuali per la diversificazione della produzione di energia da parte dei vari distretti energetici (Loi, 2008), le aziende agricole stanno affrontando la riconversione con colture erbacee annuali e perenni (girasole, colza, brassica, sorgo da fibra e canna comune), e con colture arboree (pioppo, robinia, eucalipto).

Nell'ambito dell'attività del progetto SuSCACE "Supporto Scientifico alla Conversione Agricola verso le Colture Energetiche", finanziato dal Mipaaf e coordinato dal Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura (C.R.A), è stato possibile raccogliere, con la collaborazione delle aziende agricole, informazioni necessarie per analizzare e valutare sotto l'aspetto economico e organizzativo la riconversione agricola che coinvolge il settore.

2. Metodologia

Costituiscono il database i dati relativi a 350 appezzamenti coltivati per complessivi 2.514 ettari in 11 regioni; 255 sono le aziende agricole coinvolte. Le informazioni riguardano colture poliennali, pioppo, robinia, eucalipto, canna comune, e colture erbacee annuali, colza, girasole, brassica carinata e sorgo da fibra. Per le prime sono stati raccolti dati di localizzazione secondo coordinate geografiche nel sistema metrico WGS84UTM32, riferite al punto centrale degli appezzamenti interessati, invece per quelle annuali al momento si dispongono di dati di localizzazione riferiti soltanto a livello comunale in attesa di dati puntuali.

Grazie alla georeferenziazione degli appezzamenti, tutti i dati acquisiti, riguardanti le caratteristiche ambientali e organizzative delle singole aziende coinvolte, le colture praticate e gli interventi rilevati in tutte le fasi operative, sono stati organizzati in un geo-database (ArcGIS 9.2), gestito dal C.R.A.-PLF (Unità di Ricerca per le Produzioni Legnose fuori Foresta, ex Istituto di Sperimentazione per la Pioppicoltura di Casale Monferrato).

Lo strumento per il rilevamento e la registrazione dei dati è costituito da fogli elettronici in formato Excel appositamente predisposti. In particolare si tratta di tre fogli, "Anagrafica azienda", "Anagrafica appezzamento", Anagrafica coltura". Il primo contiene le informazioni e dati identificativi dell'azienda agricola: id_società, id_tecnico, id_azienda, cod_azienda, denominazione, indirizzo della sede, località, cap, provincia, referente, telefono, cellulare, centralina meteorologica, dimensione azienda, forma di conduzione, valore indicativo dei terreni.

Il foglio relativo all'appezzamento riporta informazioni che riguardano: indirizzo, località, coltura precedente, produttività coltura precedente, altre colture praticate in rotazione, superficie coltivata, giacitura, tessitura, irrigazione e tipo di irrigazione, posizione geografica secondo coordinate di longitudine e latitudine.

Il foglio relativo alla coltura **"**anagrafica coltura**"**, che può cambiare di anno in anno per appezzamento, almeno per quelle erbacee annuali, considera oltre ai caratteri identificativi codificati nei precedenti fogli: coltura, varietà, materiale di propagazione, data di semina/impianto, densità, spaziature, centro di conferimento pelle produzioni.

Il foglio **"**diario appezzamento**"** nel quale sono descritte tutte le operazioni e interventi in modo cronologico: data, tipo intervento, tipo prodotto, prodotto, quantità, costo unitario, trattrice, potenza, tipo attrezzo, larghezza di lavoro, profondità di lavoro, operai impiegati, superficie lavorata, tempo impiegato, costo complessivo contoterzista.

Sulla base dei dati finora raccolti relative alle colture erbacee e arboree destinate alla produzione di biomasse per uso energetico è stato creato l'archivio cartografico su base GIS. Tale base di dati qualitativi stazionali caratterizzanti i siti di coltivazione e livelli produttivi, consentirà di implementare a livello nazionale la correlazione tra le caratteristiche ambientali con i livelli produttivi potenziali.

Il coordinamento, la verifica e la validazione dei dati rilevati, ha costituito un importante impegno ed ha comportato una attenta valutazione delle criticità registrate in molte fasi di rilevamento e registrazione dei dati di campo relativi alle coltivazioni praticate nel 2009 e nel 2010 secondo il programma di attuazione delle conversione agricole.

Dall'analisi dei dati rilevati direttamente dai tecnici aziendali, riguardanti l'impiego delle macchine, della manodopera, carburanti, sementi, fertilizzanti, erbicidi ed eventuali interventi di terzisti, sono stati calcolati i costi complessivi di coltivazione per ogni coltura e per tutte le superfici interessate.

Il costo orario delle macchine motrici e degli attrezzi è stato calcolato utilizzando software dedicato (Maso *et al.*, 2006). In alcuni casi gli interventi sono stati svolti da imprese esterne all'azienda agricola, i cui costi sono comprensivi del costo della manodopera e del costo delle macchine.

Le produzioni per le colture annuali considerate sono riferite secondo parametri commerciali al 9% di umidità, e i prezzi unitari sono quelli rilevati e trattati per ogni azienda agricola.

Le valutazioni economiche hanno riguardato in sintesi i bilanci colturali (Torquati, 2003) in considerazione delle attuali condizioni di mercato.

3. Risultati

Localizzazione delle colture

Le elaborazioni hanno interessato complessivamente, per le tre colture annuali oleaginose considerate, 2242 ettari, circa 200 appezzamenti in 171 aziende agricole. In termini di localizzazione territoriale le regioni interessate sono nove. In particolare il 72% della superficie complessiva dedicata al **girasole** è localizzata soprattutto nelle regioni centrali, Marche e Toscana, il resto in Emilia Romagna. Il **colza** coltivato su

quasi 1522 ettari interessa principalmente le regioni del nord (65%). Al sud si trova quasi tutta la parte restante (34%) poiché soltanto l'1% dell'intera superficie è dislocata nelle regioni del centro. La ***brassica carinata*** è coltivata nelle Marche e in Sardegna. (tab. 1)

Tabella 1 - Distribuzione per regione delle colture annuali in conversione, superficie e (appezzamenti).

	girasole ha (n)	colza ha (n)	brassica carinata ha (n)
Emilia R.	198,22 (9)	944,80 (90)	–
Veneto	–	33,70 (1)	–
Lombardia	–	9,00 (1)	–
Toscana	151,10 (19)	4,81 (4)	1,57 (2)
Marche	333,82 (36)	8,75 (5)	10,26 (8)
Umbria	17,87 (5)	2,40 (3)	–
Basilicata	–	327,64 (9)	–
Puglia	–	190,89 (9)	–
Sardegna	–	–	7,42 (10)
totale	701,01 (69)	1521,99 (122)	19,25 (20)

Girasole

La coltivazione a girasole (tabella 1) comprende una superficie complessiva di 701 ettari in 69 appezzamenti di 54 aziende agricole. Il girasole è coltivato prevalentemente (75%) in zone collinari delle regioni centrali, il restante 28% è localizzato in Pianura Padana (Nord) (fig. 1). La superficie media per appezzamento è di oltre 10 ettari ma con evidenti differenze tra le regioni del nord, mediamente 22 ha per appezzamento, mentre le dimensioni medie degli appezzamenti delle regioni centrali sono pari a 8,4 ettari).

Mediamente la manodopera ha assorbito circa 7 ore, di poco superiore alle 6 ore invece è risultata la richiesta di macchine per le operazioni dalla preparazione del terreno per la semina alla raccolta. Le produzioni medie nel 2010 hanno raggiunto 2,46 $t \cdot ha^{-1}$ (tab. 2) di seme (9% di umidità), 2,9 al Nord, 2,3 al Centro. Complessivamente il costo delle operazioni colturali svolte comprensive del costo delle macchine e della manodopera ammonta mediamente a 493 Euro per ettaro (tab. 3), fino a 548 $€ \cdot ha^{-1}$ nelle situazioni più disagiate di collina. Le operazioni colturali sono effettuate esclusivamente da contoterzisti sul 35% della superficie, svolte direttamente dall'azienda sul 21% della superficie, mentre sul resto intervengono sia le aziende agricole che le ditte di contoterzi. I costi delle lavorazioni svolte direttamente dall'a-

zienda risultano mediamente inferiori del 20% rispetto a quelle affidate a terzi. I prodotti impiegati per la coltivazione, sementi, erbicidi e concimi, ammontano complessivamente a 196 Euro per ettaro. Per quanto riguarda in particolare i concimi minerali impiegati, l'apporto di azoto è stato mediamente di 95 kg per ettaro con prevalenza nelle coltivazioni delle regioni settentrionali. Gli apporti di concimi fosfopotassici, come P_2O_5 e K_2O, hanno interessato soltanto il 60% delle superfici con apporti di circa 46 kg per ettaro. Gli erbicidi impiegati sono quantificati in 2,6 kg per ettaro, nelle colture di girasole al Nord sono state impiegate quantità doppie rispetto alle coltivazioni del Centro. I costi totali raggiungono mediamente 689 €·ha^{-1}, costi di circa il 30% in meno per le aziende al Nord rispetto a quelle del Centro.

Secondo le quotazioni dei prezzi unitari registrati e dichiarati dalle aziende agricole nel 2010 mediamente di 423 €·t^{-1}, è risultata una PLV di circa 1.041 €·ha^{-1}. Il calcolo del flusso delle entrate rispetto al flusso delle uscite determina un bilancio nettamente positivo; l'utile raggiunge 352 €·ha^{-1}, maggiore dell'80% nelle aziende del Nord rispetto a quelle delle regioni centrali che si attesta intorno a 297 €·ha^{-1}. Nel calcolo dell'utile non si è tenuto conto dei sostegni finanziari PAC e degli incentivi per le colture energetiche.

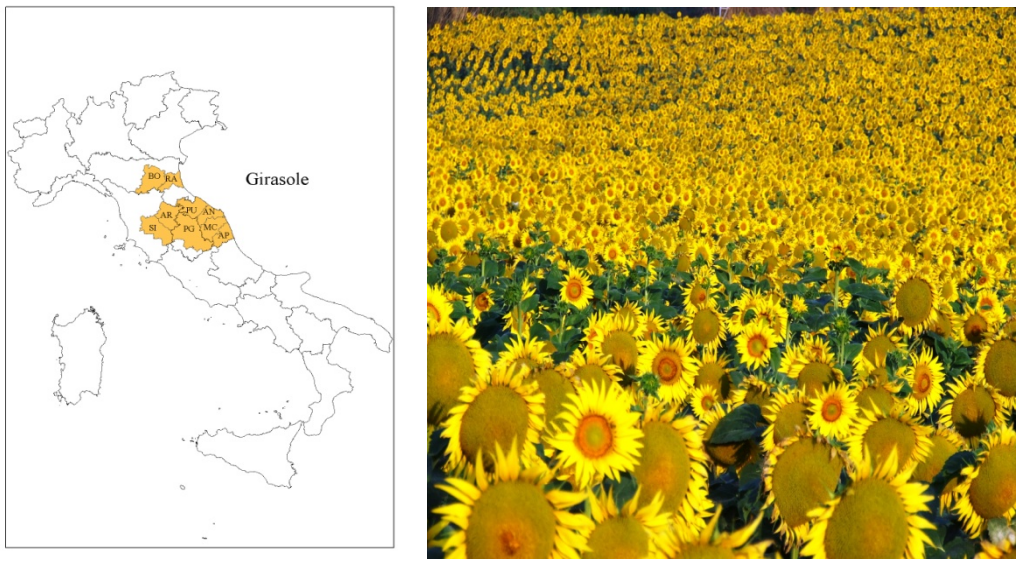


Figura 1 - Distribuzione provinciale delle superfici coltivate a girasole.

Colza

Il colza comprende 1522 ettari coltivati in 122 appezzamenti di 109 aziende (tab. 1). Il 65% della superficie coltivata è situata in Pianura Padana, il 34% nelle zone collinari delle regioni meridionali mentre soltanto l'1% in zone collinari delle regioni

centrali (fig. 2). La superficie media per appezzamento è risultato di circa 12,5 ettari; nelle regioni centrali gli appezzamenti risultano di piccole dimensioni (1,33 ha), in Pianura Padana e in particolare nelle regioni meridionali sono presenti invece appezzamenti molto grandi (rispettivamente di 11 ha e di 28,8 ha).

Mediamente sia la manodopera che i tempi di impiego delle macchine per le operazioni dalla preparazione del terreno per la semina alla raccolta hanno assorbito meno di 4 ore per ettaro. Le produzioni medie nel 2010 hanno raggiunto 2,40 $t \cdot ha^{-1}$ (tab. 2) di seme (9% di umidità), 2,9 tonnellate al Nord, 1,8 $t \cdot ha^{-1}$ al Centro e 1,6 $t \cdot ha^{-1}$ al Sud. Complessivamente il costo delle operazioni colturali svolte, comprensive del costo delle macchine e della manodopera, ammonta a circa 333 $€ \cdot ha^{-1}$ (tab. 3), fino a 473 $€ \cdot ha^{-1}$ nelle situazioni più sfavorevoli di collina. I costi delle operazioni colturali sono attribuiti principalmente agli interventi di contoterzisti nelle aziende localizzate al Centro e al Nord, al Sud è preponderante l'intervento diretto con mezzi aziendali.

I prodotti impiegati per la coltivazione, sementi, erbicidi e concimi, ammontano complessivamente a 193 Euro per ettaro. Per quanto riguarda in particolare i concimi minerali impiegati, l'apporto di azoto è stato mediamente di 108 kg per ettaro senza particolari differenziazioni nelle tre ripartizioni territoriali (Nord, Centro, Sud).

Sono stati inoltre distribuiti erbicidi per circa 1,8 kg per ettaro, quantità più elevate (2,7) sono state impiegate negli appezzamenti di piccole dimensioni di colza localizzate nelle regioni centrali.

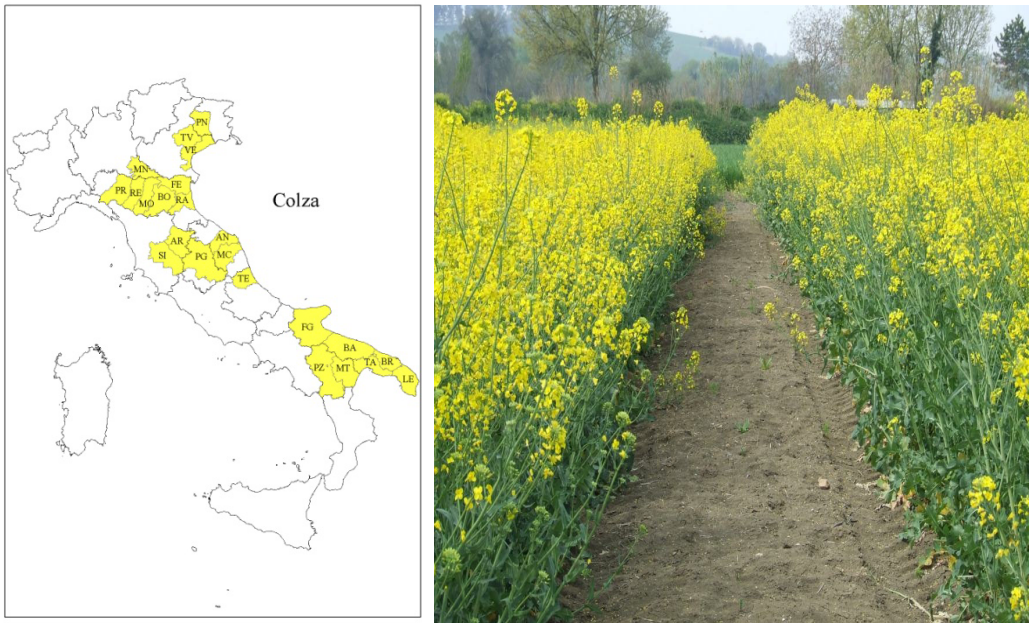


Figura 2 - Distribuzione provinciale delle superfici coltivate a colza.

I costi totali raggiungono mediamente 526 €·ha^{-1}; nelle aziende di collina dell'Italia centrale si evidenziano costi superiori del 60%.

Secondo le quotazioni dei prezzi unitari registrati e dichiarati dalle aziende agricole nel 2010 mediamente di 302 €·t^{-1} (da 270 a 450 €·t^{-1}), è risultata una PLV di circa 725 €·ha^{-1}. A livello aziendale in base al calcolo del flusso delle entrate rispetto al quello delle uscite, l'utile risulta mediamente pari a circa 200 €·ha^{-1}, con forti differenze tra le regioni analizzate: nelle aziende del Centro è risultato negativo (-64 €·ha^{-1}), nelle regioni dell'Italia meridionale è emerso un utile appena positivo mentre nelle aziende della Pianura Padana è pari a circa 300 €·ha^{-1}. Nel calcolo dell'utile non si è tenuto conto dei sostegni finanziari PAC e degli incentivi per le colture energetiche.

Brassica carinata

La *brassica carinata* è stata coltivata in 8 aziende, 20 appezzamenti per complessivi 19,25 ettari (tab. 1). Il 61% della superficie coltivata è situata nelle regioni centrali, il resto in Sardegna (fig. 3). La superficie media per appezzamento è di circa un ettaro.

Mediamente sia la manodopera che i tempi di impiego delle macchine per le operazioni dalla preparazione del terreno per la semina alla raccolta hanno assorbito circa 7 ore per ettaro. Le produzioni nel 2010 hanno raggiunto in media 2 t·ha^{-1} (tab. 2) di seme (9% di umidità); oltre 2,4 al centro, di poco superiore a 1,6 t·ha^{-1} in Sardegna. Complessivamente il costo delle operazioni colturali svolte comprensive del costo delle macchine e della manodopera ammonta a circa 519 €·ha^{-1} (tab. 3). I costi delle operazioni colturali sono attribuiti principalmente agli interventi di contoterzisti nelle aziende localizzate al Centro, nelle altre è preponderante l'intervento diretto con mezzi aziendali.

I prodotti impiegati per la coltivazione, sementi, erbicidi e concimi, ammontano complessivamente a 324 Euro per ettaro. Per quanto riguarda i concimi minerali impiegati, l'apporto di azoto è stato mediamente di 46 kg per ettaro, sono stati invece distribuiti quantità di concimi fosfo-potassici (P_20_5 e K_2O) pari a 60 kg per ettaro.

Gli erbicidi impiegati mediamente in Sardegna non superano 1 kg per ettaro, quantità molto più elevate (circa 3 kg) sono state impiegate nelle colture di brassica nelle regioni centrali.

I costi totali superano mediamente 843 €·ha^{-1}, costi maggiori del 50% sono stati rilevati nelle aziende di collina nell'Italia centrale rispetto a quelle localizzate in Sardegna.

Secondo le quotazioni dei prezzi unitari registrati e dichiarati dalle aziende agricole nel 2010 mediamente di 450 €·t^{-1}, è risultata una PLV di circa 942 €·ha^{-1}. In base al calcolo del flusso delle entrate rispetto al quello delle uscite a livello aziendale, è emerso un utile mediamente di 99 €·ha^{-1}, negativo nelle aziende della Sardegna, appena positivo (182 €·ha^{-1}) nelle altre. Nel calcolo dell'utile non si è tenuto conto dei sostegni finanziari PAC e degli incentivi per le colture energetiche.

Figura 3 - Distribuzione provinciale delle superfici coltivate a *Brassica carinata*.

Discussioni e conclusioni

Tempi per la coltivazione

Per quanto concerne i tempi complessivi della manodopera impiegata coincidono con quelli delle macchine e variano da 3,8 per il colza a circa 7 ore per ettaro per il girasole e *brassica carinata* (Fig. 4). Lievi differenze tra tempi della manodopera e tempi macchine che si rilevano nel caso del girasole sono da attribuire a maggiori esigenze di manodopera per le fasi di concimazioni in particolari condizioni legati al territorio e alle organizzazioni aziendali.

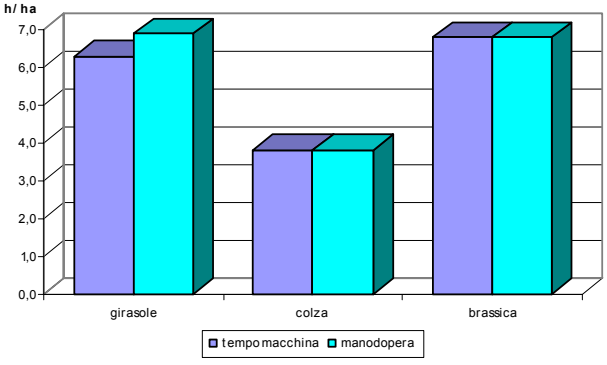


Figura 4 - Tempo impiegato dalle macchine e manodopera per la coltivazione.

Il consumo di carburanti per l'impiego delle macchine nella coltivazione del colza è risultato minore rispetto al girasole e *brassica carinata* che hanno raggiunto rispettivamente 154 e 180 kg di gasolio per ettaro. (Fig. 5).

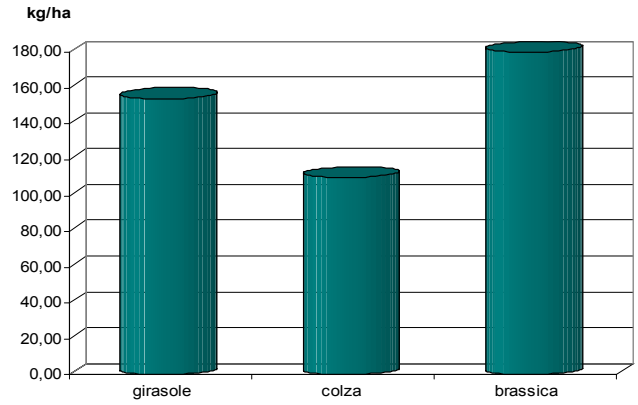


Figura 5 - Carburante per le operazioni meccaniche nella coltivazione.

Le quantità di fertilizzanti impiegati per ciascuna coltura sono espressi in unità di azoto (N), fosforo (P_2O_5) e potassio (K_2O). Nei casi di girasole e colza gli apporti di azoto hanno oscillato tra 95 e 100 kg ha^{-1}, decisamente minori quantità sono state impiegate per la *brassica carinata.* Per gli altri due elementi non sono stati superati 60 kg per ettaro (Fig. 6).

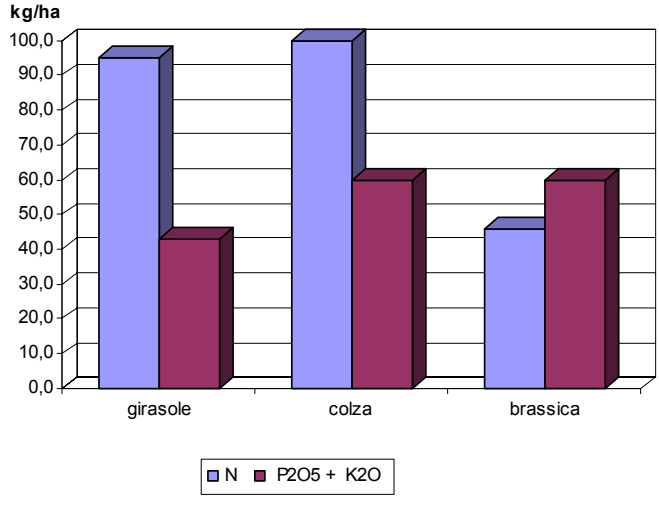


Figura 6 - Fertilizzanti.

L'impiego di erbicidi per il contenimento delle infestanti ha interessato la quasi totalità delle superfici e delle specie coltivate. Nel caso del colza mediamente sono stati impiegati 1,8 kg ha^{-1}, fino a 2,6 kg ha^{-1} in pre e post emergenza nella coltivazione del girasole (Fig. 7).

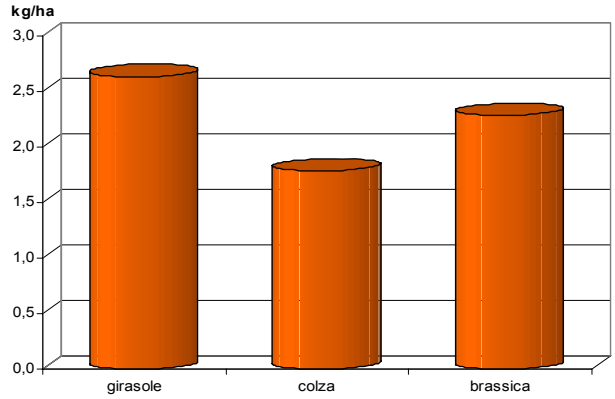


Figura 7 - Quantità di erbicidi impiegate per la coltivazione.

Produzioni

La tabella 2 riporta i dati relativi alle produzioni medie annuali rilevate nel corso di due anni. Colza e *brassica carinata* hanno aumentato notevolmente le produzioni nel 2010 con oltre 2 tonnellate per ettaro di prodotto commerciale, con massimi livelli produttivi che hanno superato 4 $t \cdot ha^{-1}$, Nel caso del girasole le rese unitarie sono diminuite, si sono assestate intorno a 2,5 $t \cdot ha^{-1}$ con valori massimi di 4,4 $t \cdot ha^{-1}$,

Tabella 2 - Superfici raccolte e produzioni 2009 e 2010 a confronto.

	2009		2010	
	produzione $t \cdot ha^{-1}$	superficie raccolta ha	produzione $t \cdot ha^{-1}$	superficie raccolta ha
girasole	2,82	779,36	2,46	692,43
colza	1,88	1.090,45	2,40	1.519,69
brassica carinata	1,01	18,60	2,09	18,48

Costi di produzione

Le elaborazioni delle componenti di costo degli interventi colturali (costo macchine, manodopera, fattori della produzione) hanno consentito di calcolare separatamente i costi delle operazioni colturali e i costi dei prodotti impiegati per ogni coltura e per tutte le superfici interessate (tab. 3).

Maggiori costi si evidenziano per le colture di girasole e *brassica carinata*. Nel caso del girasole sono da attribuire alle condizioni più impegnative di operatività

delle macchine in località collinari dove si trova la gran parte delle superfici coltivate, per quanto riguarda la *brassica carinata* invece, hanno influito certamente le ridotte superfici degli appezzamenti che non hanno favorito l'ottimizzazione dell'impiego delle macchine, e i maggiori costi dei prodotti impiegati.

Tabella 3 - Costi e produzione lorda vendibile (PLV) per le colture realizzate nel 2010.

	costo operazioni € ha^{-1}	costo prodotti € ha^{-1}	costo totale € ha^{-1}	PLV € ha^{-1}	PLV-costo totale € ha^{-1}
girasole	493,05	196,14	689,19	1.041,32	352,13
colza	332,65	193,07	525,72	724,72	199,01
brassica carinata	519,42	324,07	843,49	942,50	99,01

Per la determinazione della produzione lorda vendibile sono stati adottati i prezzi di mercato mediamente registrati nella vendita operata dalle aziende; i prezzi per tonnellata applicati alle quantità prodotte di semi di girasole colza e *brassica carinata* sono rispettivamente di 423, 302 e 450 Euro. Dalla differenza tra PLV e costi totali si sono ottenuti gli utili riportati in tabella 3; per girasole e colza si ottengono risultati positivi rispettivamente di 325 e di circa 200 €·ha^{-1}, per la *brassica carinata* il bilanci è positivo di circa 100 €·ha^{-1} (Coaloa *et al*., 2010). Nel calcolo dell'utile non si è tenuto conto dei sostegni finanziari PAC e degli incentivi per le colture energetiche.

Bibliografia

Coaloa D., Grignetti A. "Arboricoltura a fini energetici: nuova opportunità per l'agricoltore?", Sherwood - Foreste ed Alberi Oggi (2010). 169, pp. 29-33.

Loi A., Come procede la riconversione degli ex zuccherifici. L'Informatore Agrario (2008)**,** 44, pp. 40-43.

Maso D., Pettenella D. Valutazione degli investimenti in arboricoltura da legno, Sherwood - Foreste ed Alberi Oggi (2006). 128, pp. 43-45.

Torquati B. Economia gestionale dell'impresa agraria. Edagricole, Bologna. (2003), p. 365.

B
Sorgo da fibra

1
Botanica, biologia, genetica

Classificazione botanica, caratteristiche morfologiche e risorse genetiche del sorgo

Botanic classification, morphological traits and genetic resources of sugar and fiber sorghum

Mario Di Candilo*

Riassunto

Dopo una breve sintesi sull'origine e sulla classificazione botanica del sorgo, vengono evidenziate le principali caratteristiche morfologiche e le esigenze ambientali della specie. Inoltre, si sottolinea la necessità di una attività di miglioramento genetico per la costituzione di varietà da biomassa (tipi zuccherini e tipi da fibra) più rispondenti alle condizioni pedoclimatiche italiane, rispetto alle cultivar attualmente disponibili, quasi tutte di provenienza estera. A tal fine particolare importanza viene data alla vasta gamma di risorse genetiche disponibili, da cui è possibile attingere per il breeding.

Parole chiave: sorgo zuccherino, sorgo da fibra, risorge genetiche, breeding

Abstract

After a brief description of the origin and botanical classification of sorghum, the main morphological traits and climatic requirements of the species are highlighted. Moreover, it is underscored the need of specific breeding activity with the purpose of obtaining new cultivars of both sugar and fiber sorghum with better adaptation to Italian conditions, since most of the cultivars available on the market has been selected in foreign

* CRA – Centro di Ricerca per le Colture Industriali, Bologna.

countries. In order to do so, it is important to consider the wide genetic variability of the species that could be utilized for breeding programs.

Key words: *sugar sorghum, fiber sorghum, genetic resources, breeding.*

Origine e classificazione

Il sorgo (*Sorghum bicolor* L., Moench) è una monocotiledone appartenente alla famiglia delle Poaceae o graminaceae, tribù delle *Antropogoneae*. Si ritiene che la specie abbia avuto origine nell'Africa Centro-Orientale (Sudan, Etiopia) e si sia poi diffusa in Asia ed Europa e successivamente anche in America e Australia. È stata una delle prime specie ad essere coltivata e oggi è il quarto cereale per importanza nell'economia agricola mondiale dopo frumento, riso e mais. Sulla base del grado di appaiamento cromosomico il genere *Sorghum* comprenderebbe 6 sottogeneri; a uno di questi, l'*Eusorghum*, apparterrebbero anche il *S. bicolor* (L.) Moench (2n=20) ed il *S. halepense* (2n=40). Quest'ultimo è un allopoliploide derivante dall'incrocio di due specie affini con 20 cromosomi. I sorghi coltivati appartengono al *S. bicolor*; il *S. halepense*, detto anche sorghetta, è una infestante molto diffusa nelle aree coltivate a mais. Il *S. bicolor* comprende molteplici forme, le quali possono essere classificate in base alla loro destinazione d'uso in:

1) sorgo da scope o saggina (*S. bicolor*, var. *technicum*). Si contraddistingue per l'asse del panicolo molto corto, sul quale si inseriscono ramificazioni lunghissime elastiche che formano una infiorescenza ad ombrella. Quest'ultima, privata del seme, viene impiegata per la fabbricazione di scope;
2) sorgo da fibra (*S. bicolor*, var. *technicum* o suoi ibridi), caratterizzato da una pianta molto alta, 2-5 m, con culmo grosso;
3) sorgo zuccherino (var. *saccharatum*), pianta molto alta, 2-5 m, con culmi grossi e midollo succoso, ricco di saccarosio (15-20%), non è adatto alla produzione di zucchero, poiché oltre al saccarosio presenta notevoli quantità di zucchero invertito che inibisce la cristallizzazione. Può essere destinato alla produzione di sciroppi e bioetanolo;
4) sorgo da foraggio (varr. *sudangrass* e *saccharatum*), con culmi esili ad elevata capacità di accestimento nel caso della var. *sudangrass*;
5) sorgo da granella (ibridi diversi), caratterizzato da piante basse (1-1,5 m) a scarso accestimento, granella nuda senza tannini, utilizzata per l'alimentazione umana nei paesi in via di sviluppo e per l'alimentazione del bestiame nei paesi avanzati.

Morfologia e biologia della pianta

Il sorgo presenta un apparato radicale molto espanso sia in profondità (oltre 1,5 m) che orizzontalmente (oltre 2 m). La massa radicale è formata da radici embrionali primarie e da radici avventizie. Il complesso di radici avventizie, costituente la parte preponderante dell'apparato radicale, è formato da 6-8 palchi emessi in tempi successivi dai nodi basali del culmo. Le radici sono robuste, fibrose, molto ramificate e con elevata capacità di suzione dell'acqua dal terreno (Foto 1 a,b,c).

Foto 1 a,b,c - Le immagini evidenziano i palchi di radici emessi dai nodi basali del culmo, e l'elevata massa radicale della pianta (Foto dell'autore).

Il culmo ha portamento eretto, di altezza molto variabile, in relazione al genotipo e alle condizioni colturali: normalmente varia da 1-1,5 m nelle varietà da granella, a 3-5 m nelle varietà da fibra. Il fusto presenta un numero di nodi anch'esso variabile con il genotipo. Gli internodi contengono internamente il midollo che può essere fibroso o succulento (Foto 2). Nei tipi da foraggio il culmo presenta elevata capacità di accestimento.

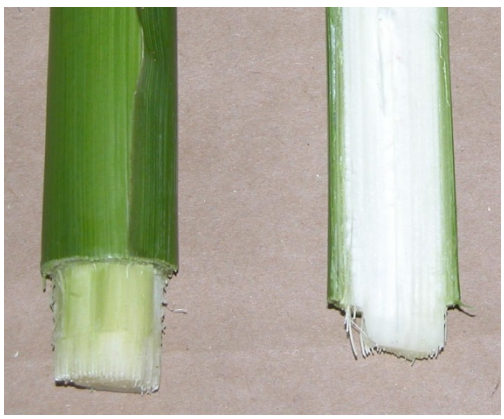


Foto 2 - Sezioni del fusto evidenzianti il midollo interno spugnoso (Foto dell'autore).

Le foglie sono parallelinervie (Foto 3) e in numero crescente con la maggiore durata del ciclo vegetativo. Il lembo fogliare, con margine lievemente seghettato, è glabro, cutinizzato e ricoperto di pruina. Inoltre, rispetto al mais presenta un maggior numero di stomi, ma di dimensioni più piccole. Tale caratteristica, unitamente alla forte cutinizzazione dell'epidermide e alla presenza di uno strato ceroso, conferiscono al sorgo una forte capacità di risparmiare acqua, resistendo così alla siccità. In pratica, la pianta è in grado di ridurre al minimo la traspirazione fino a bloccare la crescita nei periodi più siccitosi, per riprendere poi la vegetazione al ritorno di condizioni normali di umidità.

Foto 3 - Particolari di foglie di sorgo (Foto dell'autore).

Foto 4 - Panicoli di sorgo da biomassa (Foto dell'autore).

L'infiorescenza è un racemo detto panicolo, posto all'estremità de fusto, di forma e dimensioni variabili (Foto 4). Sulle ramificazioni del panicolo si inseriscono le spighette a coppie, di cui una fertile e l'altra sterile. I fiori sono costituiti da due glumette, due lodicole ciliate, un ovario con stigma bifido, e un androceo formato da tre stami. La fioritura inizia nella parte apicale del panicolo e procede verso la base, per completarsi in 6-10 giorni. La fecondazione è prevalentemente autogama, tuttavia non vi sono ostacoli alla fecondazione incrociata che interessa il 5-6% dei fiori. Il seme giunge a maturazione fisiologica in 40-60 giorni in relazione all'andamento stagionale e soprattutto alla temperatura. Mediamente un panicolo porta a maturazione 2-3000 cariossidi. Queste ultime presentano caratteristiche morfologiche molto variabili: vi sono tipi con cariossidi 'vestite', altri con cariossidi nude, anche il colore può variare dal marrone al bianco (Foto 5).

La prima fase di crescita della pianta è molto lenta, in genere dopo l'emergenza impiega circa un mese per emettere 7-8 foglie, subito dopo ha inizio la fase di levata, caratterizzata da un rapido accrescimento in altezza del culmo principale, fino alla emissione del panicolo. La durata della fase vegetativa varia sensibilmente in relazione alla temperatura e al genotipo. La produzione, come in molte altre specie, aumenta con la durata della fase vegetativa. D'altro canto, nel Nord Italia è sconsiglia-

bile coltivare varietà tardive che giungono a maturazione oltre metà settembre, poiché aumenta sensibilmente il rischio di condizioni pedo-climatiche sfavorevoli (eventi piovosi, rugiade, abbassamenti termici) che influirebbero negativamente sull'esito della raccolta meccanica e sui tempi di essiccazione della biomassa.

Foto 5 - Cariossidi di sorgo da biomassa (a dx) e da granella (Foto dell'autore).

Il sorgo ha un ciclo fotosintetico C_4, ovvero elevata efficienza nella intercettazione e conversione della radiazione luminosa: dote che si esalta particolarmente in ambienti caratterizzati da elevata intensità luminosa ed elevata temperatura, tipici del clima mediterraneo.

Esigenze ambientali

Il sorgo è fra le specie più esigenti dal punto di vista termico: richiede almeno 12-14°C per la germinazione (2°C in più del mais) e 16°C per lo sviluppo della pianta, mentre le temperature ottimali di crescità sono di 27-28°C.

La specie presenta buon adattamento ad una vasta gamma di terreni, compresi quelli salsi, non tollera invece i suoli soggetti a ristagno idrico. Inoltre, le ridotte dimensioni del seme e lo scarso vigore dei germogli rendono la coltura molto sensibile alla crosta superficiale nei terreni limosi.

Risorse genetiche

Negli ultimi 3-4 anni, al crescere dell'interesse per la realizzazione di colture ad uso energetico, ha fatto riscontro un sensibile ampliamento della gamma varietale dei sorghi da biomassa in commercio. Si tratta di cultivar selezionate quasi interamente in paesi d'Oltralpe, alcune delle quali (4-5) presentano, tuttavia, buon adattamento

ambientale e livelli produttivi interessanti anche in Italia. In prospettiva però servono interventi di miglioramento genetico ad hoc per i nostri ambienti al fine di aumentare le rese. A questo riguardo, come già accennato, va considerato che la produzione di biomassa è fortemente dipendente dalla lunghezza del ciclo biologico della pianta che, in ambiente temperato, è condizionato dal momento in cui può essere realizzata la semina, a sua volta dipendente da fattori genetici che controllano germinabilità e sviluppo sotto i 16°C. La disponibilità di genotipi resistenti alle basse temperature permetterebbe di praticare semine anticipate (prima quindicina di marzo) di tipi tardivi e più produttivi. Altri importanti obiettivi del miglioramento genetico del sorgo da biomassa riguardano: la resistenza all'allettamento delle piante (Foto 6); l'incremento della produzione di biomassa attraverso il miglioramento della resistenza agli stress idrici e ai parassiti, il miglioramento dell'efficienza d'uso dell'acqua e dell'azoto; l'aumento del contenuto di saccarosio nei tipi zuccherini.

Foto 6 - Variabilità fra genotipi per suscettibilità all'allettamento delle piante (Foto dell'autore).

Per il raggiungimento di tali obiettivi occorre disporre di una vasta collezione delle diverse tipologie di sorgo (Foto 7): oltre ai genotipi europei, occorre collezionare le linee e le cultivar africane, nordamericane, brasiliane, indiane e cinesi. Le risorse genetiche collezionate dovranno essere mantenute in purezza, caratterizzate dal punto di vista morfo-fenologico, fisiologico e biochimico e moltiplicate al fine di promuovere da un lato la sperimentazione nei vari ambienti di possibile coltivazione del Paese, dall'altro lo sviluppo di nuovi ibridi commerciali di sorgo più idonei alle nostre specifiche condizioni ambientali. A tal fine è fondamentale la valutazione dell'attitudine combinatoria dei genotipi disponibili attraverso la realizzazione di programmi d'incrocio, usando linee maschio-sterili di tipo genetico-citoplasmatico quali portaseme ed uno o più impollinanti a larga base genetica. L'individuazione di linee ad elevata attitudine combinatoria permetterà la produzione di ibridi a più alta

potenzialità produttiva per le diverse destinazioni (energia termo-elettrica, bioetanolo, biogas).

Foto 7 - Panoramica di una serie di differenti tipologie di sorgo: molto evidente la variabilità fra genotipi per portamento ed altezza della pianta, nonché per epoca di spigatura (Foto dell'autore).

2
Tecnica colturale

a - La coltivazione del sorgo da biomassa (*Sorghum bicolor* L.) nel Centro-Nord Italia

*The cultivation of biomass sorghum (*Sorghum bicolor *L.) in Central and Northern Italy*

Mario Di Candilo*, Andrea Del Gatto*

Riassunto

Dopo un accenno alle caratteristiche del sorgo da biomassa come coltura da bioenergia, gli autori ne illustrano le tecniche colturali con particolare riferimento agli ambienti del Centro-Nord Italia, evidenziando fra l'altro le acquisizioni della recente sperimentazione. Più in particolare, ci si sofferma sui criteri e sulle scelte inerenti la fitotecnica della specie, quali: i) l'avvicendamento colturale e l'approntamento del terreno; ii) la scelta delle varietà; iii) l'epoca e le modalità di semina; iv) le esigenze nutritive della coltura e la concimazione; v) le esigenze idriche e l'irrigazione; vi) la scarsa competitività iniziale della coltura verso la flora infestante e le esigenze di diserbo; vii) le epoche di raccolta in relazione al tipo di conversione energetica della biomassa. Inoltre, vengono illustrati i livelli produttivi raggiunti dalla coltura in periodi più o meno lunghi in ambienti del Centro-Nord Italia. Infine, vengono evidenziati i punti di forza della coltura e le prospettive di diffusione.

Parole chiave: agro-energia, biomassa ligno-cellulosica, tecnica colturale, potenzialità produttive.

* CRA – Centro di Ricerca per le Colture Industriali, Bologna.

Abstract

The authors highlight the advantages in the use of biomass sorghum as a bioenergy crop, and the main agronomical techniques applied, particularly for Central and Northern Italy environments; the results of the most recent researches in this field are also outlined. The phytotechnical choices and strategies concerning this species are highlighted, and particularly are considered: i) the soil preparation and the rotation; ii) variety selection; iii) sowing date and technique; iv) nutritional and manuring needs of the crop; v) water balance and irrigation; vi) low initial competitivity of the crop towards weeds, and weeding strategies; vii) harvest dates and their relationships with the energetic conversion of the biomass. The productive levels reached by the crop in the medium- or long-range period in different Central and Northern Italy environments are illustrated. Finally, the weak and strong points of sorghum as energy crop are highlight and its perspectives of diffusion are discussed.

Keywords: *agroenergy, lignocellulosic biomass, management practices, yield performances.*

Fra le erbacee a ciclo annuale il sorgo da biomassa è indubbiamente la specie di maggiore interesse per la produzione di bioenergia, grazie alle sue caratteristiche di rusticità, rapidità di crescita, resistenza allo stress idrico e termico, adattabilità ambientale, semplicità di coltivazione e produttività. Altri aspetti positivi della coltura sono il facile inserimento negli avvicendamenti colturali e la possibilità di utilizzare un parco macchine già presente nelle aziende. L'interesse crescente per questa specie deriva anche dal fatto che, trattandosi di pianta erbacea a ciclo annuale, consente, a differenza delle poliennali, un indirizzo produttivo flessibile.

Al sorgo da biomassa appartengono sia i tipi da fibra, sia i tipi zuccherini: le due tipologie, simili dal punto di vista morfologico, si caratterizzano per avere una elevata efficienza fotosintetica (C4), dote che si esalta particolarmente in ambienti caratterizzati da elevata intensità luminosa ed elevata temperatura, tipici del clima mediterraneo (Heichel, 1976).

Questa specie, a seconda delle tipologie, può alimentare le filiere: termoelettrica, biogas e, in prospettiva, bioetanolo di seconda generazione.

Di seguito vengono descritte le tecniche colturali della pianta con particolare riferimento alle aree del Centro-Nord Italia, ed evidenziando in particolar modo le recenti acquisizioni della ricerca.

Scelta del terreno ed avvicendamento colturale. Il sorgo, come la maggioranza delle specie d'interesse agrario, predilige terreni di medio impasto ben strutturati, fertili e profondi, tuttavia possiede notevoli capacità di adattamento ad una vasta gamma di

suoli compresi quelli argillosi pesanti, dove riesce ugualmente a sviluppare un apparato radicale sufficientemente profondo ed efficiente. Rifugge, invece, i terreni soggetti a ristagno idrico, in quanto asfittici e freddi. La pianta presenta notevole adattamento anche alla reazione del terreno (pH compreso fra 5.5 e 8.5) e buona tolleranza alla salinità (Rivelli *et al*. 2002; Yang *et al*. 1990).

Riguardo all'avvicendamento il sorgo da biomassa può essere considerato una coltura da rinnovo a semina primaverile tardiva che precede e segue in generale un cereale autunno-vernino. La omosuccessione è sconsigliabile, poiché provoca generalmente la diffusione di malerbe difficilmente controllabili con il diserbo chimico.

Preparazione del terreno. Il sorgo richiede una accurata preparazione del terreno, tale da consentire il massimo immagazzinamento di acqua, una regolare ed uniforme emergenza delle plantule ed un buon approfondimento radicale. Va considerato che in fase di germinazione il sorgo è molto sensibile agli eccessi idrici e ristagni; perciò, se necessario occorre provvedere innanzitutto al livellamento e alla sistemazione superficiale del terreno, nonché alla manutenzione o eventuale ripristino della rete di scolo.

Per la lavorazione del terreno l'intervento principale normalmente adottato consiste in una aratura a media profondità (30-35 cm) da eseguire già in estate o in autunno nei suoli argillosi. In alternativa, è preferibile eseguire una ripuntatura (a 40-50 cm), seguita da lavorazioni medio-superficiali tramite erpici a dischi o a denti. Le lavorazioni secondarie per rifinire il letto di semina devono essere eseguite possibilmente per tempo, in modo che le successive piogge possano uniformare l'umidità nello strato superficiale del terreno. Perciò prima della semina, è essenziale ridurre al minimo i passaggi sul terreno ed anche i movimenti del terreno stesso. Questi ultimi, in particolare, possono creare una minuta zollosità e favorire la dispersione di umidità pregiudicando le nascite, soprattutto se la semina non è seguita da piogge. L'eventuale inerbimento va eliminato mediante un trattamento chimico disseccante, subito prima della semina del sorgo. Al momento della semina il terreno non deve presentare grumi troppo grossi, che ostacolerebbero una regolare distribuzione del seme ed una uniforme profondità di semina, con effetti negativi sull'emergenza.

Scelta del germoplasma. I materiali genetici commercializzati sono ibridi con ciclo di 120-150 giorni, ottenuti dall'incrocio di linee maschiosterili da granella con linee da saggina.

Parallelamente al crescere dell'interesse per la realizzazione di colture ad uso energetico sta crescendo anche la gamma varietale dei sorghi da biomassa. Si tratta quasi esclusivamente di genotipi di costituzione Nord europea e, dunque, selezionati per ambienti pedo-climatici molto differenti dai nostri. Tuttavia vi sono fra essi tipi che rispondono molto bene anche nel Centro-Nord Italia (Di Candilo *et al*., 2010). Le prove di confronto varietale svolte nel biennio 2009-2010 a Rovigo, Anzola dell'Emilia (BO), Conselice (RA) e Osimo (AN) hanno messo in particolare evidenza

gli ibridi da fibra 'PSE 98456', 'Biomass 150' e 'Bulldozer' per vigore vegetativo, resistenza all'allettamento, rapporto culmi/biomassa e resa in sostanza secca. Per contro, hanno mostrato un ciclo medio-tardivo, che implica la raccolta non prima di metà settembre. Riguardo ai sorghi zuccherini i risultati ottenuti non sono chiari, in quanto i tipi commercializzati come tali hanno presentato concentrazioni zuccherine inferiori ad altri genotipi indicati come tipi da fibra. Ciò farebbe pensare ad una scarsa selezione dei materiali per questo carattere, oppure ad inadeguatezza del criterio di valutazione del carattere: oltre al Brix bisognerebbe valutare anche l'estraibilità del succo. Il sorgo, anche a causa della notevole altezza delle piante, è soggetto ad allettarsi con conseguenze negative sulla produzione e, soprattutto, sulla raccolta meccanica della biomassa. Perciò nella scelta delle cultivar, oltre alla produttività, occorre tenere in grande considerazione la resistenza all'allettamento (Foto 1).

Foto 1 - Confronto fra due genotipi resistenti all'allettamento (ai lati esterni dell'immagine) ed uno suscettibile, al centro.

Epoca e modalità di semina. Riguardo all'epoca di semina è necessario tener presente che il sorgo ha elevate esigenze termiche: i limiti minimi sono di 12-14°C per la germinazione e 16-18°C per lo sviluppo della pianta, mentre la temperatura ottimale di crescita è indicata in 27-28°C.

I risultati di un recente studio, svolto presso l'azienda agraria del Centro di Ricerca per le Colture Industriali ad Anzola dell'Emilia (BO), indicano che nel Nord Italia l'anticipo della semina, rispetto all'epoca consuetudinaria, non consente di anticipare

la raccolta, al fine di favorire l'essiccazione naturale della biomassa in campo dopo lo sfalcio. Di fatto, le massime rese sono state ottenute dalle coltivazioni impiantate a fine aprile-metà maggio e raccolte tardivamente a fine settembre. Le piante derivate dalle semine di marzo - inizio aprile, a causa delle temperature ancora relativamente basse, hanno manifestato uno sviluppo iniziale molto più lento rispetto a quelle ottenute dagli impianti di fine aprile-metà maggio. Paradossalmente l'anticipo della semina ha determinato un allungamento del ciclo colturale (Di Candilo *et al*., 2011).

Semine tardive, oltre metà maggio, sono egualmente sconsigliabili, poiché sin dalle primissime fasi la pianta verrebbe a trovarsi in condizioni molto sfavorevoli a causa della siccità, tali da non riuscire ad affrancare un apparato radicale sufficientemente sviluppato e di elevata efficienza.

La semina del sorgo viene normalmente eseguita con seminatrici di precisione pneumatiche con distanze fra le file pari a 45-50 o 70-75 cm, a seconda del tipo di meccanizzazione in uso (Bezzi *et al*., 2006). La densità di semina va calcolata tenendo conto che normalmente l'emergenza si aggira intorno al 60-75% del seme deposto e che l'investimento ottimale è di 10-12 piante m^{-2}. Ovviamente la quantità di seme ha^{-1} varia in relazione al peso 1000 semi. La bassa fittezza di piante, sensibilmente inferiore al sorgo da granella, ha lo scopo di favorire la formazione di culmi con diametro piuttosto elevato, meno sensibili all'allettamento.

Riguardo alla distanza fra le file, da un primo confronto fra colture con interfile da 45 e 75 cm, svolto ad Anzola dell'Emilia nel bolognese, è stato riscontrato che l'interfila stretta ha fornito risultati produttivi migliori. Di fatto, a parità d'investimento, l'interfila da 45 cm ha consentito una maggiore spaziatura delle piante sulla fila, con conseguente minore competizione fra le piante stesse per la ricerca di acqua ed elementi nutritivi.

La profondità di semina varia da 2-2.5 cm nei terreni argillosi a 3-3.5 cm in quelli sciolti. In questi ultimi subito dopo la semina è buona norma eseguire la rullatura per evitare che il terreno vicino al seme si asciughi. Tecnica da sconsigliare, invece, nei terreni limosi notoriamente soggetti alla formazione di crosta superficiale.

Esigenze nutritive e concimazione. Il sorgo è una graminacea e come tale ha notevole potere depauperante della fertilità del terreno, grosso modo le esigenze nutritive della coltura sono analoghe a quelle del mais. Le asportazioni si aggirano intorno a 10 kg di N, 3 kg di P_2O_5 e 12 kg di K_2O per tonnellata di sostanza secca prodotta (Sandona *et al*., 2009), che per una produzione media di 20 t ha^{-1} equivalgono ad un fabbisogno di 200 kg di N, 60 kg di P_2O_5 e 240 kg di K_2O. Tuttavia, gli apporti possono essere sensibilmente contenuti in virtù delle notevoli capacità della pianta di sfruttare le riserve presenti nel terreno (Barbanti *et al*., 2006) e pertanto le risposte alle somministrazioni azotate sono normalmente poco vistose. Ad ogni modo la concimazione deve tener conto anche del precedente colturale e della fertilità del terreno. Va anche considerato che il sorgo ha una buona efficienza d'uso dell'azoto (Fagnano *et al*., 2002; Lovelli *et al*., 2001). A conferma di quanto sopra evidenziato i

risultati di una prova realizzata nel bolognese confrontando quattro tesi di concimazione, di cui due organiche (con liquami zootecnici), una minerale (120 kg ha^{-1} di N e 120 kg ha^{-1} di P_2O_5) ed un testimone non concimato, non hanno evidenziato differenze produttive di rilievo fra le tesi.

Indicativamente, in terreni argillosi di media fertilità del Centro-Nord Italia sono sufficienti apporti di 100-120 kg ha^{-1} di N e 60-80 kg ha^{-1} di P_2O_5. Il potassio, pur essendo l'elemento assorbito in maggior quantità, può non essere distribuito nei terreni argillosi e di medio impasto, poiché normalmente ricchi di tale elemento.

Riguardo all'epoca è bene somministrare buona parte dell'azoto in pre-semina, come urea, e la parte rimanente in copertura, tenendo conto che gli apporti eccessivi e/o tardivi vanno evitati in quanto rendono molto più sensibile la coltura a fenomeni di allettamento.

Esigenze idriche e irrigazione. La coltura del sorgo è fra le più resistenti alla siccità. Di fatto, la specie si contraddistingue per elevata capacità di suzione dell'acqua dal terreno, grazie al vasto e profondo apparato radicale, nonché alla sua capacità di estrarre l'acqua dal suolo anche a valori tensiometrici molto bassi: segni di avvizzimento vengono evidenziati dalla pianta solo dopo che la disponibilità idrica nel terreno scende sotto il 20-30% della capacità di campo. La pianta riesce a contenere le perdite di acqua per evapotraspirazione, grazie alle piccole dimensioni degli stomi e alla cuticola cerosa che riveste sia il culmo che le foglie. Inoltre, quando la carenza idrica raggiunge livelli elevati per intensità e durata la pianta entra in stasi vegetativa, per riprendere poi l'accrescimento quando le condizioni ridiventano favorevoli. Va aggiunto infine che il sorgo ha una elevata efficienza d'uso dell'acqua (Habyarimana *et al*., 2004; Cosentino, 1996). In condizioni ottimali di rifornimento idrico è in grado di raggiungere produzioni superiori a 40 t ha^{-1} di sostanza secca ed una efficienza d'uso dell'acqua (WUE) pari a 4.8-5.3 gl^{-1}, assai elevata, specie se comparata con quella di altre colture nello stesso ambiente (Cosentino *et al*., 2006); in condizioni opposte la WUE migliora per effetto di una serie di modificazioni morfologiche, che gli garantiscono buona tolleranza agli stress idrici (Habyarimana *et al*., 2002; Kebede *et al*., 2001).

Considerando che il fabbisogno idrico complessivo della coltura, per una produzione di 20-25 t ha^{-1} di sostanza secca, è di 400-450 mm e che la coltura può attingere circa 300 mm dalle riserve idriche del terreno, l'apporto minimo di acqua da precipitazioni e/o da irrigazione, in terreni con buone risorse idriche, deve essere di almeno 100-150 mm.

Nel Centro-Nord Italia la coltura del sorgo da biomassa viene realizzata in asciutta, dato che nel corso del ciclo vegetativo le precipitazioni mediamente superano i 250-300 mm. Tuttavia, in considerazione dell'epoca di semina tardiva (fine aprile – metà maggio) si può rendere necessario un intervento irriguo alla semina per garantire la nascita delle piantine. Al riguardo, per evitare la formazione di crosta superficiale nei suoli limosi o molto argillosi è bene adottare impianti a bassa pressione.

Una volta superata la fase di insediamento della coltura l'irrigazione può risultare economica solo nei casi di forte deficit idrico (Habyarimana *et al*., 2004).

Diserbo. Subito dopo l'emergenza, per oltre un mese, il sorgo presenta un accrescimento molto lento e per questo le malerbe possono prendere il sopravvento. Di qui la necessità di mettere in atto interventi di vario tipo per la lotta contro la flora infestante. Ci si riferisce in particolare alla tecnica della falsa semina e ad interventi di diserbo chimico di pre- e post-emergenza. La disponibilità di erbicidi registrati per il sorgo è molto scarsa; d'altro canto l'epoca di semina tardiva (fine aprile - metà maggio) consente di valorizzare appieno la pratica della falsa semina, con azzeramento della flora infestante al momento della semina tramite trattamento chimico disseccante (glifosate). Per interventi chimici di pre-emergenza buoni risultati contro le dicotiledoni possono essere ottenuti con aclonifen (p.c. Challenge) in dose di 1-1,5 l ha^{-1}. Contro le graminacee, invece, è possibile utilizzare la miscela già formulata "terbutilazina+S-metolaclor" (Primagram Gold) in dose di 2-3,5 l ha^{-1}, con la cautela di intervenire in post-emergenza della coltura, precocemente (2-3 foglie) e con infestanti appena emerse o ancora in fase di germinazione. Per interventi di post-emergenza più tardivi, contro la maggior parte delle infestanti dicotiledoni, si può ricorrere alla miscela "2,4-D+MCPA" (p.c. U46 Combi Fluid) alla dose di 0,3-0,5 l ha^{-1}, attivata con 2-3 l ha^{-1} di olio minerale.

Foto 2 - Raccolta del sorgo con falcia-trincia-caricatrice (Conselice-RA, agosto 2009).

Epoche di raccolta e potenzialità produttive. L'epoca di raccolta del sorgo varia in relazione alla destinazione del prodotto, all'ambiente di coltivazione e al ciclo della varietà. Per l'impiego in digestori per la produzione di biogas è consigliabile raccogliere dopo la fioritura quando la sostanza secca è superiore al 30%. Per impieghi in impianti di termo-conversione è preferibile ritardare la raccolta alla prima metà di settembre per massimizzare la resa. Oltre tale termine negli areali del Nord Italia aumentano notevolmente le probabilità di eventi piovosi, che uniti agli abbassamenti termici, rendono difficoltoso l'essiccazione della biomassa in campo dopo lo sfalcio. Di fatto, a causa della presenza di midollo spugnoso all'interno del culmo e del rivestimento ceroso della pianta la perdita di umidità avviene molto lentamente; di qui la necessità di eseguire la raccolta quando il decorso stagionale è ancora abbastanza caldo e asciutto. In ogni caso, per favorire il processo di disidratazione e ridurre i tempi di esposizione in campo del prodotto sfalciato è fondamentale impiegare falcia-condizionatrici in grado di realizzare una frequente ed omogenea fessurazione dello stelo (Foto 3), oltre ad una uniforme deposizione a terra, evitando accumuli e facilitando la circolazione dell'aria (Pari *et al*., 2009).

Foto 3 a,b - Fasi di raccolta del sorgo da biomassa per termo-conversione: sfalcio con falcia-condizionatrice (a sinistra) e pressatura della biomassa dopo l'essiccazione (a destra).

Le potenzialità produttive della coltura negli ambienti del Centro-Nord Italia sono di assoluto interesse (Di Candilo *et al*., 2008 e 2009): mediamente vengono raggiunte le 18-20 t ha^{-1} di sostanza secca in "asciutta". Rese che potrebbero anche aumentare con una più oculata scelta varietale e con lieve intensificazione colturale. Riguardo al primo aspetto va rimarcato che il miglioramento genetico della specie ha reso disponibili genotipi a ciclo medio-tardivo, resistenti all'allettamento, dotati di notevole adattamento ambientale ed elevate capacità produttive. Relativamente alla fitotecnica è molto importante adottare densità di semine adeguate, dosare bene la concimazione azotata ed eventualmente, laddove possibile, supportare la coltura con un intervento irriguo di soccorso durante la levata in caso di andamento stagionale particolarmente siccitoso.

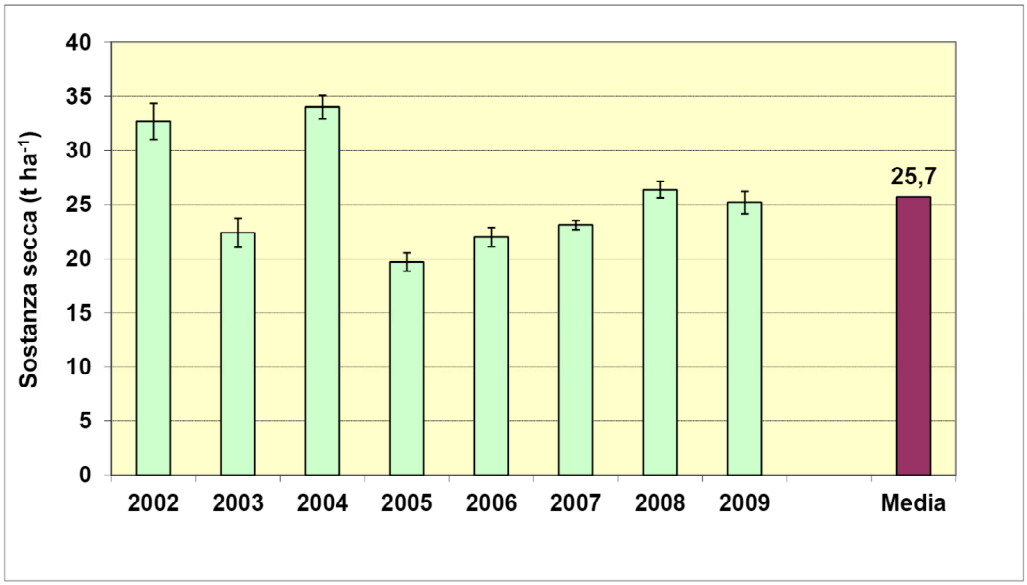


Figura 1 - Andamento delle rese del sorgo da biomassa nel bolognese negli anni 2002-2009.

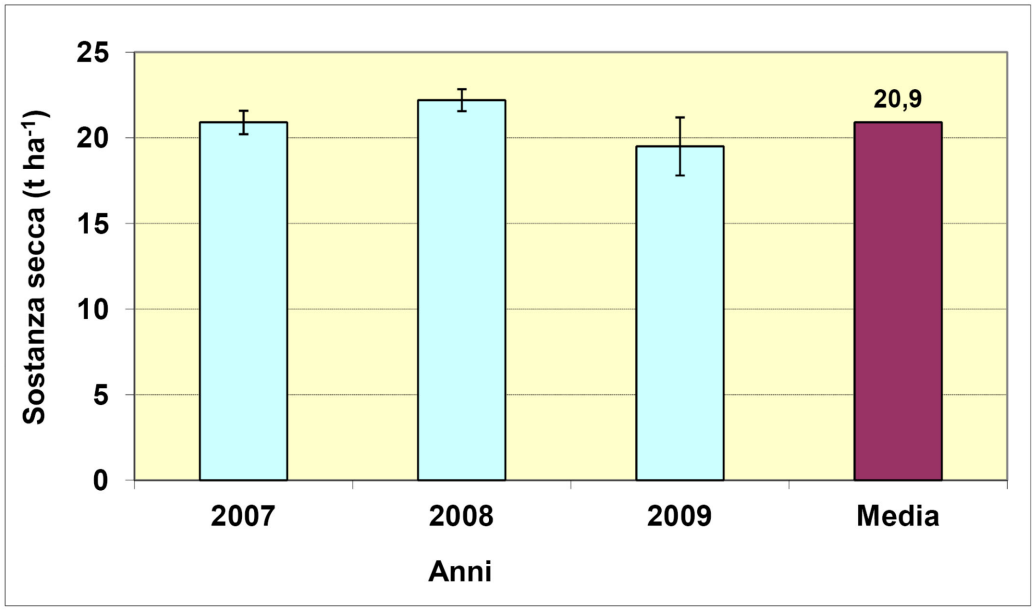


Figura 2 - Produzioni di sorgo da fibra (cv. B. 133) ottenute a Conselice-RA nel triennio 2007-09.

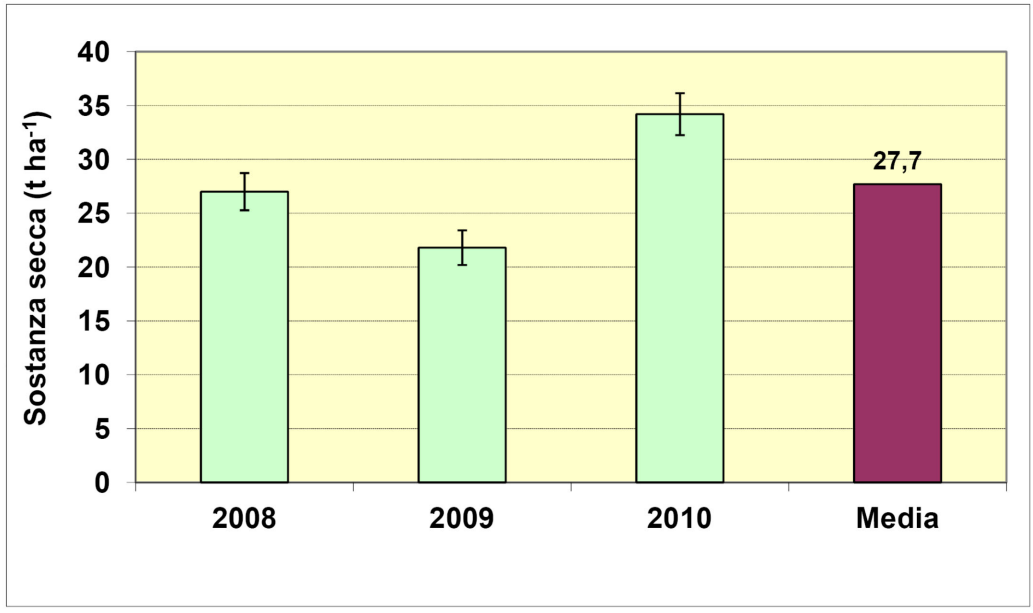


Figura 3 - Produzioni di sorgo da fibra (cv. B. 133) ottenute ad Osimo-AN nel triennio 2008-2010.

Nelle figure 1, 2 e 3 sono riportate, rispettivamente, le produzioni medie di sostanza secca ottenute da prove parcellari realizzate in asciutta ad Anzola dell'Emilia-BO (negli anni 2002-2009), a Conselice-RA (nel triennio 2007-2009) e ad Osimo-AN (nel triennio 2008-2010). Le sensibili variazioni di resa fra annate registrate ad Anzola e ad Osimo sono state indotte principalmente dai diversi andamenti stagionali più o meno siccitosi: ad Osimo, per esempio, nei mesi di luglio e agosto si sono avute precipitazioni per 110 mm nel 2010 e 70 mm nel 2009.

Destinazioni. Il prodotto, a seconda delle tipologie varietali, può essere destinato alla conversione termochimica per la produzione di calore ed energia elettrica (sorgo da fibra), alla produzione di biogas (sorgo zuccherino) o, in prospettiva, alla produzione di bioetanolo di "II generazione" previa idrolisi della cellulosa in zuccheri semplici.

Riguardo alla filiera termo-elettrica la principale criticità del sorgo da fibra è rappresentata dalla bassa qualità della biomassa, per l'alto contenuto in ceneri e silice.

Prospettive della coltura. Il sorgo da biomassa è indubbiamente la specie più interessante fra le erbacee a ciclo annuale per la produzione di bioenergia, e la sua coltivazione ha buone prospettive di notevole espansione in Italia, ancor prima di altre specie. Il principale punto di forza di questa coltura è che avendo un ciclo di vita annuale non impegna permanentemente il terreno per un lungo periodo e, pertanto, si inserisce bene nei cicli tradizionali di rotazione colturale. Tale flessibilità, in una fase di mercato ancora incerto, quale è quella attuale, rassicura molto l'imprenditore

agricolo che intende avviare nella sua azienda la produzione di biomassa ad uso energetico senza vincoli a lungo termine.

Altro fattore che spinge alla coltivazione del sorgo è rappresentato dalla sua elevata adattabilità ambientale: grazie alla resistenza alla siccità è una delle poche specie che si adatta anche alle condizioni caldo-aride del Mezzogiorno, con il supporto di qualche intervento irriguo di soccorso. Inoltre, a differenza delle colture arboree a breve turno di ceduazione e dell'Arundo, ad esempio, non richiede elevati costi d'impianto, né attrezzature particolari, ma può essere gestito, dalla semina alla raccolta, con le normali macchine da fienagione normalmente già disponibili nelle aziende agricole.

Il terzo vantaggio di questa coltivazione, di non poco conto, è la grande flessibilità della destinazione d'uso del prodotto. La sua biomassa può alimentare impianti di combustione per la produzione di calore e/o impianti di cogenerazione per l'ottenimento di calore ed elettricità. Per tale tipo d'impiego, come già accennato, la qualità della biomassa è piuttosto carente a causa dell'alto contenuto in ceneri e silicio, problema che tuttavia non provoca conseguenze di rilievo sulle centrali di nuova concezione.

Il sorgo zuccherino, oltre che alla conversione termochimica, può essere destinato alla filiera del bioetanolo attraverso spremitura e fermentazione del succo dei culmi; la bagassa invece può essere combusta per la produzione di calore ed elettricità necessari al funzionamento dello stabilimento.

Inoltre, il sorgo zuccherino può trovare un vastissimo impiego nella filiera del biogas. In Germania sono circa 500.000 ettari le colture dedicate alla produzione di biogas, fra le quali c'è anche il sorgo. L'Italia al momento è al terzo-quarto posto per produzione di biogas a parità di merito con la Francia. Gli impianti già esistenti sono 200, altri 74 sono in costruzione e vista l'ottima riuscita delle filiere attivate, quasi interamente nel Nord Italia, se ne può prevedere una espansione nel breve-medio periodo in tutta la Penisola.

In prospettiva, altra possibile destinazione d'uso della biomassa di entrambe le tipologie di sorgo (da fibra e da zucchero) sarà la produzione del bioetanolo di "II generazione".

In vista dell'espansione della coltura occorre promuovere la ricerca per la risoluzione delle problematiche ancora aperte, quali:

i) selezione di genotipi resistenti a temperature relativamente basse in fase di germinazione, tale da poter anticipare l'epoca di semina, beneficiando così della piovosità di fine inverno-inizio primavera nel Centro-Sud, e poter anticipare la raccolta nel Nord in epoca più favorevole all'essiccazione naturale della biomassa in campo, dopo lo sfalcio;
ii) selezione di nuove cultivar più produttive e più resistenti all'allettamento, nonché con maggiore contenuto zuccherino (nelle tipologie da zucchero);
iii) razionalizzazione dei cantieri di raccolta,

iv) nel caso di filiera lunga, occorre valutare meglio l'impatto ambientale connesso con la logistica dei trasporti come la distanza dal centro di stoccaggio ed i costi ambientali del trasporto della biomassa stessa.
v) Miglioramento dell'efficienza della fase agricola e di quella di trasformazione.

Bibliografia

Barbanti L., Grandi S., Vecchi A., Venturi G. (2006). Sweet and fibre sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), energy crops in the frame of environmental protection from excessive nitrogen loads. European Journal of Agronomy, 25: 30-39.

Bezzi, G., Monti, A., Venturi, G. (2006). Colture da energia: tecniche di coltivazione e gestione economica. Agricoltura, 30 (suppl.): 24-30.

Cosentino S. (1996). Crop physiology of sweet *Sorghum* (*Sorghum bicolor* L. Moench) in relation to water and nitrose stress. Proceedings of the "First European Seminar on Sorghum", Tolosa, april 1-3, 30-41.

Cosentino S., Foti S., Venturi G., Giovanardi R., Copani V., Mantineo M., D'Agosta G., Bezzi G., Tassan Mazzocco G., 2006. Agroindustria, 4, 1, 35-48.

Di Candilo M., Ceotto E., Barbanti L., Fazio S., Monti A., Venturi G. (2009). Le colture ligno-cellulosiche per la produzione di biomassa da energia. In: Ranalli P. (Ed.) Le piante industriali per una agricoltura multifunzionale. *Edizioni Avenue Media*, 2009. Capitolo 9, pp. 199-244. ISBN: 978-88-86817-53-0.

Di Candilo M., Ceotto E., Del Gatto A., Mangoni L., Pieri S., Diozzi M., 2010. Valutazione delle caratteristiche produttive ed energetico-qualitative di varietà di sorgo da fibra e da zucchero in ambienti del Centro-nord Italia. Dal Seme, 3, 46-55.

Di Candilo M., Ceotto E., Diozzi M., 2008. Comparison of 7 ligno-cellulosic biomass feedstock species: 6-years results in the Low Po Valley. In: Rossi Pisa P. (ed.) 10th Congress of the European Society of Agronomy, Bologna, Multifunctional Agriculture, Agriculture as a Resource for Energy and Environmental Preservation. *Italian Journal of Agronomy*, Vol. 3, No. 3 suppl., 481-482.

Di Candilo M., Ceotto E., Diozzi M., 2011. Biomass yield of sweet and fiber sorghum (*Sorghum bicolour* L. Moench) under nine combinations of sowing and harvest timing. Proceedings of 19th European Biomass conference and Exhibition, 6-10 June 2011, Berlin, Germany.

Fagnano M., Postiglione L., 2002. Sorgo da energia in ambiente mediterraneo: effetto della concimazione azotata con limitati apporti idrici. Rivista di Agronomia, 36, 227-232

Habyarimana E., Laureti D., De Ninno M., Lorenzoni C., 2004. Performances of biomass sorghum (Sorghum bicolor (L.) Moench) under different water regimes in Mediterranean regions. Industrial Crops and Products, 20, 23-28

Habyarimana E., Laureti D., Di Fonzo N., Lorenzoni C. (2002). Biomass production and drought resistance at the seedling stage and in field conditions in *Sorghum*. *Maydica* 47: 303-309.

Heichel G.H., 1976. Agricultural production and energy resources. Am. Scientist 64, 64-72.

Kebede H., Subudhi P.K., Rosenow D.T., Nguyen H.T. (2001). Quantitative trait loci influencing drought tolerance in grain sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Theor. Appl. Genet.* 103: 266-276.

Lovelli S., Perniola M., Monteleone M., Nardiello I., Rivelli A.R. (2001). Bilancio e dinamica dell'azoto in coltura di sorgo zuccherino (*Sorghum vulgare* L. var. *saccharatum*): aspetti agronomici ed ambientali. *Atti del 34th Convegno della Società Italiana di Agronomia*. Pisa 17-21 settembre 2001, 188-189.

Pari L., Assirelli A., Suardi A. (2009), Migliorato il condizionamento del sorgo da fibra alla raccolta. L'Informatore Agrario, Supplemento al n. 29: 16-18.

Rivelli A.R., Lovelli S., Nardiello I., Perriola M., Gherbin P. (2002) Effetto della salinità sull'accrescimento e sulla risposta produttiva del sorgo da carta. *Rivista di Agronomia*, 36, 133-139.

Sandona M., Giovanardi R., Campagna G., 2009. Sorgo da biomassa: i primi test sono positivi. Agricoltura (Gennaio 2009), 69-71.

Yang Y.W., Newton R.J., Miller F.R. (1990). Salinity tolerance in *Sorghum*. I. Whole plant response to sodium chloride in *S. bicolor* and *S. halepense*. *Crop Science*, 30, 775-781.

b - Valutazione agronomica e caratterizzazione di genotipi di sorgo per la produzione di biomassa lignocellulosica nel Centro-Nord Italia

Agronomical evaluation and genotypic characterization of sorghum for the production of lignocellulosic biomass in central and Northern Italy

Mario Di Candilo*, Andrea Del Gatto*, Sandro Pieri*, Michele Diozzi*

Riassunto

Nel biennio 2009-2010 sono state realizzate prove di confronto fra ibridi di sorgo di differenti tipologie (tipi da fibra, tipi zuccherini e tipi da foraggio) in ambienti del Centro-Nord Italia. Nel primo anno sono stati valutati 16 ibridi in combinazione con tre epoche di raccolta ad Anzola dell'Emilia (BO), Conselice (RA) e Osimo (AN). E' stato adottato uno schema sperimentale a parcella suddivisa con tre ripetizioni, con randomizzazione delle varietà nelle parcelle e delle raccolte nelle sub-parcelle. Nel secondo anno le prove sono state svolte in due delle località precedenti (Anzola dell'Emilia e Osimo) e a Rovigo, secondo uno schema a blocco randomizzato con tre ripetizioni. La semina è stata eseguita a macchina a distanze di 45 cm fra le file e 8 cm sulla fila, per un investimento teorico atteso di 16-18 piante m^{-2}. Alle raccolte sono stati rilevati i caratteri biometrici delle piante (culmi m^{-2}, altezza e diametro dei culmi), la resistenza all'allettamento, la produzione di biomassa, l'umidità di quest'ultima, i rapporti fra le componenti della biomassa (culmi, foglie e panicoli) e la concentrazione zuccherina dei succhi (°Brix). Limitatamente alla prova del 2009 svolta ad Anzola dell'Emilia sono stati rilevati anche

* CRA – Centro di Ricerca per le Colture Industriali, Bologna.

i caratteri energetico-qualitativi della biomassa (potere calorifico, ceneri e comportamento di queste ultime alla fusione). I risultati ottenuti confermano l'elevata produttività del sorgo da biomassa: i genotipi "PSE 98456", "Biomass 150", "Bulldozer", "Biomass 140" e "Biomass 133" hanno evidenziato buona resistenza all'allettamento, alto rapporto culmi/biomassa ed alta resa in sostanza secca (oltre 30 t ha^{-1}). Per contro, hanno mostrato un ciclo medio-tardivo. Sotto il profilo energetico-qualitativo non sono state riscontrate differenze di rilievo: i valori del potere calorifico in quasi tutti i genotipi hanno superato di poco i 17 MJ kg^{-1} di sostanza secca.

Parole chiave: sorgo da biomassa, adattamento ambientale, potenzialità produttive.

Abstract

In 2009 and 2010 trials comparing different sorghum hybrids (fiber, sugar and forage types) were carried out in Central and Northern Italy. During 2009, 16 hybrids combined with three harvesting periods were evaluated at Anzola dell'Emilia (BO), Conselice (RA) and Osimo (AN). A split plot experimental scheme has been adopted, with three replicates and random distribution of the genotypes in the main plots and harvesting date in the subplots. In 2010 the experiments were carried out at two of the mentioned locations (i.e. Anzola dell'Emilia and Osimo) and at Rovigo, following a randomized block design with three replicates. Mechanized sowing was performed with a 45 cm distance between the rows and 8 cm on the row. At harvest time were measured: the biometric traits stem density, stem height and stem basal diameter; the resistance to lodging; the biomass yield and its moinsture content; the fraction of leaves, stems and panicles over the total aboveground biomass; and the sugar concentration of the stem juice (°Brix). As for the 2009 trial at Anzola dell'Emilia, the energy and quality traits were also measured (lower and higher heating values, ash contents and their temperature melting point). The results obtained confirmed the high productivity of biomass sorghum: the genotypes "PSE 98456", "Biomass 150", "Bulldozer", "Biomass 140" and "Biomass 133" showed good lodging resistance, high Stem/biomass ratio and high dry matter yield (over 30 t ha^{-1}). Nevertheless, the mentioned hybrids are characterized by a medium-late growing season. From the energetic-qualitative viewpoints, no substantial differences were detected, since the energy content of the harvested biomass was around 17 MJ kg^{-1} d.m. for all genotypes.

Keywords: *biomass sorghum, environmental adaptation, potential productivity.*

Introduzione

Con riferimento alle filiere 'termo-elettrica' e 'bioetanolo', le ricerche svolte in questi ultimi anni hanno permesso di individuare le specie più idonee al territorio nazionale (Di Candilo *et al*., 2009). Queste comprendono piante erbacee annuali (sorgo da fibra e sorgo zuccherino), piante erbacee perenni (canna comune, miscanto, panìco e

cardo) e piante arboree a rapido accrescimento (pioppo, salice, robinia ed eucalipto) coltivate secondo la tecnica della selvicoltura a ciclo breve, conosciuta anche come Short Rotation Forestry (SRF). Al momento, solo il pioppo è coltivato su alcune migliaia di ettari fondamentalmente nel nord della Penisola (in particolare in Lombardia e Veneto), non perché sia la specie più produttiva, ma per il fatto che in questo caso è già disponibile un buon pacchetto tecnologico, in termini di conoscenze agronomiche, varietà, macchine operatrici per l'impianto delle coltivazioni e per la raccolta della biomassa (Facciotto *et al*., 2007).

Per altre specie, talune delle quali con notevoli potenzialità produttive (canna comune, miscanto), vi sono alcuni aspetti ancora da approfondire prima di poter espandere la loro coltivazione su larga scala (Di Candilo e Ceotto, 2010).

Fra le specie erbacee a ciclo annuale il sorgo da fibra e quello zuccherino presentano notevoli potenzialità. Le due tipologie, simili dal punto di vista morfologico, si caratterizzano per avere un ciclo fotosintetico C4 (elevata efficienza di fissazione della CO_2), buona tolleranza agli stress idrici (Xu *et al*, 2000; Kebede *et al*. 2001; Habyarimana *et al*., 2002), buon adattamento ad una vasta gamma di terreni, compresi quelli salsi, e buona efficienza d'uso dell'acqua (Habyarimana *et al*., 2004; Cosentino, 1996) e dell'azoto (Fagnano *et al*., 2002; Lovelli *et al*., 2001).

Altri aspetti positivi della coltura sono: il facile inserimento negli avvicendamenti colturali, trattandosi di specie a ciclo annuale; la buona conoscenza della tecnica di coltivazione; e la possibilità di utilizzare un parco macchine già presente in azienda.

Una criticità del sorgo, evidente soprattutto nel Nord-Italia per le varietà a ciclo più lungo, riguarda la scarsa propensione della biomassa all'essiccazione naturale in campo dopo lo sfalcio. La lenta disidratazione è dovuta a motivi strutturali della pianta, ovvero al fatto che l'umidità è concentrata soprattutto nel midollo centrale del fusto e che le foglie e lo stesso fusto sono cutinizzati e coperti di pruina.

In questi ultimi anni, parallelamente al crescere dell'interesse per la realizzazione di colture ad uso energetico, si sta ampliando anche la gamma varietale dei sorghi da biomassa. Si tratta, quasi esclusivamente di genotipi di costituzione Nord europea, e dunque selezionati per ambienti pedo-climatici molto differenti dai nostri. Pertanto, nell'ambito del progetto "Supporto Scientifico alla Conversione Agronomica verso le Colture Energetiche – SuSCACE", finanziato dal MiPAAF, si è ritenuto opportuno realizzare prove di confronto varietale in località del Centro-Nord Italia, con l'obiettivo di caratterizzare il germoplasma disponibile sotto il profilo morfo-biometrico, produttivo ed energetico-qualitativo, tale da individuare le varietà più idonee per la produzione di biomassa lignocellulosica negli areali considerati. Di seguito si riportano le metodologie e i risultati relativi a prove svolte nel biennio 2009-2010.

Materiali e metodi

Anno 2009. In tale annata le prove sono state realizzate ad Anzola dell'Emilia (BO), Conselice (RA) e Osimo (AN), mettendo a confronto 16 varietà, in combinazione

con tre epoche di raccolta. In tabella 1 sono indicate le cultivar, le ditte fornitrici del seme e le tipologie varietali dichiarate.

Tabella 1 - Varietà testate nel 2009.

Varietà	Casa sementiera	Tipologia
Biomass 133	Syngenta Seeds	fibra
Sucre 506	Syngenta Seeds	zuccherino
Biomass 140	Syngenta Seeds	fibra
S.S. 15	Caussade Semences	zuccherino
S.S. 18	Caussade Semences	zuccherino
S.S. 20	Caussade Semences	zuccherino
Bovital	Carla import Sementi	foraggio
Herkules	Carla import Sementi	fibra
Bulldozer	KWS Italia	fibra
SilageKing	KWS Italia	zuccherino
Padana 1	Padana Sementi	fibra
Padana 4	Padana Sementi	fibra
Sugargraze	Padana Sementi	zuccherino
Nectar	Padana Sementi	zuccherino
P 811	Pioneer Italia	foraggio
P 849	Pioneer Italia	foraggio

Il protocollo sperimentale, comune per le tre località, era basato sui seguenti criteri operativi:

- schema sperimentale a parcella suddivisa, con tre ripetizioni e randomizzazione delle varietà nelle parcelle e delle raccolte nelle sub-parcelle;
- parcella elementare di 20 m^2;
- semina a macchina nella prima decade di maggio, con deposizione del seme a distanze di 50 cm fra le file e 8 cm sulla fila;
- densità di semina di 25 semi m^{-2}, per un investimento teorico atteso di 17-18 piante m^{-2};
- concimazione fosfo-azotata in relazione alle caratteristiche del terreno;
- controllo delle infestanti con interventi chimici e meccanici;
- interventi irrigui di soccorso, tranne che a Conselice;
- date di raccolta differenziate per località, in relazione al ciclo biologico delle cultivar;
- raccolta a mano nelle due località del Nord, e tramite falcia-trincia-caricatrice parcellare ad Osimo;
- rilievi per parcella alla raccolta: i) densità d'investimento; ii) altezza pianta; iii) diametro basale del culmo; iv) numero di nodi/culmo; v) produzione di biomassa fresca, ripartita nelle sue componenti (culmi, foglie e panicoli); vi) percentuali di umidità di queste ultime; vii) grado zuccherino (°Brix); e limitatamente alla prova svolta ad Anzola dell'Emilia, viii) potere calorifico; ix) contenuto in ceneri, e x) temperatura di fusione di queste ultime;

- rilievo dei principali parametri climatici (temperature e precipitazioni);
- i dati rilevati nelle tre località sono stati elaborati in modo combinato, si è quindi eseguito la scomposizione della varianza totale nelle quote relative alle diverse fonti di variazione (effetti principali ed effetti di interazione); infine, è stato svolto il confronto fra le medie secondo il test di Duncan, nel caso degli effetti principali, e con il calcolo delle differenze minime significative (DMS), nel caso delle interazioni.

In tabella 2 sono riportate per ciascuna località le principali informazioni agronomiche sulla conduzione delle prove (tipo di terreno, precessione colturale, interventi colturali, mezzi tecnici impiegati e loro dosi, ecc.).

Tabella 2 - Scheda agronomica delle prove svolte nel 2009.

	Anzola Emilia (BO)	Conselice (RA)	Osimo (AN)
Tipo terreno	limo-argilloso	argillo-limoso	medio impasto
Giacitura	pianeggiante	pianeggiante	pianeggiante
Precessione	frumento tenero	sorgo	frumento duro
Lavori preparatori	aratura	aratura	aratura
Lavori complement.	2 erpicature	2 erpicature	2 erpicature
Diserbo	propaclor in pre-emerg.	propaclor in pre-emerg.	Stomp in pre-sem.
Semina	6/5	8/5	7/5
Rullatura	--	--	7/5
Emergenza	15-18/05	17-19/05	18/5
Irrigazione ausiliaria	2 (60 mm) 21/5, 11/6	--	4 interv. (30 mm)
Sarchiatura	2 (1/6, 20/6)	1 (3/6)	1 (29/5)
Concimazione	150 kg/ha di P_2O_5 120 kg/ha di N	92 kg/ha di P_2O_5 75 kg/ha di N	90 kg/ha di P_2O_5 83 kg/ha di N
Raccolta	1/8-20/8; 2/9-20/9 4/10-20/10	11/8, 10/9, 7/10	25/8, 15/9, 5/10

Anno 2010. Anche in questo secondo anno sono state valutate 16 varietà, di cui 9 già testate nel 2009 e 7 di nuovo inserimento (Tab. 8), mentre le località considerate sono state Rovigo, Anzola dell'Emilia (BO) e Osimo (AN). La metodologia sperimentale adottata è stata quella indicata per il 2009, tranne che per la raccolta eseguita in una sola epoca, ma differenziata per varietà, in relazione alla data di emissione del panicolo.

Andamento meteo

La piovosità pluriennale complessiva, nel periodo compreso fra inizio aprile e fine settembre è di 270 mm ad Anzola E., 318 mm a Conselice e 372 mm ad Osimo. Nel 2009 le precipitazioni cumulate, corrispondenti allo stesso periodo, si sono differen-

ziate dalle medie poliennali in tutte le località ed in particolar modo a Conselice e Osimo. Di fatto, ad Anzola E. ha piovuto meno della norma soprattutto in maggio (-52 mm) e agosto (-16 mm), a Conselice le stesse sono risultate sensibilmente inferiori ai valori medi in giugno e luglio e sono mancate del tutto successivamente fino alla raccolta (-55%). Ad Osimo, invece, le precipitazioni sono state rilevantemente superiori alla media in aprile, maggio e giugno (+132%), mentre sono state inferiori in luglio e settembre.

Riguardo all'andamento termico, le medie decadiche delle temperature minime ad Anzola E. e ad Osimo sono state analoghe ai valori medi poliennali, a Conselice invece sono state inferiori alla norma in giugno, durante la prima fase di crescita delle plantule. Le medie decadiche delle temperature massime ad Anzola E. sono state superiori alla norma (+ 1-2 °C) nelle ultime due decadi di maggio e nelle prime due di giugno e poi nuovamente in tutto il mese di agosto (+ 3-4 °C) e a fine settembre. Andamenti analoghi si sono avuti anche nelle altre due località.

Nel 2010 nel periodo aprile-settembre si sono avute precipitazioni superiori alle medie poliennali per 84 mm a Rovigo, 130 mm ad Anzola dell'Emilia e 112 mm ad Osimo. I valori delle temperature invece non si sono discostate sensibilmente dalla norma.

Risultati

I risultati delle due annate vengono presentati separatamente, poiché sia le varietà indagate, sia le località delle prove non sono coincidenti.

Anno 2009

Fenologia delle piante e suscettibilità all'allettamento

La sufficiente umidità del terreno, assicurata dalle precipitazioni e/o da interventi irrigui, e le temperature relativamente alte in maggio hanno consentito una regolare emergenza delle plantule dopo 9-12 giorni dalla semina, in tutte le località. Successivamente, le piantine hanno assunto un buon ritmo di crescita ad Anzola e Osimo. A Conselice, invece, a causa delle scarsissime precipitazioni e della mancanza di interventi irrigui ausiliari, la coltura ha mostrato uno sviluppo lento, con conseguente minore competitività nei confronti delle infestanti.

Le varietà si sono differenziate per data di fioritura: ad Anzola il genotipo più precoce è stato 'Bovital' (7/7), sono seguite poi 'S.S.15' e 'S.S.20' (11/7), 'Padana 1' e 'Biomass 133' (15/7), nonchè 'Sucre 506' (18/7); le più tardive sono state 'Biomass 140' (28/7), 'Nectar' (30/7), 'Bulldozer' (14/8), 'P.811' e 'P.849'. Queste ultime due varietà alla terza raccolta non avevano ancora differenziato l'infiorescenza. A Conselice si è avuta la stessa graduatoria di fioritura, ma con un ritardo di 3-5 giorni rispetto alla località precedente.

Il panicolo ha presentato aspetto differente a seconda della varietà; più in particolare, in 'S.S.15', 'S.S.18', 'S.S.20' e 'Silageking' si è avuta una infruttescenza compatta, analoga a quella del sorgo da granella; in 'Padana 1', 'Sucre 506', 'Sugargraze', 'Nectar' e 'P.849' il panicolo si è presentato inizialmente raccolto, per poi tendere ad aprirsi a maturazione; infine, 'Biomass 133', 'Biomass 140', 'Bovital', 'Herkules' e 'Bulldozer' hanno presentato panicolo aperto.

Ad Anzola Emilia, dove le piante hanno raggiunto le maggiori altezze, si è avuta differenziazione varietale anche per suscettibilità all'allettamento, rilevata a fine agosto. Di fatto, i genotipi più sensibili sono stati 'Padana 1' (100% di piante allettate), 'S.S.18' (90%), 'Sugargraze' (83%) e 'P.849' (78%), mentre si sono mostrate totalmente resistenti 'Bulldozer', 'Biomass 140', 'Biomass 133', 'Sucre 506', 'S.S.15', 'Herkules' e 'P.811'.

Effetti medi delle località

Gli ambienti hanno indotto effetti significativi sia sulle caratteristiche biometriche che produttive delle piante (Tab. 3). In particolare, ad Anzola E. sono stati rilevati: maggiore altezza delle piante, maggior diametro basale dei culmi e maggiore produzione sia in biomassa fresca che in sostanza secca. Ad Osimo si è avuta la maggiore densità d'investimento alla raccolta (20 piante m^{-2}), mentre a Conselice sono stati riscontrati i valori più elevati di umidità della biomassa fresca e del grado zuccherino (°Brix). Per le motivazioni precedentemente esposte, in questa località si è avuta la produzione più bassa di sostanza secca (16.5 t ha^{-1}, in media).

Tabella 3 - Effetti medi delle località sulle caratteristiche biometriche e produttive delle piante (medie relative alla raccolta più produttiva di ciascun genotipo in ciascun ambiente nel 2009).

Caratteri		Anzola E. (BO)	Conselice (RA)	Osimo (AN)
Culmi m^{-2}	(n.)	17.4 b	13.1 c	20.3 a
Altezza pianta	(cm)	317.4 a	252.1 b	184.1 c
Diametro basale culmo	(mm)	18.2 a	17.3 b	17.0 b
Biomassa fresca	(t ha^{-1})	78.8 a	53.3 b	55.6 b
Umidità	(%)	66.3 b	68.6 a	66.5 b
Culmi/biomassa	(%)	58.2 a	57.6 a	63.2 b
Panicoli/biomassa	(%)	19.9 a	18.8 a	16.8 b
Culmi secchi	(t ha^{-1})	15.2 a	9.5 c	11.7 b
Foglie secche	(t ha^{-1})	5.7 a	3.9 b	3.7 b
Panicoli secchi	(t ha^{-1})	5.2 a	3.1 b	3.1 b
Sostanza secca totale	(t ha^{-1})	26.1 a	16.5 c	18.5 b
°Brix		15.3 b	16.9 a	13.0 c

A lettere diverse della stessa riga corrispondono valori diversi per P≤0.05 secondo il test di Duncan.

Effetti medi delle raccolte

Passando dalla prima alla seconda raccolta (Tab. 4) è cresciuta significativamente l'altezza media delle piante (+6.1%); al contrario, la produzione di biomassa fresca è diminuita sensibilmente per effetto della riduzione dell'umidità in essa presente. Procastinando l'epoca di raccolta è aumentata l'incidenza dei culmi sulla biomassa

totale (+1.7 e +8.9%). In terza raccolta è stata ottenuta la maggiore resa in sostanza secca (20 t ha^{-1}), grazie all'incremento della produzione di steli in valore assoluto (+2.5 t ha^{-1}). Al riguardo, però, va sottolineato che vi è stata interazione significativa fra raccolte e località.

Tabella 4 - Effetti medi delle raccolte sulle caratteristiche delle piante (2009).

Caratteri		I Raccolta	II Raccolta	III Raccolta
Altezza pianta	(cm)	241.3 b	255.9 a	253.3 a
Nodi/culmo	(n.)	10.8 b	10.8 b	11.5 a
Biomassa fresca	(t ha^{-1})	66.2 a	58.7 b	60.4 b
Umidità	(%)	73.1	69.9	66.4
Culmi/biomassa	(%)	64.0 c	65.7 b	72.9 a
Culmi secchi	(t ha^{-1})	10.2 b	10.0 b	12.7 a
Foglie secche	(t ha^{-1})	4.8 a	4.2 b	4.0 b
Panicoli secchi	(t ha^{-1})	2.4 b	3.3 a	3.3 a
Sostanza secca totale	(t ha^{-1})	17.4 b	17.5 b	20.0 a
°Brix		10.8 c	14.7 b	17.1 a

Il grado zuccherino, ancor più della biomassa, in media ha risentito dell'epoca di raccolta aumentando significativamente sia in seconda che in terza raccolta.

Effetti dell'interazione "località x epoche di raccolta"

Come già accennato, l'andamento della produzione in sostanza secca nelle tre raccolte è variato in relazione all'ambiente di coltivazione. Così, mentre ad Anzola dell'Emilia e Conselice si sono avuti incrementi significativi di resa passando dalla prima alla seconda raccolta e da quest'ultima alla terza, ad Osimo invece la produzione media tendenzialmente più elevata è stata ottenuta in prima raccolta (Tab. 5).

Tabella 5 - Effetto dell'interazione "località x raccolte" sulla produzione di sostanza secca (2009).

Località	Raccolte		
	I	II	III
		(t ha^{-1})	
Anzola E.	21.4 c	23.5 b	26.3 a
Conselice	13.0 f	14.4 e	16.6 d
Osimo	17.6 d	14.6 e	17.1 d
P≤005		1.22	
DMS			
P≤001		1.61	

Effetti medi delle varietà

Le 16 varietà indagate si sono differenziate sensibilmente sia sotto il profilo morfobiometrico che produttivo (Tab. 6). Iniziando dalla densità d'investimento, va osservato che, a fronte di una media di campo di 17 piante m^{-2}, le varietà 'Nectar', 'Bovital' e 'S.S. 18' hanno presentato le maggiori fittezze (21-22 piante m^{-2}), al contrario 'Sucre 506', 'Biomass 133', 'Herkules' e 'Biomass 140' hanno fatto rilevare le densità più basse; per tutti gli altri genotipi sono stati riscontrati investimenti intermedi fra i valori dei due gruppi precedenti. Per l'altezza delle piante si è distinto positivamente 'Bulldozer' con il valore (357 cm) significativamente più elevato rispetto alle altre varietà; inoltre, buoni risultati per questo carattere sono stati ottenuti da 'Biomass 133', 'Herkules' e 'Biomass 140', con taglie superiori ai tre metri. Il genotipo meno interessante sotto questo profilo è stato 'S.S.15' (161 cm). Il diametro basale degli steli, mediamente di 17.5 mm, ha raggiunto i maggiori livelli nelle varietà 'Erkules', 'Biomass 140' e 'Sucre 506' (20-21 mm), mentre all'estremo opposto si sono collocate 'Bovital' e 'S.S.15' (13-15 mm). Le varietà a taglia più elevata, quali 'Bulldozer', 'Biomass 133', 'Biomass 140' ed 'Herkules', hanno presentato un maggior numero di nodi/culmo; inoltre queste stesse varietà, unitamente a 'Bovital' e 'Sucre 506', hanno mostrato internodi più lunghi rispetto alle altre. Passando all'analisi dei dati produttivi, va evidenziato ancora 'Bulldozer' per la maggiore resa in biomassa fresca (+22.7% rispetto alla media di campo); produzioni statisticamente non dissimili sono state ottenute da 'Padana 4' e 'Biomass 140', mentre 'S.S.15', 'Bovital', 'S.S. 20', 'P.849' e 'S.S.18' hanno fatto rilevare le rese più basse. Relativamente alle componenti della produzione sono state rilevate differenze significative fra le varietà per i rapporti culmi/biomassa e panicoli/biomassa. Riguardo al primo parametro si sono evidenziate in particolar modo 'Bulldozer' e 'Padana 4'; al contrario, i genotipi ove gli steli erano meno rappresentati ('S.S.15', 'Bovital', 'S.S.18', 'S.S.20' e 'P.849') hanno mostrato i più elevati rapporti panicoli/biomassa. Per la produzione di sostanza secca (Fig. 1) 'Bulldozer' si è collocata al primo posto della graduatoria con un valore rilevantemente superiore alla media di campo (+37.9%); inoltre, rese interessanti sono state ottenute dalle cultivar 'Biomass 133' e 'Biomass 140' (25 t ha^{-1}, circa). Interessante osservare che le tre varietà più produttive sopra citate, non significativamente diverse fra loro per resa in biomassa totale, si sono differenziate sensibilmente, invece, per composizione della biomassa stessa (Tab. 6). Di fatto, 'Bulldozer' si è distinta significativamente dalle altre due per maggiore resa in steli secchi (+31% in media); d'altra parte, 'Biomass 140' si è differenziata da 'Biomass 133' per maggiore produzione di foglie (+50%), mentre quest'ultima cultivar si è distinta da 'Bulldozer' per maggiore resa in panicoli (+110%).

Tabella 6 - Effetti medi indotti dalle varietà sulle caratteristiche biometriche e produttive delle piante (medie relative alla raccolta più produttiva di ciascun genotipo in ciascun ambiente nel 2009).

Varietà	Culmi/ m^2 (n.)	Altezza pianta (cm)	Diametro culmo (mm)	Biomassa fresca (t ha^{-1})	Umidità biomassa (%)	Culmi/ biomassa (%)	Panicoli/ biomassa (%)	Culmi secchi (t ha^{-1})	Foglie secche (t ha^{-1})	Panicoli secchi (t ha^{-1})	°Brix
Biomass 133	13.2 d	331.2 b	18.6 bc	70.4 bc	64.5 f	68.5 bd	17.3 ce	17.4 b	3.6 df	4.4 cd	17.0 ab
Sucre 506	13.0 d	294.7 c	19.7 ab	66.8 c	67.0 cf	63.2 de	15.0 de	13.9 cd	4.8 ad	3.3 df	17.6 ab
Biomass 140	13.5 d	311.8 bc	20.4 a	76.5 ac	68.4 bd	64.0 ce	13.8 ef	15.8 bc	5.4 ac	3.4 de	13.4 de
S.S. 15	18.0 b	160.6 j	15.1 e	40.5 f	60.1 g	26.7 h	51.5 a	4.3 f	3.4 ef	8.3 a	12.5 e
S.S. 18	20.6 a	202.7 hi	17.0 d	55.5 d	65.4 ef	44.5 g	33.5 b	8.5 e	4.2 be	6.4 b	14.9 cd
S.S. 20	17.4 b	212.7 gi	16.8 d	49.5 df	65.9 df	45.8 g	33.3 b	7.7 e	3.4 ef	5.6 bc	12.8 e
SilageKing	16.7 bc	242.0 de	17.5 cd	51.8 de	67.7 ce	57.5 f	19.8 cd	9.6 e	3.9 df	3.3 df	16.0 bc
Bulldozer	18.4 b	357.0 a	17.3 cd	84.2 a	67.0 cf	77.5 a	7.5 g	21.7 a	4.1 ce	2.1 eg	18.0 a
Padana 1	16.5 bc	209.4 gi	16.1 de	53.2 d	69.2 ac	56.6 f	21.1 c	9.4 e	3.7 df	3.5 d	17.4 ab
Padana 4	18.0 b	226.1 eg	17.1 d	80.4 ab	71.8 a	73.3 ab	0.0 h	16.5 b	6.0 a	0.0 h	14.8 cd
Bovital	20.8 a	256.1 d	12.9 f	42.1 ef	61.6 g	47.5 g	36.4 b	7.7 e	2.6 f	5.9 b	14.2 ce
Herkules	13.2 d	313.5 bc	20.5 a	70.3 bc	68.3 bd	61.4 ef	17.1 ce	14.0 cd	4.9 ad	3.9 d	12.8 e
Sugargraze	17.1 bc	236.2 df	18.6 bc	65.7 c	69.2 ac	63.2 de	9.4 fg	12.7 d	5.4 ac	1.9 g	15.3 c
Nectar	21.9 a	248.2 d	16.5 d	70.8 bc	70.6 ab	62.9 de	9.7 fg	12.9 d	5.5 ab	2.0 fh	14.9 cd
P 811	15.0 cd	196.2 i	18.9 b	68.2 c	71.1 ab	68.9 bc	0.0 h	13.3 d	6.0 a	0.0 h	14.8 cd
P 849	18.2 b	220.9 fh	16.5 d	55.1 d	66.6 cf	45.2 g	34.4 b	8.4 e	3.7 df	6.4 b	14.6 cd
Medie	17.0	251.2	17.5	68.6	67.1	57.9	20.0	12.1	4.4	3.8	15.1

A lettere diverse nella stessa colonna corrispondono valori diversi per P≤0.05 secondo il test di Duncan.

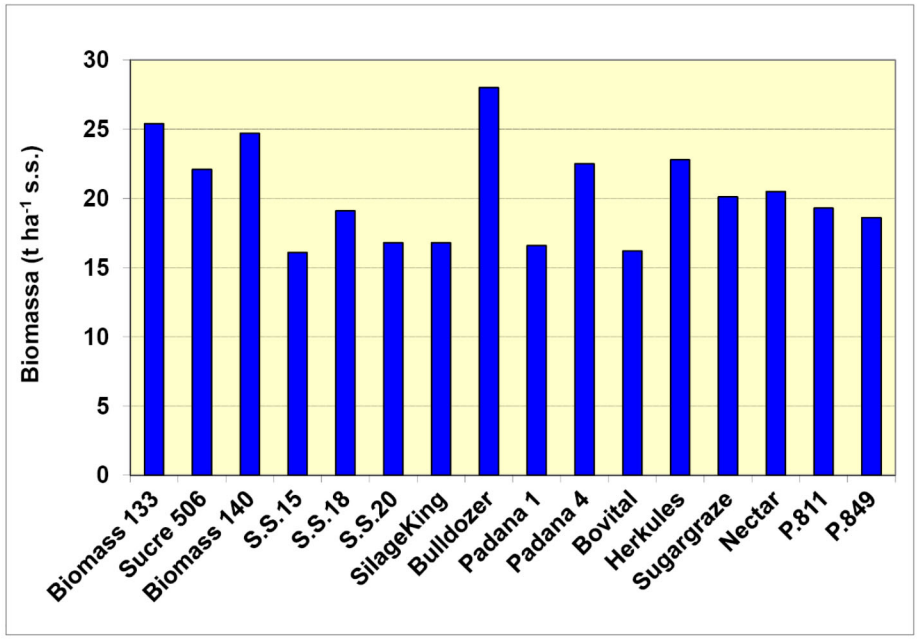


Figura 1 - Effetti medi dei genotipi sulla resa in sostanza secca per unità di superficie (anno 2009).

Riguardo al grado zuccherino (°Brix) spicca 'Bulldozer' con il valore più elevato (18%), anche se non significativamente diverso da 'Sucre 506', 'Padana 1' e 'Biomass 133'. Altre varietà indicate come tipi zuccherini ('S.S.15', 'S.S.20', 'Nectar' e 'Sugargraze') hanno mostrato valori sensibilmente inferiori (Tab. 6).

Effetti dell'interazione "varietà x località"

Le performance produttive ed il grado zuccherino delle varietà si sono differenziati in relazione all'ambiente di coltivazione (Figg. 2 e 3). Di fatto, ad Anzola dell'Emilia i genotipi più produttivi sono stati nell'ordine 'Bulldozer', 'Biomass 133', 'Biomass 140', 'Padana 4' ed 'Herkules', con rese variabili da 30.5 a 37.3 t ha^{-1}; a Conselice nei primi cinque posti della graduatoria si sono collocati 'Bulldozer', 'Sucre 506', 'Biomass 133', 'Nectar' e 'S.S.18', con valori compresi fra 17.4 e 20.9 t ha^{-1}; infine, ad Osimo le corrispondenti posizioni sono state occupate da 'Bulldozer', 'Biomass 140', 'Herkules', 'Biomass 133' e 'Sugargraze', con produzioni comprese fra 21.5 e 25.8 t ha^{-1}. In sostanza, 'Bulldozer' ha mostrato la maggiore potenzialità produttiva indipendentemente dalla località; buona adattabilità ambientale e livelli produttivi fra i più alti sono stati evidenziati anche da 'Biomass 133'. Altre varietà, invece, si sono collocate fra le più produttive in due località (Biomass 140 e Herkules) o in una sola delle tre considerate ('Padana 4', 'Sugargraze', 'S.S.18').

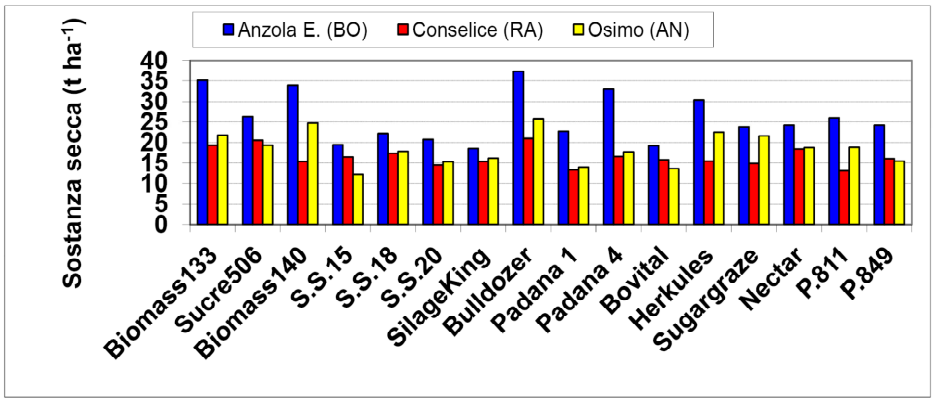


Figura 2 - Effetti dell'interazione "varietà x località" sulla produzione di biomassa (anno 2009).

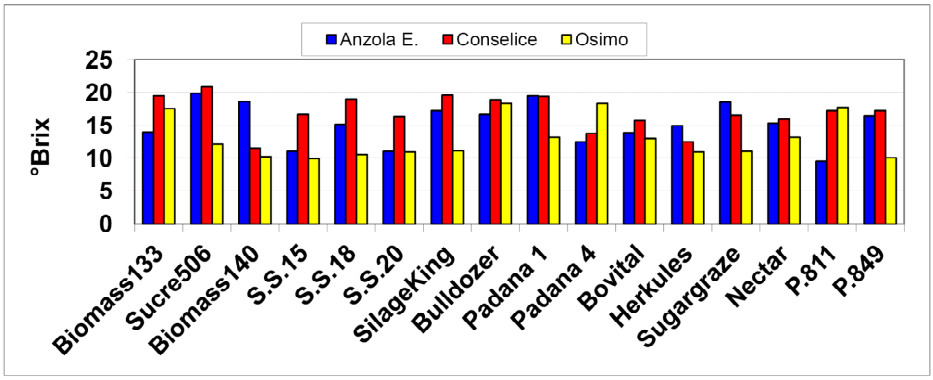


Figura 3 - Effetti dell'interazione "varietà x località" sul grado zuccherino dei succhi (anno 2009).

Analogamente, il contenuto zuccherino ad Anzola Emilia ha raggiunto i valori più elevati nelle cultivar 'Sucre 506', 'Padana 1', 'Biomass 140', 'Sugargraze' e 'Silageking' (17.2-19.9 °Brix), a Conselice si sono evidenziate 'Sucre 506', 'SilageKing', 'Biomass 133', 'Padana 1' e 'S.S.18' (19.0-20.9 °Brix), mentre ad Osimo, i primi posti della graduatoria sono stati occupati da 'Padana 4', 'Padana 1', 'P.811', 'Biomass 133' e 'Nectar'.

Caratteristiche energetico-qualitative

In tabella 7 sono riportati i dati medi relativi al potere calorifico inferiore (PCI) e al contenuto in ceneri della biomassa. Sotto il profilo energetico non sono state riscontrate differenze di rilievo: tutti i genotipi, eccetto 'S.S.15', hanno superato di poco i 17 MJ kg^{-1} di sostanza secca. Tuttavia, se si considerano le rese energetiche per unità di superficie, derivanti dal prodotto della produzione di sostanza secca di ciascun genotipo per il relativo potere calorifico, emergono differenze molto rilevanti (Fig. 4). Le cultivar migliori in assoluto sono state 'Bulldozer', 'Biomass 133', 'Biomass 140' ed 'Herkules' (401-487 GJ ha^{-1}), mentre le meno interessanti sono risultate 'S.S.15', 'Bovital', 'Padana 1', 'Silageking' e 'S.S.20', con rese inferiori a 300 GJ ha^{-1}.

Tabella 7 - Caratteristiche energetico-qualitative dei genotipi (2009).

Varietà	PCI (MJ kg^{-1}s.s.)	Ceneri (%)
Biomass 133	17.4 a	5.0 de
Sucre 506	17.2 a	5.9 ad
Biomass 140	17.3 a	5.3 ce
S.S. 15	16.6 b	6.8 a
S.S. 18	17.2 a	6.9 a
S.S. 20	17.4 a	6.6 ab
SilageKing	17.2 a	5.9 ad
Bulldozer	17.4 a	4.5 e
Padana 1	17.1 a	6.3 ac
Padana 4	17.6 a	4.6 e
Bovital	17.1 a	6.2 ac
Herkules	17.6 a	5.7 bd
Sugargraze	17.5 a	6.3 ac
Nectar	17.6 a	5.7 bd
P 811	17.6 a	4.9 de
P 849	17.5 a	6.7 ab
Medie	17.3	5.8

Tabella 8 - Varietà testate nel 2010.

Varietà	Casa sementiera	Tipologia
Biomass 133	Syngenta Seeds	fibra
Biomass 140	Syngenta Seeds	zuccherino
Biomass 150	Syngenta Seeds	fibra
Sucre 506	Caussade Semences	zuccherino
Silageking	Caussade Semences	zuccherino
Bulldozer	Caussade Semences	zuccherino
Herkules	Carla import Sementi	foraggio
P 811	Carla import Sementi	fibra
P 849	KWS Italia	fibra
Padana 4	KWS Italia	zuccherino
Mitril	Padana Sementi	fibra
Goliath	Padana Sementi	fibra
PSE 27677	Padana Sementi	zuccherino
PSE 98456	Padana Sementi	zuccherino
Trudan HL	Pioneer Italia	foraggio
Zerberus	Pioneer Italia	foraggio

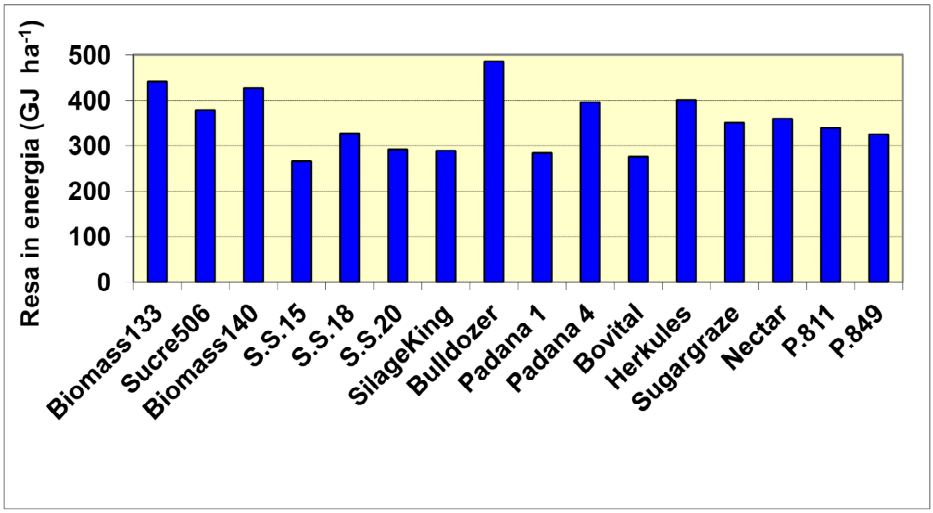


Figura 4 - Rese energetiche delle cultivar, calcolate sulla base delle produzioni e del potere calorifico rilevati ad Anzola dell'Emilia nel 2009.

Per il contenuto in ceneri i valori più bassi sono stati riscontrati in 'Bulldozer' e 'Padana 4' (4.5 e 4.6%, rispettivamente), differenziatisi significativamente da 'S.S.18' e 'S.S.15' (6.9-6.8%); tuttavia queste ultime sono risultate non dissimili dalla maggioranza delle altre varietà.

Riguardo alla temperatura di fusione delle ceneri sono stati rilevati valori molto simili fra le cultivar, compresi fra 1191 e 1214°C.

Anno 2010

L'analisi statistica dei dati rilevati, come per le prove del 2009, ha evidenziato differenze statisticamente significative indotte dalle località e dalle cultivar, nonché dall'interazione delle due stesse variabili.

Effetti degli ambienti. Nelle tabelle 9 e 10 sono riportati i dati medi relativi, rispettivamente, ai caratteri biometrici e produttivi delle piante rilevati nelle tre località. In particolare, nei due ambienti settentrionali, rispetto a quello del Centro, si sono ottenute colture caratterizzate da maggiori fittezze, maggiori dimensioni dei culmi (sia in altezza che in diametro), e stranamente da un minor numero di nodi/culmo, ovviamente con internodi sensibilmente più lunghi rispetto ad Osimo (Tab. 9).

Tabella 9 - Effetti medi delle località sulle caratteristiche biometriche del sorgo (2010).

Località	Culmi m^{-2} (n.)	Altezza culmo (cm)	Diametro basale culmo (mm)	Nodi $culmo^{-1}$ (n.)
Rovigo	22.7 a	345.0 b	18.8 a	13.0 b
Anzola-BO	23.0 a	356.0 a	18.5 a	12.7 b
Osimo-AN	20.3 b	286.1 c	17.5 b	14.7 a
Medie	22.0	329.0	18.3	13.5

Tabella 10 - Effetti medi delle località sulle caratteristiche produttive del sorgo (2010).

Località	Biomassa fresca (t ha^{-1})	Sostanza secca (%)	Sostanza secca (t ha^{-1})	Culmi (%)	Foglie (%)	Panicoli (%)	°Brix
Rovigo	102.0 a	29.5 b	29.9 ab	60.2 b	27.5 a	12.3 b	13.0 b
Anzola	97.6 b	29.0 b	28.3 b	57.4 c	24.7 b	17.9 a	12.5 b
Osimo	93.5 c	33.2 a	30.6 a	68.7 a	16.9 c	14.4 b	14.5 a
Medie	97.7	30.6	29.6	62.1	23.0	14.8	13.3

La produzione di biomassa fresca più elevata è stata raggiunta a Rovigo (102 t ha^{-1}), sono seguite poi quelle riscontrate ad Anzola (-4.3%) e ad Osimo (-8.3%). D'altra parte, in quest'ultima località la biomassa ha presentato una maggiore percentuale di sostanza secca (33.2% contro 29.5 e 29.0). Conseguentemente ad Osimo è stata ottenuta la produzione media in sostanza secca (30.6 t ha^{-1}) tendenzialmente più elevata rispetto a Rovigo (+2.3%) e significativamente superiore a quella rilevata ad Anzola (+8.1%).

Altra differenza di rilievo indotta dagli ambienti ha interessato la composizione della biomassa, così mentre ad Osimo è stato riscontrato il massimo rapporto cul-

mi/biomassa totale (68.7%), a Rovigo e Anzola si sono avute rispettivamente la massima incidenza di foglie (27.5%) e di panicoli (17.9%).

Nel Centro Italia è stata raggiunta anche la gradazione zuccherina dei succhi significativamente più elevata (14.5 °Brix) rispetto ai due ambienti del Nord (Tab. 10).

Effetti delle varietà. I genotipi si sono differenziati sensibilmente sia per i caratteri biometrici (Tab. 11) che produttivi (Tab. 12). Iniziando dai primi, va evidenziato in primo luogo la diversa capacità di accestimento delle cultivar: 'Trudan HL', in particolare, ma anche 'Mithril' hanno mostrato fittezze nettamente superiori alle altre cultivar (oltre 30 culmi m^{-2}).

Sensibile anche la differenziazione fra genotipi per l'altezza dei culmi: i primi due posti della graduatoria sono stati occupati da 'Biomass 150' e da 'Bulldozer' (438 e 412 cm, rispettivamente), buona l'espressione di questo carattere anche per 'Goliath', 'Biomass 140' ed 'Herkules', anche se con valori (380-387 cm) significativamente inferiori alle prime due varietà; al contrario, 'PSE 27677', 'SilageKing' e 'P. 849' sono state le più deludenti.

Tabella 11 - Effetti medi delle varietà sulle caratteristiche biometriche delle piante (2010).

Varietà	Culmi m^{-2} (n.)	Altezza culmo (cm)	Diametro basale culmo (mm)	Nodi $culmo^{-1}$ (n.)
Biomass 133	18.5 gi	359.5 d	20.5 ab	13.1 de
Biomass 140	16.9 hi	386.5 c	19.8 bc	13.7 cd
Biomass 150	18.6 gi	437.8 a	21.3 a	15.3 b
Sucre 506	17.1 hi	339.0 d	19.5 bc	13.1 de
Silageking	21.9 e	254.9 h	16.4 e	12.3 eh
Bulldozer	22.7 de	411.5 b	19.3 bc	14.8 b
Herkules	16.5 i	379.7 c	20.1 ac	12.9 df
P 811	18.5 gi	314.9 e	19.3 bc	16.7 a
P 849	21.0 ef	256.7 h	16.7 de	12.5 eg
Padana 4	20.5 eg	292.5 fg	19.1 c	14.0 c
Mitril	34.1 b	299.0 eg	13.4 f	11.5 h
Goliath	18.1 gi	386.9 c	20.5 ab	13.1 de
PSE 27677	24.5 cd	211.2 i	17.5 de	12.2 fh
PSE 98456	26.6 c	307.0 ef	17.7 d	16.4 a
Trudan HL	36.8 a	285.1 g	13.2 f	11.6 h
Zerberus	19.3 fh	342.0 d	19.0 c	12.0 gh
Medie	22.0	329.0	18.3	13.5

Anche per il diametro basale dei culmi si sono evidenziati 'Biomass 150', 'Goliath', 'Herkules' e 'Biomass 140', oltre a 'Biomass 133' che non era nel gruppo delle cultivar a taglia maggiore. I genotipi 'Trudan HL' e 'Mithril', invece, come conseguen-

za delle loro elevate fittezze, hanno evidenziato culmi sensibilmente più sottili (13 mm, circa).

Tabella 12 - Effetti medi delle varietà sulle caratteristiche produttive del sorgo (2010).

Varietà	Biomassa fresca (t ha^{-1})	Sostanza secca (%)	Sostanza secca (t ha^{-1})	Culmi (%)	Foglie (%)	Panicoli (%)	°Brix
Biomass 133	104.9 ce	30.0 ce	31.4 bc	66.2 cd	21.3 dg	12.5 de	12.7 bd
Biomass 140	100.1 e	31.5 bd	31.4 bc	65.4 de	23.9 bd	10.7 e	12.0 ce
Biomass 150	115.8 b	31.6 bd	36.6 a	73.0 a	19.9 eg	7.1 f	13.7 ac
Sucre 506	105.6 ce	28.7 ef	30.1 bc	62.3 e	23.6 bd	14.1 de	11.0 de
Silageking	66.5 g	29.5 de	19.5 e	48.3 h	22.0 cf	29.7 b	13.9 ac
Bulldozer	113.8 bc	33.2 b	37.8 a	73.7 a	19.3 fg	7.0 f	14.5 ab
Herkules	104.8 ce	31.6 bd	33.4 b	62.7 e	22.2 ce	15.0 d	12.4 be
P 811	102.2 de	30.6 ce	31.3 bc	71.0 ab	29.0 a	0.0 g	15.2 a
P 849	72.7 g	31.8 bc	23.0 d	47.2 h	24.2 bc	28.6 b	12.4 be
Padana 4	111.4 bd	25.1 g	28.0 c	70.9 ab	28.7 a	0.4 g	13.5 ac
Mitril	71.7 g	31.5 bd	22.4 de	57.2 f	20.5 eg	22.3 c	12.5 be
Goliath	96.9 e	31.1 bd	30.2 bc	64.2 de	20.6 eg	15.2 d	15.4 a
PSE 27677	72.6 g	30.0 ce	21.5 de	34.9 i	24.2 bc	40.9 a	10.3 e
PSE 98456	142.0 a	27.2 f	38.4 a	74.1 a	25.9 b	0.0 g	14.6 ab
Trudan HL	97.0 e	30.0 ce	28.9 c	69.3 bc	23.9 bd	6.7 f	14.3 ac
Zerberus	84.7 f	35.5 a	29.9 c	53.5 g	19.2 g	27.3 b	14.6 ab
Medie	97.7	30.6	29.6	62.1	23.0	14.8	13.3

Il numero di nodi/culmo sembra essere scarsamente correlato all'altezza del culmo stesso; di fatto le maggiori espressioni di questo carattere (16-17 nodi culmo^{-1}) sono state riscontrate in 'P. 811' e 'PSE 98456', che non sono state le varietà a taglia maggiore; d'altra parte, il minor numero di nodi/culmo (11.6) è stato rilevato in 'Mithril' e 'Trudan HL', che a loro volta non sono state le cultivar a taglia più bassa.

Per la produzione di biomassa fresca si sono evidenziate nell'ordine: 'PSE 98456', 'Biomass 150', 'Bulldozer' e 'Padana 4' (111-142 t ha^{-1}); mentre 'SilageKing', 'Mithril', 'PSE 27677' e 'P. 849' hanno fornito le rese più basse (66-72 t ha^{-1}). Il contenuto di sostanza secca della biomassa al momento dello sfalcio era del 30.6% in media: i valori più elevati sono stati rilevati in 'Zerberus' e 'Bulldozer' (35.5 e 33.2%, rispettivamente), quello più basso invece si è avuto per 'Padana 4' (25.1%). La resa in sostanza secca per unità di superficie rispecchia quanto già riferito per la biomassa fresca, tranne che per 'Padana 4'. Di fatto, 'PSE 98456', 'Bulldozer' e 'Biomass 150' hanno raggiunto i valori più elevati (38.4, 37.8 e 36.6 t ha^{-1}), in fondo alla graduatoria di merito troviamo 'SilageKing', 'PSE 27677', 'Mithril' e 'P. 849'.

Va anche sottolineato l'effetto significativo delle cultivar sulla composizione percentuale della biomassa. In particolare, in PSE 98456, Bulldozer, Biomass 150, P.

811 e Padana 4 sono stati rilevati i maggiori rapporti culmi/biomassa (71-74%), al contrario in PSE 27677, P. 849 e SilageKing l'incidenza dei culmi sulla resa totale è stata inferiore al 50%. D'altra parte in queste ultime varietà si sono avuti i maggiori rapporti panicoli/biomassa (28.6-40.9%).

Le varietà Mithril, PSE 27677, P. 849 e Zerberus sono state le più precoci (fioritura del 50% dei culmi a metà luglio), mentre le più tardive sono state Biomass 150, Bulldozer, Biomass 140 e Trudan HL, nonché PSE 98456, P. 811 e Padana 4.

Altro importante carattere per il quale è stata riscontrata differenziazione fra le cultivar è la suscettibilità all'allettamento: di fatto, si sono mostrate pienamente resistenti fino alla raccolta 'PSE 98456', 'Biomass 150', 'Bulldozer', 'Sucre 506' ed 'Herkules'; al contrario, hanno lasciato a desiderare 'SilageKing', 'P. 849', 'Padana 4' e 'Mithril'.

Tabella 13 - Effetti combinati delle località e delle varietà sulla produzione di sostanza secca (2010).

Varietà	Località		
	Rovigo	Anzola E.	Osimo
		(t ha^{-1})	
Biomass 133	32.1	27.8	34.2
Biomass 140	34.1	29.0	31.2
Biomass 150	35.9	37.1	36.8
Sucre 506	31.3	27.2	31.7
Silageking	20.2	16.3	22.1
Bulldozer	38.6	43.5	31.2
Herkules	28.4	29.8	42.0
P 811	32.2	30.7	31.0
P 849	25.0	22.0	21.9
Padana 4	30.0	21.6	32.5
Mitril	24.0	20.1	23.0
Goliath	27.8	32.1	30.7
PSE 27677	22.2	20.1	22.1
PSE 98456	36.2	38.2	40.8
Trudan HL	28.9	28.2	29.7
Zerberus	31.4	29.6	28.7
P≤0.05		5.2	
DMS			
P≤0.01		6.9	

Infine, riguardo al grado zuccherino dei succhi è emerso un gruppo di 9 genotipi (Goliath, P. 811, PSE 98456, Zerberus, Bulldozer, Trudan HL, SilageKing, Biomass 150 e Padana 4), con valori compresi fra 13.5 e 15.4 °Brix, non significativamente diversi fra loro; PSE 27677 e Sucre 506 hanno raggiunto le concentrazioni zuccherine più

basse (10.3 e 11.0 °Brix rispettivamente) e ciò è sorprendente se si pensa che varietà dichiarate da fibra figurano fra quelle a più alto tenore zuccherino, mentre altre come Sucre 506, dichiarate zuccherine, figurano come le meno interessanti al riguardo.

Effetto dell'interazione "località x varietà". In tabella 13 sono riportate le produzioni di sostanza secca ottenute dalle cultivar nelle tre località. 'Bulldozer' figura al primo posto della graduatoria a Rovigo ed Anzola (38.6 e 43.5 t ha^{-1}), ma non ad Osimo, dove troviamo 'Herkules' (42.0 t ha^{-1}), molto stabili invece 'PSE 98456' e 'Biomass 150' collocatisi rispettivamente al 2° e 3° posto in tutti gli ambienti. Al 4° posto delle graduatorie troviamo 'Biomassa 140' a Rovigo (con una resa non significativamente diversa dalle prime tre), 'Goliath' ad Anzola (con produzione significativamente inferiore a 'Bulldozer e 'PSE 98456') e 'Biomass 133' ad Osimo (con resa significativamente inferiore ad 'Herkules' e 'PSE 98456').

Considerazioni conclusive

Le prove svolte hanno confermato l'elevata produttività del sorgo da biomassa. I genotipi attualmente in commercio sono stati selezionati nel Nord-Europa, per ambienti pedo-climatici molto diversi dai nostri. Tuttavia, vi sono fra essi tipi che rispondono molto bene anche nel Centro-Nord Italia. In particolare, i tipi da fibra 'PSE 98456', 'Biomass 150' e 'Bulldozer' hanno evidenziato ottimo vigore vegetativo, buona resistenza all'allettamento, alto rapporto culmi/biomassa ed elevata resa in sostanza secca. Per contro, hanno mostrato un ciclo medio-tardivo, il che implica la raccolta non prima di metà settembre.

Riguardo ai sorghi zuccherini i risultati ottenuti non sono chiari, in quanto i tipi commercializzati come tali hanno presentato concentrazioni zuccherine inferiori ad altre varietà indicate come tipi da fibra. Ciò farebbe pensare ad una scarsa selezione dei materiali per questo carattere, oppure a inadeguatezza del criterio di valutazione del carattere.

Relativamente alla tecnica colturale, là dove è possibile, si ritiene vantaggioso realizzare 1-2 interventi irrigui di soccorso, nel caso di decorso stagionale siccitoso, tenendo conto che la prevalenza dell'impiego dell'acqua va data alla fase di levata. La risposta produttiva della pianta ripaga ampiamente il costo degli interventi, grazie all'elevata efficienza d'uso dell'acqua da parte della coltura. A sostegno di quanto appena sottolineato depone anche il confronto fra le produzioni medie di biomassa ottenute ad Anzola Emilia e Conselice nel 2009 (26.1 e 16.5 t ha^{-1}, rispettivamente). La maggiore produzione ottenuta nella prima località (+58.2%) è da ascrivere in buona parte all'irrigazione (2 interventi) praticata ad Anzola e non a Conselice.

Con riferimento alle criticità del sorgo è bene tener presente che la pianta dopo lo sfalcio perde umidità molto lentamente, pertanto la raccolta del prodotto destinato alla combustione dovrebbe essere eseguita in epoca con temperature ancora alte (non oltre l'inizio di settembre), in modo da favorire l'essiccazione della biomassa in campo.

Sempre a questo riguardo è fondamentale utilizzare falcia-condizionatrici in grado di provocare fenditure lungo lo stelo (Assirelli e Pari, 2009). Nel caso in cui la biomassa è destinata alla produzione di biogas, invece, il problema non si pone, poiché il prodotto viene raccolto con falcia-trincia-caricatrice ed utilizzato allo stato fresco.

Bibliografia

Assirelli A., Pari L. (2009). Nuova falcia condizionatrice ad hoc per il sorgo da fibra. L'Informatore Agrario, Suppl. al n. 5: 22-25.

Cosentino S. (1996). Crop physiology of sweet *Sorghum* (*Sorghum bicolor* L. Moench) in relation to water and nitrose stress. Proceedings of the "First European Seminar on Sorghum", Tolosa, april 1-3, 30-41.

Di Candilo M., Ceotto E. (2010). Effect of propagation techniques on crop establishment of giant reed (Arundo donax L.). Proceedings of 18th European Biomass Conference and Exhibition, 3-7 May 2010, Lyon, France, pp. 255-258.

Di Candilo M., Ceotto E., Barbanti L., Fazio S., Monti A., Venturi G. (2009). Le colture ligno cellulosiche per la produzione di biomassa da energia. In: Ranalli P. (Ed.) Le piante industriali per una agricoltura multifunzionale. Edizioni Avenue Media, 2009. Capitolo 9, pp. 199-244. ISBN: 978-88-86817-53-0.

Facciotto G., Bergante S., Mughini G., Gras M.L.A., Nervo G. (2007). Tecnica e modelli colturali per cedui a breve rotazione. L'Informatore Agrario 40. 38-42.

Fagnano M., Postiglione L. (2002). Sorgo da energia in ambiente mediterraneo: effetto della concimazione azotata con limitati apporti idrici. Rivista di Agronomia, 36, 227-232

Habyarimana E., Laureti D., De Ninno M., Lorenzoni C. (2004). Performances of biomass sorghum (Sorghum bicolor (L.) Moench) under different water regimes in Mediterranean regions. Industrial Crops and Products, 20, 23-28.

Habyarimana E., Laureti D., Di Fonzo N., Lorenzoni C. (2002). Biomass production and drought resistance at the seedling stage and in field conditions in sorghum. Maydica 47: 303-309.

Kebede H., Subudhi P.K., Rosenow D.T., Nguyen H.T. (2001). Quantitative trait loci influencing drought tolerance in grain sorghum (*Sorghum bicolour* L. Moench). Theor. Appl. Genet. 103: 266-276.

Lovelli S., Perniola M., Monteleone M., Nardiello I., Rivelli A.R. (2001). Bilancio e dinamica dell'azoto in coltura di sorgo zuccherino (*Sorghum vulgare* L. var. *saccharatum*): aspetti agronomici ed ambientali. Atti del 34th Convegno della Società Italiana di Agronomia. Pisa 17-21 settembre 2001, 188-189.

Xu W., Rosenow D.T., Nguyen H.T. (2000). Stay green trait in grain sorghum relationship between visual rating and leaf chlorophyll concentration. Plant Breeding 119: 365-367.

c - Confronto fra epoche di semina e di raccolta in sorgo zuccherino e da fibra (*Sorghum bicolor* L. Moench) nel Nord Italia

Comparison of several combinations of sowing and harvesting times for sweet and fiber sorghum (Sorghum bicolor L. Moench) in Northern Italy

Mario Di Candilo*, Enrico Ceotto*, Michele Diozzi*

Riassunto

Vengono riferiti i risultati di una prova di campo svolta nella bassa Pianura Padana nel biennio 2009-2010 allo scopo di valutare la possibilità di anticipare il ciclo colturale del sorgo da biomassa nel Nord Italia, tale da poter effettuare la raccolta in condizioni più favorevoli all'essicamento naturale della biomassa in campo. L'esperimento è stato svolto presso l'azienda agraria sperimentale "Cà Rossa" del CRA-CIN ad Anzola dell'Emilia (BO), (Lat. 44°32'N, Long. 11°80'E, 38 m a.s.l.). Il terreno utilizzato è franco-limoso, classificato come Udifluventic Haplustepts fine silty, mixed mesic (Soil Taxonomy, 2003). La piovosità media annua della località è di circa 600 mm. La prova ha previsto il confronto fra due ibridi di sorgo ('Biomass 133' e 'Sucre 506') in combinazione con tre epoche di semina e con tre epoche di raccolta. In occasione di queste ultime sono stati eseguiti rilievi inerenti le caratteristiche biometriche e produttive delle piante. I risultati ottenuti indicano che nel Nord Italia l'anticipo della semina del sorgo da biomassa non consente di anticipare la raccolta. Di fatto, le massime rese (26.0 e 25.9 t ha^{-1}) sono state ottenute dalle coltivazioni impiantate a fine aprile-metà maggio e raccolte tardivamente a fine settembre. Le piante derivate dalle semine di marzo-inizio aprile, a causa delle temperature ancora relativamente basse, hanno manifestato uno svilup-

* CRA – Centro di Ricerca per le Colture Industriali, Bologna.

po iniziale molto più lento rispetto a quelle ottenute dagli impianti di fine aprile-metà maggio. Paradossalmente l'anticipo della semina ha determinato un allungamento del ciclo colturale. I genotipi saggiati, rappresentativi della gamma varietale disponibile, hanno raggiunto il massimo accumulo di sostanza secca a di fine settembre.

Parole chiave: colture energetiche, ciclo colturale, epoche di semina e di raccolta, produzione.

Abstract

Sweet and fiber sorghum are promising highly productive annual energy crops, well suited for rainfed cultivation in Northern Italy. Unlike other lignocellulosic crops, fiber and sweet sorghum can be easily introduced in rotation of annual crops, therefore are well accepted by the farmers. Nevertheless, one major shortcoming of sorghum is represented by the high moisture content of the biomass at harvest, that might be eventually lowered by allowing natural drying of the harvested biomass in the field during the late summer. The scope of this study was to assess which combination of sowing and harvest time can allow an early harvest, and therefore the desiccation of the product in the field. A field experiment has been carried out in Anzola dell'Emilia (Lat. 44° 57' N, 11° 16' E), Low Po Valley, Northern Italy, in the years 2009 and 2010. The sorghum hybrids Biomass 133 (fiber) and Sucre 506 (sugar) were used in the trial. Both cultivars were tested on three sowing dates (17/03, 17/04 and 25/05 in 2009; 2/04, 28/04 and 18/05 in 2010) in combination with three harvesting dates (28/07, 28/08 and 30/09 2009; 2/08, 2/09 and 30/09 in 2010). The experiment was fertilized with 120 kg N ha^{-1}, splitted in two doses, and 120 kg P_2O_5. The crop was not irrigated. Results show that the biomass dry matter yield was not influenced by the sowing date. Unlike sowing dates, the harvest time had a substantial effect of dry matter yield. On average, the yield of the second harvest date was +35.4 % higher than the early harvest, and the late harvest date was +13.8 % higher than the second harvest. These higher yields were accompanied by an increase of culms height, +18.7 % in the second date, and +2.3 % for the third date. Yet, with the delay of harvest the fraction of leaves decreased (-8.8 % and -3.5 %, respectively) while the sugar concentration of the stems increased (+6.4 and +2.2 °Brix). Overall, the higher yields, about 26 Mg dry matter ha^{-1}, and the higher product quality, were obtained by the combination of second and third sowing dates with the last harvest date. Our data indicates that under our environmental conditions of Northern Italy, an early sowing does not allow to obtain higher productivity nor to anticipate the harvest date. Yet, our data confirm the excellent productivity in rainfed conditions of fiber and sugar sorghum to be used as an energy feedstock.

Keywords: *energy crops, biomass moisture, biomass yield.*

Introduzione

Un maggiore ricorso alle biomasse ad uso energetico, peraltro previsto dal pacchetto di misure approvato dall'UE nel marzo 2007 e noto come "principio del 20-20-20", comporterebbe numerosi vantaggi, fra cui: i) miglioramento della sicurezza dell'approvvigionamento e riduzione della dipendenza dalle importazioni di energia; ii) riduzione dell'inquinamento atmosferico; iii) aumento dell'occupazione; iv) nuove alternative di produzione e reddito per il settore agricolo; v) capacità del settore primario di fornire servizi di tipo territoriale, ambientale e sociale. Purtroppo, in Italia allo stato attuale non risultano ancora consolidati processi di filiera agro-energetici veri e propri, localizzati sul territorio e caratterizzati da una stretta connessione fra le diverse fasi delle filiere stesse. D'altra parte, nel nostro Paese l'interesse per l'utilizzo delle biomasse a fini energetici è maturato solo alla fine degli anni '90.

Con riferimento alle filiere 'termo-elettrica' e 'bioetanolo', le ricerche svolte in questi ultimi anni hanno permesso di individuare le specie più idonee al territorio nazionale (Di Candilo *et al*., 2009). Le più promettenti manifestano buone potenzialità produttive, ridotte esigenze di input energetici e buon adattamento anche agli ambienti considerati marginali (Di Candilo *et al*., 2008; Foti e Cosentino, 2001; Amaducci *et al*., 2000). Fra le erbacee annuali il *Sorghum bicolor* L. Moench risulta molto interessante in relazione alle sue capacità di accumulo di sostanza secca (Di Candilo *et al*. 2010; Loomis e Williams, 1963). A tale specie appartengono sia i sorghi da fibra, sia i sorghi zuccherini: le due tipologie, simili dal punto di vista morfologico, si caratterizzano per avere una elevata efficienza fotosintetica (C4), dote che si esalta particolarmente in ambienti caratterizzati da elevata intensità luminosa ed elevata temperatura, tipici del clima mediterraneo (Heichel, 1976). Inoltre, la pianta presenta buon adattamento ad una vasta gamma di terreni, compresi quelli salsi (Rivelli *et al*. 2002; Yang *et al*. 1990) e buona efficienza d'uso dell'azoto (Fagnano *et al*., 2002; Lovelli *et al*., 2001) e dell'acqua (Habyarimana *et al*., 2004; Cosentino, 1996). In condizioni ottimali di rifornimento idrico il sorgo è in grado di raggiungere produzioni superiori a 40 t ha^{-1} di sostanza secca ed una efficienza d'uso dell'acqua (WUE) pari a 4.8-5.3 gl^{-1}, assai elevata, specie se comparata con quella di altre colture nello stesso ambiente (Cosentino *et al*., 2006), mentre in condizioni opposte la WUE migliora per effetto di una serie di modificazioni morfologiche, che gli garantiscono buona tolleranza agli stress idrici (Habyarimana *et al*., 2002; Kebede *et al*., 2001).

Altri aspetti positivi della coltura sono il facile inserimento negli avvicendamenti colturali e la possibilità di utilizzare un parco macchine già presente nelle aziende. L'interesse crescente per questa specie deriva anche dal fatto che, trattandosi di pianta erbacea a ciclo annuale, consente, a differenza delle poliennali, un indirizzo produttivo flessibile. In altri termini, almeno in questa fase di avvio delle filiere agro-energetiche, molti agricoltori preferiscono impegnarsi con il sorgo, piuttosto che con la canna comune o con il pioppo, poiché permette di riconvertire prontamente il terreno.

Una criticità del sorgo, evidente soprattutto nel Nord-Italia per le varietà a ciclo più lungo, che sono anche le più produttive, riguarda la scarsa propensione della biomassa all'essiccamento naturale in campo dopo lo sfalcio. La lenta disidratazione è dovuta a motivi strutturali della pianta, ovvero al fatto che l'umidità è concentrata soprattutto nel midollo centrale del fusto e che le foglie e lo stesso fusto sono cutinizzati e coperti di pruina.

Allo scopo di valutare la possibilità di anticipare il ciclo colturale della specie è stata svolta una prova di confronto fra tre epoche di semina in combinazione con tre epoche di raccolta della biomassa.

Materiali e metodi

La prova è stata svolta nel biennio 2009-2010 presso l'azienda agraria sperimentale "Cà Rossa" del CRA-CIN ad Anzola dell'Emilia (BO), nella Bassa Pianura Padana (Lat. 44°32'N, Long. 11°80'E, 38 m a.s.l.). Il terreno utilizzato è franco-limoso, classificato come Udifluventic Haplustepts fine silty, mixed mesic (Soil Taxonomy, 2003). La piovosità media annua della località è di circa 600 mm.

L'esperimento ha previsto il confronto fra due ibridi di sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench**): '**Biomass 133', commercializzato come tipo da fibra, e 'Sucre 506', indicato come tipo zuccherino. Ciascun genotipo è stato sottoposto a tre successive epoche di semina (17/3, 17/4 e 25/5 nel 2009; 2/4, 28/4 e 18/5 nel 2010) e a tre epoche di raccolta (28/7, 28/8 e 30/9 nel 2009; 2/8, 2/9 e 30/9 nel 2010). Le tesi sono state distribuite in campo secondo uno schema sperimentale a split-plot, con tre ripetizioni e randomizzazione delle epoche di semina nelle parcelle intere, delle varietà nelle sub-parcelle e delle raccolte nelle sub-sub-parcelle, la cui superficie era di 20 m^2.

La semina è stata eseguita con seminatrice pneumatica parcellare (Vignoli: mod. Cobra), deponendo il seme a distanze di 45 cm fra le file e 10 cm sulla fila, pari ad una densità di 22 semi m^{-2}, per un investimento teorico atteso di 13-15 piante m^{-2}. All'impianto della coltura sono stati apportati 120 kg ha^{-1} di P_2O_5 e 60 kg ha^{-1} di N sotto forma ammoniacale. Successivamente, alla levata delle piante sono stati somministrati altri 60 kg ha^{-1} di azoto sotto forma di nitrato ammonico.

Per il controllo delle infestanti sono stati eseguiti due trattamenti chimici, di cui uno in pre-semina con Mastife (gliphosate), in dose di 5 l ha^{-1}, e l'altro in pre-emergenza con Prolex TZ (terbutilazina+propaclor), anch'esso in dose di 5 l ha^{-1}; inoltre, sono state eseguite due fresature interfilari.

Nel 2009, a causa dell'andamento stagionale particolarmente siccitoso nel periodo inizio maggio-metà giugno, soprattutto per supportare la coltura dell'ultima semina (25/5) sono stati eseguiti due interventi irrigui di soccorso in data 25 maggio e 11 giugno, per un volume complessivo di 90 mm.

In entrambe le annate si è intervenuti con la prima raccolta quando il 50% delle piante della prima epoca di semina avevano emesso il panicolo.

I rilievi in ciascuna raccolta e per ciascuna parcella hanno interessato i caratteri: i) densità d'investimento; ii) altezza dei culmi; iii) diametro basale dei culmi; iv) produzione di biomassa fresca ripartita nelle sue componenti (foglie, culmi e panicoli); v) percentuale di umidità di queste ultime; vi) produzione di sostanza secca; vii) incidenza delle componenti della biomassa; e viii) grado zuccherino dei succhi (°Brix).

Nel corso delle due annate sono stati rilevati, inoltre, i principali parametri climatici (precipitazioni e temperature).

Risultati e discussione

Andamento meteo

Nel sito aziendale la piovosità pluriennale complessiva, nel periodo compreso fra inizio marzo e fine settembre è di 315 mm. Le precipitazioni cumulate, corrispondenti allo stesso periodo, sono state di 341 mm nel 2009 e 504 mm nel 2010 (Fig. 1). In quest'ultimo anno, oltre ad aversi una maggiore piovosità nel corso della prova (+189 mm rispetto al 2009), si è avuto anche una migliore distribuzione della piovosità stessa nel tempo.

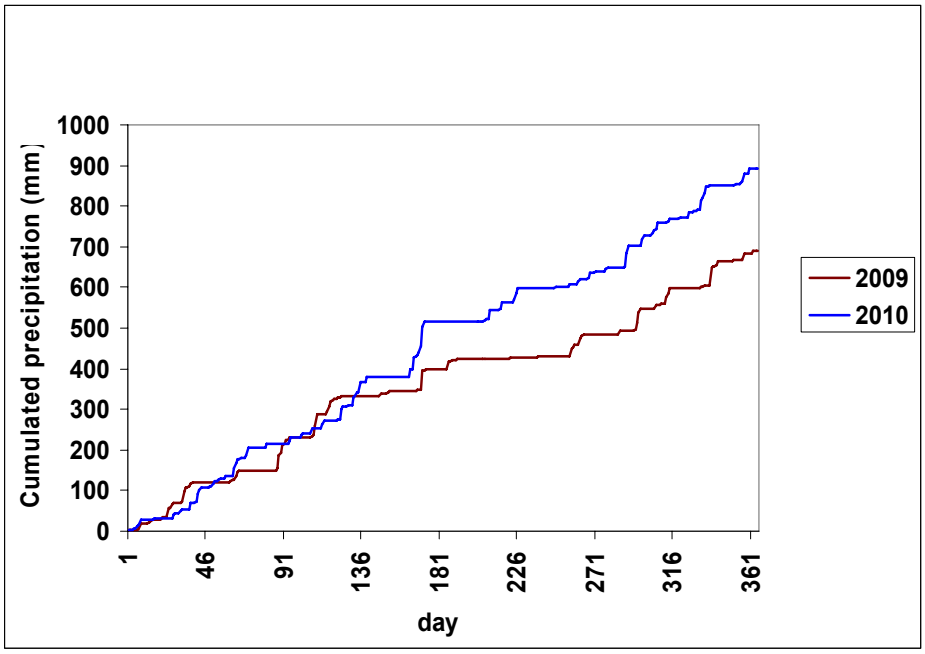


Figura 1 - Precipitazioni cumulate registrate nella località delle prove nel biennio 2009-2010.

Anche riguardo all'andamento termico si sono avute differenze fra le due annate (Fig. 2): nel 2010, rispetto al 2009, sono state riscontrate temperature minime più basse all'avvio della prova (prime due decadi di marzo e di aprile) e nell'ultima fase del ciclo colturale (agosto-settembre); inoltre, le temperature massime sono state inferiori a quelle del 2009 per tutto il mese di maggio e agosto.

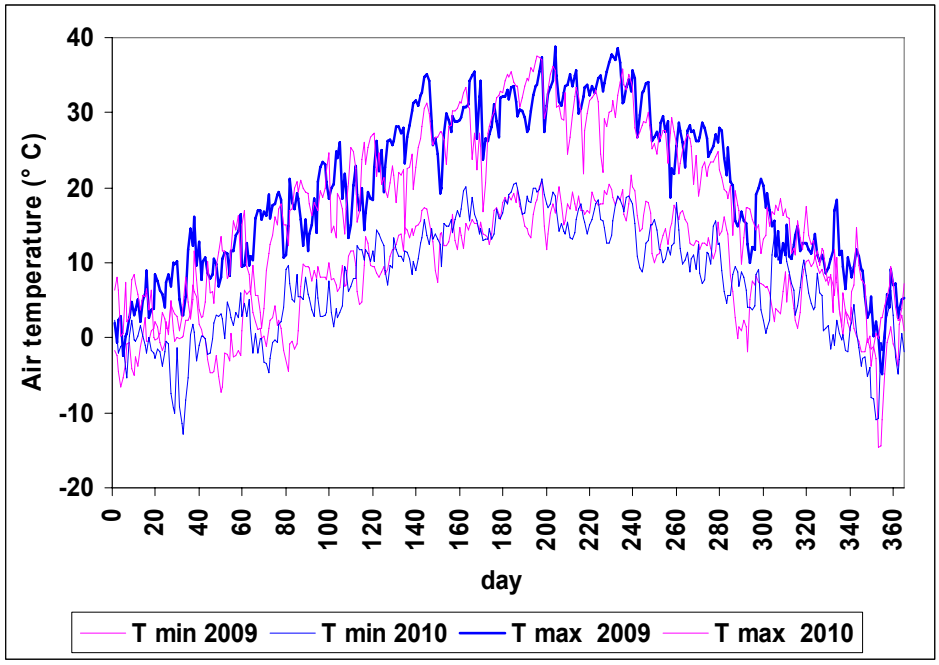


Figura 2 - Andamento delle temperature nella località delle prove nel biennio 2009-2010.

Caratteri biometrici dei culmi e produttività

L'analisi statistica dei dati ha evidenziato effetti significativi dei fattori allo studio sui caratteri biometrici e produttivi delle piante, indotti sia singolarmente che in interazione fra loro.

Effetti medi delle annate. Nel 2010, grazie alla maggiore piovosità rispetto al 2009, la coltura ha manifestato una migliore performance (Tab. 1). In particolare, si è avuta una maggiore produzione di biomassa, sia in termini di prodotto fresco (+40.2%), sia come sostanza secca (+41.6%). L'incremento di resa è conseguente alla maggiore altezza dei culmi (+25.5%) e al maggiore diametro dei culmi stessi (+13.6%). Inoltre, va evidenziato che anche la composizione della biomassa è risultata differente nelle due annate: nel 2010 si sono avuti maggiore incidenza dei culmi (64.7 contro 59.9%) e minori frazioni di foglie e panicoli.

Tabella 1 - Effetti medi delle annate sulle caratteristiche biometriche e produttivi delle piante.

Caratteri		2009	2010
Biomassa fresca	(t ha^{-1})	61.9	86.8**
Altezza culmi	(cm)	304.9	382.5**
Diametro basale culmi	(mm)	17.7	20.1**
Nodi culmo-1	(n.)	10.7	11.7**
Sostanza secca	(t ha^{-1})	17.3	24.5**
Culmi	(%)	59.9	64.7**
Foglie	(%)	25.1	23.4**
Panicoli	(%)	15.0	11.8**

**: significativamente diversi per P=0.01 (test F)

Effetti medi delle epoche di semina. Le epoche d'impianto della coltura hanno influito sensibilmente sulla densità d'investimento, sulle dimensioni dei culmi, sulla incidenza delle componenti della biomassa, sulla produzione di prodotto fresco, ma non sulla resa in sostanza secca (Tab. 2). L'ultima semina, grazie ai maggiori livelli termici del terreno, ha determinato una maggiore emergenza di plantule e, quindi, una densità d'investimento superiore rispetto ai due precedenti impianti. D'altro canto, la seconda semina, ovvero quella consuetudinaria, ha dato luogo a culmi più alti, di maggiore diametro e con maggior numero di nodi rispetto alla terza semina. Tuttavia, come già accennato non sono state riscontrate differenze di rilievo fra le epoche d'impianto relativamente alla produzione di sostanza secca. Ciò, in quanto le maggiori dimensioni dei culmi delle prime due epoche di semina hanno giusto compensato le minori fittezze d'investimento. D'altra parte, le differenze di produzione in biomassa fresca riscontrate fra le tre epoche di semina erano dovute alle differenti percentuali di umidità del prodotto al momento dello sfalcio, basso per quello della prima semina (67.9%) e crescente per le altre due (+2.9 e +8.0 punti percentuali).

Tabella 2 - Effetti medi delle epoche di semina sulle caratteristiche biometriche e produttive delle piante.

Caratteri		I epoca	II epoca	III epoca
Culmi m^{-2}	(n.)	14.6 b	14.3 b	17.8 a
Biomassa fresca	(t ha^{-1})	64.3 c	76.6 b	82.1 a
Altezza culmi	(cm)	352.6 a	361.1 a	317.3 b
Diametro basale culmi	(mm)	17.9 c	19.9 a	19.0 b
Nodi culmo^{-1}	(n.)	11.2 b	11.7 a	10.8 c
Umidità	(%)	67.9 c	70.8 b	75.9 a
Sostanza secca	(t ha^{-1})	20.5 a	22.0 a	20.2 a
Culmi	(%)	59.7 c	62.3 b	64.1 a
Foglie	(%)	19.8 c	23.8 b	29.2 a
Panicoli	(%)	20.4 a	13.9 b	6.0 c
°Brix	(%)	16.1 a	14.7 a	12.1 b

Valori della stessa riga contrassegnati da lettere diverse differiscono significativamente per P=0.05 (test di Duncan).

L'epoca di semina sembra influire sensibilmente sulla composizione della biomassa. Infatti, posticipando l'impianto sono cresciute progressivamente l'incidenza dei culmi e delle foglie, mentre è diminuita quella dei panicoli.

L'epoca d'impianto della coltura ha influenzato anche il grado zuccherino dei succhi che ha raggiunto il valore massimo nella coltura della prima epoca di semina (16.1 °Brix) e quello significativamente più basso con la terza semina.

Effetti medi delle raccolte. Contrariamente alle epoche di semina, le raccolte hanno influito rilevantemente sulla produzione di sostanza secca. Di fatto, quest'ultima, in media, è aumentata passando dalla prima alla seconda raccolta (+35.4%) e da quest'ultima alla terza (+13.8%). Tali incrementi di produzione sono spiegati dall'aumento dell'altezza delle piante (+18.7% e +2.3%). Posticipando la raccolta è diminuita progressivamente l'umidità della biomassa al momento dello sfalcio, si è ridotta l'incidenza delle foglie sulla biomassa totale (-8.8 e -3.5 punti percentuali), è aumentata l'incidenza dei panicoli sulla biomassa totale ed è cresciuto il grado zuccherino del succo spremuto dai culmi (+6.4 e +2.2 °Brix).

Tabella 3 - Effetti medi delle epoche di raccolta sulle caratteristiche biometriche e produttive delle piante.

Caratteri		I raccolta	II raccolta	III raccolta
Biomassa fresca	(t ha^{-1})	73.1 b	72.1 b	77.9 a
Altezza culmi	(cm)	303.2 b	359.8 a	368.0 a
Nodi $culmo^{-1}$	(n.)	10.0 c	11.5 b	12.2 a
Umidità	(%)	77.6 a	69.4 b	67.7 c
Sostanza secca	(t ha^{-1})	16.1 c	21.8 b	24.8 a
Culmi secchi	(t ha^{-1})	10.0 c	13.8 b	15.6 a
Panicoli secchi	(t ha^{-1})	1.2 c	3.1 b	4.4 a
°Brix	(%)	9.3 c	15.7b	17.9 a

Valori della stessa riga contrassegnati da lettere diverse differiscono significativamente per P=0.05 (test di Duncan).

Effetti medi indotti dalle varietà. Pur raggiungendo lo stesso livello produttivo (21 t ha^{-1} s.s.) le due cultivar si sono differenziate significativamente per i caratteri biometrici dei culmi, per i rapporti fra le componenti della biomassa e per l'umidità del prodotto fresco (Tab. 4). 'Biomass 133' ha mostrato culmi più alti (+11.5%) e di maggior diametro (+3.8%), minore umidità della biomassa e minore rapporto foglie/biomassa. 'Sucre 506', da parte sua, ha presentato maggiore fittezza dei culmi (+19.0%) e minore rapporto panicoli/biomassa.

Va sottolineato che i due ibridi, l'uno commercializzato come tipo da fibra (Biomass 133) e l'altro come tipo zuccherino (Sucre 506), non si sono differenziati per grado zuccherino.

Tabella 4 - Effetti medi delle varietà sulle caratteristiche biometriche e produttive delle piante.

Caratteri		Biomass 133	Sucre 506
Culmi m^{-2}	(n.)	14.2	16.9**
Biomassa fresca	(t ha^{-1})	71.2	77.5**
Altezza culmi	(cm)	362.4	325.0**
Diametro basale culmi	(mm)	19.3	18.6**
Umidità	(%)	70.0	73.0**
Sostanza secca	(t ha^{-1})	21.0	20.8 n.s.
Foglie	(%)	23.2	25.3**
Panicoli	(%)	14.9	12.0**
°Brix	(%)	14.2	14.3 n.s.

**: significativamente diverso per P=0.01 (test F); n.s.: non significativo

Effetti dell'interazione "epoche di semina x epoche di raccolta". Azioni combinate di questi due fattori hanno interessato la produzione di sostanza secca, l'altezza dei culmi e l'umidità della biomassa fresca (Tab. 5). Di fatto, le maggiori rese di sostanza secca (26.0 e 25.9 t ha^{-1}) sono state raggiunte nelle parcelle seminate in seconda e terza epoca e raccolte in ultima epoca. Con la combinazione 'seconda epoca di semina – terza raccolta' si è avuta anche la massima altezza dei culmi (378 cm), che tuttavia non si è differenziata dai valori relativi alla combinazione 'seconda epoca di semina – seconda raccolta' e 'terza epoca di semina – terza raccolta'. I minori contenuti di umidità della biomassa allo sfalcio sono stati rilevati per la prima epoca d'impianto combinata con la seconda e la terza raccolta (66.6 e 65.3%, rispettivamente).

Tabella 5 - Effetti dell'interazione "epoche di semina x epoche di raccolta" sulla resa in biomassa, sull'altezza dei culmi e sull'umidità della biomassa fresca.

Epoche di semina	Sostanza secca (t ha^{-1})			Altezza pianta (cm)			Umidità della biomassa (%)		
	I raccolta	II raccolta	III raccolta	I raccolta	II raccolta	III raccolta	I raccolta	II raccolta	III raccolta
I	18.8 cd	20.2 c	22.5 b	345 ef	352 de	361 bd	71.9 d	66.6 fg	65.3 g
II	17.1 d	23.0 b	**26.0 a**	335 f	371 ab	378 a	76.6 b	68.1 f	67.6 f
III	12.4 e	22.3 b	**25.9 a**	229 g	357 ce	366 ac	84.2 a	73.5 c	70.1e
P=0.05 DMS		1.91			11.89			1.52	
P=0.05		2.55			15.86			2.03	

Altri effetti combinati dei due fattori in discorso hanno interessato la composizione della biomassa e il grado zuccherino (Tab. 6): le maggiori incidenze dei culmi sulla

biomassa totale (66.3 e 68.0%) sono state raggiunte con la coltura derivante dalla terza epoca di semina in combinazione con la seconda e con la terza raccolta. Il grado zuccherino, invece, ha raggiunto i valori tendenzialmente più elevati con la prima e la seconda semina combinate con la terza raccolta (17.8 e 18.5 °Brix).

Tabella 6 - Effetti dell'interazione "epoche di semina x epoche di raccolta" sulle componenti della biomassa e sul grado zuccherino dei succhi.

Epoche di semina	Culmi/biomassa (%)			Panicoli/biomassa (%)			°Brix (%)		
	I raccolta	II raccolta	III raccolta	I raccolta	II raccolta	III raccolta	I raccolta	II raccolta	III raccolta
I	62.3 bc	59.6 cd	57.3 d	13.8 d	20.6 b	26.8 a	12.5 c	17.4 ab	18.5 a
II	63.4 b	62.3 bc	61.2 bc	6.1 f	16.3 c	19.3 b	9.4 d	16.8 b	17.8 ab
III	60.1 cd	66.3 a	68.0 a	0.2 g	7.5 f	10.4 e	6.1 e	12.8 c	17.4 ab
P=0.05 DMS		2.72			1.94			1.22	
P=0.01		3.63			2.59			1.62	

Effetti dell'interazione "varietà x epoche di semina". I dati relativi a tali effetti sono riportati in tabella 7. Dal loro esame si può osservare che le produzioni di sostanza secca delle due cultivar si sono differenziate in relazione all'epoca d'impianto, così mentre 'Sucre 506' ha raggiunto la massima produzione (23 t ha^{-1}) in seconda epoca di semina, 'Biomass 133', invece, non ha risentito in alcun modo dell'epoca d'impianto. L'altezza dei culmi per 'Biomass 133' è aumentata sensibilmente passando dalla prima alla seconda semina, per 'Sucre 506', invece, le altezze maggiori dei culmi si sono avute con le prime due epoche d'impianto senza differenziarsi fra loro. Analogamente, il rapporto culmi/biomassa nel caso di 'Biomass 133' è aumentato rilevantemente passando dalla prima alla seconda epoca di semina e da quest'ultima alla terza; al contrario, per 'Sucre 506' non si sono avute differenze di rilievo fra i valori delle prime due semine, né fra seconda e terza semina.

Tabella 7 - Effetti dell'interazione "epoche di semina x varietà" su resa in sostanza secca, altezza culmi e incidenza dei culmi sulla biomassa totale.

Epoche di semina	Sostanza secca (t ha^{-1})		Altezza culmi (cm)		Culmi/biomassa (%)	
	Biomass133	Sucre 506	Biomass133	Sucre 506	Biomass133	Sucre 506
I	20.5 b	20.5 b	369.2 b	336.0 c	58.1 d	61.4 c
II	21.0 b	23.0 a	384.9 a	337.3 c	61.4 c	63.0 bc
III	21.4 b	19.0 c	332.9 c	301.7 d	66.1 a	63.5 b
P=0.05 DMS	0.94		9.25		1.83	
P=0.01	1.32		12.97		2.57	

Conclusioni

I risultati ottenuti indicano che nel Nord Italia l'anticipo della semina del sorgo da biomassa non consente di anticipare la raccolta. Di fatto, le massime rese sono state ottenute dalle coltivazioni seminate a fine aprile-metà maggio e raccolte tardivamente a fine settembre. Le piante derivate dalle semine di marzo-inizio aprile, a causa delle temperature ancora relativamente basse, hanno manifestato uno sviluppo iniziale molto più lento rispetto a quelle ottenute dagli impianti di fine aprile-metà maggio. Paradossalmente l'anticipo della semina ha determinato un allungamento del ciclo colturale. Purtroppo, il sorgo è piuttosto esigente dal punto di vista termico, con un minimo di germinazione a 10°C, un minimo di vegetazione a 13°C e un optimum di crescita a 27-28°C (Ferraris e Charles-Edwards, 1986; Vanderlip e Reeves, 1972).

I genotipi saggiati, rappresentativi della gamma varietale disponibile, raggiungono il massimo accumulo di sostanza secca non prima di fine settembre. D'altro canto è sconsigliabile posticipare la raccolta oltre metà settembre, poiché aumenta sensibilmente il rischio di condizioni pedo-climatiche sfavorevoli (eventi piovosi, rugiade, abbassamenti termici) che influirebbero negativamente sull'esito della raccolta meccanica e sui tempi di essiccazione della biomassa. Per favorire il processo di disidratazione e ridurre i tempi di esposizione del prodotto sfalciato in campo è fondamentale impiegare falcia-condizionatrici in grado di realizzare una frequente ed omogenea fessurazione dello stelo, oltre ad una uniforme deposizione a terra, evitando accumuli e facilitando la circolazione dell'aria (Pari *et al*., 2009). Ovviamente, questo problema non si pone per il sorgo zuccherino se destinato alla produzione di biogas, poiché in questo caso viene raccolta la biomassa fresca tramite falcia-trinciacaricatrice.

Sotto il profilo produttivo, il sorgo si è confermato molto interessante per la realizzazione di colture dedicate alla produzione di bioenergia. L'interesse per questa specie deriva anche dal fatto che, trattandosi di pianta erbacea a ciclo annuale, consente, a differenza delle poliennali, un indirizzo produttivo flessibile, aspetto non di poco conto in presenza di incertezza imprenditoriale, come in questo periodo.

Bibliografia

Amaducci S., Amaducci M.T., Beneti R., Venturi G., 2000. Crop yield and quality parameters of four annual fibre crops (hemo, kenaf, maize and sorghum) in the North of Italy. Industrial Crops and Products 11, 179-186.

Cosentino S. (1996). Crop physiology of sweet *Sorghum* (*Sorghum bicolor* L. Moench) in relation to water and nitrose stress. Proceedings of the "First European Seminar on Sorghum", Tolosa, april 1-3, 30-41.

Cosentino S., Foti S., Venturi G., Giovanardi R., Copani V., Mantineo M., D'Agosta G., Bezzi G., Tassan Mazzocco G., 2006. Agroindustria, 4, 1, 35-48.

Di Candilo M., Ceotto E., Barbanti L., Fazio S., Monti A., Venturi G., 2009. Le colture ligno-cellulosiche per la produzione di biomassa da energia. In: Ranalli P. (Ed.) Le piante industriali per una agricoltura multifunzionale. Edizioni Avenue Media, 2009. Capitolo 9, pp. 199-244. ISBN: 978-88-86817-53-0.

Di Candilo M., Ceotto E., Del Gatto A., Mangoni L., Pieri S., Diozzi M., 2010. Valutazione delle caratteristiche produttive ed energetico-qualitative di varietà di sorgo da fibra e da zucchero in ambienti del Centro-nord Italia. Dal Seme, 3, 46-55.

Di Candilo M., Ceotto E., Diozzi M., 2008. Comparison of 7 ligno-cellulosic biomass feedstock species: 6-years results in the Low Po Valley. In: Rossi Pisa P. (ed.) 10th Congress of the European Society of Agronomy, Bologna, Multifunctional Agriculture, Agriculture as a Resource for Energy and Environmental Preservation. Italian Journal of Agronomy, Vol. 3, No. 3 suppl., 481-482.

Fagnano M., Postiglione L., 2002. Sorgo da energia in ambiente mediterraneo: effetto della concimazione azotata con limitati apporti idrici. Rivista di Agronomia, 36, 227-232.

Ferraris R., Charles-Edwards D.A., 1986. A comparative analysis of the growth of sweet and forage sorghum crops. I. Dry matter production, phenology and morphology. Australian Journal of Agricultural Research, 37, 495–512.

Foti S., Cosentino S.,L., 2001. Colture erbacee annuali e poliennali da energia. Rivista di Agronomia 35, 200-215.

Habyarimana E., Laureti D., De Ninno M., Lorenzoni C., 2004. Performances of biomass sorghum (Sorghum bicolor (L.) Moench) under different water regimes in Mediterranean regions. Industrial Crops and Products, 20, 23-28.

Habyarimana E., Laureti D., Di Fonzo N., Lorenzoni C., 2002. Biomass production and drought resistance at the seedling stage and in field conditions in *Sorghum*. Maydica 47, 303-309.

Heichel G.H., 1976. Agricultural production and energy resources. Am. Scientist 64, 64-72.

Kebede H., Subudhi P.K., Rosenow D.T., Nguyen H.T., 2001. Quantitative trait loci influencing drought tolerance in grain sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). Theor. Appl. Genet. 103, 266-276.

Loomis R.S., Williams W.A., 1963. Maximum crop productivity: an estimate. Crop Science 3, 67-71.

Lovelli S., Perniola M., Monteleone M., Nardiello I., Rivelli A.R., 2001. Bilancio e dinamica dell'azoto in coltura di sorgo zuccherino (*Sorghum vulgare* L. var. *saccharatum*): aspetti agronomici ed ambientali. Atti del 34th Convegno della Società Italiana di Agronomia. Pisa 17-21 settembre 2001, 188-189.

Pari L., Assirelli A., Suardi A., 2009. Migliorato il condizionamento del sorgo da fibra alla raccolta. L'Informatore Agrario, Supplemento al n. 29, 16-18.

Rivelli A.R., Lovelli S., Nardiello I., Perriola M., Gherbin P., 2002. Effetto della salinità sull'accrescimento e sulla risposta produttiva del sorgo da carta. Rivista di Agronomia, 36, 133-139.

Soil Survey Staff, 2003. Keys to Soil Taxonomy, 9th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.

Vanderlip R.L., Reeves, H.E., 1972. Growth stages of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). Agronomy Journal, 64, 13–16.

Yang Y.W., Newton R.J., Miller F.R., 1990. Salinity tolerance in *Sorghum*. I. Whole plant response to sodium chloride in *S. bicolor* and *S. halepense*. Crop Science, 30, 775-781.

3
Coltivazione nel Sud Italia

a - Tecnica colturale del sorgo da biomassa nel Sud Italia

The cultivation of biomass sorghum in southern Italy

Salvatore Luciano Cosentino*, Marcello Mastrorilli, Alessandro Saita*, Giovanni Scalici***

Riassunto

In questo lavoro vengono passati in rassegna i principali risultati ottenuti sul sorgo da biomassa (zuccherino e da fibra) [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] in ambiente caldo-arido mediterraneo. In particolare vengono riportati alcuni aspetti della tecnica colturale relativi a: lavorazione del terreno, epoca di semina, rotazione colturale, concimazione (azotata e fosfatica), irrigazione, trattamenti antiparassitari e raccolta. Sono stati riportati inoltre i risultati di una prova sperimentale condotta nell'ambito del progetto "FAESI" (Filiera bioenergetica del Sud Italia), finanziato dal Ministero italiano dell'Agricoltura (MiPAF), nella Piana di Catania che aveva l'obiettivo di valutare la produttività di 19 genotipi di sorgo zuccherino e da fibra (M81-E, Topper76-6, Dale, Sugargraze, Nectar, Padana 4, Nicol, Sucro 506, Bulldozer, Silage King, Maja, Padana 1, Hayday, Jumbo, PR849, PR811, PR895, Biomass H133, Sucro 405) coltivati con differenti disponibilità idriche: fino all'insediamento delle plantule (I_0), I_0 + restituzione del 50% dell'ETm (Partial rootzone drying), I_0 + restituzione del 100% dell'ETm (I_{100}). La coltura è stata seminata il 3 giugno 2010 e sono stati apportati 192,5 mm e 345 mm di acqua rispettivamente nella tesi 50% e 100% di restituzione dell'ETm. La produzione di biomassa fresca, nella media dei genotipi e dei trattamenti (50,5 t ha^{-1}), è variata significativamente tra i due fattori allo studio. Nelle migliori condizioni di irrigazione (I_{100}) è stata registrata una resa di 69,0 t ha^{-1}, mentre nelle tesi 50% e 0% si sono registrati valori di 58,1 t

* Dipartimento di Scienze delle Produzioni Agrarie e Alimentari (DISPA), Università degli Studi di Catania.
** Consiglio per la Ricerca e la sperimentazione in Agricoltura - Unità di ricerca per i sistemi colturali degli ambienti caldo-aridi CRA-SCA.

ha^{-1} e 24,3 t ha^{-1} rispettivamente; mentre i valori di biomassa secca sono stati di 16,9 t ha^{-1}, 15,6 t ha^{-1} e 5,6 t ha^{-1} rispettivamente per la tesi 100%, 50% e 0%. La tecnica della Partial rootzone drying che ha permesso di risparmiare circa il 35% di acqua rispetto alla restituzione del 100% dell'ETp, ha determinato valori più elevati di WUE.

Parole chiave: *Sorghum bicolor* L. Moench; resa; stress idrico; ambiente mediterraneo.

Abstract

In this paper the main results obtained on sorghum biomass (sugar and fiber types) [Sorghum bicolor *(L.) Moench] in a semi-arid Mediterranean environment are reviewed. In particular some aspects of cultural practices as soil tillage, time of planting, crop rotation, fertilization (nitrogen and phosphate), irrigation, treatments against parasites and harvest are discussed. The results of a research carried out within the project "FAESI" (Filiera bioenergetica del Sud Italia) funded by the Italian Ministry of Agriculture (MiPAF) with the aim of evaluating the productivity of nineteen sweet and fiber sorghum genotypes (M81-E;Topper 76-6; Dale; Sugargraze; Nectar; Padana 4; Nicol; Sucro 506; Bulldozer; SilageKing; Maja; Padana 1; Hayday; Jumbo; PR849; PR811; PR895; H133; Sucro 405) with different irrigation treatments (I_0-0% ETc restoration; I_{50}-50% ETc restoration PRD (Partial Root Zone Drying); I_{100}-100% ETc restoration are also reported. The crop was sown on June 3rd, 2011 and a total amount of irrigation water of 345 mm and 193 mm were supplied in I_{100} and I_{50} regimes, respectively. The above ground fresh biomass, on average of genotypes was 69,0 t ha^{-1} in fully irrigated treatment (I_{100}), 58,1 t ha^{-1} in I_{50} and 24,3 t ha^{-1} in I_0, while the dry matter yield was equal to 16,9 t ha^{-1}, 15,6 t ha$_{-1}$ and 5,6 t ha^{-1} under I_{100}, I_{50} and I_0 regimes respectively. The PRD (Partial Rootzone Drying) application allowed to obtain a higher WUE compared to I_{100} treatment. The application of the PRD (Partial Rootzone Drying), which has resulted in water savings of about 35% compared with the conventional technique of irrigation (I_{100}-100% ETc), has determined a higher WUE.*

Keywords*: Sorghum bicolor; Biomass yield; Drought stress; Mediterranean region.*

Introduzione

Tra le colture da biomassa per energia, il sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench], sia da fibra che zuccherino, è considerato una delle specie più promettenti, essendo una coltura a ciclo C4 e destando interesse per la produzione di bioetanolo di prima e seconda generazione. In relazione alle sue esigenze fototermiche questa coltura è ritenuta adatta agli ambienti dell'Europa meridionale, anche se per potere espletare la sua notevole potenzialità produttiva necessita di apporti idrici supplementari (Cosentino, 1996; Perniola *et al*., 1997; Mastrolilli *et al*., 1998). È noto, peraltro, che la col-

tura, sempre in rapporto alla sua origine, presenta spiccate caratteristiche biologiche e fisiologiche di arido resistenza che le consentono di potere superare periodi di carenza idrica, arrestando momentaneamente accrescimento e sviluppo (Cosentino, 1996). La capacità di rallentare i processi vitali nei periodi più siccitosi, associata ad alcuni caratteri anatomici, quali un apparato radicale che può estendersi nel terreno ad una profondità di oltre 1,5 m, uno strato siliceo presente nell'endoderma radicale e una cuticola cerosa sulla parte aerea, conferiscono a questa pianta un'elevata resistenza agli stress idrici. Tuttavia, questa coltura, pur essendo dotata di spiccate caratteristiche di arido-resistenza, richiede apporti irrigui durante la stagione colturale che coincide con il periodo estivo (Cosentino, l.c.; Perniola *et al*., 1999) con notevole aggravio dei costi di produzione. Il sorgo appartiene alla famiglia delle Poaceae, specie Sorghum bicolor, a ciclo C4. Originaria dell'Africa Centrale (Etiopia, Sudan, Ciad) e richiede alte temperature di crescita. È considerata la più produttiva coltura annuale per la produzione di biomassa (Cosentino e Copani, 2003). La parte aerea della pianta consiste di un culmo principale, che può superare i 4 m di altezza, e di un numero variabile di accestimenti. Nelle varietà zuccherine, al suo interno, il culmo è midolloso, succoso e ricco in zuccheri solubili la cui percentuale sul fresco può variare dall'8 al 14%. Lo stelo contiene il 36-40% di cellulosa, il 25-30% di emicellulosa e l'8-9% di lignina. L'infiorescenza è costituita da un panicolo di dimensioni molto più ridotte rispetto ai tipi da granella per evitare un eccessivo accumulo di carboidrati nel seme. I vantaggi legati alla sua coltivazione a fini energetici derivano dalla facilità con cui può essere introdotto negli ordinamenti colturali in atto applicando l'ordinaria tecnica colturale ed il parco macchine aziendale. I punti di debolezza riguardano allo stato attuale il reperimento del seme. Aspetti problematici sono costituiti dalla necessità dell'irrigazione negli ambienti meridionali, la suscettibilità all'allettamento, che si controlla in parte attraverso la tecnica agronomica (concimazione, irrigazione, densità di semina), in parte con la scelta dei genotipi. Nelle varietà da fibra, invece, la parte esterna del culmo è fibrosa, mentre la parte centrale appare, comunque, spugnosa. Nel sorgo da fibra si verifica una diversa destinazione del carbonio organicato durante la fotosintesi rispetto a quello da zucchero: nel tipo da fibra prevale la produzione di carboidrati strutturali, in particolare di cellulosa; nel tipo da zucchero, invece, almeno il 30% di tutta la sostanza secca accumulata è costituito da zuccheri semplici (saccarosio, glucosio e fruttosio) (Cosentino e Copani, 2003). I vantaggi specifici del sorgo da fibra riguardano il facile reperimento del seme, che attualmente viene prodotto e distribuito in Europa, la minore suscettibilità all'allettamento rispetto al tipo zuccherino, aspetto che costituisce, tra l'altro, uno degli obiettivi del miglioramento genetico a cui si sta lavorando in Italia.

Trattandosi di una coltura non destinata alla produzione di granella, il sorgo tollera lo stress idrico anche durante le fenofasi critiche. Nonostante le caratteristiche di arido-resistenza, negli ambienti meridionali il sorgo può essere introdotto in sistemi colturali in irriguo e nelle aziende agrarie dove è prevista l'irrigazione di soccorso. Il

rispetto dei principi dell'aridocoltura giova alla sostenibilità economica ed ambientale del sorgo da biomassa negli ambienti meridionali.

Rotazione

Il sorgo è considerata una coltura da rinnovo, dopo un cereale vernino. Nelle condizioni meridionali il sorgo da biomassa si avvantaggia della successione a erbai a semina autunnale o a colture leguminose, che compiano il proprio ciclo entro il mese di maggio.

Le colture cerealicole seminate dopo il sorgo sono soggette ad una minore produttività se non vengono adeguatamente rifornite di azoto.

Il ritorno del sorgo sullo stesso terreno deve avvenire ad intervalli non inferiori al biennio. Si sconsiglia il sorgo in coltura ripetuta.

Lavorazione del suolo

La preparazione del terreno è cruciale per la buona riuscita della coltura del sorgo da biomassa. Per la coltivazione del sorgo da biomassa si fa ricorso alla lavorazione convenzionale (aratura a 25-30 cm, seguita da una discissura a 10-15 cm) e, a seconda della natura del terreno e dell'organizzazione aziendale, si può ricorre al minimum tillage (fino a 10-15 cm di profondità di lavorazione), ma anche alla semina su sodo (Saballos, 2008).

Semina

L'epoca di semina più idonea per il sorgo da biomassa è quella primaverile poiché la coltura non tollera il freddo e non cresce con basse temperature. La germinazione dei semi avviene a temperature del suolo superiori agli 8-10°C, generalmente considerata la soglia termica minima. La temperatura ottimale per l'emergenza è di 25°C (ISTA, 1996). In ambiente caldo arido mediterraneo il sorgo trova le migliori condizioni di luce e temperatura durante i mesi di maggio giugno e luglio. In condizioni di disponibilità idrica ottimale del terreno il sorgo raggiunge le sue massime produzioni. Al fine di ridurre l'apporto idrico artificiale sono stati condotti numerosi studi sulla stata studiata la possibilità di anticipare o ritardare l'epoca di semina. Con riferimento all'anticipo dell'epoca di semina è stato dimostrato che l'osmocondizionamento del seme determina una fase di pre-imbibizione del seme che permette la germinazione del seme anche a temperature inferiori alla soglia minima (Foti *et al*., 2002). È stato rilevato in pieno campo, tuttavia, che nei terreni argillosi nelle condizioni di basse temperature ed elevata umidità che si determinano con le semine anticipate, solo i semi con il tegumento ricco in tannini presentano una buona germina-

bilità, mentre i semi con tegumento chiaro non riescono a germinare probabilmente preda di muffe (Patanè *et al*., 2008). L'epoca di semina anticipata ha comunque determinato un lento sviluppo delle plantule e non ha ridotto la quantità di acqua di irrigazione necessaria per sostenere la crescita delle piante avvenuta in luglio (Foti *et al*., 2001). Considerato che anche il controllo delle erbe infestanti risulta più difficile e costoso, l'epoca di semina anticipata non è ancora praticabile. Questo problema potrà essere superato con lo sviluppo di varietà resistenti alle basse temperature, tematica alla quale si stanno occupando numerosi enti di ricerca.

In Sicilia sono state condotte prove sperimentali per valutare la possibilità di ritardare l'epoca di semina in modo da sfruttare le piogge autunnali e risparmiare l'acqua per irrigazione. I risultati sono apparsi incoraggianti in quanto la quantità di acqua da somministrare si riduce considerevolmente, fino a circa 1/5 di quella normalmente richiesta dalla coltura, ed è necessaria soprattutto nelle prime fasi del ciclo (Cosentino *et al*., 1999). La gestione di questa epoca di semina va condotta con molta attenzione poiché le prime fasi fenologiche sono assai delicate e richiedono frequenti irrigazioni per assicurare la disponibilità di acqua nello strato superficiale del terreno. Questo periodo coincide con l'assenza di precipitazioni e con una elevata domanda evaporativa, di conseguenza l'acqua fornita con l'irrigazione si perde, in parte, per evaporazione direttamente dal suolo e si riduce la capacità del sorgo di trasformare l'acqua in biomassa (Water Use Efficiency). Nel complesso l'efficienza d'uso dell'acqua irrigua migliora sensibilmente (Cosentino *et al*., 2009; Mantineo *et al*. 2009).

È opportuno sottolineare che nelle condizioni che si realizzano con la semina tardiva, la resa si dimezza rispetto alle epoche ottimali a causa della riduzione della intensità di radiazione solare durante i mesi autunnali rispetto ai mesi primaverili estivi, e che le operazioni di raccolta potrebbero essere rese difficoltose dal suolo reso poco praticabile dalle piogge autunnali.

Va inoltre ricordato che il sorgo da biomassa qualora venga raccolto in autunno inoltrato e le ristoppie vengano lasciate nel terreno, queste nella primavera successiva sono in grado di ricacciare fornendo una nuova coltura che presenta il vantaggio di accrescersi velocemente nelle prime fasi poiché utilizza i materiali di riserva accumulati nella corona e nell'ipocotile e quindi di anticipare la raccolta e di conseguenza ridurre i consumi idrici.

Il letto di semina deve essere ben preparato e adeguatamente rifornito di elementi nutritivi.

Per consentire un buon insediamento della coltura e più alte rese è opportuno mantenere la coltura nelle migliori condizioni, attraverso il controllo delle infestanti, un'adeguata densità di semina e altre pratiche colturali che riducano la competizione intra ed inter specifica durante la fase di emergenza (30 giorni dalla semina). In questa fase lo sviluppo della coltura è piuttosto lento. Dal momento in cui il sorgo ha completato lo sviluppo dell'apparato radicale, la coltura accelera l'accrescimento e compete con le infestanti senza ulteriori interventi di diserbo.

Con riferimento alle modalità di semina si ricorda che l'investimento unitario può variare tra 10 e 20 piante per metro quadro con valori ottimali intorno a 12 piante m^{-2}. Un investimento unitario più alto può determinare l'allettamento delle piante, soprattutto nel sorgo zuccherino che presenta una struttura del culmo meno resistente del sorgo da fibra. La distanza fra le file può variare tra 50 e 70 cm in funzione delle esigenze meccaniche con una distanza all'interno della fila tra 11 e 17 cm. Considerato il peso dei mille semi (20-30 g) per ottenere questo investimento unitario è necessario utilizzare tra 4 e 6 kg di semente per ettaro. Tuttavia è opportuno calcolare la dose di seme in base alla germinabilità del seme, spesso inferiore al 100%. La profondità dei semina non deve superare i tre centimetri ed il seme deve essere coperto dal terreno. In considerazione delle dimensioni del seme potrebbe essere opportuna una rullatura del terreno dopo la semina.

Concimazione

Come per altre colture, la dose ottimale di fertilizzazione dipende dalla fertilità del suolo che ospita la coltura. In generale il sorgo è considerato meno esigente in elementi nutritivi rispetto al mais. Secondo alcuni studi (Monti *et al*., 2003) il sorgo richiede circa il 40% in meno di azoto rispetto al mais. Ciò contribuisce al risparmio energetico poiché limita una delle voci di spesa (la fertilizzazione) che più delle altre incide sul bilancio energetico della coltura.

Comunque per la coltura del sorgo da biomassa non si possono fornire meno di 80 Kg ha^{-1} di P_2O_5, prima della semina, e di 60 Kg ha^{-1} di N in copertura (nitrato ammonico). Dosi maggiori di 160 Kg ha^{-1} di P_2O_5 (metà alla semina e metà in copertura) e di 120 Kg ha^{-1} di N (60 Kg ha^{-1} alla semina, come solfato ammonico, e 60 Kg ha^{-1} in copertura, come nitrato ammonico) non sempre hanno dimostrato incrementi produttivi.

Il momento della concimazione appare altrettanto importante come la dose di elementi nutritivi da apportare alla coltura. Almodares and Darany (2006) indicano che l'altezza delle piante, il diametro dei culmi e la resa in biomassa secca aumentano in corrispondenza di un incremento di concimazione azotata effettuata allo stadio vegetativo, piuttosto che nel caso della distribuzione effettuata in corrispondenza dello stadio riproduttivo.

Concimazione azotata

Una ricerca condotta da Cosentino *et al*., (2003) sul destino dell'azoto somministrato con concime minerale effettuata utilizzando l'azoto marcato N14 ha permesso di mettere in evidenza che l'azoto si ripartisce nelle tre componenti della biomassa secca epigea in modo variabile: il 57% circa si accumula nei culmi, il 40,7 % nelle foglie e il 2,41% nei panicoli. Nello stesso studio si afferma che il sorgo non sembra risentire di differenti dosi di concime azotato somministrato (compreso tra 60 e 180 Kg per ettaro), in quanto è stato dimostrato che anche in assenza di concimazione azotata è in grado di assumere cospicue quote di azoto dal terreno, aspetto di fonda-

mentale importanza nella prevenzione dei rischi legati alla lisciviazione dei composti azotati durante il periodo successivo alla raccolta (inverno), ma negativo nel periodo di lungo termine per la riduzione di azoto disponibile per la coltura successiva dal momento che ciò comporta un depauperamento della fertilità chimica del suolo (Cosentino *et al*., 2003).

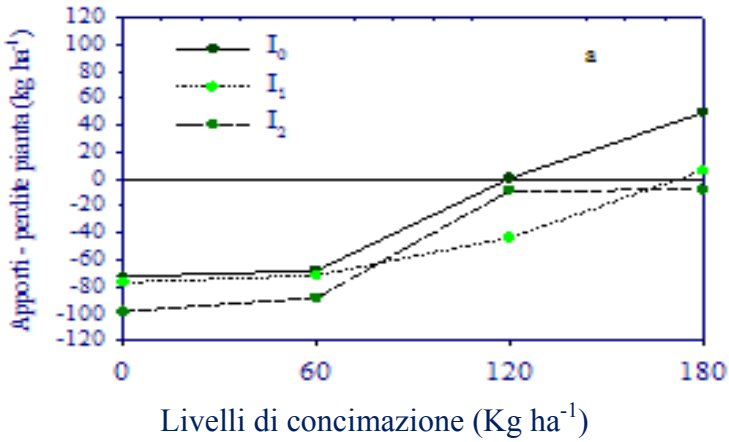


Figura 1 - Bilancio apparente dell'azoto nel terreno (entrate-uscite) in relazione alle dosi di azoto e ai livelli di irrigazione (I0= testimone asciutto; I1= restituzione del 50% dell'ETm; I2= restituzione del 100% dell'ETm) (Cosentino *et al*., 2003).

Inoltre, dosi crescenti di concime azotato (da 60 Kg ha^{-1} a 180 Kg ha^{-1}), non determinano variazioni di resa significative ma comportano una differenza significativa nella quantità di azoto asportato dalla coltura (Consumo di lusso). Infatti l'efficienza dell'assorbimento dell'azoto (Nitrogen Use Efficiency = NUE), definita come il rapporto tra il concime assorbito dalla coltura ed il concime somministrato, è marcatamente influenzata dai livelli di azoto somministrato: con apporti crescenti di azoto (60-120-180 Kg ha^{-1}) si hanno indici di tale valore pari a 0,86, 0,38 e 0,40 rispettivamente (Cosentino *et al*., 2003).

In condizioni di pieno soddisfacimento idrico, la differenza tra entrate ed uscite di azoto nel terreno raggiunge il punto di pareggio con una dose di concime di poco inferiore a 150 Kg ha^{-1} di azoto, con disponibilità idriche ridotte, il punto di pareggio si raggiunge con 120 Kg ha^{-1} di azoto (Fig. 1) (Cosentino *et al*., 2003)

Ulteriori ricerche hanno posto in evidenza che la coltura di sorgo, in condizioni di pieno soddisfacimento idrico, sembra in grado di ridurre sensibilmente la concentrazione di nitrati nella soluzione circolante del suolo. In particolare si è notato che la riduzione si realizza a partire dal mese di luglio, quando le piante raggiungono la fase di levata ed interessa tutto il profilo del terreno esplorato dall'apparato radicale della coltura; tale indicazione rappresenta un significativo contributo al contenimento delle perdite di azoto per lisciviazione lungo il profilo del terreno (Cosentino *et al*., 2011).

Un'importante pratica colturale che permette di ridurre l'apporto di azoto e conseguentemente contribuisce al bilancio energetico in senso positivo è la rotazione colturale di sorgo con specie leguminose che grazie all'azione azotofissatrice sono in grado di fornire al sorgo fino a 140 kg di azoto. Kaye *et al*. (2007) indicano che l'azoto fissato da una precedente coltura leguminosa comporta un miglioramento di resa fino al 35-41%. Secondo Begayoko (2000) le micorizze arbuscolari su radici di sorgo cresciuto dopo leguminose contribuiscono ulteriormente ad un significativo incremento di resa.

Concimazione fosfatica

La risposta del sorgo alla concimazione fosfatica è scarsa e si verifica solo nelle aree dove è fortemente limitata la disponibilità di acqua nel suolo. Terreni acidi o marginali con bassi livelli di fosforo si avvantaggiano di buoni risultati con un'applicazione iniziale (Saballos, 2008).

Irrigazione

Il sorgo è in grado di valorizzare efficacemente la disponibilità idrica del suolo. Il consumo idrico della coltura può raggiungere, nelle condizioni evapotraspirative del sud d'Italia e in condizioni ottimali 7-800 mm di acqua per un ciclo colturale. Negli ambienti meridionali gli apporti idrici vengono solo in minima parte assicurati dalle precipitazioni e in gran parte devono essere somministrati attraverso l'irrigazione. I volumi di adacquamento durante la stagione sono commisurati alla quota di ETc; possono variare tra 280 e 750 mm in rapporto all'epoca di semina (Mantineo *et al*., 2009). Numerose prove sperimentali hanno dimostrato che la riduzione della somministrazione idrica migliora l'efficienza d'uso dell'acqua. In particolare Cosentino (1996), utilizzando dati di numerose prove sperimentali condotte in Sicilia, ha rilevato una relazione tra il consumo idrico della coltura; in generale, un incremento di 100 mm d'acqua, comporta un aumento lineare di produzione di circa 5 t ha^{-1}, condizione che si verifica fino ad un apporto "limite" di 400 mm, dopo il quale l'incremento in resa conseguente a progressivi apporti idrici non è più così evidente (Cosentino, 1996).

La specie è dotata comunque di spiccate caratteristiche di arido-resistenza che le consentono di superare periodi di carenza idrica arrestando momentaneamente il suo sviluppo; in condizioni di limitata disponibilità idrica, infatti, questa specie è in grado di valorizzare meglio di altre l'acqua disponibile e gli elementi nutritivi grazie ad un'alta efficienza d'uso della radiazione solare (Mastrorilli, 1995).

Da ricerche di Cosentino *et al*. (2002) si evince come riducendo del 50% l'apporto irriguo rispetto a quanto richiesto sulla base del calcolo dell'ETc (Evapotraspirazione della coltura) il differenziale di produzione (Bassi input/Alti input) indica che la risposta produttiva del sorgo si riduce solo del 27% nel primo anno e del 36% circa nel secondo (Tab. 1).

Tabella 1 - Produzione di biomassa secca epigea (t ha^{-1}), differenziale di produzione (Bassi input/Alti input), acqua somministrata e IWUE in relazione a due livelli di input colturali in un biennio di prove a Enna (Cosentino *et al.*, 2002).

	Biomassa secca epigea (t ha^{-1})		BI/AI (%) *	Acqua somministrata (mm)		IWUE (g l^{-1})	
	AI*	BI*		AI*	BI*	AI*	BI*
1997	22	16	72,7	479,4	277,6	4,6	5,8
1998	31,2	20,1	64,4	754	424	4,1	4,7
media	26,6	18,1	67,9	616,7	350,8	4,4	5,3

*AI= Alti input; BI=Bassi input

In condizioni di irrigazione ridotta l'efficienza d'uso dell'acqua di irrigazione (IWUE) migliora grazie ad una serie di modificazioni morfologiche che la coltura mette in atto. I risultati della ricerca a cui si riferisce la tabella 1 indicano che questa può variare tra 4,1 e 5,8 g l^{-1} in relazione alla somministrazione idrica. Questi valori di IWUE sono più alti rispetto a quelli di altre colture C4, specialmente mais e sorgo da granella (Steduto *et al.*, 1997).

Le strategie che consentono di ridurre la somministrazione idrica quali le semine anticipate/tardive, l'irrigazione di soccorso durante le fasi del ciclo più sensibili allo stress idrico, il ricorso a varietà arido-resistenti, potrebbe consentire un rilevante risparmio energetico ed una razionalizzazione dell'energia impiegata.

Trattamenti antiparassitari

Il sorgo è una specie molto resistente agli stress biotici; in generale la maggior parte dei "parassiti" non causano seri danni alla coltura; un'adeguata gestione di pratiche agricole (concimazione,irrigazione, rotazioni colturali) e l'utilizzo di semi di alta qualità, contribuiscono ad aumentare la resistenza verso tali avversità. Tuttavia, il sorgo mostra una certa sucettibilità a lepidotteri ed afidi che causano danni diretti alla produzione ed indiretti essendo vettori di virus. Trattamenti chimici si rendono talvolta necessari nel caso di forti infestazioni. Nel caso di varietà sensibili agli agrofarmaci organofosforici, è preferibile ricorrere in sostituzione di questi ad un controllo di tipo fisico-meccanico-biologico.

Prima della semina i semi di sorgo sono trattati con insetticidi e fungicidi in modo da prevenire marciumi radicali e attacchi da insetti. Allo stadio vegetativo, la coltura mostra suscettibilità nei confronti di funghi patogeni (antracosi e fusarium) e virus controllabili attraverso varietà resistenti e pratiche di avvicendamento.

Raccolta

Il momento migliore per la raccolta è quello in corrispondenza della fase di riempimento delle cariossidi (ottobre-novembre). La raccolta è resa possibile da macchine

adibite alla raccolta del mais; una raccolta troppo anticipata comporta una maggiore umidità della biomassa, più facilmente deteriorabile e allo stesso tempo una minore resa dal momento che non si completa la fase di accumulo nella granella dei fotosintetati; anche una raccolta troppo posticipata può comportare perdite di produzione dovute a fenomeni di respirazione.

Resa

Il sorgo da biomassa, come detto, è una specie di origine tropicale con un ciclo fotosintetico di tipo C4. Livelli elevati di radiazione solare insieme ad elevate temperature durante il periodo vegetativo (che facilita i processi fotosintetici e di traslocazione dei fotosintetati) e adeguati rifornimenti idrici, possono fornire produzioni di biomassa estremamente elevate. Secondo numerose prove sperimetali, nelle regioni del meridione d'Italia la resa media è di 25-30 t ha^{-1}. In condizioni di semina precoce (fine marzo) e ottimale rifornimento idrico il sorgo è in grado di raggiungere livelli di produzione superiori alle 40 t ha^{-1}.

Cosentino (1996) ha studiato le relazioni intercorrenti tra acqua consumata dalla coltura e biomassa secca aerea totale prodotta (fig. 2). Queste relazioni sono di tipo quadratico ed indicano che l'aumento di produzione in biomassa secca totale è più elevata con semine precoci (aprile-maggio) rispetto a quelle tardive (fine giugno-luglio); nelle semine precoci la coltura svolge il proprio ciclo durante il periodo di massima intensità luminosa e presenta una maggiore durata dell'apparato fogliare (LAD).

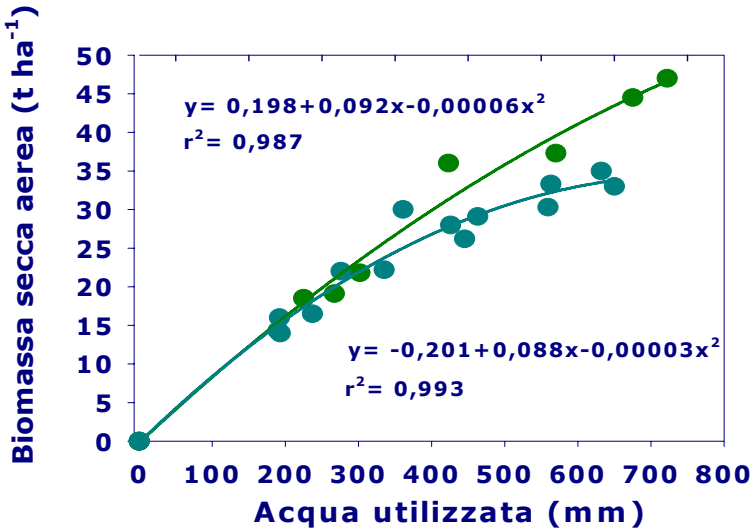


Figura 2 - Variazioni della resa in rapporto al consumo idrico di sorgo zuccherino cv. Keller in prove sperimentali condotte in Sicilia (1991-1994).

Risultati di una prova sperimentale effettuata nel 2010

Nell'ambito del programma di ricerca FAESI del Ministero delle Politiche Agricole e Forestale è stata realizzata una prova sperimentale per lo studio di differenti varietà di sorgo da biomassa disponibili attualmente sul mercato in condizioni idriche differenziate. La prova è stata condotta nel 2010 nella Piana di Catania, in contrada "Jannarello" (34 m s.l.m., 37°25'57''N, 14° 51' 80'').

Sono stati posti allo studio due fattori: il genotipo e la disponibilità idrica.

1. Genotipo: 25 genotipi di sorgo da biomassa (Tab. 1)
2. Disponibilità idrica

- Fino all'insediamento delle plantule (I_0)
- I_0 + restituzione del 50% dell' ETm: (*Partial root zone drying*) PRD (I_{50})
- I_0 + restituzione del 100% ETm (irrigazione a pieno soddisfacimento idrico) (I_{100})

Nella tesi I_{50} la somministrazione idrica è stata effettuata secondo lo schema previsto del '*Partial root zone drying'*. In particolare, a partire dalla seconda irrigazione l'acqua è stata distribuita alternativamente ad un solo settore dell'apparato radicale.

Tabella 1 - Germoplasma reperito presso Istituzioni di Ricerca e ditte commerciali.

Istituzione/Paese	Genotipi
Mississippi Foundation Seed Stocks- Station of Mississippi State University (USA)	Dale, M81-E, Topper 76-6, varietà zuccherine
Padana sementi elette (Italia)	Sugargraze, ibrido zuccherino x zuccherino Nectar, ibrido zuccherino x sudanese PADANA 1, ibrido PADANA 4, ibrido zuccherino HAY DAY, varietà da fibra Jumbo, ibrido da fibra PSE98456 PSE27767 PSE23431 PSE24213 PSE22053 PSE22043
Pioneer	PR849, fibra PR 811, fibra PR 895, fibra Sudangrass Nicol, ibrido zuccherino
Syngenta	Biomass H133, fibra Sucro 506 e 405, zuccherino
KWS ITA	Bulldozer, zuccherino Silage King, zuccherino Maja, zuccherino

Metodologia

- Lavorazioni: erpicature prima della semina
- Concimazione presemina (19/05/2010): 100 kg ha^{-1} P_2O_5 (perfosfato semplice 19%); 100 kg ha^{-1} N (solfato ammonico 21%)
- Concimazione in copertura (10/08/2010): 100 kg ha^{-1} N (nitrato ammonico 27%)
- Data di semina: 03/06/2010
- investimento unitario: 12 piante m^{-2}
- profondità di semina dell'assolcatore: 20-30 mm circa
- distanza tra le file: 55 cm
- distanza nella fila: 10 cm
- piante sulla fila: 30
- numero di file per parcella: 7
- metodo irriguo: micro portata di erogazione mediante manichetta forata

Il volume di adacquamento è stato calcolato sulla base della seguente formula:

$$V = 2/3\ (CC - PA) \times \Phi \times 0{,}4 \times 10.000$$

dove:

V = volume di acqua impiegata, espressa in mm;
CC = capacità di campo media per una profondità di 80 cm, espressa in % del peso secco del terreno;
PA = punto di appassimento medio, espresso in % del peso secco del terreno, in questo caso pari a 9,8;
Φ = densità media apparente del terreno fino ad una profondità di 80 cm pari 1,2 g cm^{-3};
0,4 = profondità in metri del terreno da umettare;
10.000= metri quadrati (1 ha)

Risultati

Acqua somministrata
Al momento della semina (03 giugno), nella settimana successiva a questa (10 giugno) e subito dopo l'emergenza tutte le tesi hanno ricevuto un volume irriguo pari a 40 mm. Altri 192,5 mm e 345 mm sono stati somministrati nelle tesi che prevedevano la restituzione del 50% e del 100% dell'ETm rispettivamente. Le pioggie di settembre ed ottobre hanno apportato 108 mm di acqua. Complessivamente la tesi che non prevedeva la restituzione dell'evaporato durante la stagione di crescita ha beneficiato di 148 mm di acqua; nella tesi 50% e 100% di restituzione dell'ETm sono stati apportati 300,5 mm e 453 mm rispettivamente.

Andamento Meteorologico

Nel corso del ciclo colturale i valori della temperatura massima dell'aria hanno oscillato tra 27°C (Ottobre) e 46°C (Luglio), mentre quelli della temperatura minima tra 7 e 27°C, (Giugno). Il mese più caldo è stato, come è tipico dell'ambiente mediterraneo, il mese di Agosto, successivamente le temperature si sono mantenute nel mese di Settembre intorno ai 29,2 °C di media, per poi decrescere durante il mese di Ottobre a causa delle continue piogge (Fig. 1). L'evaporato medio giornaliero è progressivamente decresciuto da 11,0 mm di Luglio ai 8,6 mm di Agosto, per poi drasticamente decrescere fino a 3,0 mm nel mese di Ottobre. Piogge intense si sono verificate nel mese di Settembre, dove nel complesso la pioggia caduta è stata di 51mm, mentre 47 mm sono stati misurati tra la prima e la seconda decade del mese di Ottobre.

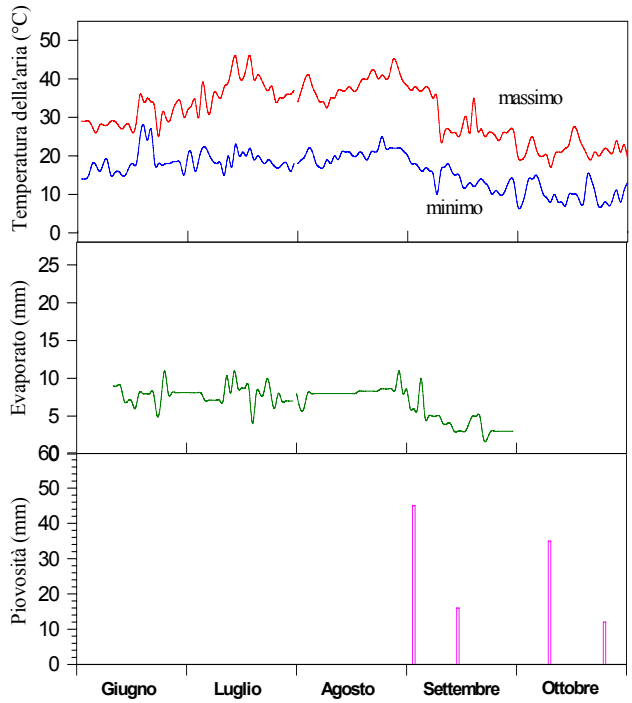


Figura 1 - Variabili meteorologiche nel corso della prova

Caratteristiche biologiche e biometriche

L'emergenza (qui si riporta il dato della tesi I_{100}) è avvenuta in un arco di tempo breve, in media a sette giorni dalla semina, con una variabilità di quattro giorni tra il genotipo più tardivo (Dale, 9 giorni) e quello più precoce (Hayday, 5 giorni) (Fig. 2). La spigatura è avvenuta in media 89 giorni dopo l'emergenza, tra il 17 agosto (Hayday) e il 28 settembre (Sugargraze), con una variabilità di 11 giorni tra il genotipo più tardivo (Sugargraze) e quello più precoce (Hayday).

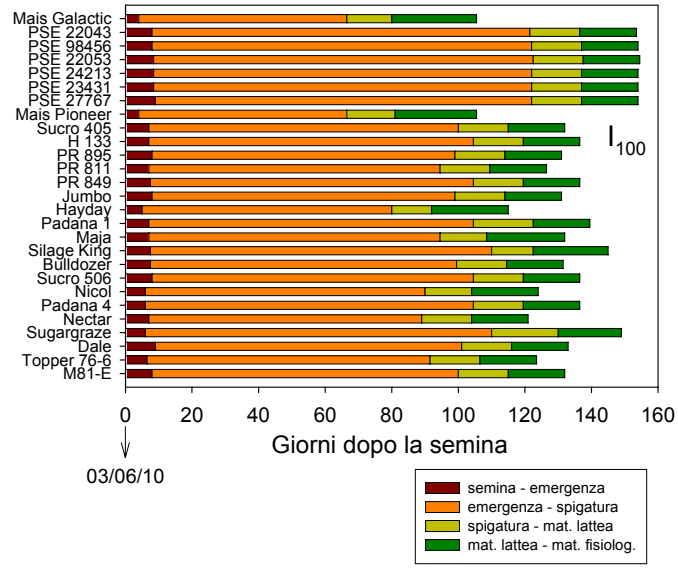


Figura 2 - Andamento del ciclo biologico dei genotipi allo studio.

Altezza pianta e numero di foglie verdi alla raccolta

Lo sviluppo delle piante (qui si riporta il dato della tesi I_{100}), in media alte 258,50 cm ha mostrato una elevata variabilità: due genotipi hanno superato i 320 cm, rispettivamente il genotipo H133 alto 346,88 e il genotipo Bulldozer alto 322,85, otto genotipi si sono collocati in un range tra 270 e 281 cm, tutti gli altri hanno raggiunto un'altezza compresa tra 191 cm e 270 cm (tab. 2).

Tabella 2 - Altezza delle piante in relazione ai trattamenti allo studio.

	Altezza (cm)			
Genotipo	**I_{100}**	**I_{50}**	**I_0**	***media***
M81-E	280,88	228,65	106,25	*205,26*
Topper76-6	267,67	190,58	82,50	*180,25*
Dale	250,10	240,88	99,28	*196,75*
Sugargraze	287,75	181,40	96,60	*188,58*
Nectar	233,75	179,10	98,58	*170,48*
Padana4	260,63	164,50	84,88	*170,00*
Nicol	273,75	221,00	139,40	*211,38*
Sucro 506	252,25	256,78	136,60	*215,21*
Bulldozer	322,85	252,88	145,83	*240,52*
Silage King	271,43	210,38	77,70	*186,50*
Maja	273,75	265,70	119,40	*219,62*

(segue)

(segue)

	Altezza (cm)			
Genotipo	**I_{100}**	**I_{50}**	**I_0**	***media***
Padana1	232,88	191,70	95,38	*173,32*
Hayday	229,75	234,38	177,04	*213,72*
Jumbo	190,98	179,33	89,90	*153,40*
PR849	227,53	191,73	84,60	*167,95*
PR811	229,88	193,42	67,80	*163,70*
PR895	219,42	214,18	84,38	*172,66*
H133	346,88	274,88	154,60	*258,78*
Sucro 405	259,48	261,60	97,90	*206,33*
media	***258,50***	***217,53***	***107,29***	***194,44***

Produzione di biomassa fresca aerea

La produzione di biomassa fresca totale epigea, nella media dei trattamenti e dei genotipi (50,48 t ha^{-1}) è variata significativamente tra i due fattori allo studio come riportato nella tabella 3. Nelle migliori condizioni di irrigazione (I_{100}) è stata registrata la resa più elevata nella varietà Sugargraze (zuccherina) pari a 107,59 t ha^{-1}, seguita da PR 895(fibra) con 100,75 t ha^{-1}. Per contro la varietà che ha registrato il più basso valore di resa pari a 28,51 t ha^{-1} è stata la varietà Maja (zucchero) seguita dalla varietà Hayday (fibra) con 42,17 t ha^{-1}. Nella tesi che prevedeva l'irrigazione solo fino all'insediamento (I_0), è stata registrata la resa più elevata pari a 41,39 t ha^{-1} nella varietà Dale (zuccherino), mentre la resa più bassa, pari a 13,55 t ha^{-1}, è stata mostrata da Jumbo (fibra); infine nella tesi che prevedeva il 50% di restituzione dell' ETm, Nectar (zuccherino) ha fatto osservare valori più elevati (97,77 t ha^{-1}), seguita da PR811 (fibra) con 59,7 t ha^{-1} contro la resa più bassa di 24,07 t ha^{-1} per la varietà PR811 (fibra). La biomassa fresca totale, nella media dei fattori allo studio, è risultata significativamente più elevata per la varietà Nectar che ha fatto registrare valori pari 65,43 t ha^{-1}, rispetto alla varietà Maja che ha fatto registrare i valori più bassi pari a 27,75 t ha^{-1}.

Tabella 3 - Produzione di biomassa fresca totale epigea. Stima dal prelievo del 25/10/2010.

	Biomassa fresca (t ha^{-1})			
Genotipo	**I_{100}**	**I_{50}**	**I_0**	***media***
Sugargraze	107,59	48,84	26,16	60,86
PR895	100,75	64,53	23,73	63,01
Dale	94,88	60,02	41,39	65,43
PR811	91,44	80,71	17,77	63,31
Padana4	79,84	44,26	17,34	47,15

(segue)

(segue)

	Biomassa fresca (t ha^{-1})			
Genotipo	**I_{100}**	**I_{50}**	**I_0**	***media***
Sucro 506	78,98	58,36	28,70	55,35
H133	78,64	56,65	22,80	52,70
Nectar	77,66	97,77	29,12	68,18
M81-E	77,19	73,23	29,95	60,12
Padana1	73,54	73,43	22,40	56,46
Topper76-6	67,98	59,41	26,12	51,17
Bulldozer	64,23	49,81	37,96	50,67
Jumbo	59,86	70,88	13,55	48,10
Silage King	51,03	55,47	13,78	40,09
Sucro 405	49,66	61,34	13,62	41,54
PR849	44,12	24,07	17,80	28,66
Nicol	43,17	47,59	33,63	41,46
Hayday	42,17	40,59	28,40	37,05
Maja	28,51	36,49	18,26	27,75
media	69,01	58,08	24,34	50,48

Produzione di biomassa secca aerea

La produzione di biomassa secca totale epigea è risultata, nella media dei trattamenti e dei genotipi, pari a 12,68 t ha^{-1} variando significativamente tra i due fattori allo studio come riportato nella tabella 4. Nelle migliori condizioni di irrigazione (I_{100}) è stata registrata la resa più elevata, pari a 25,84 t ha^{-1}, per la varietà Sugargraze (zuccherina); per contro la varietà che ha mostrato il più basso valore di resa è stata Maja (zuccherina) con 10,97 t ha^{-1}. Nella tesi che prevedeva l'irrigazione solo fino all'insediamento (I_0), è stata registrata la resa più elevata nella varietà Nicol (zuccherina) pari a 10,76 t ha^{-1}; per contro la resa più bassa è stata osservata nella la varietà Jumbo (2,67 t ha^{-1}); infine nella tesi che prevedeva il 50% di restituzione dell'ETm, la resa più elevata 22,77 t ha^{-1} è stata registrata per la varietà Padana 1 (fibra) seguita dai 21,95 t ha^{-1} della varietà Nectar, mentre la resa più bassa, pari a 7,43 t ha^{-1} appartiene alla varietà PR 849 (fibra). La biomassa secca totale, nella media dei fattori allo studio, è risultata significativamente più elevata per la varietà Nectar che ha fatto registrare valori pari 16,16 t ha^{-1}, rispetto alla varietà PR849 che ha fatto registrare i valori più bassi pari a 8,09 t ha^{-1}.

Tabella 4 - Produzione di biomassa secca totale epigea. Stima del prelievo del 25/10/2010.

	Biomassa secca (t ha^{-1})			
Genotipo	**I_{100}**	**I_{50}**	**I_0**	***media***
Sugargraze	25,84	10,80	5,62	14,09
H133	23,26	16,89	6,19	15,44
PR811	20,57	17,84	3,50	13,97
Nectar	20,29	21,95	6,24	16,16
Sucro 506	19,31	16,86	6,25	14,14
Padana1	19,08	22,77	4,51	15,45
Dale	18,40	13,74	7,84	13,33
M81-E	17,73	18,02	8,62	14,79
Bulldozer	17,38	14,94	7,28	13,20
PR895	17,31	14,27	3,98	11,86
Silage King	14,85	16,79	2,73	11,46
Topper76-6	14,40	12,76	6,72	11,29
Hayday	14,38	14,79	8,32	12,50
Padana4	14,17	9,44	3,54	9,05
Nicol	14,12	18,42	10,76	14,43
Sucro 405	13,41	17,25	2,78	11,15
PR849	12,83	7,43	3,99	8,09
Jumbo	12,52	15,61	2,67	10,27
Maja	10,97	15,83	4,01	10,27
media	16,89	15,60	5,56	12,68

Efficienza d'uso dell'acqua (WUE)

Al fine di stimare l'efficienza d'uso dell'acqua, è stato determinato il consumo idrico della coltura che ha tenuto conto dell'acqua d'irrigazione e dell'acqua apportata naturalmente (piogge). Il consumo idrico complessivo nelle tre tesi allo studio è risultato pari a 148, 300,5 e 453 mm rispettivamente per I_0, I_{50} e I_{100}. L'efficienza d'uso dell'acqua è stata ottenuta dividendo la produzione aerea di sostanza secca per le quantità di acqua sopra riportate. L'efficienza d'uso dell'acqua ha fatto accertare, nella media dei fattori allo studio (genotipo e irrigazione), differenze significative da attribuire alle differenti capacità dei genotipi di valorizzare questo input. I valori più elevati si sono registrati nella varietà Nicol a ciclo più lungo rispetto alla varietà PR 849 (5,51 contro 2,67 g l^{-1}), così come riportato in tabella 5.

Tabella 5 - WUE dei diversi genotipi di sorgo posti allo studio in relazione alla biomassa secca.

	WUE (g l^{-1})			
Genotipo	I_{100}	I_{50}	I_0	***media***
M81-E	3,91	6,00	5,83	5,25
Topper76-6	3,18	4,25	4,54	3,99
Dale	4,06	4,57	5,30	4,64
Sugargraze	5,70	3,59	3,80	4,37
Nectar	4,48	7,31	4,22	5,33
Padana4	3,13	3,14	2,39	2,89
Nicol	3,12	6,13	7,27	5,51
Sucro 506	4,26	5,61	4,23	4,70
Bulldozer	3,84	4,97	4,92	4,58
Silage King	3,28	5,59	1,85	3,57
Maja	2,42	5,27	2,71	3,47
Padana1	4,21	7,58	3,04	4,94
Hayday	3,17	4,92	5,62	4,57
Jumbo	2,76	5,19	1,80	3,25
PR849	2,83	2,47	2,70	2,67
PR811	4,54	5,94	2,36	4,28
PR895	3,82	4,75	2,69	3,75
H133	5,13	5,62	4,18	4,98
Sucro 405	2,96	5,74	1,88	3,53
media	3,73	5,19	3,75	4,22

Efficienza d'uso dell'acqua d'irrigazione (IWUE)

L'efficienza d'uso dell'acqua d'irrigazione (*irrigation water use efficiency*), la quale rappresenta un indice economico dell'utilizzazione dell'acqua di irrigazione, è stata calcolata come rapporto tra la produzione di sostanza secca ottenuta e l'acqua di irrigazione apportata ai diversi genotipi e rispetto ai volumi d'adacquamento apportati.L'umidità apportata è risultata pari a 40, 192,5 e 345 mm rispettivamente per I_0, I_{50} e I_{100}. L'efficienza d'uso dell'acqua di irrigazione ha fatto accertare, nella media dei fattori allo studio (genotipo e irrigazione), differenze significative da attribuire alle differenti capacità dei genotipi di valorizzare questo input. I valori più elevati si sono registrati nella varietà Nicol rispetto alla varietà PR 849 (13,52 contro 5,85 g l^{-1}), così come riportato in tabella 6.

Tabella 6 - IWUE dei diversi genotipi di sorgo posti allo studio in relazione alla biomassa secca.

	IWUE (g l^{-1})			
Genotipo	**I_{100}**	**I_{50}**	**I_0**	***media***
M81-E	5,14	9,36	21,56	12,02
Topper 76-6	4,17	6,63	16,80	9,20
Dale	5,33	7,14	19,61	10,69
Sugargraze	7,49	5,61	14,05	9,05
Nectar	5,88	11,40	15,61	10,96
Padana 4	4,11	4,91	8,84	5,95
Nicol	4,09	9,57	26,90	13,52
Sucro 506	5,60	8,76	15,64	10,00
Bulldozer	5,04	7,76	18,21	10,34
Silage King	4,30	8,72	6,84	6,62
Maja	3,18	8,22	10,01	7,14
Padana 1	5,53	11,83	11,27	9,54
Hayday	4,17	7,69	20,79	10,88
Jumbo	3,63	8,11	6,67	6,14
PR849	3,72	3,86	9,97	5,85
PR811	5,96	9,27	8,74	7,99
PR895	5,02	7,42	9,96	7,46
H133	6,74	8,77	15,47	10,33
Sucro 405	3,89	8,96	6,96	6,60
media	***4,89***	***8,10***	***13,89***	***8,96***

Conclusioni

L'ambiente meridionale si conferma adeguato alla coltivazione del sorgo da biomassa. Anche i tradizionali sistemi colturali, qualora venga assicurato il sussidio irriguo, possono inserire la specie senza ulteriori aggravi di spesa per seminatrici o per macchinari per la trinciatura e raccolta. Il sorgo potrebbe occupare gli spazi lasciati liberi dalla coltivazione della barbabietola ed anche espandersi, proporzionalmente alle richieste della filiera agro-energetica.

Bibliografia

Almodares A. e Darany S.M.M., 2006. Effects of planting date and time of nitrogen application 4 on yield and sugar content of sweet sorghum. J Environ Biol 2006; 27:601-605.

Bagayoko *et al*., 2000. Cereal/legume rotation effects on cereal growth in Sudano-Sahelian West Africa: soil mineral nitrogen, mycorrhizae and nematodes. Plant Soil 2000; 218:103-116.

Cosentino S.L., 1996. Crop physiology of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench)in relation to water and nitrogen stress. *Atti del Convegno "First European Seminar on Sorghum", Tolosa, 1-3 Aprile, 30-41*.

Cosentino S., Patanè C., Guarnaccia P., 1996. Biomass, leaf area index and water use efficiency of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in limited water availability in mediterranean environment. *Atti del Convegno "First European Seminar on Sorghum", Tolosa, 1-3 Aprile, 228-235.*

Cosentino S., Patanè C., Mantineo M., 1999. Epoca di semina, concimazione azotata ed irrigazione in sorgo zuccherino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in ambiente mediterraneo. *Atti 33° Congresso della SIA su "Le colture "non alimentari", Legnaro (PD), 20-23 Settembre, 67-68.*

Cosentino *et al*., 2002. Risposta di una coltura di sorgo a diversi livelli di energia ausiliaria. Riv. Agron., 36:357-365.

Cosentino S.L., *et al*., 2003. Aspetti agronomici ed ambientali della dinamica dell'azoto in una coltura di sorgo zuccherino. Bollettino Accademia Gioenia Sci. Nat. Vol. 36, n° 363, 223-249.

Cosentino S.L., *et al*., 2011. Water and nitrogen balance of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) cv Keller under semi-arid conditions. (In corso di revisione).

Foti S., Cosentino S., Patanè C., D'Agosta G.M., 2001. Sulla possibilità di anticipare l'epoca di semina del sorgo da biomassa attraverso la scelta del genotipo ed il trattamento osmotico del seme. *Atti 34° Congresso della SIA su "Strategie agronomiche al servizio della moderna agricoltura", Pisa 17-21 Settembre, 218-219.*

Gherbin, P., Perniola, M., Tarantino, E., 1996. Sweet and paper sorghum yield as influenced by water use in southern Italy. Proceedings of "First European Seminar on Sorghum for Energy and Industry", Toulouse (France), April 1-3, 222-227.

Kaye N. M., *et al*., 2007. Nodulating and non-nodulating soybean rotation influence on soil nitrate-nitrogen and water, and sorghum yield. Agron J 2007; 99:599-606.

Li Dajue, 1997. Developing sweet sorghum to accept the challenge problems on food, energy and environment in 21st century. Proceedings of "First international sweet sorghum conference", Li Dajue Ed., Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China, 19-34.

Mantineo M, Patanè' C, D'Agosta G, Cosentino S., Scandurra S (2009). Biomass yield of fibre sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) under different sowing times and water supply. In: 17th European Biomass Conference and Exhibition,

from research to industry and markets. Hamburg, Germany, 29 June – 3 July 2009, FIRENZE: ETA Florence, p. 599-602, ISBN/ISSN: 978-88-89407-57-3

Mastrorilli M. *et al*., 1995. Sweet sorghum in Mediterranean climate: radiation use and biomass water use efficiencies. Ind Crop Prod 1995; 3: 253-260.

Mastrorilli M., Colucci R., Di Bari V., Montemurro F., 2002. Sorgo zuccherino e irrigazione. Riv. di Agron., 34, 4, 319-325.

Patanè C, Cavallaro V, D'Agosta G, Cosentino S. (2008). Plant Emergence of PEG-osmoprimed Seeds Under Suboptimal Temperatures in Two Cultivars of Sweet Sorghum Differing in Seed Tannin Content. JOURNAL OF AGRONOMY AND CROP SCIENCE, vol. 3; p. 1-6, ISSN: 0931-2250, doi: 10.1111/1439-037X.2008.00314.x

Perniola, M., Rivelli, A., Tarantino, E., 1992. Influenza del regime irriguo sulla produzione del sorgo zuccherino (*Sorghum vulgare* L. var. *saccharatum)* coltivato in ambiente meridionale. Riv. di Agron., 26, 4, 517-523.

Saballos A., 2008. Development and Utilization of Sorghum as a Bioenergy Crop. Genetic Improvement of Bioenergy Crops. In: Genetic Improvement of Bioenergy Crops. Springer Science; 2008, p 211-248.

Cosentino S., Sanzone E, Patanè C, D'Agosta G, Copani V (2009). Potenzialità produttiva del sorgo da fibra e zuccherino in epoca di semina tardiva in ambiente mediterraneo. In: XXXVIII Convegno della Società Italiana di Agronomia. Firenze, 21 - 23 Settembre 2009, FIRENZE: 21 - 23 Settembre 2009, p. 293-294, ISBN/ISSN: 9788 8904 38707

Steduto *et al*., 1997. Water-use efficiency of sweet sorghum under water stress Conditions. Gas-exchange investigations at leaf and canopy scales. Field Crops Res. 54, 221-234.

4
Meccanizzazione

a - Sorgo da fibra: la valutazione dei cantieri disponibili

Fiber sorghum: evaluation of available harvesting yards

Luigi Pari*, Alberto Assirelli*, Alessandro Suardi*

Riassunto

La disidratazione in campo e la successiva raccolta del prodotto secco, rappresenta l'unica metodologia di raccolta possibile per ridurre i costi di trasporto ed ottenere un prodotto di agevole conservazione e movimentazione. CRA-ING si è interessato della raccolta tramite fienagione da oltre 15 anni valutando le macchine costruite per la fienagione dei foraggi e realizzando prototipi di falciacondizionatrici appositamente progettati per il sorgo da fibra. L'ottenimento in tempi ragionevoli di un prodotto ad un'umidità adeguata non esaurisce il ciclo di raccolta. Infatti, se l'umidità non scende a determinati livelli l'efficienza delle successive macchine operatrici potrebbe risultare fortemente ridotta. Concluse le sperimentazioni sull'impiego continuativo dell'ultimo prototipo precommerciale realizzato si sono monitorati anche i principali cantieri di raccolta commerciali ed utilizzati per la raccolta di prodotti affienati e paglia: un andanatore a pick-up da 9 metri di fronte di lavoro, una rotoimballatrice, una imballatrice prismatica (big-baler) ed un carro autocaricante per il prodotto sfuso. Le raccoglitrici valutate erano dotate di dispositivi trincianti a lame fisse disinseribili e dispositivo infaldatore mobile. La prova volta alla valutazione dell'adattabilità delle macchine sulla coltura del sorgo da fibra oltre ad evidenziare una buona versatilità dei cantieri ha consentito il monitoraggio delle principali capacità operative su sorgo da fibra affienato.

Parole chiave: Sorgo da fibra affienato, imballatura, sorgo sfuso e imballato.

* CRA-ING - Unità di Ricerca per l'Ingegneria Agraria, Monterotondo (Roma).

Abstract

The fiber sorghum dehydration in open field and the harvest of the dried material, is the only method able to reduce transporting costs as well as to get a product of easy handling and store. CRA-ING has studied the harvesting through haymaking from more than 15 years evaluating machines built for hay and fodder and designing prototypes of mower conditioner specifically adapted for fiber sorghum. The obtaining within a reasonable time of a product with a suitable moisture do not run out the harvest phase. In fact, if the humidity does not fall below 30% the efficiency of the machines used subsequently could be greatly reduced. Following the trials made on a pre-commercial prototype, in this work the main harvesting yards traditionally used for hayed products has been compared: a windrow with a pick-up 9 m wide, a round baler, a prismatic baler (big-balers) and a forage self-loading trailer. The harvesters had a cutting device with disengageable blades and rotary feed device. The trial aimed at evaluating the adaptability on the machines for fiber sorghum cultivation, beside to highlight a good versatility of analyzed yards, has allowed the monitoring on working capacity of fiber sorghum hay.

Keywords: *sorghum fiber hay, baling, bulk and packed sorghum.*

Introduzione

Le principali destinazioni energetiche del sorgo da fibra sono rappresentate non solo dalla termovalorizzazione, ma anche come prodotto per impianti a biogas e per la produzione di etanolo di seconda generazione. I costi di trasporto del prodotto fresco rappresentano un limite alla diffusione e redditività della coltura, superabile solo con produzioni ottenute in prossimità dei centri di trasformazione od utilizzando prodotto essiccato. Il CRA-ING si è interessato della raccolta tramite fienagione fin dal 1994 (Barbucci *et al*., 1994) valutando le macchine costruite per la fienagione dei foraggi e analizzando problematiche e limiti riscontrati (Assirelli *et al*., 2006). Nel 2007 è stato quindi realizzato un primo prototipo di falcia condizionatrice portata da trattore agricolo (Assirelli *et al*., 2008), modificata nel 2008 (Pari *et al*., 2009). Nel 2009, è stato realizzato in collaborazione con una ditta costruttrice del nord Italia un nuovo modello di falciacondizionatrice che, nell'estate 2009**,** è stato valutato in diversi areali italiani.

Durante i rilievi per la valutazione dei prototipi realizzati è stato possibile monitorare anche altri cantieri impegnati con successo nelle linea di raccolta del prodotto essiccato naturalmente in campo.

Il completamento della linea di raccolta tramite fienagione del sorgo da fibra richiede l'impiego di macchine atte al rivoltamento, all'andantura ed alla raccolta del prodotto essiccato. Prima di impostare ricerche atte alla messa a punto di soluzioni

dedicate si è proceduto alla valutazione delle soluzioni commerciali disponibili. Al fine di verificare la possibilità di utilizzare macchine già disponibili per la raccolta di prodotti affienati, la necessità di provvedere ad eventuali adattamenti meccanici, e infine di valutarne le prestazioni per poi calcolarne il costo di raccolta, sono stati valutati 4 cantieri di macchine, normalmente commercializzati per la raccolta di foraggi e paglia, nelle medesime condizioni, sorgo da fibra affienato, sul quale aveva operato la falcia condizionatrice CRA-ING/Cressoni quattro giorni prima (Foto 1).

Foto 1 - Andanatore a pick-up al lavoro su sorgo da fibra.

Materiali e metodi

Nell'Agosto 2009, presso il campo sperimentale di sorgo da fibra coltivato dal Gruppo agro-industriale COPROB a Mirandola (MO) dove sono state effettuate le prove sperimentali della macchina falciacondizionatrice CRA-ING/Cressoni realizzata nella primavera dello stesso anno, sono stati valutati in lavoro tutti i cantieri necessari per portare a conclusione la raccolta del sorgo da fibra tramite fienagione. Di ogni cantiere sono state rilevate le principali caratteristiche dimensionali e le prestazioni in termini di tempi e capacità di lavoro rilevate durante l'impiego.

Le metodologie utilizzate per il rilievo dei tempi di lavoro sono la C.I.O.S.T.A. (Commission Internationale de l'Organisation scientifique du travail en agricolture) e le raccomandazioni AIIA (Associazione Italiana di Ingegneria Agraria) (Bolli *et al.*, 1987).

I cantieri presi in considerazione sono, uno per la messa in andana del prodotto lasciato dalla falcia condizionatrice sparso sull'intera superficie per favorirne la disidratazione, due per la raccolta tramite imballatura costituiti da una rotoimballatrice e una big-baler, ed uno per la raccolta del prodotto sfuso tramite carro autocaricante.

Foto 2 - Imballatrice a camera variabile.

Il cantiere di andanatura era costituito da un andanatore a pick-up trainato, prodotto dalla ditta Roc modello RT 950 (Foto 1). Tale operatrice presenta il dispositivo di lavoro suddiviso in tre settori mobili idraulicamente in grado di presentare, nella configurazione di massima potenzialità, una larghezza di lavoro di 8,35 m che, considerando l'area di deposizione dell'andana, porta ad una larghezza complessiva di lavoro superiore a 9,5 m. Successivamente al pick-up di raccolta, in ogni modulo è presente un nastro trasportatore ad azionamento idraulico bidirezionale, in grado di convogliare il prodotto secondo necessità di lavoro su entrambi i lati. L'andanatore presenta un settore centrale da 2,5 metri di larghezza e due laterali da 3 m articolati. Il costruttore dichiara una potenza minima di azionamento pari a 60 kW ed una massa complessiva di 4.660 kg. Durante i rilievi l'operatrice era abbinata una trattrice prodotta dalla ditta New Holland modello TM 165 con potenza motrice pari a 121 kW. L'azionamento prevalentemente idraulico di tutti gli organi di lavoro consente di variare, dal posto di guida, oltre alla larghezza di lavoro anche lo scarico a sinistra o a destra dell'andana. L'articolazione dei tre settori ne permette il sollevamento ad un'altezza massima di un metro da terra, consentendo di non danneggiare le andane trasversali nelle svolte di fine campo. Ogni settore presenta ruote indipendenti di livello mentre l'intera operatrice è sorretta da due ruote posteriori a regolazione idraulica indipendente di larga sezione.

Il secondo cantiere era rappresentato da una rotoimballatrice prodotta dalla ditta Feraboli modello Extreme HTC 280 (Foto 2) a camera variabile, trainata da una trattrice Fiat DT F1000 con potenza motrice di 85 kW. La rotoimballatrice presenta sistema di compressione a cinghie in numero pari a sei e dispositivo trinciatore a lame fisse ed infaldatore rotativo. La macchina grazie alla traslazione dell'albero porta cinghie varia il volume della camera di compressione consentendo di operare secondo diverse modalità di compressione. La possibilità di operare sia come imballatrice a camera fissa che variabile, consente all'operatrice di poter formare balle a cuore tenero, medio e duro; particolarità della rotoimballatrice è rappresentata anche dalla possibilità di operare a densità variabile dal centro verso l'esterno, qualità piuttosto utile operando con prodotti non particolarmente essiccati.

Foto 3 - Imballatrice prismatica (big-baler).

Il terzo cantiere risultava composto da una imballatrice prismatica di grandi dimensioni prodotta dalla ditta Claas modello Quadrant 3400 RC (Foto 3), trainata da trattrice Fendt modello 930 Vario con potenza motrice di 228 kW. L'imballatrice presenta camera di compressione di 1 m x 1,2 m, a lunghezza variabile compresa fra 0,5 m e 3 m, dispositivo di trinciatura (Roto Cut) a coltelli fissi con infaldatore rotativo ed assale a tandem per un minor compattamento del terreno. La macchina presenta sei legatori e capacità di contenimento per 24 bobine da 11,5 kg, la massa complessiva è di 12.860 kg.

Il quarto cantiere era rappresentato da un carro auto caricante prodotto dalla ditta Roc modello CT 360 (Foto 4), trainato da trattrice Claas modello Axion 840 con potenza motrice pari a 177 kW. Il carro autocaricante presenta volume di carico pari a

60 m^3, sistema di riempimento e compressione controllati in continuo tramite sensoristica dedicata per ottenere un'omogenea densità del carico fin dalle prime fasi di riempimento del cassone. Il rimorchio presenta tre assi (di cui il primo e il terzo sterzanti per ridurre gli spazi di manovra) muniti di pneumatici a larga sezione per la riduzione del compattamento. Il dispositivo di raccolta a pick-up si presenta articolato superiormente con ruote di livello a bilanciere ed a controllo idraulico. Il pick-up può sollevarsi per il superamento di dossi o corpi estranei. Successivamente al pick-up di raccolta è posto anche un dispositivo di trinciatura con infaldatore rotante su lame fisse disinseribili secondo necessità. Il rotore di alimentazione è posizionato nella parte sottostante del pianale di carico per permettere una miglior compressione del prodotto. Il sistema di carico è automatico e viene azionato in base alla pressione che il prodotto esercita sulla parte superiore del trincia.

Foto 4 - Carro auto caricante per la raccolta del prodotto sfuso.

Il carro presenta sistema di scarico a catene mobili, a doppia velocità e ad azionamento idraulico per lo scarico di prodotti umidi quali il trinciato di mais caricato superiormente. Superiormente presenta sistema di copertura del carico a telo estensibile. Le dimensioni esterne rispettano i limiti del Codice della Strada (C.d.S.), 4 m di altezza, 2,55 m di larghezza e 12 m di lunghezza. La massa massima consentita a pieno carico è di 20.000 kg.

Alcune caratteristiche dei cantieri valutati sperimentalmente sono riassunti in tabella 1.

Tabella 1 - Principali caratteristiche dei cantieri di lavoro.

Descrizione	*marca*	*modello*	*potenza kW*	*capacità m m^{-3}*
Cantiere 1	Roc New Holland	RT 950 TM 165	121	9,5/-
Cantiere 2	Feraboli Fiat	Extreme HTC 280 DT F1000	85	
Cantiere 3	Claas Fendt	Quadrant 3400 930 Vario	228	
Cantiere 4	Roc Claas	CT 360 Axion 840	177	-/60

Il campo in cui si sono condotte le prove sperimentali era stato coltivato a sorgo da fibra varietà Biomass 133, in pianura e suddiviso da tre scoline che delimitavano gli appezzamenti lunghi 162 m e larghi 92 m, con una superficie di 1,5 ha.

La coltura, che era stata falciacondizionata dal prototipo Cra-Ing/Cressoni, risultava uniformemente sparsa su tutta la superficie disponibile ed aveva un contenuto idrico pari a 28,3%.

Il campo è stato tutto andanato dall'andanatore ROC, successivamente le tre raccoglitrici hanno operato una su ciascun appezzamento.

Risultati

Cantiere 1 - Andanatore

Il cantiere per l'andanatura ha operato consecutivamente per la preparazione dell'intero campo prove senza evidenziare anomalie di rilievo; l'elevato spessore di biomassa da gestire ha richiesto l'impiego prevalente dell'operatrice a larghezza ridotta per non realizzare andane di larghezza superiore ai dispositivi di raccolta delle successive operatrici. La maggior parte delle operatrici utilizzate in fienagione per la raccolta di prodotti andanti infatti presentano pick-up di larghezza compresa fra 1,8 e 2,2 m, pertanto risulta di notevole importanza che la forma ed volume dell'andana rientri in queste dimensioni e sia il più possibile omogenea. Relativamente ai tempi di lavoro, l'operatrice ha fatto registrare, tra i tempi accessori, solo quelli di svolta, risultati pari al 15,62%, con un rendimento operativo pari all'84,38%. La velocità di lavoro effettiva su sorgo è risultata pari a 1,95 m s^{-1} (7,02 km h^{-1}) e considerando i tempi di svolta, si è ottenuta una velocità operativa di 1,64 m s^{-1} (5,90 km h^{-1}). Nonostante il prevalente impiego a larghezza di lavoro ridotta, l'andanatore a pick-up ha presentato una capacità di lavoro effettiva di 4,56 ha h^{-1}, ridotta a 3,84 ha h^{-1} considerando anche i tempi di svolta. Alla luce della biomassa raccolta è stato possibile determinare anche la produzione oraria operativa risultata pari a 53,2 t h^{-1}.

Cantiere 2 - Rotoimballatrice

Durante le prove non si sono presentati inconvenienti di rilievo e, relativamente ai tempi di lavoro, la macchina ha presentato come unici tempi accessori le svolte (4,78%) ed i tempi di scarico (27,07%), rappresentati dalla sosta per legatura, scarico della balla e ripartenza. Il rendimento operativo è quindi stato del 68,15%. La rotoimballatrice operando ad una velocità effettiva di 0,74 m s^{-1} (2,66 km h^{-1}) ha presentato una capacità di lavoro effettiva 1,72 ha h^{-1} che, considerando il rendimento operativo (tempi di svolta e legature/scarico) si riduce a 1,17 ha h^{-1}. Le andane derivavano da un fronte di lavoro di 5,5 m e la produzione oraria operativa, considerando il quantitativo di biomassa raccolta, è risultata pari a 16,26 t h^{-1}. Le rotoballe di sorgo da fibra prodotte avevano dimensioni di 1,2 m x 1,55 m, il peso medio delle rotoballe è stato di 480 kg con una densità pari a 212 kg m^{-3}.

Cantiere 3 – Imballatrice prismatica

L'imballatrice prismatica impiegata su sorgo da fibra non ha presentato difficoltà particolari durante l'impiego e, come la rotoimballatrice, ha mostrato una certa sensibilità all'omogeneità delle andane. Tale aspetto risulta molto importante per l'operatore per permettere di adeguare la velocità di avanzamento al volume di prodotto in ingresso. I tempi di lavoro hanno evidenziato un'incidenza dei tempi di svolta pari al 21,9%, la velocità effettiva di lavoro è risultata di 1,98 m s^{-1} (7,13 km h^{-1}) mentre quella operativa è stata di 1,54 m s^{-1} (5,54 km h^{-1}). Le andane derivavano da un fronte di lavoro di 5,5 m e hanno consentito una capacità di lavoro effettiva di 3,91 ha h^{-1} mentre quella operativa è risultata di 3,05 ha h^{-1}.

Le balle formate presentavano peso medio di 574 kg e densità pari a 261 kg m^{-3}, con una produzione media operativa pari a 42,77 t h^{-1}.

L'apparato trinciante a lame fisse non ha segnalato anomalie di rilievo nelle condizioni di prova monitorate.

Cantiere 4 – Carro autocaricante

Il carro auto caricante munito di dispositivo di trinciatura a infaldatore rotante e lame fisse, ha operato continuativamente per l'intera raccolta. Il doppio assale sterzante consentiva rapide svolte a fondo campo permettendo tempi di svolta di soli 23 secondi, comprensivi di sollevamento pick-up, svolta vera e propria e riposizionamento del dispositivo di raccolta. L'articolazione superiore del pick-up consentiva una buona operatività anche ove le condizioni del profilo superficiale si presentavano piuttosto irregolari. Questo non ha comunque influito sulla velocità effettiva di lavoro che è risultata di 2,08 m s^{-1} (7,49 km h^{-1}). Considerando che i tempi di svolta sono stati pari al 22,77%, la velocità operativa è risultata di 1,61 m s^{-1} (5,79 km h^{-1}). La capacità di lavoro effettiva è stata di 4,11 ha h^{-1} mentre quella operativa di 3,18 ha h^{-1}.

Il carico medio è risultato di 6,62 t che, rapportati al volume utile di carico, porta ad una densità di 110,33 kg ha^{-1}. Considerando la biomassa raccolta, la produzione media operativa del carro auto caricante è risultata di 44,46 t h^{-1}.

In tabella 2 sono riportati alcuni parametri di lavoro rilevati durante i monitoraggi eseguiti sui cantieri di raccolta del sorgo da fibra.

Tabella 2 - Principali parametri operativi rilevati nel campo prove.

Tempo standard TS					
Parametri rilevati		Cantiere 1	Cantiere 2	Cantiere 3	Cantiere 4
Tempo effettivo TE	%	84,38	68,15	78,10	77,23
Tempo accessorio TA	%	15,62	31,85	21,90	22,77
- Tempo per voltate TAV	%	15,62	4,78	21,90	22,77
- Tempo per rifornim. o scarichi TAS	%	0	27,07	0	0
- Tempo per manutenzione TAC	%	0	0	0	0
Tempo standard	**%**	**100**	**100**	**100**	**100**
Operatività della macchina					
Rendimento operativo Ro	%	84,38	68,15	78,10	77,23
Velocità effettiva ve	m s^{-1}	1,95	0,74	1,98	2,08
Velocità operativa vo	m s^{-1}	1,64	0,50	1,54	1,61
Capacità di lavoro effettiva	ha h^{-1}	4,56	1,72	3,91	4,11
Capacità di lavoro operativa	ha h^{-1}	3,84	1,17	3,05	3,17
Produzione oraria operativa	t h^{-1}	53,20	16,26	42,77	44,46

Aspetto piuttosto importante, soprattutto in caso di movimentazione a lunga distanza del prodotto raccolto, riguarda la densità di compressione ottenibile con i diversi cantieri monitorati. Dalla tabella 3 si evince come l'imballatura tramite imballatrice prismatica di grandi dimesioni (big-baler) rappresenti il cantiere capace di ottenere i valori di densità più elevati (261 kg m^{-3}). Occorre comunque tener presente che il carro auto caricante non richiede poi ulteriori interventi di carico e movimentazione sul campo di raccolta.

Tabella 3 - Pesi medi e densità di balle e prodotto sfuso raccolti con i cantieri monitorati.

Descrizione	unita di riferimento	peso medio (kg)	kg m^{-3}
Cantiere 2	rotoballa	480	212
Cantiere 3	balla prismatica	574	261
Cantiere 3	prodotto sfuso	6620	110

Terminata la movimentazione del prodotto raccolto si è proceduto infine alla stima delle perdite in campo eseguita tramite campionamento di aree di superficie nota che, come valore medio, considerando un'altezza di taglio di 30 mm, è risultata pari al 6,58%, considerando una produzione di 14 t ha^{-1} al 28,3% di umidità ed i tre cantieri utilizzati (falcia condizionatura, andantura, imballatura e/o auto caricante). I

pick-up delle imballatrici o del carro auto caricante non hanno evidenziato differenze significative sul piano delle perdite a terra.

Conclusioni

Le prove hanno messo in luce la completa adattabilità delle macchine costruite per la raccolta di fieno e paglia al sorgo da fibra affienato. Non sono stati identificati organi che necessitassero di eventuali modifiche meccaniche.

Tutte le macchine da raccolta utilizzate prevedevano sistemi di trinciatura del prodotto per permettere una miglior compressione dello stesso ed, anche questi apparati nell'esperienza svolta, non hanno evidenziato problematiche di rilievo.

L'andanatura eseguita con sistema a pick-up ha permesso di unire buone capacità di lavoro con elevata pulizia, soprattutto da terra, del prodotto raccolto, aspetto molto importante per successiva termovalorizzazione.

Il cantiere di raccolta tramite rotoimballatura, pur avendo mostrato le minori capacità operative, rappresenta probabilmente la soluzione di raccolta più diffusa in ambito aziendale e ampiamente adeguabile alla raccolta del sorgo da fibra; inoltre la rotoballa come per il foraggio presenta una miglior resistenza agli agenti atmosferici.

La raccolta tramite imballatura prismatica rappresenta una soluzione di elevata capacità operativa in grado di offrire valori di densità interessanti e una miglior movimentazione del prodotto.

La raccolta del prodotto sfuso, pur permettendo elevate produttività, presenta bassi valori di densità che, nell'ottica di filiera di raccolta entro le brevi distanze, può comunque rappresentare un'interessante soluzione, evitando la contemporanea presenza in campo di cantieri di raccolta e movimentazione.

L'attività sperimentale condotta in questi anni per la messa a punto di cantieri di raccolta del sorgo da fibra ha portato alla individuazione di complete linee di raccolta per il prodotto affienato. Esse sono rappresentate sia dalla falciacondizionatrice specifica per il sorgo da fibra, sia macchine già disponibili sul mercato derivate da altre colture (Es. settore foraggero) che possono permettere all'agricoltore, qualora l'industria agro-energetica attivasse una domanda di prodotto supportata da idonei prezzi di acquisto, di far fronte alle richieste di prodotto essiccato.

Ringraziamenti. Si ringrazia per la collaborazione fornita a supporto della sperimentazione il gruppo industriale Co.Pro.B. di Minerbio (Bo).

Bibliografia

Assirelli A., Bentini M., Zucchelli M., 2006. L'importanza della raccolta per le colture da biomassa. L'Informatore Agrario 41, 117-123.

Assirelli A., Fedrizzi M., Ciriello A., Pari L., 2008. Fiber sorghum haymaking for Energy purpose: an innovative equipment for fast drying, 16th European Biomass Conference & Exhibition, Valencia, Spain, pp. 512-516.

Barbucci P., Andreuccetti P., Frati G., Bacchiet P., Vannucci D., Pari L., 1994. Energy Crops Harvesting: Fiber Sorghum, Kenaf, *Arundo donax, Mischantus, Cynara cardunculus* – Biomass for Energy and Industry – 7th E.C. Conference – Bocum, pp. 38-43

Bolli P., Scotton M., 1987. Lineamenti di tecnica della meccanizzazione Agricola. Edagricole

Pari L., Assirelli A., Suardi A., 2009. Migliorato il condizionamento del sorgo da fibra alla raccolta. Informatore Agrario 29, Supplemento Agroenergie, 16-18.

b - Sviluppo di un prototipo per la raccolta del sorgo da fibra

Development of a prototype for the harvest of fiber sorghum

Luigi Pari*, Alberto Assirelli*, Alessandro Suardi*

Riassunto

La raccolta tramite fienagione del sorgo da fibra rappresenta un percorso obbligato per la diffusione della coltura in Italia permettendo di superare i limiti imposti dai costi di trasporto legati alla movimentazione di prodotti umidi. La possibilità di conservazione ed agevole movimentazione rappresenta un aspetto molto importante per l'affermazione della coltura limitandone la diffusione ai soli casi di impiego del prodotto fresco. CRA-ING si è interessato della raccolta tramite fienagione fin dal 1994 e nel 1997 ha realizzato un primo prototipo sperimentale con sistema di condizionamento specifico per la coltura. Nella sperimentazione 2007 e 2008 con alcune modifiche sono state evidenziati vantaggi e limiti delle soluzioni adottate portando alla realizzazione nel 2009 del primo modello pre-commerciale, seguito nel 2010 dal primo modello commerciale che ha concretizzato il successo dell'attività di ricerca svolta. La falcia condizionatrice realizzata in struttura modulare (7 elementi condizionatori posti a 0,5 m di distanza) ed azionata da trattrice di modesta potenza motrice (< 95 kW) consente lo sfalcio e contemporaneo condizionamento dell'intero stelo senza eseguire distacco di foglie o parti apicali, consentendo una capacità di lavoro di 1,4-1,7 ha/h.

Parole chiave: sorgo da fibra, colture energetiche, sorgo affienato, falcia condizionatrice.

* CRA-ING - Unità di Ricerca per l'Ingegneria Agraria, Monterotondo (Roma).

Abstract

The improvement of Fiber Sorghum harvesting by haymaking is a mandatory step for the spreading of the crop in Italy allowing to overcome the limitations imposed by transporting costs related to the handling of moist products. The possibility of storage and easy handling is a very important aspect for the success of the crop limiting its spreading to only cases of fresh product. CRA-ING has been concerned in the harvesting by haymaking since 1994 and in 1997, it has developed a prototype equipped with a specific conditioning system for Fiber Sorghum. After some modifications on the first prototype following tests carried out in 2007 and 2008, it has been highlighted advantages and limitations of the solutions adopted in 2009 leading to the creation of the first pre-commercial model, followed in 2010 by the first commercial prototype, that confirmed the successful research activity carried out. The mower conditioner made of modular design (7 items conditioners placed at 0.5 m) driven by a tractor and small engine power (<95 kW) allows the simultaneous mowing and conditioning without running the entire stem detachment of leaves or parts apical, allowing a working capacity of 1.4 to 1.7 ha/h.

Keywords: *fiber sorghum, Energy crops, haymaking sorghum, mower conditioner.*

Introduzione

La raccolta tramite fienagione del sorgo da fibra rappresenta un percorso obbligato per la diffusione della coltura anche in aree non strettamente connesse ai centri di trasformazione permettendo di superare i limiti imposti dai costi di trasporto. La possibilità di conservazione ed agevole movimentazione rappresenta un aspetto molto importante per l'affermazione della coltura limitandone la diffusione ai soli casi di impiego del prodotto fresco. CRA-ING si è interessato della raccolta tramite fienagione fin dal 1994 (Barbucci P. *et al*., 1994) valutando le macchine costruite per la fienagione dei foraggi e analizzando problematiche e limiti riscontrati (Assirelli A. *et al*., 2006). Nel 2007 è stato quindi realizzato un primo prototipo di falcia condizionatrice portata da trattore agricolo (Assirelli A. *et al*., 2008), modificata nel 2008 (Pari L. *et al*., 2009) che adottava un sistema di condizionamento a rulli longitudinali muniti di lame e barre controrotanti.

Nel 2009 è stato realizzato un modello pre-commerciale valutato in impiego continuativo, seguito nel 2010 dal primo modello commerciale che ha concretizzato il successo dell'attività di ricerca svolta.

Materiali e metodi

Descrizione della macchina realizzata

Foto 1 - Prototipo di falciacondizionatrice realizzato da CRA-ING.

Il prototipo realizzato nel 2009 per la falcia condizionatura del sorgo da fibra si presenta di tipo portato da trattrice, costituito da un telaio principale sul quale sono fissati gli organi di lavoro (foto 1). Al telaio principale sono fissati i moduli di condizionamento, in numero pari alle file di coltura che verranno lavorate ad ogni passaggio; inferiormente ad essi è fissato l'apparato di taglio. Internamente al telaio è posto il sistema di trasmissione del moto ai moduli di condizionamento ed all'apparato di taglio. Ogni modulo è composto da una coppia di coclee parallele controrotanti con diametro ridotto anteriormente per facilitare la presa delle piante ed inversione del senso di trasporto nella parte terminale delle spirali. Le spirali presentano diametro esterno pari a 25 mm, spira alta 75 mm, passo 100 mm e spessore pari a 5 mm. I primi 5 avvolgimenti + 3/8 (per un totale di 1935°) si presentano con unica direzione e convogliano il prodotto verso l'interno del gruppo di condizionamento. La parte terminale della coclea, per un avvolgimento + 3/8 (per un totale di 495°) invertendo il senso di rotazione, convoglia l'eventuale prodotto rimasto verso la parte anteriore garantendo il totale condizionamento della coltura. Tale sistema assicura la pulizia dell'organo dagli accumuli di eventuale prodotto reciso (foto 2). Lungo le spirali, in modo alternato fra le due coclee, sono fissate tramite saldatura delle alette realizzate

in profilato metallico di altezza pari a 75 mm, larghezza pari a 30 mm e 10 mm di spessore. Tali alette rappresentano i principali elementi dedicati al condizionamento dello stelo, provocandone alternativamente piegature e lacerazioni delle piante. Gli alberi sui quali sono fissate le coclee (diametro 100 mm) presentano un doppio supporto, anteriore e posteriore (lunghezza complessiva degli alberi pari a 0,9 m) distanziati 0,2 m l'uno dall'altro. L'azionamento avviene tramite la presa di potenza della trattrice. La trasmissione principale ai moduli è realizzata a catena multipla (passo 1") operante in bagno d'olio su corone dedicate per ogni modulo di condizionamento. Ogni corona trasmette il moto ad ogni modulo e la fase fra le due coclee compenetranti fra loro è mantenuta tramite una coppia di ingranaggi sempre in presa, fissati in modo solidale, tramite chiavetta, agli alberi porta coclee.

Foto 2 - Particolare del gruppo di condizionamento a coclee.

Questa prima versione di macchina falcia condizionatrice di sorgo da fibra è stata realizzata per lavorare 7 file ad una distanza interfila di 0,5 m, con una larghezza di lavoro complessiva pari a 3,5 m.

Altre versioni potranno essere realizzate equipaggiate per la raccolta di un diverso numero di file ed idonee ad operare in impianti con diversa distanza tra le file.

I principali dati dimensionali della macchina sono riportati in tabella 1.

Tabella 1 - Principali dati dimensionali della macchina falcia condizionatrice.

Descrizione	*Unita di misura*	*Valori*
Larghezza	m	3,77
Lunghezza (profondità)	m	1,75
Altezza	m	0,86
Peso	kg	1400
Numero di elementi condizionatori	n	7
Interfila elementi	m	0,5
Lunghezza apparato di taglio	m	3,45

L'apparato di taglio è a lama alternata con comando di azionamento a scatola in bagno d'olio operante a 1100 cicli/minuto. Risulta composto da sezioni di lama fissate tramite viti e bulloni ad una barra portalama di lunghezza pari a 3,45 m. I denti di contrasto sono realizzati a coppie di sezione pari a 56 mm. Il sistema di fissaggio dell'apparato di taglio è modificabile, con possibilità di variazione del posizionamento in altezza rispetto ai gruppi di condizionamento.

La macchina presenta larghezza complessiva di 3,77 m, lunghezza di 1,75 m ed altezza di 0,86 m; la massa è di 1400 kg.

La macchina realizzata in prima versione non presentava dispositivi per mantenere costante l'altezza di taglio. Successivamente sono state applicate due ruote di livello posteriori per permettere anche di scaricare a terra parte del peso della macchina riducendo le masse a sbalzo sulla trattrice.

Sotto l'aspetto funzionale la falciacondizonatrice recide le piante a livello del terreno e le condiziona ad una ad una integralmente per singola fila facendole passare attraverso un percorso obbligato entro le barrette contrapposte fissate alla coppia di coclee di ogni modulo.

Descrizione della trattrice utilizzata

Per l'allestimento del cantiere di falcia condizionatura si è cercato di reperire una trattrice capace di riunire doti di leggerezza e maneggevolezza, aspetti ritenuti importanti anche per le successive operazioni di rivoltamento, andanatura e raccolta.

La leggerezza riveste particolare importanza al fine di ridurre il negativo effetto di calpestamento della coltura condizionata. Il modello ritenuto costruttivamente e funzionalmente idoneo alla sperimentazione è risultato essere una trattrice isodiametrica dotata di guida reversibile e trasmissione idrostatica. Tale modello prodotto dalla ditta BM Tractors di Zocca (Mo), è caratterizzato da ridotta massa complessiva e possibilità di equipaggiamento con ruote a sezione larga prive di tappi di presa (tipologie di pneumatici prevalentemente utilizzati nelle operazioni di mantenimento del verde ornamentale). La trattrice presenta guida reversibile con piattaforma integrale girevole a 180° e possibilità di doppia sterzatura, solo anteriore e/o posteriore, riducendo significativamente gli spazi di manovra.

Le principali caratteristiche tecniche della trattrice utilizzata sono riportate in tabella 2.

Tabella 2 - Aspetti tecnici della trattrice utilizzata.

Descrizione	*Unità di misura*	*Valore*
Marca		BM Tractors
Modello		Better 130
Potenza motrice	kW	93
Massa complessiva	kg	3500
Lunghezza	m	4,56
Larghezza	m	2,45
Altezza	m	2,77
Pneumatici anteriori/posteriori	tipo	Floating 500/60-22.5

La trattrice monta un motore Iveco FTP (Fiat Power Train Technology) tipo NEF (New Engine Family), a quattro cilindri sovralimentati con dispositivo di raffreddamento ad aria aspirata (intercooler) di tipo aria/aria, cilindrata complessiva di 4500 cc e potenza motrice secondo norma ISO TR14396 di 93 kW, emissionato Tierr III. La coppia motrice rilevata a 1250 giri/minuto è pari a 525 N/m.

La trasmissione si presenta di tipo misto meccanico idraulico; la componente meccanica presenta un cambio principale a sei rapporti a gestione elettronica con dispositivo di scalata in automatico in caso di accessivo sforzo di trazione, abbinato ad un riduttore a tre gamme, per un totale di 18 rapporti. Alla componente meccanica è abbinata una trasmissione idraulica con pompa a portata variabile con funzione di adeguamento della velocità ed inversione della direzione d'avanzamento. Le velocità consentite sono comprese da 0-5 km/h del primo rapporto fino a 0-40 km/h del diciottesimo rapporto.

L'impianto di sollevamento idraulico posteriore presenta capacità di sollevamento pari a 3500 kg, a richiesta è montabile l'impianto di sollevamento anteriore con capacità di sollevamento pari a 2000 kg.

La presa di potenza posteriore presenta frizione di tipo multi disco in bagno d'olio e due regimi di velocità (540/1000 giri/minuto).

La trattrice utilizzata presenta diametro di svolta pari a 6,2 m, passo di 2,5 m e carreggiata variabile da 2,20 m a 2,45 m rimanendo sempre entro i limiti fissati per la circolazione stradale dal Codice della Strada (C.d.S.).

Area di prova

Le prove sono state condotte nell'estate 2009 sia presso i campi sperimentali del gruppo agro-industriale Co.Pro.B a Minerbio (Bo) e presso quelli del gruppo agro-industriale M & G (Mossi & Ghisolfi) a Rivalta Scrivia (Al).

Il primo è impegnato alla messa a punto della filiera produttiva del sorgo da fibra per alimentare l'impianto di produzione di energia elettrica di Finale Emilia, non ancora in produzione, mentre il secondo per alimentare un impianto pilota di produzione di etanolo di seconda generazione in operazione presso il centro di ricerca del Gruppo.

Il campo sperimentale Co.Pro.B. era situato in località Mirandola di Modena (Mo), a giacitura pianeggiante, caratterizzata da terreno di medio impasto tendente all'argilloso. Nel campo prove sono state coltivate tre varietà di sorgo per una superficie complessiva di ha 3,6241.

La precessione colturale aziendale ha interessato frumento nel 2008 e mais nel 2007, le operazioni di preparazione del terreno sono state aratura estiva (2008) a profondità di 0,4 m, seguita da estirpatura in settembre ed erpicatura superficiale (0,1 m) primaverile pre-semina.

Il campo sperimentale M & G era situato in località Rivalta Scrivia (Al) a giacitura pianeggiante, presentava superficie seminata a sorgo da fibra pari a 9,0 ha di cui 0,9952 ha investito con varietà H 133 ed interessato dalle prove.

Le principali caratteristiche sono riportate in tabella 3.

Tabella 3 - Principali caratteristiche dei campi prove.

Descrizione	*Unita di misura*	*Mirandola (Mo)*	*Rivalta Scrivia (Al)*
Lunghezza	m	162	311
Larghezza	m	92	32
Superficie	ha	1,4915	0,9952
Distanza di semina (interfila/fila)	m	0,5/0,107	0,5/0,10
Profondita di semina	mm	25	28
Varietà		Biomass 133	H 133

Durante le prove sono stati rilevate le produttività del cantiere secondo schema di classificazione dei tempi di lavoro in agricoltura concordato in sede internazionale dal C.I.O.S.T.A. (Commission Internationale de l'Organisation scientifique du travail en agricolture) e la raccomandazione AIGR (Associazione Italiana di Genio Rurale) 3° R1.

Per la valutazione del condizionamento effettuato sulle piante si sono prelevati sei campioni rappresentati dalla produzione di un metro quadrato e si sono studiate le zone colpite dagli elementi condizionatori, l'intensità e l'effetto che ha comportato sui tessuti definendo la zona di inizio del processo di condizionamento. Sui medesimi campioni si sono effettuati anche i rilievi delle altezze di taglio.

Per la valutazione delle perdite di raccolta a fine ciclo si sono definiti ulteriori sei campioni di superficie pari ad un metro quadrato e si è provveduto alla raccolta diretta di tutto il materiale rimasto a terra (sezioni di foglie e di steli).

Risultati e discussioni

Capacità di lavoro

Le valutazioni sperimentali del cantiere di lavoro formato dalla trattrice BM Tractor e dalla macchina falcia condizionatrice del sorgo da fibra sono state effettuate nel mese di luglio 2009 nel centro Italia a Mirandola (Mo) e nel mese di settembre 2009 nel nord Italia, a Rivalta Scrivia (Al).

La coltura di sorgo da fibra al momento della raccolta presso il campo di Mirandola (Mo) presentava un omogeneo grado di sviluppo, altezza media di 2,88 m e densità pari a 14 piante m^2. La coltura non presentava allettamenti e neppure infestanti di rilievo.

Nel campo di Rivalta Scrivia (Al) al momento della raccolta la coltura si presentava priva di allettamenti e con un'altezza media di 3,03 m. La coltura durante il ciclo vegetativo ha potuto beneficiare di due interventi irrigui eseguiti tramite irrigatore mobile ad ala avvolgibile. Le maggiori dimensioni delle piante e la maggior irregolarità superficiale hanno influito sulle capacità di lavoro operative della macchina oggetto di studio.

L'analisi dei tempi di lavoro ha messo in luce che mentre ai Mirandola (Mo) il cantiere di raccolta ha mostrato avere una velocità di avanzamento effettiva pari a 1,71 m/s raggiungendo una capacità operativa pari a 1,74 ha/h, corrispondente ad produzione oraria di 53,63 t/ha, a Rivalta Scrivia (AL) il cantiere di raccolta è avanzato ad una velocità effettiva di 1,24 m/s raggiungendo una capacità operativa pari a 1,45 ha/h, corrispondente ad produzione oraria di 68,95 t/ha.

Le diverse conformazioni degli appezzamenti e le caratteristiche della coltura tra le due aree di prova hanno significativamente influito sui rendimenti e sulle produ-

zioni orarie ottenute. A Rivalta Scrivia (Al) si è ottenuto un rendimento operativo del 15,12 % superiore a quello rilevato a Mirandola (Mo) mentre per quanto riguarda la produzione oraria operativa l'incremento è stato pari al 28,57 %.

Nelle tabelle 4 e 5 sono riportate rispettivamente alcune caratteristiche colturali ed alcuni parametri di lavoro del cantiere di falciacondizionatura rilevati nei due campi prove.

Tabella 4 - Caratteristiche della coltura di sorgo da fibra alla raccolta nei due campi prove.

Descrizione	*Unita di misura*	*Mirandola (Mo)*	*Rivalta Scrivia (Al)*
Data	gg/mm/aa	29/07/09	03/09/09
Altezza	m	2,88	3,03
Densità	Piante/m^2	14,00	12,67
Diametro basale	mm	16,75	16,86
Allettamento	%	0	0
Presenza di infestanti	%	0	0
Produzione ottenuta	t/ha	14,00*	18,90**

* Produzione ottenuta al 28,3% di umidità

** Produzione stimata ad un'umidità del 27,2%

A causa di significativi eventi piovosi avvenuti in concomitanza con le operazioni di imballatura la raccolta del campo prove di Rivalta Scrivia (Al) non ha potuto seguire l'originario protocollo di prova che prevedeva la raccolta e pesatura di tutta l'area di prova. La determinazione della produzione ottenuta è quindi stata stimata attraverso i rilievi eseguiti in pre-raccolta considerando il valore di umidità raggiunto successivamente all'impiego della falcia condizionatrice (27,2%).

Tabella 5 - Parametri di lavoro medi riscontrati durante l'impiego del cantire di raccolta del sorgo da fibra.

Descrizione	*Unità di misura*	*Mirandola (Mo)*	*Rivalta Scrivia (Al)*
Regime di rotazione pdp	giri/minuto	454	454
Velocità di avanzamento	m/s-km/h	1,71-6,15	1,24-4,45
Capacità di lavoro effettiva	ha/h	2,15	1,56
Capacità di lavoro operativa	ha/h	1,74	1,45
Rendimento operativo	%	80,63	92,82
Produzione oraria operativa	t/h	53,63	68,95
Altezza di taglio	mm	30	80

In entrambi i campi prove le piante, successivamente al passaggio della falcia condizionatrice, si presentavano uniformemente sparse su tutto il fronte di lavoro della macchina e condizionate fin verso l'apice della pianta (foto 4).

Foto 3 - Particolare della coltura trattata dalla falcia-condizionatrice CRA-ING.

Qualità del lavoro

Condizionamento

L'effetto di condizionamento si manifesta con fessurazioni profonde lungo lo stelo con fuoriuscita dei tessuti interni ad intervalli di 150 mm. Tale distanza è risultata collegata alla velocità di rotazione del condizionatore ed alla velocità di avanzamento della macchina (Foto 4). Le piante si presentano uniformemente condizionate lungo tutto lo stelo fin da 100 mm sopra la linea di taglio. Le foglie risultano anch'esse condizionate, ancora collegate allo stelo e con lacerazioni longitudinali lungo le nervature.

L'effetto degli elementi condizionatori fissati sulle coclee risulta particolarmente visibile ove lo stelo ha una struttura poco elastica, e diviene progressivamente meno aggressivo con la riduzione del diametro dello stelo ed aumento della sua elasticità.

Alla attività sperimentale volta a valutare le prestazioni e la qualità del lavoro della macchina per la falciacondizionatura del sorgo da fibra descritta in questo lavoro, ha fatto seguito una attività sperimentale volta a valutare l'andamento dell'essiccazione del prodotto in campo, nei due areali considerati(centro e nord Italia) e nei due diversi mesi (Agosto e Settembre). Tale attività ha messo in luce anche l'efficienza di condizionamento della macchina. Si rimanda quindi ad articolo dedicato per indicazioni sulla efficacia del condizionamento.

Foto 4 - Particolare di pianta di sorgo appena falciata e condizionata.

Altezza di taglio

Le condizioni di coltivazione del campo prove di Mirandola (Mo) con regolare ed uniforme profilo superficiale hanno permesso alla macchina in prova di mantenere l'altezza di taglio costante a valori piuttosto ridotti, pari a 30 mm (foto 5), condizione questa che non si è ripetuta in Piemonte ove l'irregolare profilo superficiale e la presenza di ostacoli (sassi) hanno obbligato l'operatore a tenere una l'altezza di taglio superiore risultata mediamente pari a 80 mm. La maggiore altezza di raccolta si traduce in un minore prodotto raccoglibile.

Perdite di raccolta

La macchina ha falciacondizionato tutte le piante presenti nel campo prove e non sono state rilevate perdite a livello di barra di taglio in quanto tutte le piante recise sono state trattate dal gruppo condizionatore. I rilievi relativi alle perdite di prodotto valutate a fine ciclo di raccolta, quindi comprensive di falcia condizionature, andana tura ed imballatura), sono riferiti al campo di Mirandola (Mo) ove sono risultate pari al 5,18% del prodotto raccolto (14 t/ha al 28,3% di umidità).

Foto 5 - Particolare rilievi altezza di taglio.

Conclusioni

La macchina falciacondizionatrice realizzata a seguito della attività di ricerca sviluppata dal CRA-ING negli ultimi 3 anni, ha permesso la soluzione di un problema di notevole importanza che non permetteva la estensiva coltivazione di questa interessante coltura da biomassa. Le esperienze condotte nel biennio 2007-2008 con il primo prototipo costruito dal CRA ING hanno fornito una serie di informazioni molto utili sulle problematiche che la coltura presenta durante le operazioni di fienagione, permettendo di applicare sulla macchina pre-commerciale gli accorgimenti necessari a mantenere un'elevata efficienza di condizionamento riducendo gli inconvenienti legati ad ingolfamenti o inquinamento del prodotto.

L'attività di ricerca mirata allo sviluppo di macchine agricole non esistenti, ma indispensabili per permettere l'attivazione di filiere agro-energetiche, se condotta con l'intenzione di sviluppare innovazioni tecnologiche da mettere sul mercato, può portare in pochi anni alla messa a disposizione degli agricoltori che saranno interessati alla coltivazione della nuova coltura energetica, di macchine efficiente e facilmente acquisibili.

Questa attività, voluta dal MiPAF che ha promosso il Progetto di ricerca SUSCACE per lo sviluppo di innovazioni tecnologiche che favoriscano la conversione del set-

tore bieticolo-saccarifero, è stata possibile grazie alle collaborazioni instaurate tra l'Istituzione di ricerca pubblica, le ditte produttrici di macchine agricole ed i gruppi agro-industriali del settore prima citati che si ringraziano.

Acknowledgements. Si ringraziano per la collaborazione fornita a supporto della sperimentazione i gruppi industriali, Co.Pro.B. di Minerbio (Bo), M&G di Rivalta Scrivia (Al).

Bibliografia

Assirelli A., Bentini M., Zucchelli M., 2006. L'importanza della raccolta per le colture da biomassa. L'Informatore Agrario, 41: 117-123.

Assirelli A., Fedrizzi M., Ciriello A., Pari L., 2008. Fiber sorghum haymaking for Energy purpose: an innovative equipment for fast drying, 16th European Biomass Conference & Exhibition, Valencia, Spain.

Pari L., Assirelli A., Suardi A., 2009. Migliorato il condizionamento del sorgo da fibra alla raccolta. Informatore Agrario n. 29 del 17/23 luglio 2009 – Supplemento Agroenergie - Pages 16-18.

c - Valutazione dell'essiccazione in campo del sorgo da fibra affienato

Field drying of Fiber Sorghum hay

Luigi Pari*, Alberto Assirelli*, Alessandro Suardi*

Riassunto

Le linee di raccolta del sorgo da fibra, seguono normalmente due diverse metodologie: la trinciatura diretta del prodotto fresco o l'imballatura del prodotto semiaffienato od affienato. La scelta è vincolata da diversi aspetti prevalentemente legati alla destinazione d'uso della biomassa, alla necessità di movimentazione e stoccaggio, alle attrezzature disponibili ed alle caratteristiche pedoclimatiche dell'areale di coltivazione. La raccolta di un prodotto con contenuto di umidità tale da garantirne un'adeguata conservazione (umidità < 25-30%) richiede un trattamento condizionatore molto intenso della coltura. Il raggiungimento delle massime capacità produttive della coltura avviene in periodi che non sempre possono garantire un adeguato livello di radiazione solare ed assenza di precipitazioni. La riduzione del tempo di esposizione nel rispetto della durata del ciclo di coltivazione rappresenta un obbiettivo di primaria importanza per l'affermazione della coltura che raggiunge il momento di raccolta in periodi in cui il rischio di pioggia aumenta progressivamente.

Al fine di valutare i giorni di esposizione alla radiazione solare necessari per ottenere un livello di umidità idoneo CRA-ING ha svolto alcune prove in diverse realtà e periodi di raccolta con le macchine sviluppate nella propria attività di ricerca. Nel presente lavoro sono riportate le esperienze condotte nel 2009, tralasciando quelle relative agli anni 2007-2008 in quanto relative ad operatrici che seppur sviluppate in ambito CRA-ING presentavano diversi aspetti costruttivi e funzionali.

* CRA-ING - Unità di Ricerca per l'Ingegneria Agraria, Monterotondo (Roma).

Le esperienze condotte hanno consentito periodi di esposizione inferiori ai 5 gg riducibili di almeno 1 gg in caso di rivoltamento della coltura al secondo giorno di esposizione.

Parole chiave: essiccazione sorgo da fibra, affienamento sorgo da fibra, tempi esposizione sorgo da fibra, condizionamento sorgo da fibra.

Abstract

The harvesting of sorghum fiber, normally follow two different methods: direct chopping of fresh product or baling of hay product. The choice is constrained by several aspects mainly related to the intended use of biomass, to the need of handling and storage, to the available equipment and the climate characteristics of the cultivation area. The harvest of a product with moisture content as to ensure adequate conservation (humidity <25-30%) requires very intensive conditioning treatment of the crop. The attainment of maximum production capacity of the crop occurs in periods that can not always guarantee an adequate level of radiation and absence of rainfall. The reduction of exposure time in regard of the cultivation cycle period is a goal of primary importance for the success of the crop that reaches the harvesting time when the risk of rain increases gradually.

In order to assess daily exposure to solar radiation needed to achieve an adequate level of humidity, CRA-ING has carried out some tests in different periods and harvesting situations with machines developed in their research. In the present work the experiments conducted in 2009, are explained, leaving those for the years 2007-2008 because they relate to machines which, although developed within the CRA-ING, presented various aspects of construction and functional. The experiences have allowed exposure periods of less than 5 days reduced by at least 1 day in case of turning over the crop the second day of exposure.

Keywords: *fiber drying sorghum, haymaking sorghum fiber, sorghum fiber exposure time, conditioning sorghum fiber.*

Introduzione

Il sorgo da fibra allo stato fresco contiene oltre il 70% di acqua, aspetto importante da tenere in considerazione in quanto rende antieconomica la movimentazione della biomassa trinciata fresca oltre i 25 km (Barbucci P. *et al*., 1994). Per garantire un'adeguata conservabilità della biomassa il sorgo da fibra deve passare da oltre il 70 a meno del 30% di umidità per garantire la conservazione e permetterne un'agevole movimentazione. Nell'intento di risolvere queste problematiche CRA-ING ha condotto un'attività di ricerca mirata a mettere a punto una macchina che permettes-

se di ridurre significativamente i tempi di essiccazione in campo. Le prime esperienze di raccolta del sorgo da fibra con le comuni linee da foraggio, avevano mostrato limiti evidenti legati all'elevato volume di biomassa da gestire ed alla struttura poco omogenea degli steli delle piante, sia in termini di dimensioni sia di elasticità. Prove di sfalcio del sorgo non condizionato, anche nei mesi di massima efficienza della radiazione solare (luglio-agosto) hanno evidenziato una perdita di umidità di pochi punti percentuali per giorno di esposizione, mostrando l'impossibilità di disidratare il prodotto naturalmente se non eseguendo un accurato condizionamento degli steli. Nel 2007 il CRA-ING ha progettato e realizzato un primo prototipo di falcia-condizionatrice specifico per la colture, con sistema a rulli controrotanti ad elevata aggressività, successivamente ridotta nell'operatrice realizzata nel 2009 nella quale è stato adottato un sistema di condizionamento a coppia di coclee controrotanti. La macchina è stata poi sottoposta nell'estate 2009 a prove sperimentali per valutarne gli aspetti funzionali e prestazionali, mentre nel presente lavoro si riportano i risultati di prove sperimentali mirate a valutare l'andamento dell'essiccazione in campo del prodotto falcia condizionato con la nuova macchina, in diverse condizioni operative (centro e nord Italia, mese di luglio e settembre).

Materiali e metodi

L'attività sperimentale ha riguardato la comparazione dell'andamento della perdita di umidità di sorgo da fibra falcia condizionato nel mese di agosto in località Mirandola (Mo) con il sorgo da fibra falcia condizionato in località Rivalta Scrivia (Al) nel mese di settembre 2009.

Il cantiere di raccolta era costituito da trattore BM Tractors Modello Better 130 abbinato a macchina falcia condizionatrice CRA ING/Cressoni progettata e realizzata nel medesimo anno alla luce delle sperimentazioni precedenti.

Le valutazioni hanno riguardato sia la identificazione dei parametri biometrici colturali in presfalcio nonché la valutazione dell'andamento dell'umidità del prodotto condizionato in essiccazione.

Presfalcio:

Prima del passaggio della falciacondizionatrice, dopo attenta valutazione del grado di uniformità, di sviluppo e densità delle piante, sono stati individuati tre settori rappresentativi, sui quali si è proceduto con sei campionamenti alla determinazione delle caratteristiche biometriche della coltura. Ogni campionamento è stato effettuato su una superficie di un metro quadrato. Per ogni campione, sono state raccolte e contate il numero di piante presenti, il loro peso unitario e complessivo. Di ogni pianta è stata misurata l'altezza, il diametro basale e ad 1 m dalla base.

Si è inoltre cercato di quantificare come l'altezza di taglio influisca sulla produzione totale raccoglibile valutando diversi valori (50, 100, 150, 200 e 250 mm).

Postsfalcio

Successivamente al passaggio della falciacondizionatrice, per valutare i tempi di essiccazione della biomassa condizionata e lasciata a terra, nei 3 settori precedentemente individuati, sono stati prelevati tre campioni due volte al giorno (ore 12.30 e 20.00) per valutarne la variazioni di umidità fino al raggiungimento del valore minimo necessario per la successiva fase di stoccaggio (30%). Dopo circa 48 ore dal condizionamento, in una porzione del campo prove di Mirandola (Mo), si è proceduto con un rivoltamento tramite ranghinatore stellare del prodotto condizionato, per poterne successivamente valutare l'influenza sulla velocità di essiccazione. Ogni campione raccolto era rappresentato da piante intere costituite da fusto, foglie e spiga che venivano immediatamente pesate ed inviate in laboratorio per la valutazione dell'umidità secondo la procedura CEN/TS 15414-1:2006.

Dal giorno della raccolta fino all'imballatura sono state monitorate le condizioni meteorologiche per mezzo di una centralina meteo professionale (Oregon Scientific WMR200) posizionata ai bordi dei campi sperimentali. In particolare sono stati registrati i valori di temperatura, umidità, velocità del vento e precipitazioni.

Risultati

Tabella 1 - Principali caratteristiche della coltura di sorgo al momento dello sfalcio.

Descrizione	*Unità di misura*	*Mirandola (Mo)*	*Rivalta Scrivia (Al)*
Varietà		Biomass 133	H 133
Data sfalciocondizionatura	gg/mm/aaaa	29/07/2009	03/09/2009
Distanze di semina: interfila	m	0,5	0,5
sulla fila	mm	107	110
Altezza piante	m	2,88	3,03
Densità	n°/m^2	14	12,67
Diametro basale	mm	16,75	16,86
Peso medio	kg/pianta	0,38	0,40
Umidità allo sfalcio	%	73,4	72,6
Allettamento	%	0	0
Infestazione	%	0	0
Altezza di taglio	mm	30	80

In tabella 1 sono riportate le caratteristiche colturali nelle due tesi messe a confronto, dalle quali si può evidenziare un maggior sviluppo vegetativo, una minor densità per unità di superficie ed un leggero maggior diametro basale nella tesi di Rivalta Scrivia (Al). Tali difformità devono comunque essere valutate in base ai diversi percorsi colturali seguiti nelle due realtà. Mentre il campo prove di Modena non ha potuto

beneficiare di interventi irrigui esterni, ad Alessandria sono stati eseguiti due interventi con irrigatore mobile ad ala avvolgibile nel periodo estivo di 35 mm ciascuno.

Il processo meccanico di condizionamento messo a punto, permette la deposizione della coltura falciacondizionata a terra in maniera uniforme, su tutta la superficie disponibile. Ogni pianta risulta longitudinalmente integra e con incisioni e compressioni ripetute su tutta la lunghezza. L'elevato spessore di biomassa distesa (>150 mm) e le fisiologiche sovrapposizioni delle piante, non consentono un'omogenea perdita di umidità; infatti durante i rilievi periodici, la quasi totalità delle piante analizzate, presentavano settori di stelo con differenti gradi di essiccazione dovuto alle frequenti sovrapposizioni che riducevano la superficie esposta. È stato inoltre osservato che, essendo lo stelo a livello basale, di maggiori dimensioni e meno elastico rispetto alle parti più distali, l'effetto di condizionamento risultava più evidente e con spaccature profonde solo nelle parti di maggior consistenza. In contrapposizione, nelle parti apicali, la maggiore elasticità dello stelo lo rendeva meno suscettibile alla fessurazione. Questo fenomeno permetteva comunque di ottenere una perdita di umidità dei tessuti interni piuttosto omogenea, tra le diverse sezioni dello stelo.

Alla fine di luglio 2009 in Emilia Romagna, durante le prove sperimentali in località Mirandola (Mo) la temperatura media dell'aria è stata di 29°C, l'umidità relativa media del 52% e la velocità media del vento di 0,69 m/s. Al momento dello sfalcio eseguito alle ore 10:30 del 29/07/2009 la coltura presentava un'umidità iniziale pari al 73,4% e, nelle condizioni descritte, la perdita di umidità ha consentito di concludere le operazioni di raccolta entro il quarto giorno ad un'umidità media del 28,3%, senza eseguire rivoltamenti intermedi. In un'area delimitata è stato inoltre eseguito un rivoltamento intermedio il terzo giorno dallo sfalcio, che ha mostrato di non avere influito significativamente sulla velocità di essiccazione del prodotto ormai in fase piuttosto avanzata.

Nel grafico 1 viene riportato l'andamento della perdita di umidità della coltura nella Tesi di Mirandola (MO) assieme ai dati di temperatura relativa, umidità relativa e velocità del vento medi, registrati dalla centralina meteo installata in prossimità del campo prove per tutta la durata della attività sperimentale.

Dal grafico n. 1 si evidenzia come, nelle prime ore successive al condizionamento il contenuto di umidità della coltura inizia a diminuire in maniera sensibile, perdendo in 8 ore, dalle 10.30 alle 18.30 16 punti percentuali di acqua. Con la diminuzione dell'intensità della radiazione solare e della temperatura esterna, si assiste ad un riequilibrio dell'umidità fra le parti più interne della pianta e gli strati esterni già parzialmente essiccati, senza che si verifichino perdite significative di acqua dai tessuti. Solo nel pomeriggio successivo (2° giorno), l'incremento di temperatura, abbinato alla diminuzione dell'umidità relativa dell'aria, determina un marcato abbassamento del contenuto di acqua all'interno del prodotto. Raggiunta la soglia del 40%, il processo di essiccazione appare più lineare senza mostrare marcate differenze tra il giorno e la notte. Si tende a creare una forma di equilibrio tra la quantità di acqua

che passa dagli strati più interni della pianta verso la superficie a contatto con l'aria e quella che sta progressivamente evaporando.

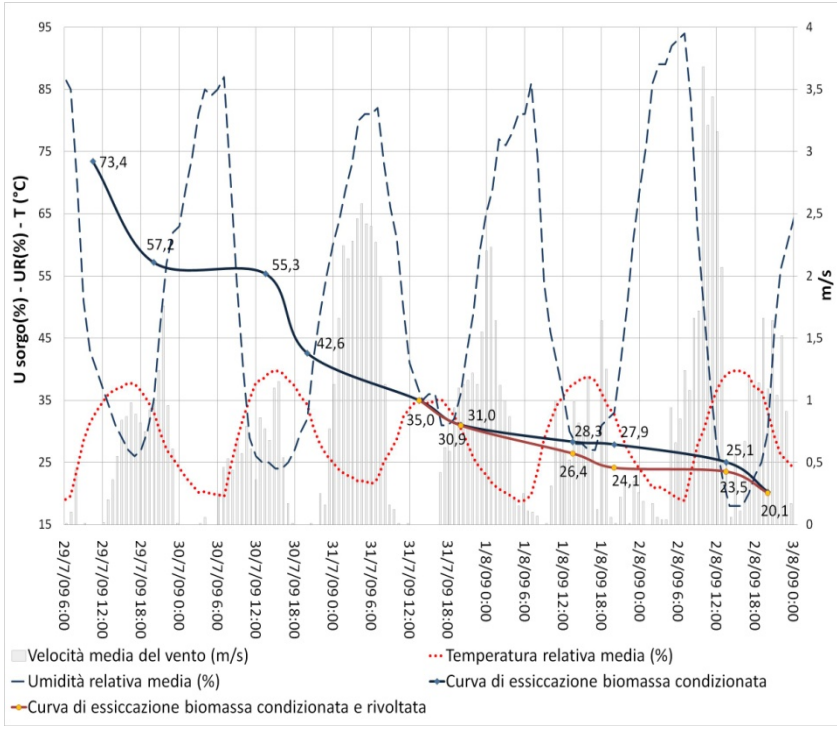


Grafico 1 - Andamento dell'essiccazione del biomassa condizionata in campo e condizioni meteorologiche – località Mirandola (Mo) luglio/agosto 2009.

Nel grafico 2 viene riportato l'andamento della perdita di umidità della coltura nella Tesi di Rivalta Scrivia (AL) assieme ai dati di temperatura relativa, umidità relativa e velocità del vento medi, registrati dalla centralina meteo installata in prossimità del campo prove per tutta la durata della attività sperimentale.

In Piemonte, nella prima decade di settembre, la temperatura media registrata nel periodo delle prove è stata di 21C°, l'umidità media di 49% e la velocità media del vento di 1,18 m/s. Anche in questo caso la biomassa è passata, in poco più di 4 giorni, da un'umidità media del 71% ad una del 27,2%.

Durante le prove di essiccazione in campo, in entrambe le tesi, non si sono verificati fenomeni meteorologici registrabili, pertanto i dati pluviometrici non sono stati inseriti nei grafici.

Il processo di essiccazione evidenziabile dal grafico n. 2, relativo all'esperienza piemontese nel mese di settembre, denota un diverso comportamento rispetto all'esperienza precedente condotta in Emilia Romagna nel mese di Luglio, mostrando un essiccazione più lineare della biomassa in campo senza rilevanti interferenze dell'alternarsi giorno/notte sulla essiccazione.

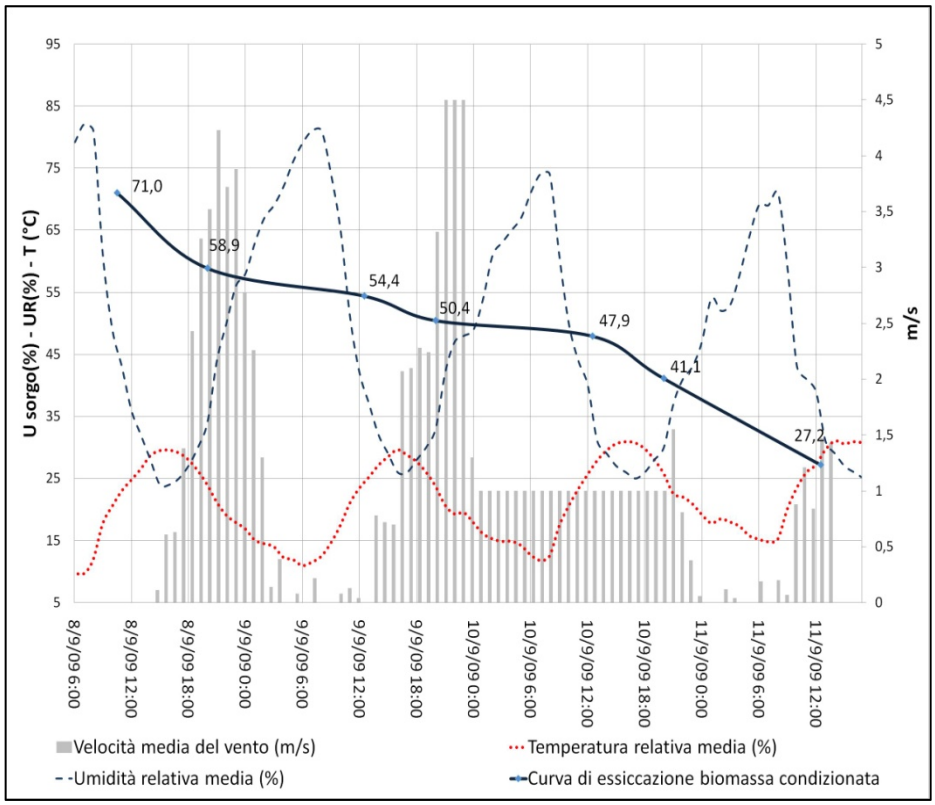


Grafico 2 - Andamento dell'essiccazione del biomassa condizionata in campo e condizioni meteorologiche – località Rivalta Scrivia (Al) settembre 2009.

Tale andamento potrebbe essere riconducibile sia alla minor temperatura relativa media giornaliera di settembre che, pur se accompagnata da una maggiore ventosità e da valori simili di umidità relativa dell'aria, non ha permesso il verificarsi di bruschi abbassamenti dell'umidità contenuta nella biomassa sia all'influenza dell'altezza di taglio sull'andamento dell'essiccazione.

A conferma di ciò nella tesi di Rivalta Scrivia (AL) l'irregolare profilo superficiale e la presenza di ostacoli (sassi) hanno obbligato l'operatore della falciacondizonatrice a tenere una altezza di taglio media di 80 mm, a differenza di quanto avvenuto nella tesi di Mirandola ove l'altezza media di taglio è risultata essere 30 mm.

La parte basale dello stelo non tagliato svolge un'azione di sostegno importante della biomassa condizionata in fase di essiccazione, evitandone il contatto a terra. Questo aspetto fa sì che, l'umidità del terreno non influisca negativamente sul prodotto e l'aria riesca a passare attraverso la biomassa favorendone la disidratazione, come già rilevato in altre esperienze (2).

Si può quindi supporre che nella tesi di Mirandola(MO) il contatto della coltura con il terreno abbia influito negativamente con la disidratazione e che questo effetto si sia fatto sentire maggiormente durante il periodo notturno.

La maggiore altezza di raccolta tuttavia si traduce in un minore prodotto raccoglibile

Questo è stato stimato con delle prove sperimentali ed i risultati sono riportati in tabella 2 dalla quale si evince come, per contenere le perdite al di sotto del 10%, sia importante non superare i 150 mm di altezza di taglio.

Tabella 2 - Diminuzione della biomassa raccoglibile in funzione dell'altezza di taglio.

Altezza di taglio (mm)	Prodotto non raccolto (%)
50	3,25
100	6,14
150	9,19
200	12,15
250	14,36

Conclusioni

L'attività sperimentale condotta in due diversi areali ed in diversi periodi dell'anno ha permesso di fornire informazioni sull'essiccazione in campo del sorgo da fibra condizionato utili a superare una problematica che in molteplici areali italiani aveva spesso limitato la diffusione della coltura solamente alle possibilità d'impiego del prodotto fresco, con tutti i limiti derivanti dal contenuto di umidità, inerenti il costo di trasporto, la movimentazione e lo stoccaggio. Lo studio delle problematiche legate al rilascio dell'umidità da parte della biomassa in campo, ha permesso di sottolineare l'importanza del condizionamento e nell'ambito di quest'ultimo di una frequente ed omogenea fessurazione dello stelo oltre ad una perfetta deposizione a terra, evitando accumuli e facilitando la circolazione dell'aria. Altro aspetto piuttosto utile, già evidenziato in altre esperienze, riguarda il distacco della biomassa da terra ottenibile innalzando leggermente l'altezza di taglio ed utilizzando la parte basale dei fusti come sostegno.

La nuova falcia condizionatrice CRA-ING/Cressoni ha permesso quindi di ridurre i tempi convenzionali di esposizione solare in campo, entro i 4 gg senza rivoltamento intermedio. Quest'ultimo, se applicato entro il secondo giorno, potrebbe abbassare ulteriormente i tempi di essiccazione.

Dalle esperienze condotte si sconsiglia inoltre di protrarre la raccolta tramite fienagione, negli areali centro-nord italiani, oltre il mese di settembre, a causa dell'aumento del rischio di condizioni pedoclimatiche sfavorevoli che potrebbero influire negativamente sui tempi di essiccazione e sulla riuscita della raccolta stessa.

Per quanto riguarda l'altezza di taglio da adottare in fase di falciacondizionatura, al fine di ridurre le perdite di prodotto ma nello stesso tempo favorire le condizioni

di ventilazione interna dello strato di biomassa, se ne consiglia un valore compreso tra i 30 e 80 mm. Altezze inferiori potrebbero non consentire un sufficiente isolamento dal terreno con scambi di umidità indesiderati e difficoltà di essiccazione.

Acknowledgements. Le ricerche sono state effettuate in collaborazione con Co.Pro.B. Italia Zuccheri, e M&G group.

References

Barbucci P., Andreuccetti P., Frati G., Bacchiet P., Vannucci D., Pari L. 1994. Energy Crops Harvesting: Fiber Sorghum, Kenaf, Arundo donax Mischantus, Cynara cardunculus – Biomass for Energy and Industry – 7th E.C. Conference – Bocum, Pages 38-43.

Klinner W. E., Shepperson G.. 1975. The state of haymaking technology - Grass and Forage Science – Volume 30 Issue 3 – Pages 259-266.

5
Valutazioni economiche

a - Valutazioni economiche: sorgo

Evaluation cost: fiber sorghum

Domenico Coaloa*, Alessandra Grignetti*

Riassunto

La riduzione della coltivazione della barbabietola ha portato alla conversione di migliaia di ettari di terreno agricolo a colture energetiche dal 2008. Grazie al progetto nazionale di ricerca "SuSCACE", a supporto tecnico-scientifico per la conversione delle coltivazioni agricole verso colture energetiche, è stato possibile raccogliere ed elaborare dati sulle colture energetiche attualmente esistenti. Il database è attualmente costituito da 2.969 ettari coltivati in 386 appezzamenti, sono coinvolte 312 aziende agricole dislocate in 11 regioni d'Italia. I risultati ottenuti riguardano le superfici investite a ciascuna coltura, il relativo numero di campi e la loro distribuzione regionale, le produzioni, i costi di coltivazione e di produzione il bilancio economico. I dati raccolti riguardanti tutte le operazioni colturali agricole, gli input energetici ha permesso di stimare l'impatto ambientale e il bilancio energetico delle diverse colture. Le produzioni ottenute per le colture annuali da biomassa e le oleaginose sono risultate mediamente buone con differenze significative a livello regionale. Le analisi della produzione e redditività delle specie più diffuse delle colture oleaginose, ha mostrato risultati generalmente positivi nel mercato attuale. Le piantagioni per la biomassa hanno raggiunto già buoni risultati produttivi nei primi anni di coltivazione, anche se migliorabili. Nelle attuali condizioni di mercato la redditività è fortemente dipendente dalle particolari condizioni di prezzo che si possono ottenere mediante contratti di lungo periodo con le imprese di trasformazione energetica.

Parole chiave: colture energetiche, costi di coltivazione, bilanci colturali, sorgo da fibra.

* CRA-PLF Unità di Ricerca per le Produzioni Legnose fuori Foresta, Casale Monferrato (AL).

Abstract

The reduction of beet cultivation has led to the conversion of thousands of hectares of agricultural land to energy crops since 2008. Thanks to the national research project "SuSCACE", set up as a technical-scientific support for the cultivation of energy crops, it has been possible to gather and process data on the currently existing energy crops. The database currently concern of 2,969 hectares in 386 plots, 312 farms and 11 regions of Italy affected. The results obtained regard the areas planted to each crop, the relative number of fields and their regional distribution, their yields, cultivation and production costs and their economic balance. The data collected regarding all farming operations and energy inputs allowed us to estimate the environmental impact and energy balance of the different crops. The products obtained for annual field crops are good on average, significant differences at the regional level. The analysis of the production and profitability of the most widespread oilseed species, has shown generally positive results in the current market. Plantations for biomass have reached, in the first years of cultivation, good, though improvable, yields; however in the present market conditions profitability is highly dependant on special price conditions agreed on in contract with the processing industries.

Keywords: *energy crops, cultivation cost, crop balance, fiber sorghum.*

Introduzione

L'applicazione della riforma della OCM zucchero ha comportato una riduzione di oltre il 50% della capacità produttiva nazionale dello zucchero e di conseguenza anche una sensibile riduzione della superficie coltivata a barbabietola. Alcune società produttrici di zucchero hanno presentato piani di riconversione della filiera bieticolo-saccarifera verso le filiere agroenergetiche con l'obiettivo di ottenere energia elettrica da biomasse ligno-cellulosiche, biodiesel da esterificazione di oli vegetali e bioetanolo da fermentazione di cereali. Il raggiungimento di tali obiettivi richiede elevate produzioni di biomasse, soprattutto ligno-cellulosiche per far fronte alle esigenze di attivazione di nuovi centri di trasformazione energetica da fonti rinnovabili. Una ulteriore spinta verso i programmi di produzioni energetiche alternative è derivata anche dalle misure di sostegno ed incentivi riguardanti i nuovi coefficienti moltiplicatori dei certificati verdi per le filiere corte (Legge n. 244/2007).

Sulla base delle caratteristiche e sulle potenzialità produttive dei diversi ambiti agricoli, tenuti in considerazione gli obiettivi progettuali per la diversificazione della produzione di energia da parte dei vari distretti energetici (Loi, 2008), le aziende agricole stanno affrontando la riconversione con colture erbacee annuali (girasole, colza, brassica, sorgo da fibra), erbacee poliennali (canna comune), e con colture arboree (pioppo, robinia, eucalipto).

Nell'ambito dell'attività del progetto SuSCACE "Supporto Scientifico alla Conversione Agricola verso le Colture Energetiche", finanziato dal Mipaaf e coordinato dal Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura (C.R.A), è stato possibile raccogliere, con la collaborazione delle aziende agricole, informazioni necessarie per analizzare e valutare sotto l'aspetto economico e organizzativo la riconversione agricola che coinvolge il settore.

Metodologia

I dati che attualmente compongono il database sono relativi a 350 appezzamenti per complessivi 2.514 ettari in 11 regioni; 255 sono le aziende agricole coinvolte. Le informazioni riguardano colture poliennali, pioppo, robinia, eucalipto, canna comune, e colture erbacee annuali, colza, girasole, brassica carinata e sorgo da fibra. Per le prime sono stati raccolti dati di localizzazione secondo coordinate geografiche nel sistema metrico WGS84UTM32, riferite al punto centrale degli appezzamenti interessati, invece per quelle annuali al momento si dispongono di dati di localizzazione riferiti soltanto a livello comunale in attesa di dati puntuali.

Grazie alla georeferenziazione degli appezzamenti, tutti i dati acquisiti, riguardanti le caratteristiche ambientali e organizzative delle singole aziende coinvolte, le colture praticate e gli interventi rilevati in tutte le fasi operative, sono stati organizzati in un geo-database (ArcGIS 9.2), gestito dal C.R.A.-PLF (Unità di Ricerca per le Produzioni Legnose fuori Foresta, ex Istituto di Sperimentazione per la Pioppicoltura di Casale Monferrato).

Lo strumento per il rilevamento e la registrazione dei dati è costituito da fogli elettronici in formato Excel appositamente predisposti. In particolare si tratta di tre fogli, "Anagrafica azienda", "Anagrafica appezzamento", Anagrafica coltura". Il primo contiene le informazioni e dati identificativi dell'azienda agricola: id_società, id_tecnico, id_azienda, cod_azienda, denominazione, indirizzo della sede, località, cap, provincia, referente, telefono, cellulare, centralina meteorologica, dimensione azienda, forma di conduzione, valore indicativo dei terreni.

Il foglio relativo all'appezzamento riporta informazioni che riguardano: indirizzo, località, coltura precedente, produttività coltura precedente, altre colture praticate in rotazione, superficie coltivata, giacitura, tessitura, irrigazione e tipo di irrigazione, posizione geografica secondo coordinate di longitudine e latitudine.

Il foglio relativo alla coltura **"**anagrafica coltura**"**, che può cambiare di anno in anno per appezzamento, almeno per quelle erbacee annuali, considera oltre ai caratteri identificativi codificati nei precedenti fogli: coltura, varietà, materiale di propagazione, data di semina/impianto, densità, spaziature, centro di conferimento pelle produzioni.

Il foglio **"**diario appezzamento**"** nel quale sono descritte tutte le operazioni e interventi in modo cronologico: data, tipo intervento, tipo prodotto, prodotto, quantità,

costo unitario, trattrice, potenza, tipo attrezzo, larghezza di lavoro, profondità di lavoro, operai impiegati, superficie lavorata, tempo impiegato, costo complessivo contoterzista,

Sulla base dei dati finora raccolti relative alle colture erbacee e arboree destinate alla produzione di biomasse per uso energetico è stato creato l'archivio cartografico su base GIS. Tale base di dati qualitativi stazionali caratterizzanti i siti di coltivazione e livelli produttivi, consentirà di implementare a livello nazionale la correlazione tra le caratteristiche ambientali con i livelli produttivi potenziali.

Il coordinamento, la verifica e la validazione dei dati rilevati, ha costituito un importante impegno ed ha comportato una attenta valutazione delle criticità registrate in molte fasi di rilevamento e registrazione dei dati di campo relativi alle coltivazioni praticate nel 2009 e nel 2010 secondo il programma di attuazione delle conversione agricole.

Dall'analisi dei dati rilevati direttamente dai tecnici aziendali, riguardanti l'impiego delle macchine, della manodopera, carburanti, sementi, fertilizzanti, erbicidi ed eventuali interventi di terzisti, sono stati calcolati i costi complessivi di coltivazione per ogni coltura e per tutte le superfici interessate.

Il costo orario delle macchine motrici e degli attrezzi è stato calcolato utilizzando software dedicato (Maso *et al.*, 2006). In alcuni casi gli interventi sono stati svolti da imprese esterne all'azienda agricola, i cui costi sono comprensivi del costo della manodopera e del costo delle macchine. Il consumo dei carburanti per le macchine motrici sono stati calcolati in base alle potenze e al fattore di carico dei motori e tempi di utilizzo.

Le produzioni sono espresse in tonnellate per ettaro per anno. Nel caso del sorgo da fibra per rendere omogenei i dati relativi alle biomasse da colture erbacee, caratterizzate da elevati contenuti idrici al taglio, si fa riferimento a produzioni con contenuti idrici standard del 25% (w=25%). Per poter confrontare le produzioni di biomassa provenienti da altre specie e soprattutto con quelle da coltivazioni erbacee poliennali e da quelle arboree è d'obbligo riferire le produzioni allo stato anidro.

Le valutazioni economiche hanno riguardato in sintesi i bilanci colturali (Torquati, 2003) nelle attuali condizioni di mercato. Conseguentemente è stato possibile esprimere in modo sintetico valutazioni sulla redditività delle colture prese in esame.

Sorgo

Il sorgo (*Sorghum bicolor* Moench) è una specie erbacea annuale dove la selezione genetica ha individuato varietà adatte ad impieghi diversi, come ad esempio sorghi da saggina, zuccherini, da foraggio, granella e sorghi da fibra per biomassa; questi ultimi sono caratterizzati da internodi pieni di midollo e molto ricco in fibre. Attualmente la coltivazione del sorgo, dopo un periodo di stasi, ha ritrovato un nuovo

slancio per l'impiego in zootecnia di varietà da granella e per la conversione termica o digestione anaerobica delle selezioni da fibra.

Il sorgo all'interno dell'avvicendamento tipico della Pianura Padana si pone come alternativa al mais per le minori esigenze idriche e nutrizionali che richiede.

Si è ritenuto importante evidenziare l'esperienza che ha coinvolto numerose aziende agricole selezionate all'interno del bacino di conferimento allo stabilimento Italia Zuccheri di Finale Emilia, prefigurando un ipotetico bacino di approvvigionamento della futura centrale di produzione di energia elettrica. Gli obiettivi di tale iniziativa miravano a verificare su larga scala la produttività della coltura rispetto alle nuove varietà in commercio selezionate per biomassa, e a considerare le diverse modalità di raccolta per l'ottimizzazione dei cantieri e la riduzione delle perdite di produzione.

I dati relativi alla coltivazione e produzione di sorgo per biomassa durante due annate agrarie (2009 e 2010) hanno consentito di ottenere risultati significativi sulle effettive capacità produttive su ampie superfici coltivate in varie aziende e di valutarne la sostenibilità economica.

Risultati

Localizzazione della coltura

Nel 2010 la coltivazione del sorgo da fibra ha interessato circa 177 ettari in 39 appezzamenti e altrettante aziende agricole. La dimensione media degli appezzamenti coltivati a sorgo è stata di circa 4,50 ettari.

Gli appezzamenti sono localizzati in Emilia Romagna e Veneto nelle pianure delle province di Modena (55%), Rovigo (25%) Bologna (16%), minime quantità in quella di Ferrara (fig. 1).

Le aziende coinvolte sono principalmente di medie (50-100 ha) e grandi dimensioni (>100 ha), soltanto il 15% è di piccole dimensioni ossia inferiori a 5 ettari. Nella maggior parte si tratta di aziende agricole a conduzione familiare o familiare prevalente.

Figura 1 - Localizzazione della coltivazioni del sorgo da fibra

Analisi dei costi

La coltivazione annuale del sorgo da fibra contempla una serie di attività che si concentrano nel periodo primaverile estivo, dalla preparazione del terreno per la semina alle operazioni colturali di controllo infestanti, concimazioni e raccolta. Quest'ultima operazione richiede una grande capacità organizzativa e rilevanti impegni di macchine e manodopera per le diverse modalità e diversi periodi di raccolta a seconda delle varietà coltivate (precoci o tardive), nonché per le esigenze di stoccaggio della biomassa e del processo di trasformazione adottato.

Le operazioni colturali in questo contesto sono state effettuate esclusivamente da imprese di contoterzi che hanno fornito meccanizzazione e manodopera qualificata.

Il tempo impiegato dalle macchine in questa coltura totalmente meccanizzata, a partire dalla preparazione del terreno per la semina fino alla raccolta, è stato media-

mente di 8 ore e 40 minuti per ettaro, gran parte del quale concentrato nelle operazioni di raccolta.

Nell'analisi dei costi per la valutazione economica della coltura, il costo più rilevante è rappresentato dall'impiego delle macchine che ha complessivamente raggiunto 698,16 €/ha (tab. 1).

Tabella 1 - Costi di coltivazione del sorgo da fibra in base alle modalità di raccolta.

	costo operazioni €/ha	costo prodotti €/ha	costo totale €/ha
sfuso	699,46	232,24	931,7
imballato	612,17	326,99	947,7
trinciato	701,08	272,94	974,02
medie	**698,16**	**290,11**	**988,27**

Come già fatto notare, la raccolta costituisce parte rilevante dell'impegno complessivo sia in termini di tempi che di costi in quanto, a seconda della modalità di raccolta, può avvenire con taglio unico (Settembre) o con il doppio taglio (Luglio e Settembre-inizio Ottobre). In ogni caso le modalità di raccolta adottate si possono ricondurre a tre cantieri: a) prodotto sfuso essiccato mediante barra falcia condizionatrice, b) a seguito di imballatura del prodotto parzialmente essiccato mediante barra falcia condizionatrice, c) oppure di trinciatura con la falcia trincia caricatrice su pianta verde o parzialmente essiccata. In certi casi, per ottimizzare il livello produttivo di certe varietà e per ridurre le perdite di raccolta, è stato adottato il doppio taglio, due interventi di raccolta in momenti differenti. Mediamente le operazioni di raccolta su tutta la superficie coltivata hanno inciso con un costo di 419 €/ha (60% sul costo delle operazioni); se si considerano separatamente le modalità di intervento si sono rilevati costi molto diversi; nel caso prodotto sfuso il costo è stato di 430 €/ha, con l'imballatura si è ridotto a 260 €/ha, nel caso della trinciatura 350 €/ha, quando si è attuato il doppio taglio ovviamente il costo di raccolta complessivo ha superato 600 €/ha.

Il costo dei prodotti impiegati, sementi, erbicidi, pesticidi e concimi, è stato pari a 290,11 €/ha. Da notare che, se le differenze registrate nel caso dei costi delle operazioni sono determinate soprattutto dai diversi costi delle modalità di raccolta, nel caso del costo dei prodotti le differenze non sono imputabili a questa causa.

Complessivamente i costi di produzione del sorgo hanno raggiunto in media 988,27 €/ha e comprendono i costi delle operazioni colturali e dei prodotti (tab. 1).
Per la coltivazione sono stati necessari mediamente 4,6 kg/ha di erbicida nel controllo delle infestanti sia in pre e post-emergenza su tutta la superficie coltivata. Gli insetticidi impiegati soprattutto per la concia dei semi in quasi tutti i casi è stato di circa 9 kg/ha (fig. 2).

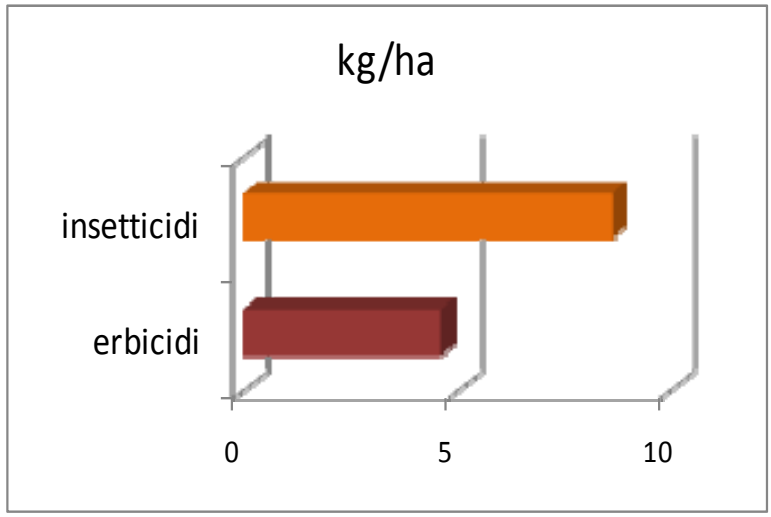


Figura 2 - Erbicidi e insetticidi impiegati per la coltura del sorgo da fibra.

Per quanto riguarda i concimi minerali impiegati (fig. 3), l'apporto di azoto ha interessato oltre il 90% della superficie coltivata con 90 kg/ha. Nel 55% della superficie coltivata è stato somministrato anche concime a base di anidride fosforica (P_2O_5) con quantitativi di circa 70 kg/ha.

In base all'utilizzo delle macchine motrici e alle loro potenze si è potuto calcolare il consumo dei carburanti. In media i quantitativi di gasolio impiegato per la coltivazione e la raccolta ha superato 200 kg per ettaro (fig. 3).

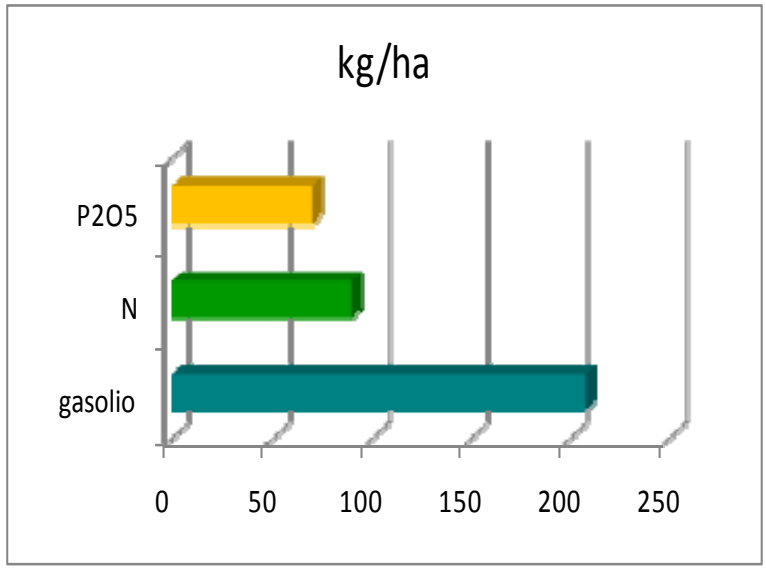


Figura 3 - Concimi e carburanti impiegati per la coltura del sorgo da fibra.

Figura 4 - Operazioni di raccolta, taglio con barra condizionatrice e imballatura.

Produzioni

Date le diverse condizioni in cui è stata raccolta la biomassa del sorgo in base alle modalità di intervento, sfuso, imballato, trinciato allo stato fresco o disidratato, le produzioni sono state calcolate sia come sostanza secca sia come materiale parzialmente disidratato in seguito alla fienagione, con un contenuto idrico (w) del 25% (tab. 2).

La coltura nel complesso ha espresso una produttività media di sostanza secca elevata 14,82 tss/ha (tab. 2), in particolare il modello colturale che prevedeva il doppio sfalcio ha evidenziato produzioni maggiori (circa 16 tss/ha). La produzione media generale registrata, circa 20 t/ha se espressa al w= 25%, di circa 50 t/ha se riferita alla biomassa fresca al taglio, risulta superiore alle rese rilevate in altri casi di studio (Ragazzoni, 2010).

Tabella 2 - Produzioni di biomassa secondo le modalità di raccolta e le varietà coltivate espresse sia in tonnellate di sostanza secca che allo stato di parziale disidratazione al 25% di contenuto idrico.

	produzione	
raccolta	tss/ha	t/ha (25%w)
sfuso	14,09	18,79
imballato	12,33	16,44
trinciato	15,61	20,81
cultivar		
Jumbo	17,20	22,94
Buldozer	14,84	19,78
Biomass133	12,30	16,39
medie	**14,82**	**19,76**

Le modalità di raccolta secondo i tre cantieri individuati evidenziano differenze dell'ordine del 20% nei livelli produttivi (tab. 2). I risultati migliori sono stati ottenuti con la raccolta mediante la falcia-trincia-caricatrice, sono stati prodotti infatti mediamente 15,61 tonnellate di sostanza secca per ettaro. Le produzioni peggiori, pari a 12,33 tss/ha, si sono ottenute mediante l'imballatura del materiale essiccato, valori che sono risultati anche inferiori rispetto alla raccolta del materiale sfuso, dovuto probabilmente alle elevate perdite di raccolta che possono raggiungere circa il 20% della sostanza secca [6].

L'analisi del comportamento produttivo di alcune varietà Biomass133, Buldozer e Jumbo ha dimostrato che i migliori risultati sono stati ottenuti da quest'ultima varietà che ha superato le 17 tss/ha con massimi di oltre 22 tss/ha.. Per quanto riguarda la cultivar Buldozer, coltivata su oltre il 60% della superficie totale, ha prodotto mediamente 14,84 tss/ha. Le parcelle di Biomass133 hanno prodotto 12,30 tss/ha.

Considerazioni conclusive

I costi di produzione unitari, dedotti dai costi totali di coltivazione e dalle produzioni unitarie, sono rappresentati in tabella 3 e sono riferiti sia alla tonnellata di sostanza secca che a quella del prodotto parzialmente disidratato. Nel caso del prodotto in parte disidratato, il costo di produzione unitario varia da 46,81 €/t per la biomassa raccolta con la trinciatura a 57,65 €/t quando si interviene con l'imballatura del sorgo affienato. Mediamente il costo di produzione di una tonnellata di sorgo al 25% di contenuto idrico è di circa 50 Euro per tonnellata, che sale a circa 67 €/t nel caso si tratti di sostanza secca.

Tabella 3 - Costi totali di coltivazione, costi di produzione unitaria e PLV.

	costo coltivazione			PLV	PLV-Costi
raccolta	€/ha	€/tss	€/t (25%w)	€/ha	€/ha
sfuso	931,70	66,12	49,58	1127,40	195,70
imballato	947,70	76,86	57,65	986,40	38,70
trinciato	974,02	62,40	46,81	1248,60	274,58
cultivar					
Jumbo	973,11	56,58	42,43	1376,22	403,11
Buldozer	852,93	57,48	43,12	1186,88	333,95
Biomass133	789,88	64,22	48,18	983,69	193,81
medie	**988,27**	**66,68**	**50,01**	**1185,60**	**197,33**

Le elevate produzioni di biomassa registrate per il sorgo da fibra non possono ancora essere valutate economicamente per indeterminazione del prezzo specifico di mercato. Le quantità prodotte sono state momentaneamente stoccate imballate o in altri casi insilate in vista del loro impiego finale.

Per poter calcolare la produzione lorda vendibile sono stati adottati i prezzi di mercato mediamente registrati per la paglia di grano pressata (rotoballe o balle quadre). Il prezzo di circa 60 € per tonnellata (2010) è stato rilevato presso le Camere di Commercio (C.C.I.A.A. Rovigo, 2011).

Questo prezzo unitario è stato applicato alla produzione resa al 25% di contenuto idrico (tab. 3), di conseguenza è stata calcolata la PLV distinta per le modalità di raccolta e per le varietà coltivate. Il margine lordo che si può ricavare per differenza della PLV rispetto ai costi sostenuti risulta in media di 197,33 €/ha, maggiore per il prodotto trinciato direttamente da pianta in piedi, minimo per quello imballato dopo fienagione. Risultati ovviamente più elevati per le varietà che hanno dimostrato migliori produzioni unitarie come nel caso della varietà Jumbo per la quale si superano, in queste condizioni di prezzi, le 400 €/ha. Nel bilancio non si è tenuto conto dei sostegni finanziari PAC e degli incentivi per le colture energetiche.

Bibliografia

C.C.I.A.A. Rovigo - http://ro.camcom.it/, 10/07/2011.

Loi A., Come procede la riconversione degli ex zuccherifici. L'Informatore Agrario (2008),44, pp. 40-43.

Maso D., Pettenella D. Valutazione degli investimenti in arboricoltura da legno, Sherwood - Foreste ed Alberi Oggi (2006). 128 pp. 43-45.

Ragazzoni A. Produrre biogas conviene se mais e sorgo sono aziendali. Supplemento a l'Informatore Agrario 40/2010, pp. 15-19.

Torquati B. Economia gestionale dell'impresa agraria. Edagricole, Bologna. (2003), p. 365.

C
Utilizzo e destinazione

a - Utilizzo e destinazione delle colture erbacee annuali

Annual herbaceous crops utilization for energy production

Giovanni Carlo Di Renzo*, Francesco Genovese*, Antonella Tauriello*

Riassunto

Le colture energetiche sono coltivazioni specializzate per la produzione di biomassa per uso energetico e comprendono le colture legnose e le colture erbacee, a loro volta classificate con riferimento alla durata dell'impianto, in annuali o poliennali.

Nel presente capitolo vengono affrontati temi relativi all'utilizzo delle colture erbacee annuali, con particolare riferimento al girasole, colza, *Brassica carinata* e sorgo da fibra.

Allo stato attuale si rileva che girasole, colza e *Brassica carinata* vengono destinate alla produzione di biocarburanti da impiegare in motori a combustione interna (sono disponibili diversi lavori sperimentali a sostegno di tale modalità di utilizzo) che impiegano olio vegetale grezzo o transesterificato (biodiesel) per la produzione di energia elettrica e/o termica; il sorgo, invece, può essere impiegato come combustibile solido, per la generazione di energia termica mediante combustione in caldaie appositamente progettate, oppure sottoposto a digestione anaerobica per la produzione di biogas.

Lo sviluppo di filiere bioenergetiche in Italia è condizionato dalla necessità di rispettare gli impegni del protocollo di Kyoto (riduzione della dipendenza energetica da fonti fossili) ed è influenzato dalle scelte politiche compiute (emanazione di leggi, regolamenti o incentivazione delle fonti rinnovabili) oltre che dall'esigenza di ridurre la dipendenza energetica nazionale dall'approvvigionamento dai Paesi produttori di idrocarburi. I-

* Università degli Studi della Basilicata, Facoltà di Agraria, Dipartimento Tecnico Economico per la Gestione del Territorio Agricolo-Forestale, Potenza.

noltre il ricorso a fonti rinnovabili concorre al raggiungimento degli obiettivi di tipo ambientale e sociale (riduzione delle emissioni di CO_2 e nuove opportunità di lavoro).

Parole chiave: Sorgo da fibra, girasole, Brassica carinata, colza, biodiesel, biomassa.

Abstract

Energy crops represent biomass used for energy conversion, which include both woody and herbaceous species (classified in annual or long-term referring to plant lifetime).

This paper investigates the possible uses of annual herbaceous species, particularly sunflower, rapeseed, Brassica carinata *and sorghum fiber for both biodiesel and thermal/electricity power.*

Sunflower, rapeseed and Brassica carinata *could be mainly used for the production of biofuels feeding internal combustion engines (many researchers studied this possibility showing excellent results), which generally use raw or trans-esterified vegetable oil (biodiesel) for the generation of electricity and/or thermal power. Sorghum could be used as solid fuel (collected in bales) for combustion through boilers, or subjected to anaerobic digestion for biogas production.*

In fact, combustion is the most common way of converting solid biomass to energy, and the technology is well understood even if to burn uncommon fuels (especially sorghum fiber) the developing of optimized plants is need. Combustion releases the chemical energy stored in the biomass source and converting the hot gases (by a boiler) is possible to produce steam and electricity via a turbo generator. The choice of the best technology for herbaceous biomass conversion is related to many aspects as: moisture content, calorific value, ash/residues content, alkali metal content and cellulose/lignin ratio, so the knowledge of the relationship between herbaceous biomass properties (both chemical and physical) and combustion efficiency has to be better investigated to optimize the combustion quality.

Nowadays different combustion technologies are available both for small scale and large scale applications, but the more diffused systems are the fixed bed combustion system and the fluidized bed combustion. For power production through biomass, steam turbines, ORC (Organic Rankine Cycle) systems and steam piston engines are available as proven technology.

Recent studies show that biodiesel, generally produced by trans-esterification of the oil extracted from crop seeds, has suitable properties (physical and chemical) for use as diesel fuel. Then, this technology can contribute to global energy saving and greenhouse gases reduction matching the Kyoto Protocol targets.

Nowadays there are four primary ways to make biodiesel: direct use and blending, microemulsions, thermal cracking and transesterification, which is the most common used method.

Biodiesel has been produced by transesterification of triglyceride (vegetable oils) to methyl esters with methanol using sodium or potassium hydroxide dissolved in methanol.

The production of vegetable oil from oleaginous seeds employs technology which has been highly developed over many years of commercial use. Conventional processes employ both mechanical and/or solvent extraction methods. For seeds of high oil content, such as sunflower and rape, the preferred method is that which combines both mechanical and solvent treatment. By this method oilseeds having an initial oil content of 30% or more are given a mechanical treatment through screw presses to remove about half of the oil.

Biomass energy has been recognized as one of the most promising and most important renewable energy sources in the future. In some countries of EU renewable energy sources cover only around 6% of energy demand, whereby energy gained from biomass does not extend 3% in the overall energy production.

Keywords: *fiber sorghum, sunflower,* Brassica carinata, *rapeseed, biodiesel, biomass.*

Introduzione

Le biomasse dedicate sono coltivazioni specializzate per la produzione di biomassa per uso energetico, con tale definizione si intendono le colture legnose e le colture erbacee, a loro volta classificate con riferimento alla durata dell'impianto, in annuali o poliennali. Tali biomasse, qualunque sia la loro natura, sono trasformate in biocombustibili solidi (legna o cippato), biocarburanti, come il biodiesel e bioetanolo, e combustibili gassosi come il biogas. La coltivazione di piante energetiche e la produzione di biomasse possono rappresentare un valido strumento di differenziazione dell'attività di aziende agricole, vantaggioso anche sotto il profilo economico (Perego *et al*., 2010).

Le colture energetiche, in base alla qualità della biomassa, si possono classificare in:

- colture ligno-cellulosiche (canna, pioppo, salice, ecc.);
- colture alcooligene (sorgo zuccherino, barbabietola da zucchero, cereali);
- colture oleaginose (colza, girasole, *Brassica carinata*, ecc.).

In questo capitolo l'attenzione verrà rivolta ai possibili impieghi delle colture erbacee, in particolare sulle colture di girasole, colza, *Brassica carinata* e sorgo da fibra.

La coltura di girasole, una pianta oleaginosa molto diffusa in Italia soprattutto in Umbria, e di colza possono essere destinate alla produzione di biocarburanti utilizzati in motori a combustione interna che impiegano olio vegetale grezzo o transesterificato (biodiesel) per la produzione di energia elettrica e/o termica; il sorgo, invece, può essere impiegato come combustibile solido raccolto in balle per la combustione in caldaia, oppure sottoposto a digestione anaerobica per la produzione di biogas.

Sulle prestazioni agronomiche di piante di *Brassica carinata* e sulla possibilità di utilizzo dell'olio prodotto per la trasformazione in biodiesel, a partire dagli anni Novanta in diverse aree del mondo, tra cui Canada e India (Malik, 1990; Rakow *et al*.,

1998), sono stati avviati studi sperimentali che hanno portato a ottimi risultati. Alla luce di tali studi, in Italia diverse linee di *Brassica carinata* sono state introdotte, principalmente attraverso il sostegno finanziario di progetti nazionali ed europei, dando inizio ad un programma di collezione e selezione delle linee più produttive (Bozzini *et al*., 2007).

1. Girasole, Colza e Brassica carinata

Dalla lavorazione, meccanica e/o chimica, di semi di girasole, colza e *Brassica carinata*, si ottiene dell'olio, che può essere utilizzato tal quale per produrre energia (elettrica e termica) oppure sottoposto a ulteriori trasformazioni, mediante una transesterificazione ottenuta con metanolo, per fare acquisire caratteristiche che lo rendano idoneo come combustibile nei motori a combustione interna con ciclo diesel.

Caratteristica comune di tutte le oleaginose è quella di essere ricche di materie proteiche le quali, dopo l'estrazione dell'olio, sono impiegabili nell'alimentazione animale sotto forma di panelli. L'aumento di interesse verso la prospettiva a scopo energetico di queste colture si spiega anche con l'incremento dei costi di produzione e con il loro deprezzamento come colture ad uso alimentare. Questa produzione è tra le più interessanti dato che il metilestere (prodotto ottenibile dagli oli vegetali) ha proprietà di combustione simili al gasolio, e ciò ne permette l'impiego in caldaie e motori già esistenti, con un basso impatto ambientale.

Gli oli vegetali, rispetto ai corrispondenti esteri metilici, sono più facili da produrre dato che l'energia richiesta per estrarre l'olio è una minima parte rispetto all'energia ottenuta, in quanto sono richieste solo operazioni di spremitura e raffinazione meccanica; per tale motivo questi prodotti sono i più indicati per i paesi in via di sviluppo, dove i principali obiettivi sono l'autoproduzione di energia a basso costo e la massima resa di conversione energetica.

Tuttavia bisogna rilevare che, da alcuni studi, è emerso che l'impiego dei metilesteri offre migliori prestazioni di funzionamento dei motori diesel rispetto all'impiego diretto degli oli vegetali e ciò prevalentemente perché questi ultimi sono caratterizzati da una maggior viscosità, che comporta la necessità di progettare in maniera specifica il motore per evitare problemi di alimentazione. Infatti la viscosità degli oli vegetali può rendere inadeguati gli iniettori progettati per il gasolio, con una conseguente instabilità del funzionamento del motore e una maggiore usura di parti quali valvole, elastomeri delle guarnizioni e gli iniettori stessi.

L'olio di colza è il più utilizzato in Europa e in Italia, e molti dei metilesteri derivati da questo olio possono essere impiegati per la produzione di energia elettrica nei tradizionali motori diesel con ottimi risultati in termini di resa energetica.

Gli oli vegetali possono anche essere impiegati per la produzione di energia termica in caldaie convenzionali in sostituzione del gasolio. Recenti prove sperimentali hanno dimostrato come l'utilizzo dell'olio di colza prodotto anche con tecnologie

molto semplici (estrazione meccanica con piccole unità e filtrazione) abbia dato buoni risultati su bruciatori industriali (147–542 kW) mentre per i piccoli bruciatori commerciali di tipo domestico (60 kW) i risultati sono stati deludenti.

Tra i prodotti energetici derivanti dalle biomasse va ricordato il biodiesel ottenuto dalla spremitura di semi oleaginosi, quali colza e girasole, e da una successiva lavorazione dell'olio, detta transesterificazione, che determina la sostituzione dei componenti alcolici di origine (glicerolo) con alcol metilico (metanolo).

Nella transesterificazione (cfr. fig. 1) una molecola di acido grasso (trigliceride) reagisce con tre molecole di metanolo, producendo una molecola di glicerolo e tre "esteri metilici degli acidi grassi", ovvero il biodiesel. Il processo è necessario per ridurre la viscosità dell'olio vegetale a un decimo rispetto al prodotto grezzo avvicinandola, quindi, a quella tipica del gasolio e, non ultimo, ad aumentarne il numero di cetano di circa quindici volte, portando anche questo a livelli accettabili per la combustione in motori a ciclo diesel veloci.

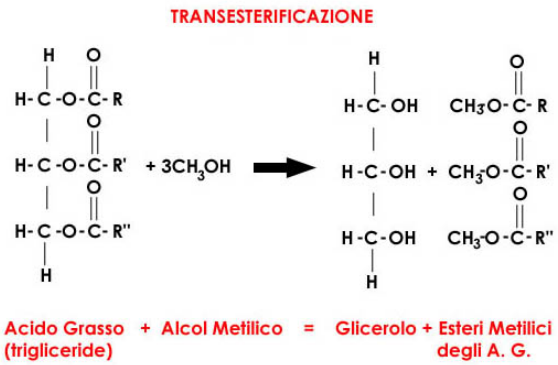


Figura1 - Transesterificazione di una molecola di acido grasso che reagisce con tre molecole di metanolo, producendo una molecola di glicerolo e tre "esteri metilici degli acidi grassi".

Tuttavia, nonostante possano essere definiti simili, i due combustibili differiscono per più di una caratteristica: il biodiesel è più viscoso del gasolio, meno stabile all'ossidazione ed ha punti di intorbidimento e scorrimento decisamente meno favorevoli rispetto al diesel derivante da idrocarburi fossili.

Attualmente in Italia esistono diversi impianti di esterificazione di oli vegetali, tra questi vanno citati, ad esempio, quelli realizzati nella Regione Marche con capacità produttiva complessiva di circa 100.000 t/anno di prodotto finale utilizzato puro o miscelato con gasolio per autotrazione oppure con altri fluidi combustibili per migliorarne le caratteristiche.

Il biodiesel può svolgere un ruolo molto importante per la tutela dell'ambiente, infatti, essendo una fonte energetica a basso impatto ambientale il bilancio in termini di emissioni di CO_2 è favorevole. L'emissione dal tubo di scappamento di un'auto-

mobile alimentata a biodiesel è pressoché uguale a quella misurabile per lo stesso motore alimentato a gasolio. Il carbonio emesso dalla combustione del biodiesel però, corrisponde a quello che era già presente nell'atmosfera e che la pianta ha fissato, mediante la fotosintesi clorofilliana, durante la sua crescita. Per questa ragione si dice che il biodiesel ha un "bilancio serra neutro", diversamente dal gasolio che, attraverso la sua combustione, emette in atmosfera carbonio rimasto intrappolato da tempi remoti in giacimenti sotterranei, andando così ad incrementare la concentrazione in atmosfera. Inferiori, rispetto al gasolio tradizionale, sono le emissioni di ossido di carbonio e di idrocarburi incombusti, in quanto il biodiesel, che può essere utilizzato come carburante in autotrazione e come combustibile nel riscaldamento, contiene più ossigeno. Durante la produzione di biodiesel non si ottengono particolari scarti industriali. Dopo l'estrazione dell'olio dai semi si ottengono panelli proteici utilizzabili dall'industria mangimistica, mentre con la transesterificazione del glicerolo si ottiene glicerina con livello di purezza di vario grado, che trova comunque largo impiego in vari settori industriali.

Oltre ai benefici ambientali dimostrati, l'utilizzo del biodiesel rispetto al gasolio comporta altri vantaggi di seguito elencati:

- non contiene benzene o altri componenti cancerogeni, quali idrocarburi policiclici aromatici (PAH), che sono componenti estremamente dannosi per l'uomo, con effetti citotossici, cancerogeni, mutagenici e respiratori cronici;
- annullamento delle emissioni di biossido di zolfo (SO_2) in quanto il biodiesel contiene zolfo solo in tracce (< 0.001%);
- elevata biodegradabilità, data dalla sua catena lineare di atomi di carbonio con atomi di ossigeno ad un'estremità, e quindi facilmente attaccabile da parte dei microrganismi. Al contrario, il gasolio di origine fossile, che oltre a numerosi alcani ed alcheni a catena lunga (C10–C20) privi di ossigeno, include anche idrocarburi ciclici alifatici, idrocarburi policiclici aromatici e alchilbenzeni, è in generale tossico per i microrganismi. Il biodiesel invece viene degradato per il 99,6% dopo 21 giorni e, in caso di dispersione accidentale, non inquina né acque né suolo;
- possiede un alto potere lubrificante e diminuisce l'usura del motore;
- presenta un elevato punto di infiammabilità (>1100°C), per cui non è classificato come materiale pericoloso ed è facile e sicuro da utilizzare.

1.1. Tecnologie di conversione energetiche

Le tecnologie di conversione energetica delle biomasse sono molteplici e consentono di ottenere energia elettrica e/o termica, oltre che combustibili per la trazione ed anche materie prime.

Le principali operazioni svolte nell'ambito della filiera di produzione di oli vegetali, a scopi energetici, sono:

- produzione del seme: tale fase riguarda l'attività agricola tradizionale e la sua articolazione è collegata con le principali tipologie di lavorazione e con i mezzi tecnici impiegati, oggigiorno molto all'avanguardia;
- estrazione dell'olio: si colloca come attività post-raccolta rivolta alla valorizzazione della produzione agricola;
- utilizzo dell'olio in generatori diesel, per la conversione in energia elettrica e sua immissione in rete o utilizzo per autoproduzione (Pellerano *et al.,* 2007).

1.1.1. Fase di estrazione: produzione di olio grezzo

L'olio vegetale si può ricavare principalmente in due modi: mediante estrazione chimica oppure mediante estrazione meccanica.

L'estrazione meccanica non è altro che la spremitura a freddo (< 60 °C) dei semi di piante oleaginose. Una volta spremuto, l'olio vegetale viene semplicemente filtrato o centrifugato, per rimuovere le impurità in misura dell'1-13% in peso sull'olio estratto. Le tecniche più utilizzate sono filtrazione e sedimentazione che, se combinate, riescono a separare particelle solide fino ad un diametro di 5 micron. Non sempre la tecnica di separazione per sedimentazione è attuabile perché le operazioni hanno dei limiti dettati dalla quantità di prodotto lavorato al giorno: fino ad 1 t/giorno di seme (200-300 l/giorno di olio) la quantità è ancora stoccabile, mentre diventa sconsigliabile per sistemi a più elevata produttività, che richiederebbero maggiore spazio. Il tempo di separazione è di 2-4 giorni e la durata è condizionata dalla temperatura di lavoro. Per una maggiore limpidezza dell'olio e per ridurre le perdite contenute nel sedimento, a questa operazione viene fatta seguire una filtrazione (Riva *et al.*, 2005).

L'olio estratto è pari a circa il 30-35% del peso del seme in ingresso. Il restante è un residuo solido ad alto contenuto proteico, il panello di estrazione, utilizzabile nell'alimentazione zootecnica. Normalmente l'estrazione meccanica viene effettuata in decentrati di piccole-medie dimensioni, che offrono diversi vantaggi in termini di qualità del prodotto e di gestione impiantistica (Di Renzo, 1990).

In alternativa alla spremitura meccanica, l'olio vegetale può essere estratto anche chimicamente, mediante l'utilizzo di solventi quali esano o eptano. L'olio estratto chimicamente è pari a circa il 45% del peso del seme in ingresso, però, quello che si ottiene, è un prodotto intermedio, che deve necessariamente subire il processo di raffinazione per qualsiasi forma di utilizzazione. L'estrazione chimica richiede un'impiantistica che diventa economicamente e tecnicamente sostenibile solo a livello industriale.

Nel caso di estrazione meccanica, l'olio grezzo, previa filtrazione o decantazione, può essere utilizzato tal quale in motori diesel per la produzione di energia elettrica o in motori di trattori agricoli, miscelato a gasolio, mentre deve essere sottoposto a raffinazione, come per l'olio estratto chimicamente, per la trasformazione in biodiesel. La composizione dei co-prodotti, farina e panello, differisce soprattutto per contenuto energetico, molto più elevato con l'estrazione meccanica. Il panello prodotto

può essere utilizzato come alimento zootecnico, anche se negli ultimi anni ormai tale utilizzazione è caduta in disuso.

Dal punto di vista dell'organizzazione produttiva, l'estrazione meccanica richiede un'impiantistica semplice e, quindi, può essere impostato anche su piccola scala. Diversi studi hanno dimostrato che sono fondamentali le caratteristiche di permeabilità della matrice di estrazione, che può essere migliorata aumentandone la temperatura. Il seme, infatti, deve essere sottoposto ad una fase di preriscaldamento, portando la temperatura a circa 60°C, e la pressione di esercizio della pressa deve essere scelta considerando il compromesso tra valorizzazione del tenore in olio del seme e produttività richiesta all'impianto (esigenza di lavorare definite quantità nell'unità di tempo). Infatti, se l'aumento di pressione di lavorazione comporta una maggiore resa di estrazione essa riduce anche la capacità di lavoro della pressa.

Importanti sono anche le caratteristiche del seme, il quale dovrebbe possedere tenore di umidità e livello di impurità inferiori rispettivamente al 9% e al 2%. I limiti di umidità sono dettati da motivi sia legati allo stoccaggio sia al funzionamento delle presse. In particolare, per valori inferiori al 6%, si possono avere dei danni da usura alle parti della pressa, mentre, per umidità elevate, l'estrazione di olio diventa più difficoltosa per l'elevata omogeneizzazione delle fasi (idrica e lipidica) implicate nel processo.

1.1.2. Produzione di energia elettrica da olio grezzo

La produzione di energia elettrica si realizza con gruppi elettrogeni (motori a ciclo diesel) di potenza compresa dai 3 kW fino ai 50 kW e l'energia prodotta può essere destinata all'autoconsumo aziendale o immessa in rete.

In particolare, i gruppi elettrogeni (GE) con motori a ciclo diesel funzionanti ad oli vegetali, suscitano un certo interesse per gli elevati rendimenti elettrici (mediamente intorno al 35% con valori massimi del 40%) a valle del generatore.

Alcune case costruttrici, soprattutto localizzate nel nord Europa, hanno già in produzione motori di utilizzo garantito con oli vegetali; visto il grande interesse rivolto a questi motori, anche in Italia l'industria motoristica ha realizzato GE di varie potenze (da pochi kW fino ad 1 MW), tradizionalmente alimentati a gasolio, modificati per funzionare anche ad oli vegetali. Alcune ditte propongono gruppi elettrogeni di nuova realizzazione che permettono di utilizzare olio di colza o girasole per potenze di base che vanno da 6 a 1.400 kW con rispettivi consumi specifici di 245 g kWh^{-1} e 226 g kWh^{-1}, con rese di conversione che oscillano tra il 34% e il 36%. Questi GE, con motore endotermico a ciclo diesel, sono completi di sistema bifuel automatico e funzionano sia con olio vegetale che con gasolio. Possono essere dotati di un sistema di recupero del calore, reso disponibile sotto forma di aria calda, acqua calda, acqua surriscaldata, vapore, olio diatermico (Riva *et al*., 2005).

1.1.3. Caldaie a biodiesel

Uno degli usi più naturali del biodiesel è quello in caldaia in sostituzione del gasolio. In letteratura sono riportati diversi studi in proposito (Casalini *et al*., 1999; Morpu-

go, 1993), e tutti sono concordi nell'affermare i benefici ottenibili, legati fondamentalmente alle minori emissioni ed al minore sporcamento dei bruciatori. In tal senso il biodiesel si pone in una situazione intermedia tra gasolio e metano in quanto rispetto a quest'ultimo è sicuramente meno "pulito".

Un aspetto fondamentale è che, a differenza dell'uso motoristico in cui si impiegano di norma miscele gasolio/biodiesel, il biodiesel utilizzato per il riscaldamento è normalmente puro al 100%.

Esistono sul mercato bruciatori per caldaie, specifici per la combustione di biodiesel. L'installazione di questi bruciatori rende tecnicamente possibile la conversione a biodiesel di caldaie esistenti. Vi è anche la possibilità di utilizzare caldaie policombustibili, in grado di bruciare diverse tipologie di biomassa solida e spesso dotate di un bruciatore specifico per il biodiesel.

Nonostante le caratteristiche chimico-fisiche del biodiesel siano simili a quelle del gasolio, spesso è necessario intervenire sulle caldaie con piccole ma importanti modifiche ad alcuni componenti, che nella maggior parte dei casi si risolvono nella sostituzione degli ugelli di nebulizzazione per modificare la portata di combustibile e per tener conto del diverso potere calorifico rispetto al gasolio.

Sul mercato esistono varie soluzioni impiantistiche: vi sono produttori che propongono caldaie con due camere di combustione separate oppure con un'unica camera di combustione; nel primo caso si tratta di fatto di due caldaie separate riunite in un unico impianto, con due uscite fumi distinte e una centralina di controllo che effettua automaticamente la commutazione a combustibile liquido una volta esaurita la carica di legna.

Alcuni costruttori riescono a sfruttare il vantaggio dell'utilizzo degli stessi componenti utilizzati col gasolio solo aumentando la pressione di mandata del combustibile, tramite regolazione della pompa ad ingranaggi, che mantiene costante la portata volumetrica al variare della pressione in fase di regolazione della potenza del bruciatore (dai 12 bar tipici del gasolio a 13-13,5 bar). L'eventuale manifestarsi di un insufficiente funzionamento della pompa, dopo un certo numero di ore di lavoro, potrebbe essere causato da una incompatibilità del biodiesel verso alcuni tipi di gomme (a basso contenuto di nitrile) utilizzate, di norma, per gli organi di tenuta e per vari tipi di O-ring delle pompe e delle tubazioni.

I dati sperimentali ad oggi raccolti (Riva *et al*., 2003; Sheehan *et al.,* 1998) indicano che nel funzionamento reale le caldaie a biodiesel consentono aumenti di efficienza sensibili, legati alla possibilità di far uscire i fumi a temperature più basse e ad un minor sporcamento del giro fumi rispetto all'utilizzo di gasolio. Vi è da dire, inoltre, che la CO_2 emessa col biodiesel è praticamente rinnovabile al 100%.

Infine, il biodiesel emette meno particolato rispetto al concorrente fossile, circa il 40% in meno per unità di energia del combustibile, anche se produce un volume maggiore di gas di combustione (+20%); le quantità in gioco sono comunque basse per entrambi e tali da non ritenere questo un parametro valido per differenziarli. L'unico limite alla diffusione di questa tecnologia riguarda il costo del biodiesel: es-

so dipende dal luogo e dalle modalità con cui si realizzano le colture e dalle tecnologie del processo di estrazione del combustibile. Mediamente il costo in Italia è due-tre volte quello del gasolio e ciò comporta, considerato il minor PCI (Potere Calorifico Inferiore), la maggiore densità e gli obiettivi di efficienza della caldaia, che il costo dell'unità di energia termica fornita dalla caldaia a biodiesel è leggermente inferiore a quello della caldaia a gasolio.

1.2. Sorgo da fibra

Il sorgo, *Sorghum bicolor,* è una graminacea appartenente alla famiglia delle *Poaceae* è una delle prime piante coltivate dall'uomo. Originaria dell'Africa, attualmente si è diffusa anche in alcuni paesi occidentali (USA ed Europa) dove viene utilizzato soprattutto per l'alimentazione del bestiame.

Il sorgo presenta un grande spettro varietale e il miglioramento genetico ha portato all'ottenimento di varietà a diversa attitudine; tra queste troviamo sorgo da fibra, utilizzato anche per la produzione di biomasse a fini energetici caratterizzati da internodi pieni di midollo secco e molto ricco in fibre.

Le rese di biomassa riportate in bibliografia risultano piuttosto variabili, essendo ampiamente influenzate dalle condizioni agropedoclimatiche delle zone di coltivazione; alcuni studi riportano che sono state registrate produttività di oltre 34 t ha^{-1} di sostanza secca ma rese medie di tale entità sono da considerarsi del tutto eccezionali e dovute principalmente a un andamento stagionale particolarmente favorevole.

Diversi sono i possibili impieghi della biomassa ottenuta:

- digestione anaerobica per la produzione di biogas;
- termoconversione tramite gassificazione o pirolisi (syngas).

Alcuni studi dimostrano che il sorgo da fibra è una coltura qualitativamente meno favorevole alla produzione di biogas, ma più adatta alla combustione, infatti può essere impiegato come combustibile solido se precedentemente sfalciato e raccolto in balle.

Uno dei fattori limitanti lo sviluppo della filiera "colture erbacee-energia" è la composizione chimica della biomassa erbacea che, rispetto a quella legnosa, è contraddistinta da un maggiore contenuto idrico al momento della raccolta che determina una notevole incidenza dell'operazione di essiccazione della biomassa prima che questa entri nell'impianto di pellettatura. L'elevata percentuale di silice nelle ceneri causa il fenomeno dello *slagging* e cioè la formazione di scorie fuse e/o viscose nella camera di combustione che impediscono il corretto funzionamento delle piccole caldaie e stufe domestiche. In pratica, quando si alimentano le piccole caldaie domestiche con pellet vegetali, si verifica la formazione di una crosta che provoca il soffocamento della fiamma con conseguente spegnimento della stufa.

Attualmente la maggior parte degli impianti di combustione di piccola potenza non possiede la tecnologia idonea per bruciare efficacemente ed efficientemente le

biomasse di natura erbacea; le principali problematiche riscontrabili sono strettamente correlate alle caratteristiche chimico fisiche di questo biocombustibile, in particolare:

- la necessità di adattamento delle coclee di trasporto del biocombustibile all'unità termica;
- la necessità di sistemi automatici di estrazione delle ceneri nell'unità di combustione;
- la necessità di sistemi automatizzati di movimentazione delle ceneri sulla griglia di combustione (griglie mobili o vibranti) e di pulizia degli scambiatori di calore dalle polveri e ceneri volatili;
- i potenziali fenomeni di corrosione delle diverse sezioni dell'unità di combustione, derivanti dalla formazione di composti corrosivi all'interno dell'unità di combustione, visti i maggiori contenuti di cloro, potassio e zolfo;
- le difficoltà maggiori in termini di emissioni in atmosfera di particolato e composti inquinanti, causati dai maggiori contenuti di cloro, zolfo e dalle particolari caratteristiche chimico-fisiche del biocombustibile. La conoscenza approfondita di tali aspetti e l'ottimizzazione degli impianti è quindi il primo fondamentale passo per poter definire le concrete possibilità di impiego del pellet di sorgo da fibra in caldaia (Picco *et al*., 2009).

1.2.1. Gli impianti per la combustione delle biomasse di sorgo da fibra

Gli impianti per la combustione delle biomasse si suddividono in due categorie, a griglia fissa ed a griglia mobile.

Le caldaie a griglia fissa sono generalmente di piccola e media potenza, alimentabili con biocombustibili, come cippato o pellet, con un contenuto idrico che non può superare il 30-35%. L'utilizzo di cippato umido può comportare malfunzionamenti di vario tipo sino al blocco della caldaia. Questi sistemi, relativamente semplici, sono adatti alla combustione di biomasse con un basso contenuto in ceneri (Corbella *et al*., 2009).

Le caldaie a griglia mobile sono generalmente caratterizzate da grandi potenze e da una maggiore complessità tecnologica e strutturale. Questi impianti sono alimentabili con biomasse di varia natura e non hanno limiti sia per quanto riguarda il contenuto idrico, con valori massimi del 60%, e sia per la pezzatura, infatti, essa può essere grossolana e disomogenea, in relazione al diverso sistema di carico del combustibile.

Il principio di funzionamento si basa sul movimento delle sezioni della griglia (barre in leghe di acciaio) che comporta lo spostamento della biomassa lungo la griglia e quindi il progressivo essiccamento, sino alla completa combustione; le ceneri vengono rimosse automaticamente dal movimento stesso della griglia.

In alcune ricerche effettuate (Picco *et al*., 2009) è stata dimostrata la non idoneità di una caldaia con griglia fissa per la combustione di pellet di sorgo da fibra in quanto le peculiari caratteristiche chimico-fisiche di questo pellet ne comportano l'impie-

go esclusivo in caldaie dotate di alcuni necessari accorgimenti tecnici quali la regolazione tramite sonda Lambda dei flussi di aria primaria, secondaria e di alimentazione della caldaia, griglia di combustione mobile e sistema meccanico automatico di estrazione della cenere.

Negli ultimi anni, data la versatilità del sistema di combustione a griglia mobile, le aziende costruttrici di caldaie si sono cimentate nello sviluppo di modelli anche di piccola potenza, allargando quindi il panorama di biomasse potenzialmente utilizzabili per le piccole utenze, e dando via, di fatto, al potenziale sviluppo di filiere agroenergetiche locali, basate sulla coltivazione di colture energetiche di natura erbacea o sull'utilizzo di biomasse residuali. Lo sviluppo delle griglie mobili negli ultimi anni ha portato alla ricerca di soluzioni intermedie, come nel caso di caldaie con sistemi a griglie vibranti e/o ribaltabili; questi sistemi consentono una maggiore elasticità di utilizzo dell'impianto termico, che può essere alimentato anche con biocombustibili con un contenuto idrico sino al 40% e con elevati contenuti in ceneri (biomasse di natura erbacea). I vantaggi delle griglie vibranti si riscontrano nella miglior capacità di gestire la biomassa all'interno della camera di combustione rispetto alla griglia fissa, e nelle minori parti in movimento rispetto a quelle mobili (minori costi di manutenzione); la combustione con questa tecnologia è comunque meno efficiente rispetto alla griglia mobile.

1.2.2. Gassificazione

La gassificazione dei materiali di colture erbacee rappresenta un valido strumento per il recupero di energia senza emissioni inquinanti. È un processo chimico-fisico complesso mediante il quale si trasforma un combustibile solido in un combustibile gassoso. Il processo si realizza in tre fasi:

- una prima fase di essiccazione in cui si ottiene la disidratazione del materiale;
- una seconda fase di pirolisi in cui si ottiene una parziale "distillazione" del legno;
- una terza fase di gassificazione in cui i prodotti della pirolisi reagiscono con l'agente gassificante dando origine a vari prodotti di cui alcuni compatibili.

Il processo consiste nell'ossidazione incompleta (a causa dell'assenza o della carenza di ossigeno) di una sostanza in ambiente ad elevata temperatura (900÷1000°C). Il prodotto risultante è un gas combustibile (detto gas di gasogeno o syngas) caratterizzato da un potere calorifico inferiore (valori intermedi attorno a 10.000 kJ Nm^{-3}).

Il gas di sintesi (syngas) che viene prodotto può essere utilizzato:

- da una caldaia che genera calore;
- da un motore che genera corrente elettrica e calore da cogenerazione.

La gassificazione rappresenta una soluzione in grado di contribuire alla generazione distribuita di corrente elettrica utilizzando i prodotti del territorio con un bilancio di gas serra in pareggio ed il recupero di biomasse residuali altrimenti irrimediabilmente perse. Il rapporto tra l'energia elettrica prodotta e quella termica è ottimale ai fini

del recupero energetico. Si riescono ad ottenere, pur in impianti di piccole dimensioni (< 1 MW), rendimenti tra il 28% ed il 32%.

Tra le possibilità di sfruttamento delle colture di sorgo da fibra si segnala un impianto di pirogassificazione messo a punto dalla Energy Life (www.energylifegroup.it), costituito da un sistema di generazione alimentato dal syngas prodotto da un gassificatore di biomassa, con un gruppo generatore elettrico equipaggiato con motore endotermico. La caratteristica più importante dell'impianto è la ridotta taglia mentre sono presenti in tutto il mondo impianti di gassificazione di grandi dimensioni. L'unità tecnologica principale dell'impianto è il gassificatore, un sistema complesso in cui intervengono differenti processi che portano alla trasformazione della biomassa in gas combustibile. In particolare:

- nel reattore di gassificazione avvengono le reazioni di pirolisi e di gassificazione della biomassa;
- nella sezione di pulizia del gas si provvede al raffreddamento, depolverazione e decatramazione del syngas.

I gassificatori possono essere a letto fisso o a letto fluido (bollente o circolante). Un sistema di gassificazione completo comprende: gassificatore, ciclone di abbattimento delle polveri, sistema di raffreddamento del gas, sistema di lavaggio (cleaning) del gas, sistema di separazione delle condense ed un sistema di separazione delle polveri.

La biomassa e l'aria comburente entrano nel reattore dalla parte alta, dove la biomassa riceve calore fino ad essicazione. Nella parte inferiore, si trova una zona di pirolisi dove la temperatura è compresa tra i 200°C e gli oltre 750°C della zona di combustione/ossidazione. Qui i componenti volatili evaporano generando il cosiddetto gas di pirolisi e i restanti componenti non volatili, come la lignina, rimangono in fase solida formando carbone.

Nella zona di combustione/ossidazione, dove avvengono reazioni chimiche molto esotermiche, la temperatura, in funzione del tipo di biomassa e dell'umidità della stessa, può raggiungere 1200-1300°C. Nella zona sottostante vi è una zona di riduzione formata da solo carbone, dove avvengono le reazioni di gassificazione vere e proprie, a temperature superiori a 600°C. Il gas che fuoriesce dalla zona di combustione/ossidazione e che si trova a temperature superiori a 1000°C cede calore alle reazioni di gassificazione raffreddandosi attraversando la zona di riduzione fino ad uscire dalla grata sottostante ad una temperatura di 600-700°C.

Durante questo processo il carbone si consuma e si genera polvere di carbone che viene evacuata attraverso la grata di supporto con appositi sistemi e raccolta nella zona sottostante il reattore, da dove viene convogliata verso l'esterno mediante apposite coclee.

Nella sezione di depolverazione, raffreddamento e decatramazione, il syngas viene fatto passare in un ciclone attraverso il quale si eliminano la maggior parte delle particelle di carbone trascinate dallo stesso e, successivamente, viene raffreddato

mediante apposito scrubber che grazie ad un getto di acqua fredda porta via eventuali residui di catrame. II syngas fuoriesce dallo scrubber ad una temperatura di circa 50°C e, mediante il passaggio attraverso un filtro a cartuccia, vengono trattenute le altre particelle presenti (pulviscolo, etc.).

II gas ottenuto può essere impiegato in motori endotermici per la produzione di energia elettrica o meccanica.

Per quanto riguarda l'energia termica, essa può essere recuperata in due diversi momenti durante il ciclo di funzionamento dell'impianto. Il primo recupero avviene attraverso lo sfruttamento del calore del syngas in uscita dal reattore di gassificazione e la seconda possibilità di recupero dell'energia termica è data dal calore dei fumi in uscita dal motore endotermico.

1.2.3. Digestione anaerobica: produzione di biogas

Il sorgo da fibra è una coltura erbacea potenzialmente utilizzabile per la produzione di biogas mediante digestione anaerobica. Un impianto per la produzione di biogas è un sistema biologico in ambiente controllato. Immettendo matrici organiche in un digestore, in assenza di luce e ossigeno, con temperature intorno ai 38-42°C, e in presenza di un'idonea popolazione di microorganismi viene prodotto il biogas. La corretta proliferazione dei batteri prevede che la matrice contenuta nel digestore sia agitata in modo lento e continuo.

Il biogas viene prodotto mediante un processo continuativo a temperature stabili, con una temperatura media nel digestore di 40°C. Per questa ragione le vasche devono essere riscaldate e isolate termicamente.

Il mix di gas prodotto è composto per la maggior parte da metano e CO_2. Il metano come componente puro (anche come biogas, mix di CO_2 e CH_4) è più leggero dell'aria e senza serbatoio il gas si disperderebbe in atmosfera.

Il biogas, in quanto combustibile, viene sfruttato come base energetica per un motore a combustione interna appositamente sviluppato. L'energia erogata con il processo di combustione viene trasformata in energia elettrica tramite un generatore collegato al motore e viene sfruttata per riscaldare i digestori, mentre il calore in esubero viene utilizzato per alimentare eventuali utenze esterne.

Per avviare la fermentazione le matrici, costituite da colture erbacee di sorgo da fibra, sono caricate nel dosatore, e mediante delle coclee confluiscono nelle vasche di digestione dove il prodotto sosta per 60 e 90 giorni, fino a fine fermentazione. Durante questa fase le sostanze organiche subiscono una degradazione e si ha la formazione di gas metano, CO_2 e CO. Nel contempo l'ammoniaca contenuta nelle matrici viene stabilizzata sotto forma di nitrato (molecola stabile) ed avviene la desolforazione del gas mediante condensazione/solidificazione e precipitazione dello stesso nel digestato.

Il biogas prodotto alimenta il cogeneratore, che lo trasforma in energia elettrica e termica che in parte (circa il 25%) viene destinata al riscaldamento delle vasche. La quota di energia termica restante potrebbe anche essere destinata alla cessione ad una rete di teleriscaldamento.

La corrente prodotta è in bassa tensione e per essere immessa in rete deve essere, per potenze superiori ai 100 kW (eccezionalmente a 200) trasformata in media tensione.

Conclusioni

L'utilizzo delle colture erbacee per scopi energetici ha finalità di carattere agricolo, ambientale e sociale; infatti la riduzione delle emissioni di CO_2 rispetto ai sistemi basati su combustibili tradizionali rappresenta un vantaggio per l'ambiente. Allo stesso tempo, in ottemperanza a quanto disposto dalle nuove norme nazionali in tema di energia da fonti rinnovabili e dalla nuova PAC agricola, le colture energetiche rappresentano un'occasione di diversificazione delle attività e di creazione di valore aggiunto per l'agricoltore. Inoltre la progettazione di piattaforme e centrali a biomasse può consentire la creazione di nuovi posti di lavoro e lo sviluppo di territori economicamente svantaggiati.

Tuttavia affinché il sistema funzioni in maniera ottimale è necessaria un'ottimizzazione della filiera, vale a dire un'attenta analisi territoriale che identifichi nello specifico le condizioni di approvvigionamento della materia prima e che verifichi la piena disponibilità di biomassa sul territorio. In questo modo si potrebbero anche recuperare vaste aree marginali, oggi in stato di abbandono e degrado, per lo sviluppo di colture destinate alla produzione di biomassa, con ovvi vantaggi di tipo socio-economico e senza la necessità di incidere sulla produzione di colture a destinazione alimentare.

Infatti, allo stato attuale si rileva che i più grossi impianti di produzione di energia da biomasse in Italia, sono alimentati da materiali provenienti dall'estero attraverso contratti di approvvigionamento a costi inferiori rispetto alle risorse locali. In tal modo purtroppo non si contribuisce alla creazione di un mercato locale ed i vantaggi in termini energetici ed ambientali, dell'intera filiera possono essere messi in discussione. Per quanto riguarda le considerazioni di carattere tecnico sviluppate nel presente capitolo, da un attento studio e da un'approfondita ricerca bibliografica si evince che ormai alcune tecnologie per la produzione di energia a partire dalla biomassa hanno raggiunto un livello di sviluppo elevato anche in termini di efficienza, funzionalità ed affidabilità.

Nello specifico, per quanto riguarda le colture erbacee annuali esaminate, si rileva che girasole e colza possono essere destinate prevalentemente alla produzione di biocarburanti da impiegare in motori a combustione interna oppure per la produzione di energia elettrica e/o termica; il sorgo, invece, può essere impiegato come combustibile solido raccolto in balle per la combustione in caldaia, oppure sottoposto a digestione anaerobica per la produzione di biogas.

Un'ultima considerazione riguarda l'auspicio che gli enti locali ed istituzionali, anche in risposta a determinate volontà di natura politica, possano promuovere l'im-

piego di fonti rinnovabili per la produzione di energia, destinando magari le aree marginali da recuperare all'impianto di colture energetiche, laddove le condizioni climatiche ed agronomiche lo consentano. In questo modo si potrebbe sviluppare un processo virtuoso volto allo sviluppo di processi innovativi in grado di produrre energia rinnovabile nel rispetto delle risorse disponibili e dell'ambiente.

Bibliografia

Bozzini A., Calcagno F., Soare T. (2007). "Sincron", a new *Brassica carinata* cultivar for biodiesel production- HELIA 30, n°46, pp. 207-214.

Casalini F., Pascuzzi S., Saponaro A. (1999). Indagine sperimentale sul comportamento di miscele Biodiesel-gasolio in processi di combustione per impianti termici. Atti del 54° congresso ATI. L'Aquila, pp. 225-233.

Corbella L., Cocchi M., Sagarese C. (2009). Produzione ed utilizzo di biomasse ligno-cellulosiche da colture dedicate. Etaflorence-renewableenergies.

Di Renzo G.C. (1990). "Prove sperimentali di estrazione meccanica della cera di jojoba - Criteri di massima per il dimensionamento degli impianti", Notiziario Agricolo Regionale - Regione Puglia, n.10.

Lazzarin R.M., Minchio F., Noro M. (2005). Utilizzo delle biomasse nel riscaldamento civile ed industriale: aspetti energetici, tecnologici ed ambientali. Conferenza nazionale sulla politica energetica in Italia.

Malik R. S. (1990). Prospects for *Brassica carinata* as an oilseed crop in India. Experimental agriculture vol. 26, n. 1, pp.125-129.

Morpugo U. (1993). Applicazione del biodiesel nel settore del riscaldamento. Dall'agricoltura a nuove energie a tutela dell'ambiente.

Pellerano A., Pantaleo A., Tenerelli P., Carone M.T. (2007). Studio per la valorizzazione energetica di biomasse agro-forestali nella regione Puglia.

Perego O., Augello L., Bossi C., Paletta F., Zagano C. (2010). Analisi dei costi di produzione degli impianti termoelettrici alimentati a biomassa. ENEA–Ricerca sul Sistema Elettrico.

Picco D., Ferro L. (2009). Caldaie ad hoc per bruciare pellet di sorgo da fibra. L'informatore agrario. Vol. 6, pp. 51-54.

Picco D. (2008). Colture energetiche per il disinquinamento della laguna di Venezia. Veneto agricoltura.

Rakow G., Getinet A. (1998). *Brassica carinata* an oilseed crop for Canada. ACTA Horticolturae 459: International symposium Brassica 97, XTH Crucifer genetics work shop.

Riva G., Foppa Pedretti E., Toscano G., Scrosta V., Cerioni R., Ciaschini F., Duca D. (2005). Agroenergie: filiere locali per la produzione di energia elettrica da girasole.

Riva G. (2003). Biodiesel: aspetti generali e considerazioni ambientali, CTI, Milano.

Sheehan J., Camobreco V., Duffield J., Graboski M., Shapouri H. (1998). An Overview of Biodiesel and Petroleum Diesel Life Cycles, NREL/TP-580-24772.

www.energylifegroup.it. Valorizzazione a scopo energetico delle biomasse tramite impianti di pirogassificazione e biodigestione.

III. Colture erbacee poliennali

A
Cardo, Arundo donax

1
Botanica, biologia, genetica

a - Canna comune (*Arundo donax* L.)

Venera Copani*, Salvatore Luciano Cosentino*

Nomi comuni: *canna comune* (italiano); grand *roseau, canne de Provence* (francese); *cana-do-brejo, cana-do reino* (portoghese, Brasile); *giant reed*, *Spanish reed* (inglese); *pfahlrohr* (tedesco); *qalam, ghab* (arabo); c*aña común,* c*aña de Castilla* (spagnolo).

La canna comune è una graminacea erbacea perenne, rizomatosa, a ciclo fotosintetico C3; cresce allo stato spontaneo dal piano sempreverde fino al submontano (Onofry, 1940) nelle regioni temperate che si affacciano sul Mediterraneo ed in molte altre regioni del mondo (Asia, America, ecc.) (El Bassam, 2011). Forma dense colonie lungo le scarpate dei torrenti, nei pressi di corsi d'acqua dolce, nelle zone umide e in prossimità del mare.

La parola greca **donax** (donax, kàlamos donax, kàlamos kyprios) utilizzata degli scrittori greci (Omero, Teofrasto, Dioscoride) per indicare il culmo, la parte fuori terra di questa pianta, corrisponde al latino **arundo,** termine usato per indicare sempre il culmo ma anche gli strumenti che si potevano ricavare da questo: flauto, freccia, bastone. Il nome italiano 'canna' e l'equivalente nelle altre lingue moderne deriva dal latino *canna*.

Figura 1 - Un canneto nella Piana di Catania (Foto DISPA).

* Dipartimento di Scienze delle Produzioni Agrarie e Alimentari (DISPA), Università degli Studi di Catania.

Inquadramento botanico

La canna comune (*Arundo donax* L.) appartiene alla famiglia delle *Poaceae* (*Graminaceae*), sottofamiglia *Arundinoideae*, tribù *Arundineae,* genere *Arundo*.

Al genere *Arundo* il GRIN Taxonomy (2011) ascrive quattro taxa: oltre ad *Arundo donax* L., *Arundo donax* var. *versicolor* (Mill.) Stokes, una variante a foglie variegate; *Arundo formosana* Hack., presente nell'Isola di Taiwan, in Giappone e nelle Filippine; *Arundo pliniana* Turra, nativa del Mediterraneo (*Arundo collina* Ten. secondo Euro-Mediterranean plant diversity (http://www.emplantbase.org/home.html). Grin Taxonomy riporta, inoltre, sinonimi e altre denominazioni in passato riferite al genere *Arundo* ed oggi attribuite ad altri generi.

El Bassam (2011) indica per *A. donax* L. un numero di cromosomi 2n = 110 (2n = 72 per *A. pliniana* Turra).

Importanza economica

Ambientale: contenimento dell'erosione, invasiva (Invasive Species Specialist Group – ISSG, 2011), ornamentale.
Energia: dalla biomassa si possono ricavare carburanti di I e II generazione.
Pasta di cellulosa: dalla biomassa del culmo per la fabbricazione della carta; in passato per la produzione di rayon (Facchini, 1941).
Medicina popolare: emostatico (setti divisori tra gli internodi) (Sanna *et al.*, 2006), diuretico, depurativo, epatico (rizoma) (Myristica, 2002).
Unità di misura: in passato in varie regioni italiane (tra 2 e 3 metri).
Usi locali: tutore, fabbricazione di ceste, nell'edilizia abitativa siciliana del XVIII e XIX secolo, strumenti musicali.

Origine

Arundo donax L. si ritiene sia originaria del Continente asiatico (GRIN Taxonomy, 2011).

- Asia temperata: *penisola Arabica* (Arabia Saudita), *Asia occidentale* (Afghanistan; Iran; Iraq; Siria), *Asia centrale* (Kazakhstan; Turkmenistan; Uzbekistan), *Cina* (China-Fujian, Guangdong, Guizhou, Hainan, Hunan, Jiangsu, Sichuan, Xizang, Yunnan, Zhejiang), *Asia orientale* (Giappone).
- Asia tropicale: *Sub Continente Indiano* (Bhutan; India; Nepal; Pakistan), *Indocina* (Cambogia; Laos; Myanmar; Thailandia; Vietnam), *Malesia* (Indonesia Malaysia).

Diffusione

La specie è diffusa in tutto il mondo negli ambienti (umidi, ripariali) dove ha trovato condizioni adatte alle sue esigenze.

- Africa
- Asia temperata
- Australia
- Europa
- Nord America
- Sud America

Descrizione

Il **rizoma** è grosso, nodoso, intricato, ramificato e robusto (Fig. 2), costituito da gemme pronte a sviluppare nuovi culmi (gemme principali), gemme non del tutto sviluppate, ma destinate a formare culmi (gemme secondarie), gemme destinate a prolungare il rizoma (gemme di prolungamento) (Onofry, 1940). È rivestito nelle

Figura 2 - Porzione di rizoma da cui si originano le canne (culmi) che fuoriescono dal suolo (Foto DISPA).

parti più giovani da scaglie giallicce, triangolari, secche, che rappresentano le guaine, ridotte, delle foglie (Fig. 3). Esse abbracciano il rizoma, e alla base, nella faccia esterna, sono rivestiti da fitti e lunghi peli bianchi, lucenti, unicellulari, a parete fortemente ispessita (Onofry, 1940). Simili peli si trovano anche alla base esterna della guaina delle prime foglie dei getti. Il rizoma porta numerose radici (Fig. 4) che nascono sia dalla faccia superiore che da quella inferiore dei nodi del rizoma.

Figura 3 - Porzione di rizoma in cui è ben visibile una gemma principale (con l'apice rivolto verso l'alto) e una di prolungamento (la prima a sinistra) (Foto DISPA).

Figura 4 - Radici del rizoma (Foto DISPA).

I fusti aerei (culmi) cilindrici e cavi all'interno, misurano in media da 3 a 4 metri (Cosentino *et al*., 2006), ma possono raggiungere anche gli 8-9 metri. (Lewandowski *et al*., 2003); sono costituiti da nodi (da 30 a 40) e internodi di lunghezza e spessore decrescenti procedendo dal basso verso l'alto. Il diametro alla base del culmo è di 1-4 cm. Sono rivestiti per gran parte della loro lunghezza dalle guaine fogliari, le quali, eccetto che nelle prime foglie, a lamine ridotte, si espandono in una lunga lamina lineare, gradatamente ristretta verso l'apice. La guaina è percorsa da numerosi rilievi paralleli. I rilievi corrispondono ai fasci fibro-vascolari più robusti. Tra questi sono interposti fasci più esili. Nelle foglie poste a metà del fusto i fasci maggiori della guaina sono 70-80. Detti fasci continuano nella lamina. La ligula è formata da una membrana di circa 2 mm, sprovvista di fasci sia fibrosi che vascolari, formata da cellule allungate nel senso longitudinale e quadrangolari.

Le foglie da giovani presentano lunghi peli nella parte apicale dei margini della guaina. Questi peli sono particolarmente lunghi e formano quasi un ciuffo nelle zone di passaggio dalla guaina al lembo; anch'essi sono unicellulari.

Il culmo termina con una voluminosa pannocchia lunga da 30 a 60 cm, i cui numerosi rami e rametti sono molto scabri. Le singole spighette peduncolate hanno due glume, subeguali, membranacee, acute, quasi eguali ai fiori, glumette inferiori bifide all'apice e brevemente aristate tra i lobi, pelose nella metà inferiore. Ogni spighetta ha per lo più tre fiori (Fig. 6).

Figura 5 – Fusto aereo (culmo) (Foto DISPA).

Figura 6 - Infiorescenza della canna comune.

La sterilità dei semi (Boose and Holt, 1999) determinata dalla mancata divisione delle cellule madri delle megaspore (Bhanwra *et al.*, 1982 in Lewandowski *et al.*, 2003) rende obbligata la riproduzione asessuata che avviene in natura attraverso la dispersione di tratti di culmo o di rizoma operata dall'acqua, dal vento, dall'uomo ecc.. Recentemente Mariani *et al.* (2010) hanno ipotizzato l'origine monofiletica di questa specie. Dall'Asia, centro di origine, essa si sarebbe poi diffusa in Europa, Africa, nel Mediterraneo senza tracce di ibridazione con altre specie dello stesso genere presenti in quest'area.

Bibliografia

Boose A.B., Holt J.S. 1999. Environmental effects on asexual reproduction in Arundo donax. Weed research.

Cosentino S.L., Copani V., D'Agosta G.M., Sanzone E., Mantineo M., 2006. First results on evaluation of *Arundo donax* L. clones collected in Southern Italy. Industrial Crops and Products 23, 212-222.

El Bassam N., 2011. Hanbook of Bioenergy Crops: a Complete Reference to Species, Development and Applications (in http://books.google.it/).

Facchini P. 1941. La Canna gentile per la produzione della cellulosa nobile, l'impresa agricolo-industriale di Torviscosa. SNIA VISCOSA, Milano.

Germplasm Resources Information Network (GRIN). Taxonomic Information on Cultivated Plants In the Usda-Ars, 2011 (http://www.ars-grin.gov/).

Invasive Species Specialist Group (ISSG), 2011. Global Invasive Species Database (http://www.issg.org/database/species/ecology.asp?si=112).

Lewandowski I., Scurlock J.M.O., Lindvall E., Christou M. 2003. The development and current status of perennial rhizomatous grasses as energy crops in the US and Europe. Biomass and Bioenergy 25, 335-361.

Maccioni S., 2002. Le piante nella medicina popolare della Liguria. Myristica (http://www.myristica.it/apr-2002/indice_piante.html).

Mariani C., Cabrini R., Danin A., Piffanelli P., Fricano A., Gomarasca S., Di Candilo M., Grassi F., Soave C., 2010. Origin, diffusion and reproduction of the giant reed (*Arundo donax* L.): a promising weedy energy crop. Annals of Applied Biology 157, 191-202.

Onofry A., 1940. La canna comune (*Arundo donax* L.). Cremonese libraio editore, Roma.

Sanna C., Ballero M., Maxia A., 2006. Le piante medicinali utilizzate contro le patologie epidermiche in Ogliastra (sardegna centro-orientale). Atti Soc. tosc. Sci. nat., Mem., Serie B, 113, 73-82.

b - Cardo domestico (*Cynara cardunculus* L. var. *altilis* DC.)

Rosario Paolo Mauro*, Giovanni Mauromicale*

1. Inquadramento botanico

* Dipartimento di Scienze delle Produzioni Agrarie e Alimentari (DISPA) - sez. Scienze Agronomiche, Università degli Studi di Catania, Catania.

Il cardo domestico [*Cynara cardunculus* L. var. *altilis* DC.] appartiene alla Famiglia delle Asteraceae, Sottofamiglia Tubuliflorae, Tribù Cynareae. La specie, che include anche il cardo (o carciofo) selvatico [*C. cardunculus* L. var. *sylvestris* Lamk], ed il carciofo [*C. cardunculus* L. var. *scolymus* (L.) Fiori], è originaria del bacino del Mediterraneo. Tradizionalmente viene coltivata come pianta ortiva per la produzione dei germogli laterali eduli (carducci o gobbi); tuttavia, negli ultimi due decenni è andato crescendo l'interesse di questa pianta per produzioni alternative, in particolar modo per quelle energetiche.

2. Caratteristiche morfologiche

Sotto il profilo organografico, in una pianta di cardo è possibile individuare una parte sotterranea, formata dalla radice principale, fittonante, e da un numero variabile di radici secondarie, fibrose, nonché da un rizoma più o meno espanso, comprendente gemme, sia singole che a gruppi. Le radici di un anno mantengono la funzione assorbente fino alla primavera inoltrata, allorché si ingrossano progressivamente ed assumono la funzione di riserva e di sostegno, mentre un nuovo sistema di radici avventizie ne prende il posto sotto il profilo funzionale. Nel complesso il sistema radicale del cardo è molto sviluppato, potendo raggiungere una profondità di oltre 1 m, ciò che consente alla pianta di esplorare un volume di terreno rilevante. Nelle piante di oltre un anno, si rende progressivamente evidente il fusto sotterraneo, rizomatoso (detto anche "ceppaia"), ricco di parenchimi conduttori e di riserva, sulla cui superficie si vanno via via differenziando gemme che daranno origine a germogli laterali, detti carducci, che possono svilupparsi fino a formare una nuova pianta, allargando così la frazione rizomatosa. A livello epigeo, il cardo si presenta come pianta "a rosetta", per la presenza di un fusto molto raccorciato (3-4 cm), e di un numero elevato di foglie (oltre 40), alterne, pennatosette, di lunghezza spesso superiore ad 1 m (specie in quelle basali). Le foglie si caratterizzano per la presenza di peziolo molto sviluppato ed una grossa nervatura centrale, carnosa, di colore verde chiaro, scanalata in senso longitudinale e ricca di tessuto cribro-vascolare. La lamina fogliare, attraversata da numerose nervature secondarie, risulta più o meno profondamente incisa, di forma differente tanto tra cultivar diverse quanto all'interno della stessa pianta (eterofillia). Essa si presenta di colore verde scuro o cinereo sulla pagina superiore, grigiastro su quella inferiore, per la presenza di una folta tomentosità. Alla fioritura, la pianta presenta uno o più steli fiorali eretti, di altezza variabile (da 1,5 a 3 m circa), ciascuno dei quali del diametro di circa 2-4 cm, munito di piccole foglie alterne e lanceolate, scanalato in senso longitudinale, tomentoso ed assai ramificato. Ogni ramificazione reca in posizione terminale una infiorescenza (detta capolino o calatide), di forma globulare od ovoidale (a seconda della cultivar), avvolta da brattee involucrali, imbricate, di forma ellittico – triangolare, consistenza coriacea e pigmentazione variabile dal verde chiaro al violetto più o meno intenso. La pianta presenta

un numero elevato di capolini (da 10 a 30), dei quali il più grande e precoce (capolino principale) si trova alla sommità dell'asse principale dello stelo; i capolini di ordine successivo (primo, secondo, terzo e così via), emessi in maniera scalare, si presentano di dimensioni progressivamente minori. Ciascun capolino presenta diverse centinaia di fiori (flosculi) ermafroditi, tubulosi, inseriti su un ricettacolo (talamo) molto sviluppato. Quest'ultimo si presenta dapprima di consistenza carnosa e forma concava; in seguito, con il procedere della fioritura, assume forma piatta o convessa e consistenza legnosa, e presenta numerose setole bianche e traslucide (peluria). Alla piena antesi i flosculi presentano stigmi molto evidenti (~5-8 cm), generalmente di colore blu-violetto, sebbene siano noti mutanti con stigmi di colore bianco o lilla. Il frutto è un achenio di forma tetragono-costata, di colore scuro o grigiastro, uniforme o screziato, il cui peso unitario oscilla fra i 20 e i 40 mg e la cui facoltà germinativa è di circa 4-5 anni. La disseminazione è favorita dal calice, metamorfosato in organo di consistenza piumosa (pappo), molto leggero in virtù del basso contenuto in ceneri (1%) e lignina (17-18%), e dell'alto contenuto in cellulosa ed emicellulosa (~73%). Alla maturazione fisiologica degli acheni, i capolini possono raggiungere un peso unitario compreso tra 10 e 120 g; il 18% rappresentato dal ricettacolo, il 25% dalle brattee involucrali, il 32% dagli acheni, il 5% dai flosculi (principalmente stili e stigmi) ed il 20% dalle strutture piumose (setole e pappi).

Figura 1 - Infiorescenze di cardo in piena antesi.

Figura 2 - Un mutante di cardo a flosculi bianchi, selezionato presso il DISPA.

3. Caratteristiche biologiche

Il cardo domestico è specie erbacea perenne, geofita, la cui durata in campo risulta indefinita, in virtù della vitalità delle gemme presenti sul rizoma. Negli areali caratterizzati da clima mediterraneo-subarido, dove la coltura estrinseca il pieno potenziale produttivo, il ciclo colturale è autunno-vernino-primaverile, con presenza di

una fase di stasi vegetativa in estate, più o meno prolungata, mentre a latitudini intermedie è primaverile-autunnale. Nelle zone del Sud Italia, il ciclo della coltura inizia con la germinazione degli acheni in autunno, cui segue una lunga fase vegetativa, che si protrae fino agli inizi della primavera successiva. Durante tale fase, avviene la progressiva "transizione a fiore" dell'apice del germoglio, che comincia a differenziare il primo capolino (fine inverno-inizio primavera). Questo appare dapprima come un ingrossamento al centro della rosetta fogliare, che diviene in seguito sempre più evidente in virtù dell'allungamento dello stelo fiorale, mentre altri capolini vanno progressivamente differenziandosi sulle ramificazione laterali di quest'ultimo. L'antesi ha luogo in primavera inoltrata (fine maggio – prima decade di giugno) ed interessa dapprima il capolino principale, in seguito, scalarmente, quelli più periferici. Il processo si manifesta con la graduale divaricazione delle brattee involucrali di ciascuna infiorescenza, l'appiattimento del ricettacolo e l'apparizione dei primi flosculi centrali. A fioritura avanzata, ogni capolino presenta diverse centinaia di flosculi i quali, in una prima fase si presentano ad un diverso stadio di sviluppo. In ogni singolo capolino, infatti, la maturazione interessa dapprima i flosculi più periferici, poi quelli in posizione centrale. In *C. cardunculus,* la fioritura è dicogama, proterandra. Infatti, lo stigma diventa recettivo fra i 4-5 e gli 8 giorni dopo l'antesi, quando cioè il polline, la cui facoltà germinativa dura 3-4 giorni, ha già perso la vitalità. L'impollinazione è entomofila e la fecondazione è prevalentemente incrociata, in virtù del meccanismo di proterandria anzidetto; tuttavia, un certa quota di autofecondazione fra infiorescenze diverse di uno stesso individuo (geitonogamia) risulta inevitabile, a causa della scalarità di maturazione delle stesse. La maturazione del "seme" avviene in un lasso di tempo compreso tra i 50 e i 60 giorni dopo l'antesi, ed è accompagnata dal progressivo disseccamento della biomassa epigea della pianta; a maturazione ultimata, la disseminazione anemocora degli acheni (agosto-settembre), viene facilitata dallo sfaldamento delle pareti delle calatidi e dalla peculiare struttura dei pappi.

Attesa la mancanza di meccanismi di dormienza, se non in qualche caso particolare (temperature superiori a 29-30 °C accompagnate da anossia), il "seme" risulta prontamente germinabile all'instaurarsi delle condizioni ambientali favorevoli (sufficiente umidità del terreno e temperatura compresa fra 14 e 24 °C). La ripresa vegetativa, dopo l'estate, viene assicurata dalle gemme sotterranee, rimaste quiescenti durante la stagione caldo-arida.

4. Risorse genetiche

Il cardo domestico appartiene al genere *Cynara, taxon* la cui differenziazione ha avuto inizio in epoca relativamente recente (circa 18.000 anni fa). Esso è nativo del bacino del Mediterraneo e comprende otto (secondo alcuni Autori sette) specie erbacee diploidi (2n = 2x = 34), perenni, robuste, a portamento eretto, spinescenti (eccet-

tuati svariati genotipi di cardo e carciofo) e con infiorescenze a capolino. Il genere *Cynara* risulta suddivisibile in due gruppi. Il primo è costituito dal complesso *C. cardunculus*, comprendente tre varietà botaniche: il carciofo [*C. cardunculus* L. var. *scolymus* (L.) Fiori], il cardo domestico [*C. cardunculus* L. var. *altilis* DC.] ed il cardo (o carciofo) selvatico [*C. cardunculus* L. var. *sylvestris* Lamk]. Quest'ultimo rappresenta un *taxon* omogeneo, al cui interno possono essere identificati due ulteriori sottogruppi o *pool* genici: un primo, centro-orientale (*C. cardunculus* subsp. *cardunculus*) ed un secondo, occidentale (*C. cardunculus* subsp. *flavescens*). Il secondo gruppo, più eterogeneo, comprende sette specie selvatiche: *C. algarbiensis, C. humilis, C. baetica* (presenti nel bacino del Mediterraneo occidentale), *C. cyrenaica* (circoscritta alle coste libiche orientali), *C. cornigera* (arcipelago Egeo, Creta, Cipro e Turchia Meridionale) e *C. syriaca* (diffusa dalla Turchia orientale ad Israele ed alla Giordania). *C. cardunculus* è la specie maggiormente diffusa, essendo presente da Cipro al Portogallo, interessando anche la Macaronesia e le coste africane del Mediterraneo centro-occidentale, dalla Tunisia al Marocco.

È unanimemente accettato che le due forme coltivate di *C. cardunculus* derivino dal carciofo selvatico, sotto la spinta selettiva antropogenica, finalizzata all'aumento delle dimensioni delle infiorescenze (carciofo) e delle nervature e dei piccioli fogliari (cardo domestico). In particolare, quest'ultimo pare sia stato domesticato nella penisola Iberica in un periodo corrispondente al tardo Medioevo, a partire da germoplasma di carciofo selvatico afferente al *pool* genico occidentale.

Le cultivar di cardo domestico oggi in commercio, non molto numerose, figurano nei cataloghi di poche ditte sementiere, e sono il risultato della selezione volta ad accentuare la produzione di carducci a scopo alimentare (cardo da orto); in tal senso, oltre alle dimensioni della pianta, i caratteri presi in considerazione per la selezione dei genotipi sono il colore e la consistenza dei piccioli e delle lamine fogliari. Detti genotipi, rispetto a quelli del carciofo, si distinguono per un minor grado di eterozigosi (da cui discende la possibilità di propagazione gamica), ed una minore variabilità genetica. Vengono ottenuti per lo più tramite selezione massale per via materna, per cui all'interno di ciascuna varietà è ancora ravvisabile una certa quota di variabilità genetica e fenotipica, diversamente da quanto avviene per i moderni ibridi F_1 di carciofo. Nel complesso, infatti, il miglioramento genetico ha fino ad oggi scarsamente interessato questa coltura, in special modo se si fa riferimento ad utilizzazioni agri-energetiche; per queste ultime, infatti, si fa ricorso ai pochi genotipi tradizionali, caratterizzati da maggiore sviluppo vegetativo. Tale aspetto lascia ragionevolmente supporre che, attraverso l'avvio di specifici programmi di costituzione varietale, possano essere notevolmente migliorati caratteristiche quali l'uniformità, la produzione di biomassa e di acheni, ed il contenuto in sostanze oleiche di questi ultimi (per la produzione di bio-diesel).

Le cultivar di cardo domestico maggiormente diffuse in Italia sono "Bianco avorio" (vigoroso, inerme) e "Gobbo di Nizza", entrambi coltivati in Piemonte; "Bianco pieno migliorato", "Pieno inerme" e "Gigante di Romagna" (sinonimo "Gigante i-

nerme a foglia intera") in Emilia Romagna. In Spagna, a differenza dell'Italia, le cultivar vengono discriminate sulla base della destinazione produttiva, per cui esistono cultivar per il consumo fresco ed altre per l'industria di trasformazione. Tra le prime si ricordano "Verde de Tafalla", "Blanco de Valencia", "Lleno de España" e "Rojo de Corella". Tra i secondi, i più diffusi sono "Blanco de Peralta" e "Verde de Peralta". In Francia, le cultivar caratterizzate da una certa diffusione sono "Blanc améliorée" e "Rouge d'Alger".

Bibliografia

Lanteri S., Portis E. Globe artichoke and Cardoon. In: Prohens J., Nuez F. (ed) Vegetables I: Asteraceae, Brassicaceae, Chenopodicaceae, and Cucurbitaceae. Springer, Berlin Heidelberg, New York, 2008.

Portis E., Barchi L., Acquadro A., Macua J.I., Lanteri S. Genetic diversity assessment in cultivated cardoon by AFLP (amplified fragment length polymorphism) and microsatellite markers. Plant Breeding 2005; 124: 299-304.

Rottenberg A., Zohary D. The wild relatives and the wild ancestry of the cultivated artichoke. Genetic Resources and Crop Evolution 1996; 43: 53-58.

Rottenberg A., Zohary D. Wild genetic resources of cultivated artichoke. Acta Horticulturae 2005; 681: 307-311.

Rottenberg A., Zohary D., Nevo E. Isozyme relationships between cultivated artichoke and the wild relatives. Genetic Resources and Crop Evolution 1996; 43:59–62.

Sonnante G., Pignone D., Hammer K. The domestication of artichoke and cardoon: from roman times to the genomic age. Annals of Botany, 2007; 1095-1100.

Wiklund A. The genus Cynara L. (Asteraceae-Cardueae). Botanical Journal of the Linnean Society 1992; 109:75-123.

Zohary D., Basnizki J. The cultivated artichoke Cynara scolymus. Its probable wild ancestors. Economic Botany 1975; 29: 233-235

2
Tecnica colturale

a - La coltivazione della canna comune (*Arundo donax* L.) ad uso energetico nel Nord Italia

*The agronomic management of giant reed (*Arundo donax *L.) for energy use in Northern Italy*

Mario Di Candilo*, Enrico Ceotto*

Riassunto

Vengono passate in rassegna le principali tecniche agronomiche della canna comune mettendo in particolare evidenza le più recenti acquisizioni della ricerca in merito alla scelta del germoplasma, ai metodi di propagazione ed impianto della coltura e alla fertilizzazione con reflui zootecnici. Vengono discusse le differenti prestazioni produttive ottenute dalla coltura in due diversi ambienti della Regione Emilia-Romagna, nonché i risultati inerenti l'accumulo di carbonio nel terreno dopo 7 anni di coltivazione di canna comune a confronto con altre colture poliennali, con un prato stabile e con un avvicendamento di colture annuali. Infine si accenna alle tecniche per la devitalizzazione della coltura alla fine del ciclo produttivo.

Parole chiave: adattamento ambientale, propagazione agamica, tecniche colturali, livelli produttivi, accumulo di carbonio nel suolo.

Abstract

We here describe the main agronomic techniques for giant reed cultivation and highlight the more recent insight regarding the genetic variability of the species, the vegeta-

* CRA-CIN, Centro di Ricerca per le Colture Industriali, Bologna.

tive propagation methods and the fertilization with manure. Moreover, we report and discuss: i) the yields obtained in two environments of the Region Emilia Romagna; ii) the soil carbon accumulation after 7 years of cultivation of several bioenergy species, including giant reed, in comparison with a permanent meadow and a rotation of annual crops. Finally, some techniques for getting rid of the crop at the end of its production cycle are proposed.

Keywords: *environmental adaptation, vegetative propagation, management practices, yield performances, soil carbon storage.*

La canna comune è una specie erbacea, perenne, appartenente alla famiglia delle graminacee. È originaria del Sud-Est asiatico, ma successivamente si è naturalizzata in tutto il Bacino del Mediterraneo. La pianta ha ciclo C_3, ma le sue capacità fotosintetiche e produttive sono superiori ad altre piante a ciclo C_4. In Italia è presente un po' ovunque, sia in areali del bassopiano che submontani. L'Arundo, per le sue eccezionali caratteristiche di rusticità, adattamento ambientale, resistenza agli stress idrici, produttività e accumulo di carbonio nel terreno, è ritenuta una delle specie più promettenti per la produzione di biomassa da energia nei paesi del Mediterraneo. Di seguito viene illustrata la tecnica colturale della specie nel Nord Italia, dando particolare risalto alle recenti acquisizioni della ricerca.

Scelta del germoplasma

I risultati di uno studio molto recente volto alla valutazione della variabilità fenotipica e genetica in un gruppo di cloni di *Arundo donax* collezionati in 12 regioni italiane, dal Piemonte alla Sicilia, ed uno a Lanzarote (Spagna, isola delle Canarie) indicano forti similitudini fra i cloni indagati, sia per i caratteri biometrici che produttivi. D'altro canto, le analisi del DNA, tramite AFLP (Amplified Fragment Length Polymorphism), hanno evidenziato un livello molto basso di diversità genetica e nessuna associazione tra distanza geografica e distanza genetica dei cloni saggiati (Mariani *et al*., 2010). La possibilità che tutte le popolazioni di *Arundo donax* presenti in Italia appartengano ad un unico genotipo è altamente probabile se si considera che la specie è sterile e che, conseguentemente, la sua diffusione è avvenuta per via vegetativa. Tale evenienza, se confermata, è negativa ai fini del miglioramento genetico dei caratteri d'interesse agronomico; d'altra parte, però, presenta il vantaggio di poter impiegare indifferentemente il materiale di propagazione presente nel territorio, senza alcun rischio di penalizzare la performance della coltura.

Scelta del terreno

Come molte altre specie, l'Arundo predilige terreno profondo, di medio impasto, ben dotato di sostanza organica e di umidità; tuttavia, la pianta possiede sorprendenti

capacità di adattamento a tutti i tipi di suolo, compresi quelli marginali e salsi (Peck, 1998), riesce a vegetare per lunghi periodi in condizioni estreme di contenuto idrico del terreno, dalle più aride alle più umide (Lewandoswki *et al*., 2003). Tollera valori di pH compresi fra 5 e 8.7 (Di Tomaso, 1998). Inoltre, studi recenti hanno messo in evidenza le capacità di *A. donax* nel risanamento o decontaminazione ambientale di siti fortemente inquinati da sostanze organiche e metalli pesanti (Kos *et al*., 2003; Mirza *et al*., 2010). L'adattabilità dell'Arundo a terreni marginali consente di realizzare l'obiettivo strategico di produrre bioenergie senza sottrarre superficie utile alla produzione di alimenti.

Nel Nord Italia la pianta entra in vegetazione in aprile. Grazie all'ampio intervallo di temperatura di vegetazione, la canna comune presenta un elevato tasso di crescita giornaliero (fino a 5 cm, Perdue, 1958) per un lungo periodo dell'anno (inizio aprile-fine ottobre). Il freddo invernale porta al disseccamento della vegetazione ma non pregiudica la vitalità dei rizomi; può subire però seri danni dal gelo dopo la ripresa vegetativa.

Lavorazione del terreno

Nei terreni argillosi il livellamento superficiale è importante in quanto agevola lo sgrondo delle acque in eccesso, evitando i ristagni negli strati superficiali che danneggerebbero le caratteristiche fisico-chimiche del terreno.

La preparazione del terreno richiede diversi interventi prima di poter eseguire l'impianto della coltura. In particolare, è necessaria una lavorazione profonda del suolo per favorire l'approfondimento radicale e l'immagazzinamento dell'acqua. In alternativa all'aratura profonda, è consigliabile eseguire la lavorazione a due strati, ovvero una ripuntatura a 40-50 cm, seguita da una aratura superficiale (25-30 cm). Tale tipo di lavorazione offre diversi vantaggi, quali: i) frantumazione degli strati compatti del sottosuolo e della suola di lavorazione, favorendo così la penetrazione dell'acqua a profondità superiori a quella dell'aratura; ii) interramento meno profondo dei residui organici, tale da favorirne l'umificazione; iii) formazione di una minore zollosità, in modo da facilitare le successive lavorazioni per l'affinamento dello strato superficiale; e vi) maggiore sostenibilità economica ed ambientale. Con riferimento alla disponibilità idrica, in particolare, la lavorazione a due strati facilità il deflusso in profondità dell'acqua in eccesso, riducendo, quindi, i fenomeni di ristagno, mentre in condizioni di carenza idrica favorisce la risalita capillare dell'acqua dagli strati profondi.

I lavori complementari avranno lo scopo di pareggiare ed affinare il terreno e di eliminare le infestanti. Lo sminuzzamento delle zolle può essere eseguito già nel tardo autunno tramite erpici a dischi o a denti, a fine inverno poi la preparazione del terreno può essere completata con una erpicatura leggera, diretta all'interramento del concime e dell'eventuale diserbante distribuito in pre-impianto. Il criterio generale da seguire in quest'ultima fase è quello di ridurre al minimo il numero dei passaggi delle macchine agricole sul terreno e la profondità di lavorazione, sia per evitare di calpestare eccessivamente lo strato superficiale del suolo, sia per impedire la dispersione di umidità.

Impianto

La canna comune negli ambienti mediterranei non produce seme a causa della sterilità fiorale provocata dal fallimento della divisione della megaspora madre (Onofri, 1940; Bhanwra *et al*., 1982). La sterilità può essere considerato un carattere positivo per una coltura da energia, poiché tutti i prodotti della fotosintesi potranno essere indirizzati alla produzione di biomassa lignocellulosica e non alla produzione dei semi. D'altro canto però la sterilità è un serio ostacolo per la realizzazione di programmi di breeding, provoca drastica riduzione della variabilità genetica (Mariani *et al*., 2010) ed ostacola fortemente la propagazione della specie. In sostanza, l'impianto della coltivazione rappresenta la maggiore criticità della filiera agro-energetica in relazione ai costi dell'operazione e alla reperibilità del materiale di propagazione. Quest'ultimo è rappresentato da rizomi (Foto 1), piantine micro-propagate (Foto 2) e talee di culmo (Foto 3). La propagazione per rizomi è la tecnica più impiegata, dà ottimi risultati dal punto di vista tecnico, ma risulta molto onerosa per gli elevati costi delle operazioni di espianto, divisione e reimpianto dei rizomi. Inoltre, il reperimento di questi ultimi risulta difficoltoso, poiché la mancanza di una adeguata attività vivaistica costringe ad attingere da piccoli canneti spontanei o da coltivazioni già in atto. D'altra parte, la tecnica basata sull'impiego di talee di culmo è ancora in fase di perfezionamento. Da uno studio tuttora in corso ad Anzola dell'Emilia (BO), presso l'azienda sperimentale del CRA-CIN, risulta che ai fini dell'attecchimento delle talee di culmi e della uniformità di emergenza dei germogli assume grande importanza l'epoca di prelievo delle talee stesse (Ceotto, 2007). È stato riscontrato infatti che le talee prelevate in primavera inoltrata, da culmi al secondo anno di età, con piccole ramificazioni laterali, interrate orizzontalmente ad una quindicina di cm di profondità, presentano spiccata attitudine alla radicazione e alla emissione di germogli a condizione che nel terreno vi sia sufficiente umidità (Ceotto e Di Candilo, 2010; Di Candilo e Ceotto, 2010). Rispettando tali condizioni il metodo d'impianto per talea di culmo può dare buoni risultati sia in termini di densità di culmi che come uniformità di emergenza (Foto 4). Tuttavia, non va sottaciuto che i canneti ottenuti da talee di culmo, come quelli derivati da piantine micro-propagate, almeno nel primo biennio di vita presentano performance produttive sensibilmente inferiori rispetto alle coltivazioni ottenute da rizomi. Tali differenze sono ascrivibili, molto verosimilmente, al differente contenuto di sostanze di riserva dei propaguli: abbondante nei rizomi, molto scarso, invece, nelle talee di culmo e nelle piantine micropropagate. Queste differenze ad ogni modo dovrebbero gradualmente venir meno nel giro di 2-3 anni, non appena le coltivazioni derivate da questi propaguli avranno formato rizomi in grado di supportare adeguatamente l'accrescimento dei culmi. Il metodo d'impianto basato sull'impiego di talee di culmo piantate verticalmente nel terreno non ha dato buoni risultati, sia in termini di regolarità di emergenza, con conseguente presenza di aree non coperte dalla coltura, man mano colonizzate dalle infestanti, sia in termini di produttività.

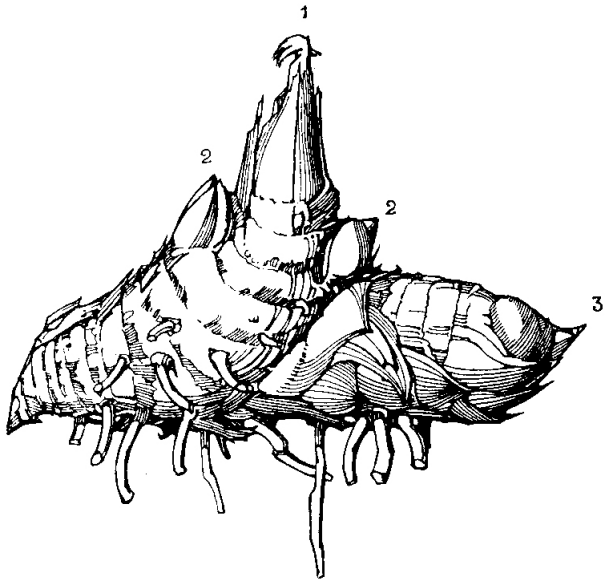


Foto 1 - Distribuzione delle gemme in rizoma di Arundo: 1, gemma principale; 2, gemma secondaria; 3, gemma di prolungamento del rizoma (da Onofri).

Foto 2 - Trapianto meccanico di piantine di Arundo micro-propagate.

Foto 3 - Impianto di Arundo con talee di culmo in fila continua doppia.

Foto 4 - Coltura di Arundo derivata da talee di culmo piantate in doppia fila.

Le piantine micro-propagate hanno mostrato un buon attecchimento, a condizione che subito dopo il trapianto venga eseguito almeno un intervento irriguo. Dopo l'attecchimento le piante hanno mostrato un elevato indice di accestimento, tuttavia

sia le dimensioni dei culmi che la produzione in sostanza secca nel primo anno sono risultate rilevantemente inferiori a quelle della coltura ottenuta da rizomi; nel secondo anno la coltivazione ottenuta da piantine micro-propagate ha incrementato notevolmente la produzione, senza riuscire però a colmare pienamente il divario produttivo rispetto alla coltura derivata da rizomi.

Foto 5 - Trapianto meccanico di rizomi di Arundo, Conselice (RA), 2007.

Foto 6 - Coltura di Arundo derivata da rizomi, poco dopo l'emergenza, Conselice (RA), 2007.

Nel Nord Italia i rizomi normalmente vengono piantati in marzo, tramite trapiantatrici meccaniche (Foto 5). In prove di confronto svolte nel bolognese non sono state riscontrate differenze di attecchimento e di produzione fra canneti impiantati con talee di rizomi munite di 3 gemme ben differenziate e canneti ottenuti da talee di rizomi di circa 10 cm di lunghezza senza gemme differenziate. In entrambi i casi, per avere buona uniformità di emergenza è stato fondamentale mantenere sufficientemente idratati i rizomi nel tempo intercorrente fra espianto e reimpianto.

La densità d'impianto suggerita è di circa 10 mila rizomi per ettaro; investimenti superiori (20-30 mila rizomi ad ha) sarebbero auspicabili per rendere la coltura più competitiva nei confronti delle infestanti sin dal primo anno e per farla entrare più prontamente in piena produzione; purtroppo, per ragioni di costo tali investimenti non sono praticabili. Di solito i rizomi vengono interrati ad una profondità di 0.15 m circa e a distanze di m 1 x 1.

Le talee di culmo, come già accennato, dovrebbero essere prelevate da culmi del secondo anno quando le gemme dei nodi avranno iniziato la differenziazione delle ramificazioni laterali. I segmenti di culmo della lunghezza di 1 m circa possono essere interrati in fila singola o doppia e a distanze di 60-70 cm fra le file. Subito dopo l'interramento delle talee fino alla piena emergenza dei germogli è necessario mantenere il terreno sufficientemente umido. Perciò tale metodo di propagazione non è proponibile laddove non vi sia la possibilità di irrigare il terreno.

Concimazione

L'Arundo in diverse ricerche non ha mostrato una risposta significativa alla concimazione minerale ed in particolare a quella azotata (Dalianis *et al*., 1994; Christou, 1999; Monti e Venturi, 1999; Cosentino *et al*., 2005). Tuttavia, va considerato che le necessità minerali della coltura sono elevate solo nei primi anni dell'impianto, durante il periodo di accrescimento e di accumulo di sostanze nutritive nei rizomi. Successivamente, il decadimento dei rizomi esauriti e la defogliazione invernale consentono una buona restituzione di elementi nutritivi al terreno. Come norma generale, in terreni di media fertilità è bene apportare 150-200 kg ha^{-1} di P e K, in preimpianto, e 100-120 kg ha^{-1} di N in copertura; dal secondo anno in poi ci si può limitare alla somministrazione di 60-80 kg ha^{-1} di N. Tali ridotte esigenze di nutrienti da parte della coltura sono dovute a peculiari caratteristiche della pianta, quali: i) elevata efficienza d'uso dell'azoto; ii) traslocazione dei nutrienti, in autunno, dalle foglie ai rizomi (Bell, 1997) per utilizzarli successivamente in primavera alla ripresa vegetativa; iii) forte riduzione delle perdite per lisciviazione dei nitrati, grazie alla copertura del terreno per un lungo periodo dell'anno (Tolbert *et al*., 1998; Pimental e Krummel, 1987).

Una valida alternativa all'impiego di concimi minerali sull'Arundo è rappresentata dallo spargimento di liquami zootecnici (foto 7). Da un esperimento svolto nel bolognese (Di Candilo *et al*., 2010) risulta che applicazioni di liquami bovini, in dose di 100 e 200 m^3 ha^{-1}, hanno incrementato la produzione di sostanza secca rispettivamente del 37 e del 43% rispetto al testimone non concimato, mentre i fertilizzanti

minerali (120 Kg ha^{-1} di P_2O_5 e di N) le hanno incrementate del 32% (Fig. 1). L'impiego di tali reflui su colture da energia come la canna comune permetterebbe di recuperare il valore fertilizzante dei liquami, inoltre, l'applicazione dei liquami offrirebbe il doppio vantaggio di migliorare il bilancio energetico e del carbonio della coltura, da un lato, e di superare le crescenti difficoltà della zootecnia a trovare una adeguata collocazione degli effluenti sulle colture tradizionali, dall'altro.

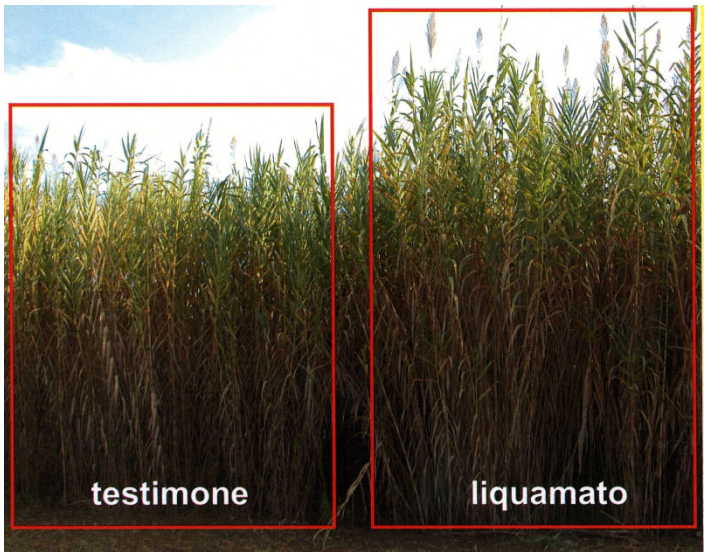


Foto 7 - Parcelle di Arundo non concimato (a sx) e liquamato (a dx). Anzola Emilia (BO), ottobre 2010.

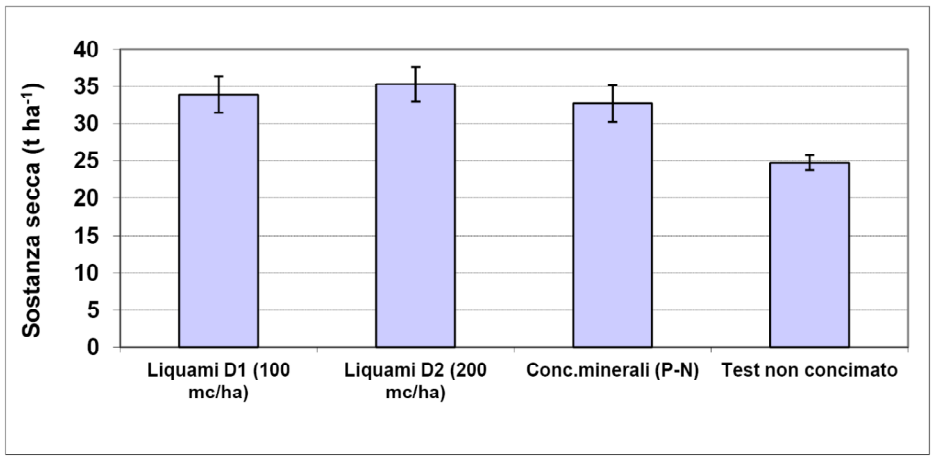


Figura 1 - Produzioni di sostanza secca di canneti concimati e non con liquami e concimi minerali.

Irrigazione

L'Arundo presenta una notevole capacità di raggiungere l'acqua in strati profondi del terreno, inaccessibili alle colture annuali, ed è abbastanza resistente sia ai ristagni d'acqua, sia a condizioni di siccità severe (Ranney and Mann, 1994). Il fabbisogno idrico della coltura è stimato in 282 l kg^{-1} di s.s. (Vecchiet *et al*., 1996). Secondo Christou *et al*. (2003) la canna comune è in grado di incrementare la sua efficienza di utilizzo dell'acqua in relazione alle condizioni ambientali: in condizioni ottimali di disponibilità idrica hanno stimato una produzione di sostanza secca pari a 2-3 g/l di acqua, mentre in condizioni di stress idrico tale indice è risultato sensibilmente più elevato (6-10 g/l di acqua).

Nel nord Italia la coltura non viene irrigata, tuttavia nel primo anno l'irrigazione attuata allo scopo di favorire l'insediamento della coltura potrebbe avere senso, poiché Il costo dell'intervento potrebbe essere considerato un investimento sulla coltura, la cui durata può superare i 15-20 anni.

Controllo delle avversità

La canna comune si contraddistingue da molte altre specie per rusticità. Al momento non presenta particolare suscettibilità a patogeni ed insetti, perciò non necessita di alcun trattamento chimico di difesa. I culmi e le foglie di questa specie contengono numerosi composti chimici, fra i quali vari alcaloidi e molto silicio (Jackson *et al*., 1964; Perdue, 1958); elementi che indubbiamente la proteggono dai parassiti di ogni genere. La coltura subisce, invece, limitatamente al primo anno, la competizione delle infestanti a causa dello scarso vigore delle piante e della insufficiente copertura del terreno. Pertanto, nell'anno d'impianto è buona norma eseguire un diserbo per dicotiledoni. Inoltre, è opportuno realizzare anche una sarchiatura meccanica che, oltre ad eliminare le malerbe nelle interfile, potrà essere utile per interrare il concime dato in copertura. Fra gli erbicidi di post-emergenza si possono citare Nicosulfuron, Dicamba e Mesotrione, anche se non registrati per l'Arundo.

Epoca di raccolta e produttività

Di norma la biomassa viene raccolta una volta l'anno. Nel caso in cui il prodotto sia destinato alla conversione termo-chimica (combustione) la raccolta viene eseguita durante la stasi vegetativa invernale della pianta (gennaio-febbraio). In tale epoca il prodotto presenta: i) un migliore contenuto energetico, grazie alla riduzione del suo contenuto di umidità, per effetto delle basse temperature; e ii) un maggiore livello qualitativo a seguito della più completa traslocazione degli assimilati al rizoma e per la perdita naturale delle foglie, notoriamente più ricche in ceneri (Monti *et al*., 2008). Nel caso in cui, invece, la biomassa sia destinata alla produzione di bioetanolo è importante che il prodotto sia poco lignificato, conseguentemente si dovrà intervenire con la raccolta già in estate o al più tardi all'inizio dell'autunno. In ogni caso è importante considerare che i rizomi risentono molto negativamente del compattamento provocato dalle raccoglitrici, perciò bisogna evitare la raccolta quando il terreno offre scarsa portanza alle macchine perché troppo umido.

Sotto il profilo produttivo, la canna comune in diverse prove svolte in territorio nazionale ha evidenziato notevoli potenzialità (Di Candilo *et al*., 2005; Cosentino *et al*., 2005; Angelini *et al*., 2005). La pianta ha un ciclo fotosintetico C_3, ma la sua capacità fotosintetica e produttiva sono superiori ad altre piante dotate di ciclo C_4 (Beale e Long, 1952; Rossa *et al*., 1998; Christou, 2001). Infatti, analizzando alcuni parametri come scambio di gas, fluorescenza e conduttanza stomatica in condizioni di crescita naturali, si è registrato un tasso di assimilazione della CO_2 pari a 37 µmoli m^{-2} s^{-1}, circa il 50% in più rispetto al sorgo da fibra, specie dotata di ciclo C_4. Peraltro, le foglie della canna non hanno mostrato il fenomeno di saturazione luminosa. La canna comune, in virtù delle sue elevate capacità produttive, della rusticità della pianta e delle sue ridotte esigenze di input colturali (Vecchiet e Jodice, 1996; Cosentino *et al*., 2005) presenta bilanci energetici molto positivi (Mantineo *et al*., 2009).

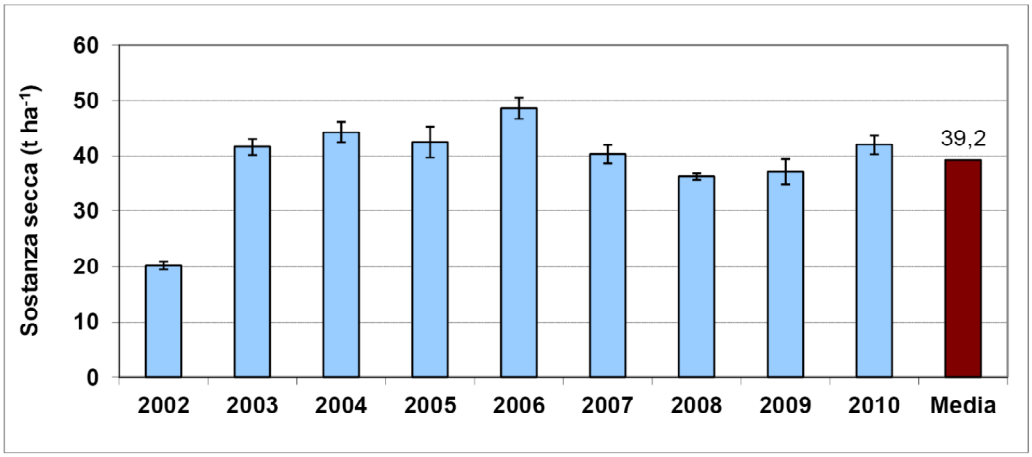


Figura 2 - Andamento delle rese di un canneto nel periodo 2002-2010 ad Anzola dell'Emilia (BO).

In prove di confronto fra diverse specie avviate nel 2002 ad Anzola dell'Emilia, nel bolognese, in terreno franco-limoso, la coltura in 9 anni di valutazione ha fornito una produzione media pari a 39.2 t ha^{-1} di sostanza secca. Dopo il raddoppio della resa avutasi nel secondo anno, la produzione ha teso a crescere fino al sesto anno raggiungendo il valore massimo di 48.6 t ha^{-1}, nei tre anni successivi (2007-2010) si è poi stabilizzata intorno alle 39 t ha^{-1} (Fig. 2). In merito a questo esperimento va evidenziato che: la coltura ha fornito una buona resa già al primo anno di vita; è entrata in piena produzione fin dal secondo anno; e, salvo lievi oscillazioni, ha mantenuto finora un livello produttivo elevato. Tali positivi risultati, oltre che alla specie, sono ascrivibili, verosimilmente, ai tre seguenti fattori: i) densità d'impianto pari a 2.8 rizomi m^{-2} (0.60 x 0.60 m), più che doppia rispetto a quella normalmente indicata in letteratura; ii) reintegro annuo del fosforo e dell'azoto nel terreno; e iii) buona piovosità durante la vegetazione della coltura (500-600 mm).

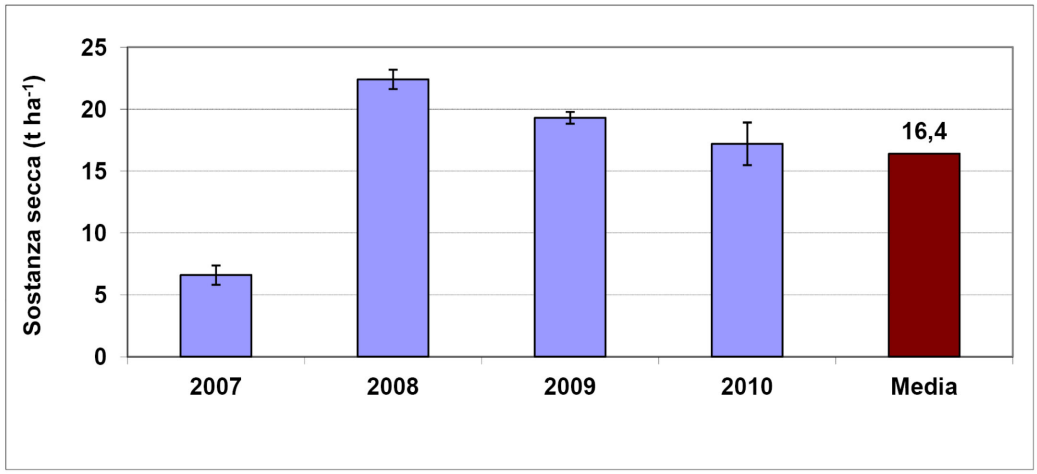


Figura 3 - Andamento delle rese di un canneto negli anni 2007-2010 a Conselice (RA).

In un altro esperimento avviato nel 2007 a Conselice, in provincia di Ravenna, la performance della coltura nei 4 anni di valutazione è stata meno interessante, raggiungendo una produzione media pari a 16.4 t ha^{-1} (Fig. 3). Questa seconda prova si differenzia dalla precedente per alcuni elementi che potrebbero spiegare, almeno in parte, la minore prestazione della coltura. Ci si riferisce in particolare al tipo di terreno che in questo caso è molto argilloso, perciò soggetto a compattarsi notevolmente, con conseguenze negative sull'accrescimento dei rizomi e sull'approfondimento radicale; inoltre, in questo esperimento è stata adottata una minore densità d'impianto (1 rizoma m^{-2}), a seguito della quale la coltura ha prodotto pochissimo nel primo anno (7 t ha^{-1} di s.s.) e tuttora stenta a raggiungere una sufficiente fittezza di culmi; per di più, in tale sito nei mesi più siccitosi la falda è più profonda rispetto all'ambiente precedente, con scarse possibilità per la coltura di potervi attingere.

La specie si contraddistingue anche per le sue capacità di accumulo del C nel suolo (McLaughlin e Walsh, 1998). Al riguardo, nel 2002 è stato avviato uno studio ad Anzola dell'Emilia (BO), confrontando due erbacee perenni (Arundo e miscanto), tre specie legnose (pioppo, salice e robinia), un prato stabile e un avvicendamento di piante annuali con terreno lavorato annualmente: rispetto a quest'ultimo, dopo 7 anni di coltivazione il contenuto di carbonio nel terreno, nello strato 0-20 cm, è aumentato del 53% per il salice, del 46% per la canna comune e il pioppo, del 31 e 32% per la robinia e il miscanto e del 23% per il prato stabile (Tab. 1, Ceotto *et al*., 2010). Altri autori (Monti e Zatta, 2009) per l'Arundo hanno riscontrato una quantità di sostanza secca della parte ipogea della coltura 6 volte maggiore rispetto al sorgo e due volte in più rispetto al miscanto. Per tutte le caratteristiche positive, sopra evidenziate, la canna comune è considerata una delle migliori specie per la produzione di biomassa lignocellulosica ad uso energetico nei paesi del Mediterraneo (Lunnan A., 1997; Foti e Cosentino, 2001; Shatalov e Pereira, 2002; Di Candilo *et al*., 2008).

Tabella 1 - Contenuti di carbonio organico accumulati nello strato 0-20 cm del terreno, rilevati 7 anni dopo l'avvio delle coltivazioni. Medie con lettere in comune non sono statisticamente differenti per P≤ 0.05.

Coltura	C nel terreno (t ha^{-1})	Incremento annuo di C (t ha^{-1})	Stoccaggio annuo di CO_2 (t ha^{-1})
canna comune	37.7 a	1.70	6.23
miscanto	34.0 ab	1.18	4.32
robinia	33.9 ab	1.15	4.23
pioppo	37.7 a	1.70	6.23
salice	39.4 a	1.94	7.12
prato stabile	31.7 ab	0.84	3.07
colture annuali	25.8 b	0.00	0.00

Destinazioni

La biomassa prodotta dalla canna comune, oltre che alla produzione di carta, può essere destinata alla conversione termo-elettrica, per combustione, e/o alla produzione di bioetanolo di "II generazione", attraverso idrolisi della cellulosa in zuccheri semplici e fermentazione di questi ultimi.

Ripristino del terreno

Per il ripristino del terreno, alla fine del ciclo produttivo della coltura, è necessario devitalizzare la massa radicale con un erbicida sistemico a largo spettro e non residuale nel terreno. In California sono stati ottenuti buoni risultati con applicazioni di glyphosate (N-phosphonomethyl glycine) in avanzata fase del ciclo vegetativo (Spencer *et al*., 2008). Al riguardo, è stato osservato che le applicazioni di erbicida sono molto efficaci dopo la fioritura e prima della stasi vegetativa invernale. In tale periodo l'Arundo sarebbe particolarmente attivo nella traslocazione dei nutrienti ai rizomi e questo favorirebbe anche la traslocazione dell'erbicida alle radici (Bell, 1997). Altra tecnica sperimentata in California è il *cut and spray*, ossia l'applicazione dell'erbicida mediante una soluzione pura, localizzata sul punto di taglio alla base del culmo. Tale trattamento offre il vantaggio di richiedere una minore quantità di erbicida, ma risulterebbe meno efficace del trattamento fogliare, in quanto la traslocazione sarebbe scarsa.

Prove svolte nel 2010 ad Anzola dell'Emilia (BO) presso l'azienda sperimentale del Centro di Ricerca per le Colture Industriali, hanno evidenziato che una irrorazione fogliare con glyphosate in dose di 5 l ha^{-1}, eseguita su piante di circa 2 m di altezza (inizio luglio), ha provocato la completa devitalizzazione del canneto. La possibilità di poter eseguire il trattamento quando i culmi presentano una taglia ancora contenuta è di notevole interesse, poiché semplifica l'operazione; inoltre va pure considerato che non tutte le aziende sono attrezzate per operare su piante di grandi dimensioni.

In alternativa al trattamento chimico si può ricorrere alla eradicazione meccanica, ovvero alla escavazione dei rizomi tramite estirpatori o scavatori e al loro allontanamento dal campo. Si tratta ad ogni modo di una tecnica sicuramente molto più onerosa rispetto al trattamento chimico e forse anche meno efficace, poiché i rizomi più profondi possono sfuggire alle attrezzature meccaniche, dando luogo a nuovi ricacci.

Prospettive della coltura

La canna comune è la specie che si avvicina maggiormente alla pianta ideale per la produzione di biomassa lignocellulosica. Infatti, presenta molte caratteristiche positive, quali: i) elevato tasso di crescita giornaliero, mantenuto per un lungo periodo dell'anno (da marzo alla fine di ottobre): ii) è perennante e questo elimina i costi energetici annuali necessari per le lavorazioni del terreno e per la semina, inoltre è in grado di costituire validi *carbon sinks*, sia per l'incremento di sostanza organica nel terreno, conseguente alla non lavorazione, sia per l'accumulo di carbonio negli organi di riserva (rizomi e radici) che non vengono raccolti; iii) è scarsamente suscettibile ai parassiti, pertanto non richiede alcun trattamento chimico per la difesa contro insetti e patogeni; iv) è competitiva verso le malerbe; v) ha un apparato radicale molto sviluppato, in grado di attingere acqua a profondità elevate, inoltre è dotata di buona resistenza agli stress idrici anche severi; vi) si adatta a qualunque tipo di terreno, compresi quelli marginali non idonei alla coltivazione di specie a destinazione alimentare; vii) presenta ridotte esigenze di concimazione, grazie alla traslocazione dei nutrienti, in autunno, dalle foglie ai rizomi, per utilizzarli successivamente in primavera alla ripresa vegetativa. Benchè dotata dei numerosi punti di forza sopra evidenziati, la coltivazione dell'Arundo a fini energetici al momento incontra difficoltà ad espandersi poiché vi sono ancora alcuni problemi da superare in via definitiva, quali il reperimento del materiale vivaistico e soprattutto il suo costo. La sperimentazione svolta nell'ambito del progetto Suscace dimostra che in alternativa ai costosi rizomi possono essere impiegate le talee di culmo, sicuramente più economiche, ma per l'applicazione di questa tecnica su ampia scala occorre meccanizzare le operazioni inerenti la raccolta, il sezionamento e l'interramento delle talee stesse.

Un altro freno temporaneo alla diffusione dell'Arundo è rappresentato dalla mancanza di una legislazione chiara e stabile (incertezza normativa, dispersione e scarsa selettività degli incentivi). In tale situazione poco chiara gli imprenditori agricoli preferiscono non impegnare il terreno a lunga scadenza con una coltura poliennale. Tuttavia ciò non toglie che a medio-lungo termine la canna comune ha notevoli prospettive di diffusione.

L'utilizzazione industriale di questa pianta è stata avviata per la prima volta in Italia tra il 1937 ed il 1962 dalla Snia-Viscosa che brevettò un procedimento per la produzione di rayon viscosa e carta a partire da pasta di cellulosa ricavata dalla canna. Attualmente a Crescentino (Vercelli) è in costruzione, da parte della multinazio-

nale Mossi & Ghisolfi, un impianto per la produzione industriale di 40.000 tonnellate annue di bioetanolo di "II generazione", utilizzando la biomassa della canna comune. A tale scopo è già stato avviato l'allestimento delle coltivazioni di Arundo in un raggio di 40 chilometri dallo stabilimento industriale, per una superficie complessiva che in un biennio dovrà raggiungere 4.500 ha.

La sostenibilità economica della coltivazione della canna comune diventa ancora più vantaggiosa se la coltura si inserisce su una filiera corta, basata su microimpianti a cogenerazione per autoconsumo dell'azienda agricola o di piccoli consorzi, con cessione dell'eventuale esubero di energia in rete. In questo caso l'agricoltore assume impegni più gravosi, ma mantiene in casa il valore aggiunto alla biomassa dalla conversione energetica.

Bibliografia

Angelini L.G., Ceccarini L., Bonari E., 2005. Biomass yield and Energy bilance of giant reed (Arundo donax L.) cropped in central Italy as related to different management practices. Europ. J. Agronomy 22, 375-389.

Beale C.V. and Long S.P., 1995. Can perennial C4-grasses attain high efficiences of radiant energy conversion in cool climates? Plant Cell Environ. 18, 641-650.

Bell, Gary P., 1997. Ecology and management of arundo donax, and approaches to riparian habitat restoration in southern California. In: Brock J.H., Wade M., Pysek P, Green D. (eds). Plant invasions: studies from North America and Europe. Leiden, The Netherlands: Backhuys Publishers: 103-113. [43820].

Bhanwra R.K., Choda S.P., Kumar S., 1982. Comparative embryology of some grasses. Proceedings of the Indian National ScienceAcademy, 48, 152-162.

Ceotto E, Di Candilo M., 2010. Shoot cuttings propagation of giant reed (Arundo donax L.) in water and moist soil: The path forward? Biomass and Bioenergy 34, 1614-1623.

Ceotto E., 2007. A simple and straightforward method for shoot cutting propagation of giant reed (Arundo donax L.). In: M. Borin, S. Bacelle, (eds.) Proceedings of the International Conference on Multiple Roles of Wetlands, Padova, Italy. 2007, 84.

Ceotto E., Librenti I., Di Candilo M., 2010. Can bioenergy production and soil carbon storage be coupled? A case study on dedicated bioenergy crops in the Low Po Valley (Northern Italy). Proceedings of the18th European Biomass Conference, 3-7 May 2010, Lyon, France. 2261-2264.

Christou M., 1999. Comparative studies of two potential energy crops in greece. (www.swicthgrass.nl).

Christou M., 2001. Giant reed in Europe. In: Proceedings of the First World Conference on Biomass for Energy and Industry, Sevilla, Spain, 5-9 June 2000, pp. 2089-2091.

Christou M., Mardikis M., Alexopoulous E., Cosentino S., Copani V. and Sanzone E., 2003. Environmental studies on Arundo donax. Proc. 8th International Conference on Environmental Science and Technology. Lemnos island, Greece, 8-10 September 2003, pp. 102-110.

Cosentino S., Foti S., Venturi G., Giovanardi R., Copani V., Mantineo M., D'Agosta G., Bezzi G., Mazzocco T., 2005. Colture erbacee annuali e poliennali da biomassa per energia di possibile coltivazione in Italia. Agroindustria 1, 35-48.

Dalianis C., Sooter C. and Christou M., 1994. Growth and biomass productivity of Arundo donax and Miscanthus sinensis x giganteus. In: Proceedings of 8th European Community Conference on Biomass for Energy, Environment Agriculture and Industry, Vienna 3-5 October 1994, pp. 575-582.

Di Candilo M, Ceotto E., 2010. Effect of propagation techniques on crop establishment of giant reed (Arundo donax L.). Proceedings of 18th European Biomass Conference and Exhibition, 3-7 May 2010, Lyon, France. 255-258.

Di Candilo M., Ceotto E., Librenti I., Faeti V., 2010. Manure fertilization on dedicated Energy crops: productivity, Energy and carbon cycle implications. Proceedings of the 14th Ramiran International Conference of the FAO ESCORENA Network on the Recycling of Agricultural, Municipal and Industrial Residues in Agriculture, pp. 4.

Di Candilo M., Ceotto E., Diozzi M., 2008. Comparison of 7 ligno-cellulosic biomass feedstock species: 6-years results in the Low Po Valley. In: Rossi Pisa P. (ed.) 10th Congress of the European Society of Agronomy, Bologna, Multifunctional Agriculture, Agriculture as a Resource for Energy and Environmental Preservation. Italian Journal of Agronomy, Vol. 3, No. 3 suppl., 481-482.

Di Candilo M., Cesaretti C., Ranalli P., Diozzi M., Pasini P., 2005. Colture da biomassa nel bolognese: produzione e conversione energetica. Agroindustria 1, 27-34.

Di Tomaso J.M., 1998. Biology and ecology of giant reed. In: Bell, carl E., ed. In: arundo and saltcedar: the deadly duo:proceedings of a workshop on combating the torea from arundo and saltcedar; 1998 June 17; Ontario, CA: University of California, Cooperative Extension: 1-5. [47117].

Foti S., Cosentino, S.L., 2001. Colture erbacee annuali e poliennali da energia. Rivista di Agronomia 35, 200-215.

Herrera A. and Dudley T.L., 2003. Invertebrate community reduction in response to Arundo donax invasion at Sonoma Creek. Biol. Invas 5, 167-177.

Jackson G.C. and Nunez J.R., 1964. Identification of silica present in the giant-reed (Arundo donax L.). Journal of Agriculture of University of Puerto Rico, 48, 60.62. [46766].

Kos B., Greman H. and Lestan D., 2003. Phytoextraction of lead, zinc and cadmium from soil by selected plants. Plant Soil Environ. 49, 548-553.

Lewandoswki L., Scurlock J.M.O., Lindvall E., Christou M., 2003. The development and current status of perennial rhizomatous grasses as energy crops in the US and Europe. Biomass & Bioenergy 25, 335-381.

Lunnan A., 1997. agriculture based biomass Energy supply-a survey of economic issues Energy Policy 25, 573-582.

Mantineo M., D'Agosta G.M., Copani V., Patanè, Cosentino S.L., 2009. Biomass yield and Energy balance of three perennial crops for Energy use in the semiarid Mediterranean environment. Field Crops Research 2, 204-213.

Mariani C., Cabrini R., Danin A., Piffanelli P., Fricano A., Gomarasca S., Di Candilo M., Grassi F., Soave C., 2010. Origin, diffusion and re production of the giant reed (Arundo donax L.): a promising weedy energy crop. Annals of Applied Biology 157, 191-202.

McLaughlin S.B. and Walsh M.E., 1998. Evaluating environmental consequences of producing herbaceous crops for bioenergy. Biomass and Bioenergy 14, 317-324.

Mirza N., Mahmood Q., Pervez A., Ahmad R., Farooq R., Shah M.M., Azim M.R., 2010. Phytoremediation potential of Arundo donax in arsenic-contaminated synthetic wastewater. Bioresour Technol. 101, 5815-5819.

Monti A., Venturi P., 1999. Risposta della canna comune (Arundo donax L.) alla concimazione azotata. In: Bona S. (ed), Atti XXXIII Convegno annuale Società Italiana di Agronomia. Le colture non alimentari. Legnaro (PD), 20-23 settembre 1999.

Monti A., Zatta A., 2009. Root distribution and soil moisture retrieval in perennial and annual Energy crops in Northern Italy. Agr., Ecosystems and Environ. 132, 252-259.

Monti A., Di Virgilio N., Venturi G., 2008. Mineral composition and ash content of six major energy crops. Biomass and Bioenergy 32, 216-223.

Onofri A., 1940. La canna comune (Arundo donax L.), Ed. INC.

Peck G.G., 1998. Hydroponic growth characteristics of Arundo donax L. under salt stress. In: Bell, Carl E., ed. In: Arundo and saltcedar: the deadly duo: Proceedings of workshop on combating the threat from arundo and saltcedar; 1998 June 17; Ontario, CA. Holtville, CA:University of California, Cooperative Extension: 71. (47128).

Perdue R.E., 1958. Arundo donax – source of musical reeds and industrial cellulose. Economic Botany 12, 368-404.

Pimental D. and Krummel J., 1987. Biomass energy and soil erosion: assessment of resource costs. Biomass 14, 15-38.

Polunin O., Huxley A., 1987. Flowers of the Mediterranean. Hogarth Press, London.

Ranney J.W. and Mann L.K., 1994. Environmental considerations in energy crop production. Biomass and Bioenergy 6 (3), 211-228.

Rossa B, TuAers AV, Naidoo G, von Willert DJ., 1998. Arundo donax L. (Poaceae)—a C3 species with unusually high photosynthetic capacity. Botanica Acta 111, 216–21.

Shatalov A.A. and Pereira H., 2002. Influence of stem morphology on pulp and paper properties of Arundo donax L. Ind. Crops and Prod. 15, 77–83.

Spencer D.F., Tan W., Liow P., Ksander G., Whitehand L.C., Weaver S., Olson J., Newhauser M., 2008. Evaluation of glyphosate for managing giant reed (Arundo donax). Invasive Plant Sci. Manage 1, 248-254.

Tolbert V.R., Thornton F.C., Joslin J.D., Bock B.R., Bandaranayake W.E., Tyler D., Pettry D., Green T.H., Makik R., Bingham L., Houston A.E., Shires M., Dewey J. and Schoenholtz S., 1998. Soil and water quality aspects of herbaceous and woody energy crop production: lessons from research-scale comparison with agricultural crops. Proc. BioEnergy '98: Expanding Bioenergy Partnerhip, Madison, Wisconsis, October 4-8, 1998.

Vecchiet M., Jodice R., 1996. Experiments in the production of giant reed (Arundo Donax L.) biomass. Biomass for energy and the environment. In: Proceedings of the Ninth European Bioenergy Conference, vol. 1, 70-77.

Vecchiet M., Jodice R., Petrini C., Bazzocchi R. and Schenone G., 1996. Evaluation of giant reed (Arundo donax L.) productivity in north and central Italy under two different irrigation regimes. Proceedings of "Biomass for Energy and the Environment" – 9th European Bioenergy Conference, Copenhagen, Denmark, 24-27 June 1996, pp. 660-663.

b - La coltivazione del cardo domestico (*Cynara cardunculus* L. var. *altilis* DC.)

*The cultivation of cardoon (*Cynara cardunculus *L. var.* altilis*)*

Rosario Paolo Mauro*, Giovanni Mauromicale*

Riassunto

Il cardo domestico [*Cynara cardunculus* L. var. *altilis* DC.] è un'asteracea di origine mediterranea, tradizionalmente coltivata per la produzione delle giovani foglie opportunamente imbianchite. Negli ultimi decenni, tale coltura ha destato crescente interesse in rapporto alle possibili utilizzazioni energetiche, dovute alla sua adattabilità agli areali mediterranei, unitamente all'elevata produzione di biomassa lignocellulosica e di acheni ad alto contenuto in olio. Quest'ultimo, in rapporto alla sua composizione chimica, risulta idoneo alla produzione di biodiesel attraverso processi di transesterificazione. Nel presente lavoro vengono discussi i principali aspetti morfologici, biologici ed agronomici della coltura, nonché le caratteristiche salienti del prodotto utile ai fini energetici.

Parole chiave: *Cynara cardunculus* L. var. *altilis* DC., biomassa per energia, biodiesel, tecnica colturale.

Abstract

*The cultivated cardoon [*Cynara cardunculus *L. var.* altilis *DC.] is a Mediterranean member of the Asteraceae family, traditionally cultivated for the production of edible young leaves. Over recent decades, the crop has attracted increasing attention because*

* Dipartimento di Scienze delle Produzioni Agrarie e Alimentari (DISPA), sez. Scienze Agronomiche, Università degli Studi di Catania, Catania.

of its possible uses for energetic purposes. This flows from its adaptability to the Mediterranean environment, together with the high production of lignocellulosic biomass and achenes with a high oil content. This latter, because of its chemical composition, is suitable for the production of biodiesel through transesterification process. In this paper we discuss the main morphological, biological and agronomic aspects of the cardoon crop, and the main features of the product useful for energetic purposes.

***Keywords**:* Cynara cardunculus *L. var.* altilis *DC., bioenergy crop, biodiesel, cultivation technique.*

1. Esigenze ed adattamento ambientale

Il cardo è specie originaria del bacino del Mediterraneo, per cui manifesta una piena sintonia con il clima mediterraneo-subarido, caratterizzato da piovosità e temperature miti nel semestre autunno-vernino, ed estati calde e aride. A questi due periodi dell'anno, infatti, corrispondono rispettivamente la fase di espletamento delle funzioni vegeto-riproduttive, e quella di stasi vegetativa, per cui la pianta riesce a sopravvivere a lunghi periodi di deficit idrico mediante un'efficace strategia di "sfuggenza". Questo particolare assetto biologico, fa sì che le esigenze idriche della pianta vengano soddisfatte da una normale piovosità autunno-primaverile (~400-500 mm). Le esigenze termiche, non dissimili da quelle del carciofo, prevedono un *optimum* di crescita compreso fra 15 e 22°C, mentre livelli termici inferiori a 10-15 °C rallentano il ritmo di accumulo della biomassa epigea; ciò spiega la tendenza della coltura ad estrinsecare le migliori performance produttive negli areali dell'Italia meridionale, specialmente alle modeste altitudini o lungo le fasce costiere. In corrispondenza di temperature comprese tra i -4 e i -7°C la vegetazione subisce seri danni, mentre a partire da -10°C può essere compromessa anche la vitalità delle gemme inserite sul rizoma sotterraneo.

Il cardo, pur adattandosi ad un ampio *range* di caratteristiche pedologiche, estrinseca al massimo le sue potenzialità in terreni di medio impasto, profondi, privi di scheletro, con pH prossimo alla neutralità e con buona capacità di ritenuta idrica. La pianta manifesta una certa sensibilità ai ristagni idrici, tuttavia mostra buona tolleranza alle variazioni di pH ed alla salinità; secondo taluni Autori, quest'ultimo aspetto deriverebbe dall'alto contenuto di α-tocoferolo degli acheni, e dalla sua azione protettiva nei confronti delle membrane biologiche dallo stress ossidativo.

2. Tecnica colturale

Al fine di massimizzare la produzione di biomassa, di fondamentale importanza è la scelta dell'ambiente in cui effettuare la coltivazione del cardo da biomassa. Come già ricordato, il regime termometrico dei mesi invernali, rappresenta un elemento di

fondamentale importanza, per cui nella scelta dell'areale di coltivazione sono da preferire ambienti situati a basse altitudini, possibilmente ventilati (al fine di ridurre l'incidenza di fitopatie favorite dalla fitta vegetazione), e caratterizzati da terreni freschi, profondi, di medio impasto.

In considerazione della durata poliennale della coltura (3-10 anni), la preparazione del terreno prima dell'impianto assume rilevanza centrale, al fine di ottenere un'emergenza rapida ed uniforme, ed un buon approfondimento dell'apparato radicale, entrambi prerequisiti essenziali per una buona riuscita della coltura. A tale riguardo, risulta utile un'aratura di media profondità (20-30 cm) seguita da un buon amminutamento del terreno, per creare le condizioni migliori ad ospitare il seme. La semina può essere effettuata da settembre a ottobre (a seconda del livello di umidità del terreno) negli areali meridionali, in primavera negli areali in cui sono previste gelate autunnali, prima cioè, della formazione della rosetta fogliare. In quest'ultimo caso, è bene tenere presente che la fase di fioritura e formazione degli acheni si avrà l'anno successivo. La semina può essere effettuata con seminatrici meccaniche o di precisione, interrando gli acheni ad una profondità di circa 4 cm, e considerando un investimento unitario pari a 1,0 – 1,2 piante m^{-2} (1 x 1 m o 0,8 x 1 m); investimenti superiori (fino a 2,5 piante m^{-2}) possono risultare utili a massimizzare la produzione di biomassa nell'anno di impianto. La quantità di seme occorrente può variare da 2 a 4 kg ha^{-1}. L'emergenza delle plantule si ha in circa 10-12 giorni.

Per quanto concerne le esigenze nutritive, il cardo, al pari del carciofo, è ritenuta una specie nitrofila, soprattutto se considerata in rapporto alla produzione di coste. Tuttavia, in recenti ricerche sulla produzione di biomassa ligno-cellulosica, è emerso che i genotipi più produttivi (produzione areiche superiori a 25 t ha^{-1} di sostanza secca), sono in grado di estrinsecare una buona capacità produttiva già a livelli di concimazione di bassa o media entità (100 kg ha^{-1} N, 150 kg ha^{-1} P_2O_5 e 150 K_2O), con positive ripercussioni sul bilancio energetico della coltura. L'intera concimazione fosfopotassica può essere somministrata alla preparazione del letto di semina, mentre risulta opportuno frazionare l'apporto di azoto in almeno 2 interventi, dei quali il primo alla semina ed il secondo non prima della emissione della 12^a – 15^a foglia.

Per quanto riguarda il fabbisogno idrico, si ricorda che il cardo manifesta una spiccata adattabilità al regime pluviometrico tipico degli ambienti a clima subarido-mediterraneo, per cui, il fabbisogno idrico, stimabile in circa 400-500 mm, è generalmente soddisfatto dalle piogge negli areali mediterranei. In ricerche effettuate nell'ambito progetto europeo "Cynara Network", è emerso che la produzione areica di biomassa varia, generalmente, entro valori di 15 t ha^{-1} di sostanza secca nell'anno di impianto (445 mm di pioggia) e 24,2 t ha^{-1} al secondo (646 mm). Tuttavia, al fine di anticipare la semina o il risveglio autunnale, massimizzando così l'accumulo di biomassa, ovvero per migliorare l'allegagione in annate particolarmente siccitose, possono risultare utili irrigazioni di soccorso che, al pari di molte altre colture da pieno campo, possono essere agevolmente effettuate mediante *travelling rainer*. L'irrigazione diventa un intervento ordinario negli ambienti in cui l'impianto della

coltura avviene in primavera, specialmente nel caso in cui sia previsto il ricorso al trapianto delle plantule.

A causa del lungo ciclo colturale (~ 9 mesi) il cardo, così come il carciofo, si trova a competere con un spettro di infestanti potenzialmente molto ampio, sia nel periodo autunno-vernino, che in quello primaverile. Tuttavia, se quest'ultimo non richiede, generalmente, particolari interventi, attesa l'elevata capacità competitiva acquisita dalla coltura (specialmente ai più alti investimenti unitari), la presenza di infestanti nel periodo autunno-vernino può compromettere la capacità produttiva della coltura, specialmente nell'anno di impianto. In questa fase, infatti, le piante, non disponendo di riserve accumulate e prontamente traslocabili dalla frazione ipogea, non sono in grado di esprimere elevati ritmi di accrescimento, per cui tendono a soffrire della competizione interspecifica. In questi casi, risulta utile il controllo della flora infestante, da realizzarsi nell'interfila mediante 1 o 2 sarchiature (prima del ricoprimento dell'interfilare da parte della coltura) o, nel caso in cui si vogliano minimizzare gli *input* energetici ed ottenere un controllo più prolungato nel tempo, mediante l'utilizzo di erbicidi ad azione residuale. In questo caso, efficaci risultano i trattamenti in post-emergenza con Chlorpropham (1,6 kg ha^{-1} di sostanza attiva) da solo o in miscela con Diquat (1,3 kg ha^{-1} di sostanza attiva) nel caso di infestanti già emerse. A partire dal secondo anno, la lotta alle infestanti diventa meno onerosa, attesa la capacità rinettante acquisita dalla coltura.

La raccolta del prodotto (foglie, fusti, capolini ed acheni) viene effettuata in estate, a disseccamento della biomassa epigea, cui corrisponde la maturazione fisiologica degli acheni, ma prima della disseminazione di questi ultimi. Per la raccolta della biomassa possono essere perseguite due strategie: una prima, prevede la raccolta integrale della biomassa, da realizzarsi con una barra falciatrice a 5-6 cm dal suolo, seguita da una rotoimballatrice; in questo caso, il prodotto raccolto è costituito da steli, capolini ed acheni, mentre le foglie, contaminate da particelle terrose, costituiscono lo scarto. Nel caso in cui si opti per una raccolta separata dei semi dal resto della biomassa, occorre una macchina combinata con organo di mietitura a barra alta e che permetta il contemporaneo sfalcio della biomassa.

La produzione areica di biomassa risulta alquanto variabile in rapporto a diversi fattori, tra i quali i più importanti sono certamente il genotipo, il regime termo-pluviometrico dell'areale di coltivazione ed il livello di *input* colturali. I vari contributi fino ad oggi hanno evidenziato produzioni areiche alquanto variabili, comprese fra 7 e 29 t ha^{-1} si sostanza secca, con punte di oltre 30 t ha^{-1}. Produzioni medie pari 13-14 t ha^{-1}, con punte di oltre 20 t ha^{-1} di sostanza secca sono tipiche degli areali dell'Italia centrale, mentre valori più elevati (oltre 24 t ha^{-1} di sostanza secca) sono frequentemente realizzati negli ambienti meridionali ed alle basse altitudini, in virtù del più favorevole decorso termometrico durante il periodo autunno-vernino (Tabella 1). Come in altre colture perenni da biomassa, la produzione areica risulta più bassa nell'anno di impianto, per poi crescere e stabilizzarsi negli anni successivi. Ciò deriva dalla tendenza della pianta a massimizzare, in una prima fase, l'accresci-

mento radicale e l'accumulo di sostanze di riserva, e ad aumentare solo in un secondo momento la produzione di biomassa epigea. In recenti prove di lungo periodo è emerso che la produzione di biomassa del cardo domestico risulta massima tra il 2° ed il 5° anno, per poi risultare significativamente più contenuta, ancorché stabile, tra il 6° e l'11° anno. Alla raccolta, la biomassa è costituita mediamente per il 42-55% da foglie, per il 10-28% da fusti, per il 26-30% da capolini (Tabella 2). Nell'ambito di questi ultimi, una frazione di rilevante interesse è costituita dagli acheni, attese le possibili applicazioni in ambito agri-energetico (produzione di bio-diesel) o farmaceutico (estrazione di anti-ossidanti). L'incidenza degli acheni sulla biomassa totale varia dall'8 al 10%, con produzioni areiche oscillanti entro 1,5 e 2,5 t ha^{-1}. Alla raccolta, il contenuto di umidità della biomassa risulta in media pari al 15-20%, generalmente tra il 7 e l'8% negli acheni.

Tabella 1 - Produzione areiche massime di biomassa lignocellulosica registrate in alcune località italiane.

	Coordinate	Altitudine (m s.l.m.)	Produzione areica minima (t ha^{-1})	Produzione areica massima (t ha^{-1})
Forlì	44°13' N, 12°02'E	34	17,5	24,6
Policoro	40°12' N, 16°40'E	25	7,5	15,6
Siracusa	37°27' N, 15°04' E	10	21,1	30,3
Enna	37°23' N, 14°21'E	550	7,8	24,8

Tabella 2 - Ripartizione della biomassa epigea.

Parte di pianta	Incidenza sul totale (%)
Foglie	42 – 55
Steli fiorali	10 – 28
Capolini (acheni esclusi)	26 – 30
Acheni	9 – 10

3. Utilizzazioni della biomassa

Tradizionalmente il cardo rappresenta una coltura da orto, utilizzata per il consumo dei carducci ('gobbi'), costituiti dalle grosse nervature e da parte delle lamine fogliari. Tuttavia, diversi contributi hanno messo in luce la possibilità di utilizzare la biomassa di cardo come bio-combustibile solido, attraverso processi di combustione diretta o pirolisi. Le caratteristiche che rendono interessante questa coltura sono l'elevata produzione di biomassa, a fronte di una richiesta relativamente limitata di *input* energeti-

ci. Quest'ultimo aspetto scaturisce dalla rusticità e dall'adattabilità della coltura alle condizioni climatiche dell'Europa meridionale, ciò che consente buone prestazioni in terreni marginali ed in condizioni di coltivazione in asciutto, cioè in areali che si prestano meno a produzioni di tipo tradizionale. In prove condotte in Sicilia, è emerso che la produzione di biomassa del cardo risulta non dissimile da quello del sorgo da biomassa e dal miscanthus coltivati nello stesso ambiente. Altre caratteristiche positive risiedono nella bassa umidità della biomassa, che consente di ottimizzare le fasi di trasporto e termo-conversione, nell'adeguata composizione in carboidrati strutturali e lignina, e nel buon potere calorifico inferiore. La biomassa, eccetto gli acheni, si caratterizza per un potere calorifico inferiore pari a 14-16 MJ kg^{-1} di sostanza secca (Tabella 3), di poco inferiore, quindi, rispetto alla biomassa di altre specie (arundo, miscanthus), dalle quali si distingue anche per un più basso contenuto di C ed H. Essa, tuttavia, si caratterizza per un alto contenuto in N (~1%), e soprattutto in ceneri (5-20%), in particolare SiO_2 (14,3%), CaO (17,7%) e K_2O (21,5%) (Tabella 4), con possibili problemi legati all'efficienza di trasferimento termico ed alla accelerata corrosione negli impianti di termo-conversione, la qual cosa ne suggerisce un utilizzo in miscela con biomasse lignocellulosiche di diversa origine.

Tabella 3 - Potere calorifico superiore ed inferiore (MJ kg^{-1} di sostanza secca) della biomassa di *Cynara cardunculus* a fine ciclo (da Fernández *et al*., 2006).

Parte di pianta	Potere calorifico superiore	Potere calorifico inferiore
Foglie basali	15,3	14,2
Foglie caulinari	17,1	15,9
Steli	17,6	16,4
Capolini (senza acheni)	17,2	16,0
Acheni	23,3	21,8
Biomassa totale	17,1	15,9

Gli acheni, per l'alto contenuto in sostanze oleiche (~25%), si caratterizzano per un maggiore potere calorifico inferiore (22-23 MJ kg^{-1}). Da essi, mediante processi di estrazione a freddo (20-25 °C), è possibile estrarre olio, destinabile all'alimentazione umana o alla produzione di biodiesel. Nella composizione chimica dell'olio di cardo, i triacilgliceroli rappresentano la frazione preponderante (Tabella 5), mentre ridotta è la presenza di fosfolipidi e glicolipidi. Le buone caratteristiche alimentari vengono assicurate da un alto contenuto di acido oleico e linoleico, in rapporto bilanciato, così come dalla bassa quantità di acidi liberi, perossidi, acido linolenico ed acidi grassi saturi e l'assenza di acido erucico. Nel complesso la qualità risulta intermedia fra l'olio di mais e girasole.

Tabella 4 - Composizione delle ceneri della biomassa in cardo domestico (% sostanza secca) (da Angelini *et al*., 2009).

Composto	Quantità
SiO_2	14,5
Al_2O_3	2,9
Fe_2O_3	1,1
CaO	17,7
MgO	2,7
Na_2O	10
K_2O	21,5
P_2O_5	6,3
SO_3	3,0

Tabella 5 - Principali caratteristiche dell'olio in due cultivar di cardo domestico (da Maccarone *et al*., 1999).

	Gigante di Lucca	*Bianco avorio*
Acidità (% acido oleico)	1,05	0,80
N. di perossidi (meq O_2 kg^{-1})	4,3	2,5
Frazione insaponificabile (%)	3,0	2,3
Acido palmitico (g 100 g^{-1})	11,30	10,30
Acido stearico (g 100 g^{-1})	3,10	2,80
Acido oleico (g 100 g^{-1})	28,25	21,80
Acido linoleico (g 100 g^{-1})	55,25	62,75

Il biodiesel prodotto dall'olio di cardo presenta buone caratteristiche tecniche, tra cui si ricordano: alto punto di infiammabilità (182-184 °C), alto numero di cetano (59-66), basso valore allo iodio (109-117), e bassi residui in fosforo (<5) e zolfo (<0.02) (Tabella 6).

Tabella 6 - Alcune caratteristiche del biodiesel prodotto da olio di cardo, mediante processo di transesterificazione in etanolo e metanolo (da Fernández *et al*., 2006).

Parametro	Transesterificazione		Requisiti EN – 14214
	Etanolo	Metanolo	
Densità a 15 °C (g cm^{-3})	0,8794	0,8890	0,86 – 0,90
Viscosità a 40 °C (mm^2 s^{-1})	4,479	5,101	3,5 – 5
Punto di infiammabilità (°C)	184	182	>101
Cloud point (°C)	-5	-4	-
Numero di cetano	66	59	>51
C residuo (%, m/m)	0,28	0,36	<0,3
Valore allo iodio	109	117	<120
Fosforo (mg kg^{-1})	<5	<5	<10
Zolfo (%, m/m)	<0,02	<0,02	<0,02

Bibliografia

Angelini L.G., Ceccarini L., Nassi o Di Nasso N., Bonari E. Long-term evaluation of biomass production and quality of two cardoon (*Cynara cardunculus* L.) cultivars for energy use. Biomass and Bioenergy 2009; 33: 810-816.

Fernández J., Curt M.D., Aguado P.L. Industrial applications of *Cynara cardunculus* L. for energy and other uses. Industrial Crops and Products 2006; 24: 222-229.

Fernández J., Hidalgo M., del Monte J.P., Curt M.D. *Cynara cardunculus* L. as a perennial crop for non-irrigated lands: yields and applications. Acta Horticulturae 2005; 681: 109-115.

Foti S., Mauromicale G., Raccuia S.A., Fallico B., Fanella F., Maccarrone E. Possible alternative utilization of *Cynara* spp. I. Biomass, grain yield and chemical composition of the grain. Industrial Crops and Products 1999; 10: 219-228.

Gominho J., Lourenço A., Palma P., Lourenço M.E., Curt M.D., Fernández J., Pereira H.Large scale cultivation of *Cynara cardunculus* L. for biomass. Industrial Crops and Products 2011; 33: 1-6.

Gonzalez J., Perez F., Fernández J., Lezaun J.A., Rodriguez D., Perea F., Romero C., Ochoa M.J., Garcia M. Study of *Cynara cardunculus* L. lignocellulosic biomass production in dry conditions. Acta Horticulturae 2004; 660: 221-227.

Grammelis P., Malliopoulou A., Basinas P., Danalatos N.G. Cultivation and characterization of *Cynara cardunculus* for solid biofuels production in the Mediterranean Region. International Journal of Molecular Sciences 2008; 9: 1241-1258.

Ierna A. Mauromicale G. *Cynara cardunculus* L. genotypes as a crop for energy purposes in a Mediterranean environment. Biomass and Bioenergy 2010; 34: 754-760.

Maccarrone E., Fallico B., Fanella F., Mauromicale G., Raccuia S.A., Foti S. Possible alternative utilization of *Cynara* spp. II. Chemical characterization of their grain oil. Industrial Crops and Products 1999; 10: 229-237.

Mantineo M., D'Agosta G.M., Copani V., Patanè C., Cosentino S.L. Biomass yield and energy balance of three perennial crops for energy use in the semi-arid Mediterranean environment. Field Crops Research 2009; 114: 204-213.

Piscioneri I., Sharma N., Baviello G., Orlandini S. Promising industrial energy crop, *Cynara cardunculus*: a potential source for biomass production and alternative energy. Energy Conversion and Management 2000; 41: 1091-1105.

c - La propagazione agamica della canna comune (*Arundo donax* L.)

*Agamic propagation of giant reed (*Arundo donax *L.)*

Salvatore Cosentino*, Venera Copani*
Enrico Ceotto, Mario Di Candilo****

Riassunto

La canna comune (*Arundo donax* L.), specie spontanea largamente diffusa in tutto il bacino del Mediterraneo, è stata indicata come una delle più promettenti per la produzione di bioenergia e pasta di cellulosa per gli ambienti dell'Europa meridionale. A causa della sterilità fiorale la propagazione può avvenire per via agamica mediante porzioni di rizoma o talee di culmo. Nell'ambito del progetto SUSCACE del MIPAF sono state realizzate prove sperimentali di pieno campo per studiare l'influenza della tecnica colturale, con particolare riferimento alla propagazione agamica, sull'insediamento e la produzione di questa specie. Le prove sono state condotte nel Nord Italia (Pianura Padana) e nel Sud (Sicilia) tra il 2009 e il 2011.

Relativamente alle prove effettuate nella Pianura Padana, vengono riferiti i risultati di una prova in pieno campo di confronto fra differenti tecniche di propagazione basate sull'impiego di rizomi, piantine micropropagate e talee di culmo diversamente interrate. I dati ottenuti indicano che la propagazione per rizoma nel primo anno di vita del canneto permette di ottenere canne più alte, di maggior diametro e peso rispetto a quelle prodotte con gli altri metodi; tuttavia, l'impiego di talee di culmo interrate orizzontalmente in doppia fila, determina ottimi risultati in termini di fittezza e regolarità di emissione di nuovi culmi, configurandosi come una valida alternativa all'uso dei rizomi e delle piantine micropropagate a condizione che vengano meccanizzate le operazioni di raccolta e sezionamento dei culmi, nonché l'interramento delle talee.

* Dipartimento di Scienze delle Produzioni Agrarie e Alimentari (DISPA), Università degli Studi di Catania.
** CRA-CIN, Centro di Ricerca per le Colture Industriali, Bologna.

Le ricerche realizzate in Sicilia confermano la superiorità del rizoma in termini di produttività nella prima stagione di crescita e migliore insediamento in condizioni di ridotta disponibilità idrica nell'anno di impianto del canneto, mentre la talea di culmo presenta un miglior indice di attecchimento nel caso di trapianto autunnale. La produttività dell'impianto da talea di culmo, più ridotta nel primo e nel secondo anno rispetto all'impianto da rizoma, eguaglia quest'ultimo nel terzo anno. Negli ambienti meridionali il trapianto effettuato a marzo determina, indipendentemente dall'organo di propagazione utilizzato, i migliori risultati in termini di nuovi culmi differenziati e biomassa prodotta.

Parole chiave: *Arundo donax* L., coltura da biomassa per energia, rizoma, talea di culmo, insediamento della coltura, produzione di biomassa.

Abstract

*The giant reed (*Arundo donax *L.), a wild plant widespread in Mediterranean regions, has been indicated as one of the most promising crop for bioenergy and cellulose pulp production for Southern Europe areas. Because of its floral sterility the propagation of this plant has to be done by rhizome or stem cuttings. In the framework of MIPAF-SUSCACE project, in order to investigate the influence of crop management, with particular emphasis to propagation systems, on plant growth, establishing and yield, researches were carried out in two different environments: Padana Plain and Southern Italy (Sicily), since 2009 to 2011.*

Results of Padana Plain field experiments where several propagation methods were compared, including rhizomes, micropropagated plants and stem cuttings (vertically and horizontally placed in the furrows) indicate that rhizome propagation allows to obtain, at the end of the first year, tallest plants with larger stem diameter and higher biomass productivity compare to the other methods. However, stem cuttings of one meter length, laid down horizontally, provided also excellent results in terms of plant density and plant establishment.

The trials carried out in Southern Italy (Sicily) confirm the best performance of rhizomes in comparison with stem cuttings in terms of the first growing season productivity and a better establishment in rainfed or reduced water availability conditions. Stem cutting showed a good establishment rather than the rhizome when transplanted in autumn. The yields of plants derived from stem cuttings are lower in the first and second year compared to rhizome derived plants, but in the third year the two yields are similar. In the South of Italy the transplant in March gave a better performance in terms of sprouted stems and yield.

Keywords: Arundo donax *L., biomass energy crop, rhizome, stem cutting, crop establishment, yield.*

La produzione di energia da fonti rinnovabili reperite all'interno dei confini nazionali è diventata negli ultimi anni una priorità dei Paesi dell'Unione Europea, la cui dipendenza dalle fonti convenzionali, petrolio e gas naturale, è stata messa in evidenza già da tempo (Commission of the European Communities, 1997). Una delle strategie perseguite è quella di produrre energia termica da colture dedicate. La canna comune (*Arundo donax* L.) (Fig. 1) è stata indicata come una delle più promettenti per la produzione di energia e pasta di cellulosa per gli ambienti dell'Europa meridionale (Lunnan, 1997; Anatoly *et al.*, 2002; Lewandowski *et al.*, 2003) grazie ad alcune caratteristiche molto interessanti: erbacea perenne, di facile adattamento ad ambienti alquanto diversi (Christou, 2001; Cosentino *et al.*, 2005), elevata produzione di biomassa, ridotte esigenze di input colturali (Cosentino *et al.*, 2005). La canna comune appartiene alla famiglia delle *Poaceae,* sottofamiglia *Arundinoideae*; si ritiene sia originaria dell'Asia, ed oggi diffusa in tutto il mondo, particolarmente nei paesi del bacino del Mediterraneo. Predilige temperature elevate, si adatta a suoli di varia natura e riesce a vegetare per lunghi periodi in condizioni estreme di contenuto idrico del terreno, dalle più aride alle più umide. Da tempo immemorabile è utilizzata in Asia, Sud Europa, Nord Africa e Medio Oriente, è stata introdotta nel Nord e Sud America ed in Australia nel XIX secolo (Perdue, 1958, Zohary, 1962). Trova tutt'ora impiego come tutore, per la produzione di panieri, ceste e strumenti musicali. L'utilizzazione industriale di questa pianta è stata avviata per la prima volta nell'Italia settentrionale tra il 1935 ed il 1964 dalla Snia-Viscosa che brevettò un procedimento per la produzione di rayon viscosa e carta a partire da pasta di cellulosa ricavata dal culmo della pianta (Facchini, 1941).

Figura 1 – Canneto (Foto DISPA).

La canna comune è una specie perenne, di statura elevata, a ciclo fotosintetico C-3. I culmi si sviluppano da grossi rizomi sotterranei durante la primavera e l'estate. Le infiorescenze compaiono tra agosto e novembre ma non tutti i culmi fioriscono lo stesso anno.

In condizioni ottimali di disponibilità idrica del terreno la potenzialità produttiva della specie è notevole, superiore alle 100 t ha^{-1} di sostanza fresca. In numerose prove condotte nell'Europa meridionale la produzione di sostanza secca si è attestata sulle 30 t ha^{-1} con punte superiori a 40 t ha^{-1}, (Cosentino *et. al.*, 2005). Con riferimento alle esigenze idriche della coltura, le prove sperimentali condotte a Catania dal 1997 al 2000 indicano che in assenza di irrigazione la produzione di biomassa si

aggira intorno a 10-15 t ha^{-1} di sostanza secca mentre con volumi idrici intorno a 350 mm si possono raggiungere produzioni di 30-35 t ha^{-1}; apporti idrici superiori non comportano ulteriori incrementi di produzione. La risposta della coltura alla concimazione azotata è debole, non sono state osservate, infatti, differenze di produzione con dosi di concime azotato da 60 a 120 kg ha^{-1}.

A causa della sterilità che caratterizza la specie al di fuori del suo areale di origine (Polunin and Huxley, 1987) (Fig. 2), la propagazione avviene usualmente per via asessuata attraverso porzioni di rizoma o di culmo.

Ai fini della coltivazione di questa specie uno degli aspetti che attualmente richiede maggiore impegno è quello relativo alle modalità di impianto del canneto: per mezzo di rizomi (tratti provvisti di più gemme principali o solo di una o di gemme latenti), di tratti di culmo (con pochi o molti nodi, interrati verticalmente o orizzontalmente) o del culmo intero, per mezzo di piante micropropagate, utilizzando ormoni radicanti ecc.

Il rizoma

Il rizoma è un fusto strisciante che cresce appena al di sotto della superficie del terreno, ramificato, distinto in nodi ed internodi, provvisto di gemme apicali che provvedono al prolungamento del rizoma e alla emersione dal suolo di fusti (Fig. 3). Una porzione di rizoma di *Arundo donax* è costituita, tipicamente, da una serie di nodi (tratti di prolungamento), da una gemma principale, da due secondarie, più piccole, poco al di sotto, e da altre gemme che normalmente sono destinate a prolungare e

Figura 2 - Semi di canna comune sterili (Foto CRA-CIN).

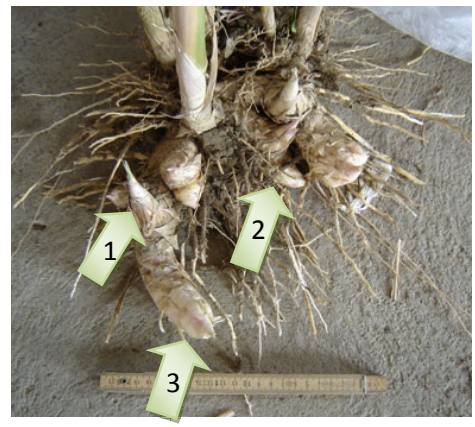


Figura 3 - Rizoma neoformato. Sono presenti gemme principali (1), gemme secondarie (2), gemme di prolungamento (3) (Foto DISPA).

ramificare il rizoma (gemme di prolungamento) (Fig. 3) (Onofry, 1940). Alla ripresa vegetativa primaverile dalla gemma principale si sviluppa un germoglio che origina una canna. Le gemme secondarie, accrescendosi e distanziandosi da quella principa-

le danno origine alle canne che si svilupperanno nel corso dell'estate. Le gemme di prolungamento si allungano e divergono dalle secondarie e differenziano alla fine di questo processo nuove gemme delle tre tipologie appena descritte. Con questo andamento il rizoma avanza e colonizza lo spazio disponibile, mentre la parte retrostante invecchia e muore.

La talea di culmo

Il culmo della canna comune si sviluppa da una gemma del rizoma, può raggiungere i 500 cm di altezza; è suddiviso in nodi (da 30 a 40) ed internodi, di lunghezza variabile; i nodi portano gemme da cui, a maturità e in opportune condizioni (interrati e mantenuti in condizioni di umidità elevata) sviluppano radici e germogli (Fig. 4).

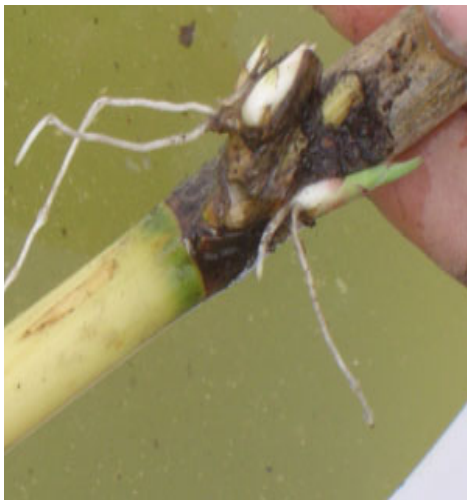


Figura 4 – Nodo del culmo da cui si sono sviluppati germogli e radici (Foto DISPA).

Criteri di scelta

L'utilizzo di rizomi assicura un elevato indice di attecchimento (Copani *et al*, 2003), ma il loro impiego risulta oneroso e di difficile attuazione su vasta scala, mentre il ricorso alle talee di culmo potrebbe rivelarsi più agevole e meno costoso. In ogni caso, la possibile introduzione in coltura di questa specie ha reso necessario verificare l'influenza della tipologia dell'organo di propagazione impiegato e delle sue caratteristiche (dimensione, posizione, età) sulla capacità radicante, sui tempi e modalità di radicazione, sulla produzione di biomassa.

Un punto chiave nell'ambiente semi-arido mediterraneo è rappresentato dal contenuto di acqua nel suolo al momento del trapianto che deve assicurare un buon rifornimento idrico agli organi di propagazione ai fini di un regolare insediamento. Nel periodo autunno-primaverile il contenuto idrico nel suolo è generalmente soddisfacente, ma le basse temperature potrebbero pregiudicare il successo dell'impianto. È perciò necessario trovare la giusta combinazione tra livelli termici e disponibilità idrica nel suolo.

In Italia, grazie ai programmi di ricerca promossi dal MIPAAF (BIOENERGIE, SuSCACE) e a quelli finanziati dalla Comunità Europea ["*Giant Reed (Arundo donax* L.*) Network Improvement Productivity and biomass Quality*" (FAIR3 CT96 2028)] è stata realizzata una vasta sperimentazione in diversi ambienti sia al Nord (Pianura Padana) che al Sud (Sicilia) sulle problematiche prima indicate (Copani *et al.*, 2008; Copani *et al.*, 2009; Copani *et al.*, 2010; Cosentino *et al.*, 2003; Cosentino *et al.*, 2006).

Si riportano in questa nota alcune delle esperienze più significative realizzate nei suddetti ambienti.

Studi sulla propagazione della canna comune condotti nella Pianura Padana

Propagazione per talea di culmo: la scelta del materiale più idoneo.
La propagazione della canna comune mediante talea di culmo può essere effettuata con successo utilizzando le ramificazioni (rametti) che compaiono sui culmi alla fine del primo anno di crescita e nel secondo anno. Il periodo più adatto alla propagazione per talea di culmo nell'Italia Settentrionale si colloca nei mesi più caldi dell'anno, da maggio a settembre. La radicazione avviene prontamente a condizione che queste talee vengano tenute immerse in acqua per un periodo di circa 30-40 giorni.

Le canne di secondo anno che nella parte apicale portano queste 'ramificazioni', a causa del peso crescente dei fusti secondari presenti in numero di 2-3 per nodo, tendono a reclinare durante l'estate, in questo modo il contatto con il suolo umido dei fossi e delle aree ripariali dove i canneti normalmente trovano il loro habitat ideale, è facilitato. È probabile che per questi meccanismi i fusti secondari giochino un ruolo importante nella diffusione della specie lungo i corsi d'acqua.

Figura 5 - Dopo 30-40 giorni di immersione in acqua dai culmi secondari si sviluppa un robusto apparato radicale (Foto CRA-CIN).

Figura 6a - La radicazione dei culmi secondari di canna comune in contenitori alveolari avviene senza difficoltà a prescindere dal substrato utilizzato. A sinistra radicazione in acqua, al centro terriccio di alta qualità, a destra suolo limo-argilloso (Foto CRA-CIN).

Nella figura 5 che mostra la parte apicale di un culmo, sono ben visibili i nodi da cui si originano ramificazioni (rametti o culmi di secondo ordine). Questi culmi secondari, se immersi in acqua per 30-40 giorni durante il periodo più caldo dell'anno (giugno-settembre) emettono radici molto vigorose. Le talee così costituite possono essere trapiantate quindi in substrati di qualunque tipo, a condizione che sia assicurato un costante rifornimento idrico (Fig. 6a). È importante sottolineare che i culmi di un anno (culmi primari), se immersi in acqua, sono anch'essi in grado di emettere

radici in corrispondenza dei nodi, ma ciò avviene in modo molto irregolare e soprattutto con minor vigore rispetto a quanto si verifica per i culmi secondari (Fig. 6b).

Figura 6b - Particolare della radicazione di culmi di primo anno immersi in acqua per un periodo di 30-40 giorni. Si può notare come questa sia molto modesta e poco uniforme (Foto CRA-CIN).

Come mostrano bene le foto, la produzione di talee di culmo radicate a partire da rametti appare di facile realizzazione, ed indica che riprodurre la canna comune su piccola scala è tecnicamente semplice. Il problema diventa più complesso quando si tratta di operare su larga scala, dal momento che la metodologia impiegata richiede un elevato impiego di manodopera per la raccolta e la selezione del materiale di propagazione prima e per il trapianto in campo successivamente.

Un esperimento di confronto tra metodi di propagazione condotto dal CRA-CIN

Materiali e metodi

La prova sperimentale è stata avviata tra aprile e giugno 2009 presso l'Azienda sperimentale "Cà Rossa" del CRA-CIN, ad Anzola dell'Emilia (Bologna), nella bassa Pianura Padana (Lat. 44°32N, Long. 11°80'E, 38 m slm, piovosità media annua 600 mm), su terreno franco-limoso (Udifluventic Haplustepts fine silty, mixed mesic (Soil Survey Staff, 2003). È stato utilizzato un ecotipo locale, denominato "Budrio".

Sono stati messi a confronto le seguenti 10 tesi:

- TCS e TCD - talee di culmo di un metro di lunghezza, prelevate all'inizio di giugno da culmi del secondo anno, interrate orizzontalmente in fila continua singola e doppia;
- TM1, TM2 e TM3 - talee mediane di culmo con uno, due e tre nodi rispettivamente, interrate verticalmente;
- TA1, TA2 e TA3 - talee apicali di culmo con uno, due e tre nodi rispettivamente, interrate verticalmente;

- PM - piantine micropropagate;
- T (testimone) - rizomi con tre gemme pronte (principali e secondarie).

Il terreno destinato alla prova è stato approntato eseguendo l'aratura a fine estate, una fresatura in autunno, previa concimazione fosfatica (60 kg ha^{-1} di P_2O_5) ed una erpicatura in primavera.

Per i rizomi, le piantine micropropagate e le talee di culmo trapiantate verticalmente è stata utilizzata una densità d'impianto di 1,6 piante m^{-2} (distanza di m 0.80 fra le file e sulla fila). Le talee di culmo interrate orizzontalmente alla profondità di 15 cm circa sono state disposte in file singole e doppie distanziate di 0.80 m (Fig. 7).

I tratti di culmo con ramificazioni laterali sono stati prelevati il 9 giugno da canne di secondo anno ed interrati lo stesso giorno. I rizomi sono stati espiantati all'inizio di aprile, opportunamente sezionati e trapiantati il 10 aprile (Fig. 8). Le piantine micropropagate (Fig. 9) sono state trapiantate il 5 giugno.

Figura 7 - Operazioni di posa e di copertura delle talee di culmo nei solchi (9 giugno 2009) (Foto CRA-CIN).

Figura 8 - Rizoma con tre gemme principali (Foto DISPA).

Figura 9 - Piantine micropropagate prodotte a partire dall'ecotipo locale (Foto CRA-CIN).

Le tesi a confronto sono state distribuite in campo secondo uno schema a blocco randomizzato con tre ripetizioni e parcelle di 16 m^2. Al fine di favorire la radicazione e l'insediamento della coltura, subito dopo il trapianto e, successivamente, con un turno di circa 10 giorni sono stati effettuati 7 irrigazioni (volume stagionale di irrigazione pari a 245 mm). In copertura sono stati somministrati 60 kg ha^{-1} di azoto, sotto forma di urea. Le infestanti sono state rimosse manualmente.

La raccolta della biomassa prodotta è stata effettuata nel corso dell'inverno 2010. In occasione di tale intervento sono stati rilevati i seguenti caratteri: i) numero di culmi presenti; ii) distribuzione spaziale dei culmi nella parcella; iii) altezza e diametro basale dei culmi; iv) produzione di biomassa fresca; v) contenuto di umidità alla raccolta; e vi) resa areica in sostanza secca.

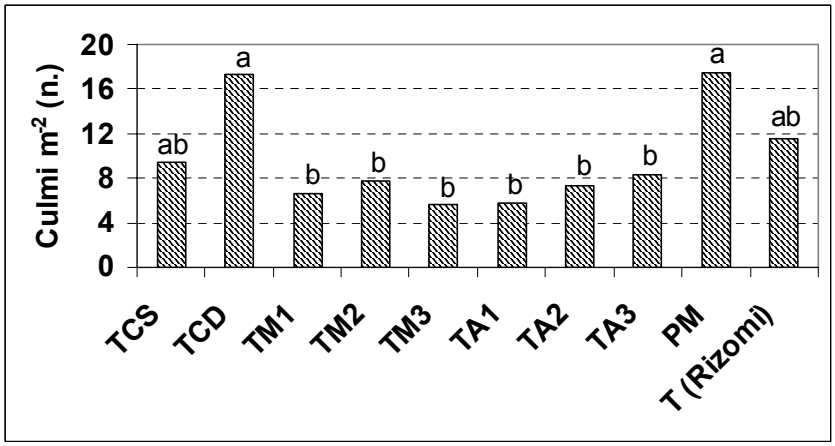


Figura 10 - Densità d'investimento al termine del primo anno di coltivazione. Istogrammi non aventi lettere in comune differiscono significativamente per P=0.05.

Risultati e discussione

Nella figura 10 sono riportate le densità d'investimento in relazione alle tesi allo studio. I valori più elevati (17 culmi m^{-2}) sono stati rilevati per le tesi piantine micropropagate e talee di culmo interrate orizzontalmente in doppia fila. Densità significativamente inferiori sono state ottenute con gli altri metodi (6-8 culmi m^{-2}). Il testimone rappresentato dai rizomi e le talee interrate orizzontalmente in fila singola hanno evidenziato densità intermedie. Considerato che un canneto ha una durata non inferiore ai 15-20 anni e che la densità dei culmi cresce sensibilmente nel secondo e terzo anno di vita della coltivazione, un investimento iniziale di 6-8 culmi m^{-2} potrebbe essere ritenuto già sufficiente, a condizione però che gli stessi abbiano una buona distribuzione spaziale. In realtà, come si può osservare nella figura 11, le tesi allo studio si sono sensibilmente differenziate al riguardo. La propagazione per rizomi, come atteso, ha dato luogo ad una distribuzione molto uniforme; ottimo anche

il risultato fornito dalle talee di culmo interrate orizzontalmente in fila doppia. Le piantine micropropagate, pur avendo determinato una elevata densità di nuovi culmi m^{-2} (grazie ad un elevato accestimento), hanno presentato una distribuzione irregolare in due casi su tre. Le talee di culmo interrate verticalmente hanno dato luogo a fallanze e quindi ad una maggiore diffusione di infestanti (Figura 12). Le talee di culmo interrate orizzontalmente in doppia fila hanno determinato una densità di impianto molto regolare ed una limitata presenza di infestanti (Figura 13).

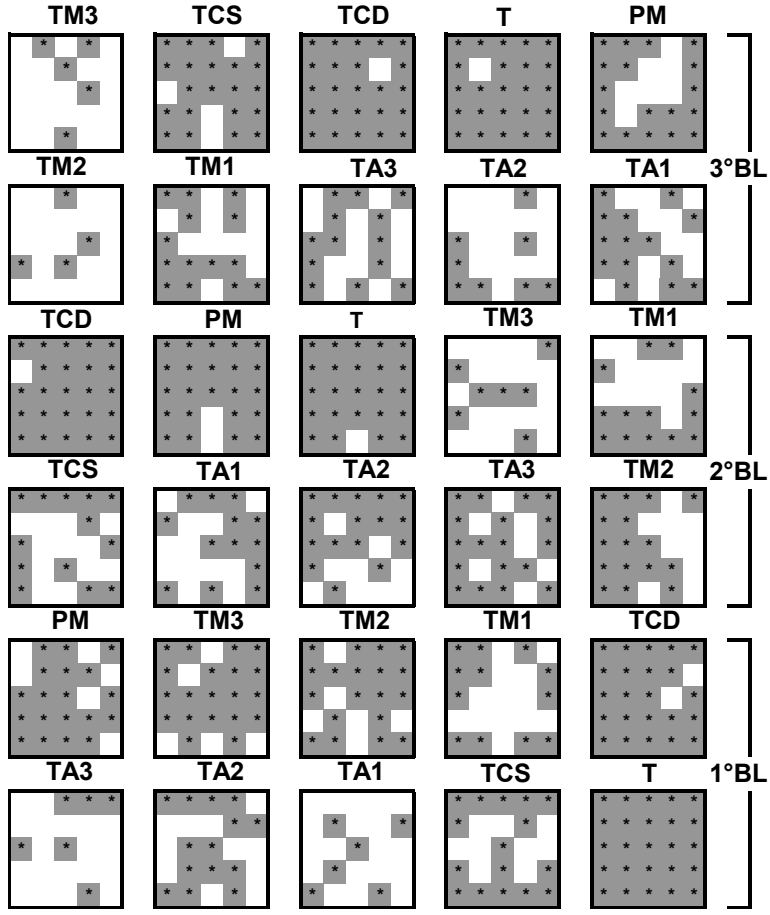


Figura 11 - Distribuzione spaziale dei nuovi culmi emessi in relazione alle tesi allo studio. L'arundo è presente nella aree grigie, e non in quelle bianche.

I culmi derivanti dal trapianto dei rizomi si sono differenziati nettamente da tutti gli altri per la maggiore dimensione: altezza pari a 300 cm e diametro di 16 mm, contro valori medi delle altre tesi di 125 cm e 9.4 mm rispettivamente (Figure 14 e 15). Differenze significative sono emerse anche per il numero di nodi del culmo, sensibilmente più elevati nel testimone (+72%, in media). La migliore performance della

propagazione per rizomi rispetto alle altre metodologie di propagazione, in termini di velocità di attecchimento, emergenza e sviluppo dei culmi è stata determinata, molto verosimilmente, dalle sostanze nutritive di riserva presenti nel rizoma stesso e rese disponibili per lo sviluppo dei nuovi culmi.

Figura 12 - Il trapianto di talee di culmo interrate verticalmente ha determinato un insediamento irregolare con spazi vuoti occupati dalle infestanti (Foto CRA-CIN).

Figura 13 - Il trapianto di talee di culmo interrate orizzontalmente in doppia fila ha determinato una elevata regolarità di attecchimento che ha permesso di contenere lo sviluppo delle erbe infestanti (Foto CRA-CIN).

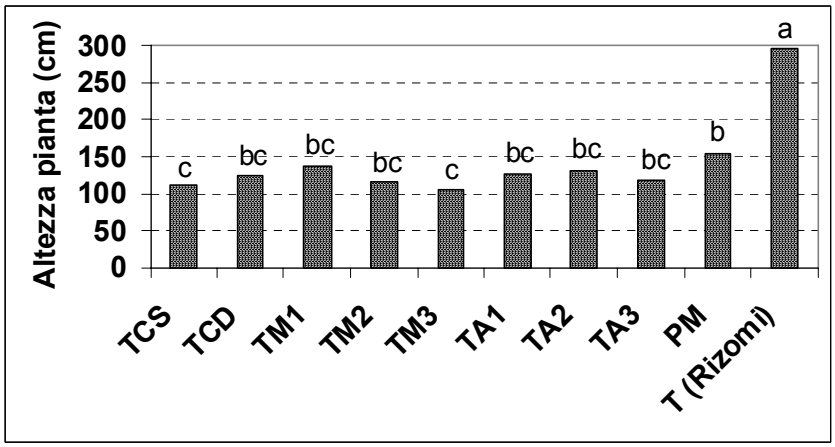


Figura 14 - Altezza dei culmi alla fine della prima stagione di crescita. Lettere diverse indicano differenze significative per P=0.05.

Le tecniche di propagazione hanno influenzato, conseguentemente, anche la produzione di biomassa (Tabella 1). L'impianto con rizomi ha determinato una produzione di biomassa fresca pari a 38.3 t ha^{-1}, contro una media di 9.8 t ha^{-1} delle altre tesi. La biomassa derivante da rizomi e quella ottenuta da piante micropropagate presentava, inoltre, un contenuto di umidità inferiore di circa cinque punti percentuali rispetto a quella derivante dalle altre tesi allo studio (Tab. 1). Pertanto, la biomassa secca prodotta dal canneto di primo anno impiantato con rizomi è stata pari a 17 t ha^{-1},

più del doppio di quella delle piante micropropagate, tre volte superiore rispetto a quella dell'impianto con talee di culmo interrate orizzontalmente in doppia fila (Tesi TCD), e 6 volte superiore alla resa media delle altre tesi. Va ricordato, in ogni caso, che la produzione della canna comune, alla stregua di altre erbacee perenni, cresce notevolmente negli anni successivi a quello d'impianto, in particolare nel secondo e nel terzo anno.

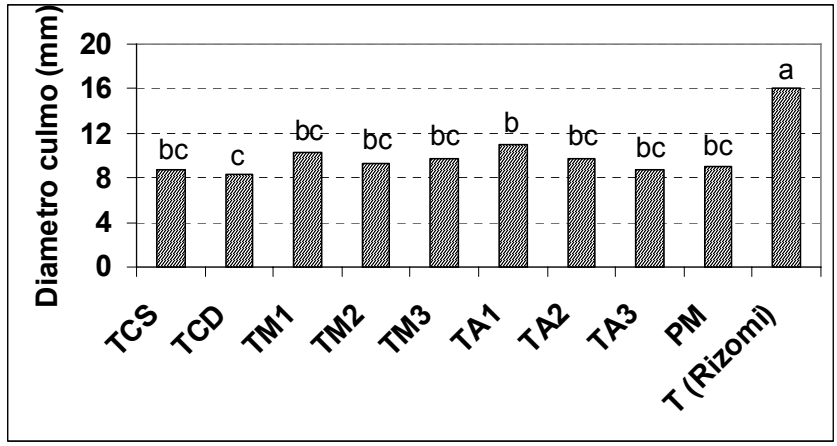


Figura 15 - Diametro basale dei culmi al termine del primo anno del canneto. Lettere diverse indicano differenze significative per P=0.05.

Tabella 1 - Produzione e umidità della biomassa allo sfalcio e resa in sostanza secca nel 1° anno. I valori non aventi lettere in comune differiscono significativamente per P=0.05.

Tesi	Biomassa fresca (t ha^{-1})	Umidità %	Sostanza secca (t ha^{-1})
TCS	9.0 bd	62.0 a	3.4 cd
TCD	15.5 bc	61.7 a	5.8 bc
TM1	9.0 bd	61.0 a	3.5 cd
TM2	7.4 bd	61.4 a	2.9 cd
TM3	5.0 d	62.0 a	2.0 d
TA1	7.0 cd	62.5 a	2.6 cd
TA2	7.7 bd	62.2 a	2.9 cd
TA3	9.9 bd	63.9 a	3.5 cd
PM	17.3 b	56.6 b	7.5 b
T (Rizomi)	38.3 a	55.7 b	17.0 a
Media	12.7	60.9	5.1

La tecnica di propagazione basata sull'impiego di talee di culmo interrate orizzontalmente in doppia fila, ha permesso di conseguire l'ottimo risultato della regolarità

di emergenza delle nuove canne e quindi della uniforme copertura del suolo (Figura 16 e 17) per cui essa può rappresentare una valida alternativa all'impiego dei rizomi e delle piantine micropropagate (Ceotto e Di Candilo, 2010 a e b).

Figura 16 - Regolarità dell'emergenza nella tesi che prevedeva l'impiego di talee di culmo interrate orizzontalmente in doppia fila ed irrigate (Foto CRA-CIN).

Figura 17 - Lo stesso canneto della figura precedente all'inizio di settembre. Si noti l'ottima densità ed uniformità di investimento (Foto CRA-CIN).

L'impianto del canneto con talee di culmo, risulta meno oneroso rispetto alla tecnica basata sull'impiego dei rizomi. In termini economici, l'impiego delle talee di culmo dovrebbe essere meno oneroso rispetto ai rizomi e alle piantine micropropagate, a condizione che vengano meccanizzate le operazioni di raccolta, selezione e sezionamento dei culmi, nonché quelle di trapianto.

Studi sulla propagazione della canna comune condotti in Sicilia

La propagazione agamica: rizomi vs talee di culmo

Una prova triennale (2007-2010) realizzata a Catania (Progetto MIPAAF "Bionergie") (Cosentino *et al.*, 2010) su terreno alluvionale, ha posto a confronto rizomi e talee di culmo prelevati dal clone siciliano "Fondachello" e trapiantati in primavera (Aprile). Per ciascuno degli organi di propagazione sono stati previsti 4 trattamenti: nel caso del rizoma sono state utilizzate porzioni con tre gemme principali (R3), con una gemma pronta (R1), tratti di 10 cm con gemme latenti (T10), tratti di 5 cm con gemme latenti (T5). Nel caso del culmo sono stati impiegati culmi interi (Ci) e tratti della lunghezza di 100 cm della regione basale (Cb), mediana (Cm) e apicale (Ca) del culmo, posti in doppio nel solco, con circa 12-13 nodi. Dopo il trapianto e nel corso dell'estate del primo anno è stato somministrato un volume idrico pari a 240 mm; nessuna irrigazione né altro intervento colturale oltre al contenimento delle infestanti è stato effettuato negli anni successivi. Alla fine della prima stagione di crescita (novembre 2007) il numero medio dei culmi emessi nell'impianto da rizomi era di 5,6 culmi m^{-2} con differenze tra i trattamenti (dimensione del rizoma) poco signi-

ficative. L'emissione di nuove canne da talee di culmo è risultata, alla stessa data, più ridotta: 4,3 culmi m^{-2}, con differenze tra i trattamenti (tratto di culmo) di scarsa entità. Nel triennio la produttività del canneto è cresciuta in misura esponenziale, soprattutto tra il secondo e il terzo anno (Fig. 18). La biomassa secca è passata, da 2.6 a 31,3 t ha^{-1} nel caso di impiego di rizomi e da 0,4 a 27,8 t ha^{-1} nel caso di impiego di talee di culmo (Fig. 18). Nei primi due anni la produttività media del canneto derivante da rizomi ha superato quella del canneto derivante da talee di culmo, ma al terzo anno è stato osservato un sostanziale livellamento.

L'impiego di rizomi con tre gemme pronte ha fatto accertare, sempre nel triennio, una significativa superiorità produttiva (21,5 t ha^{-1} di s.s. in media, con una massimo assoluto di 43,7 t ha^{-1} s.s. nel terzo anno) rispetto alle altre tipologie di tratti di rizoma. Nell'ambito delle talee di culmo non sono state osservate, per contro, differenze significative in relazione all'area di provenienza dei tratti (11,5 t ha-1 s.s. in media).

Con riferimento ai massimi valori produttivi raggiunti nel terzo anno, le tesi relative al culmo non si sono discostate sostanzialmente dai trattamenti T10 e T5 relativi al rizoma, eccezion fatta per la tesi R3 che ha richiesto, tuttavia, l'impiego di porzioni di rizoma di elevate dimensioni.

L'utilizzo dei tratti di culmo è risultata, pertanto, abbastanza soddisfacente indipendentemente dal tratto utilizzato (basale, mediano, apicale); dopo i primi due anni la produttività rilevata è stata di entità paragonabile a quella osservata utilizzando tratti di rizoma di ridotte dimensioni (T10 e T5).

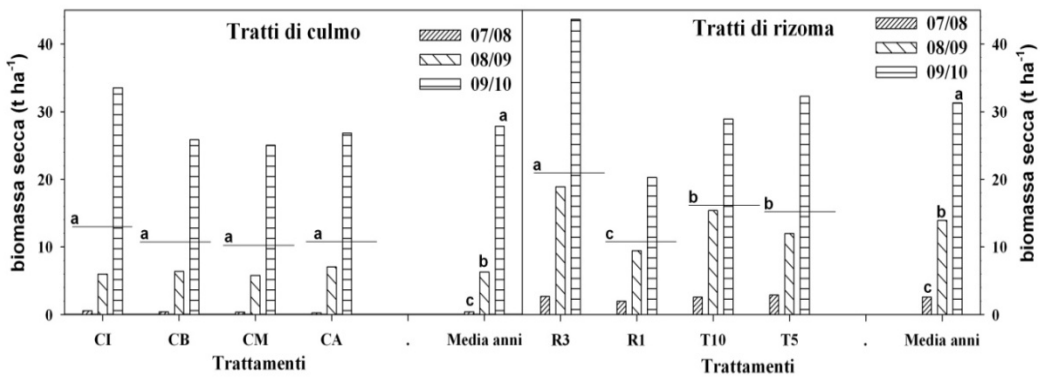


Figura 18 - Produzione di biomassa secca nel triennio in relazione ai trattamenti allo studio. Per ciascun tipo di organo di propagazione, lettere diverse indicano significatività tra i trattamenti per $p \leq 0,05$ per le medie del triennio.

Un esperimento simile è stato realizzato sempre a Catania nel biennio 2009-2011 (Copani *et al.*, 2011); in questo caso le diverse tipologie di talee di culmo (porzioni del culmo provenienti dal tratto basale - BS, mediano - MS, apicale – AS, e tratti misti delle tre aree – XS), della lunghezza di circa 100 cm, posti in doppio nel solco e, come nel precedente caso prelevati dal clone "Fondachello", sono stati trapiantati in primavera (Aprile 2009) per verificare il comportamento dei due organi di propaga-

zione in relazione alla disponibilità idrica del suolo. Questa è stata differenziata solo il primo anno, prevedendo l'irrigazione per tutto il periodo estivo (267,5 mm), tesi "irrigata" o solo al trapianto (17,5 mm), tesi "asciutta". I risultati ottenuti hanno confermato quanto emerso nella prova precedente: nel primo biennio la produzione di biomassa nell'impianto realizzato a partire da rizomi ha superato quella delle talee di culmo: 4,0 e 2,3 t ha^{-1} s.s., nel primo anno e 20,9 e 11,8 t ha^{-1} s.s. nel secondo anno, rispettivamente (Fig. 19).

L'aspetto interessante messo in luce dalla prova è stato che l'irrigazione non è stata determinante per la produttività del rizoma dal momento che, sia nel primo che nel secondo anno, la resa in biomassa non si è differenziata in relazione alle 2 disponibilità idriche: 3,3 e 4,7 t ha^{-1}, nel primo anno e 19,0 e 22,9 t ha^{-1}, nel secondo anno, rispettivamente per la tesi "asciutta" ed "irrigata". Viceversa, nel caso del culmo, la produzione della tesi "irrigata" è stata significativamente superiore rispetto a quella della tesi "asciutta": 3,4 e 1,2 t ha^{-1}, nel primo anno e 15,1 contro 8,6 t ha^{-1}, nel secondo anno, rispettivamente (Fig. 19)

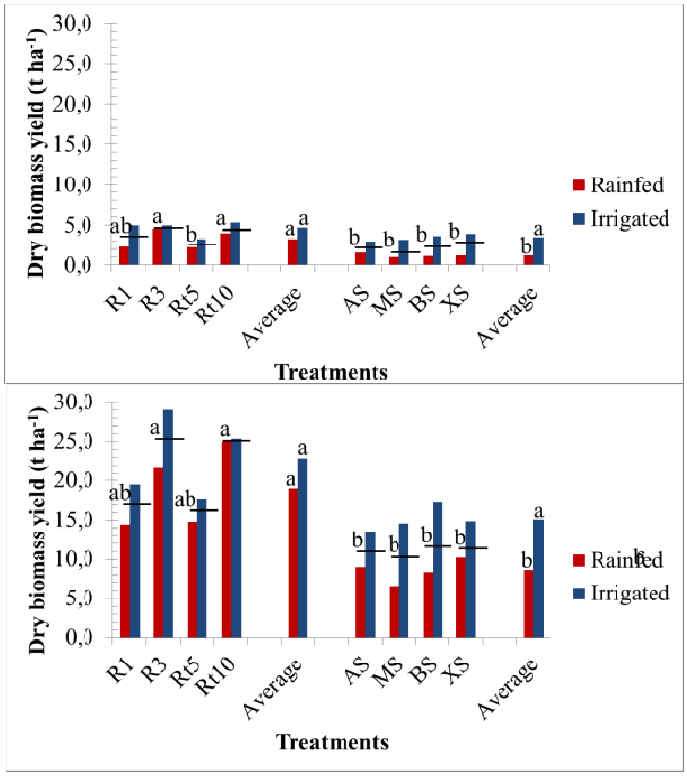


Figura 19 - Resa in biomassa secca (t ha-1 s.s.) nei primi due anni (2009-2011) di coltivazione. Lettere diverse nell'ambito di ciascuna tipologia di talea indicano differenze significative per P=0,05.

Epoca di trapianto

La primavera e l'estate sono considerate le stagioni più adatte all'impianto del canneto (Decruyenaere and Holt, 2001). Per individuare il momento più adatto al trapianto e verificare la possibilità di effettuarlo anche nel periodo autunnale, quando la disponibilità idrica del suolo non è un fattore limitante, sono state realizzate due prove sperimentali, una ad Enna (508 m s.l.m) (Copani *et al.*, 2009) e l'altra a Catania (10 m s.l.m.) (Copani *et al.*, 2010). Nel primo caso sono stati posti a confronto rizomi con una o più gemme pronte a germogliare (adottando una densità d'impianto pari a 1,56 rizomi m^{-2}) e talee di culmo (lunghe 1 m, poste in doppio nel solco, con circa 13 nodi m^{-2}) in 6 epoche di impianto (tra il 25 febbraio e il 23 aprile 2008).

Sono stati impiegati due volumi irrigui: il primo prevedeva l'irrigazione fino all'emergenza dei nuovi culmi ed il secondo la restituzione dell'evaporato per tutto il periodo estivo (volume irriguo stagionale pari a 124 mm e 658 mm rispettivamente).

Nel secondo caso, a Catania, nel 2009, oltre ai due trapianti primaverili (17 marzo e 30 marzo) è stato realizzato un trapianto autunnale (5 novembre). Il confronto è stato effettuato tra rizomi e talee di culmo poste nel solco in posizione orizzontale (interrati alla profondità di circa 10 cm) e verticali (due nodi interrati ed uno fuori terra). Anche in questo caso sono stati impiegati 2 volumi irrigui: solo al trapianto (23 mm) o al trapianto e ogni qual volta le riserve idriche del suolo raggiungevano la soglia dei 2/3 dell'acqua utile (250 mm).

Nella prova condotta ad Enna, sulla base delle date di trapianto ed emergenza e dei dati meteorologici (temperatura massima e minima dell'aria) è stato possibile calcolare la soglia minima di temperatura necessaria per la germogliazione. Questa è stata stimata pari a 17 °C (T_{MAX}) e a 7,5 °C (T_{MIN}) (Fig. 20); il dato è in accordo con quanto riportato da Spencer e Ksander (2006) in ambiente controllato.

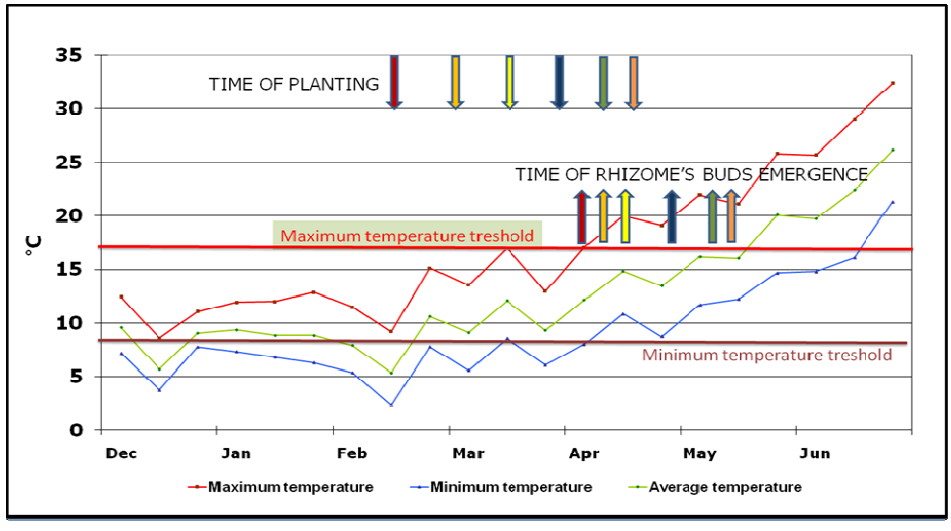


Figura 20 - Soglie termiche per la temperature massima e minima dell'aria necessarie per l'emergenza delle nuove canne.

Nella media degli altri fattori allo studio, i due livelli di restituzione idrica non hanno determinato effetti significativi sullo sviluppo vegetativo e sulla produzione di biomassa. Il risultato si spiega con la buona disponibilità idrica del suolo nella fase di insediamento delle piante, determinata dall'irrigazione, in questa fase non differenziata tra le due tesi (124 mm), e alla pioggia (58 mm tra aprile e giugno) (Copani *et al.*, 2009).

Passando dal trapianto di febbraio a quello di aprile la durata in giorni dell'intervallo trapianto-emergenza si è progressivamente ridotta da 40 a 21 giorni per l'impianto da rizomi e da 50 a 37 giorni per l'impianto da talee di culmo. La somma di unità termiche necessarie per l'emergenza è stata pari a 385°C e 361°C rispettivamente per rizoma e talea di culmo (Tab. 2).

Tabella 2 - Durata dell'intervallo impianto-emergenza e somma di unità termiche per ciascuna epoca di trapianto.

Epoca di trapianto	Trapianto-emergenza (giorni)		Somma di unità termiche (°C)	
	Rizoma	Culmo	Rizoma	Culmo
02/25/08	40	50	405	589
03/05/08	36	56	379	662
03/17/08	29	49	330	631
03/31/08	30	44	405	622
04/12/08	28	43	408	662
04/23/08	21	37	383	618
Media	*30,7*	*46,5*	*385*	*631*
Dev. Stand.	*5,57*	*7,01*	*29,4*	*27,8*
C.V..%	*17,8*	*14,9*	*7,6*	*4,4*

Tabella 3 - Resa in biomassa in relazione alla data d'impianto e al metodo di propagazione agamica utilizzato. Valori con la stessa lettera non differiscono significativamente per $p \leq 0.05$ (S.N.K. test).

Data di trapianto	Resa (t ha^{-1} s.s.)		
	Rizomi	Culmi	*Media*
02/25/08	2.86	1.53	2,20c
03/05/08	4.40	4.88	4,64a
03/17/08	5.28	4.22	4,75a
03/31/08	3.79	3.65	3,72b
04/12/08	3.52	2.12	2,82b
04/23/08	3.98	2.44	3,21b
Media	*3.97 a*	*3.14 a*	*3,56*

Alla fine della stagione di crescita risultavano vitali il 91,3% dei rizomi interrati e l'8,1% dei nodi dei culmi, che hanno determinato una densità media d'impianto pari a 1,4 piante m^{-2} nel caso dei rizomi e 1,0 piante m^{-2} nel caso delle talee di culmo. Nella media delle epoche, la biomassa prodotta dalle piante derivanti da rizomi è stata significativamente superiore (4 t ha^{-1} s.s.) rispetto a quella ricavata dal trapianto dei culmi (3,1 t ha^{-1}). Entrambe le modalità di trapianto hanno fatto accertare i migliori risultati con il trapianto effettuato a marzo (Tab. 3).

Nella prova realizzata a Catania, nella media delle epoche, la propagazione mediante culmi interrati orizzontalmente ha prodotto un numero di nuovo culmi pari a 4,2 m^{-2}, maggiore rispetto a quello delle piante derivate da rizomi (3,4 culmi m^{-2}) e a quello delle piante derivate da culmi interrati verticalmente (2,8 culmi $m^{-2)}$ (Fig. 21).

Relativamente all'epoca di trapianto, quella effettuata a marzo è risultata, anche in questo caso, la più conveniente, indipendentemente dalla metodologia utilizzata. Tuttavia, i culmi interrati orizzontalmente hanno mostrato una soddisfacente capacità di insediamento anche nel caso di trapianto autunnale, contrariamente a quanto fatto osservare dai rizomi che hanno prodotto il risultato peggiore (Fig. 22).

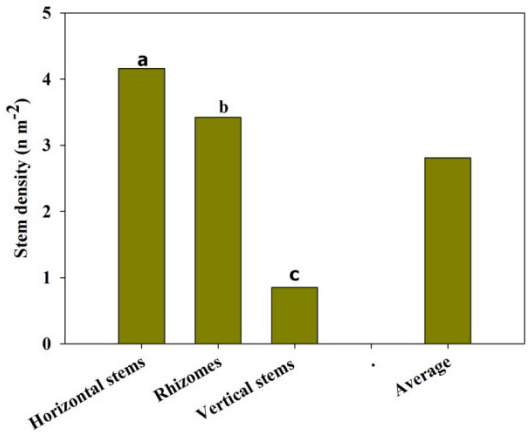


Figura 21 - Densità dei culmi in relazione al metodo di propagazione adottato. Differenti lettere indicano differenze significative per p>0.05 (SNK Test).

Il positivo effetto dell'irrigazione si è reso più evidente nell'impianto da talee di culmo in tutte e tre le epoche d'impianto, al contrario il rizoma ha mostrato una scarsa risposta in relazione a questo fattore (Fig. 22). Pertanto, il ruolo dell'irrigazione è apparso determinante per l'attecchimento delle talee di culmo, indipendentemente dall'epoca di trapianto, contrariamente a quanto si è verificato per il rizoma.

La produzione del primo anno ha rispecchiato abbastanza fedelmente il dato della densità dei culmi, dal momento che questa componente, insieme all'altezza delle piante, concorre più di altre a determinare la resa (Cosentino *et al.*, 2006). La secon-

da epoca di trapianto (marzo) è risultata la più efficace dal punto di vista produttivo per tutte le tipologie di impianto, seguita dalla terza (aprile) e quindi dalla prima (novembre). La produzione più alta è stata realizzata con il trapianto di marzo e aprile mediante rizomi irrigati, 10,8 t ha^{-1} e con 12,8 t ha^{-1}, rispettivamente (Tab. 4); la canna interrata orizzontalmente ha fatto accertare la resa più alta nella seconda epoca irrigata (11 t ha^{-1}), ma nella prima epoca (8,8 t ha^{-1}) la sua produzione è stata tre volte superiore a quella del rizoma (2,6 t ha^{-1}) (Tab. 4). La canna verticale, nelle tre date di trapianto, non ha superato la resa di 2,5 t ha^{-1}.

Tabella 4 - Produzione di biomassa nel primo anno di prova (raccolta del 9.02.2010) e nel secondo (raccolta del 26.01.2011) in relazione a tutti i fattori allo studio. Entro ciascun anno ed epoca di trapianto, valori con differenti lettere indicano significatività per gli effetti principali (p= 0,05).

	Produzione I anno			Produzione II anno		
I epoca di trapianto (05.11.2008)						
	Asciutto	Irrigato	Media	Asciutto	Irrigato	Media
Canne orizzontali	2,6	8,8	5,7a	7,5	19,4	13,4a
Rizomi	1,2	3,3	2,2b	9,6	8,4	9,0b
Canne verticali	0,4	1,3	0,8c	3,4	2,5	2,9c
Media	**1,4b**	**4,5a**	**2,9**	**6,8b**	**10,1a**	**8,4**
II epoca di trapianto (17.03.2009)						
Canne orizzontali	2,4	11,0	6,7b	5,1	14,0	9,6b
Rizomi	6,6	10,8	8,7a	8,0	15,5	11,8a
Canne verticali	1,5	2,5	2,0c	2,9	4,4	3,7c
Media	**3,5b**	**8,1a**	**5,8**	**5,4b**	**11,3a**	**8,3**
III epoca di trapianto (30.04.2009)						
Canne orizzontali	0,6	5,8	3,2b	3,0	15,7	9,3b
Rizomi	4,2	12,8	8,5a	8,6	17,7	13,1a
Canne verticali	0,2	1,4	0,8c	0,1	4,0	2,1c
Media	**1,7b**	**6,7a**	**4,2**	**3,9b**	**12,4a**	**8,2**

Nel secondo anno, la coltura, beneficiando dei soli apporti idrici naturali, ha continuato a manifestare nettamente il divario tra l'asciutto e l'irrigato in relazione a tutte

le epoche di trapianto, a favore dell'irrigato (Tab. 4). Nel caso del trapianto autunnale la canna interrata orizzontalmente nel suolo ha superato la produzione dell'impianto realizzato da rizomi (13,4 e 9,0 t ha^{-1} rispettivamente). Con i trapianti primaverili la produzione dell'impianto da rizoma ha superato quello della canna orizzontale e verticale.

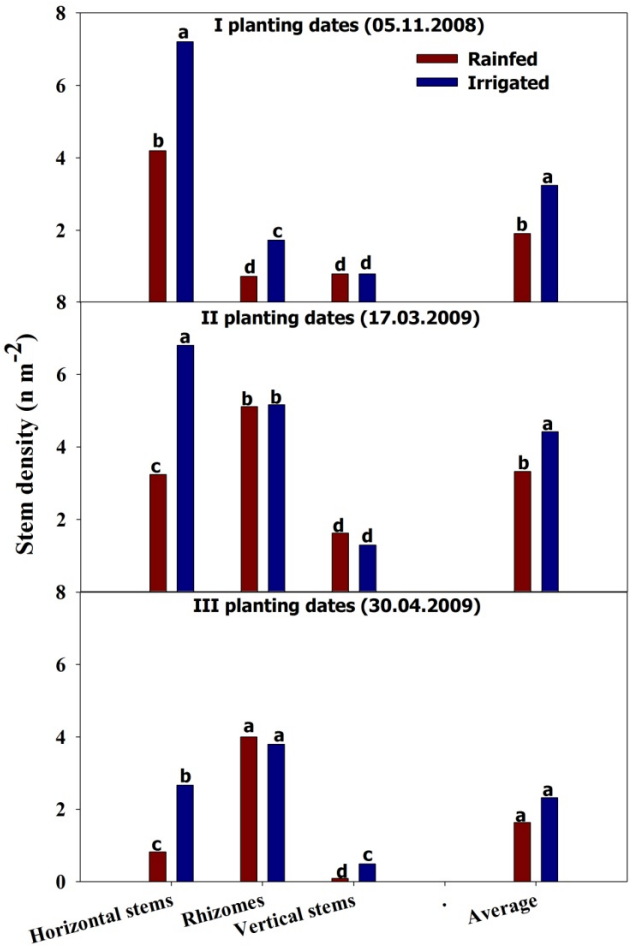


Figura 22 - Investimento unitario dei nuovi culmi misurata il 02/09/2009 in relazione a tutti i fattori studiati. Entro ciascuna epoca di trapianto, istogrammi con differenti lettere indicano significatività per P ≤ 0.05. Le lettere sulle colonne della media indicano la significatività per gli effetti principali, le lettere sulle colonne per ciascun trattamento si riferiscono all'interazione tra i metodi di propagazione e i trattamenti irrigui (S.N.K. test).

Conclusioni

L'insieme delle prove realizzate permette di enucleare i risultati più significativi.

La scelta di suoli profondi appare strategica ai fini del risparmio idrico dal momento che la pianta è in grado di esplorare strati di suolo profondi dove possono essere presenti riserve idriche.

È necessario un buon contenuto idrico nel suolo soprattutto nella fase di insediamento della coltura, dal trapianto alla fase di emergenza e nella prima fase di approfondimento delle radici. Volumi idrici di circa 200 mm si sono dimostrati indispensabili a garantire il successo della coltura soprattutto nel caso d'impianti da talea di culmo mentre non si sono rivelati indispensabili nel caso dell'impianto da rizomi.

Nella propagazione dell'*Arundo*, tutte le parti di culmo e tratti di rizoma anche di piccole dimensioni, sono state in grado di assicurare l'insediamento della coltura. Tuttavia, i dati ottenuti nella pianura Padana indicano che l'impiego di talee di culmo interrate orizzontalmente in doppia fila, determina ottimi risultati in termini di fittezza e regolarità di emissione di nuovi culmi.

In relazione alla data d'impianto, quella compresa tra febbraio e marzo ha fatto accertare i risultati migliori in termini di culmi emessi e biomassa prodotta. È stato messo in evidenza, comunque, che in caso di trapianto autunnale è preferibile impiegare talee di culmo interrate orizzontalmente e rizomi in primavera. I risultati delle prove indicano che l'emergenza dei germogli avviene quando la temperatura minima supera i 7,5°C.

La biomassa prodotta nell'anno d'impianto, come è ampiamente noto, è alquanto ridotta, non superando le 5 t ha^{-1} con le attuali densità d'impianto (1-1,5 rizomi m^{-2} o 2 canne sovrapposte della lunghezza di circa di 100 cm m^{-2} con circa 12 nodi interrati). Questa produzione cresce in misura esponenziale indipendentemente dall'organo di propagazione utilizzato, per raggiungere al terzo anno valori superiori a 30 t ha^{-1} s.s. Al terzo anno, inoltre, la produttività del canneto non appare più influenzata dalle modalità di impianto.

Bibliografia

Anatoly A.S., Pereira H., 2002. Influence of stem morphology on pulp and paper properties of *Arundo donax* L. reed. Industrial Crops and Products, 15, 77-83.

Boose A.B., Holt J.S., 1999. Environmental effects on asexual reproduction in Arundo donax. Weed research, 39: 2, 117-127.

Ceotto E., Di Candilo M., 2010a. Shoot cuttings propagation of giant reed (Arundo donax L.) in water and moist soil: the path forward? Biomass and Bioenergy, 34: 1614-1623.

Ceotto E., Di Candilo M., 2010b. Sustainable bioenergy production, land and nitrogen use. In: Lichtfouse E. (ed.) Biodiversity, Biofuels, Agroforestry and Con-

servation Agriculture. Sustainable Agriculture Reviews, Vol. 5, 101-122, Springer.

Christou, M., 2001. Giant reed in Europe. Proceedings of the 1st World Conference on Biomass for Energy and Industry, 5-9 June 2000, Sevilla, Spain, 2089-2091.

Commission of the European Communities, 1997 (COM 2007 354 final). Green paper from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the regions. Adapting to climate change in Europe – options for EU action.

Copani V., Cosentino S.L., D'Agosta G., Mantineo M., 2003. Validità di differenti metodi di propagazione per l'impianto di una coltura di canna comune (*Arundo donax* L.). Atti XXXV Convegno della Società Italiana di Agronomia. Portici, 16-18 settembre 2003, 163-164.

Copani V., Cosentino S.L., Guarnaccia P., Scalici G.. 2011. Influence of propagation system on A*rundo donax* L. yield in the first two years of cultivation. 19th European Biomass Conference and Exhibition. Berlin, Germany, 6-10 June 2011 (in press).

Copani V., Cosentino S.L., Scandurra S., 2008. Propagation of *Arundo donax* L. by means of rhizome and stem cuttings. Italian Journal of Agronomy, 3 suppl. 511-512.

Copani V., Cosentino S.L., Testa G., Guarnaccia P, Litrico A., 2009. Propagation of *Arundo donax* L. by means of rhizomes and stem cuttings in semi-arid Mediterranean environment. 17th European Biomass Conference and Exhibition. Hamburg, Germany, 29 June- 3 July 2009, 595-598.

Copani V., Cosentino S.L., Testa G., Scordia D., Cosentino A.D., 2010. Current propagation options to establish *Arundo donax* L. in Mediterranean environment. 18th European Biomass Conference and Exhibition. Lyon, France, 3-7 May 2010.

Cosentino S.L., Copani V., 2010. La produttività del canneto (*Arundo donax* L.) in relazione alla tecnica di impianto. XXXIX Convegno Società Italiana di Agronomia, Roma, 20-22 settembre 2010, 87-88.

Cosentino S., Copani V., D'Agosta G.M., Mantineo, M. 2005. Performance of different biomass crops for energy in Mediterranean environment. *Proc. 14th European Biomass Conference & Exibition. Biomass for energy, Industry and Climate Protection.* Paris, 17-21 October 2005.

Cosentino S., Copani V., D'Agosta G., Sanzone E., 2003. La propagazione di una coltura di canna comune (*Arundo donax* L.) mediante talee di culmo. Atti XXXV Convegno della Società Italiana di Agronomia. Portici, 16-18 settembre 2003, 165-166.

Cosentino S.L., Copani V., D'Agosta G.M., Sanzone E., Mantineo M., 2006. First results on evaluation of *Arundo donax* L. clones collected in Southern Italy. Industrial Crops and Products 23, 212-222.

Cosentino S., Copani V., Mantineo M., D'agosta G.M., Sortino O., 2009. La propagazione della canna comune (*Arundo donax* L.) mediante talee di culmo. Italian Journal of Agronomy, 4:875-879.

Cosentino S.L., Copani V., Testa G., Scandurra S., 2010. The agamic propagation of giant reed (*Arundo donax* L.) by means of stem cuttings. 18th European Biomass Conference and Exhibition. Lyon, France, 3-7 May 2010.

Decruyenaere J.G, Holt J.S., 2001. Seasonality of clonal propagation in giant reed. Weed Sci. 49, 760-767.

Facchini P. 1941. La Canna gentile per la produzione della cellulosa nobile, l'impresa agricolo-industriale di Torviscosa, SNIA VISCOSA, Milano.

Lewandowski, I., Scurlock, J.M.O., Lindvall, E., Christou, M. 2003. The development and current status of perennial rhizomatous grasses as energy crops in the US and Europe. Biomass and Bioenergy 25, 335-361.

Lunnan A., 1997. Agriculture-based biomass energy supply – a survey of economic issues. Energy Policy, 25, 573-582.

Onofry A., 1940. La canna comune (*Arundo donax* L.). Cremonese Libraio Editore Roma.

Perdue, R.E. 1958. *Arundo donax* – Source of Musical Reeds and Industrial Cellulose. Economic Botany 12, 368-404.

Polunin, O., Huxley, A., 1987. Flowers of the Mediterranean. Hogarth Press, London.

Soil Survey Staff, 2003. Keys to Soil Taxonomy, 9th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.

Spencer D.F., Ksander G.G., 2006. Estimating *Arundo donax* ramet recruitment using degree-day based equations. Aquatic Botany 85, 282-288.

Zohary, M. 1962. Plant life of Palestine. Ronald Press, New York.

3
Meccanizzazione

a - Cantieri di raccolta del cardo (*Cynara cardunculus* L.) in Italia

*Harvesting yards for cardoon (*Cynara cardunculus *L.) in Italy*

**Luigi Pari*, Vincenzo Civitarese*,
Alberto Assirelli*, Angelo Del Giudice***

Riassunto

Il cardo (*Cynara cardunculus* L.) è una interessante coltura in grado di produrre sia biomassa ligno cellulosica che semi oleaginosi.

La coltura ben si adatta alle condizioni xerotermiche dell'Europa meridionale ed in particolare del bacino del mediterraneo. Al fine di raccogliere separatamente le due frazioni prodotte dalla coltura, il CRA-ING ha sviluppato un prototipo di testata per mietitrebbiatrice in grado di effettuare, con un singolo passaggio, la raccolta del seme e la messa in andana della biomassa lignocellulosica che sarà successivamente raccolta, trinciata o imballata.

In questo lavoro vengono riportati i risultati delle prove di raccolta condotte in Emilia Romagna (Forlì) e Calabria (Crotone).

Parole chiave: cardo, raccolta, meccanizzazione, biomassa, biodiesel.

Abstract

Renewable energy source presents several benefits, both socioeconomic and environmental, when compared to conventional energy sources.

* CRA-ING - Unità di Ricerca per l'Ingegneria Agraria, Monterotondo (Roma).

One of the crops that can be used to produce herbaceous biomass and oil is the cardoon, Cynara cardunculus *L.*

It exhibits excellent characteristics regarding either biomass production and adaptation to the Mediterranean region, characterized by low annual rainfall regime and its irregular distribution, hot dry summer. One of the main strength of this crop is the possibility to propagate it by seed and the low crop input necessity.

Diversification and specialisation seem to be the most suitable ways to add value to the product of this crop. It might well be possible to perform a selective harvest in order to use the lignocellulosic biomass for energy or/and paper pulp and the seeds for oil. This alternative might optimise the integral exploitation of the crop produce and in this context of energy crops, the seed oil could be used for bio diesel production.

If the lignocellulosic biomass were used as a solid biofuel and the seeds for oil, the production costs would be shared between the two products; in this way the oil cost would be lower than the cost of sunflower oil

CRA-ING unit supplied the project concept of a combine head able to collect separately the different biomass fractions (seeds and stalks). Aim of this work was the proposal and testing of a head which combine an integrated approach for the cardoon harvesting. This head was designed and manufactured modifying a specialized harvester head hence combining windrowing and capitula threshing in the same machine. This machine was used in Italy where efficiency tests were conducted.

Keywords: Cynara cardunculus*, oil energy crop, combine harvester, working capacity.*

Introduzione

Il cardo (*Cynara cardunculus* L.) è una interessante coltura in grado di produrre sia biomassa ligno cellulosica che semi oleaginosi.

La coltura ben si adatta alle condizioni xerotermiche dell'Europa meridionale ed in particolare del bacino del mediterraneo (Grammelis *et al.* 2008; Tuck *et al.* 2006; Sáez *et al.* 1998; Fernández *et al.* 2005) ed andrebbe preferita ad altre specie nei casi in cui l'acqua dovesse risultare un fattore limitante (Solano *et al.* 2010). L'apparato radicale consente di esplorare il terreno fino ad una profondità di 9 m. Le rese ad ettaro sono strettamente correlate alle precipitazioni registrate durante l'anno, ad ogni modo alcuni studi hanno evidenziato livelli di produttività elevati anche in ambienti molto secchi (Gominho *et al.* 2011).

Altri punti di forza di questa coltura sono la possibilità di utilizzare il seme come materiale di propagazione e la possibilità di ammortizzare la spesa per la preparazione del letto di semina in più anni, dato il ciclo poliennale.

Il CRA-ING ha sviluppato un prototipo di testata per mietitrebbiatrice in grado di effettuare, in un'unica passata, la raccolta del seme e la messa in andana della biomassa lignocellulosica che sarà successivamente raccolta, trinciata o imballata. Le

frazioni così ottenute possono essere indirizzate verso diverse trasformazioni: estrazione di olio dagli acheni per la produzione di biodiesel e produzione diretta di energia termica e/o elettrica dalla combustione della biomassa. Tale processo consente di ottimizzare lo sfruttamento integrale della coltura, valorizzare i due sottoprodotti principali e ridurre i costi di produzione.

In questo lavoro vengono riportati i risultati delle prove di raccolta condotte in Emilia Romagna (Forlì) e Calabria (Crotone).

2. Materiali

2.1 La testata per la raccolta cardo

Il prototipo unisce i dispositivi di una testata da mais a sei file a quelli di una classica testata da frumento (Fig. 1): la parte superiore, derivante da una testata da mais, provvede al distacco dei capolini da inviare all'apparato trebbiante della mietitrebbiatrice, mentre la parte inferiore, derivata da una testata da grano, opera lo sfalcio, il condizionamento e l'andanatura della biomassa epigea tra le ruote della mietrebbiatrice. I residui della trebbiatura dei capolini sono a loro volta rilasciati sull'andana, mentre i semi vengono raccolti dalla mietitrebbiatrice.

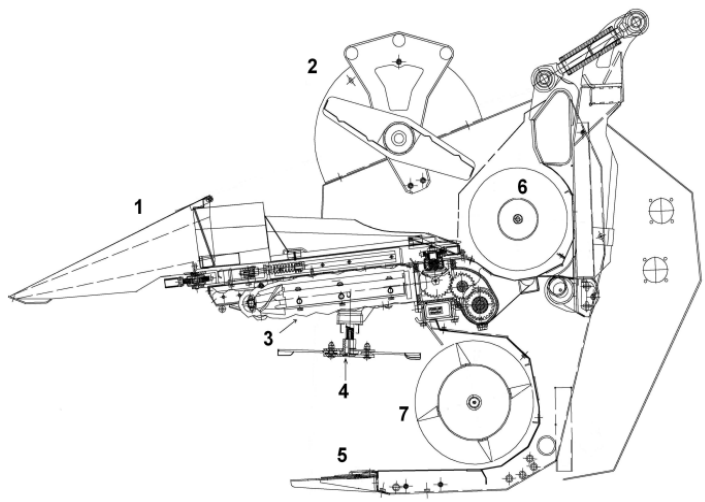


Figura 1 - Vista laterale della testata: 1) parte superiore, 2) rullo alimentatore, 3) rulli mungitori, 4) trinciastocchi, 5) parte inferiore, 6) coclea rotante per il convogliamento dei capolini verso l'apparato trebbiante, 7) coclea rotante per il convogliamento della biomassa in andana.

Il prototipo della nuova testata, tuttavia, non è un semplice assemblaggio delle due testate convenzionali:

- i rulli mungitori sono stati modificati in modo da pervenire al condizionamento e non allo spezzettamento dei fusti, in modo che questi ultimi possano essere raccolti agevolmente durante la successiva imballatura;
- è stata aggiunta una barra falciante a tutta lunghezza, posta sulla verticale in corrispondenza della parte anteriore dei rulli, per realizzare il taglio basale dei fusti;
- i fusti tagliati e condizionati vengono spostati per mezzo di una coclea dalle estremità della testata verso un'apertura in corrispondenza dell'asse longitudinale della mietitrebbiatrice, in modo da formare un'andana compatta sulla quale vengono poi rilasciati i residui della trebbiatura dei capolini. L'andana così realizzata è pronta per essere raccolta da una imballatrice, senza dover ricorrere ad un ranghinatore, riducendo quindi la presenza di terra nel prodotto e la produzione di cenere durante la combustione in centrale;
- è stato installato un aspo rettilineo che, assieme ad una coclea, provvede a spostare i capolini staccati verso l'apparato trebbiante, attraverso la feritoia superiore prevista sulla parte posteriore del telaio.

Le dimensioni della testata sono:

- larghezza: 4940 mm;
- altezza: 1731 mm;
- lunghezza: 2770 mm;
- peso: 3342 kg.

Il convogliamento dei capolini verso il canale alimentatore della mietitrebbia, largo 1280 mm, è effettuato da una coclea della lunghezza di 4516 mm e del diametro di 370 mm, con una velocità di rotazione di 144 giri/min, e da un aspo della lunghezza di 4590 mm e del diametro di 600 mm, con velocità di 50 giri/min.

I rulli mungitori, due per fila, sono leggermente inclinati verso la parte anteriore: ogni rullo ha cinque coltelli per migliorare la presa e il condizionamento. Il diametro e la lunghezza sono pari rispettivamente a 110 mm e 460 mm. La velocità di rotazione è di 954 giri/min con una velocità periferica di 5,5 m/s.

Circa 115 mm sotto la parte anteriore dei rulli mungitori, sono presenti dei coltelli trinciastocchi, con una lunghezza complessiva di 534 mm. La velocità di rotazione è di 2084 giri/min.

Anche la distanza tra i divisori inferiori è pari a 800 mm.

Il linea con gli spazi tra i divisori, 450 mm sotto i trinciastocchi, è posizionata la barra falciante, che opera 644 tagli al minuto; lo spazio tra i divisori inferiori è di 100 mm.

La biomassa viene spostata verso l'apertura di scarico inferiore (larga 1280 mm) da una seconda coclea, lunga 4560 mm, 445 mm di diametro e con velocità di 130 giri/min.

L'inclinazione della testata è ottenuta mediante un sistema meccanico a doppia vite.

La potenza meccanica viene fornita dalla mietitrebbiatrice mediante due giunti cardanici, uno per lato, quella idraulica tramite un accoppiamento idraulico rapido.

2.2. Il cantiere di raccolta

La prova in Emilia Romagna è stata condotta abbinando la testata ad una mietitrebbiatrice New Holland CR 960. Data l'elevata percentuale di piante allettate (Tab. 1), la testata è stata parzialmente modificata inserendo una serie di cunei frontali atti a favorire il sollevamento del prodotto (Fig. 2). La prova è stata condotta al fine di valutare l'operatività della testata in condizioni difficili e la biomassa andanata non è stata raccolta.

La prova in Calabria è stata condotta, invece, abbinando la testata ad una mietitrebbiatrice Laverda AL 519 autolivellante (Fig. 3). La biomassa rilasciata sul terreno è stata prima movimentata con un ranghinatore stellare a ruote folli convergenti SLAM GR 300 (Fig. 4) e, successivamente, imballata con una rotoimballatrice New Holland BR7060 (Fig. 5).

Figura 2 - Testata da cardo abbinata a mietitrebbiatrice New Holland CR 960. Sono visibili i cunei per il sollevamento del prodotto andanato.

Figura 3 - Testata da cardo abbinata a mietitrebbiatrice Laverda AL 519.

Figura 4 - Ranghinatore SLAM GR 300 in fase di lavoro.

Figura 5 - Imballatrice New Holland BR7060 in fase di lavoro.

3. Metodi

3.1. Rilievi sulla coltura

I rilievi sulla coltura, sia nella fase che precede la raccolta che in quella successiva, sono stati effettuati su 10 plots di 25 m^2 ciascuno, variamente distribuiti su tutta la superficie delle prove. Ciò ha permesso di determinare la densità effettiva (piante/ha e fusti/ha), la percentuale di allettamento, l'altezza e il diametro medi delle piante, l'altezza della prima ramificazione, il diametro dei capolini, il numero di capolini per ettaro, la biomassa raccoglibile.

3.2. Rilievo delle prestazioni delle macchine nella raccolta

I tempi di raccolta sono stati rilevati secondo la metodologia ufficiale della Commission Internationale de l'Organisation Scientifique du Travail en Agriculture (C.I.O. S.T.A.) e la raccomandazione dell'Associazione Italiana di Genio Rurale (A.I.G.R.) 3^A R1, provvedendo a registrare su un apposito software sviluppato in ambiente Visual Basic i tempi necessari alle diverse operazioni durante la raccolta e ad eseguire le successive elaborazioni (Bolli *et al.*, 1987).

3.3. Rilievo della qualità di lavoro

Allo scopo di valutare la qualità del lavoro svolto dalla macchina operatrice sono stati rilevati l'altezza di taglio, le perdite di prodotto, le impurità e la percentuale di semi rotti.

3.4. Classificazione del prodotto raccolto

Il prodotto raccolto è stato classificato seguendo la metodologia ufficiale proposta nelle Specifiche Tecniche del Comité Européen de Normalisation (TS/CEN), dalla fase di campionamento allo svolgimento delle prove di laboratorio.

Sulla base dei campioni di raccolti sono stati valutati i seguenti aspetti:

- massa volumica del seme e delle rotoballe (EN 15103:2010);
- umidità del seme e della biomassa (EN 14774-1:2009);
- peso di mille semi.

4. Risultati

4.1. Caratteristiche morfologiche e produttive della coltura

Le caratteristiche morfologiche e produttive degli impianti sono riportate in tabella 1.

Tabella 1 - Descrizione degli impianti di *Cynara cardunculus*, caratteristiche morfologiche medie della coltura.

Piantagione di Cynara cardunculus		**Emilia Romagna**	**Calabria**
Giacitura		Pianeggiante	Pianeggiante/collinare
Superficie	ha	0,60	7,60
Distanza sulla fila	m	0,61	0,50
Distanza tra le file	m	0.70	0,50
Densità effettiva	piante/ha	19.100	40.000
Età dell'impianto	anni	9	2
Età delle piante	anni	1	1
Altezza	m	2,25±0,43	1,79±0,61
Diametro a 10 cm	mm	34,24±11,80	14,10±7,55
Altezza ramificazione principale	m	1,71±0,30	1,07±0,12
Fusti per pianta	n°	1,71±0,71	5±1
Piante allettate	%	22,12	0
Capolini per pianta	n°	10,76±7,22	7,5±4
Capolini per ettaro	n°	205.516	300.000
Diametro dei capolini	mm	62,08±11,81	52,12±8,02
Produzione di biomassa	t/ha	13,25	8,50
Produzione di semi	t/ha	1,17	0,42

L'impianto sito in Emilia Romagna (Fig. 6) si trovava a fine ciclo e la coltura si presentava in buono stato generale e con un grado di sviluppo omogeneo.

I rilievi in campo hanno evidenziato una distanza media tra le file e sulla fila pari rispettivamente a 0,70 m e 0,61 m, con un investimento di 23.382 piante/ha.

La parcella raccolta, di forma trapezoidale e giacitura pianeggiante, si estendeva su una superficie netta di 6000 m^2 ed era stata seminata nove anni prima.

Le piante si presentavano con diametro ed altezza medi pari rispettivamente a 34,24 mm e 2,25 m. La densità effettiva era di 19.100 piante/ha, la percentuale di allettamento si attestava intorno al 19,64% mentre l'altezza della ramificazione principale è risultata pari a 1,71 m.

Su ciascuna pianta sono stati contati mediamente 10,76 capolini con un diametro medio di 62,08 mm corrispondenti ad un totale di 205.516 capolini/ha.

La quantità di semi raccolti è risultata pari a 1,02 t/ha mentre la biomassa andanata è stata stimata in 13,25 t/ha.

Figura 6 - Impianto di cardo sito in Emilia Romagna.

Figura 7 - Impianto di cardo sito in Calabria.

L'impianto sito in Calabria (Fig. 7) si trovava al primo anno di vegetazione ed era stato impiantato due anni prima.

I rilievi in campo hanno evidenziato una distanza media tra le file e sulla fila pari a 0,50 m, con un investimento di 40.000 piante/ha.

Le prove di raccolta hanno interessato una superficie netta e produttiva di 7,60 ha (giacitura in parte pianeggiante e in parte collinare).

Le piante si presentavano con diametro ed altezza medi pari rispettivamente a 14,10 mm e 1,79 m. La densità era di 40.000 piante/ha e l'altezza della ramificazione principale è risultata pari a 1,07 m.

Su ciascuna pianta sono stati contati mediamente 7,5 capolini con un diametro medio di 52,12 mm per un totale di 300.000 capolini/ha.

La produttività della coltura è stata stimata in 0,423 t/ha di semi e 8,50 t/ha di biomassa.

La piantagione era stata interessata da un attacco di *Larinus cynarae F*, un parassita in grado di compromettere seriamente la produzione di seme della coltura. Poiché il trattamento insetticida sistemico (p.a. Imidacloprid) ha interessato soltanto una superficie di 1,48 ha, la produzione in seme si riferisce necessariamente alla sola area trattata.

4.2. Tempi di lavoro

Nella tabella 2 sono evidenziati i tempi rilevati nel corso dei diversi cantieri di raccolta. Poiché le prove erano miranti a valutare le prestazioni del prototipo, sono stati rilevati solamente i tempi standard.

Tabella 2 - Tempi standard e operatività delle macchine coinvolte nei cantieri di raccolta.

Macchina operatrice		Mietitreb	Mietitreb	Ranghin.	Imballat.
Località		Em. Rom.	Calabria	Calabria	Calabria
Tempo standard TS					
Tempo effettivo TE	%	78,21	84,92	82,31	68,87
Tempo accessorio TA	%	21,79	15,08	17,69	31,13
- Tempo per voltate TAV	%	18,99	13,54	17,69	5,58
- Tempo per rifornim. o scarichi TAS	%	2,79	1,54	-	25,56
- Tempo per manutenzione TAC	%	0	-	-	-
Tempo di riposo TR	%	0	-	-	-
Tempo morto inevitabile TMI	%	0	-	-	-
Tempo standard	%	100	100	100	100
Operatività della macchina					
Rendimento operativo Ro	%	78,21	84,92	82,31	68,87
Velocità effettiva ve	m/s	1,28	0,65	1,59	0,85
Velocità operativa vo	m/s	1,00	0,55	1,31	0,59
Capacità di lavoro effettiva	ha/h	1,88	0,95	3,43	1,46
Capacità di lavoro operativa	ha/h	1,47	0,81	2,83	1,00
Produzione oraria operativa (semi)	t/h	1,72	0,342	-	-
Produzione oraria operativa (biomassa)	t/h	19,49	6,15	21,50	7,60

Come precedentemente ricordato la prova eseguita in Emilia Romagna aveva lo scopo di valutare l'operatività della sola mietitrebbia e, pertanto, il prodotto andanato non è stato raccolto. I tempi accessori sono risultati costituiti da tempi per voltate in capezzagna, nella misura del 18,99%, e tempi per lo scarico del seme raccolto, nella misura del 2,79%. Non sono stati registrati, invece, ingolfamenti di nessun genere, tempi di riposo e tempi morti inevitabili. Il rendimento operativo è risultato pari al 78,21% del tempo operativo.

La macchina ha raggiunto capacità di lavoro operative dell'ordine di 1,47 ha/h. Poiché la produzione raccoglibile è risultata pari a 13,25 t/ha di biomassa e 1,17 t/ha

di seme, la produzione oraria operativa è stata pari a 19,49 t/h di biomassa andanata e 1,72 t/h di seme raccolto.

Il cantiere di raccolta in Calabria, invece, era composto da una mietitrebbia con testata da cardo, un ranghinatore e una rotoimballatrice.

Per quanto concerne la mietitrebbia con testata da cardo, i tempi accessori sono risultati costituiti da tempi per voltate in capezzagna, nella misura del 13,54%, e tempi per lo scarico del seme raccolto, nella misura del 1,54%.

Non sono stati registrati, invece, ingolfamenti di nessun genere, tempi di riposo e tempi morti inevitabili. Il rendimento operativo è risultato pari al 84,92% del tempo operativo.

La macchina ha raggiunto capacità di lavoro operative dell'ordine di 0,81 ha/h. La produzione oraria operativa è risultata pari a 6,15 t/h di biomassa sfalciata e andanata e 0,342 t/h di seme raccolto (nella sola area sottoposta a trattamento fitosanitario).

Il ranghinatore è stato usato allo scopo di agevolare la successiva fase di raccolta e imballatura andando ad incrementare il quantitativo di biomassa andanata per metro lineare. I tempi accessori sono risultati costituiti dai soli tempi per voltate in capezzagna (17,69%).

Il rendimento operativo è risultato pari al 82,31% del tempo operativo e la macchina ha raggiunto capacità di lavoro operative dell'ordine di 2,83 ha/h, con una produzione oraria operativa di 21,50 t/h.

Per quanto concerne la successiva fase di raccolta e imballatura, i tempi accessori sono risultati costituiti da tempi per voltate in capezzagna (5,58%) e tempi per lo scarico (25,56).

Il rendimento operativo è risultato pari al 68,87% del tempo operativo e la macchina ha raggiunto capacità di lavoro operative dell'ordine di 1 ha/h, con una produzione oraria operativa di 7,60 t/h di prodotto raccolto e imballato.

4.3. Perdite di prodotto

Le perdite di biomassa, valutate nel corso delle sole prove condotte in Calabria, sono risultate pari a 0,90 t/ha (10,58% del prodotto raccoglibile), così ripartite (tab. 3):

- piante non raccolte dalla testata e/o non convogliate dalla coclea in andana. Tali perdite sono da imputare all'interfila utilizzata nella piantagione, di fatto la testata nasce per operare con interfile di 0,75 m mentre la piantagione raccolta era stata impiantata con una distanza tra le file di 0,50 m.
- prodotto non raccolto dalla imballatrice. Tali perdite sono riferibili essenzialmente al dispositivo pick up.

Le perdite di semi sono risultate pari a circa il 10% e sono anch'esse imputabili all'interfila utilizzata per la costituzione dell'impianto.

Tabella 3 - Ripartizione delle perdite di prodotto durante la fase di raccolta.

Perdite	t/ha	%
Prodotto non raccolto dalla testata	0.82	9,64
Prodotto non raccolto dalla imballatrice	0,08	0,94
Totale	0,90	10,58

4.4. Qualità del lavoro svolto

I dati sotto riportati si riferiscono alla sperimentazione condotta in Calabria.

Le impurità presenti nel seme (Fig. 8) sono state valutate nello 0,75% mentre i semi danneggiati sono stati il 2,15% del totale raccolto.

La massa volumica apparente del seme è risultata pari a 689,11 kg/m^3 con una umidità del 6,15%. Il peso delle balle (2,11 m^3) oscillava tra 300 e 350 kg, con una massa volumica apparente pari a circa 154 kg/m^3. Mediamente sono state prodotte 20 balle ad ettaro con un contenuto di umidità del 8,02% (Fig. 9).

Il taglio dei fusti è avvenuto in maniera netta e ad una altezza media di 300 mm.

Figura 8 - Semi di cardo, sono visibili alcune impurità.

Figura 9 - Biomassa imballata.

5. Conclusioni

Le mietitrebbie equipaggiate con testata da cardo CRA-ING hanno raggiunto capacità di lavoro soddisfacenti confermando i risultati registrati in precedenti prove sperimentali (Pari *et al*, 2009).

Tutti i dispositivi preposti al taglio basale della biomassa, al distacco dei capolini, al convogliamento della biomassa in andana e al convogliamenti delle calatidi verso il dispositivo di trebbiatura, hanno lavorato in maniera ottimale.

L'elevata percentuale di perdite di prodotto registrate in Calabria sono da imputare al sesto di impianto utilizzato per la realizzazione della piantagione. Difatti, la macchina è stata progettata per operare su interfile di 0,75 m mentre l'impianto è stato realizzato con una interfila di 0,50 m.

La possibilità di utilizzare testate specifiche, appositamente progettate per una data coltura, consente non soltanto di valorizzare i sottoprodotti, come nel caso del cardo, ma anche di operare in maniera efficiente, riducendo sensibilmente i tempi necessari per le corrette regolazioni e i tempi di manutenzione causati da ripetuti ingolfamenti.

Bibliografia

Bolli P., Scotton M., 1987 – Lineamenti di tecnica della meccanizzazione Agricola. Edagricole.

EN 14774-1:2009. Solid biofuels Determination of moisture content - Oven dry method.

EN 15103:2010. Solid biofuels. Determination of bulk density.

Fernández J., Curt MD., 2005. State-of-the-art of *Cynara cardunculus* as an energy crop. In Proceedings of the 14th European Biomass Conference. ETA-Renewable Energies & WIP-Renewable Energies (Pub.) Paris, ISBN 88-89407-07-7.

Gominho J., Lourenço A., Palma P., Lourenço ME., Curt MD., Fernández J., Pereira H., 2011. Large scale cultivation of *Cynara cardunculus* L. for biomass production-A case study. Industrial Crops and Products; 33:1-6.

Grammelis P., Malliopoulou A., Basinas P., Danalatos NG., 2008. Cultivation and Characterization of *Cynara cardunculus* for Solid Biofuels Production in the Mediterranean Region. *Int. J. Mol. Sci.* 9:1241-1258.

Pari L., Civitarese V., Assirelli A., Del Giudice A., 2009. Il prototipo che abbatte i costi della raccolta del cardo. Agroenergie dall'impianto alla raccolta, supplemento n. 1 al numero 29 dell'Informatore Agrario.

Solano ML., Manzanedo E., Concheso R., Curt MD., Sanz M., Fernández J., 2010. Potassium fertilisation and the thermal behaviour of *Cynara cardunculus* L. Biomass & Bioenergy;34:1487-1494.

Tuck G., Glendining MJ., Smith P., House J., Wattenbach M., 2006. The potential distribution of bioenergy crops in Europe under present and future climate. Biomass & Bioenergy;30:183-197.

b - Meccanizzazione della raccolta del materiale di riproduzione di canna comune (*Arundo donax* L.) nel settore vivaistico

*Harvesting mechanization of propagation material of giant reed (*Arundo donax *L.) in nursery*

Luigi Pari*, Alberto Assirelli*,
Andrea Acampora*, Sara Croce*, Enrico Santangelo*

Riassunto

L'introduzione della canna comune (*Arundo donax* L.) nei diversi ordinamenti colturali, per fini energetici, presuppone l'individuazione di una appropriata tecnica di moltiplicazione dal momento che, al di fuori del suo areale di origine, la pianta non fruttifica a causa della sterilità del polline (Boose e Holt, 1999). La fase di impianto della coltura rappresenta la criticità maggiore della filiera agroenergetica in relazione alla reperibilità del materiale di propagazione e ai costi di moltiplicazione. Di norma la canna si riproduce per via vegetativa attraverso rizomi o talee di culmo. La propagazione per rizomi è la tecnica più impiegata e permette di ottenere ottimi risultati dal punto di vista tecnico. Per la mancanza di una efficiente meccanizzazione della raccolta (Pari *et al*., 2009), la propagazione vegetativa mediante rizoma è una tecnica che risulta molto onerosa per gli elevati costi delle operazioni di espianto, sezionatura di cespi, conservazione, movimentazione e messa a dimora dei rizomi. Nel marzo del 2011, sono state eseguite alcune prove di sezionatura meccanica in vivaio di cespi di *A. donax* L. appositamente coltivati. Lo scopo del lavoro è stato quello di verificare l'applicabilità della sezionatura meccanica a terra e gli aspetti oggetto di verifica hanno riguardato la messa a punto di un'idonea linea di meccanizzazione, la caratterizzazione del prodotto ottenuto e la valutazione del-

* CRA-ING - Unità di Ricerca per l'Ingegneria Agraria, Monterotondo (Roma).

la sua attitudine all'impiego come materiale di propagazione. Delle tre classi dimensionali ottenute (<5 cm; 5-10 cm; > 10 cm) nessuna è risultata inferiore al 60 % di germinazione mentre la classe dimensionale maggiore ha superato l'80% di capacità germogliativa.

Parole chiave: *Arundo donax* L., rizomi, propagazione vegetativa, sezionatura meccanica.

Abstract

*The introduction of giant reed (*Arundo donax *L.) in different cropping systems for energy purposes, requires the identification of an appropriate multiplication technique since, outside of its area of origin, the plant will not bear fruit due to pollen sterility (Boose and Holt, 1999). The planting phase is the most critical in relation to the availability of the material, its propagation and the cost of reproduction. Usually giant reed is reproduced by vegetative cuttings through rhizomes or stem cutting. Propagation by rhizomes is the preferred technique and can achieve excellent results from the technical point of view. Due to the lack of an efficient mechanization of harvesting (Pari* et al*., 2009), vegetative propagation by rhizome is very onerous due to the high cost of explanting, stumps sectioning, storage, handling and planting of rhizomes. In March of 2011, some tests of mechanical sectioning were carried out on nurseries of* A. donax. *Purpose of this study was to test the applicability of mechanical sectioning directly on field focusing the attention on the development of a suitable line of mechanization, the characterization of the product obtained and the evaluation of its ability to be used as propagation material. The three dimensional classes obtained (<5 cm, 5-10 cm> 10 cm) showed more than 60% of germination, while the rhizomes belonging to the longer class has registered over 80% sprouting capacity.*

Keywords: Arundo donax *L., rhizomes, vegetative propagation, mechanical sectioning*.

Introduzione

La fase di impianto della coltura di canna comune (*Arundo donax* L.) rappresenta la maggior criticità della tecnica colturale in relazione alla reperibilità del materiale di propagazione e ai costi di moltiplicazione. Di norma la canna si riproduce per via vegetativa attraverso rizomi o talee di culmo. La propagazione per rizomi è la tecnica più impiegata e permette di ottenere ottimi risultati dal punto di vista tecnico. Comunemente il materiale di propagazione della canna viene ottenuto raccogliendo manualmente la ceppaia (costituita dalla massa nodosa di rizomi prodotti dalla pianta) prodotta dalla pianta. Quest'ultima viene ulteriormente sezionata al fine di ottenere dei rizomi adatti all'impianto.

In tale ambito si pone l'attività di ricerca dell'Unità di Ingegneria Agraria (CRA-ING) del Consiglio per la Sperimentazione e la Ricerca in Agricoltura. La meccanizzazione della fase di raccolta dei rizomi permetterebbe di superare uno dei principali problemi legati alla moltiplicazione tramite rizomi della canna, abbassando i costi che tale pratica richiede in quanto, a tutt'oggi, viene eseguita manualmente o a bassissimi livelli di meccanizzazione. Nel marzo del 2011, sono state eseguite alcune prove di sezionatura meccanica in vivaio di cespi di *A. donax* appositamente coltivati. Lo scopo del lavoro è stato quello di verificare l'applicabilità della sezionatura meccanica per la riduzione della manodopera. Gli aspetti oggetto di verifica hanno riguardato le capacità di lavoro e la caratterizzazione del prodotto ottenuto. Relativamente a quest'ultimo aspetto si è cercato di valutare l'omogeneità del prodotto raccolto e la sua energia germinativa intesa come capacità delle sezioni di generare una nuova pianta.

Materiali e metodi

Lo studio è stato condotto in Piemonte a Savigliano presso i campi sperimentali di una Società specializzata nella moltiplicazione di colture energetiche. Le prove sono state effettuate su un appezzamento di vivaio di 1.200 m^2 (20 m x 60 m) realizzato nella primavera del 2009 con rizomi di cloni locali interrati a 15 cm di profondità, interfila di 1 m e piante distanziate sulla fila 0,5 m. Durante il periodo vegetativo non sono stati effettuati interventi di irrigazione né di concimazione al terreno, per cui si è scelto di operare su un vivaio biennale e già raccolto un anno per avere maggior continuità fra i cespi. La parte aerea delle piante è stata raccolta sia nel marzo 2010 sia nel 2011. I residui della coltura sono stati eliminati il giorno precedente la prova, mediante un trinciasarmenti ad asse orizzontale. Prima dell'esecuzione delle prove è stata valutata la produttività del vivaio prelevando manualmente tutti i cespi presenti da in sei aree di saggio, di 1 m^2.

Le prove di sezionatura a terra si sono svolte tramite una zappatrice rotativa modificata in modo da effettivare anche il taglio orizzontale del profilo di terreno interessato. Tale macchina è caratterizzata da un fronte di lavoro pari a 104 cm, giudicato sufficiente per il trattamento di un singolo filare di piante. La zappatrice è composta da un rotore principale ad asse orizzontale formato da un albero di 160 mm di diametro con quattro supporti radiali a distanze rispettivamente di 16 cm dai bordi e 24 cm centrali. Sui supporti sono fissati tramite viti in modo alterno (tre per lato) 6 per un totale di 24 zappette. Per l'esecuzione delle prove sono state progettate e realizzate zappette di conformazione ad L di altezza pari a 24 cm e parte terminale pari a 12 cm in sostituzione di quelle originali in modo da coprire completamente la distanza fra i supporti. Gli elementi sono stati realizzati in acciaio di spessore pari a 10 mm. La sostituzione delle zappette con quelle realizzate per la prova ha comportato

la modifica di alcuni aspetti funzionali dell'operatrice in particolar modo della profondità di lavoro (Fig. 1).

Figura 1 - Organi lavoranti della zappatrice rotativa modificata.

Prima dell'esecuzione delle prove sono state eseguite alcune simulazioni di lavoro per individuare le regolazioni più idonee quali velocità, regime giri PDP, e profondità di lavoro. Dopo una prima fase di messa a punto del cantiere sono stati individuati velocità di avanzamento e regime giri PTO relativi a tre diversi settaggi scelti in funzione delle lunghezze di taglio teoriche comprese tra 4.4 e 6.5 cm (Tab. 1). Il disegno sperimentale ha previsto la suddivisione dell'area di prova in tre zone (una per ogni settaggio oggetto di studio), ognuna lunga 20 metri e con larghezza corrispondente all'interfila del vivaio. All'interno delle tre tesi, sono state individuate quattro parcelle lunghe 5 m, considerate repliche del singolo settaggio.

Tabella 1 - Principali caratteristiche funzionali della zappatrice rotativa modificata.

Descrizione	Unità di misura	Valore
Regime di rotazione pdp	Giri min^{-1}	540
Regime di rotazione rotore	Giri min^{-1}	216
Rapporto di trasmissione (τ) pdp/rotore		1:2,5
Profondità di lavoro originaria	Cm	11
Profondità di lavoro modificata	Cm	16

Valutazione materiale ottenuto

Successivamente al passaggio della zappatrice modificata (Fig. 2) si è proceduto alla raccolta di tutti i rizomi presenti nelle 12 parcelle. Questi sono stati immediatamente chiusi in sacchi in modo da evitarne la disidratazione. I rizomi raccolti sono stati pesati, misurati e quindi raggruppati in funzione di tre classi dimensionali: piccoli (<5 cm), medi (5-10 cm) e grandi (>10 cm).

Capacità germinativa

Per ogni settaggio oggetto di analisi e per ognuna delle classi dimensionali individuate è stato scelto un campione di rizomi, al fine di valutare la capacità germinativa. Il disegno sperimentale utilizzato è stato il blocco randomizzato con quattro repliche, ognuna delle quali costituita da quattro rizomi: per ogni tesi sono stati considerati dunque 48 rizomi suddivisi per le tre classi dimensionali. Ogni replica era costituita da un vaso di diametro 20 cm riempito con terriccio di tipo 50% torba 50% sabbia. I vasi sono stati mantenuti in una serra. Dopo 15 e 30 giorni dalla messa a dimora dei rizomi si è proceduto alla rilevazione dei germinati e al 30° giorno è stato valutato anche il numero di germogli emessi.

I dati sono stati analizzati utilizzando il software MSTAT-C (Michigan State University, 1993).

Risultati e discussioni

Durante le prove le velocità di lavoro rivelate variavano tra 1,5 e 1,9 km h^{-1} (Tab. 2).

Il moto rotatorio dell'organo di lavoro ed il diverso peso specifico fra zolle e rizomi consentiva una prima evidente separazione fra terreno e rizomi sezionati, portati in superficie e depositati entro i primi centimetri di terreno frantumato.

Tabella 2 - Lunghezze di taglio messe a confronto e parametri operativi della zappatrice rotativa modificata.

Settaggio	Lunghezza di taglio (cm)	Giri motore (rpm)	Velocità di avanzamento (km h^{-1})	Gamma	Rapporto	Pdp (rpm)
1	4,4	1889	1.55	Ridotta	1°	198
2	5,0	1850	1.75	Ridotta	2°	194
3	6,4	1621	1.95	Ridotta	3°	170

Figura 2 - Particolare delle sezioni di rizoma a terra.

Produttività

In base ai dati ottenuti in seguito all'estrazione manuale dei rizomi presenti nelle sei aree campione, si può affermare che la resa in peso (materiale che richiede un'ulteriore fase di lavorazione per la produzione dei rizomi) è risultata pari a 960 g m^{-2}. Utilizzando la zappatrice modificata, ciò che viene raccolto è il rizoma già pronto per la successiva fase di insacchettamento e, nel caso dei tre settaggi studiati, si è ottenuta una produzione di rizomi già sezionati di poco inferiore rispetto alla raccolta manuale dei cespi. Il peso medio dei rizomi raccolti era di 63,3 g, mentre la lunghezza media era di 9,3 cm.

Figura 3 - Particolare dei rizomi ottenuti.

Da un primo esame dei rizomi raccolti (Fig. 3) si è potuto riscontrare che la classe intermedia (tra 5 e 10 cm di lunghezza) era quella maggiormente rappresentata nei tre settaggi analizzati (Fig. 4). Il risultato appare piuttosto interessante soprattutto per le regolazioni 2 e 3, scelte al fine di ottenere rizomi o parti di rizomi di lunghezza teorica pari a 5,0 e 6,4 cm, dimostrando, quindi, che con la sezionatura meccanica la lunghezza può essere preventivamente definita.

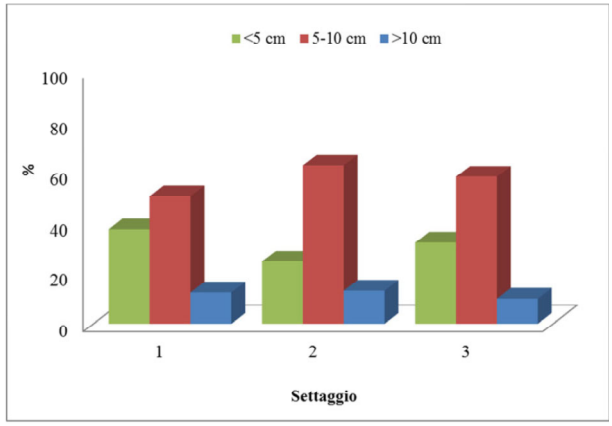


Figura 4 - Distribuzione percentuale delle tre classi di lunghezza dei rizomi prodotti utilizzando tre diversi settaggi della zappatrice rotativa modificata.

Dal punto di vista della produzione numerica di rizomi per unità di area, l'analisi statistica ha confermato la differenziazione dimensionale del materiale di propagazione (Tab. 3). Complessivamente, senza tenere conto dei diversi settaggi, il numero di rizomi di lunghezza superiore ai 5 cm è risultato pari all'88,7% del totale dei rizomi raccolti (il 90,2% per il settaggio 3).

Tabella 3 - Numero di rizomi raccolti (n m^{-2}) utilizzando tre diversi settaggi della zappatrice rotativa modificata (media ± E.S.). Si riportano, altresì, le medie (± E.S.) del numero di rizomi raccolti distinti per classe di lunghezza e la percentuale di rizomi più lunghi di 5 cm. Lettere maiuscole differenti indicano differenze statisticamente significative per P<0,01 dopo test di Duncan.

	Settaggio			Media della classe
	1	2	3	
Media del settaggio	13.5±2.3	7.3±1.3	11.2±1.3	
Classe di lunghezza				
<5cm	1.6±0.5	0.9±0.3	1.1±0.1	1.2±0.2 C
5-10 cm	6.8±1.3	4.6±1.1	6.5±0.9	6.0±0.6 A
>10 cm	5.0±0.8	1.8±0.2	3.6±0.6	3.5±0.5 B
Rizomi>5 cm (%)	87.8	87.1	90.2	88.7

I primi risultati appaiono confortanti, in quanto la classe di rizomi prodotti e maggiormente rappresentata risulta essere quella (5-10 cm) per la quale erano stati programmati i settaggi 2 e 3.

Come prevedibile, con l'aumentare della lunghezza il peso medio del rizomi aumenta e tale andamento si conferma per i tre settaggi studiati. Con una semplice analisi di correlazione è possibile mettere in evidenza come i due caratteri siano correlati (Fig. 5) e tale aspetto, benché facilmente intuibile, riveste una certa importanza in relazione all'ottenimento di rizomi di dimensione idonea, mediante meccanizzazione della raccolta, ma anche germinabili ed in grado di produrre un adeguato numero di germogli, ossia alla sua capacità di fornire materiale ad uso riproduttivo di buona qualità.

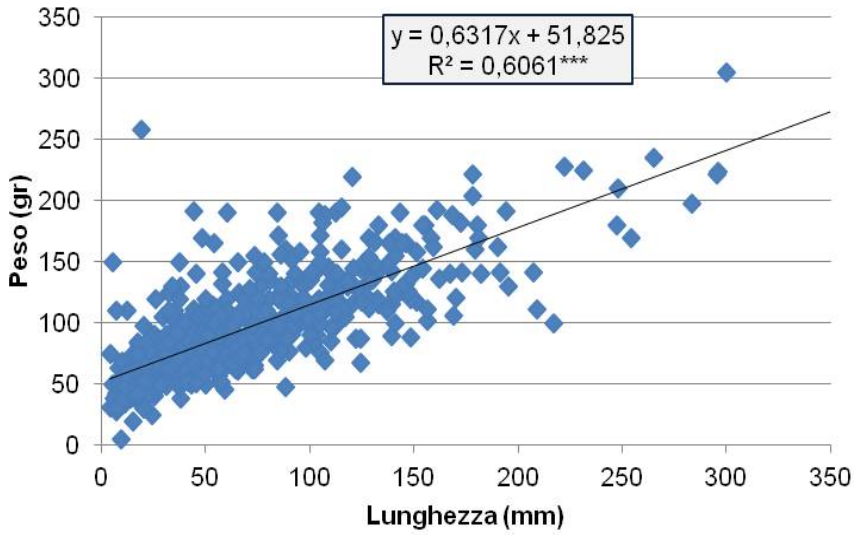


Figura 5 - Relazione tra lunghezza (X) e peso (Y) dei rizomi (n=605) di canna comune sezionati in campo mediante la zappatrice rotativa modificata.
***Statisticamente significativo per P<0,001.

Capacità germinativa

Come si può osservare in Tabella 4, i rizomi più lunghi (e, dunque, più pesanti) hanno mostrato una percentuale di germinazione superiore all'80% per il settaggio 2 e 3 e, non considerando i settaggi, la percentuale di germinazione media della classe di rizomi maggiore di 10 cm è risultata statisticamente differente rispetto alla classe <5 cm. Rizomi più lunghi significano anche presenza di un più alto numero di gemme vitali. Tale osservazione viene confermata dai dati riportati in tabella 5, da cui si evince che passando dai rizomi più piccoli a quelli di lunghezza superiore ai 10 cm il numero di germogli prodotti per rizoma raddoppia.

Tabella 4 - Percentuale di germinazione registrata per i rizomi ottenuti mediante il sezionamento con zappatrice rotativa modificata (media ± E.S.). Prima dell'analisi statistica mediante ANOVA si è proceduto alla trasformazione dei dati nella radice quadrata dell'arcoseno.

	Settaggio			Media della classe
Classe di lunghezza	**1**	**2**	**3**	
<5cm	37.5±7.2	75.0±10.2	75.0±14.4	62.5±7.51
5-10 cm	75.0±10.2	50.0±10.2	75.0±10.2	66.7±6.13
>10 cm	75.0±10.2	81.2±6.3	87.5±7.2	81.2±4.29
Media del settaggio	62.5±7.2	68.7±6.3	79.2±6.0	

Tabella 5 - Numero di germogli prodotti dai rizomi ottenuti mediante il sezionamento con zappatrice rotativa modificata (media ± E.S.). Lettere maiuscole differenti indicano differenze statisticamente significative per P<0,01 dopo test di Duncan.

	Settaggio			Media della classe
Classe di lunghezza	**1**	**2**	**3**	
<5cm	0.6±0.1	1.4±0.3	0.9±0.2	1.0±0.1 B
5-10 cm	1.5±0.3	0.7±0.2	1.3±0.3	1.2±0.2 B
>10 cm	2.3±0.4	2.3±0.5	2.8±0.4	2.5±0.2 A
Media del settaggio	1.5±0.3	1.5±0.3	1.7±0.3	

Tutto ciò si riflette positivamente sulla preparazione del materiale di propagazione da destinare al mercato. Una semplice simulazione in cui si tenga conto dei valori di germinazione e del numero di germogli ottenuti per rizoma, così come esposto in tabella 4 e 5, mette in evidenza come la meccanizzazione della raccolta e sezionatura dei rizomi possa consentire l'ottenimento di notevoli quantitativi di materiale di propagazione di canna. Le sezioni di maggiori dimensioni consentono di ridurre il quantitativo di materiale necessario a parità di numero di gemme messe a dimora.

Conclusioni

La riproduzione della canna comune rappresenta, tuttora, uno dei principali elementi che limitano la diffusione della coltura, sia sotto l'aspetto tecnico impiantistico che economico. La realizzazione di nuovi impianti di canna tramite sezioni di rizoma

sembra ancora la soluzione che permette i maggiori margini di affidabilità per la riuscita della coltivazione in tempi contenuti.

CRA-ING si è occupato della messa a punto di linee di meccanizzazione in grado di ridurre gli elevati costi di manodopera attualmente sostenuti per la produzione del materiale di riproduzione. La soluzione adottata prevedeva l'uso di una zappatrice rotativa modificata in grado di sezionare i rizomi a terra, riducendo pertanto la fase di sezionatura successiva. In base ai risultati ottenuti, tale soluzione si è rilevata funzionale nella sezionatura dei rizomi di canna che risultano così già pronti per essere raccolti e confezionati per i successivi impianti.

Due delle tre classi dimensionali ottenute, cioè quelli relativi agli intervalli 5-10 cm e >10 cm si sono rivelate adatte per l'ottenimento di rizomi con una buona percentuale di germinazione. La sperimentazione descritta costituisce un primo tentativo di facilitare la produzione di rizomi in campo ed i risultati ottenuti, rappresentano una possibilità di riduzione delle problematiche legate alla produzione di materiale di propagazione.

Un altro risultato interessante è rappresentato dalla capacità di germinazione mostrata dai rizomi prodotti dalla zappatrice modificata. Da risultati ottenuti, la soluzione proposta si è rilevata interessante per sezionare "cespi" di canna comune e alla luce delle esperienze condotte il perfezionamento di tale metodologia potrebbe consentire la meccanizzazione dell'estrazione del rizoma sezionato che una volta separato dal terreno può direttamente essere confezionato in sacche (big-bag) per un'agevole movimentazione.

Bibliografia

Boose A. B., Holt J. S. (1999). Environmental effects on asexual reproduction in *Arundo donax*. Weed Research, 39: 117-127.

Ceotto E. (2007). A simple and straightforward method for shoot cutting propagation of giant reed (*Arundo donax* L.). In: M. Borin, S. Bacelle, (eds.) Proceedings of the International Conference on Multiple Roles of Wetlands, Padova, Italy. 2007, 84.

Ceotto E., Di Candilo M. (2010). Shoot cuttings propagation of giant reed (*Arundo donax* L.) in water and moist soil: The path forward? Biomass and Bioenergy 34, 1614-1623.

Copani V., Cosentino S. L., D'Agosta G. Mantineo M. (2003). Validità di differenti metodi di propagazione per l'impianto di una coltura di canna comune (*Arundo donax* L.) XXXV Convegno Società Italiana di Agronomia, 16-18 settembre: 163-164.

Pari L., Civitarese V., Suardi A. (2009). Prototipo per meccanizzare il trapianto di canna comune. Agroenergie, supplemento a L'Informatore Agrario, n. 29 pag. 19-21.

c - Meccanizzazione del trapianto del rizoma di canna comune (*Arundo donax* L.)

*Mechanization of rhizome transplant of giant reed (*Arundo donax *L.)*

Luigi Pari*, Alberto Assirelli*

Riassunto

La produzione dei rizomi di *Arundo donax* L. non presenta particolari limiti sotto l'aspetto agronomico, ma prevalentemente legati all'assenza di un'adeguata meccanizzazione che possa consentire di ridurre gli elevati fabbisogni di manodopera necessari per l'estrazione, la preparazione e la successiva messa a dimora del materiale di propagazione.

Dopo aver sperimentato una soluzione per la sezionatura a terra dei rizomi e per la successiva raccolta e confezionamento, l'Unità di Ricerca per l'Ingegneria Agraria del CRA si è dedicata alla meccanizzazione dell'operazione di trapianto delle sezioni di rizoma ottenute.

Per una prima verifica di fattibilità si è progettata e realizzata una trapiantatrice agevolatrice ad alimentazione manuale ed a caricamento meccanico. L'operatrice abbinata a trattrice è stata realizzata in collaborazione con una ditta piemontese e nella primavera 2011 sono state svolte le prime prove di messa a dimora delle sezioni di rizoma. La tramoggia presenta una capacità di 1,5 m^3, l'interfila di semina è di 75 cm e sulla file le sezioni di rizoma venivano deposte ad una profondità pari a 20 cm, distanziate 1,4 m per una densità teorica di 9524 rizomi/ha. La macchina presenta 3 elementi di lavoro ed opera a 1,11 m/s pari a 4 km/h.

Parole chiave: trapianto, rizomi, *Arundo donax* L., sezioni di rizoma, moltiplicazione arundo.

* CRA-ING - Unità di Ricerca per l'Ingegneria Agraria, Monterotondo (Roma).

Abstract

The production of the rhizomes of Arundo donax *L. does not present particular limits under the aspect of agronomy, but mainly related to the absence of appropriate machinery that may help reduce the high labor requirements necessary for the extraction, preparation and the subsequent development planting of the propagation material. After experimenting a solution for cutting the rhizomes and on the ground for subsequent collection and packaging, the Research Unit for Agricultural Engineering of the CRA has been concerned to the mechanization of the transplant operation sections of rhizome obtained. For an initial feasibility study, it has been designed and built a manual feed and mechanical loading transplanting machine. The operator coupled with the tractor was realized in collaboration with a company in Piedmont and in spring 2011 the first tests were carried out by planting sections of rhizome. The hopper has a capacity of 1.5 m3, the inter-row planting is 75 cm and files sections of rhizome were laid at a depth of 0.2 m, 1.4 m apart for a theoretical density of 9524 rhizomes / ha. The machine has 3 work items and operates at 1.11 m / s equal to 4 km / h.*

Keywords: *transplantation, rhizomes,* Arundo donax*, rhizome sections, multiplication arundo.*

Introduzione

La produzione dei rizomi di *Arundo donax* L. su larga scala per la moltiplicazione della coltura non presenta particolari limiti sotto l'aspetto agronomico, ma prevalentemente legati all'assenza di un'adeguata meccanizzazione. Le operazioni condotte in vivaio relative alla realizzazione dei campi ed alla loro gestione vengono ancora prevalentemente effettuate manualmente. La messa a punto di adeguate linee di meccanizzazione che possano consentire di ridurre gli elevati fabbisogni di manodopera necessari per l'estrazione, la preparazione e la successiva messa a dimora del materiale di propagazione rappresentano ancora aspetti scarsamente interessati dalla ricerca.

Dopo aver sperimentato una soluzione per la sezionatura a terra dei rizomi e per la successiva raccolta e confezionamento, l'Unità di Ricerca per l'Ingegneria Agraria del CRA si è dedicata alla meccanizzazione dell'operazione di trapianto delle sezioni di rizoma ottenute.

Le sperimentazioni condotte a livello di estrazione meccanizzata portavano all'ottenimento di sezioni di rizoma abbastanza regolati e di dimensioni facilmente gestibili con le comuni linee di movimentazione (bins, big-bag, ecc.).

Prima di progettare una macchina dedicata alla messa a dimora delle sezioni di rizoma, alcune aziende coivolte nell'attività di ricerca hanno effettuato alcune prove di distribuzione utilizzando soluzioni apparentemente più semplici e generalmente

disponibili nelle aziende agricole quali spandiletame a distribuzione centrifuga ed interramento eseguito ad opera di erpici a disco che, nonostante varie modifiche ed adattamenti hanno immediatamente manifestato seri limiti. Tali limiti riguardavano la regolarità di spandimento e l'ottenimento della densità richiesta, che nei programmi di impianto previsti dovrebbe essere indicativamente pari ad 1 rizoma su metro quadro, densità difficilmente ottenibile con sistemi di distribuzione centrifughi ove la massa della sezione di rizoma riveste un aspetto molto importante durante la fase di lancio. Relativamente alle sezioni di rizoma alcuni limiti sono determinati dalla forma e massa irregolare del materiale di propagazione che riduce anche la movimentabilità e scorrevolezza su piano inclinato delle tramogge o contenitori per una corretta alimentazione dell'organo distributore nell'eventuale automazione del processo.

Altro aspetto che ha mostrato limiti di efficienza nelle esperienze condotte con la tecnica di impianto in due fasi (distribuzione ed interramento), ha riguarda l'interramento dei rizomi distribuiti in cui il sistema a disco/hi inclinato/i, raramente consentiva un'idonea copertura dei rizomi; la preparazione del terreno e le dimensioni dei dischi e relativa massa dell'erpice utilizzato giocano un ruolo molto importante sull'efficienza del sistema e soprattutto sull'ottenimento di un'adeguata profondità di semina.

Materiali e metodi

Alla luce delle esperienze condotte ed evidenziata l'importanza di riunire le fasi di distribuzione ed interramento per ridurre i costi di impianto riducendo personale ed attrezzature si è pensato di impostare l'attività di ricerca verso soluzioni che pur non contemplando elevati livelli di automazione consentissero comunque discrete produttività. Nella primavera 2011 è stata progettato e realizzato un prototipo di macchina agevolatrice ad alimentazione manuale dotata di tramoggia propria e di sistema di apertura e chiusura solco di deposizione. La macchina (Foto 1) si presenta di tipo portato da trattrice agricola, opera su 3 file distanziate 0,75 metri, ad interfila variabile secondo necessità di sperimentazione. L'inserimento dei rizomi all'interno del solco avviene ad opera di tre operatori che provvedono manualmente a prelevare i rizomi dal contenitore ed a posizionarli nel solco aperto da un assolcatore a vomero singolo per fila di lavoro. Le principali caratteristiche dimensionali e funzionali rilevate nelle prime esperienze sono riportate in tabella 1.

Tabella 1 - Principali caratteristiche della trapiantatrice realizzata.

Caratteristiche	Unità di misura	Valori
Tipologia operatrice		Portata
Potenza necessaria	kW	50
Capacità tramoggia	m^3	1,5
Elementi di lavoro	n	3
Interfila di trapianto	m	0,75
Distanza sulla fila	m	1,4
Larghezza di lavoro	m	2,25
Tipologia di alimentazione		Manuale
Sistema apertura solco		Doppio vomere
Sistema chiusura solco		Coppia dischi convergenti+rullo
Profondità deposizione	m	0,2
Velocità di lavoro	m/s-km/h	1,11-4
Operatori	n	3+1

Foto 1 - Vista posteriore della trapiantatrice.

Foto 2 - Particolare delle sezioni di rizoma contenute in tramoggia.

La trapiantatrice risulta composta da un telaio principale di tipo portato dall'attacco a tre punti della trattrice sulla quale sono fissati i vari organi di lavoro. Superiormente è fissata una tramoggia della capacità complessiva di 1,5 m^3 (foto 2) inferiormente aperta per permettere la presa dei rizomi da parte degli operatori (foto 3). I tre elementi di lavoro, completamente indipendenti ed articolati anteriormente sono composti da un assolcatore a doppio vomere, un sedile per l'operatore ed un sistema di copertura del solco a doppio disco convergente (foto 4). Posteriormente con funzione di compattatore e pareggiatore è posto un rullo in grado di ripartire il carico sull'intera superficie trattata. Per permettere il mantenimento della regolarità di deposizione lungo la fila è stato posizionato un avvisatore sonoro a ruota di frizione

munita di campanello che in base alla velocità di avanzamento avvisa gli operatori quando è necessario procedere alla deposizione simultanea della sezione di rizoma (foto 5).

Foto 3 - Particolare della fessura di presa dei rizomi e degli assolcatori.

Foto 4 - Trapiantatrice in lavoro su tre file distanziate a 75 cm.

Foto 5 - Particolare della ruota di frizione azionante l'avvisatore acustico per il posizionamento dei rizomi alla distanza impostata.

Le diverse componenti operative dell'operatrice (assolcatori, copritori, compattatori) sono regolabili in altezza e quindi in grado di permettere diverse regolazioni in lavoro per cercare di adeguarsi alle diverse condizioni pedologiche riscontrabili soprattutto in termini di grado di affinamento e consistenza del terreno al passaggio della trapiantatrice.

Risultati

Nel primo anno di impiego il cantiere realizzato ha operato su appezzamenti di superficie molto eterogenea e comunque caratterizzati da ridotte superfici unitarie e conformazioni piuttosto irregolari. Tale sistemazione ha determinato notevoli incrementi dei tempi di lavoro soprattutto di trasferimento e di chiusura degli appezzamenti. Ad eccezione di alcuni casi in cui si superavano i 10 ha in corpo unico nella rimanente superficie il valore medio trapiantato risulta compreso fra 1 e 1,5 ha.

Il ciclo di lavoro prevede il riempimento diretto della tramoggia tramite elevatore a forche o muletti utilizzando direttamente i big-bag (foto 6) riempiti con le sezioni di rizoma, gli operatori prelevano manualmente le sezioni dall'apertura posta alla base della tramoggia e le depositano nel solco aperto dall'assolcatore a doppio vomero profondo 20 cm ad una distanza di 1,4 metri. Considerando l'interfila di 0,75 metri l'investimento realizzato risulta pari a 9524 rizomi/ha.

Foto 6 - Particolare dell'area di rifornimento della trapiantatrice.

Nonostante il sistema di alimentazione manuale, l'elevata distanza di posizionamento dei rizomi consente una discreta velocità di avanzamento del cantiere risultata pari a 4 km/h.

Considerando una larghezza di lavoro di 2,25 m, la capacità teorica di lavoro sarebbe di circa 0,9 ha/h a cui andrebbero decurtati i tempi accessori (riempimenti, svolte, registrazioni in campo, ecc.).

I rilievi sono stati eseguiti su di un appezzamento di forma rettangolare di lunghezza pari a 168 m e larghezza pari a 90 m per una superficie complessiva di 1,5 ha. L'area di rifornimento era stata collocata su di un vertice dell'appezzamento e il rifornimento avveniva ogni 8 passaggi, quattro giri completi. In tabella 2 sono riportati i principali valori rilevati sull'operatività del cantiere di trapianto.

Il sistema di riempimento della tramoggia tramite una seconda trattrice munita di caricatore frontale prevedeva anche il tempo necessario per il passaggio dell'opera-

tore addetto alla guida al secondo trattore per il carico. Il tempo di rifornimento è risultato di 15 minuti comprensivi delle operazioni di accostamento della trapiantatrice al rimorchio, scarico del primo saccone, agganciamento e carico del secondo sacco, riposizionamento e secondo scarico in tramoggia del suo contenuto, rientro in posizione di lavoro della trapiantatrice. Il tempo rilevato si può considerare attendibile per distanze inferiori ai 100 metri fra luogo di trapianto e rimorchio di rifornimento della trapiantatrice.

Tabella 2 - Analisi dei tempi di lavoro riscontrati.

Tempo operativo TO		
	Secondi	**%**
Tempo effettivo TE	6400	46,04%
Tempo per voltate TAV	2200	15,83%
Tempo per rifornim. o scarichi TAS	4500	32,37%
Tempo per manutenzione TAC	800	5,76%
Tempo accessorio TA	7500	53,96%
Tempo operativo totale	13900	100,00%

Il contenuto di ogni saccone può essere considerato pari indicativamente a 1500 sezioni di rizoma e la logistica tramite big-bag consente un'agevole movimentazione anche in campo con i comuni rimorchi aziendali.

L'intero cantiere di trapianto risulta composto da due trattrici di cui una dotata di elevatore a forche anteriore, la trapiantatrice un rimorchio e 4 operatori considerando il medesimo trattorista sia alla conduzione della trapiantatrice sia alla momentanea conduzione della trattrice munita di caricatore frontale per le operazioni di rifornimento, addetta anche al trasporto del carro portasacconi.

Tabella 3 - Capacità operative riscontrate.

Operatività	
Velocità effettiva (m/s)	1,05
Velocità operativa (m/s)	0,48
Lunghezza totale delle file (m)	6720
Rendimento operativo %	46,04
Capacità di lavoro effettiva ha/h	0,844
Capacità di lavoro operativa ha/h	0,388
Superficie netta (ha)	1,5

La velocità effettiva di lavoro si avvicina a 4 km/h che alla luce del sistema di alimentazione manuale dell'operatrice può considerarsi soddisfacente. La velocità operativa, risentendo dei tempi di svolta e soprattutto di rifornimento subisce un drastico

ridimensionamento scendendo al di sotto dei 2 km/h. Dalle prime esperienze condotte la produttività del cantiere, su appezzamenti di forma regolare e di superficie superiore all'ettaro si assesta entro i 3 ettari giornalieri, valore non molto elevato ma in grado di garantire una buona qualità di impianto soprattutto in termini di regolarità di posizionamento e profondità di deposizione. In alcuni casi particolarmente favorevoli soprattutto in termini di dimensione e conformazione degli appezzamenti la produttività ha raggiunto anche i 4 ettari giornalieri.

Conclusioni

Il prototipo realizzato rappresenta un prima esperienza per la realizzazione su larga scala di impianti di canna comune secondo la tipologia di moltiplicazione ritenuta più efficiente. L'operatrice realizzata richiede alcuni miglioramenti per incrementare le capacità operative soprattutto a livello di sistema di alimentazione sostituendo quella prettamente manuale con sistemi agevolatori se non completamente automatizzati. Esperienze con macchine utilizzanti sistemi di alimentazione sempre manuali ma ergonomicamente più vantaggiose per gli operatori sono rappresentate da sistemi di distribuzione rotanti con o senza elementi di presa sulla tipologia di quanto impiegato in orticoltura. Tali sistemi anche se ad alimentazione manuale per via della notevole eterogeneità delle sezioni di rizoma, convogliando il prodotto entro il solco evitano all'operatore il continuo piegamento in avanti per accompagnare la sezione di rizoma in fondo al solco, migliorando qualità del lavoro e prestazioni. In queste applicazioni all'operatore viene demandato il solo compito di prelevare il rizoma dalla tramoggia e deporlo sul sistema di adduzione senza effettuare ulteriori movimenti; il distributore provvederà poi al trasporto verso il solco ed al rilascio al momento opportuno.

Alla luce delle positive esperienze condotte che hanno consentito la messa a dimora di oltre 80 ha di Arundo con capacità giornaliere di 3-4 ha, ulteriore obbiettivo potrebbe essere la progettazione e lo sviluppo di un sistema di alimentazione automatizzato che permetta il prelievo diretto della sezione di rizoma dalla tramoggia, il suo trasporto e rilascio in fondo al solco aperto dal sistema a doppio vomere e collocata, all'idonea distanza di deposizione.

d - Sviluppo di un prototipo per l'impianto della canna comune (*Arundo donax* L.) con talea di fusto

*Development of a prototype for the planting of giant reed (*Arundo donax *L.) using stem cuttings*

Luigi Pari*, Alberto Assirelli*,
Vincenzo Civitarese*, Alessandro Suardi*

Riassunto

La propagazione della canna comune (*Arundo donax L.*) coltivata per fini energetici rappresenta una criticità nei nostri climi, legata alla sterilità fiorale. La riproduzione vegetativa risulta da un lato un aspetto positivo in termini di allocazione dei fotosintetati, destinati principalmente alla produzione di biomassa, ma può essere un ostacolo alla diffusione della coltura. Tra le varie tecniche di propagazione disponibili, quella di interramento di porzione di fusto può rappresentare un alternativa perseguibile, ma ulteriori studi sono necessari per confermare la tecnica riproduttiva. Al fine di agevolare impianti sperimentali su grandi superfici e a costi minori, il CRA-ING, all'interno del progetto SUSCACE, ha sviluppato e testato un prototipo di trapiantatrice di culmi di canna, ipotizzandone futuri sviluppi e miglioramenti nell'ottenimento di una successiva versione commerciale.

Parole chiave: Colture energetiche, prototipo, canna comune, talea di fusto, trapianto.

* CRA-ING - Unità di Ricerca per l'Ingegneria Agraria, Monterotondo (Roma).

Abstract

*The spreading of giant reed (*Arundo donax *L.), grown for energy use, represents a crucial aspect, for the climatic condition in Italy, cause of its flower sterility. The vegetative reproduction represent positive aspect in term of photosynthetic allocation addressed for biomass production, in other hand it could be a limit to crop spreading. Among the available techniques of propagation, the steam cutting could represent a good option, but other research needs to be carry out to confirm method.*

In order to facilitate experimental plants over large areas and at lower cost, the CRA-ING, within the project SUSCACE, has developed and tested a prototype of the transplanted culms of reed, speculating on future developments and improvements in obtaining a subsequent business version.

Keywords: *energy crops, prototype, giant reed, stem cutting, transplanting.*

1. Introduzione

Negli ambienti mediterranei, a causa della sterilità fiorale, la canna comune non produce semi, e indirizza tutti i fotosintetati verso la produzione di biomassa lignocellulosica (1). Questo comporta d'altro canto una drastica riduzione della variabilità genetica e della propagazione della specie.

In assenza di semi, l'impianto della coltivazione risulta una criticità che limita fortemente la diffusione della coltura, soprattutto dal punto di vista economico, per quanto, come tutte le poliennali, ha il vantaggio di poter distribuire i costi iniziali dell'impianto, attraverso l'intero periodo di coltivazione (2).

I sistemi di riproduzione vegetativa potenzialmente impiegabili per la sua coltivazione sono:

1. piantina micro-propagata;
2. talea radicata;
3. talea di rizoma:
4. porzione di fusto adagiato nel solco.

Diverse esperienze condotte a livello nazionale ed internazionale hanno evidenziato che il maggior grado di attecchimento è assicurato dalla propagazione tramite rizomi (3), tuttavia, così come per le piantine micropropagate o le talee di rizoma, il costo di tale materiale resta ancora troppo elevato, anche a causa dell'elevata densità di impianto necessaria (8.000-10.000 p/ha). La moltiplicazione dei rizomi, la loro estrazione, pulitura e sezionatura, unita al confezionamento conservazione e trasporto, rappresentano ancora fasi poco o nulla meccanizzate che rendono il costo di produzione di tale materiale spesso difficilmente contenibile a volori accettabili. La propagazione tramite sezioni di culmo, di più agevole ottenimento sembra possa contri-

buire al contenimento delle spese di impianto purché eseguita con i dovuti accorgimenti legati all'ottenimento delle sezioni di fusto, alla loro conservazione ed induzione al germogliamento. I culmi di canna interrati parallelamente alla superficie del terreno, potrebbero rappresentare una valida alternativa ai rizomi, essendo facilmente reperibili e a costi notevolmente più contenuti.

Al fine di agevolare le operazioni di messa a dimora di questo materiale di propagazione a profondità predefinita e secondo sesti di impianto idonei alla coltura, operazioni ancora eseguite su base sperimentale spesso manualmente, il Cra-Ing ha sviluppato un prototipo per il trapianto dei culmi di *Arundo donax* L., in collaborazione con una ditta privata interessata alla sperimentazione.

Le prove di trapianto sono state effettuate in diverse località tra Sardegna, Umbria, Emilia Romagna e Toscana al fine di valutare l'operatività della macchina in differenti condizioni pedoclimatiche, nonché l'applicabilità della metodologia di propagazione. I risultati riportati in questo articolo si riferiscono alle prove sperimentali effettuate nel maggio 2009 presso i campi sperimentali di Marciano della Chiana (AR) dell'Agenzia Regionale per lo Sviluppo e l'Innovazione nel settore Agricolo e forestale (ARSIA) della regione Toscana.

Verranno di seguito riportate la descrizione dell'operatrice realizzata, l'operatività e il comportamento del materiale di propagazione utilizzato oltre ad alcune considerazioni per lo sviluppo di una potenziale macchina commerciale.

2. Descrizione del prototipo

La trapiantatrice sviluppata (foto 1) è una macchina operatrice portata, fissata all'attacco a tre punti posteriore di un trattore. È formata da un telaio principale in profilati metallici sul quale sono fissate alle estremità due contenitori per le talee di fusto e centralmente i sedili per gli operatori. La macchina opera la deposizione di due file simultaneamente con assolcatori anteriori, paratie per mantenere aperto il solco, ruote di compattazione, coppia di dischi e rullo terminale di compattamento per la richiusura del solco.

Gli operatori prendono posto su due sedili (a) rivolti uno di fronte all'altro, dotati di una pedana leggermente inclinata su cui poggiare i piedi. Entrambi introducono manualmente i pezzi di canna, contenuti in due casse laterali in lamiera sagomata (b), che sono posizionati ad una altezza e ad una distanza dall'operatore tali, da ridurre l'affaticamento dello stesso durante il prelievo.

I solchi vengono aperti da due assolcatori a "V" (c) fino ad una profondità di 200 – 250 mm.

Per evitare la ricaduta del terreno in fondo al solco, sono state montate delle paratie in metallo fissate subito dietro gli assolcatori (d), in modo da assecondare l'irregolarità del terreno.

Una ruota folle (e) favorisce il trattenimento della canna in fondo al solco. Questa soluzione risulta particolarmente utile in presenza di materiale non perfettamente lineare (curvature naturali delle canne).

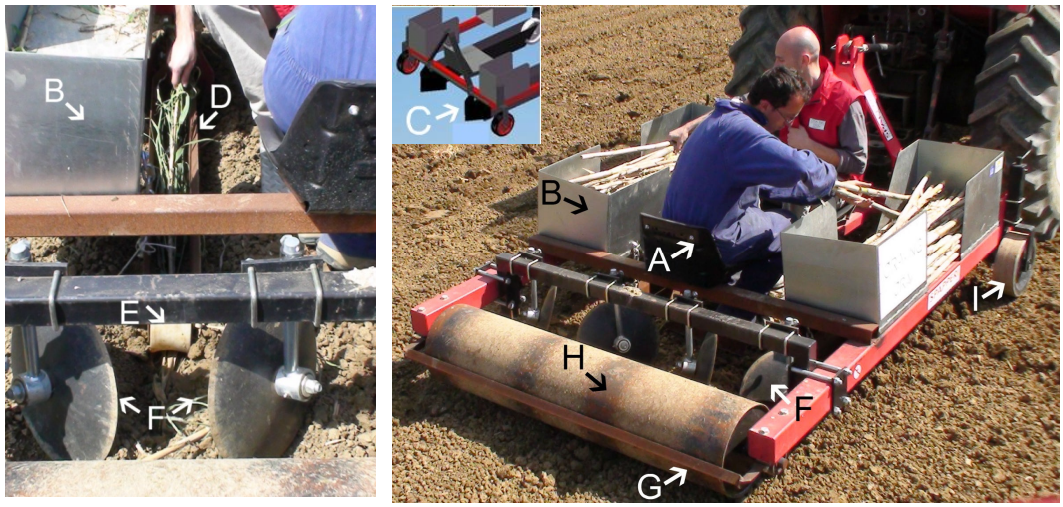


Foto 1 - Prototipo di trapiantatrice di canna e sue principali componenti: A) sedile; B) cassette laterali per il contenimento dei culmi; C) assolcatori a "V"(visione anteriore); D) paratie in metallo per evitare la ricaduta del terreno nel solco; E) ruote folli per il trattenimento dei culmi nel solco; F) dischi rincalzatori chiudisolco; H) rullo di compattazione; G) profilato per la pulitura del rullo; I) ruote laterali di appoggio folli.

La chiusura dei solchi avviene ad opera di una doppia coppia di dischi convergenti (f).

Infine il prototipo è dotato di un rullo di compattazione (g), di larghezza pari all'ingombro laterale della macchina, che svolge la funzione di comprimere leggermente il terreno precedentemente movimentato, migliorando il contatto tra terreno e fusti interrati. La presenza di un dispositivo raschiante sul rullo impedisce l'adesione del terreno allo stesso (h).

La posizione e l'altezza di lavoro di tutti gli organi sopra descritti sono regolabili per garantire la più ampia adattabilità della macchina alle diverse caratteristiche dei campi su cui l'agevolatrice può trovarsi ad operare.

L'altezza di lavoro viene regolata direttamente dal sollevatore idraulico del trattore e dalla presenza di due ruote folli regolabili in altezza (I).

3. Prove sperimentali di trapianto

Le prove sono condotte su una parcella di 600 m^2 ponendo a dimora culmi di canna sezionati in tre parti di lunghezza pari a 1,10 m, provenienti da ecotipi locali prelevati qualche giorno prima da un impianto già presente nel centro ARSIA.

Le porzioni basali ed intermedie dei fusti risultavano caratterizzate da un diametro medio di 17,5 mm, con 4,6 gemme per metro. Le porzioni apicali, invece, mostravano un numero quasi doppio di gemme (8,4 gemme per metro), mentre il diametro medio delle porzioni apicali risultava di poco superiore ai 10 mm.
Il protocollo sperimentale seguito prevedeva quattro tesi con interfila pari a 0,7 m (Tab. 1):

- densità pari ad 1culmo/m, prelevando il materiale dalla porzione basale o intermedia del fusto, ponendo quindi in germinazione 65.780 gemme/ha;
- densità pari a 1,5 culmi/metro, prelevando il materiale dalla porzione basale o intermedia del fusto ponendo quindi in germinazione 98.670 gemme/ha;
- densità pari a 2 culmi/metro, prelevando il materiale dalla porzione basale o intermedia del fusto, ponendo quindi in germinazione 131.560 gemme/ha;
- densità pari a 2 culmi/metro, prelevando il materiale dalla porzione apicale del fusto, ponendo quindi in germinazione 240.240 gemme/ha.

Tabella 1 - Caratteristiche dei culmi trapiantati secondo le quattro tesi descritte.

Parti del fusto	Diametro Medio (cm)	Gemme (n m^{-1})	Densità Lineare (culmo m^{-1})	Gemme/ha (n)
Porzioni basali o intermedie	1,7	4,7	1	65.780
			1,5	98.670
			2	131.560
Porzioni apicali	1	8,4	2	240.240

Durante la prova sono stati rilevati i tempi di lavoro della macchina al fine di valutare le prestazioni del lavoro effettuato. È stata utilizzata la metodologia ufficiale della Commission Internationale de l'Organisation Scientifique du Travail en Agriculture (Ciosta) con la raccomandazione dell'Associazione Italiana di Genio Rurale (A.I.G.R.) 3^ R1 (4).

4. Risultati

4.1. Qualità del lavoro svolto

L'esperienza condotta in campo (foto 2) ha messo in evidenza la validità dell'idea progettuale proposta. Tutti gli organi, da quelli preposti all'apertura e chiusura dei solchi, a quelli per l'interramento del materiale di propagazione ed alla compattazione del terreno, sono risultati ben dimensionati ed efficienti in lavoro (foto 3 e 4).

L'escursione delle viti e dei profilati per le regolazioni in altezza dei diversi organi è risultata sufficiente per l'adattamento della macchina alle diverse condizioni di lavoro incontrate.

Foto 2 - Prototipo in fase di lavoro. Ogni operatore provvede alla deposizione dei culmi su una singola fila

Foto 3 - Particolare del fusto di canna interrato a una profondità compresa tra 200 e 250 mm.

Foto 4 - Profilo superficiale dell'area interessata al trapianto.

Le cassette laterali per il contenimento dei culmi sono risultate di contenuta capacità complessiva, spesso non in grado di garantire una sufficiente autonomia di lavoro, influendo negativamente sui tempi accessori necessari per il rifornimento.

4.2. Tempi di lavoro

Durante le prove sono state valutate le prestazioni del prototipo (tabella 2). I tempi accessori sono risultati costituiti esclusivamente dai tempi per voltate in capezzagna nella misura del 9,54%, e tempi di rifornimento nella misura di 14,13%.

Non sono stati registrati, invece, tempi di riposo e tempi morti inevitabili.

La macchina ha raggiunto capacità di lavoro operative dell'ordine di 0,10 ha/h con una velocità effettiva di avanzamento di 0,37 m/s.

Tabella 2 - Tempi standard e operatività della trapiantatrice di canna.

Tempo standard TS		
Tempo effettivo TE	%	76,33
Tempo accessorio TA	%	23,67
- Tempo per voltate TAV	%	9,54
- Tempo per rifornim. o scarichi TAS	%	14,13
- Tempo per manutenzione TAC	%	0
Tempo di riposo TR	%	0
Tempo morto inevitabile TMI	%	0
Tempo standard	%	**100**
Operatività della macchina		
Rendimento operativo Ro	%	76,33
Velocità effettiva ve	m/s	0,37
Velocità operativa vo	m/s	0,28
Capacità di lavoro effettiva	ha/h	0,12
Capacità di lavoro operativa	ha/h	0,10

5. Conclusioni e discussioni

Le prove effettuate in campo hanno dimostrato sia la validità dell'idea progettuale che la buona funzionalità della macchina proposta per la massa a dimora delle sezioni di fusto. Si può sottolineare come la funzione del prototipo proposto sia stata quella di agevolare la costituzione di parcelle sperimentali, al fine di valutare la validità e la sostenibilità della metodologia di impianto proposta. Un certo limite è stato riscontrato sulla capacità di lavoro piuttosto ridotta (0,1ha/h) principalmente imputabile all'alimentazione manuale della macchina ma comunque migliore rispetto alla messa a dimora completamente manuale fino ad ora seguita comprensiva anche di apertura e chiusura solchi. Il passo successivo consisterà nello sviluppare un nuovo prototipo di trapiantatrice, costruito sulla base della metodologia sperimentata e in grado di lavorare su non meno di 6 file (larghezza di lavoro 4,20 m). Importante sarà inoltre dotare la macchina di contenitori di culmi più capienti, al fine di ridurre i tempi accessori di rifornimento, prevedendone anche un terzo supplementare, da posizionarsi magari superiormente al rullo di compattazione. Il sistema di prelievo ed interramento dovrebbe inoltre essere automatizzato, con aumento delle velocità di lavoro e vista la generale regolarità del materiale di propagazione tale applicazione non dovrebbe incontrare particolari difficoltà. Sembra inoltre consigliabile la sosti-

tuzione del rullo posteriore integrale con specifici rulli sagomati per ogni fila di lavoro in grado di effettuare la baulatura del terreno sulla singola fila.

In caso di affermazione di questa metodologia di impianto sarà necessario sviluppare la meccanizzazione della preparazione delle sezioni di fusto che dovrebbe contemplare una ulteriore macchina per la raccolta e la depezzatura delle canne in piedi, al fine di produrre materiale di propagazione con le caratteristiche idonee. Anche questa operazione viene attualmente eseguita manualmente con un considerevole impiego di manodopera e tempo.

Bibliografia

Angelini L.G., Ceccarini L., Bonari E. Biomass yield and energy balance of giant reed (Arundo donax L.) cropped in central Italy as related to different management practices. *Europ. J. Agronomy.* 2005, 22, pp. 375-389.

Bolli P., Scotton M. Lineamenti di tecnica della meccanizzazione Agricola. Edagricole, 1987.

Cosentino S., Foti S., Venturi G., Giovanardi R., Copani V., Mantineo M., D'Agosta G., Bezzi G.,Mazzocco G.T., Colture erbacee poliennali da biomassa per energia di possibile coltivazione in Italia. *Agroindustria.* 2005, Vol. 4, 1, pp. 35-48.

Di Candilo M., Ceotto E. La coltivazione della canna comune *(Arundo donax L.)* ad uso energetico nel nord Italia.

e - Meccanizzazione della raccolta del prodotto trinciato di canna comune (*Arundo donax* L.)

*Harvest mechanization of chopped forage of giant reed (*Arundo donax *L.)*

Luigi Pari*, Alessandro Suardi*, Vincenzo Civitarese*, Elisabetta Giannini*

Riassunto

Lo sviluppo di una agro-filiera è strettamente legato alla presenza di una efficiente meccanizzazione. Questo aspetto risulta essere tanto più importante quanto più i prodotti ottenibili abbiano un basso valore economico e una ridotta concentrazione energetica, come per le biomasse destinate alla produzione di calore e/o elettricità. L'*Arundo donax* è una coltura energetica poliennale molto interessante, sia in termini di produttività che di bassi input necessari per la sua crescita. La sua diffusione risulta comunque ancora limitata per motivi imputabili anche alle problematiche riscontrate nella meccanizzazione di alcune fasi della filiera. Normalmente la raccolta risulta essere una fase cruciale e che si concentra sull'ottenimento del massimo profitto con le minime perdite. Nella canna questa può essere fatta tramite trinciatura del prodotto fresco o imballatura della biomassa trinciata. Il CRA-ING ha testato entrambi i metodi di raccolta e in questo articolo sono riportati i risultati delle prove di raccolta effettuati presso i campi sperimentali dell'ARSIA a Marciano della Chiana (AR) nel biennio 2009-2010, evidenziando le problematiche riscontrate, le possibili soluzioni e indicando la strada per future ricerche finalizzate a migliorare la qualità del prodotto ottenibile e le performance di raccolta.

Parole chiave: *Arundo donax*, raccolta, falciatrinciacaricatrice, Claas Jaguar 850, Nobili BNU 160AD, colture energetiche.

* CRA-ING - Unità di Ricerca per l'Ingegneria Agraria, Monterotondo (Roma).

Abstract

The development of agricultural supply chain depends closely on the presence of efficient mechanization. Efficient mechanization process is as, if not more, important for supply chains that have products with low economic value and low energy concentration as the biomass collected for heat and/or electricity. Reed giant (Arundo donax spp., L.) is a promising energy crop in terms of both yield and low inputs necessary for growing. Its geographical diffusion for bio-energy is limited due to improvements necessary in some mechanization aspects in some stages of its supply chain. Harvesting is a crucial phase that focuses on the maximum yield with the minimum losses. Arundo donax could be collected in two ways; self propelled forage harvester or bailing the chopped forage. CRA-ING on Marciano della Chiana (AR) experimental fields, in 2009 and 2010, tested both harvesting systems highlighting problems and outlining possible solutions in future potentials for studies to improve biomass quality and harvesting performance.

Keywords: *Giant reed, harvesting, self-propelled forage harvester, energy crops, Claas Jaguar 850, Nobili BNU160AD.*

1. Introduzione

Le operazioni di raccolta della canna comune, che nel bacino del Mediterraneo vengono fatte tra dicembre e febbraio, coincidono con la fine dell'attività vegetativa e l'inizio della defogliazione della pianta. A partire dall'autunno i fusti, che intanto hanno raggiunto il massimo sviluppo, iniziano a seccarsi.

È stato osservato come una raccolta più tardiva comporti una perdita di biomassa nell'ordine del 5-10% legata alle perdite dell'apparato fogliare e apicale (Arsia, 2004). Essendo queste parti più ricche di silice, elemento che peggiora la qualità della biomassa in fase di combustione, ne consegue un prodotto finale migliore da un punto di vista qualitativo. Inoltre una raccolta posticipata comporta un minore contenuto di umidità e più alto contenuto energetico della biomassa.

Fino ad ora la canna non è stata coltivata a livello intensivo e le caratteristiche morfologiche della coltura non sempre coincidono con i parametri costruttivi su cui le convenzionali macchine agricole sono state progettate. Esperienze di raccolta meccanizzata in passato sono state portate avanti con successo attraverso falcia-trincia-caricatrici normalmente impiegate per le colture da foraggio, riscontrando i migliori risultati con macchine dotate di testate prive di file (tipo "Kemper") che permettevano tempi di raccolta di poco superiori all'ora per ettaro (Arsia, 2004).

Nell'ambito del progetto SUSCACE, l'Unità di Ingegneria Agraria del CRA (CRA-ING) nel biennio 2009-2010, presso i campi sperimentali del centro ARSIA[1]

[1] Agenzia Regionale per lo Sviluppo e l'Innovazione nel Settore Agricolo Forestale.

di Marciano della Chiana (AR), ha valutato l'operatività di due differenti cantieri per la raccolta dell'Arundo donax:

- falcia-trincia-caricatrice Claas Jaguar 850 con testata da mais di serie Claas RU 450 XTRA;
- trinciatrice della ditta Nobili BNU 160 AD ancora in fase di sviluppo e rotoimballatrice a rulli e camera fissa RP 320 Farmer della ditta Welger

Rispetto al condizionamento e raccolta in rotoballe, la trinciatura ha il vantaggio di avere, nella biomassa finale, una percentuale di impurità più contenuta e di non dover provvedere alla fase di pretrattamento (apertura della balla e cippatura del prodotto) prima della combustione. Va comunque ribadito che l'imballatura offre alcuni importanti vantaggi. Innanzitutto facilita la movimentazione del residuo, perché ne diminuisce l'ingombro e lo organizza in unità omogenee per forma e dimensioni. Questo consente di sfruttare meglio la capacità di carico dei mezzi destinati al trasporto, prolungandone il raggio economico di azione. Inoltre, l'imballatura facilita uno stoccaggio prolungato, perché le balle occupano meno spazio del residuo sfuso e non presentano i problemi di fermentazione del cippato (Lehtikangas *et al.*, 1998).

Obbiettivo delle prove è stato quello di valutare la fattibilità tecnica dei due differenti sistemi di raccolta dell'*Arundo donax* e gli eventuali limiti operativi riscontrabili.

2. Materiali e Metodi

2.1. Rilievi sulla coltura

Le prove di raccolta sono state effettuate su una superficie netta di 0,32 ha, suddivisa in 4 parcelle di terreno con lunghezza media di 67 m e larghezza di 12 m.

I rilievi sulla coltura, sia nella fase che precede la raccolta che in quella successiva (determinazione della qualità del lavoro svolto dalle raccoglitrici) sono stati effettuati su 10 m^2 scelti in modo randomizzato sull'intera area raccolta, riportando il risultato all'ettaro. Si sono determinare la densità (piante/ha) l'altezza e il diametro medio delle piante nonché la biomassa raccoglibile.

2.2. Valutazione della qualità del lavoro

La valutazione della qualità del lavoro è stata fatta attraverso la determinazione delle perdite di raccolta, stimate pesando tutto il materiale lasciato a terra dalle imballatrici (falcia-trincia-caricatrice e rotoimballatrice). Inoltre sono state valutate la qualità del taglio e dei danni provocati al suolo che sono stati stimati attraverso la misurazione dell'approfondimento dei pneumatici.

2.3. Classificazione del prodotto raccolto

Il prodotto trinciato e non imballato è stato classificato seguendo la metodologia ufficiale proposta nelle Specifiche Tecniche del Comité Européen de Normalisation (TS/CEN), dalla fase di campionamento allo svolgimento delle prove di laboratorio.

Sulla base dei campioni raccolti sono stati determinati i seguenti parametri:

- massa volumica apparente del trinciato;
- umidità del trinciato;
- granulometria.

2.4. Studio dei tempi di lavoro

Lo studio dei tempi ha lo scopo di valutare le prestazioni delle macchine in fase di lavoro. La metodologia utilizzata è quella ufficiale della Commission Internationale de l'Organisation Scientifique du Travail en Agriculture (Ciosta) con le raccomandazioni dell'Associazione Italiana di Ingegneria Agraria (AIIA) (Bolli *et al.*, 1987).

2.5. Descrizione dei cantieri di raccolta

Nel marzo 2009 la raccolta della canna comune è stata effettuata utilizzando una falcia trincia caricatrice Claas Jaguar 850 equipaggiata con testata di serie Claas RU 450 XTRA (foto 1).

Foto 1 - Falcia trincia caricatrice Claas Jaguar 850 equipaggiata con testata di serie Claas RU 450 XTRA.

Il materiale, una volta trinciato veniva caricato durante le operazioni di raccolta in due trattrici con rimorchio: un dumper Zaccaria da 21 m^3 a due assi accoppiati portato da un Fendt Farmer 816 da 160 CV (118 kW) e un secondo carro, un Vagnoni trainato da un Fiat 90-90 da 90 CV (67,1 kW).

Il cantiere di raccolta adottato nel marzo 2010 prevedeva invece un'operazione di trinciatura del prodotto in piedi e successiva imballatura. Questo era costituito dal prototipo per la trinciatura delle colture erbacee da biomassa BNU 160 AD della Nobili (foto 2) abbinato frontalmente al trattore Farmer 312 di 92 kW di potenza. L'imballatura era stata effettuata tramite rotoimballatrice RP 320 Farmer della Welger a camera fissa (foto 3) abbinata al trattore Same Iron 150.7 di 110 kW di potenza.

Foto 2 - Prototipo per la trinciatura delle colture erbacee da biomassa BNU 160 AD della Nobili.

Foto 3 - Rotoimballatrice RP 320 Farmer della Welger a camera fissa.

2.5.1. falcia-trincia-caricatrice Claas Jaguar 850 e testata Claas RU 450 XTRA

La testata di serie RU 450 XTRA applicata alla trinciatrice semovente della Claas, lavora indipendentemente dalle file ed ha una larghezza di lavoro di 4500 mm.

Le trasmissioni sono composte da gruppi di ingranaggi a bagno d'olio che comandano tre dischi rotanti a tre gradini muniti di coltelli autofilettanti. Questi tagliano le piante assicurando un flusso uniforme del materiale che viene mandato, tramite due rulli dentati verticali di convogliamento, alla bocca di alimentazione. La macchina è una trinciatrice semovente azionata da un motore Daimler Chrysler a 6 cilindri in linea, 12,8 litri di cilindrata, gamma OM 060 LA, che eroga una potenza massima di 412 CV (303 kW).

Sotto la cabina e di seguito ai gruppi di alimentazione della testata, è posto l'apparato trinciante costituito da un tamburo ad asse orizzontale largo 750 mm, con diametro di 630 mm, sul quale sono disposte a V due file sfalsate di coltelli. Il tam-

buro ha un regime fisso di rotazione di 1200 giri/min e durante la prova erano montati tutti e 24 i coltelli.

Questi ultimi sono installati in posizione inclinata rispetto all'asse del tamburo, quindi anche rispetto al contro coltello, in modo da sottoporre il materiale ad un taglio a forbice che permette di ridurre l'energia richiesta dall'operazione di trinciatura.

Grazie alla spinta ricevuta dall'acceleratore di lancio, di 680 mm di larghezza, il materiale viene convogliato verso il collo d'oca posteriore. Quest'ultimo ha un brandeggio verticale ed orizzontale ad angolo di 190°, ed è dotato di paratoie direzionali di flusso a regolazione elettromeccanica (tabella 1).

Tabella 1 - Caratteristiche Claas Jaguar 850.

Descrizione	Unità di misura	Valori
Motore	tipo	Daimler Chrysler
		OM 460 LA
Cilindri	nr.	6 in linea
Potenza motore (ECE R24) a 1.800 g/min	kW (CV)	303 (412)
Cilindrata	litri	12,8
Giri motore (al lavoro)	giri/min	2.000
Serbatoio carburante + serb.supplementare (a richiesta)	litri	850 + 150
Trazione integrale meccanica con cardano		idrostatico
Abbassamento automatico + carico al suolo CONTOUR		3,80/3,00
Larghezza della cassa d'introduzione	mm	730
Rulli d'introduzione e di precompressione		4
Velocità di introduzione		6
6 marce mecc., lungh.di trinciatura con 20-24-28 coltelli	mm	4/5,5/7/9/14/17 = 24 coltelli
Tamburo di trinciatura		
Larghezza	mm	750
Diametro	mm	630
Giri	g/min	1.200
Disposizione dei coltelli		sfalsati a V
Numero dei coltelli		20/24/28
Acceleratore di lancio, larghezza	mm	680
Gomito di lancio con sicurezza contro gli urti		
Angolo di brandeggio del gomito di lancio	gradi	190
Lunghezza di trasporto	mm	6.431
Lunghezza di lavoro	mm	5.921
Larghezza di trasporto secondo pneumatici	mm	2.990/3.295/3.480/3.995
Altezza in fase di trasporto	mm	3.728
Altezza in fase di lavoro	mm	5.600
Peso	kg	10.840
Pneumatici		540/65-R24 - 700/50-26.5

La Claas 850 in fase di lavoro era stata regolata per tagliare la coltura ad un'altezza di 300 mm. L'altezza di taglio media in campo è risultata essere di 278,70 mm (dev. st. ± 8,8625).

Il rapporto di introduzione della biomassa, che permette alle falcia-tricia-caricatrici della Claas di scegliere la pezzatura del prodotto trinciato in funzione della velocità di entrata del materiale, era stato impostato al terzo e ultimo rapporto previsto dalla macchina, che permetterebbe di ottenere un trinciato, con rullo di serie a 24 coltelli, di dimensioni compresi tra i 19 mm ed i 21 mm (indicazioni Claas).

2.2.2. trinciatrice BNU 160 AD e rotoimballatrice Welger RP 320 Farmer

La trinciatrice Nobili BNU 160 AD è una macchina in fase di sviluppo della larghezza totale rilevata di 1.800 mm (la larghezza effettiva di lavoro è di 1.600 mm) e di una lunghezza, compreso l'organo abbattitore regolabile, di 2.500 mm; la massa complessiva è di 605 kg. I principali aspetti dimensionali sono riportati in tabella 2.

Tabella 2 - Principali aspetti dimensionali della trinciatrice Nobili BNU 160 AD.

Descrizione	Unità di misura	Valori
Larghezza	mm	1.800
Lunghezza (profondità)	mm	2.500
Altezza	mm	560
Peso	kg	605
Potenza richiesta alla pdp	kW	26-37
Larghezza Pick-up	mm	1.600
Organi di lavoro coltelli	n°	32

Foto 4 - Particolare dell'organo trinciante della Nobili BNU 160 AD.

La trinciatrice anteriormente presenta una barra orizzontale avente la funzione di inclinare e convogliare le piante nella direzione di avanzamento della macchina, facilitandone l'ingresso verso il rotore a mazze rialzato, che effettua sia il taglio che la trinciatura delle piante. L'organo trinciante della macchina ha 16 coppie di coltelli disposti alternativamente (foto 4). È possibile modificare l'ampiezza della camera di trinciatura tramite un martinetto idraulico azionabile dalla cabina del trattore per aumentare o diminuire la pezzatura del trinciato.

Il prodotto trinciato è stato in fine imballato tramite una rotoimballatrice Welger RP 320 Farmer che presenta una camera di compressione di tipo fisso con sistema a rulli; ha una larghezza totale di 2.480 mm, un'altezza di 2.700 mm e una lunghezza di 4.750 mm, mentre il peso complessivo della macchina è di 3.230 Kg. La potenza minima richiesta dall'operatrice è di 50 kW di potenza per poter funzionare in modo ottimale, e il giorno della prova è stata abbinata ad una trattrice Same Iron 150.7 di 110 kW di potenza. Il pick–up, caratterizzato da un diametro di 300 mm, lavora su un fronte di 2.200 mm ed è azionato da una trasmissione sdoppiata che ripartisce la potenza ai diversi organi in funzione dell'effettiva richiesta istante per istante. In tabella 3 sono riportati i principali parametri dimensionali della rotoimballatrice Welger.

Tabella 3 - Caratteristiche della Welger RP 320 Farmer.

Descrizione	Unità di misura	Valori
Larghezza	mm	2.480
Lunghezza (profondità)	mm	2.700
Altezza	mm	4.750
Peso	Kg	3.230
Potenza richiesta alla pdp	kW	47
Larghezza Pick-up	mm	2.200
Distanza tra i denti esterni	mm	1.860
File di denti	n°	4
Denti per fila	n°	30
Distanza tra i denti	mm	64

La camera di pressatura è composta da 18 rulli a profilo scanalato ognuno dei quali ha un diametro di 220 mm. I rulli vengono trascinati, tre per volta, da catene costantemente ingrassate. Il portellone posteriore, sollevato da due pistoni a semplice effetto, dispone di due archetti che fungono da guide per garantire una corretta chiusura. La chiusura è resa possibile grazie a due perni montati su una feritoia e fissati con due rondelle. I ganci, che permettono al portellone di aprirsi parzialmente, servono a controllare la densità. Durante la pressatura, il portellone si apre in parte e un senso-

re misura la distanza che lo separa dal gancio. Non appena il valore registrato si fa elevato (densità raggiunta), il sensore invia i dati al sistema di comando elettronico ed inizia la legatura.

La Welger RP 320 prevede sia il sistema di legatura a spago che quello a rete. Nella prova le rotoballe erano legate con lo spago. Il sistema a spago è composto da un motore elettrico usato per dar inizio al ciclo di legatura e da due carrelli comandati meccanicamente. Lo spago, mentre si srotola, passa nella puleggia del variatore di trasmissione dei carrelli. La legatura inizia dai lati della balla per poi terminare al centro. La variazione del numero di giri di spago si ottiene per tentativi, modificando il diametro della puleggia del variatore tramite una rotellina. Il sistema di legatura è posizionato in alto, davanti alla pressa.

Nella foto 5 è mostrato un particolare dei rulli scanalati che consentono di pressare il trinciato e formare la rotoballa (foto 6).

Foto 5 - Particolare della rotoimballatrice Welger.

Foto 6 - Prodotto finale trasformato in balla.

3. Risultati

3.1. Caratteristiche morfologiche e produttive della coltura

Le prove di raccolta sono state effettuate presso i campi sperimentali dell' ARSIA, nel Comune di Marciano della Chiana in provincia di Arezzo.

La coltura, costituita da ecotipi provenienti dall'Emilia Romagna, dalla Sardegna e dalla provincia di Arezzo e Firenze, era stata impiantata nell'aprile del 2006 attraverso il trapianto di rizomi con sesti d'impianto 0,75m x 0,65m e 0,75m x 1,3m. Il primo anno sono state eseguite concimazioni, diserbi e una irrigazione di soccorso (tabella 4).

Tabella 4 - Operazioni colturali effettuate sull'impianto (Dati ARSIA).

Operazione colturale	Descrizione	Data
Lavorazioni del terreno	Aratura	11/08/2005
	Frangizollatura	30/09/2005
	Erpicatura	25/01/2006
	Rotoerpicatura	12/02/2006
	Fresatura interfilare	21/07/2006
Concimazione pre-impianto	Ternario 12-6-18 (5,5 q/ha) Superfosfato triplo (2 q/ha)	14/02/2006
Concimazione localizzata	Urea (1,7 q/ha)	18/04/2007
Diserbo	Dicotilenicidi	22/05/2006 26/04/2007
Trapianto	Manuale (con rizoma)	Dal 29/03 al 12/04/2006
Irrigazione	Aspersione: 1 int. di soccorso (200 m^3/ha)	31/07/2006
Raccolta	1° taglio	16-17/04/2007
	2° taglio	04/03/2008
	3° taglio	05/03/2009
	4° taglio	24/03/2010

Tabella 5 - Descrizione dell'impianto di Arundo donax, caratteristiche morfologiche e dati produttivi medi della coltura.

Descrizione	Unità di misura	Prove di raccolta 2009	Prove di raccolta 2010
Superficie di sperimentazione	ha	0,35	0,35
Età dell'impianto	anni	3	4
n° di piante a m^2	p/m^2	18	21
n° massimo di piante riscontrato a m^2	p/m^2	22	31
Altezza media culmi	m	4,19	3,52
Diametro medio culmi	mm	19,23	15,52
Altezza massima culmi riscontrata	m	6,20	4,65
Diametro massimo culmi riscontrato	mm	32	17,5
Peso medio di una pianta	kg	0,40	0,13
Altezza di taglio media	mm	278,6	130
Umidità alla raccolta	%	51	48,9
Produzione media	t/ha	46,79	26,2
Produzione di s.s. media	t s.s./ha	22,92	13,38
Perdite complessive stimate	t/ha	1,34	8
Perdite complessive stimate di s.s.	t s.s./ha	0,68	4,08

Nel marzo 2009, a tre anni dall'impianto la coltura risultava ben sviluppata e al momento della raccolta aveva una media di 18 piante/m^2; le piante mediamente erano alte 4,19 m (altezza massima riscontrata 6,20 m) ed avevano un diametro medio al taglio di 19,23 mm (diametro massimo riscontrato 32 mm). Nel 2010, al momento

della raccolta è stata riscontrata una densità media di 21 piante/m^2 con un'altezza media di circa 3,52 m (l'altezza massima rilevata è stata di 4,65 m), mentre è stato riscontrato un diametro medio al taglio pari a 15,52 mm (il diametro massimo da noi riscontrato è stato di 17,50 mm). (tabella 5).

3.2. Tempi di lavoro

Tabella 6 -Tempi operativi e rendimenti delle macchine: falcia-trincia-caricatrice Claas Jaguar 850 (A), della trinciastocchi Nobili BNU 160 AD (B) e della rotoimballatrice Welger RP 320 Farmer (C).

Descrizione	Unità di misura	A	B	C
Tempo effettivo	%	72,29	79,6	60,27
Tempo per voltare	%	27,21	20,4	12,02
Tempo operativo	%	100	100	100
Rendimento operativo	%	72	80	60,29
Velocità effettiva	m/s	0,52	1,5	0,90
Velocità operativa	m/s	0,37	1,19	0,54
Capacità di lavoro effettiva	ha/h	0,55	0,89	0,73
Capacità di lavoro operativa	ha/h	0,39	0,69	0,44
Tempo per legatura e scarico	%	//	//	27,70
Produzione oraria operativa	t/h	18,25	//	12,00

Nella tabella 6 sono riportati i tempi rilevati durante la raccolta dell'Arundo donax con i due cantieri testati. Durante la raccolta con la falcia trincia caricatrice 850 Claas equipaggiata con testata di serie RU 450 XTRA che, si ribadisce, è stata sviluppata e progettata per funzionare al meglio con colture più simili al mais, i tempi accessori sono risultati costituiti da tempi per voltate in capezzagna nella misura del 28%. Non sono stati registrati, ingolfamenti, tempi di riposo ne tantomeno tempi morti inevitabili anche se, durante la raccolta, a causa dell'elevata quantità di biomassa, della consistenza del materiale e per la crescita delle piante non sempre ortogonale al terreno delle piante (diversa rispetto allo sviluppo ordinato di una coltura di mais) il lavoro risultava rallentato, costringendo l'operatore ad eseguire, di tanto in tanto, retromarce per disintrecciare il prodotto. Sulla base della velocità operativa e di quella effettiva è stato possibile calcolare il rendimento operativo che risulta essere pari al 72% del tempo operativo. La macchina, lavorando ad una velocità operativa di 0,37 m/s (1,34 km/h), ha raggiunto capacità di lavoro operative dell'ordine di 0,39 ha/h. Poiché la produzione è risultata pari a 46,79 t/ha di biomassa fresca, la produzione oraria operativa è stata pari a 18,25 t/h di biomassa (tabella 6-A – foto 7).

Nella prova di raccolta avvenuta nel marzo 2010 il cantiere era costituito da una trinciatrice Nobili e da una rotoimballatrice Welger. Per quanto riguarda la trinciatrice della Nobili i tempi accessori sono risultati essere rappresentati, esclusivamente, dai tempi per le voltate quantificabili in circa il 20,4% del totale. Inoltre, lavoran-

do ad una velocità operativa di 1,19 m/sec (4,28 Km/h), la capacità di lavoro operativa raggiunta è stata pari a 0,69 ha/h, mentre la produzione oraria operativa è stata di 24,40 t/ha (tabella 6-B- foto 8).

Foto 7 - Falcia-trincia-caricatrice Claas 850 in fase di raccolta.

Foto 8 - Trinciante Nobili BNU 160 AD in fase di raccolta.

I tempi della rotoimballatrice Welger per le voltate in capezzagna sono stati del 12,02% del tempo operativo totale. È stata inoltre riscontrata una velocità operativa di 0,54 m/s (1,95 Km/h) ed una velocità effettiva di 0,90 m/s (3,24 Km/h), mentre i tempi per la legatura e lo scarico delle balle sono stati del 27,7% del tempo operativo totale. Procedendo ad una velocità operativa di 0,54 m/s ha raggiunto una capacità di lavoro operativa di 0,44 ha/h, mentre la produzione oraria operativa è stata di circa 12 t/h. Per la Welger è stato ottenuto un rendimento operativo del 60,29% (tabella 6-C).

3.3. Qualità del lavoro svolto

3.3.1. Perdite stimate, qualità del lavoro svolto e del prodotto raccolto dal cantiere con falcia-trincia-caricatrice Claas 850

La testata Claas RU 450 XTRA taglia i fusti di Arundo donax in maniera non netta ma sfrangiata, aspetto positivo da un punto di vista tecnico, limitando il rischio di foratura delle gomme delle macchine in fase di raccolta. Il cippato prodotto dagli organi trincianti è risultato particolarmente fine con massa volumica media del materiale fresco pari a 223,34 kg/m^3. La dimensione del trinciato, essendo il regime di rotazione fisso a 1200 giri/min, dipende dal numero dei coltelli inseriti sul rullo e dalla velocità degli organi di alimentazione. Dall'analisi granulometrica effettuata su 8 campioni di trinciato da 250 g l'uno, è risultato che poco più della metà è rappresentato per il 52,04% dalla classe dimensionale che va da 6,3 a 12,5 mm (inferiore rispetto alle dimensioni attese).

Il cippato di dimensioni maggiori è rappresentato da un'esigua quantità di materiale (0,36%), e per comodità di lettura è stato raggruppato, graficamente, in un'unica classe dimensionale costituita da elementi di grandezza variabile tra i 25 e 125 mm (tabella 7 - foto 9).

Tabella 7 - Classi granulometriche del trinciato di *Arundo donax* raccolto dalla Claas Jaguar 850 - rotore CLAAS RU450Xtra.

Ø (mm)	Peso (g)	%
>125	0,0	0,00
100 e 125	0,2	0,01
50 a 100	2,4	0,12
25 a 50	4,6	0,23
12,5 a 25	276,4	13,82
6,3 a 12,5	1040,8	52,04
3,15 a 6,3	453,0	22,65
< 3,15	222,6	11,13
Sovra misure	0,0	0,00
Impurità	0,0	0,00
TOTALE	2000,0	100,00

Foto 9 - Trinciato prodotto dalla falcia-trincia-caricatrice Claas 850.

Le perdite di prodotto non raccolto, stimate in funzione dell'altezza di taglio media di 278,6 mm, sono risultate di 0,85 t/ha. Se sommate alle perdite di prodotto tagliato ma non trinciato, si stima una perdita complessiva di biomassa fresca di 1,34 t/ha corrispondente a 0,68 t s.s./ha. Ciò significherebbe una perdita stimata di biomassa inferiore al 2%.

Infine i danni al terreno provocati dal cantiere possono considerarsi di media entità, con una profondità dei solchi di 60 mm.

3.3.2. Perdite stimate, qualità del lavoro svolto e del prodotto raccolto dal cantiere con trinciatrice Nobili e rotoimballatrice Welger

Dai rilievi effettuati è stato possibile riscontrare un'altezza media di taglio di circa 130 mm, mentre l'altezza delle andane (distanziate tra loro di 1 m), dopo il passaggio della trinciatrice, era in media di 280 mm (foto 10).

Foto 10 - Andane prodotte al passaggio della trinciatrice Nobili BNU 160 AD.

Foto 11 - Trinciato ottenuto dalla Nobili BNU 160 AD.

Il prodotto non raccolto si è potuto stimare in circa 8 t/ha, (4,08 t/ha s.s.). Questa perdita stimata di biomassa risulta essere circa il 30% della biomassa totale prodotta.

Il prodotto derivante dalla trinciatura dei culmi risultava di una elevata variabilità dimensionale (foto 11). Aspetto, quest'ultimo, che comunque non ha pregiudicato la successiva fase di formazione della rotoballa.

Le balle, legate con il filo sintetico, venivano espulse e lasciate in terra; esse presentavano mediamente un diametro di 1.600 mm, una larghezza di 1.250 mm ed un peso di 560 Kg. Il volume medio di una balla era di 2,15 m^3. Le balle si presentavano solide, compatte e regolari. Il sistema di legatura della Welger, in effetti, è caratterizzato da un particolare meccanismo che aumenta i giri del filo sintetico presso le estremità della balla evitando l'effetto di sfaldamento dei bordi.

Per quanto concerne i danni causati al terreno dal passaggio delle macchine operatrici, questi possono essere considerati di entità trascurabile visto che per i solchi lasciati dalla trattrice equipaggiata con la trinciatrice Nobili è stata rilevata una profondità di circa 25 mm, mentre per i solchi dovuti alla trattrice equipaggiata con la rotoimballatrice la profondità media misurata è stata di circa 28 mm.

4. Discussione e Conclusioni

Dall'esperienza di raccolta dell'Arundo donax tramite i due cantieri studiati si sono evidenziati alcuni aspetti interessanti da approfondire. Dall'esperienza di raccolta

del 2009 con la falcia-trincia-caricatrice Claas Jaguar 850 con testata di serie Claas RU450Xtra il materiale trinciato risultava di dimensioni estremamente ridotte. Questo potrebbe rappresentare un problema in caldaia durante la fase di combustione a causa del trasporto, con l'aria primaria, del materiale più leggero incombusto. Inoltre durante lo stoccaggio in cumuli, materiale ligno-cellulosico molto fine, può comportare un rallentamento del flusso degli scambi gassosi all'interno del cumulo, provocando anche l'allungamento dei tempi di disidratazione del cippato.

Di conseguenza la biomassa stoccata sarà più soggetta a degradazioni anaerobiche con conseguente perdita di prodotto. Sono tuttavia ancora da verificare sperimentalmente i fenomeni fermentativi che potrebbero instaurarsi nel cippato di canna stoccato in cumuli.

La fase di stoccaggio è infatti fondamentale per garantire la più alta qualità possibile del combustibile, fino al suo utilizzato per la conversione energetica.

Gli studi futuri relativi a questa tipologia di cantiere dovranno quindi puntare sullo sviluppo di testate più adatte alla coltura della canna che permettano di raggiungere migliori performance; inoltre bisognerebbe aumentare le dimensioni del cippato al fine di ridurre al minimo le problematiche legate al trasporto, stoccaggio e conversione energetica già descritte.

Per quest'ultimo aspetto una via potrebbe essere quella di ridurre il numero di coltelli del rotore al fine di arrivare ad un prodotto di maggiori dimensioni e presumibilmente anche di maggiore qualità. Un'altra soluzione potrebbe essere quella di utilizzare trincia raccoglitrici Claas Jaguar equipaggiate con il rotore messo a punto dal Cra-ing già testato nella cippatura del pioppo.

Dall'esperienza acquisita durante i test di raccolta del 2010 con il cantiere costituito da trinciatrice Nobili BNU 160 AD e rotoimballatrice Welger RP 320 Farmer si è evidenziata una produzione ad ettaro non molto elevata. Probabilmente questo dato è imputabile sia ad un scarso sviluppo colturale riscontrato per quell'anno, sia dalle perdite di produzione che, secondo quanto emerso dalle stime di campo e dal confronto con i tecnici ARSIA, sono risultate piuttosto elevate (8 t/ha).

Al fine di ridurre le perdite di raccolta, si potrebbe intervenire principalmente sugli aspetti propriamente legati alle macchine operatrici. Ad esempio, anche se l'altezza media di taglio della trinciatrice non sia risultata eccessiva (130 mm), si potrebbe prevedere di abbassarla ulteriormente modificando l'impostazione dell'organo di taglio, con conseguente aumento della biomassa raccoglibile.

Per quanto riguarda la qualità del prodotto raccolto, risulta evidente come la trinciatura e la successiva rotoimballatura determinano la presenza, nella biomassa finale, di una percentuale di impurità a volte anche elevata rispetto a quanto si ottiene utilizzando macchine operatrici che determinano una trincia-caricatura del prodotto. Questo aspetto risulta essere molto importante nel caso di conversione termochimica della biomassa. A tal proposito sono previste specifiche prove al fine di definire l'esatta percentuale di contaminazione di materiale estraneo alla sostanza secca raccolta.

5. Ringraziamenti

Si ringrazia per la collaborazione il centro ARSIA per il collaudo e il trasferimento dell'innovazione di Marciano della Chiana (AR) dove si sono svolte le prove di raccolta dell'Arundo donax presso i campi sperimentali realizzati nell'ambito della collaborazione con la società PowerCrop e con il supporto scientifico della Scuola Superiore di Studi Universitari e di Perfezionamento Sant'Anna di Pisa.

Bibliografia

ARSIA. 2004. Le colture dedicate ad uso energetico: il progetto Bioenergy farm. Quaderno Arsia, 6/2004, pp. 51-52

Bolli P., Scotton M., 1987 – Lineamenti di tecnica della meccanizzazione Agricola. Edagricole.

Lehtikangas e Jirjis. 1998 - Storage of logging residues in bales. Atti del Convegno "Biomass for Energy and industry". pp. 1013-1015.

4
Valutazioni economiche

a - Valutazioni economiche: *Arundo donax* L. (canna comune)

Economic evaluation: Arundo donax *L. (giant reed)*

Domenico Coaloa*, Alessandra Grignetti*

Riassunto

La riduzione della coltivazione della barbabietola ha portato alla conversione di migliaia di ettari di terreno agricolo a colture energetiche dal 2008. Grazie al progetto nazionale di ricerca "SuSCACE", a supporto tecnico-scientifico per la conversione delle coltivazioni agricole verso colture energetiche, è stato possibile raccogliere ed elaborare dati sulle colture energetiche attualmente esistenti. Il database è attualmente costituito da 2.969 ettari coltivati in 386 appezzamenti, sono coinvolte 312 aziende agricole dislocate in 11 regioni d'Italia. I risultati ottenuti riguardano le superfici investite a ciascuna coltura, il relativo numero di campi e la loro distribuzione regionale, le produzioni, i costi di coltivazione e di produzione il bilancio economico. I dati raccolti riguardanti tutte le operazioni colturali agricole, gli input energetici ha permesso di stimare l'impatto ambientale e il bilancio energetico delle diverse colture. Le produzioni ottenute per le colture annuali da biomassa e le oleaginose sono risultate mediamente buone con differenze significative a livello regionale. Le analisi della produzione e redditività delle specie più diffuse delle colture oleaginose, ha mostrato risultati generalmente positivi nel mercato attuale. Le piantagioni per la biomassa hanno raggiunto già buoni risultati produttivi nei primi anni di coltivazione, anche se migliorabili. Nelle attuali condizioni di mercato la redditività è fortemente dipendente dalle particolari condizioni di prezzo che si possono ottenere mediante contratti di lungo periodo con le imprese di trasformazione energetica.

Parole chiave: colture energetiche, costi di coltivazione, bilanci colturali, *Arundo donax*.

* CRA-PLF Unità di Ricerca per le produzioni legnose fuori foresta, Casale Monferrato (AL).

Abstract

The reduction of beet cultivation has led to the conversion of thousands of hectares of agricultural land to energy crops since 2008. Thanks to the national research project "SuSCACE", set up as a technical-scientific support for the cultivation of energy crops, it has been possible to gather and process data on the currently existing energy crops. The database currently concern of 2,969 hectares in 386 plots, 312 farms and 11 regions of Italy affected. The results obtained regard the areas planted to each crop, the relative number of fields and their regional distribution, their yields, cultivation and production costs and their economic balance. The data collected regarding all farming operations and energy inputs allowed us to estimate the environmental impact and energy balance of the different crops. The products obtained for annual field crops are good on average, significant differences at the regional level. The analysis of the production and profitability of the most widespread oilseed species, has shown generally positive results in the current market. Plantations for biomass have reached, in the first years of cultivation, good, though improvable, yields; however in the present market conditions profitability is highly dependant on special price conditions agreed on in contract with the processing industries.

Keywords: *energy crops, cultivation cost, crop balance,* Arundo donax.

1. Introduzione

L'applicazione della riforma della OCM zucchero ha comportato una riduzione di oltre il 50% della capacità produttiva nazionale dello zucchero e di conseguenza anche una sensibile riduzione della superficie coltivata a barbabietola. Alcune società produttrici di zucchero hanno presentato piani di riconversione della filiera bieticolo-saccarifera verso le filiere agroenergetiche con l'obiettivo di ottenere energia elettrica da biomasse ligno-cellulosiche, biodiesel da esterificazione di oli vegetali e bioetanolo da fermentazione di cereali. Il raggiungimento di tali obiettivi richiede elevate produzioni di biomasse, soprattutto ligno-cellulosiche per far fronte alle esigenze di attivazione di nuovi centri di trasformazione energetica da fonti rinnovabili. Una ulteriore spinta verso i programmi di produzioni energetiche alternative è derivata anche dalle misure di sostegno ed incentivi riguardanti i nuovi coefficienti moltiplicatori dei certificati verdi per le filiere corte (Legge n. 244/2007).

Sulla base delle caratteristiche e sulle potenzialità produttive dei diversi ambiti agricoli, tenuti in considerazione gli obiettivi progettuali per la diversificazione della produzione di energia da parte dei vari distretti energetici (Loi, 2008), le aziende agricole stanno affrontando la riconversione con colture erbacee annuali e perenni (girasole, colza, brassica, sorgo da fibra e canna comune), e con colture arboree (pioppo, robinia, eucalipto).

Nell'ambito dell'attività del progetto SuSCACE "Supporto Scientifico alla Conversione Agricola verso le Colture Energetiche", finanziato dal Mipaaf e coordinato dal Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura (C.R.A), è stato possibile raccogliere, con la collaborazione delle aziende agricole, informazioni necessarie per analizzare e valutare sotto l'aspetto economico e organizzativo la riconversione agricola che coinvolge il settore.

Metodologia

Costituiscono il database i dati relativi a 350 appezzamenti coltivati per complessivi 2.514 ettari in 11 regioni; 255 sono le aziende agricole coinvolte. Le informazioni riguardano colture poliennali, pioppo, robinia, eucalipto, canna comune, e colture erbacee annuali, colza, girasole, brassica carinata e sorgo da fibra. Per le prime sono stati raccolti dati di localizzazione secondo coordinate geografiche nel sistema metrico WGS84UTM32, riferite al punto centrale degli appezzamenti interessati, invece per quelle annuali al momento si dispongono di dati di localizzazione riferiti soltanto a livello comunale in attesa di dati puntuali.

Grazie alla georeferenziazione degli appezzamenti, tutti i dati acquisiti, riguardanti le caratteristiche ambientali e organizzative delle singole aziende coinvolte, le colture praticate e gli interventi rilevati in tutte le fasi operative, sono stati organizzati in un geo-database (ArcGIS 9.2), gestito dal C.R.A.-PLF (Unità di Ricerca per le Produzioni Legnose fuori Foresta, ex Istituto di Sperimentazione per la Pioppicoltura di Casale Monferrato).

Lo strumento per il rilevamento e la registrazione dei dati è costituito da fogli elettronici in formato Excel appositamente predisposti. In particolare si tratta di tre fogli, "Anagrafica azienda", "Anagrafica appezzamento", Anagrafica coltura". Il primo contiene le informazioni e dati identificativi dell'azienda agricola: id_società, id_tecnico, id_azienda, cod_azienda, denominazione, indirizzo della sede, località, cap, provincia, referente, telefono, cellulare, centralina meteorologica, dimensione azienda, forma di conduzione, valore indicativo dei terreni.

Il foglio relativo all'appezzamento riporta informazioni che riguardano: indirizzo, località, coltura precedente, produttività coltura precedente, altre colture praticate in rotazione, superficie coltivata, giacitura, tessitura, irrigazione e tipo di irrigazione, posizione geografica secondo coordinate di longitudine e latitudine.

Il foglio relativo alla coltura **"**anagrafica coltura**"**, che può cambiare di anno in anno per appezzamento, almeno per quelle erbacee annuali, considera oltre ai caratteri identificativi codificati nei precedenti fogli: coltura, varietà, materiale di propagazione, data di semina/impianto, densità, spaziature, centro di conferimento pelle produzioni.

Il foglio **"**diario appezzamento**"** nel quale sono descritte tutte le operazioni e interventi in modo cronologico: data, tipo intervento, tipo prodotto, prodotto, quantità,

costo unitario, trattrice, potenza, tipo attrezzo, larghezza di lavoro, profondità di lavoro, operai impiegati, superficie lavorata, tempo impiegato, costo complessivo contoterzista,

Sulla base dei dati finora raccolti relative alle colture erbacee e arboree destinate alla produzione di biomasse per uso energetico è stato creato l'archivio cartografico su base GIS. Tale base di dati qualitativi stazionali caratterizzanti i siti di coltivazione e livelli produttivi, consentirà di implementare a livello nazionale la correlazione tra le caratteristiche ambientali con i livelli produttivi potenziali.

Il coordinamento, la verifica e la validazione dei dati rilevati, ha costituito un importante impegno ed ha comportato una attenta valutazione delle criticità registrate in molte fasi di rilevamento e registrazione dei dati di campo relativi alle coltivazioni praticate nel 2009 e nel 2010 secondo il programma di attuazione delle conversione agricole.

Dall'analisi dei dati rilevati direttamente dai tecnici aziendali, riguardanti l'impiego delle macchine, della manodopera, carburanti, sementi, fertilizzanti, erbicidi ed eventuali interventi di terzisti, sono stati calcolati i costi complessivi di coltivazione per ogni coltura e per tutte le superfici interessate.

Il costo orario delle macchine motrici e degli attrezzi è stato calcolato utilizzando software dedicato (Maso *et al.*, 2006). In alcuni casi gli interventi sono stati svolti da imprese esterne all'azienda agricola, i cui costi sono comprensivi del costo della manodopera e del costo delle macchine.

Le produzioni sono espresse in tonnellate di sostanza secca per ettaro per anno. Normalmente al momento della raccolta nel periodo di riposo vegetativo, le piante arboree e anche la **canna comune** presentano un contenuto idrico superiore al 50% fino al 60%. Tutti i dati di produzione fanno riferimento alla sostanza secca, ossia alla biomassa fresca viene sottratto il contenuto idrico relativo; Ciò permette di rendere omogenei i dati riguardanti le diverse specie in esame.

Le valutazioni economiche hanno riguardato i bilanci colturali nelle attuali condizioni di mercato, ciò ha reso possibile esprimere valutazioni sulla redditività delle colture prese in esame.

Arundo donax

La canna comune, specie erbacea perenne, si presta alla coltivazione agronomica e la sua introduzione nell'ordinamento colturale è facilitato dall'impiego degli stessi mezzi produttivi normalmente in uso in tutte le aziende agricole (Ceotto, 2006).

La propagazione della canna comune può avvenire mediante rizomi o talee di fusto. Attualmente l'utilizzo dei rizomi è la tecnica più comune. I fusti che si sviluppano dalle gemme del rizoma hanno un accrescimento molto elevato e raggiungono altezze di 4-6 metri nella stagione vegetativa. L'elevata densità di impianto dei rizomi (10.000/ha) e la difficoltà di preparazione del materiale adatto rende piuttosto

impegnativa la realizzazione dell'impianto. La durata della piantagione è strettamente connessa al suo grado di produttività nel tempo e che rende sostenibile l'investimento di impianto; generalmente si prevedono cicli di 10 anni con tagli annuali.

L'utilizzo della canna comune per la produzione di biomassa per uso energetico è stata avviata solo recentemente, ma ha avuto già nel secolo scorso un ruolo fondamentale per la fornitura di materiale per la produzione della cellulosa per le fabbriche di Torviscosa in Friuli V.G. (Aa.Vv., 2010).

Risultati

Nel progetto sono state analizzate 7 aziende agricole per un totale di 7 piantagioni, pari a 7,8 ettari e distribuite in quattro regioni. In Sardegna la canna è stata piantata nel 2006, mentre nelle regioni dell'Italia centrale e settentrionale (Toscana, Umbria ed Emilia Romagna) gli impianti sono stati realizzati nel 2007 e 2008 (fig. 1).

Si tratta generalmente di appezzamenti di piccole dimensioni di circa 1 ettaro ciascuno (da 0,5 a 2 ettari).

Analisi dei costi

L'operazione di impianto della canna comune è estremamente impegnativa anche per quanto riguarda i costi.

Oltre la preparazione del terreno con l'aratura, la concimazione di base, l'affinamento del terreno, la messa a dimora dei rizomi richiede l'impiego di manodopera e di macchine in quantità piuttosto rilevanti rispetto alle altre colture agrarie o anche rispetto ad altre piantagioni da biomassa.

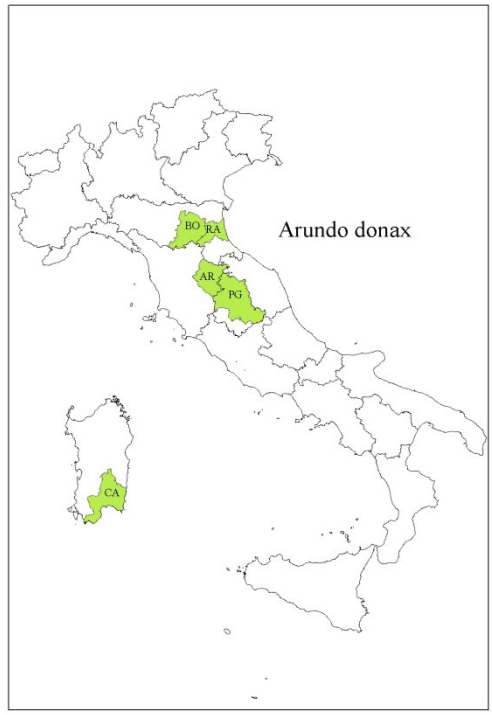


Figura 1 - Localizzazione della coltivazioni di *Arundo donax.*

Dai dati rilevati nei primi 3-4 anni di coltivazione, in cui sono stati effettuati 2 raccolti in 5 impianti su 7, è emerso che i tempi richiesti per la manodopera e per le macchine ammontano rispettivamente a 19,6 e a 11,6 ore per ettaro per anno. Per le operazioni di impianto occorrono in media 8,2 e 3,5 ore per ettaro rispettivamente di manodopera e utilizzo di macchine.

Figura 2 - Modalità di raccolta della canna comune, trinciatura pianta verde e imballatura pianta essiccata.

In questo primo periodo di coltivazione sono stati distribuiti circa 94 kg per ettaro di azoto, 3,6 kg/ha di erbicidi e sono stati consumati circa 250 kg/ha di gasolio per le macchine.

Al fine di conoscere gli effettivi consumi dei prodotti e impegni in termini di manodopera e di macchine per l'intera durata della piantagione, oltre a quelli già rilevati per il primo periodo, si devono prevedere soltanto concimazioni azotate e raccolte annuali (fig. 2) negli anni successivi.

Altri interventi meccanici, come la lavorazione negli interfilari, non sono necessari e comunque poco praticabili per la graduale completa colonizzazione del terreno da parte dei rizomi. La canna comune è una pianta scarsamente esigente in fatto di terreni, vegeta in condizioni ottimali nei terreni freschi di pianura, sopporta bene anche situazioni di ristagno idrico purché non prolungato ed è considerata una coltura a bassa necessità di acqua in quanto sopporta condizioni di stress idrico.

Si può stimare che, complessivamente per tutta la durata produttiva decennale della piantagione, l'impegno in termini di tempi di manodopera e di impiego macchine siano rispettivamente di 38 e di 30 ore per ettaro, i consumi di carburanti possano raggiungere 600 kg/ha, e l'impiego di concimi azotati e potassici siano rispettivamente di 550 kg/ha e 200 kg/ha.

Di seguito si riportano le valutazioni economico finanziare effettuate sulla base delle condizioni precedentemente descritte (Torquati, 2003). I costi riportati in tabella 1 sono stati attualizzati al saggio del 3%. Dalla produzione totale attesa per i 10 anni della durata dell'impianto (157 tss/ha) e stimata in base alle produzioni medie ottenute nei primi anni di coltivazione (pari a 15,74 tonnellate di sostanza secca per ettaro all'anno), il costo di produzione medio ottenuto e pari a circa 58 €/tss.

Tabella 1 - Costi di produzione della biomassa da canna comune e utile di coltivazione.

costo impianto	€/ha	4.600,00
costo raccolta	€/ha	2.520,00
costo altre operazioni colturali	€/ha	920,00
costo altri prodotti per coltivazione	€/ha	1.100,00
costo totale (10 anni)	€/ha	9.140,00
produzione	tss/ha/anno	15,74
produzione attesa (10 anni)	tss/ha	157,00
costo produzione	€/tss	58,22
prezzo biomassa	€/tss	80,00
VAN	€/ha	664,00
VAN/anno	€/ha/anno	66,40

Se al quantitativo prodotto si attribuisce il prezzo di mercato della biomassa lignocellulosica (40-50 €/t al 50% di contenuto idrico equivalente a 80 €/tss) si ottiene un Van di 664 Euro per ettaro (66,40 €/ha /anno). Il valore attuale netto (Van) consente

di calcolare il valore attuale (in questo caso con saggio di interesse del 3%) di un investimento o di una serie di flussi di cassa (ricavi-costi) per ogni anno considerato di investimento che produrrà un certo beneficio in futuro. L'investimento risulta tanto più conveniente quanto più elevato è il suo valore attuale netto.

Lo scenario prospettato per la coltivazione della canna camune consente di esprimere un giudizio moderatamente positivo del bilancio economico, ma si può certamente contemplare un miglioramento della situazione nel caso si ottengano, come prevedibile, condizioni più favorevoli del prezzo della biomassa per la trasformazione energetica mediante contratti diretti con le imprese di trasformazione.

Sotto il profilo del bilancio energetico la coltivazione della canna comune risulta una delle più efficiente con la robinia e il pioppo tra le colture per la produzione di biomassa. Il rapporto tra emissioni e assorbimento in termini energetici è di circa il 6% (Coaloa *et al.*, 2011).

Bibliografia

AA.VV. Progetto BIOCOLT, relazione conclusiva attività di progetto. Area-Sciece Park. (2010), p. 133.

Ceotto E. La canna comune, una pianta adatta per ottenere energia. Agricoltura (2006), 6, pp. 80-82.

Coaloa D., Grignetti A. "Production, profitability and enviromental impact of crops for energy use in Italy". In Proceedings 19th European biomass Conference and Exibition. ICC Berlin, Germany. 6-10 June 2011. [En]. (2011), p. 4.

Loi A. Come procede la riconversione degli ex zuccherifici. L'Informatore Agrario (2008)**,**44, pp. 40-43.

Maso D., Pettenella D. Valutazione degli investimenti in arboricoltura da legno. Sherwood - Foreste ed Alberi Oggi (2006), 128, pp. 43-45.

Torquati B. Economia gestionale dell'impresa agraria. Edagricole, Bologna. (2003), p. 365.

B
Altre specie

1 - Panico (*Panicum virgatum* L.)

*Switchgrass (*Panicum virgatum *L.)*

Marcello Scarcella*, Marcello Mastrorilli**

Riassunto

Panicum virgatum L. è un erbacea perenne e rizomatosa con ciclo C_4. É originario del Nord America. Nell'ultimo decennio il panico è stato intensamente studiato in USA e in UE come pianta da biomassa per la produzione di energia (combustione diretta, produzione di etanolo e, ultimamente, produzione di biogas).

I primi risultati sperimentali condotti nel Sud Italia dimostrano che il panico si adatta bene al clima mediterraneo e ai suoli marginali. Per ottenere un buon impianto si raccomanda di effettuare un controllo delle infestanti ed è necessario ricorrere all'irrigazione. Il ricorso al trapianto in sostituzione della semina diretta appare un tecnica assai promettente per il Sud Italia.

Parole chiave: specie erbacee perenni, colture rizomatose, produzione di biomassa.

Abstract

Panicum virgatum *is a perennial C4 grass native to North America. In the last decade, switchgrass has been intensely studied in the USA and EU as a biomass crop for energy production (thermal conversion, ethanol production and recently for biogas production).*

The early experimental results carried out in Southern Italy shows that the switchgrass is well adapted both to Mediterranean climate and marginal soils. To achieve a good establishment, especially in the first summer, weeds control and supplementary ir-

*CRA – CAR, Lecce.
** CRA – SCA, Bari.

rigation are recommend. Transplantation as an alternative of direct seeding is a very promising technique for Southern Italy.

Keywords: *herbaceous perennial crops, rhizomatous crops, biomass production.*

Introduzione

Il Panico (Fam. Poaceae), *Panicum virgatum L.* è un erbacea perenne e rizomatosa con ciclo C_4. É originario del Nord America dove si trova allo stato spontaneo, principalmente nelle praterie, a partire dalla latitudine di 55° N fino in Messico, viene impiegato per proteggere i suoli dall'erosione nonché come coltura foraggera per le zone caldo-aride, per alimentare la filiera della carta, inoltre è utilizzato in gran parte del globo come coltura ornamentale.

Si propaga per seme e può essere messo a coltura con bassi costi, richiede moderati input e fornisce un elevata quantità di biomassa anche in terreni marginali (Sanderson e Wolf, 1995). In base alla varietà ed alle condizioni pedo-climatiche cresce da 50 a 250 cm in altezza.

Nell'ultimo decennio il panico è stato intensamente studiato in USA e in UE come pianta da biomassa (Samson e Omielan, 1992; Sanderson *et al.*, 1996; Madakadze *et al.*, 1999; Lewandowski *et al.*, 1998) per la produzione di energia (combustione diretta, produzione di etanolo e, ultimamente, produzione di biogas).

Altri usi comprendono il suo utilizzo come pianta per la produzione di fibre e per migliorare degli habitat naturali.

In Europa la ricerca per l'uso del panico nella filiera agro-energetica è iniziata sul finire degli anni '90. Dai primi risultati la coltura sembra avere le potenzialità per giocare un ruolo importante nell'ottica della riduzione delle emissioni di CO_2, nell'utilizzo di suoli marginali e nel differenziare le attività per le comunità rurali.

Esistono due ecotipi principali di *Panicum virgatum L.*, distinti per caratteristiche morfologiche e preferenze di habitat (Jung *et al.*, 1990; Jacobson *et al.*, 1984).

- Il tipo "Lowland" che si trova principalmente nei climi più umidi, come le pianure alluvionali "floodplains". Questo risulta avere steli più alti, più spessi con portamento cespuglioso ed un più rapido accrescimento.
- Il tipo "Upland" è adattato alle aree più secche del Nord America. Ha gli steli più sottili e spesso semi-prostrato (Porter, 1966).

Scelta della varietà

Un discreto numero di varietà di origine USA sono state coltivate in Europa per prove sperimentali. I primi risultati dimostrano che il clima Europeo temperato non rappresenta un limite per l'adattamento del panico.

La latitudine di origine è il principale fattore che determina gli areali di adattabilità e la potenzialità. Si è constatato (Elbersen *et al.*, 2001) che:

- le varietà originarie delle latitudini più a Sud hanno una produttività potenziale più elevata;
- in Nord Europa il panico non sopravvive all'inverno e, di conseguenza, qualità e quantità della biomassa sono scadenti.

Le seguenti varietà hanno dato buoni risultati in Europa e sono commercialmente disponibili:

- Cave-in-Rock, per Regno Unito, Olanda e Germania;
- Kanlow, per sud Regno Unito, Germania e Nord Italia;
- Alamo, per Grecia e Italia.

Ciclo colturale

Le prime osservazioni delle prove sperimentali condotte nel sud Italia a Rutigliano (Bari) e a Monteroni (Lecce) hanno evidenziato che la fase di germinazione-emergenza è lunga. La durata di questa fase dipende dalla temperatura e dall'umidità dello strato superficiale del terreno. Prove di semina a cadenza mensile condotte tra marzo e giugno hanno evidenziato che solo la semina a maggio è stata favorevole all'affrancamento della coltura. Le altre epoche di semina sono fallite per l'insufficiente livello termico e/o per la disponibilità di acqua nel terreno.

Superata questa fase, il panico va incontro alla stagione invernale con piante di modesta altezza (non superiore a 20 cm), ma con un apparato radicale abbondantemente sviluppato. Con l'abbassamento della temperatura dell'aria le foglie ingialliscono completamente e il panico passa la stagione invernale in uno stato di quiescienza (Beaty *et al.*, 1978; George e Reigh, 1987). Nonostante la coltura sia completamente secca è impossibile sradicare a mano le piante dal terreno a causa de l'apparato radicale ben ramificato.

In primavera, l'innalzamento della temperatura dell'aria e dello stato idrico del terreno permette al panico di riprendere la vegetazione (Figg. 6 e 7) e di completare la formazione della granella entro il mese di agosto. Alla fioritura gli steli cominciano a lignificare. Dopo la maturazione della granella il panico non si accresce ulteriormente pur rimanendo pressoché verde fino all'inizio dell'autunno (Fig. 8). Col sopraggiungere dei primi freddi la vegetazione ingiallisce completamente e rimane dormiente fino alla successiva primavera. Durante questa fase i minerali vengono traslocati dalle foglie ai rizomi per essere riutilizzati nel seguente ciclo di vegetazione, questo meccanismo assicura la perennità di questa graminacea.

La fase di impianto

In Italia meridionale la semina deve coincidere con la tarda primavera. Trattandosi di seme molto piccolo, la preparazione del letto di semina deve essere molto accurata e richiede terreno soffice, ma che non formi crosta a seguito della disidratazione per evaporazione. Generalmente la semina avviene direttamente in campo, ad 1 cm di profondità, utilizzando da 200 a 400 semi vitali per m^2 (0,9 - 1,8 g/1000 semi) allo scopo di ottenere 1500/2000 steli m^2. Si raccomanda la semina a file distanti non meno di 50 cm per permettere la sarchiatura dell'interfila e lo sviluppo armonico della vegetazione.

Se nel mezzogiorno d'Italia la temperatura del terreno a maggio non è un fattore limitante per il panico, il contenuto idrico del terreno sfavorisce la germinazione e l'emergenza delle plantule (Smart e Moser, 1997; Vassey *et al.*, 1985). Subito dopo la semina l'umidità dello strato superficiale deve essere assicurata attraverso frequenti irrigazioni (Stout *et al.*, 1988). Con temperature del terreno superiori a 15°C e con terreno umido in superficie, per il completamento dell'emergenza del panico sono necessarie dalle 5 alle 7 settimane. Come per tutte le specie della filiera agro-energetica, anche per il panico la fase di avvio della coltura è quella più critica.

Le prime prove di campo hanno messo in risalto che il principale problema agronomico del panico, di questa fase, è il controllo delle malerbe. La sarchiatura è costosa e non risolve il problema delle infestazioni lungo la fila. Il diserbo chimico è limitato dalle scarse conoscenze circa l'interazione tra panico in fase di emergenza e i principi attivi ammissibili che permettono di eseguire il diserbo mirato.

Particolare attenzione va posta alla lotta alle infestanti perennanti, in quanto il loro controllo è molto difficile dopo la messa a coltura.

Per ovviare agli inconvenienti che derivano da una lunga fase di emergenza a fine primavera, si può sostituire la semina diretta col trapianto. L'ipotesi di trapiantare è apparsa assai vantaggiosa. Infatti, in due località (San Ferdinando e Rutigliano) è stato effettuato per via sperimentale il trapianto di piantine di circa 15 cm ottenute precocemente utilizzando contenitori alveolari ed un rudimentale floating system (Fig. 1). In queste condizioni di substrato saturo di acqua, dopo la semina la germinazione avviene rapidamente (5-10 gg), la crescita è molto rapida e raggiunge le dimensioni ideali per il trapianto in 30 giorni.

Negli impianti sperimentali (Fig. 2) il trapianto è avvenuto all'inizio dell'estate su appezzamenti dotati di ali gocciolanti lungo le file della coltura. In questo modo si è potuto constatare che il controllo delle malerbe è più semplice e si evita di irrigare per oltre un mese (dalla semina allo stadio di plantula di 30 cm).

Sia nel caso della semina diretta che in quello del trapianto il giovane impianto di panico deve essere dotato di un sistema irriguo che deve assicurare acqua all'apparato radicale durante la prima estate di vita dell'impianto (Fig. 3). Comunque, per ottenere un'adeguata produzione di biomassa è opportuno che, negli ambienti caldo-aridi dell'Italia meridionale, sia fornita irrigazione di soccorso (Fig. 4).

Fertilizzazione del suolo

Il panico si adatta bene ai suoli acidi e valorizza anche i terreni con bassa fertilità grazie al suo apparato radicale denso e profondo che riesce a assorbire gli elementi di cui ha bisogno.

Per il primo anno non è consigliabile fornire azoto in quanto, in questa fase, non essendo necessario per lo sviluppo della coltura evita anche di alimentare le infestanti. Fosforo e potassio sono necessari solo se il suolo ne è molto povero.

Negli anni successivi, per la fertilizzazione basterà tenere conto delle asportazioni avvenute con la raccolta della biomassa. La somministrazione di N, anche se modesta (tra 50 e 100 unità/ha) non può essere trascurata, soprattutto per le coltura in regime irriguo (Stout *et al.*, 1988).

Produzione

La produzione di sostanza secca può variare da 6 t ha^{-1} in suoli poco fertili situati nel Nord Europa sino a 25 t ha^{-1} dei suoli fertili del Sud Europa che non abbiano limitazioni idriche.

Se la coltura è ben gestita può avere una durata economica superiore a 15 anni. La scarsa produzione nel primo anno generalmente è tale da non giustificarne le operazioni di raccolta (Fig. 5).

In base alla natura del terreno la massima produzione si può ottenere dopo 2-3 anni in suoli leggeri o 4-5 anni in suoli pesanti. Gelate primaverili o siccità possono ritardare lo stadio di piena produzione.

Conclusioni

Scegliendo le varietà adatte, la specie si adatta bene ai nostri climi ed anche ai suoli marginali. Il panico richiede un basso apporto di input energetici consentendo di ottenere produzioni di sostanza secca economicamente valide (20 t ha^{-1}) a partire dal terzo anno di impianto.

Nel primo anno, per ottenere un buon impianto si raccomanda di effettuare un controllo delle infestanti ed è necessario ricorrere all'irrigazione. Il ricorso al trapianto in sostituzione della semina diretta appare un tecnica assai promettente per il Sud Italia.

Attualmente, limitatamente alle prove sperimentali effettuate, non si sono registrate malattie.

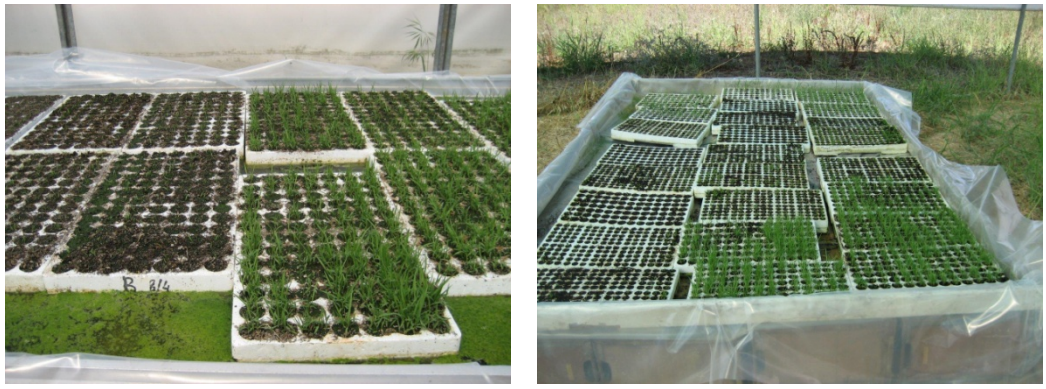


Figura 1 - Il sistema floatig system per ottenere Panicum da trapiantare (Monteroni, Le).

Figura 2 - San Ferdinando (Fg), agosto 2010 dopo il trapianto.

Figura 3 - Monteroni (Le), Panicum in semina diretta, emergenza dopo la scerbatura sulla fila (giugno 2010).

Figura 4 - Monteroni, semina diretta agosto 2010 e ottobre 2010.

Figura 5 - Fase di dormienza, inverno 2010-2011.

Figura 6 - Ripresa vegetativa (marzo 2011) a Monteroni (semina diretta) e a San Ferdinando (trapianto).

Figura 7 - Monteroni, semina diretta, aprile e maggio 2011.

Figura 8 - Monteroni, fase di spigatura (luglio 2011) e fioritura (agosto 2011).

Bibliografia

Beaty E.R., Engel J.L., Powell J.D., 1978. Tiller Development and Growth in Switchgrass.Journal of Range Management, 31/5: 361-365.

Christian, D. C. and Elbersen H.W., 1998. Switchgrass (*Panicum virgatum* L.). In: N. El Bassam. Energy plant species. Their use and impact on environment and development. London: James and James publishers, pp. 257-263.

Elbersen, H.W., Christian, D.G., Bassam, N.EL., Bacher, W., Sauerbeck, G., Alexopoulou, E., Sharma, N., Piscioneri, I., Visser, P. DE. van den Bergy D., 2001. Switchgrass variety choice in Europe.Aspects of Applied Biology 65, pp. 21-28.

George, J.R., Reigh G.S., 1987. Spring growth and tiller characteristics of switchgrass. Canadian Journal of Plant Science, 67:167-174.

Jacobson, E.T., Tober D.A., Haas R.J., Darris D.C., 1984. The performance of selected cultivars of warm season grasses in the northern prairie and plains

States. In: G. K. Clambey and R. H. Pemble (eds.) The Prairie: Past, present and future, 9 ed, Moorhead Minnesota. pp. 215-226

Jung G.A., Shaffer J.A., Stout W.L., Panciera M.T., 1990. Warm season grass diversity in yield, plant morphology and nitrogen concentration and removal in northeastern USA. Agronomy Journal, Vol. 82: 21-26

Lewandowski I., Olsson R., Bacher W., Huisman W., Nikolaisen L., Paavilainen L., 1998. Production and use of perennial rhizomatous grasses (PRG) in the energy and industrial sector of Europe. In Workshop at the 10th European conference "on Biomass for Energy and Industry", Vol. 1, p. 80. Ed. I. Lewandowski. Wurzburg, Germany. pp. 80.

Madakadze I.C., Steward K., Peterson P.R., Coulman B.E., Smith D.L., 1999. Switchgrass biomass and chemical composition for biofuel in eastern Canada. Agronomy Journal, Vol. 91: 696-701.

Porter C.L., 1966. An analysis of variation between upland and lowland switchgrass, *Panicum virgatum* L., in central Oklahoma. Ecology, 47:980-992.

Saderson M.A., Reed R.L., McLaughlin S.B., Wullschleger S.D., Conger B.V., Parrish D.J., Wolf D.D., Tafiaferro C., Hopkins A.A., Ocumpaugh W.R., Hussey M.A., Reed J.C., Tischler C.R., 1996. Switchgrass as a sustainable bioenergy crop. Bioenergy Technology. 56: 83-93.

Samson R.A., Omielan J.A., 1992. Switchgrass: A potential biomass energy crop for ethanol production. In: The Thirteenth North American Prairie conference, Windsor, Ontario, pp. 253-258.

Stout, W.L., Jung G.A., Shaffer J.A., 1988. Effects of soil and nitrogen on water use efficiency of tall fescue and switchgrass under humid conditions. Soil Science Society of America Journal, 52:429-434.

Sanderson M.A., Wolf D.D., 1995. Morphological development of Switchgrass in diverse environments. Agronomy Journal,Vol. 87: 908-915.

Smart A.J., Moser L.E., 1997. Morphological development of Switchgrass as affected by planting date. Agronomy Journal, Vol 89: 958-962.

Vassey T.L., George J.R., Mullen R.E., 1985. Early, mid- and late-spring establishment of switchgrass at several seeding rates. Agronomy Journal, Vol. 77: 253-257.

2 - Jatropha (*Jatropha curcas* L.)

*Jatropha (*Jatropha curcas *L.)*

Salvatore Luciano Cosentino*, Orazio Sortino*, Sarah Sidella*

Riassunto

La Jatropha (*Jatropha curcas* L.*)* è un'Euforbiacea arbustiva nativa del Centro-America, coltivata principalmente per l'olio contenuto nei semi (tra il 25 e il 40%) che trova applicazione in campo energetico ma anche cosmetico. Pur essendo originaria di ambienti tropicali, cresce bene anche in condizioni climatiche sub-tropicali e temperate. È considerata una specie arido-resistente ma, in condizioni di aridità prolungata, la resa diminuisce sensibilmente. La produzione dei semi avviene a partire dal primo anno, ma rese economicamente sostenibili si hanno dal quarto anno in poi (in media 3,5 t ha^{-1} di seme e 1,5 t ha^{-1} di olio). In relazione a ciò è considerata una delle più promettenti specie per la produzione di biocarburanti per gli ambienti tropicali.

In questa breve monografia oltre all'inquadramento botanico della specie, alla morfologia e biologia, al germoplasma disponibile, si riportano le principali indicazioni relative alle esigenze pedo-climatiche e nutrizionali, nonché la tecnica colturale praticata negli ambienti di coltivazione.

Nell'ambito del progetto FAESI sono state condotte prove sperimentali in campo (Sicilia Sud-orientale) per verificare l'adattabilità della specie all'ambiente caldo-arido mediterraneo, valutando i genotipi anche per l'efficienza fotosintetica e il tasso di traspirazione; in laboratorio sono state condotte prove per saggiare la germinabilità delle accessioni reperite (otto genotipi) in relazione a pretrattamenti del seme (osmopriming e rimozione della caruncola) e la variabilità genetica intraspecifica. Quest'ultima è stata valutata attraverso una caratterizzazione molecolare dei genotipi allo studio che ha evidenziato come il ricorso frequente alla propagazione agamica abbia ridotto la base genetica della specie.

Parole chiave: *Jatropha curcas*, biocombustibile, adattamento, germinabilità, caratterizzazione genetica.

*Dipartimento di Scienze delle Produzioni Agrarie e Alimentari (DISPA), Università degli Studi di Catania.

Abstract

Jatropha is a shrub of Euforbiaceae's family, native of Central America; it is cultivated mainly for oil content in seeds (between 25 and 40%), which is applied in the energy sector and also cosmetic. Although originally from tropical environments, it grows well even in sub-tropical and temperate climate. It is considered an arid-resistent species, but in conditions of prolonged drought its yield decreases significantly. The seed production occurs from the first year, but economic yield occur by the fourth year onward (on average 3,5 t ha^{-1} seed and 1,5 t ha^{-1} oil). In relation to this it is considered one of the most promising species for the production of biofuel in tropical environments.

In this short monograph, information about botany, morphology and biology, the available germplasm, are described with the main information about soil, climatic conditions, nutritional requirements and the cultivation technique practiced in the areas of cultivation.

Within the FAESI project, tests were conducted in the field (South-Eastern Sicily) to verify the adaptability of the species in warm-arid Mediterranean environment, to evaluate the genotypes for photosynthetic efficiency and the rate of transpiration; in laboratory, tests were conducted to verify the germination of accessions studied (eight genotypes) in relation to pre-treatment of the seed (osmopriming and removal of the caruncle) and to test the intraspecific genetic variability, throught a molecular characterization of genotypes in the study that showed that the frequent use of agamic propagation has reduced the genetic basis of species.

Keywords: Jatropha curcas*, biofuel, adaptation, germination, genetic characterization.*

Introduzione

Il termine "Jatropha" deriva dalla parola greca "Jatros" che significa "medico" e "Trophe", "nutrizione". Il nome botanico è Jatropha curcas L. ma nel mondo è conosciuta con 200 differenti nomi ad indicazione della sua ampia diffusione nei continenti. Tra i nomi più ricorrenti: *Pinhao manso* in Brasile, *Tempate* in Nicaragua, *Jarak* in Indonesia, *Mbono* in Tanzania *Ratanjyot, Safed aran Chandrajyot*, in India, *Physic nut, Purging nut e Barbados nut* in Inghilterra e *Pourghère* in Asia ed in Africa, dove la pianta è principalmente coltivata. Spesso per indicare la specie si utilizza il sinonimo *"Jatropha afrocurcas"* (Pax, 1909).

La *Jatropha curcas* L. appartiene all'ordine Euphorbiales famiglia delle Euphorbiaceae, specie diploide con un assetto cromosomico 2n=22, 33, 44, è una pianta tropicale che richiede temperature elevate ed è caratterizzata da esigenze idriche ridotte, molto rustica e longeva, può vivere fino a 50 anni.

La specie utilizza ambienti non idonei da piante alimentari e svolge un ruolo importante contro la desertificazione e l'erosione dei suoli in quanto impiegabile per la stabilizzazione di dune sabbiose e la conservazione del suolo.

La *Jatropha curcas* è originaria del Centro-Sud America, probabilmente del Messico o di zone limitrofe da dove i navigatori portoghesi la introdussero e diffusero nel 16°secolo in Asia ed in Africa. (Heller, 1996). Essendo tutte le sue parti tossiche e pertanto non gradite agli animali, veniva utilizzata per la recinzione di orti e di coltivazioni. Le prime applicazioni commerciali sono da attribuire alla città di Lisbona dove l'olio importato da Capo Verde veniva utilizzato per la produzione di saponi e di lampade.

Nonostante la sua origine sia localizzata nel Centro-Sud america, la jatropha è largamente diffusa nelle zone tropicali e subtropicali del Pianeta, soprattutto in India, Africa (Mali e Tanzania), Argentina Australia e Sud-Est asiatico dove si è naturalizzata.

Le statistiche ufficiali sulle superfici coltivate e la produzione sono ancora piuttosto carenti. Negli ultimi anni, la *Jatropha curcas* L. è diventata il fulcro dei programmi di coltivazione in diversi paesi tropicali a causa del suo potenziale come biocarburante; la maggior parte dei quali sono ancora in fase pilota di sviluppo. Entro il 2030 si stima che, l'India potrebbe avere più di 10 milioni di ettari di piantagioni di *Jatropha curcas* di piccola e grande scala, soprattutto realizzati su terre marginali bonificate. Paesi in Africa tropicale con importanti progetti di sviluppo per la produzione di biocarburanti da olio di Jatropha comprendono gli Stati del Mali, Burkina Faso, Ghana, Tanzania, Malawi, Zambia e Madagascar. In Africa, la lunghezza totale di siepi realizzate con *Jatropha curcas* è stimata pari a 75 mila km, con una produzione potenziale di 60.000 t di semi anno^{-1}.

La pianta viene coltivata ad altitudini comprese tra 0 e 500 m s.l.m. in climi tropicali e subtropicali e zone temperate dove le temperature medie vanno dai 20°C ai 30°C; vegeta in ambienti con scarse precipitazioni (circa 300 mm) e può resistere a lunghi periodi di siccità. La *Jatropha curcas* può vivere anche in condizioni subottimali ed è in grado di potersi accrescere in zone aride e semi-aride (Jones & Miller, 1992; Makkar *et al*., 1997, Openshaw, 2000) così come anche in aree tropicali umide, come avviene in Guatemala, nel Vietnam e nella Thailandia settentrionale.

Descrizione della pianta

La *Jatropha curcas* L. è un semi-arbusto deciduo od un piccolo albero alto 3-5 metri, ha una corteccia liscia grigia o rossastra che quando incisa essuda acqua e un latice biancastro viscoso.

L'apparato radicale è fittonante, robusto e molto ramificato; è caratterizzato dalla ramificazione della radice primaria in quattro radici laterali, da ciascuna delle quali si diparte un numero considerevole di radici secondarie che si spingono fino a notevole profondità (Heller, 1996; Soares Severino *et al.*, 2007b) consentendo alla pianta di esplorare il suolo in maniera efficace e assorbire gli elementi nutritivi che le sono

necessari per il suo accrescimento e, favorendo al tempo stesso la riduzione del rischio di erosione e di desertificazione (Spaan *et al.*, 2004).

Foto 1 - Pianta di *Jatropha curcas* L. prima della fioritura (Foto DISPA).

Foto 2 - Apice vegetativo di *Jatropha curcas* L. (Foto DISPA).

I rami crescono rapidamente rendendo la specie idonea all'impiego come "recinto vivo"; l'accrescimento è di tipo simpodiale. Le foglie semplici, angolari, palmate e lobate (5-7 lobi poco profondi) a margine seghettato ed un lungo picciolo, sono decidue, le prime due alterne. Di colore verde, tendente al grigio pallido, sono ampie e glabre, hanno una lunghezza e larghezza di 6 x 15 cm e sono disposte in modo alternato secondo una fillotassi a spirale; le stipole sono rappresentate da ghiandole ciliate.

Le piante sono monoiche, l'infiorescenza è un racemo terminale o ascellare lungamente peduncolato (5-7cm); i fiori, molto profumati, sono di colore giallo-verdognolo. Solo occasionalmente si possono avere fiori ermafroditi (Dehgan & Webster 1979) capaci di autoimpollinarsi. In Senegal è stato osservato che all'interno della stessa infiorescenza i fiori maschili si aprono dopo quelli femminili e questo favorisce l'impollinazione incrociata, favorita da insetti pronubi (entomofila); sembra tuttavia avere una notevole influenza sul fenomeno l'ambiente in cui la specie si trova. Di norma sono presenti 10 fiori maschili per ogni fiore femminile. Le brattee dei fiori sono ellittico-lanceolate, lunghe circa 1 cm e acuminate; ogni infiorescenza può produrre da 10 a 14 capsule ellissoidali e triloculari contenenti 3 semi ciascuna.

I frutti sono capsule schizocarpiche, tricarpellari, lunghe circa 2,5-3 cm che giunte a maturazione si dividono in tre carpelli, contenenti semi; si presentano inoltre lisce e di colore verde per poi diventare gialle e infine secche, nere e deiscenti.

I semi albuminosi, sono di colore nero, lunghi 2 cm e spessi 1 cm, somigliano nella forma a quelli di ricino; diventano maturi dopo due mesi circa dalla fruttificazione; l'esocarpo rimane carnoso fino alla maturazione del seme. I semi sono caratterizzata da una percentuale oleica che oscilla tra il 25 ed il 40%; l'olio in essi contenuto non è

commestibile ma è utilizzabile per la fabbricazione di saponi, come combustibile oppure, se sottoposto a trans-esterificazione, risulta particolarmente adatto come biodiesel (Mohibbe, Azam *et al*., 2005). Il peso 1000 semi è di 400-730 g.

Esigenze rispetto al clima

La *Jatropha curcas* L. è una specie tropicale, cresce comunque bene in condizioni subtropicali e si dimostra adattabile in zone caratterizzate da climi temperati con temperature medie giornaliere di 20-30°C e precipitazioni annue di 300-600 mm. Può tollerare estremi di temperatura ma non condizioni di gelo e ristagno idrico. Una crescita ottimale si ha in corrispondenza di temperature prossime o superiori a 24°C ma la pianta è in grado di sopportare temperature prossime allo zero, senza tuttavia fiorire; in Sicilia temperature intorno a 0°C hanno compromesso la coltura. In Australia sembra sia stata selezionata una varietà resistente alle basse temperature (-5 °C), ma questa notizia non trova molti riscontri. Escursioni termiche associate a bassa piovosità provocano la dormienza della pianta. La specie resiste comunque a lunghi periodi di siccità (fino a 7 mesi) grazie alla sua elevata arido-resistenza.

In relazione alle esigenze di luce, *Jatropha curcas* non risulta sensibile al fotoperiodo.

Esigenze pedologiche

Per quanto riguarda le esigenze edafiche, la specie non richiede tipi di suoli specifici, essa cresce quasi dappertutto, anche in terreni non lavorati pur dimostrando una preferenza per terreni almeno in parte smossi. I suoli più adatti sembrano essere quelli sabbiosi o limosi, tuttavia la specie cresce bene in suoli ben drenati con una buona aerazione ed si adatta anche a suoli marginali. (Openshaw, 2000), ma non può sopravvivere in terreni saturi d'acqua. Produzioni economicamente sostenibili richiedono terreni ben drenati con buone caratteristiche fisiche e chimiche.

La jatropha si adatta a condizioni di pH tra 5.5 e 8.5, ma suoli troppo acidi o fortemente alcalini non sono tollerati.

Esigenze idriche

La jatropha essendo una coltura perennante originaria dei paesi tropicali, necessita di una sufficiente quantità d'acqua durante il periodo di crescita estivo; utilizza l'acqua piovana della stagione piovosa delle aree semi-aride dei tropici (**Fig. 1**). La specie, comunque, è capace di crescere in differenti condizioni agro-ecologiche:

- aree semi aride di tropici e subtropici, con una corta stagione di pioggia estiva;
- aree sub-umide dei tropici con una stagione estiva piovosa;

- aree umide dei tropici con una lunga stagione piovosa.

Nei climi aridi e mediterranei con temperature invernali miti, l'irrigazione estiva è necessaria. L'ampio range di climi idonei alla coltivazione di questa specie offre un'idea del potenziale adattamento dei genotipi a condizioni climatiche molto diverse tra loro: la specie cresce con regimi irrigui da 250 a più di 1200 mm anno^{-1} (Katwal e Soni, 2003).

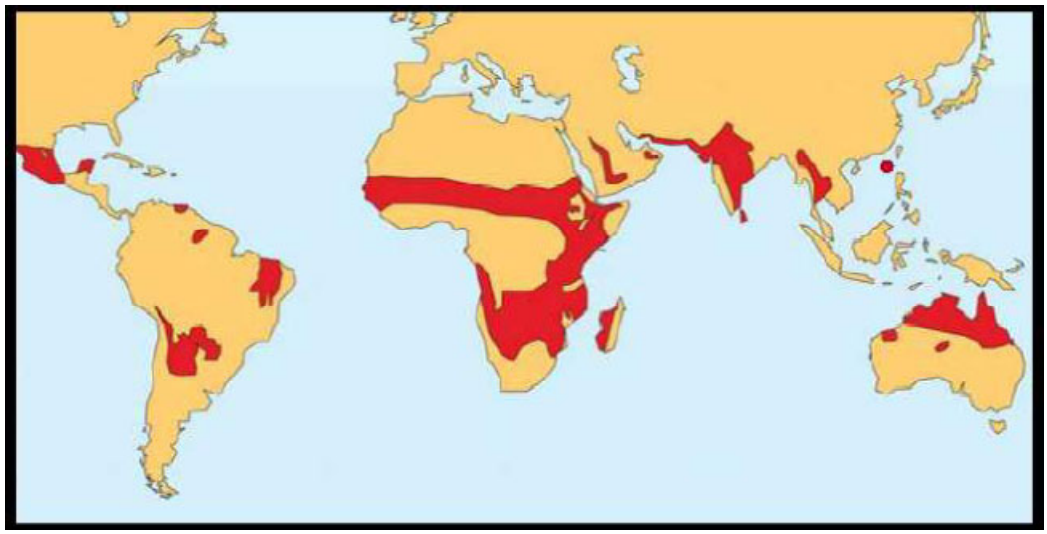


Figura 1 –Tropici semi-aridi, areali preferenziali di coltivazione di *Jatropha curcas* L. (ICRISAT).

In aree poco piovose e con prolungati periodi secchi, come risposta alla siccità la pianta diminuisce la resa. Al verificarsi di lunghi periodi di siccità la specie perde la maggior parte delle sue foglie allo scopo di ridurre le perdite di evapotraspirazione.

Propagazione

La jatropha è solitamente propagata sia per seme che per via agamica, mediante porzioni di culmo. Una ricerca condotta da Heller nel 1996 sull'influenza di differenti metodi di propagazione sulla sopravvivenza e sullo sviluppo vegetativo della specie, ha potuto verificare che la propagazione agamica comporta una più bassa longevità e una minore resistenza all'aridità e alle malattie rispetto a quella gamica.

La propagazione vegetativa è possibile sia mediante l'impiego di talee messe a radicare sia mediante innesti di vario tipo e propaggini. Tuttavia, l'impiego di talee può comportare un limitato sviluppo laterale dell'apparato radicale e, la superficie di taglio delle stesse, può rappresentare un punto d'entrata per patogeni di varia natura.

Nelle coltivazioni commerciali si ricorre alla propagazione per seme, meno onerosa rispetto a quella agamica; prima della semina i semi vengono immersi in acqua per 12 ore.

Robert Manurung (2007) in Indonesia, ha sperimentato la micropropagazione ottenendo un soddisfacente sviluppo dell'apparato radicale. Colture di tessuti realizzate sia in India che in Nicaragua costituiscono il punto di partenza per il miglioramento genetico futuro di questa specie (Sujatha and Dingra, 1993; Sujatha and Mukta, 1996; Machado *et al*., 1997; Sujatha and Prabakaran, 2003; Wei *et al*., 2004).

Tecnica colturale

Preparazione del suolo e semina

Prima della messa a dimora del seme, il terreno deve essere adeguatamente preparato secondo i dettami della buona pratica agronomica.

I semi o le talee devono essere disposti ad una distanza tra le file di 3 m x 2 m sulla fila. L'allevamento delle piante può avvenire anche in forma di siepe, in questo caso la distanza sulla fila può essere ridotta.

La quantità di seme richiesta per la semina è di 5-7 Kg ha^{-1}.

Cure consecutive

Foto 3 - Parcelle di *Jatropha curcas* L. nella prova realizzata a Ispica (RG) nel 2008 (Foto DISPA).

La cimatura è considerata una pratica necessaria per facilitare lo sviluppo delle ramificazioni; si effettua dopo circa 6 mesi dall'emergenza. Applicazioni di acido giberellico inducono fioriture anticipate e precoce sviluppo delle capsule.

La potatura delle ramificazioni inizia 3-4 mesi dopo la semina e serve a favorire la fioritura e l'allegagione. La potatura di manutenzione di arbusti "maturi" mira a stimolare la crescita di ramificazioni laterali e limitare lo sviluppo in altezza. Al decimo anno la pianta deve essere tagliata all'altezza del piede per il ringiovanimento della pianta.

Un'altra pratica necessaria è quella del diserbo.

Concimazione

Le esigenze nutritive della specie non sono state ben delineate. La concimazione si rende necessaria dopo la fase di germinazione. In generale applicazioni di dosi dei tre maggiori elementi nel rapporto 20 (N), 120 (P_2O_5), 60 (K_2O) dal secondo anno di vita della pianta migliorano sensibilmente la resa. Dal quarto anno in poi ulteriori apporti di fosforo sono ritenuti utili (Manurung, 2007).

Fattori come la rotazione colturale e la consociazione con colture leguminose possono contribuire a migliorare l'efficienza d'uso dell'azoto. È stato rilevato, inoltre, che funghi micorizzici possono incrementare le rese di Jatropha (Jamaluddin and Singh, 2006), così come l'inoculazione di ceppi batterici in camere controllate ha stimolato la crescita delle piante.

Irrigazione

Produzioni soddisfacenti di semi richiedono un apporto irriguo non inferiore a 400-600 mm. Nei primi 2 anni di vita, la specie si può avvalere di moderate irrigazioni. L'eccesso di umidità in seguito ad abbondanti precipitazioni, può compromettere la sopravvivenza della pianta.

Raccolta

Nelle zone tropicali di origine, la fioritura è continua durante tutto l'anno; in India è indotta dalla stagione piovosa. Piante provenienti da semi producono fiori 9 mesi dopo la semina, piante derivate da talea producono fiori dal sesto mese in poi.

I frutti sono raccolti quando il loro colore vira dal verde al giallognolo, i semi in essi contenuti sono separati meccanicamente o manualmente e prima dell'imballaggio vengono fatti seccare per 4-5 giorni per ridurre il grado di umidità sotto la soglia del 10%.

Rese

La crescita della *Jatropha curcas* è piuttosto veloce nel tempo; la pianta può potenzialmente produrre semi dal primo anno di vita, ma una produzione significativa di semi si ha soltanto alla fine del quarto anno. La produttività media in suoli di media fertilità, con colture al quarto anno dall'impianto è di circa 3,5 t ha^{-1} di seme e di 1,5 t ha^{-1} di olio. Il campo di oscillazione delle rese è compreso tra 0,4 t ha^{-1} al primo anno e 5 t ha^{-1} a partire dal quarto anno (Jones & Miller, 1992). Nel caso di piovosità superiore a 900 mm $anno^{-1}$ è possibile ottenere produzioni di 12 t ha^{-1} di seme (Francis *et al*., 2005; Daey Ouwens *et al*., 2007).

Miglioramento genetico e germoplasma disponibile

Nei paesi tropicali e subtropicali, la *Jatropha curcas* ha un elevato potenziale quale coltura bioenergetica. Tra le specie arbustive oleaginose è considerata una delle più interessanti per la sua resistenza alla siccità, crescita rapida, facile propagazione, basso costo dei semi, alto contenuto in olio, ampia adattabilità e taglia bassa che ne facilita la raccolta. È stato messo in evidenza come la maggior parte del materiale vegetale utilizzato finora derivi da selezioni effettuate all'interno di popolazioni semi-selvatiche o varietà locali; il germoplasma disponibile presenta, pertanto, una bassa diversità genetica, e risulta inoltre suscettibile ad attacchi di insetti e malattie crittogamiche. Le poche varietà selezionate sono state valutate con marcatori RAPD, ISSR e AFLP, i quali hanno evidenziato una stretta basa genetica, suggerendo di ampliare gli areali di prelievo del germoplasma. Studi recenti hanno permesso inoltre di isolare alcuni geni JcERF responsabili della resistenza alla salinità e al gelo da parte della pianta. E stata isolata, inoltre una proteina che induce una migliore risposta al deficit idrico.

I due principali obiettivi del miglioramento genetico per *Jatropha curcas* L. sono l'aumento della resa in olio e l'habitus compatto per agevolare la raccolta meccanizzata.

Composizione chimica

L'olio di *Jatropha curcas* potrebbe essere un efficiente surrogato del diesel. Contiene circa il 24,6% di proteina grezza, il 47,25% di grassi (Akintayo, 2004). La composizione in acidi grassi dell'olio è la seguente: 3,5-15,6% acido palmitico, 0,7-0,9% acido palmitoleico, 6,7-7,5% acido stearico, 34,3-46,3% acido oleico, 30,8-43,1% acido linoleico, 0,2% acido linolenico e tracce di miristico, pentadecanoico, margarico, margaroleico, arachico, gadoleico, behenico, acidi lignocerico e nurvonico.

Il contenuto proteico del panello di estrazione è di circa il 60% con una composizione in amminoacidi essenziali simili alle proteine della soia, ma superiore nella quantità di amminoacidi contenenti zolfo.

Ricerche sperimentali

L'attività di ricerca svolta in Sicilia ha avuto inizio nell'anno 2008, quando la Sezione Agronomica del DISPA dell'Università degli Studi di Catania ha condotto alcuni studi di adattamento in ambiente mediterraneo di alcuni genotipi di *Jatropha curcas.*

In uno studio condotto da Sortino *et al*.(2008), in ambiente mediterraneo. accessioni di *Jatropha curcas*, hanno mostrato delle buone performance andando quasi tutte in fioritura al primo anno d'impianto. La statura media raggiunta è stata

di 82,3 cm, il valore più alto rilevato 95 cm. Il numero di branche per pianta è variato da 4 a 7 e la lunghezza media dei fusti è stata di 45,2 cm (Tab. 1). Nella prova, un maggior numero di foglie (219) è stato associato ad un'alta produzione di biomassa: i genotipi posti allo studio hanno mostrato per questo carattere valori da 0,4 t ha^{-1} a 0,7 t ha^{-1} (Fig. 2).

Tabella 1 - Caratteristiche morfologiche e biometriche registrate nei genotipi studiati.

Genotypes	Height (cm)	stem diameter (cm)			branches per plant (n°)	Branches lenght (cm)	leaves per plant (n°)	leaves per branch (n°)
		apical	median	basal				
India 2	75 d	3.5 c	5.0 d	6.0 c	6.0 a	40.0 c	169 e	28.2 e
Senegal	75 d	2.5 e	5.1 d	7.7 b	4.0 b	45.1 b	141 f	35.3 cd
Guadalupe	91 b	2.5 e	6.5 a	7.6 b	4.0 b	53.5 a	188 e	47.0 c
Brasile 2	74 d	3.1 d	5.1 d	6.4 c	6.0 a	39.1 c	151 f	21.2 e
Brasile 1	73 d	2.6 e	5.3 c	7.2 bc	6.0 a	40.7 c	219 d	36.5 cd
India 1	93 ab	2.9 de	6.1 b	7.6 b	5.0 ab	53.0 a	299 b	59.8 a
Ghana	82 c	3.9 b	6.1 b	8.1 a	7.0 a	45.2 b	363 a	51.9 b
Tanzania	95 a	4.4 a	5.3 c	7.9 a	7.0 a	45.2 b	229 c	32.7 d
Average	82.3	3.2	5.6	7.3	5.6	45.2	219.9	39.1

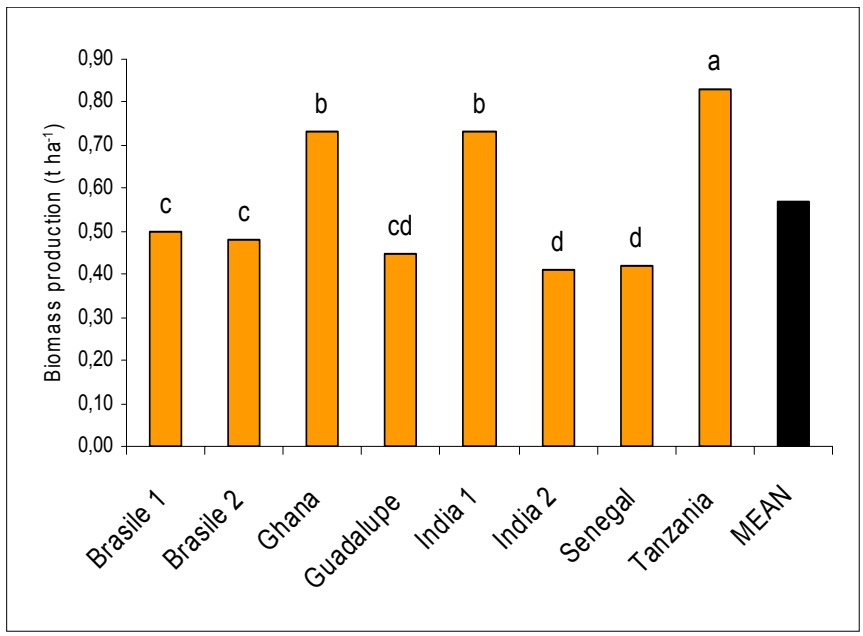


Figura 2 - Produzione di biomassa determinata nei genotipi di jatropha, posti allo studio.

In accordo con i dati riportati in letteratura, dai quali emerge che la fotosintesi in diverse specie tropicali è molto bassa con temperature inferiori a 15°C, e che tali regimi termici possono provocare lesioni visibili sulle foglie (Taylor and Rowley, 1971), in una prova condotta da Sortino *et al.* in Sicilia, la capacità di assimilazione dell'anidride carbonica a livello fogliare dei genotipi di *Jatropha curcas* posti a confronto ha mostrato valori più elevati a fine autunno e progressivamente più bassi in inverno ossia quando le temperature non si dimostrano ottimali per la fotosintesi. La fotosintesi ha mostrato una vasta variabilità tra i genotipi di *Jatropha curcas* posti allo studio. Nella prova condotta in Sicilia, si è passati da valori medi di 9,59 a 0,49 µmoli m^{-2} s^{-1} (Tab. 2). In particolare, i genotipi che si sono distinti per valori più elevati sono risultati Ghana, Senegal, India2 e Brasile2 (intorno a 12 µmoli m^{-2} s^{-1}), mentre Brasile1, Guadalupe e Tanzania hanno mostrato valori di poco inferiori (ca. 8-9 µmoli m^{-2} s^{-1}). Il valore più basso è stato trovato in India1 (intorno a 0,5 µmoli m^{-2} s^{-1}). A partire dalla terza decade di novembre alla seconda decade di dicembre per effetto delle temperature più basse la fotosintesi netta si è ridotta in tutti i genotipi, in in alcuni di essi come Brasile1, Ghana, Brasile2 e Guadalupe questa riduzione ha mostrato un andamento progressivo; viceversa, nei restanti genotipi è risultata più discontinua soprattutto in India2, India1 e Tanzania. A fine dicembre, la fotosintesi netta ha subito un crollo, dovuto con ogni probabilità alla senescenza delle foglie, che successivamente cadono, lasciando così l'arbusto spoglio.

Tabella 2 - Fotosintesi netta (µmoli CO_2 m^{-2} s^{-1}) dei genotipi posti allo studio.

Genotypes	*17/11*	*25/11*	*6/12*	*19/12*	*28/12*
Brasile 1	9.13	7.33	7.43	5.09	0.90
Tanzania	7.99	3.86	6.96	3.31	0.43
India 1	4.41	3.27	7.19	1.80	0.50
India 2	11.37	2.88	6.97	7.04	0.09
Guadalupe	8.80	3.42	6.85	1.65	0.48
Brasile 2	10.71	5.64	6.91	5.30	0.50
Ghana	12.66	7.13	8.01	4.30	0.99
Senegal	11.66	3.42	5.24	1.87	0.03
Average	*9.59*	*4.62*	*6.94*	*3.79*	*0.49*
Std.dev.	*2.63*	*1.81*	*0.79*	*1.97*	*0.34*

La traspirazione fogliare ha mostrato lo stesso trend osservato con la fotosintesi, con differenze tra i genotipi confrontati: i valori più alti sono stati registrati nei genotipi Ghana, Senegal, Brasile2, India2 and Guadalupe il 17 Novembre (tra 1.3 e 1.5 µmoli di H_2O m^{-2} s^{-1}), mentre Brasile1, Tanzania and India1 hanno mostrato i valori più bassi (da 0.5 a 0.9 µmoli di H_2O m^{-2} s^{-1}). Successivamente dalla fine di novembre in poi, è stato osservato un decremento graduale della traspirazione per il verificarsi di temperature più basse (Tab. 3).

È stato suggerito che la chiusura stomatica indotta dal freddo, è probabilmente legata all'azione diretta sulle cellule di guardia; la bassa temperatura può influenzare gli enzimi e i canali ionici responsabili del mantenimento del potenziale osmotico. Il freddo inoltre potrebbe direttamente limitare i processi di fotosintesi, aumentando la CO_2 nella cavità sottostomatica, che indirettamente potrebbe ridurre le aperture stomatiche: questo potrebbe spiegare la diminuzione dell'assorbimento dei gas atmosferici da parte della pianta.

Tabella 3: Tasso di traspirazione (µmoli m^{-2} s^{-1}) dei genotipi posti allo studio.

Genotypes	*17/11*	*25/11*	*6/12*	*19/12*	*28/12*
Brasile 1	0.89	1.14	0.88	0.31	0.31
Tanzania	0.63	1.00	0.56	0.14	0.15
India 1	0.47	1.22	0.66	0.23	0.03
India 2	1.28	1.17	0.82	0.36	0.15
Guadalupe	1.40	1.00	0.91	0.42	0.30
Brasile 2	1.40	0.80	0.91	0.42	0.37
Ghana	1.52	1.29	0.68	0.38	0.19
Senegal	1.47	1.17	1.03	0.34	0.14
Average	*1.13*	*1.10*	*0.80*	*0.32*	*0.20*
Std.dev.	*0.41*	*0.16*	*0.16*	*0.10*	*0.11*

Nello stesso studio, è emerso che la superficie fogliare totale per pianta è stata influenzata sia dal numero di foglie per pianta che dalle dimensioni delle foglie, con valori tra 14000 cm^{-2} e 23000 cm^{-2}. Come atteso, l'accumulo di biomassa secca nelle piante è stato influenzato positivamente dai valori più alti di superficie fogliare rilevata per ciascun genotipo.

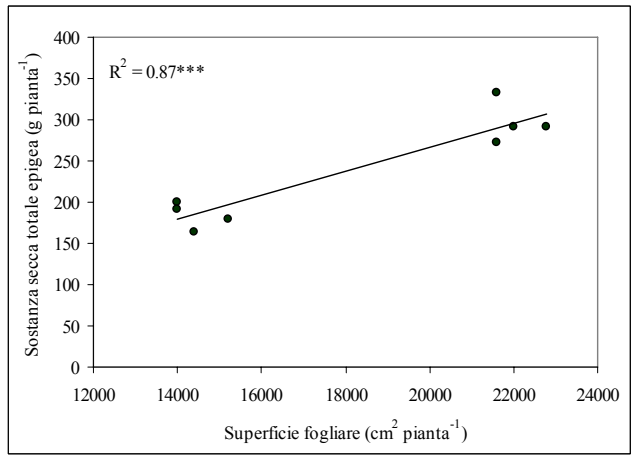


Figura 3 - Relazione tra la superficie fogliare (cm^2 $pianta^{-1}$) e la sostanza secca totale epigea (g $pianta^{-1}$).

La germinabilità di alcuni genotipi di *Jatropha curcas*, è stata testata in uno studio di valutazione della resistenza alle basse temperature e agli stress idrici, nell'ambito di un progetto basato sulla "Moltiplicazione e valutazione della *Jatropha curcas* per la produzione di olio vegetale". La sperimentazione ha previsto la valutazione della efficacia del pretrattamento osmotico (osmopriming) nello stimolare la germinabilità del seme, sia in termini di velocità, che di percentuale finale di semi germinati, a temperatura ottimale (30°C), subottimale (10, 15, 20, 25°C) e sovraottimale (35°C).

Il pretrattamento osmotico è stato effettuato immergendo i semi in una soluzione continuamente aerata di polietilenglicole (PEG 6000) alla concentrazione di 250 g/L, a 15°C per 3 giorni. Dopo il trattamento, i semi sono stati abbondantemente sciacquati con acqua corrente e successivamente con acqua distillata, posti quindi in germinatoio ad una delle temperature allo studio ed infine asciugati. Nel corso della stessa prova, i genotipi sono stati sottoposti a temperatura costante di 25°C a trattamenti di rimozione della caruncola, immersione in acqua per 12 e 24 ore e rimozione della caruncola + immersione in acqua per 12 e 24 ore (Tab. 4). La percentuale di germinazione, nella media dei genotipi è risultata più marcata alle temperature di 20 e 25 °C mostrando notevole variabilità tra le accessioni poste a confronto(Fig. 4).

Tabella 4 - Effetti dei pre-trattamenti effettuati sul seme sul carattere germinabilità (%) di alcuni genotipi posti allo studio.

Trattamento	Brasile 2	Guadalupe	India 1	Tanzania
testimone	69,6 c	58,5 d	85,4 d	77,3 c
rimozione della caruncola	88,9 ab	81,3 b	97,4 b	91,5 a
immersione in acqua per 12 h	78,7 b	69,8 c	90,7 c	83,5 b
immersione in acqua per 24 h	83,6 b	77,5 bc	88,2 c	82,5 b
rimozione della caruncola ed immersione in acqua per 12 h	87,3 ab	82,5 b	89,5 c	93,5 a
rimozione della caruncola ed immersione in acqua per 24 h	95,5 a	93,5 a	100 a	95,3 a
media	**85,0**	**77,2**	**84,5**	**85,4**
CV (%)	**10,84**	**11,38**	**10,88**	**10,82**

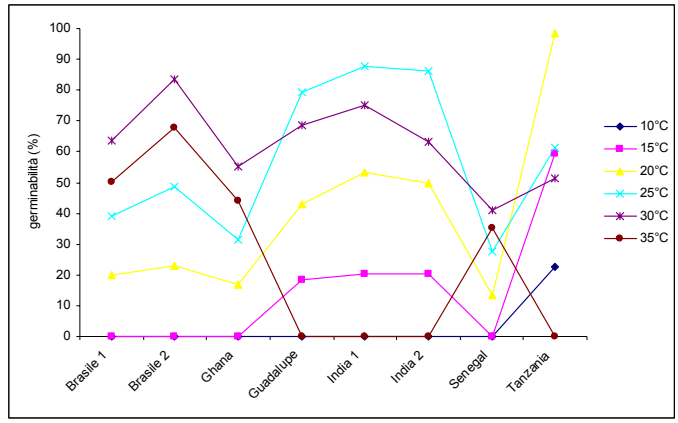


Figura 4 - Interazione della temperatura sulla germinabilità dei genotipi posti allo studio.

Nello studio è stato anche riscontrato un generale miglioramento della germinabilità passando dalle temperature più basse fino a temperature comprese tra 20 e 30°C (variabile in funzione del genotipo), con l'ottenimento di una migliore energia germinativa alla temperatura più alta. La percentuale di germinabilità ha subito poi un decremento fino ad annullarsi in qualche genotipo in corrispondenza di temperature di 35°C. La precocità di germinazione è risultata variare in funzione della temperatura con un generale ritardo alle temperature più basse, (Tab. 5). Il genotipo Senegal ha evidenziato una maggiore precocità a 30 e 35°C. Il trattamento di osmopriming ha determinato degli aumenti significativi nella germinabilità (Tab. 6) ma in generale, tutti i trattamenti posti allo studio hanno incrementato significativamente la germinazione rispetto al testimone non trattato, anche se, la migliore risposta germinativa è stata ottenuta con la rimozione della caruncola associata all'immersione in acqua per 24 ore.

Tabella 5 - Interazione della temperatura sulla precocità di germinazione dei genotipi posti allo studio (giorni dalla semina).

accessione	10°C	15°C	20°C	25°C	30°C	35°C
Brasile 1	-	-	7	6	6	5,5
Brasile 2	-	-	7,5	6	6	5
Ghana	-	-	9	8	8	7
Guadalupe	-	6	6	5	5	-
India 1	-	6	5	5	5	-
India 2	-	6	5	5	5	-
Senegal	-	-	11	10	9	9
Tanzania	5	5	4	3	4	-

Tabella 6 - Effetti della temperatura e del trattamento di Osmopriming di alcuni genotipi posti allo studio.

Temperatura	Brasile 2		Guadalupe		India 1		Tanzania	
	UP	P	UP	P	UP	P	UP	P
10°C	-	-	-	-	-	-	22,5 b	30,1 a
15°C	-	-	18,5 a	22,5 a	8,3 b	20,1 a	59,3 b	87,2 a
20°C	23,2 b	36,8 a	42,8 a	42,6 a	53,1 b	62,4 a	98,4 a	100 a
25°C	48,7 a	51,8 a	79,5 b	87,7 a	76,1 b	87,9 a	61,4 b	98,7 a
30°C	83,5 a	85,5 a	68,7 a	63,9 a	75,0 a	73,9 a	51,2 b	98,3 a
35°C	67,8 b	81,5 a	-	-	-	-	-	-
media	**55,8 b**	**63,9 a**	**52,4 a**	**54,2 a**	**53,1 a**	**61,1 b**	**58,6 b**	**82,9 a**

Allo scopo di effettuare una caratterizzazione genetica di alcune varietà di *Jatropha curcas* L. contraddistinte da semi ad alto contenuto di acido oleico, sono state effettuate delle prove in Sicilia in un ambiente tipicamente mediterraneo. L'utilizzo di marcatori basati su PCR come RAPD (Random Amplified Polymorphic DNA) e AFLP (Amplified Fragment Lenght Polymorphism), permette inoltre di constatare la distanza genetica fra le accessioni disponibili e ascrivere varietà apparentemente differenti a gruppi filogeneticamente simili. Uno studio condotto ad Ispica (RG) da Cosentino A.D. *et al*., 2008, ha testato i profili genetici di 8 accessioni di Jatropha attraverso l'utilizzo di 4 combinazioni di primers. Le varietà testate provenienti dal Brasile, India, Tanzania, Senegal, Ghana, Guadalupe sono state sottoposte ad uno screening di marcatori molecolari polimorfici per meglio indagare sulla variabilità inter ed intra-specifica.

Nelle accessioni poste al confronto è stato riscontrata una uniforme distribuzione di picchi polimorfici nelle regioni comprese nel range tra 50 e 600 bp, porzione del genoma posta ad analisi per l'utilizzo dei primers di cui sopra. In particolare 2 markers polimorfici sono stati identificati con successo in 2 varietà poste allo studio e pertanto si è potuto constatare la presenza in queste di due polimorfismi: 135 nt e 187 nt (Fig. 5) (Tab. 7). Questi marcatori genetici hanno permesso di distinguere due clusters di varietà: la prima delle quali include le varietà Brazil 1 e India 2, caratterizzate dalla presenza in entrambe le regioni dei due polimorfismi; l'altra delle quali include le rimanenti varietà poste allo studio (Senegal, Tanzania, Ghana, Guadalupe, Brazil 2 e India 1). Nel corso dello stesso studio sono stati trovati altri polimorfismi, in particolare nella regione 133 nt di Brazil 1 e Tanzania, nella regione 143 nt di Ghana, nella 152 nt di Tanzania, e nella 288 nt di India e Senegal. Tra le accessioni confrontate, la varietà India 1, mostra le più rilevanti differenze dalle altre, con la presenza di due unici picchi in corrispondenza della regione 179 nt e 382 nt e l'assenza di picchi 154 nt e 227 nt.

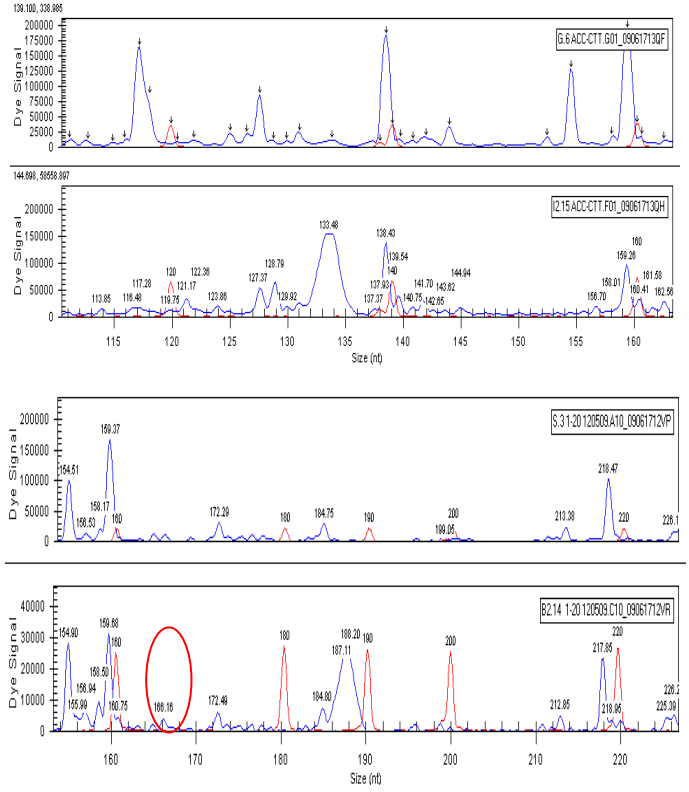


Figura 5 - Sequenze di elettroferogrammi, mostranti alcuni polimorfismi trovati nei genotipi posti allo studio.

Tabella 7 - Presenza/assenza dei polimorfismi trovati, nei genotipi posti allo studio.

	135 nt	187 nt
J. Curcas Brazil 1	+	+
J. Curcas Brazil 2	-	-
J. Curcas Ghana	-	-
J. Curcas Guadalupe	-	-
J. Curcas India 1	-	-
J. Curcas India 2	+	+
J. Curcas Senegal	-	-
J. Curcas Tanzania	-	-

Dai risultati ottenuti è emerso l'ampia adattabilità di questa specie all'ambiente mediterraneo con discreti risultati produttivi ricontrati in alcuni genotipi che hanno dimostrato maggiore o minore tolleranza alle basse temperature, fattore limitante la loro l'introduzione in ambiente mediterraneo di questa specie tropicale.

Prospettive

La versatilità della *Jatropha curcas* e i suoi molteplici utilizzi in campo medicinale, industriale, e come pianta per la produzione di biodiesel, la rendono oggetto di forte interesse soprattutto nelle zone di origine, tropicali e subtropicali. Negli ultimi anni, il suo potenziale come coltura oleaginosa per l'ottenimento di biocarburanti a costi relativamente bassi è stato fulcro di ampie ricerche.

Entro il prossimo decennio questa specie potrebbe diventare una delle maggiori fonti di energia rinnovabile nelle aree tropicali e subtropicali di Asia, Africa e America.

Per massimizzare il potenziale di produzione di olio per ettaro e migliorare la sostenibilità economica deve però essere ancora effettuato un intenso lavoro di miglioramento genetico e delle tecniche agronomiche.

Bibliografia

Cosentino A.D. Molecular characterization of eight genotypes of *Jatropha curcas* L. 17th European Biomass Conference and Exhibition, 29 June - 3 July 2009, Hamburg, Germany, 565-567.

Henning, R. June 2009, The Jatropha Book. The Jatropha System, an integrated approach of rural development, http://www.jatropha.de/, Weissenberg, Germany.

Jongschaap *et al*., 2007. Claims and facts on *Jatropha curcas*. Global *Jatropha curcas* evaluation, breeding and propagation programme. Report 158 Plant Research International, Wageningen UR.

Manurung R., 2007. Valorization of Jatropha curcas using the biorefinery concept. Expert seminar on *Jatropha curcas* L., Agronomy and genetics. 26-28 March 2007, Wagenin, Netherlands, Published by FACT Foundation.

Sortino *et al*. 2009. Preliminary results of the behaviour of *jatropha curcas* in the south of Italy. 17th European Biomass Conference and Exhibition, 29 June - 3july 2009, Hamburg, Germany, 568-570.

Openshaw, K. 2000, "A review of *Jatropha curcas*: an oil plant of unfulfilled promise", *Biomass and Bioenergy,* vol. 19, no. 1, pp. 1-15.

Sortino *et al*., 2009. Capacità di sviluppo e attività fotosintetica di *Jatropha curcas* in ambiente mediterraneo. Atti XXXVIII Convegno SIA, Firenze, 21-23 Settembre 2009, 271-272.

Sortino *et al*., Leaf gas exchange in filed experiments on 8 varietes of *Jatropha curcas* L., in semiarid Mediterranean environment. 17th European Biomass Conference and Exhibition, 29 June - 3 July 2009, Hamburg, Germany, 571-573.

Sortino *et al*., 2009. Primi risultati della caratterizzazione bio-morfologica e fisiologica di genotipi di *Jatropha curcas* coltivati in un ambiente della Sicilia sudorientale al fine dell'introduzione in coltura della specie per la produzione di olio e biodiesel. Relazione CER (Compagnia per Energie Rinnovabili), progetto "Ca-

ratterizzazione Biomorfologica e Fisiologica di Genotipi di Jatropha curcas Coltivati in un Ambiente della Sicilia Sudorientale al fine dell' introduzione in Coltura della Specie per la Produzione di olio e biodiesel"; dati non pubblicati.

Sortino *et al*., 2010. Moltiplicazione e valutazione della *J. curcas* per la produzione di olio vegetale: valutazione della resistenza alle basse temperature e agli stress idrici. Relazione CER, (Compagnia per Energie Rinnovabili), progetto "Caratterizzazione Biomorfologica e Fisiologica di Genotipi di Jatropha curcas Coltivati in un Ambiente della Sicilia Sudorientale al fine dell' introduzione in Coltura della Specie per la Produzione di olio e biodiesel"; dati non pubblicati.

www.JatrophaCurcasPlantations.com

3 - Ricino (*Ricinus communis* L.)

*Castor (*Ricinus communis *L.)*

Orazio Sortino*, Salvatore Luciano Cosentino*, Sarah Sidella*

Riassunto

Il Ricino (*Ricinus communis* L.), è una specie oleaginosa afferente alla Famiglia delle Euphorbiaceae, originaria dell'Africa Tropicale. Pianta perenne semi-tropicale (Weiss, 1983), rustica e moderatamente arido-resistente, ha un ciclo biologico che tende alla poliannualità, anche se negli ambienti temperati, gelate e basse temperature del periodo autunno-vernino possono determinare la morte della pianta, motivo per cui in questi ambienti, solitamente si preferisce coltivarla a ciclo annuale. In ambiente mediterraneo, il ricino può essere validamente coltivato come coltura intercalare primaverile-estiva. La sua produttività è legata essenzialmente alle caratteristiche dell'ambiente in cui la pianta cresce, tuttavia le rese della specie oscillano tra 2,5-3 t ha^{-1} di seme.

Il Ricino, vanta molteplici utilizzi da quello ornamentale, a quello cosmetico, farmaceutico ed industriale; il suo possibile impiego quale "bio-combustibile" è da attribuire all'olio contenuto nei semi (dal 40 al 60%), caratterizzato da un'elevata percentuale di acido ricinoleico che lo rende molto viscoso e pertanto di difficile impiego nel settore motoristico allo stato puro; ridotta o addirittura eliminata tale componente nell'olio, questo diventa di possibile impiego come surrogato del diesel di origine fossile.

In questa sede la specie viene descritta dal punto di vista botanico, ecologico, ed agronomico.

Nell'ambito del Progetto FAESI, sono state effettuate alcune ricerche su alcuni genotipi di ricino selezionati dal DISPA di Catania; in particolare si è indagato sulle rese della specie allevata come coltura poliennale in Sicilia, ottenute in seguito a coltivazione con differenti input colturali, sull'influenza della tecnica di capitozzatura, sulle rese in seme e in olio e sugli effetti dell'impiego di ammendante a base di compost in ambiente marginale e salino della Tunisia Sud-Occidentale.

*Dipartimento di Scienze delle Produzioni Agrarie e Alimentari (DISPA), Università degli Studi di Catania.

Parole chiave: *Ricinus communis* L., biocombustibile, arido-resistenza, input colturali, capitozzatura.

Abstract

*The castor (*Ricinus communis *L.) is an oilseed species of the Euphorbiaceae family, native to tropical Africa. Semi-tropical perennial plant, wild and moderately dry-resistant, it has a perennial cycle, although, in temperate climates, it is cultivated in annual cycle because winter frost can kill the plant. In the Mediterranean environment, the castor bean, may be cultivated in spring and summer. Its productivity is essentially linked to the environment in which the plant grow, however the yields of the species range from 2,5 to 3 t ha^{-1} seeds.*

The castor, has many uses from ornamental to the cosmetic, pharmaceutical and industrial; its possible use as "bio-fuel" can be attribuited to oil content in seeds (40 to 60%), characterized by hight percentage of ricinoleic acid, which makes it very viscous and therefore difficult to use in engineering in its pre state. Reduced or even eliminated this component in the oil, it becomes possible to use as a substitute for fossil diesel. In this short monograph, the species is described in terms of botanical, ecological and agronomic. In the FAESI project, some researches were carried out on some genotypes selected from Castor by DISPA of University of Catania. In particulary, the yields of castor were investigated in a multi-year crop in Sicily, under different crop inputs. Also, the influence of topping practice on seed and oil yields and the effects of the use of fertilizer- compost in a marginal and saline South-West of Tunisia, are investigated.

***Keywords**:* Ricinus communis *L., biofuel, arid resistance, crop inputs, topping.*

Introduzione

Il nome generico "*Ricinus*" deriva dal latino e significa "zecca", termine attribuitogli per il suo aspetto che somiglia appunto a quello dell'insetto. Il ricino è anche conosciuto come *Mano aperta*, *Cafè da olio*, *Manteca* o *Fico d'inferno*.

Secondo la tassonomia botanica, il ricino, *Ricinus communis* L., noto anche come *Ricinus vulgaris*, appartiene alla Famiglia delle Euphorbiaceae, Ordine Euphorbiales.

In Francese la specie è nota come *Ricin*, in Inglese *Castor oil plant*, in Spagnolo *Higuera infernal*, in Tedesco *Wunderbaum, Rizinus*.

Semi di ricino e olio estratto da questi hanno origini antichissime; nell'Antico Egitto sono stati rinvenuti semi in tombe risalenti al 4000 a.C., inoltre fin dai tempi dei faraoni la pianta di ricino veniva utilizzata per finalità curative.

L'addomesticamento del ricino risale al VI millennio a.C. nell'Asia sud-occidentale; la specie, originaria dell'Africa tropicale è stata introdotta in Europa prima dell'Impero romano. Oggi è coltivata in tutto il mondo, soprattutto nelle zone tropicali e

subtropicali (in particolare Asia e America del Sud), ma anche in zone caratterizzate da clima temperato, sia allo stato spontaneo che coltivato per il suo elevato contenuto in olio che viene utilizzato in farmacia e in varie applicazioni industriali.

A seguito di un periodo di notorietà conosciuta dal Ricino nel mondo antico, la coltura subisce un periodo di declino, probabilmente per l'interesse da parte di viaggiatori europei nei secoli XVI- XVII verso "nuove" oleaginose quali girasole, colza e soia, per poi nuovamente riapparire nel XVIII secolo.

Nella seconda metà dell'ottocento, con l'isolamento della ricinina e della ricinoleina, il ricino comincia a recuperare e nel novecento si comincia a trarne olio per utilizzo industriale.

La coltivazione del ricino è stata avviata in Italia nella Pianura Padana, intorno al 1880; nel periodo post-unitario, la coltura ha assunto nuovamente un ruolo secondario.

La produzione mondiale di semi di ricino ammonta a circa 1 milione di tonnellate anno^{-1}. Le zone principali di produzione sono India, Cina e Brasile che contribuiscono a circa 66%, 21% e 6% della produzione mondiale.

Descrizione botanica

L'habitus spontaneo negli ambienti tropicali e subtropicali è quello arbustivo-perennante, quello delle specie coltivate negli ambienti caratterizzati da climi temperati è generalmente quello di specie erbacea annuale.

Il ricino è una pianta perenne semi-tropicale (Weiss, 1983); il suo ciclo tende alla poli-annualità, anche se negli ambienti temperati gelate e basse temperature del periodo autunno-vernino possono determinare la morte della pianta, motivo per cui solitamente in questi areali si preferisce coltivarla a ciclo annuale.

Nelle zone costiere della Sardegna, dove la coltura cresce allo stato spontaneo, è presente una forma perennante; nei litorali mediterranei e nelle zone a clima mite, è talvolta considerato una pianta infestante.

L'altezza media è di 2-3 m, ma nei paesi di origine arriva a 8-10 m di altezza. L'apparato radicale è di tipo fittonante e può arrivare a notevole profondità, è formato da un grosso fittone che si sviluppa in profondità e da radici laterali superficiali.

Il fusto principale è eretto e cavo al suo interno, di lunghezza variabile tra 60 cm ad oltre 5 metri; si presenta liscio o pruinoso, più o meno ramificato e termina con una infiorescenza a pannocchia dal cui nodo immediatamente sottostante si origina una ramificazione. La crescita è di tipo simpodiale (infiorescenza all'estremità del fusto e ramificazione sotto ogni infiorescenza); dopo la formazione dell'infiorescenza primaria nella parte apicale del fusto, segue la formazione di infiorescenze secondarie. Il numero dei nodi sotto la prima infiorescenza è influenzato dall'epoca di semina e, la resa potenziale della specie sembra essere in correlazione con la quantità di pruina presente sul fusto della pianta.

A seconda delle varietà e delle condizioni in cui la pianta cresce, anche i rami secondari danno origine a rami terziari dai nodi sottostanti i racemi. Questa emissione di rami e racemi può continuare per tutto il ciclo biologico della pianta.

Per ridurre l'altezza delle piante e quindi facilitare la raccolta, sono state selezionate varietà con internodo corto (varietà nane alte 60-120 cm), idonee negli ambienti aridi e particolarmente interessanti nell'ottica della raccolta meccanizzata, piuttosto difficoltosa nel ricino; queste, hanno consentito lo sviluppo della meccanizzazione su larga scala della coltura.

Foto 1 - Racemo di *Ricinus communis* L. - Foto DISPA).

Foto 2 - Capsule verdi di *Ricinus communis* L. (Foto DISPA).

Le foglie caduche e palmate (da 5 a 15 lobi), sono alterne lungo il fusto, ad eccezione del primo nodo dove ne sono inserite due opposte; si presentano larghe fino anche ad un metro, con margini dentellati e sorrette da robusti piccioli a sezione circolare, cavi al loro interno, saldamente fissati al fusto e ben forniti nella parte prossimale di ghiandole nettarifere. A seconda della varietà le nervature possono essere più o meno marcate e colorate. Le foglie possono essere di colore verde o rosso, quest'ultime sono utilizzate a scopo ornamentale. Il ricino è una pianta monoica con fiori raggruppati in infiorescenze a grappolo o pannocchia; queste, portano fiori femminili picciolati nella parte alta e piccoli grappoli di fiori maschili nella parte bassa. Quasi tutte le varietà sono a fioritura estiva ma questa non avviene contemporaneamente tra fiori maschili e femminili.

Il ricino è una pianta allogama, i fiori, unisessuati, sono disposti a spirale sull'asse del racemo, non hanno petali e sono protetti da un bocciolo di 3-5 sepali che alla fioritura rimangono saldati alla base. L'impollinazione è anemofila.

Il frutto è una capsula triloculare, spinosa o liscia che contiene 3 semi ovoidali; è deiscente a maturità nelle forme selvatiche e indeiscente in alcune varietà selezionate. Il numero di capsule prodotte da un singolo racemo, varia tra 2 e 8.

La capsula a maturità si apre lungo la sutura dorsale ed i semi si disperdono; la maturazione dei frutti lungo l'asse del racemo non è regolare, perché frutti basali maturano prima di quelli apicali.

Foto 3 - Capsule mature di *Ricinus communis* L. (Foto DISPA).

I semi, lunghi circa 1 cm, contengono dal 40 al 60% di olio e il 15% di fibra, presente principalmente nel guscio esterno; hanno una forma ovoidale compressa, con una delle estremità più arrotondata e con l'altra fornita di una protuberanza detta caruncola; presentano tegumento duro ma fragile, lucente, di colore dal grigio al giallastro e rossastro con strie e macchie di altro colore e internamente contengono una pellicina sottile, biancastra (nella quale si trova la ricina) e abbondante albume oleoso nel quale è immerso l'embrione.

Il rapporto tra guscio e seme può variare approssimativamente da 1:2 a 1:4 in peso; il peso di 1000 semi oscilla tra meno di 100 g a più di 1000 g, ma la maggior parte delle varietà commerciali ad internodo corto raggiunge approssimativamente la media di 300 g.

L'olio di ricino è composto interamente da trigliceridi; il gliceride principale è la ricinoleina, di cui il componente acido grasso principale è l'acido ricinoleico C17, a cui si devono le proprietà purgative conferite all'olio. Questo acido è, inoltre responsabile dell'alta viscosità dell'olio che ne rende difficoltosa la trasformazione in biodiesel per un suo utilizzo energetico.

Il principio anti-ossidante nell'olio di ricino è il tocoferolo, il cui contenuto totale si aggira tra 22 e 50 mg per 100 g nell'olio grezzo.

Biologia

Il ciclo biologico può essere distinto nelle seguenti fasi:

- *Germinazione*: avviene in circa 12-15 giorni con temperature comprese tra 15-18 °C, l'optimum di umidità per tale fase si aggira intorno al 16%.
- *Sviluppo vegetativo*: è il periodo delimitato dall'emergenza e dalla emissione del racemo fiorale, ha una durata che varia anche a seconda dell'andamento climatico dai 25 ai 60 giorni.
- *Fase riproduttiva*: è il periodo che va dall'emissione del racemo fiorale fino alla maturazione. Richiede circa 45-60 giorni in relazione alla varietà impiegata e all'andamento termo-pluviometrico.

Esigenze rispetto al clima

Il ricino trova buone condizioni di crescita nelle regioni temperato-calde ed in quelle tropicali ma si adatta anche ad una vasta gamma di situazioni climatiche; in relazione a questa sua caratteristica la specie si è naturalizzata anche in Sicilia, dimostrando così la piena adattabilità negli areali caldo-aridi tipici dell'ambiente mediterraneo.

Coltivazioni commerciali di questa pianta possono riscontarsi sia a livello del mare che a diverse altitudini, fino a 3000 m nei luoghi d'origine; i limiti geografici spaziano da 40°S a 52°N.

Essendo originario di aree tropicali e subtropicali, la specie si avvantaggia delle precipitazioni estive di queste zone dove trova le migliori condizioni per la sua crescita, nonostante si dimostri capace di crescere in tutte le regioni, da quelle tropicali umide a quelle subtropicali aride, purché siano soddisfatte le sue esigenze termiche.

Temperatura

Il ricino richiede una temperatura moderatamente elevata in tutte le sue fasi di sviluppo; quella ottimale per la sua crescita è di 20-26°C (Weiss, 1983), temperature al di sopra di 38°C inibiscono la produzione di semi in quanto possono comportare il disseccamento del fiore.

Il seme germina in 7-14 giorni con temperature del suolo di 16-17°C (Zinnerman, 1958) mentre la fioritura richiede una temperatura compresa tra 24 e 26°C.

Nelle regioni temperate sono soprattutto le basse temperature ad imporre i limiti alla coltivazione di questa oleaginosa. Durante l'emergenza, temperature del suolo al di sotto di 10°C ritardano notevolmente la fuoriuscita delle plantule dal terreno, rendendo i semi più sensibili all'attacco di agenti patogeni. Un'esposizione della pianta a temperature di -2°C per 4 ore continuative, è sufficiente a provocarle la morte (Weiss, 1983). L'elevata temperatura favorisce una maggiore produttività della coltura ed un'elevata percentuale di olio nei semi che in condizioni favorevoli può arrivare ad una resa del 63%.

Da uno studio effettuato nel 1983 in Sicilia (Abbate e Copani, 1988) in due località poste a 200 e 500 m s.l.m., è stato riscontrato una durata dell'intervallo semina-emergenza di circa 80 giorni con semine invernali e di circa 35 giorni con semine primaverili e risultati produttivi scadenti in presenza dei soli apporti idrici naturali.

Fotoperiodo

Nei confronti della luce, il ricino è una pianta longidiurna nelle zone di origine e neutrodiurna alle nostre latitudini; i giorni corti ritardano la fioritura ma in generale la sensibilità al fotoperiodo, soprattutto alle nostre latitudini è molto attenuata, a dimostrazione dell'ampia adattabilità della specie a diversa lunghezza del giorno.

Esigenze pedologiche

In relazione alle esigenze pedologiche, il ricino presenta un'elevata adattabilità ai vari tipi di suolo, fatta eccezione per quelli troppo argillosi e quelli mal drenati poiché la pianta è sensibile all'eccesso di umidità, soprattutto nelle prime fasi di sviluppo. Pur adattandosi a diversi terreni, le migliori produzioni si ottengono in suoli limo-sabbiosi, ben drenati e ricchi di sostanza organica; la specie si adatta a pH compreso tra 5 ed 8, pur prediligendo pH neutro. Il ricino è in grado di valorizzare ambienti marginali e risulta inoltre mediamente resistente alla salinità.

Esigenze idriche

Il ricino consuma mediamente 400 litri per kg di sostanza secca formata. Nelle aree con precipitazioni estive, 500 mm di pioggia sono sufficienti per la coltivazione di varietà nane; la quantità ottimale di acqua è però compresa in un range tra 750 e 1000 mm. (Lal S. and Yadaw D.S., 1980). Grazie alla profondità del suo apparato radicale, il ricino è capace di esplorare strati profondi di suolo e attingere a falde acquifere sotterranee. Nonostante sia considerato una specie arido-resistente, assicura la migliore estrinsecazione delle sue potenzialità con una disponibilità idrica di 600-700 mm; tuttavia in Sud Africa, sono stati ottenuti ottimi risultati produttivi con una piovosità di 375-500 mm.

In ambienti moderatamente siccitosi come quelli della Sicilia, sono state ottenute produzioni non superiori a 0,5-0,6 t ha^{-1} con una piovosità modesta (tra 60 e 90 mm), ma in suoli profondi di origine alluvionale (Abbate e Copani, 1988); negli stessi ambienti la disponibilità idrica vicina a 500 mm ha portato la produzione a circa 1,3 t ha^{-1} (Copani e Abbate, 1988).

Variazioni nell'entità e nella distribuzione delle piogge nelle diverse aree geografiche, fanno variare notevolmente l'epoca di semina; questa, viene effettuata in novembre-dicembre per le zone piovose del Nord Africa e del medio Oriente, in marzo-maggio negli Stati Uniti o in settembre-ottobre nel Sud America. In Italia, il periodo migliore per le semine sembra collocarsi tra i mesi di aprile-maggio (Vannozzi e Baldanzi, 1988).

Esigenze nutritive

Il ricino non si adatta a terreni dotati di un eccessivo grado di fertilità, poiché in questi casi tende a produrre una grande massa vegetativa a scapito della produzione di seme: la specie è infatti più spesso coltivata in terreni di moderata e bassa fertilità.

La pianta è particolarmente esigente in potassio e azoto, meno in fosforo; riguardo le esigenze nutritive, l'asportazione di elementi nutritivi per 1 tonnellata di semi

con capsule è di circa 30 Kg di N, 5 Kg di P 12 Kg di K, 4 Kg di Ca e 3 Kg di Mg (Geus J.G., 1973).

Le maggiori esigenze nutritive corrispondono al periodo di massima formazione di olio nel seme e cioè tra il ventesimo e il settantesimo giorno dopo la fioritura.

Genetica

Il ricino (2n = 20) è una specie prevalentemente allogama (Brigham, 1967), per cui i metodi impiegati nel miglioramento genetico sono quelli tipici delle piante allogame. Attualmente, vengono utilizzati quasi tutti i metodi classici del miglioramento per la costituzione di varietà ibride e sintetiche e varietà a libera impollinazione. L'intenso lavoro di miglioramento genetico ha riguardato in particolare l'adattamento pedoclimatico, l'altezza del fusto, la produttività, la deiscenza delle capsule, il peso e il tenore in olio, l'introduzione della monoracemia e la resistenza alle avversità.

Dall'unica specie *Ricinus communis* L. si sono originate numerosissime varietà che si differenziano per morfologia, ciclo della pianta, e sviluppo, frutti più o meno spinosi, colore e dimensione dei semi e così via. Il Genere *Ricinus* è considerato monotipico ed il *Ricinus communis* è la sola specie alla quale possono essere attribuite sei sub-specie: *Persicus, Chinensis, Zanzibariensis, Sanguineus, Indicus e Mexican.*

Tecnica colturale

Il ricino può essere allevato sia come pianta annuale per ricavarne il seme (da cui estrarre l'olio), sia come pianta perenne, diventando in questo caso anche di notevoli dimensioni.

Nell'avvicendamento colturale, il ricino occupa la posizione di una sarchiata da rinnovo. La propagazione del ricino avviene mediante seme generalmente preimmerso in acqua per circa 24 ore; a seconda della grandezza dei semi, la quantità di seme da impiegare è di 12-18 Kg $ha^{-1.}$

La semina è effettuata "a postarelle" con deposizione di 2-3 semi per volta o in alternativa semina in vivaio e successivo trapianto con sesto d'impianto di 2 m x 2 m; è eseguita generalmente in primavera, con una profondità di semina di circa 5-10 cm, distanza sulla fila di 40-50 cm e tra le file di 90-100 cm. L'investimento ottimale di 40.000-60.000 piante ha^{-1} (4-6 piante m^{-2}).

Fondamentali prima della semina si rivelano una buona preparazione del terreno effettuata tramite aratura profonda (30 cm), fresatura e livellamento e l'estirpazione delle malerbe pre-esistenti. Nelle prime fasi del ciclo, il ricino è sensibile alle infestanti, le quali vengono controllate con un diserbo chimico effettuato in pre-emergenza e con successive sarchiature, a seconda delle necessità.

Foto 4 - Prove di coltivazione di *Ricinus communis L.* in Sicilia (Foto DISPA).

Per quanto riguardo l'irrigazione, il ricino si avvantaggia notevolmente di interventi irrigui, specie subito dopo la semina per favorire la germinazione. Inoltre trae vantaggio da un'irrigazione effettuata allo stadio di 6-8 foglie, prima della formazione del racemo primario. Le piogge tardo-estive favoriscono la ripresa vegetativa della pianta e l'emissione di nuovi racemi, causando spesso problemi alla raccolta. Per quanto concerne la concimazione, il fabbisogno medio in elementi per il ricino è di circa 150 Kg di N, 100-120 Kg di P_2O_5 e 80-100 Kg di K_2O da somministrare prima della semina e ad inizio fioritura.

La maturazione dei semi e delle capsule è scalare; alle nostre latitudini la raccolta inizia per le varietà precoci in agosto per finire ad ottobre per le varietà più tardive. Le capsule sono raccolte quando presentano un colore bruno e gli aculei diventano consistenti e fragili. Con le varietà indeiscenti si esegue la raccolta delle capsule pienamente mature e la sgusciatura si esegue mediante l'ausilio di macchine sgusciatrici; nelle varietà deiscenti, le capsule si raccolgono prima che abbiano raggiunto la piena maturazione e vengono poi lasciate essiccare.

Produzione di seme

Le rese medie del ricino sono di 2,5-3 t ha^{-1} di semi i quali contengono in media una percentuale di olio tra il 40 e il 60% e il 20% circa di materiali albuminoidi ai quali si aggiungono sostanze di varia natura quali: zuccheri, gomma, sali, resine e l'alcaloide ricinina.

Prima della spremitura o estrazione dell'olio, il seme viene in genere sgusciato; i tegumenti seminali rappresentano circa il 17-20% del peso del seme.

La produttività delle cultivar è legata essenzialmente alle caratteristiche dell'ambiente. Nelle aree del centro-sud d'Italia si raggiungono in media 1,5 t ha^{-1} di seme con punte di oltre 2 t ha^{-1}; in Sicilia, in condizioni asciutte, la coltura è in grado di raggiungere circa 1 t ha^{-1}.

Composizione dell'olio

Il ricino è una pianta tossica, la cui tossicità è dovuta alla presenza della glicoproteina ricina e dell'alcaloide ricinina, concentrate in massima parte nei semi della pianta. In questi è presente anche un enzima lipolitico che può causare una rapida idrolisi dei gliceridi se non vengono conservati in luoghi asciutti. La ricina, può però essere facilmente eliminata attraverso desolventizzazione della farine di estrazione. Trattamenti di detossificazione, provocano la perdita di alcuni amminoacidi (lisina, cisteina e metionina), dovuta alla denaturazione delle proteine, ed è per questo motivo che le farine di ricino detossificate potrebbero venire utilizzate in zootecnia solo per gli animali ruminanti, mentre per i monogastrici si dovrebbe provvedere a reintegrare nei livelli dovuti gli amminoacidi mancanti.

Impieghi

Il ricino, oltre che come biocombustibile o biomassa energetica, trova impiego anche nel controllo dell'erosione dei suoli, finalità a salvaguardia dell'ambiente. È inoltre molto apprezzato non solo per le sue proprietà medicinali ma anche come pianta ornamentale grazie alle sue foglie particolarmente decorative e per le infiorescenze molto colorate ed appariscenti.

L'olio estratto dai semi di ricino attraverso il sistema continuo e quello discontinuo, contiene per il 90% acido ricinoleico che gli conferisce elevata viscosità, elevato peso specifico, miscibilità in olio e basso punto di congelamento; l'olio di ricino viene impiegato anche nel campo degli adesivi e dei plastificanti, nonché come fluido per freni e per comandi idraulici.

È inoltre un ottimo lubrificante, poco infiammabile e non secca se esposto all'aria. Ha inoltre una composizione particolare in quanto mantiene lo stesso livello di fluidità indistintamente a temperature molto basse o molto alte. Grazie a questa proprietà viene usato nei motori spinti e ad elevato numero di giri, nelle gare di rally ed in motori per aeromodelli.

I panelli, sottoprodotti derivati in seguito all'estrazione di olio, sono tossici per la presenza di un'albumina tossica: la ricina (Osborne *et al.*, 1905), alcuni potenti fattori allergenici (polisaccaridi legati a proteine) (Spies e Coulson, 1943) ed un alcaloide: la ricinina (Tuson, 1905) e pertanto non commestibili né tantomeno utilizzabili

in nutrizione zootecnica ad eccezione di quelli provenienti da genotipi selezionati per la bassa tossicità. I panelli vengono però impiegati come concimi organici naturali per il contenuto di elementi umici (75%) oltre che di macro e micro elementi che li caratterizza (5-6% di N, 2-3% di P e 1,1 % di K), e vengono inoltre utilizzati per la produzione di biogas.

Ricerche sperimentali

L'irrigazione è uno degli aspetti della tecnica colturale più studiato, soprattutto nelle regioni meridionali dove l'esito della coltura dipende appunto dalla possibilità di intervenire o meno con l'irrigazione.

Da una prova condotta in Sicilia da Copani *et al*. nel 1988, basatasi sul confronto tra prefissati interventi irrigui in corrispondenza delle fenofasi e la restituzione del 50% dell'ETm durante l'intero ciclo colturale, è emerso un incremento del consumo di acqua da 1700 a 3200 m^{-3} ha^{-1}, ma anche un incremento di resa del 50% rispetto alla coltura irrigata senza la restituzione.

Un risultato simile è stato ottenuto in due differenti prove realizzate nelle Marche (Laureti e Fedeli, 1995; Laureti e Marras, 1995), nelle quali sono state confrontate colture irrigue differenziate in base al criterio di restituzione di ETm, stabilito secondo prefissati coefficienti colturali di restituzione idrica; la resa ottenuta è stata proporzionale all'aumento di volume stagionale d'irrigazione.

Il ricino, in ambiente mediterraneo, può essere validamente coltivato come coltura intercalare primaverile-estiva (Sarno *et al*., 1993; Patanè *et al*., 1995; Laureti e Marras, 1995; Laureti, 2002). La specie può avere durata poliennale, soprattutto nelle zone di origine.

Tabella 1 - Statura delle piante e produzione della biomassa epigea totale nel biennio di prova con tecniche a bassi (T_0) ed alti input (T_1) nei trattamenti (bassi e alti input).

caratteri	T0			T1		
	2007	2008	media	2007	2008	media
Statura piante (cm)	114 b	186 b	150	221 a	273 a	247
Biomassa secca (t ha^{-1})	2,6 b	7 b	4,8	6,3 a	15 a	10,7

Nella Sicilia sud-orientale, è stato condotto un biennio di prove (2007-2008), durante il quale si è indagato sulla risposta produttiva di una linea di Ricinus communis, selezionata dalla Sezione Agronomica del DISPA dell'Università di Catania, da popolazioni spontanee, coltivata in ciclo poliennale con due diverse tecniche di coltivazione: una ad alti input (irrigazione alla semina e dall'emergenza alla maturazione del racemo principale e concimazione alla semina di 80 Kg ha^{-1} di N, 80 Kg ha^{-1} di P_2O_5 e 60 Kg ha^{-1} di K_2O), ed una a bassi input (irrigazione soltanto alla semina). Come previsto, la statura delle piante è risultata essere influenzata dalla tecnica col-

turale utilizzata, variando tra 114 cm (T_0) e 221 cm (T_1) al I anno e tra 186 cm (T_0) e 273 cm (T_1) al II anno e, la produzione di biomassa è aumentata con l'utilizzo della tecnica ad alti input, raggiungendo alla fine del II anno valori di circa 7 e 15 t ha^{-1} (rispettivamente per T_0 e T_1) (Tab. 1).

La tesi T_1 (alti input) nei 2 anni, ha fornito una resa in granella, significativamente superiore rispetto a quella fornito nella tesi T_0 (bassi input), con valori di 4 t ha^{-1} e 3 t ha^{-1}, nella media rispettivamente. La riduzione degli input colturali ha determinato in entrambi gli anni di sperimentazione, una riduzione del peso dei 1000 semi (312 g vs 346 g) e del contenuto in olio (43% vs 47%) (Fig. 1)

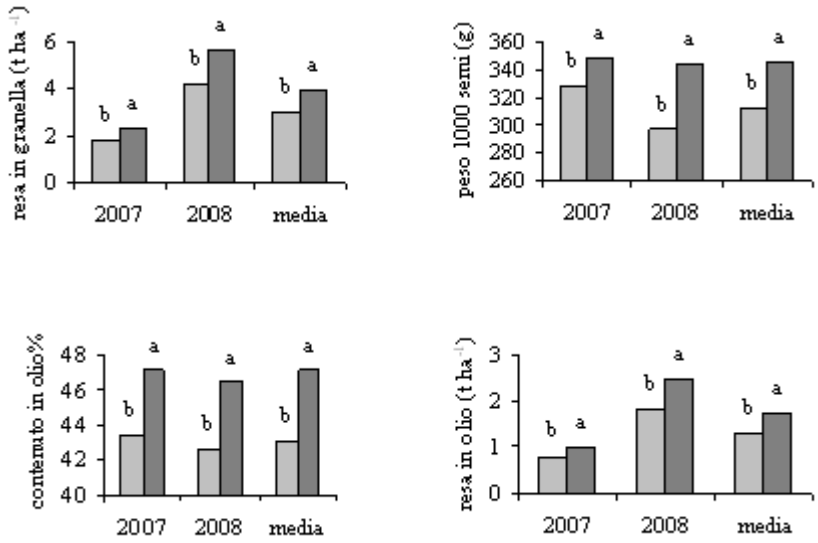


Figura 1 - Resa in granella, peso 1000 semi, contenuto e resa in olio nel biennio di prova, a seguito dei trattamenti T_0 (chiaro) e T_1 (scuro).

Dalla prova è emerso che il ricino, coltivato in ciclo poliennale, anche con una riduzione di input agronomici, sembrerebbe in grado di realizzare buone produzioni in seme ed in olio (Sortino *et al*., 2009).

In riferimento alla potenzialità bioenergetica del ricino, è stata condotta una prova da Sortino *et al*., (2005) nella quale è emersa l'elevata capacità produttiva della specie in confronto ad altre confrontato con esso (Amaranthus e Sorgo) dovuta all'elevata superficie fogliare e quindi ad una più ampia superficie fotosintetizzante, unita ad una maggiore quantità di biomassa secca (500 g $pianta^{-1}$), giustificata da un più grande diametro del fusto (basale 34 mm, mediano 25 mm, apicale 12 mm) del ricino, rispetto alle altre due specie. Anche le caratteristiche qualitative della biomassa sono risultate idonee ai processi di conversione bioenergetici, avendo mostrato il ricino un alto contenuto energetico (18 MJ Kg^{-1}) e quindi un alto potere calorifico, ed un modesto contenuto in ceneri (5%) (Tab. 2) (Fig. 2) (Fig. 3) (Fig. 4).

Il *Ricinus communis*, per le sue caratteristiche di arido-resistenza e tolleranza alla salinità, fornisce una produzione che può essere finalizzata allo sviluppo della filiera bioenergetica, e allo stesso tempo può contribuire al contenimento dell'erosione e della desertificazione, ricorrente soprattutto nelle regioni desertiche e semidesertiche del Pianeta, tra le quali la Tunisia, appunto caratterizzata da vaste aree semi-aride saline, incolte ed abbandonate.

Tabella 2 - Confronto tra caratteri morfo-biometrici delle tre specie allo studio.

	altezza pianta	ramificazioni	foglie	diametro fusto basale	diametro fusto mediano	diametro fusto apicale	superficie fogliare
	cm	*n°*	*n°*	*mm*	*mm*	*mm*	*cm^2 $pianta^{-1}$*
Amaranthus	226,7	10	70	22	14	9	5313
Ricino	167,7	11	128	34	25	12	34276
Sorgo	380,3	-	18	24,5	22	8,7	6187
DMS	*39,3*	-	*31,4*	*7,5*	*1,8*	*2,5*	*13851*

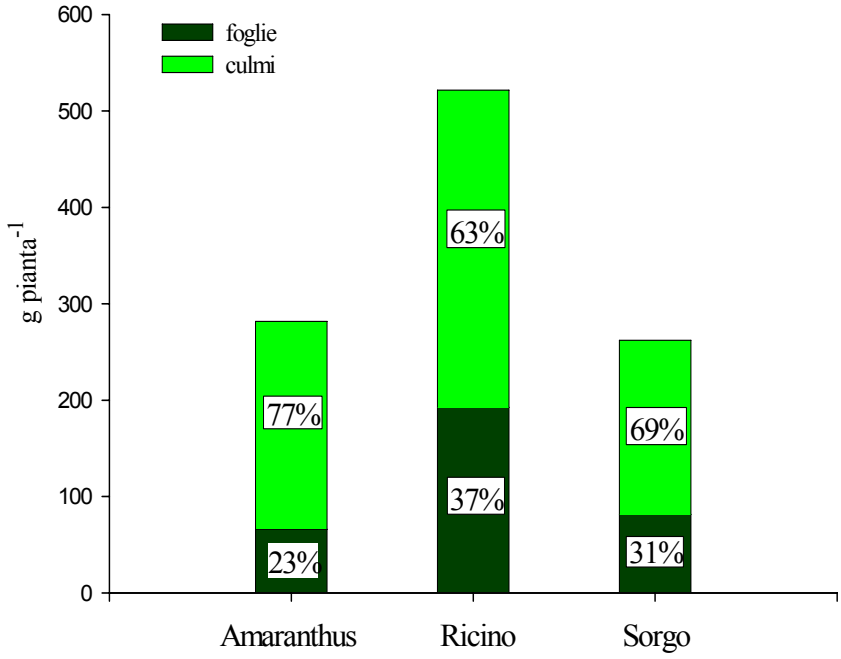


Figura 2 - Ripartizione della biomassa secca epigea nelle tre specie allo studio.

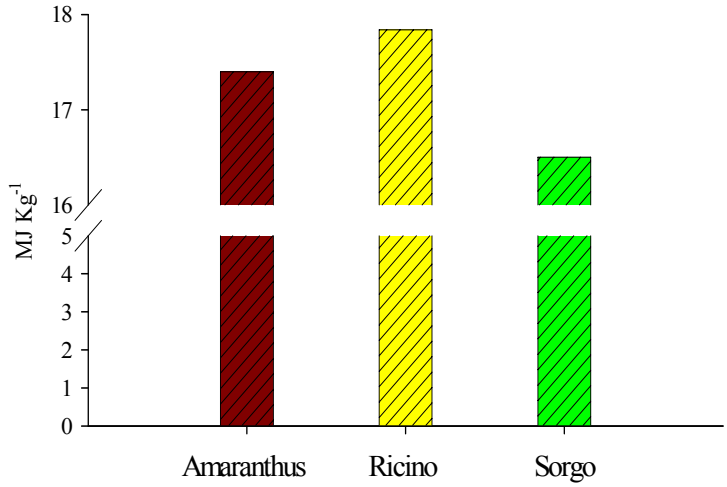


Figura 3 - Potere Calorifico Inferiore (PCI) determinato nelle tre specie allo studio.

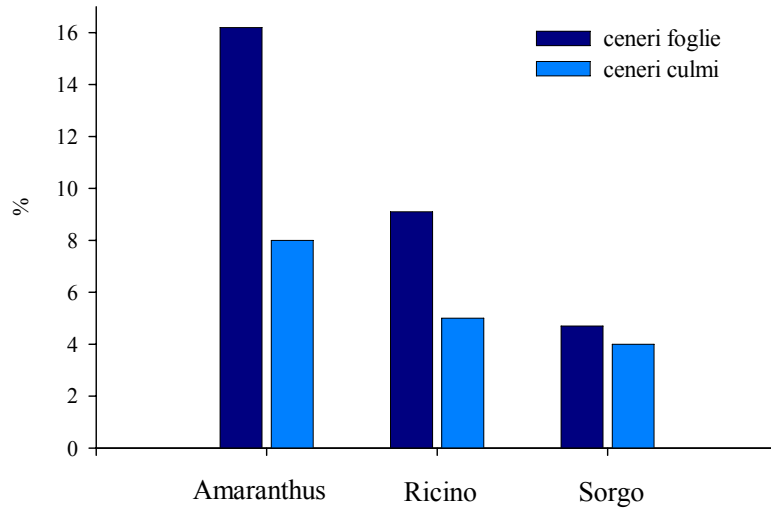


Figura 4 - Contenuto in ceneri determinato nelle tre specie allo studio.

Una prova condotta dalla Sezione Agronomica del DISPA dell'Università di Catania, condotta in collaborazione con il Commissariat Regional au Developpement Agricole de Gafsa) a Metlaoui (Lat N 34° 18', Long E 8° 28' a 189 m s.l.m.), nel 2009, ha dimostrato l'adattabilità del ricino negli ambienti marginali della Tunisia sud-occidentale, nei quali la specie ha avuto un ciclo biologico della durata di 198 giorni nella media dei trattamenti effettuati (Fig. 5) e una produzione di 1,6 t ha^{-1} di granella e di 0,74 t ha^{-1} di olio, corrispondenti ad una percentuale oleica di 46,1%, molto buona soprattutto in considerazione delle condizioni quasi "estreme" di crescita a cui è stata "costretta" la coltura (Tab. 3).

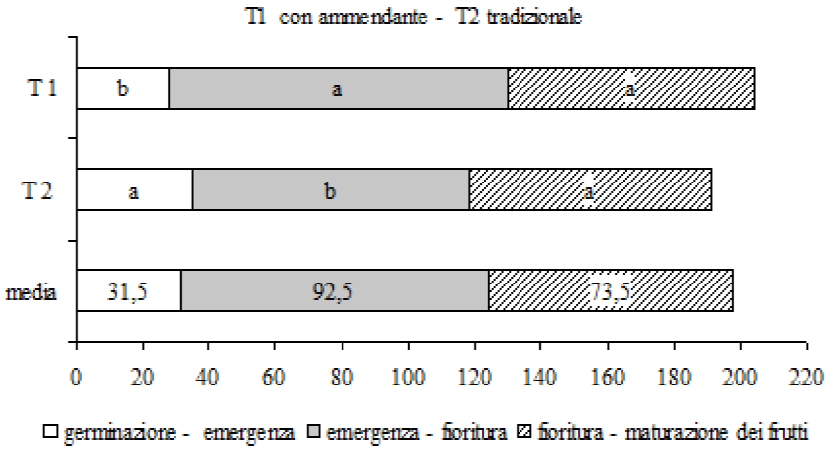


Figura 5 - Durata del ciclo biologico e di alcuni suoi intervalli nelle tesi poste allo studio.

Tabella 3 - Resa e suoi componenti delle tesi poste allo studio.

Trattamento	Produzione t ha^{-1}	Peso dei 1000 semi (g)	% Olio	Produzione di olio t ha^{-1}
T_1 con ammendante	1.7a	272a	47.4	0.81
T_2 tradizionale	1.5b	237b	44.8	0.67
Media	1.6	254.5	46.1	0.74

L'ampia diffusione della specie allo stato spontaneo in molte aree meridionali, è indice di notevole adattabilità del ricino in ambiente mediterraneo.

In una prova condotta da Sortino *et al*., nel triennio 2007-2008-2009 su *Ricinus communis*, allevato in coltura poliennale nella Sicilia sud-orientale, si sono studiati gli effetti della potatura sulle produzioni di seme ed olio delle piante poste allo studio.

La tecnica di capitozzatura, effettuata nei 3 anni di prova, ha determinato una significativa riduzione del numero di racemi, un maggior allungamento degli stessi ed un aumento del numero di capsule, rispetto alle piante non capitozzate (A_1) (Tab. 4). I semi delle piante capitozzate (A_2), hanno però fatto rilevare un minor quantitativo in olio (37% vs 40%) (Fig. 6).

Dai risultati della prova è emerso anche che, nella media del triennio, la pratica della potatura ha influenzato negativamente la resa in seme (4,43 t ha^{-1} vs 5,78 t ha^{-1}) e la resa in olio (1,6 t ha^{-1} vs 2,3 t ha^{-1}) (Fig. 7)

Tabella 4 - Caratteri biometrici e produttivi nei trattamenti allo studio, rilevati al II e III anno di coltivazione

anno	A1	A2	media
	n° di racemi per pianta		
2008	158	56	**107.0 a**
2009	265.7	58.2	**161.9 a**
	211.9 a	**57.1 b**	
	lunghezza media racemi (cm)		
2008	10.8	18.1	**14.4 a**
2009	11.6	19.4	**15.5 a**
	11.2 b	**18.8 a**	
	n° di capsule per racemo		
2008	8.1	17.5	**12.8 a**
2009	8.7	19.9	**14.4 a**
	8.4 b	**18.7 a**	
	peso 1000 semi (g)		
2008	295.7	302.2	**298.9 b**
2009	306.4	322.6	**314.5 a**
	301.1 b	**312.4 a**	

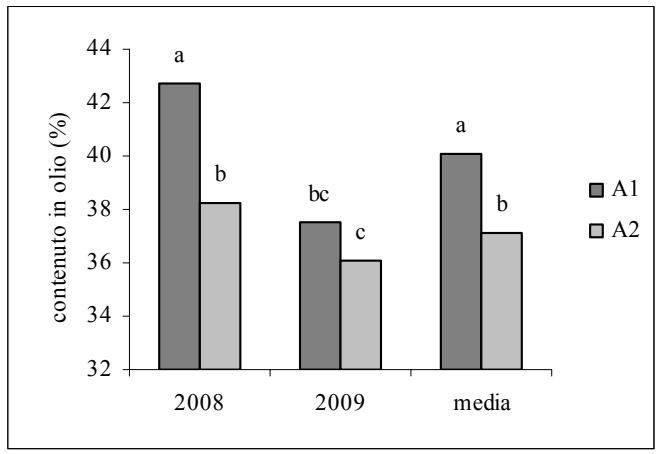


Figura 6 - Contenuto in olio (%) dei semi nel triennio di prova, con (A_2) o senza (A_1) capitozzatura.

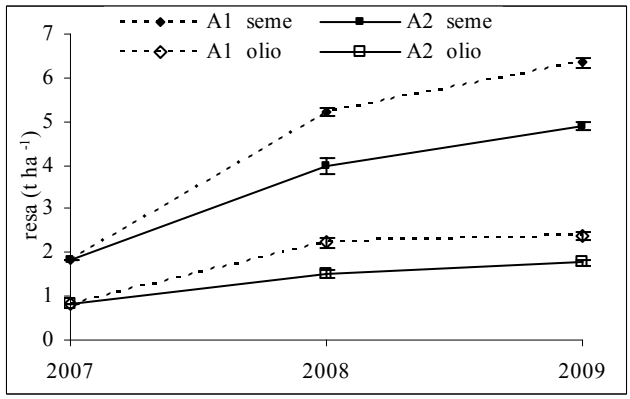


Figura 7 - Andamento nel triennio della resa in seme ed in olio, in piante capitozzate (A_2) e non (A_1). Le barre verticali rappresentano l'errore standard.

Bibliografia

Espig, 2001. La coltivazione delle piante tropicali e subtropicali. Edagricole.

Sortino O., Bellomia L., Sanzone E., Terranova G., 2007. Potenziali colture da biomassa per usi bioenergetici: Amaranthus (*Amaranthus caudatus* L.) e Ricino (*Ricinus communis* L.). Atti XXXVII Convegno SIA, 13-14 settembre 2007, Catania, 165-166.

Sortino O., Cosentino S.L., Dipasquale M., Di Lella E., 2010. Risposta alla Riduzione degli Input Colturali in *Ricinus communis* in Coltura Poliennale per la Produzione di Olio in Sicilia. Atti XXXIX Convegno SIA, 20-22 settembre 2010, Roma, 177-178.

Sortino O., Dipasquale M., Daparo L., Criscione M.A., 2010. Effetti della Potatura sulle Produzioni di *Ricinus communis* allevato in coltura poliennale nella Sicilia Sud- Orientale. Atti XXXIX Convegno SIA, 20-22 settembre 2010, Roma, 179-180.

Vannozzi G.P., Baldanzi, 1988. Tecnica colturale del ricino. Agricoltura Ricerca, 90, 53-62.

Weiss E.A., 1971. Castor, Sesame and Safflower. Leonard Hill, London, 11-307.

Weiss E.A., 1983. Oilseed crops. Tropical Agriculture Series, Longman, London and New York, 31-99.

4 - Canna d'Egitto [*Saccharum spontaneum* L. ssp. *aegyptiacum* (Willd.) Hackel.] e specie minori

*African fodder cane [*Saccharum spontaneum *L. ssp.* aegyptiacum *(Willd.) Hackel.] and minor species*

Salvatore Luciano Cosentino*, Venera Copani*, Danilo Scordia*, Giorgio Testa*

Riassunto

Saccharum spontaneum L. ssp. *aegyptiacum* (Willd.) Hackel. è una specie spontanea del bacino del mediterraneo, ampiamente diffusa lungo le coste siciliane. Risulta poco studiata e i primi risultati di prove sperimentali condotte in Sicilia permettono di indicarla quale possibile coltura dedicata alla produzione di biomassa per energia per gli ambienti caldo-aridi. Dalle prove condotte sono emersi elevati livelli produttivi superiori a quelli di Miscanto (*Miscanthus* ssp.) e di altre specie erbaecee poliennali del bacino del mediterraneo (*Sorghum halepense*, *Cymbopogon hirtus* e *Oryzopsis miliacea*). È emerso che nei suoli profondi è possibile ottenere produzioni elevate anche in assenza di irrigazioni, ma che la restituzione del 50% dell'evapotraspirazione migliora sensibilmente le performance produttive della specie. Studi sulla bioconversione energetica di *Saccharum spontaneum* L. ssp. *aegyptiacum* (Willd.) Hackel. hanno evidenziato l'elevato contenuto in polisaccaridi strutturali e la loro buona attitudine alla fermentazione per la produzione di bioetanolo di seconda generazione.

Parole chiave: *Saccharum spontaneum* L. ssp. *aegyptiacum* (Willd.) Hackel., specie spontanea del mediterraneo, biomassa per energia.

*Dipartimento di Scienze delle Produzioni Agrarie e Alimentari (DISPA), Università degli Studi di Catania.

Abstract

Saccharum spontaneum *L. ssp.* aegyptiacum *(Willd.) Hackel. is a wild species in the Mediterranean basin where it is widely spread along the Sicilian coasts. It has not received attention so far, however, preliminary results of experimental trials carried out in Sicily allowed to draw the attention on this species as possible dedicaded crop for biomass production for semi-arid environments. Trials carried out in Sicily have shown the high level of production, in comparison with biomass crops, such as* Miscanthus *ssp. and other Mediterranean wild grasses (*Sorghum halepense, Cymbopogon hirtus *and* Oryzopsis miliacea*). High yields were also achieved, in depth soils, without irrigation practice, while a further increase have been obtained by using 50% of evapotranspiration restoration. Further increases in the level of irrigation did not give significant increase of yields.*

Concerning its possible utilization as bioenergy crop, studies on Saccharum spontaneum *L. ssp.* aegyptiacum *bioconversion have shown the high level of structural polysaccharides and their good attitudes to be fermented for the production of second generation bioethanol.*

Keywords: Saccharum spontaneum *L. ssp.* aegyptiacum *(Willd.) Hackel., Mediterranean endemic species, energy crop.*

Introduzione

Il clima mediterraneo è caratterizzato da estati calde e secche; la maggior parte dei modelli di riscaldamento globale prevedono una riduzione nella disponibilità idrica ed un incremento della temperatura dell'aria, in particolare durante il periodo estivo, con un conseguente incremento dell'evapotraspirazione (Rosenzweig e Tubiello, 1997; Metzger *et al*., 2005). Pertanto, l'individuazione di colture da biomassa per energia con elevata tolleranza alle alte temperature e ad elevata capacità di utilizzazione delle risorse idriche potrebbe rispondere a tali richieste.

Rispetto alle specie agrarie convenzionali, le erbacee poliennali (*Arundo donax*, *Miscanthus* spp., *Cynara cardunculus*), in genere, richiedono minori input energetici (fertilizzanti, irrigazioni, pesticidi, etc.), possono essere coltivate su terreni marginali e contribuire al miglioramento della struttura e stabilità del suolo (controllo dell'erosione), alla sua fertilità (aumento della sostanza organica e ritenzione dei nutrienti) e al mantenimento della biodiversità (creazione di habitat per la fauna selvatica). Ulteriori vantaggi possono derivare dal fatto che queste specie fungono da serbatoi di carbonio e da sistema di filtraggio per la rimozione di prodotti agrochimici.

Rispetto alle colture annuali, le specie poliennali da biomassa per energia non competono con le più comuni colture agrarie per l'uso della terra dal momento che possono essere coltivate anche su terreni marginali e/o degradati.

In generale, l'ideotipo di una coltura dedicata da biomassa dovrebbe racchiudere alcune caratteristiche, quali: produzione di biomassa quanto più vicino alla produzione potenziale per ogni ambiente, elevata efficienza d'uso dell'acqua, dell'azoto e della radiazione solare in relazione all'ambiente, resistenza agli stress biotici ed abiotici, con specifiche caratteristiche per il differente uso finale (biogas, biodiesel, etanolo di prima o seconda generazione, bioidrogeno, etc.), positivo bilancio energetico e del carbonio (ratio e net gain).

Attualmente, le colture energetiche trovano spazio soprattutto nelle aree a clima temperato; la loro introduzione nelle zone mediterranee pone gravi limitazioni al pieno sfruttamento del loro potenziale produttivo a causa della ridotta disponibilità idrica nel corso della stagione estiva che coincide con il periodo di massimo sviluppo di molte di queste specie (es. Miscanthus).

Molte specie perenni presenti allo stato spontaneo negli ambienti caldo-aridi mediterranei potrebbero essere introdotte in coltura a fini energetici. Tra queste si annoverano: *Ampelodesmos mauritanicus* (Poir.) T. & Durand Schinz, *Oryzopsis miliacea* (L.) Asch. & Schweinf, *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., *Hyparrhenia hirta* (L.) Stapf (sin. *Cymbopogon hirtus*), *Lygeum spartum* L. e *Saccharum spontaneum* L. ssp. *aegyptiacum* (Willd.) Hackel. che appare una delle più promettenti.

Descrizione della pianta

Saccharum spontaneum (L.) ssp. a*egyptiacum* (Willd.) Hack. o canna d'Egitto, è una pianta cespugliosa, perenne, rizomatosa con culmi eretti (2-4 m), robusti, pieni ed internodi solidi, molto simile nell'aspetto esteriore al Miscanto (Foto 1). Possiede

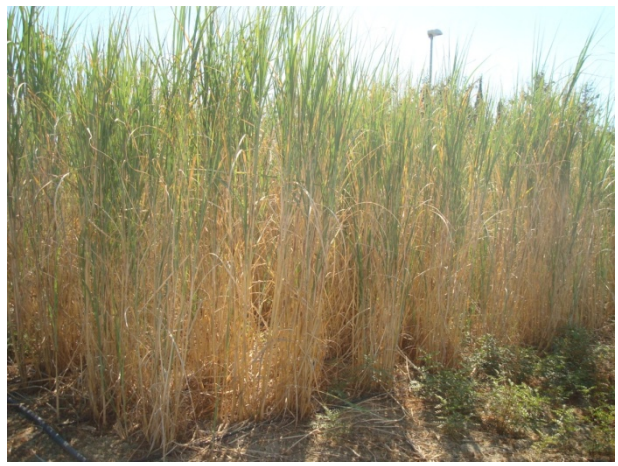


Foto 1 - *Saccharum spontaneum* L. ssp. *aegyptiacum* (Willd.) Hackel. (Foto DISPA).

foglie pelose sulla guaina, con lamina glabra di colore verdastro tendente al bianco-argentato, tagliente ai margini (50-200 cm), scabra, larga 1-3 cm, ma generalmente convoluta. Ligula bi-auricolata e pelosa. Pannocchia ampia, a contorno lanceolato (20-50 cm), lanosa con spighette 4-6 mm avvolte da peli di 10-12 mm; racemi 3-15 cm con rachide fragile ai nodi, glume acuminate, cigliate alla base; spighette 4-6 cm, appaiate (una sessile e l'altra peduncolata), avvolte da peli di 10-12 mm; glume acuminate, cigliate alla base (Pignatti, 1982).

Tassonomia

Ordine: *Poales*
Famiglia: *Poaceae*
Sottofamiglia: *Panicoideae*
Tribù: *Andropogoneae*
Genere: *Saccharum* L.
Specie: *Saccharum spontaneum* L.
Subspecie: *Saccharum spontaneum* (L.) ssp. a*egyptiacum* (Willd.) Hack.

Esigenze rispetto al clima

Saccharum spontaneum ssp. *aegyptiacum* è classificata come una pianta xerofita, mesofita o idrofita, poiché può sopravvivere sia in condizioni di umidità elevata che di siccità altrettanto elevata. La capacità di sopravvivere anche a periodi prolungati di siccità può essere attribuita all'apparato radicale che riesce ad approfondirsi notevolmente esplorando strati di suolo con maggiori riserve idriche.

Essendo originaria di ambienti caldo-aridi temperati è una specie che predilige inverni miti ed estati calde, tipiche delle regioni del sud del Mediterraneo.

Le gelate possono danneggiare irreversibilmente il canneto, specialmente all'inizio della ripresa vegetativa; anche il rizoma è sensibile ai forti abbassamenti di temperatura. La grandine può anch'essa danneggiare il canneto ed in particolare le foglie e la guaina che riveste i culmi.

Esigenze pedologiche

Saccharum spontaneum ssp. *aegyptiacum* predilige terreni ben drenati con abbondante umidità del suolo, ma si adatta a tutti i tipi di terreno dalle argille pesanti alle sabbie sciolte, tollera terreni di bassa qualità, come quelli salini prossimi alle coste dove infatti è possibile rinvenire estese colonie di questa pianta.

Propagazione

La propagazione di *Saccharum spontaneum* ssp. *aegyptiacum* può avvenire mediante la divisione dei rizomi (Foto 2 e 3). A questo scopo l'apparato rizomatoso deve essere dissotterrato e ridotto in frazioni che abbiano almeno una gemma principale o più secondarie. I tratti di rizoma impiegati per la propagazione hanno un peso compreso tra 100 e 300 g.

Foto 2 - Rizoma di *Saccharum spontaneum* ssp. a*egyptiacum* (Foto DISPA).

Foto 3 - Particolare del rizoma di *Saccharum spontaneum* ssp. *aegyptiacum* (Foto DISPA).

Non sono riportati in letteratura dati relativi all'impiego di talee di culmo quale metodo di propagazione agamica, contrariamente a quanto avviene per la canna comune (Copani *et al.*, 2010).

Tecnica colturale

La lavorazione principale può essere effettuata mediante aratura ad una profondità di circa 30 cm seguita da erpicature per l'amminutamento delle zolle. In casi di terreni pesanti può essere opportuno effettuare una ripuntatura per permettere alle radici di esplorare meglio gli strati più profondi del suolo. Nei terreni poveri la concimazione di fondo con fosforo (circa 100 kg ha^{-1} di P_2O_5) è necessaria per accrescere la dotazione che la pianta utilizzerà nell'anno di impianto e negli anni successivi. Nei terreni ricchi di potassio la somministrazione di questo elemento può essere omessa. L'azoto può essere apportato con le lavorazioni consecutive in quantitativi compresi tra le 60 e le 80 unità ad ettaro. Negli anni successivi, subito dopo la raccolta della biomassa si può procedere alla distribuzione di 60 kg ha^{-1} dello stesso elemento sottoforma di nitrato ammonico.

Il trapianto dei rizomi può essere effettuato con successo all'inizio della primavera. La densità ottimale, anche in relazione al contenimento dei costi di impianto, è quella di 1-2 rizomi al m^{-2}. La raccolta avviene alla fine dell'inverno, quando il contenuto di umidità della biomassa arriva ai livelli minimi.

La fase di impianto è la fase più delicata dell'intero ciclo produttivo. Infatti, i due fattori che devono essere attenzionati maggiormente sono la qualità del rizoma utilizzato per la propagazione e la densità di impianto che si vuole ottenere. Tali fattori influenzeranno la produttività del canneto e quindi la redditività della coltivazione.

Il *Saccharum spontaneum* ssp. *aegypticaum* grazie alla sua elevata densità di culmi al m^{-2} non permette un eccessivo sviluppo di erbe infestanti non risentendo quindi di fenomeni competitivi. Tuttavia, nell'anno di impianto potrebbe rendersi necessario un trattamento erbicida post-emergenza.

Prove di irrigazione su *Saccharum* effettuate in Sicilia (Catania) a tre diversi livelli di restituzione dell'evapotraspirazione della coltura (ETc) (100%, 50% e 0%) corrispondenti a 600, 300 e 0 mm di acqua (tesi I_{100}, I_{50} I_0), hanno messo in evidenza che le due tesi che prevedevano i livelli più elevati di soddisfacimento irriguo (I_{100} e I_{50}) hanno fatto registrare le produzioni significativamente più elevate. In termini di efficienza d'uso dell'acqua (WUE), i valori più elevati sono stati riscontrati nella tesi che non prevedeva l'uso dell'acqua di irrigazione (6,85 g l^{-1}) seguita dalla tesi I_{50} (5,07 g l^{-1}) e dalla tesi I_{100} (3,56 g l^{-1}), così come mostrato in tabella 1 (Cosentino *et al*., 2011).

Produzione

Nel corso del triennio 2002-2005 sono state condotte a Catania delle prove sperimentali ponendo allo studio specie poliennali da biomassa per energia (Cosentino *et al*., 2006): 6 genotipi appartenenti al genere *Miscanthus* ed uno al genere *Saccharum*, quest'ultimo prelevato nell'area della costa ionica della Sicilia, allo scopo di confrontarne la capacità produttiva in condizioni ordinarie di coltivazione in ambiente caldo-arido. *Saccharum* si è distinto per l'elevata produzione di biomassa (5,3 kg m^{-2} di s.s. al terzo anno) rispetto a quella dei genotipi di *Miscanthus*, variabile tra 3,4 kg m^{-2} di s.s. (*M x giganteus*) e 0,37 kg m^{-2} di s.s. (*M. sinensis* cv Roland). Da prove condotte sempre in Sicilia negli anni successivi da Cosentino *et al*. (2011) che prevedevano tre livelli di restituzione dell'evapotraspirazione è emerso che le due tesi che prevedevano i livelli più elevati di soddisfacimento idrico (I_{50} e I_{100}) hanno fatto registrare le produzioni significativamente più elevate rispetto alla tesi I_0. Produzioni superiori a 20 t ha^{-1} di sostanza secca sono state ottenute con le sole precipitazioni stagionali, mentre 31 t ha^{-1} con 300 mm di irrigazione supplementare (Fig. 1).

L'irrigazione ha influenzato in maniera significativa tutti i caratteri rilevati, fatta eccezione per il numero di nodi per culmo. Per quanto riguarda il peso di un culmo ed il diametro basale i valori significativamente più elevati sono stati registrati nella tesi I_{100} (pieno soddisfacimento idrico) mentre i valori significativamente più bassi nella tesi I_0 (condizioni idriche naturali). Le due tesi irrigue sono state tra loro indifferenziate in riferimento all'altezza totale del culmo (249,0 e 249,7 cm, rispettivamente per I_{100} e I_{50}), mentre valori significativamente più bassi (214,7 cm) sono stati

osservati nella tesi I_0 (Tab.1). La ripartizione della biomassa in culmi e foglie non è stata significativamente influenzata dai diversi livelli irrigui, 72,1% e 27,9% rispettivamente per culmi e foglie (Tab.1).

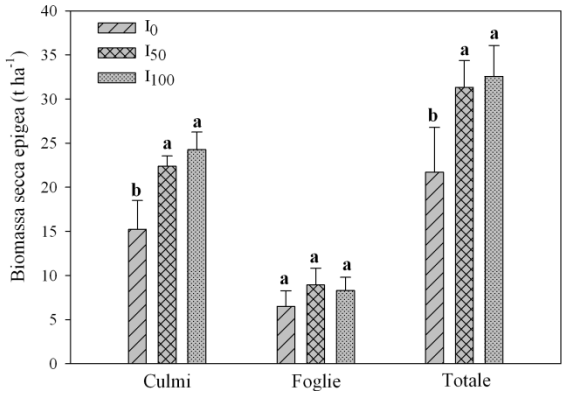


Figura 1 - Biomassa secca epigea (t ha^{-1}) e sua ripartizione in culmi e foglie in relazione ai trattamenti allo studio (I_0, I_{50}, I_{100}).

Tabella 1 - Dati biometrici rilevati alla raccolta ed efficienza d'uso dell'acqua (WUE) di *S. spontaneum* spp. *aegyptiacum*.

Tesi	Peso di 1 culmo (g)	Nodi $culmo^{-1}$ (#)	Diametro basale (mm)	Altezza totale (cm)	Ripartizione (%)		WUE ($g\ l^{-1}$)
					Culmi	Foglie	
I_0	172,4 ± 43,5b	14,0 ± 3,4a	0,92 ± 0,19b	214,7 ± 43,1b	71,41a	28,59a	6,85
I_{50}	213,8 ± 60,7ab	15,0 ± 2,9a	1,04 ± 0,23ab	249,7 ± 45,5a	71,44a	28,56a	5,07
I_{100}	230,5 ± 34,8a	14,3 ± 4,1a	1,15 ± 0,15a	249,0 ± 37,5a	73,50a	26,50a	3,56

Valore medio e deviazione standard (±) di dieci determinazioni.

Composizione chimica e conversione biochimica

Come coltura da biomassa, *Saccharum spontaneum* spp. *aegyptiacum*, può essere utilizzata in processi termochimici come la combustione diretta per la generazione di energia elettrica e/o calore, o in processi biochimici come la produzione di bioetanolo di seconda generazione. Nel primo caso i fattori che rivestono un ruolo di primaria importanza, oltre all'elevata produzione in biomassa e al contenuto di umidità, sono il potere calorifico, il contenuto in ceneri e la sua composizione. Per il primo parametro non esiste alcun dato in letteratura, mentre per il contenuto in ceneri è emerso che quest'ultimo è in linea con quello delle principali colture da biomassa. Il contenuto in ceneri delle foglie è pari a circa il 5,4%, mentre quello dei culmi al 5,8% della biomassa secca totale. Il contenuto in potassio è pari allo 0,9% nelle fo-

glie e all'1,9% nei culmi; la silice è pari a 91,0 mg kg^{-1} e a 19 mg kg^{-1}, rispettivamente nelle foglie e nei culmi (dati DISPA non pubblicati).

Da prove condotte dal Dipartimento di Scienze delle Produzioni Agrarie e Alimentari – DISPA (Università di Catania) in collaborazione con l'USDA Forest Products Laboratory di Madison, WI, USA è stata studiata la possibile utilizzazione di *Saccharum spontaneum* spp. *aegyptiacum* come substrato per la produzione di bioetanolo di seconda generazione. Da questo studio è emerso che i polisaccaridi strutturali compongono il 61,5% del peso totale della biomassa, con la cellulosa, composta esclusivamante da glucani per il 36,8%. I principali polimeri che compongono l'emicellulosa sono xilani e arabinani, i quali ammontano al 21,5% e al 2,2 %, rispettivamente (Scordia *et al*., 2010). Queste caratteristiche confermano la composizione chimica delle monocotiledoni, dal momento che gli arabino-xilani compongono la maggior parte dell'emicellulosa degli stocchi di mais, riso, frumento, avena e sorgo (Ebringerova and Heinze, 2000; Polizeli *et al*., 2005). Galattani, mannani e ramnani compongono la restante parte dell'emicelluosa, 0,72, 0,16 e 0,14%, rispettivamente. La lignina compone la biomassa secca totale per circa il 20% (Scordia *et al*., 2010), contenuto simile a quello riportato per altre colture erbacee (15-20%), ma relativamente basso se comparato al legno di angiosperme o gimnosperme (20-35%) (Chang, 2007).

La prova condotta, che prevedeva il pre-trattamento mediante *steam explosion* per frazionare la biomassa di *Saccharum spontaneum* spp. *aegyptiacum* nelle sue macrocomponenti (emicellulosa, cellulosa e lignina), ha permesso di ottenere bioetanolo da due diverse frazioni della biomassa: frazione emicellulosica (parte liquida, composta da monomeri C5 e C6) e frazione solida composta principalmente da cellulosa (polimeri di zuccheri C6) e lignina acido insolubile. La produzione di bioetanolo ottenuta dalla fermentazione della frazione emicellulosica, mediante l'utilizzo di un ceppo di lievito che naturalmente fermenta zuccheri a 5 atomi di carbonio (*Pichia stipitis* CBS 6054), ha permesso di ottenere una concentrazione di etanolo di 10,5 g l^{-1} corrispondente al 69% della resa massima teorica di conversione (Fig. 2) (Scordia *et al.*, 2010).

La produzione di bioetanolo ottenuta dalla fermentazione della frazione solida attraverso un processo di simultanea saccarificazione e fermentazione, utilizzando enzimi cellulase e *Saccharomyces cerevisiae* FPL450, ha fornito una produzione di 19 g l^{-1} di etanolo, ed un'efficienza di fermentazione del 90% (Fig. 3) (Scordia *et al.*, 2010).

Ricerche sperimentali

Nell'ambito del progetto FAESI sono in corso ricerche allo scopo di valutare la potenzialità produttiva di *Saccharum spontaneum* spp. *aegyptiacum* in confronto con altre specie spontanee del bacino del Mediterraneo (*Sorghum halepense*, *Cymbopo-*

gon hirtus, *Oryzopsis miliacea*) (vedi schede di presentazione). Le specie sono state trapiantate presso l'azienda didattico sperimentale della Facoltà di Agraria dell'Università di Catania. Il trapianto di piccoli cespi e rizomi è stato effettuato il 2 dicembre 2009, alla distanza di 100 cm sia sulla fila che tra le file in parcelle di 80 m^2.

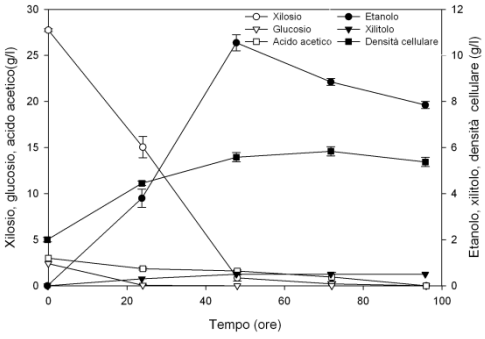


Figura 2 - Frazione emicellulosica di *Saccharum spontaneum* L. ssp. *aegyptiacum* (Willd.) Hack., ottenuta dopo pretrattamento e sua fermentazione utilizzando il lievito *Pichia stipitis* CBS 6054 a 150 rpm, 30°C e pH 6,0 (Scordia *et al.*, 2010).

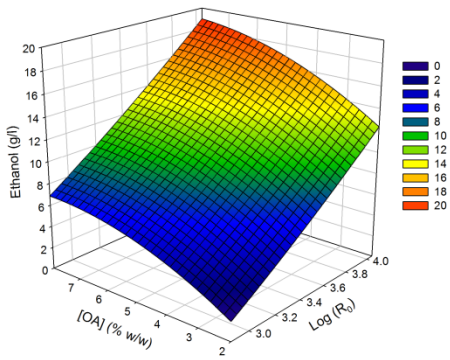


Figura 3 - Produzione di bioetanolo dopo simultanea saccarificazione e fermentazione. Log (R_0) = *Severity Factor*, combina temperatura e tempo in un unico parametro. OA = concentrazione di acido ossalico durante il pretrattamento (Scordia *et al.*, 2010).

Nel corso del primo anno di prova è emersa la maggiore produttività di *Saccharum spontaneum* spp. *aegyptiacum* (9,6 t ha^{-1}) rispetto alle altre colture studiate (2,7 t ha^{-1} nella media) (Tab. 2).

Tabella 2 - Dati biometrici e resa delle specie studiate nell'ambito del progetto FAESI (dati del primo anno di prova).

	N° culmi m^{-2}	Diametro basale (mm)	Altezza culmo (cm)	Culmi (%)	Foglie (%)	Umidita culmi (%)	Umidità foglie (%)	Biomassa fresca (t ha^{-1})	Biomassa secca (t ha^{-1})
S. spontaneum ssp. *aegyptiacum*	21	10,20	274	70	30	68,03	42,68	27,63	9,59
Sorghum halepense	23	6,40	156	80	20	32,57	9,44	7,75	2,69
Cymbopogon hirtus	133	2,55	120	57	43	48,12	32,37	7,13	2,47
Oryzopsis miliacea	54	3,40	130	72	28	67,83	55,35	8,51	2,95

Bibliografia

Chang, M.C.Y., 2007. Harnessing energy from plant biomass. Curr. Opin. Chem. Biol. 11, 677-684.

Copani V., Cosentino S.L., Testa G., Scordia D., Cosentino A.D., 2010. Current propagation options to establish *Arundo donax* L. in Mediterranean environment. In: 18th European Biomass Conference and Exibition. Lyon, France, 03 May - 07 May. ISBN: 978-88-89407-56-5

Cosentino, S.L., Copani, V., D'Agosta, G.M., Mantineo, M., Litrico, A., 2006. Valutazione di germoplasma di specie del genere Miscanthus e Saccharum per la produzione di biomassa. Italus. Hortus. 13, 433-436.

Cosentino S.L., Copani V., Scordia D., Testa G., 2011. *Saccharum spontaneum* L. spp. *aegyptiacum* (Willd.) Hackel possibile coltura per la produzione di biomassa per l'ambiente caldo-arido mediterraneo. Atti del XL convegno della Società Italiana di Agronomia. Teramo 7-9 settembre 2011, pp. 160-161.

Ebringerova, A., Heinze, T., 2000. Xylan and xylan derivatives – biopolymers with valuable properties, 1 – naturally occurring xylans structures, procedures and properties. Macromol. Rapid Commun. 21, 542-556.

Metzger M.J., Bunce R.G.H., Jongman R.H.G., Mücher C.A., Watkins J.W., 2005. A climatic stratifi cation of the environment of Europe. Global Ecol Biogeogr 14:549-563

Pignatti S., 1982. Flora d'Italia. Edagricole, Bologna. Vol. I.

Polizeli, M., Rizzatti, A.C.S., Monti, R., Terenzi, H.F., Jorge, J.A., Amorim, D.S., 2005. Xylanases from fungi: properties and industrial applications. Appl. Microbiol. Biotechnol. 67, 577-591.

Rosenzweig C., and Tubiello F.N., 1997. Impacts of global climate change on Mediterranean agriculture: Current methodologies and future directions: An introductory essay. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 1, 219-232.

Scordia D., Cosentino S.L., Jeffries T.W., 2010. Second generation bioethanol production from *Saccharum spontaneum* L. ssp. *aegyptiacum* (Willd.) Hack. Bioresource Technology 101(14), 5358-5365.

Schede di presentazione

Cymbopogon hirtus (L.) Janchen (Barboncino mediterraneo)

Famiglia: *Poaceae*
Genere: *Cymbopogon* Spreng.
Specie: *Cymbopogon hirtus* (L.) Janchen

Diffusa in Liguria, Italia centrale, Sicilia, Sardegna, Corsica ed Isole minori, predilige macchie e garighe, rupi soleggiate, terreni incolti ed aridi.

Habitus cespuglioso (30-60 cm diametro), culmi eretti, gracili (Foto 4). Foglia con lamina stretta di 2-4 mm; ligula breve (1 mm), portante un ciuffo di lunghi peli patenti. Infiorescenza formata da spighe appaiate lunghe 3-4 cm, ciascuna coppia portata da un peduncolo comune inserito all'ascella di foglie cauline spatiformi, rigonfie, larghe 5-6 mm, più o meno violacce arrossate; glume 6 mm, lemma lineare con resta lunga 2 cm circa (Pignatti, 1982).

Foto 4 - *Cymbopogon hirtus* (L.) Janchen (Foto DISPA)

Oryzopsis miliacea (L.) Asch. et Schweinf. (Miglio)

Famiglia: Poaceae
Genere: *Oryzopsis* Michx.
Specie: *Oryzopsis miliacea* (L.) Asch. et Schweinf.

Diffusa in Liguria, Toscana, attorno al Garda, nel triestino, Sardegna, Corsica, Sicilia ed in molte Isole minori. Predilige pendii umidi e zone ombreggiate, alvei e siepi.

Pianta cespugliosa con numerosi culmi eretti o ascendenti, talora scadenti, assai ramosi, quasi completamente avvolti dalle guaine (Foto 5). I culmi sono legnosetti alla base, abbastanza induriti, nodosi con numerosi rami laterali. Nelle zone più calde essi sono spesso svernanti, e per tutti questi caratteri rappresentano un'interessante convergenza con la strut-

Foto 5 - *Oryzopsis miliacea* (L.) Asch. et Schweinf. Foto DISPA

tura bambusoide, caratteristica di molte graminacee tropicali e subtropicali, che rappresentano per l'ambiente mediterraneo una forma insolita, classificabile come fanerofitica.

Foglia con lamina larga fino a 7 mm, pubescente alla base, solcata, scabra e più o meno convoluta; ligula ottusa, 1 mm (nelle foglie superiori fino a 3 mm). Pannocchia ampia, ricca, lunga 10-30 cm; rami infiorescenza in verticilli, generalmente unilaterali; spighette uniflore, lungamente peduncolate, glume paglierine 3-3,5 mm, lemma 2,5 mm, con resta capillare di 3-5 mm, inserita ad un quarto dall'apice, spesso precocemente caduca (Pignatti, 1982).

Sorghum halepense (L.) Pers. (Sorgo selvatico, Sorghetto, Sagginella, Melghetta, Melgastro, Canestrello, Cannerecchia)

Famiglia: *Poaceae*
Genere: Sorghum Moench
Specie: *Sorghum halepense* (L.) Pers.

Foto 5 - Sorghum halepense (L.) Pers. (Foto DISPA)

Si trova in tutto il territorio del mediterraneo, predilige terreni sarchiati, incolti sabbiosi umidi. Specie con rizomi sotterranei orizzontali, culmi eretti (50-300 cm), fogliosi fino all'infiorescenza (Foto 5). Foglie con lamina larga 1-2 cm e 20-90 cm lunga, sul bordo ruvida, tagliente per aculei rivolti verso l'alto; ligula 2 mm con un pennello di peli bianchi. Pannocchia ampia, aperta con rami patenti; spighette 4-6 mm, appaiate, l'una sessile con un fiore ermafrodita, l'altra peduncolata con un fiore maschile o abortivo; glume pubescenti in basso, lucide, mentre quelle delle spighette peduncolate bruno-rossastre; lemma mutico o con resta di 5-15 cm (Pignatti, 1982).

C
Utilizzo e destinazione

1 - Utilizzo e destinazione delle colture energetiche erbacee poliennali

Perennial herbaceous crops utilization for energy production

Giuseppe Altieri*, Genovese Francesco*, Antonella Tauriello*

Riassunto

Una valida soluzione per l'approvvigionamento di biomassa ad uso energetico è la coltivazione dedicata di specie erbacee, sia annuali che poliennali. Si tratta di colture, alternative a quelle alimentari, con un elevato potenziale produttivo di biomassa.

La composizione chimica della biomassa erbacea (maggior contenuto in ceneri, azoto, silicio e altri microelementi) ha da sempre ostacolato la realizzazione di una filiera biomassa-energia completa ed efficiente, ma nonostante ciò recentemente sul mercato sono state presentate delle soluzioni tecnologiche di piccola e media potenza, sviluppate in maniera specifica per la combustione delle biomasse erbacee.

Si riportano alcuni aspetti relativi all'utilizzazione delle colture erbacee poliennali sia per la combustione, mediante caldaie riferibili a differenti tecnologie e criteri costruttivi, che per la produzione di bioetanolo impiegato come combustibile o come prodotto intermedio per la generazione di additivi per la benzina.

Con riferimento alle specie erbacee prese in considerazione si rileva che, ai fini della combustione, la canna comune (*Arundo donax*) presenta un potere calorifico compreso tra 16,7 e 18,3 MJ kg^{-1} e un contenuto in ceneri piuttosto elevato (tra il 4,8 e il 7,4%), anche se la temperatura di fusione di queste è piuttosto alta, mentre la biomassa di cardo può essere utilizzata sia per la produzione di energia per termoconversione (con un potere calorifico inferiore di 16-17 MJ kg^{-1} compresi i semi) sia per usi cartari data la buona

* Università degli Studi della Basilicata, Facoltà di Agraria, Dipartimento Tecnico Economico per la Gestione del Territorio Agricolo-Forestale, Potenza.

qualità della fibra; il contenuto in ceneri della biomassa è comunque piuttosto alto, 13-15% della sostanza secca, con un contenuto in silice che, invece, risulta piuttosto basso (12-18%). Attualmente sono presenti in commercio caldaie di piccola taglia per uso domestico o per la fornitura di un numero limitato di utenze, o impianti di media grossa potenza, da affiancare a sistemi di cogenerazione (contemporanea produzione di energia elettrica) e trigenerazione (viene prodotta energia frigorifera), e che consentono anche la creazione di reti di teleriscaldamento.

Inoltre, soprattutto negli Stati Uniti ed in Brasile (tra i primi paesi nel mondo a produrre bioetanolo per scopi energetici) sono allo studio impianti innovativi per la produzione di bioetanolo di cosiddetta seconda generazione a partire da specie erbacee poliennali come *Arundo donax* e cardo. Infatti, negli Stati Uniti, la produzione di bioetanolo per scopi energetici ha rappresentato un'ottima occasione per risollevare l'economia di alcune aree depresse e per la produzione di prodotti secondari, ma è evidente che la produzione di etanolo richiede la realizzazione di impianti di grosse dimensioni e la tecnologia non è dunque proponibile come tecnologia di conversione energetica adatta a piccole realtà locali.

Parole chiave: biomassa, cogenerazione, bioetanolo, combustione.

Abstract

Nowadays fragile geopolitics make many nations dependent on petroleum while increased emissions of CO_2 increase the climate change. In the first two decades of the twenty-first century, global demand for oil is projected to increase by 50-70%, so renewable and less polluting fuels are need.

Herbaceous crops can be converted mainly into two types of product: heat/ electrical energy, and transport fuel. Combustion is the most common way of converting solid biomass to energy, and the technology is well understood but the desire to burn uncommon fuels (as herbaceous crops for example) improving efficiency, reducing costs and decreasing emissions needs the developing of optimized plants. Combustion releases the chemical energy stored in the biomass source, converting the hot gases (by a boiler) is possible to produce steam and electricity via a turbo generator. The choice of the best technology for herbaceous biomass conversion is related to many aspects as: moisture content, calorific value, ash/residues content, alkali metal content and cellulose/lignin ratio. In fact, knowledge of the relationship between herbaceous biomass properties and combustion efficiency is very limited, so a better understanding is necessary to optimize the combustion quality, due to the presence of corrosive minerals which cause considerable problems.

The combustion installation needs to be properly designed for a specific fuel type to guarantee an adequate combustion and low emissions, In fact, an incomplete combustion results in poor mixing of air and biomass giving local problems in the chamber and too high combustion temperatures, so through experiments new boiler geometries and combustion concepts have been developed referring to air staging and preheating, temperature control systems, novel materials.

Nowadays different combustion technologies are available both for small scale and large scale applications, but the more diffused systems are the fixed bed combustion system and the fluidized bed combustion. For power production through biomass, steam turbines, ORC (Organic Rankine Cycle) systems and steam piston engines are available as proven technology.

Transportation fuels include also ethanol and biodiesel derived from biological materials; ethanol can be blended with gasoline or used to power internal-combustion engines. Ethanol is generally made from starchy seeds or roots of plants such as maize, wheat, potato, cassava, etc., or from the sugar materials (sugarcane, sugar beet, sweet sorghum). While ethanol is obtained easily from fermentation of sugars and starches, it can also be produced from the biomass and residues of any plant species, but the technology for transforming cellulosic biomass is much more complex. Cellulosic ethanol (a second generation fuel) seems to be more promising than the first generation one, and herbaceous energy crops have seen an increase in interest due to need to reduce the dependence on fossil fuels. Nowadays no method for making bioethanol from cellulosic-rich biomass has been proven commercially, but US Department of Energy, for example, has funded six pilot plants which would be operational by 2012. Then, over 20 commercial cellulosic ethanol plants have been reported to be under development within the USA.

Among the energy crops for bioethanol production there is the fibre cane (Arundo donax) *which produces high lignocellulosic stems that constitute the largest part of biomass, has an high yield up to 57 Mg ha^{-1}, so it has a great potential as a cellulosic energy crop.*

Technology to convert herbaceous biomasses into ethanol is not in a commercial stage, but in a pilot plants developing. Agriculture has a great capacity to produce energy, but challenges have to be met, in terms of resolving issues of economy of scale, infrastructure, and appropriate incentives.

In fact, for example, rather than competing with food crops, energy crops for biomass production would be established on marginal or surplus lands. Definitively, herbaceous energy crops hold the potential to become an important component of the global energy mix, but technologies for conversion need to be developed.

Keywords: *biomass firing, cogeneration, biofuels, bioethanol.*

Introduzione

La composizione chimica della biomassa erbacea avendo un maggior contenuto in ceneri, azoto, silicio e altri microelementi rispetto alla normale biomassa ottenuta da colture legnose (pioppo, salice, eucalipto, robinia), comporta una limitata predisposizione alla combustione in quanto vengono ad essere compromesse tutte le proprietà che caratterizzano la biomassa ai fini di un corretto utilizzo energetico, in particolare per quanto concerne il potere calorifico. La presenza consistente di metalli alca-

lini determina un abbassamento della temperatura di fusione delle ceneri, e ciò è causa di un peggioramento del funzionamento delle caldaie, a causa di una maggior incidenza dello sporcamento ed un peggioramento dell'efficienza degli scambiatori di calore. Resta inoltre attuale anche una problematica che riguarda le emissioni di particolato, problema che interessa gran parte delle tipologie di biomassa da combustione. È anche opportuno ricordare che tali caratteristiche negative (tenore in ceneri e silice, temperatura di fusione) risultano più o meno importanti anche in funzione delle tecnologie di utilizzazione delle stesse biomasse in sede di combustione.

Nonostante tutti gli aspetti accennati ostacolino la realizzazione di una filiera biomassa-energia completa ed efficiente, recentemente sul mercato sono state presentate delle soluzioni tecnologiche di piccola e media potenza, certificate per la combustione delle biomasse erbacee, alla luce della richiesta sempre più elevata di diversificazione delle fonti di approvvigionamento dei biocombustibili, dell'interesse sempre più marcato per le colture erbacee poliennali e della volontà di sviluppare modelli di filiere agro-energetiche sostenibili su piccola scala (Di Renzo *et al.*, 1985).

Le tecnologie per la conversione energetica delle biomasse possono essere suddivise in tre gruppi.

a) Impiego di caldaie eventualmente accoppiate a macchine a ciclo *Rankine* o *Stirling* per la conversione dell'energia termica in energia meccanica ed elettrica. Le attuali applicazioni fanno riferimento, nella pratica e per la quasi totalità dei casi, a questo gruppo ed alle macchine a ciclo *Rankine*.
b) Sistemi di gassificazione della biomassa ed utilizzo di motori endotermici alternativi o turbine a gas, anche se tali applicazioni non si sono ancora affermate a livello commerciale.
c) Impiego di un combustibile, ottenuto dalla biomassa, in motori di diverso tipo (diesel, turbogas ecc.). Esempi sono il biogas prodotto dalla fermentazione anaerobica di liquami zootecnici, gli oli vegetali e i loro derivati (ottenuti da oleaginose), il bioetanolo ed i suoi derivati.

Per quanto riguarda le caldaie, sono attualmente disponibili diverse tecnologie che si differenziano in base ai criteri costruttivi ed alle capacità degli impianti.

a) Caldaie di piccola taglia (fino a 100 kW) alimentate a cippato o pellet prodotto a partire da diverse biomasse ligno-cellulosiche. Queste caldaie sono normalmente utilizzate per la generazione di energia termica al servizio di singole utenze e potrebbero anche essere accoppiate a piccole macchine *Rankine* a fluido organico (ORC) per la generazione di energia elettrica.
b) Caldaie di media taglia (fino a 1-2 MW), alimentate a cippato di legna, residui vari o pellet al servizio di utenze collettive di tipo civile o di utenze industriali; anche queste caldaie sono accoppiabili a sistemi ORC.
c) Caldaie di media taglia (fino a 20 MW), alimentate a cippato di legna, residui vari o pellet al servizio di piccole - medie reti di distribuzione. Date le caratteri-

stiche dell'utenza anche in questo caso è consigliabile l'accoppiamento a macchine ORC, mentre i sistemi a vapore pongono qualche problema a livello gestionale.

d) Caldaie di elevata taglia (fino a 70 MW termici) che possono utilizzare un'ampia varietà di materiali combustibili al servizio di un impianto industriale o di una rete di teleriscaldamento. Per la produzione di energia elettrica, la scelta è quella delle turbine a vapore.

Piccole caldaie ad uso civile

A questa categoria appartengono le caldaie di piccole dimensioni, progettate specificatamente per la generazione di energia termica (5 - 100 kW), disponibili già da tempo sul mercato.

Attualmente, secondo stime recenti, si produrrebbero più di 300.000 piccoli dispositivi di combustione all'anno destinati al riscaldamento domestico, con un mercato del pellet superiore a 300.000 t all'anno.

Le piccole caldaie, nonostante offrano elevata flessibilità operativa e siano in grado di servire il gran numero di piccoli/medi edifici sparsi in ambito rurale, rappresentano il sistema più trascurato negli studi di pianificazione energetica. Da un punto di vista tecnico, le piccole caldaie potrebbero risultare idonee per generare anche elettricità (tuttavia con rendimenti alquanto bassi pari a 0,15-0,17) o per realizzare dei sistemi di cogenerazione, applicando la tecnologia ORC o la tecnologia *Stirling*. La prima richiede che la caldaia produca olio diatermico a temperature dell'ordine dei 300°C; la seconda un vettore termico, preferibilmente a temperature ancora più elevate. Entrambe richiedono una sorgente fredda che, per queste applicazioni, non può essere che l'aria ambiente. Tali soluzioni, molto interessanti da un punto di vista energetico e teorico, sono scarsamente diffuse sul territorio (ciclo ORC). Il combustibile da utilizzare per questo tipo di impianti è essenzialmente costituito dagli scarti legnosi di natura agroforestale o dal pellet prodotto a partire da coltivazioni dedicate o da residui agricoli.

Caldaie di media-grande potenza

Nel caso in cui sia possibile disporre di elevati quantitativi di biomasse residuali o provenienti da colture appositamente impiantate, ed allo scopo di progettare grandi impianti di conversione energetica associando la produzione di energia elettrica (con rendimenti alquanto bassi pari a 0,15-0,17) (cogenerazione) e/o la produzione di energia elettrica e frigorie all'energia termica (quindi in trigenerazione) le caldaie di media e grande potenza rappresentano la soluzione ottimale.

Indipendentemente dalle biomasse impiegate, il rispetto delle limitazioni di legge è legato ad una serie di fattori che comprendono una combustione ottimale ed un idoneo trattamento dei fumi. Quanto migliore è la combustione, tanto più semplice è il trattamento dei fumi a valle della caldaia ma ciò presuppone che il sistema di combustione sia tecnicamente progettato per lo specifico tipo di combustibile: per i residui legnosi, in particolare, lo schema ritenuto ottimale prevede caldaie a tubi d'acqua e griglie di combustione di tipo mobile.

I modelli di caldaia a griglia si distinguono in quelli di tipo fisso o mobile (in relazione alla tipologia della griglia). La griglia fissa è adatta alla combustione di biomassa legnosa a basso contenuto di umidità (non superiore al 35%) e residuo in cenere relativamente basso, per evitare cicli di pulizia manuale molto frequenti, mentre la griglia mobile è adatta ai combustibili più umidi (fino al 50%), anche di pezzatura grossolana. Il vantaggio dei sistemi a griglia mobile consiste nella possibilità di mantenere il letto di combustione in continuo movimento limitando il fenomeno di agglomerazione delle ceneri con conseguente formazione di grossi residui che peggiorano le condizioni di combustione. Inoltre, sfruttando l'inclinazione della griglia mobile, le ceneri vengono convogliate in una zona di raccolta predefinita e successivamente estratte dalla camera di combustione e portate all'esterno con una coclea.

Inoltre, per garantire una combustione ottimale, la quantità di combustibile in ingresso, la temperatura in camera di combustione e l'eccesso d'aria primaria, secondaria e terziaria sono regolate automaticamente. Con questo tipo di tecnologia si può utilizzare un materiale con umidità fino al 60% (sul tal quale) garantendo un buon processo di combustione e bassi livelli di emissione; in alcuni impianti vengono installati particolari filtri (a maniche), preceduti da raffreddatori che garantiscono una temperatura dei fumi all'ingresso del filtro inferiore a 200-220°C, anche in condizioni di caldaia sporca o con eventuale sovraccarico. Per l'abbattimento delle polveri, vengono sempre più utilizzati anche gli elettrofiltri, soluzione costosa ma affidabile, per limitare i controlli sull'impianto e la sicurezza di funzionamento.

La combustione della biomassa avviene in appositi impianti in cui si realizza anche lo scambio di calore fra i gas di combustione e i fluidi di processo (acqua, olio ecc.); quando il materiale organico di partenza presenta un'alta percentuale di ceneri, la fase di combustione e quella di scambio di calore vengono di norma realizzate separatamente per ottenere un miglior controllo di entrambi i processi, ma di norma la combustione diretta di biomasse ricche di cellulosa e di lignina, purché con contenuti in acqua inferiori al 35%, si realizza con buoni rendimenti (70-80%). (Bonari *et al*., 2004).

Con riferimento alle specie erbacee prese in considerazione in questo lavoro si rileva che, ai fini della combustione, la canna comune (*Arundo donax*) presenta un potere calorifico compreso tra 16,7 e 18,3 MJ kg^{-1} e un contenuto in ceneri piuttosto elevato (tra il 4,8 e il 7,4%), anche se la temperatura di fusione di queste è piuttosto alta, mentre la biomassa di cardo può essere utilizzata sia per la produzione di energia per termoconversione (con un potere calorifico inferiore di 16-17 MJ kg^{-1} com-

presi i semi) sia per usi cartari data la buona qualità della fibra; il contenuto in ceneri della biomassa è comunque piuttosto alto, 13-15% della sostanza secca, con un contenuto in silice che, invece, risulta piuttosto basso (12-18%) (Bonari *et al*., 2004).

Infatti sebbene le biomasse provenienti da specie erbacee poliennali possano rifornire diverse tipologie di impianto termico, spaziando da quelli di potenza medio-bassa (fino a 2 MW) fino a quelli di potenza elevata (fino a 20 MW), l'obiettivo di favorire un impiego di biomasse prodotte in ambito locale farebbe preferire impianti di potenza medio-piccola.

La motivazione del ritardo nella presentazione di specifici modelli adatti alla combustione di biomasse più "difficili", quali quelle erbacee, oltre che nell'inerzia del mercato, è da ricercare nella necessità di uno sviluppo tecnologico innovativo degli impianti di piccola e media potenza, legato in particolare alla realizzazione di specifiche camere e griglie di combustione che garantiscono elevate prestazioni in termini di efficienza, automazione e costi di gestione limitati.

Infatti nonostante i tentativi di produrre materia prima di qualità anche a partire da biomasse di natura erbacea, sia annuale che poliennale, si rileva che allo stato attuale la gran parte degli impianti di combustione di piccola potenza presenta evidenti problemi operativi, in quanto progettati per funzionare con biomasse legnose.

Con riferimento alle caratteristiche della materia prima si rileva che la pellettizzazione della biomassa trinciata consente di aumentare notevolmente la densità del materiale (circa 680 e 665 kg m^{-3} rispettivamente per la canna comune e per il miscanto, con notevole riduzione dei costi di movimentazione, trasporto e stoccaggio; per di più si riducono i costi di investimento per la realizzazione delle infrastrutture necessarie alla valorizzazione energetica (caldaia e silo di stoccaggio).

Basti pensare che nel pellet di canna comune i valori di azoto sono molto elevati (circa 8 volte rispetto al pellet di legno e circa 2 volte e mezzo quello di miscanto) ed anche i valori misurati per zolfo e cloro sono particolarmente elevati, soprattutto per la canna comune. Tuttavia, la concentrazione del cloro nella pianta è uno degli elementi che presenta maggiore variabilità in assoluto.

Pertanto, allo scopo di alimentare materiale vegetale con caratteristiche differenti, quale quello di natura erbacea, sono necessarie modifiche sostanziali soprattutto in relazione alle coclee di movimentazione ed ai sistemi automatici di gestione ed estrazione delle ceneri (basati su vibrazione, movimentazione o rotazione). Inoltre, come avviene ormai per gran parte delle tecnologie disponibili sul mercato per lo sfruttamento energetico delle biomasse è previsto l'impiego di sensori per il monitoraggio delle temperature e dei livelli gassosi presenti in caldaia ed allo scarico.

Questi biocombustibili dovrebbero essere utilizzati in caldaie sviluppate per la combustione di biomasse con elevati contenuti di ceneri, al fine di evitare problemi operativi durante la combustione e con le emissioni in atmosfera.

In particolare è raccomandata la presenza di meccanismi automatici, opportunamente regolati, di rimozione e movimentazione delle ceneri e di pulizia degli scambiatori di calore.

In relazione ai depositi formatisi sugli scambiatori di calore e in considerazione della composizione elementare del biocombustibile, in particolare per il pellet di canna comune, sarebbero necessari test di lunga durata per monitorare eventuali effetti corrosivi.

In alcuni studi sono state compiute prove per la combustione di specie erbacee con una caldaia innovativa, allo scopo di definire le prestazioni in termini di combustione, formazione di residui, emissioni gassose (ossigeno, anidride carbonica, monossido di carbonio, ossidi di azoto, biossido di zolfo, composti organici volatili) e di polveri.

Durante la sperimentazione sono state apportate anche alcune modifiche per ottimizzare l'asportazione delle ceneri depositate nella zona di combustione, con particolare riferimento alla riduzione della frequenza e dell'estensione di movimento della griglia della caldaia.

Dai risultati della ricerca è stato possibile evincere che con gli accorgimenti adottati le emissioni medie di monossido di carbonio sono state molto basse indipendentemente dalla specie erbacea combusta, con valori inferiori ai 40 mg MJ^{-1}, e grazie ai movimenti della griglia mobile è stata ridotta la formazione di scorie fuse, salvo nel caso della canna comune. Pertanto si può anche concludere che il controllo della caldaia mediante sonda lambda è più flessibile rispetto ai sistemi di controllo della temperatura, in quanto può permettere di utilizzare differenti tipi di combustibile pur mantenendo un buon livello di emissioni.

In definitiva, i pellets di canna comune, nonostante le non eccellenti caratteristiche qualitative, possono essere considerati adatti all'impiego in caldaie in grado di gestire combustibili con elevato contenuto di ceneri e dotate di dispositivi per il controllo-gestione dell'eventuale formazione di ceneri.

Per ridurre le emissioni di polveri, principalmente composti minerali, particolarmente abbondanti nel caso della canna comune, è possibile agire solo sulla qualità del biocombustibile in ingresso e poco ancora sulla caldaia, alla luce dei bassi livelli di monossido di carbonio (combustione efficiente) (Picco *et al.*, 2009).

Cogenerazione

Parallelamente alla produzione di energia termica è sempre possibile immaginare, per gli impianti medio-grandi, la produzione di energia elettrica da impiegare in processi produttivi o da immettere nella rete del gestore dei servizi elettrici. Secondo la norma UNI 8887-1987 si intende per cogenerazione l'insieme delle operazioni volte alla produzione combinata di energia meccanica/elettrica e calore, partendo da una qualsiasi sorgente di energia. In tali sistemi il calore generato viene trasferito all'utenza finale in forme diverse (vapore, acqua calda, aria calda), e può essere destinato a usi civili di riscaldamento e/o raffreddamento o a usi industriali. Finora il principale ostacolo allo sviluppo dei sistemi cogenerativi è stato rappresentato dagli elevati

costi iniziali di impianto per via della complessità di tali sistemi, se confrontati con i costi di altri sistemi tradizionali (Duvia *et al*., 2004).

Tra i sistemi maggiormente diffusi per la cogenerazione di energia termica ed elettrica vi sono quelli basati su sistemi ORC, turbine a gas o su motori endotermici (Drescher *et al*., 2007; Duvia *et al*., 2004; Schuster *et al*., 2008).

Nel caso di impianti di taglia medio-piccola (fino a 2 MW elettrici) la generazione viene di norma realizzata mediante impianti ad olio diatermico, nei quali l'energia proveniente dalla camera di combustione viene ceduta ad un fluido intermedio (appunto l'olio diatermico) e successivamente alla turbina che genera energia elettrica (ciclo ORC – *Organic Rankine Cycle*).

Complessivamente le varie fasi della tecnologia si possono così schematizzare: la biomassa viene alimentata in caldaia e viene eseguita la combustione e la generazione di energia termica nel rispetto degli standard di sicurezza. L'olio diatermico, impiegato come fluido vettore, trasferisce l'energia termica ad un fluido operante all'interno della turbina, il quale espande e consente il movimento della turbina e la generazione di energia elettrica.

A livello commerciale sono diverse le soluzioni proposte, oggetto anche di numerosi studi bibliografici, che si distinguono per alcuni aspetti progettuali ed operativi: generatore elettrico, scambiatori di calore, strumentazione di regolazione e controllo dell'impianto, sistemi antinquinamento e di insonorizzazione.

Addirittura per taglie piccole (fino a 350 kW) possono essere adottati sistemi a microturbina o anche celle a combustibile, ma entrambe le soluzioni presentano tuttora costi molto elevati (fino a 2500 €/kWe nel caso della microturbina e fino a 5000 €/kWe nel caso delle celle a combustibile). Per di più, nel caso delle microturbine, l'efficienza meccanica risulta relativamente bassa e la cogenerazione è limitata ad applicazioni a bassa temperatura (Drescher *et al*., 2007; Rentizelas *et al.*, 2009).

I principali vantaggi associati agli impianti di cogenerazione consistono in un miglioramento dei rendimenti (diminuzione dei consumi a parità di potenza) ed in un minor impiego di combustibile a parità di energia ricavata, di contro per l'impiego di impianti di cogenerazione è necessario che sia presente contemporaneamente la domanda di energia termica e di energia elettrica in quanto l'elettricità non è accumulabile e il calore lo è solo per brevi periodi.

Generazione di bioetanolo di seconda generazione

Il bioetanolo ottenuto a partire da materie prime di origine vegetale può essere impiegato come combustibile o come prodotto intermedio per la generazione di additivi per la benzina (Etil-terz-butil-etere ETBE o Metil-terz-butil-etere MTBE). Generalmente l'etanolo può essere ottenuto per fermentazione, in condizioni anaerobie, di substrati zuccherini preventivamente idrolizzati e successivamente fermentati (barbabietola, sorgo zuccherino per esempio), substrati amidacei (patata, sorgo

da granella, mais) o da materiali ligneo cellulosici sottoposti ad idrolisi in condizioni acide (Busby *et al*., 2007; Lemus *et al*., 2009; Pimentel *et al*.; 2005, Rooney *et al.*, 2007).

La canna da fibra (*Arundo donax*) è una specie erbacea poliennale nativa del sud Europa ma presente in molti altri paesi. Originariamente conosciuta come specie ornamentale si è affermata come fonte di canne per la produzione di strumenti musicali.

La canna da fibra, classificata come specie invasiva o nociva in molte regioni degli Stati Uniti, non produce semi vitali, pertanto l'impianto avviene per propagazione di materiale vegetale, tipo i rizomi.

Gli steli, che contengono grosse quantità di materiale lignocellulosico, costituiscono la vera e propria biomassa della specie, con rese che per piante mature può variare da 27 a 57 Mg ha^{-1}, anche se sono riportati valori fino a 90 Mg ha^{-1} in caso di colture irrigate.

Il potere calorifico può variare da 17 a circa 19 kJ g^{-1} per gli steli e da 15 a 18 kJ g^{-1} per le foglie. Per tali caratteristiche e con queste rese la canna da fibra ha elevatissime potenzialità energetiche.

Nel mondo, soprattutto negli Stati Uniti ed in Brasile (tra i primi paesi nel mondo a produrre bioetanolo per scopi energetici) sono allo studio impianti innovativi per la produzione di bioetanolo di cosiddetta seconda generazione a partire da specie erbacee poliennali come *Arundo donax* e cardo. Infatti, negli Stati Uniti, la produzione di bioetanolo per scopi energetici ha rappresentato un'ottima occasione per risollevare l'economia di alcune aree depresse (Campbell *et al.,* 2008) e per la produzione di prodotti secondari quale il "*distilled dried grain*" (DDG) da utilizzare come mangime in campo zootecnico. In Brasile, invece, la produzione di bioetanolo, incentivata dalla grande disponibilità di materie prime zuccherine, ha determinato la disponibilità di riutilizzare alcuni scarti (borlande) a scopo agronomico, ed i residui dell'estrazione del sugo zuccherino (bagasse) per la generazione di energia da impiegare per l'alimentazione degli impianti di distillazione (Scaramucci *et al*., 2006).

In Italia esiste un gran numero di distillerie, circa una sessantina, che concorrono alla produzione di bioetanolo a partire dalla fermentazione di materiale vegetale, ma parte di questo alcol è destinato al mercato alimentare mentre la restante parte (alcol anidro) è utilizzato a scopo energetico o per la produzione di ETBE; in ogni caso le quantità prodotte sono poco rilevanti, e dell'ordine di alcune decine di migliaia di tonnellate all'anno. A tutt'oggi, nel tentativo di riconvertire alcuni zuccherifici viene proposta la produzione di bioetanolo a partire da materiale vegetale, in alcuni casi frumento.

Il bioetanolo si distingue in prodotto di prima e seconda generazione. Quello di prima generazione è prodotto a partire da substrati zuccherini e/o amidacei (tipicamente mais e canna da zucchero) mentre quello di seconda generazione è ottenuto a partire da substrati di natura cellulosica.

Nella scelta di un materiale cellulosico per la produzione di un biocombustibile come il bioetanolo vanno affrontate alcune considerazioni relative ai costi di produzione della coltura energetica su scala industriale, ai costi del processo produttivo, alla qualità del prodotto ottenuto, al bilancio energetico globale e ad eventuali ricadute di carattere ambientale (Johnson *et al*., 2007).

Resta il fatto che negli ultimi decenni la domanda globale di petrolio tende ad aumentare del 50-70% (circa 13 bilioni di litri al giorno), pertanto le moderne economie sono continuamente alla ricerca di fonti alternative a quelle fossili, possibilmente rinnovabili e con un minor impatto ambientale (Johnson *et al.*, 2007).

Il bioetanolo è tra i biocombustibili attualmente oggetto di studio per l'impiego in addizione alla benzina, o per alimentare motori a combustione interna, e la cui produzione è stata in crescente aumento nel primo decennio del ventesimo secolo.

Tabella 1 - Produzione annuale di etanolo tra il 2004 ed il 2006 (modificata da Lemus *et al*., 2009).

	Anno		
Stato	**2004**	**2005**	**2006**
		10^6 litri	
Brasile	15978.4	15978.1	16976.0
Cina	3643.9	3795.1	3844.3
Francia	827.8	907.2	1969.4
Germania	268.4	430.9	202.8
India	1746.4	1697.2	1897.6
Spagna	298.6	351.5	461.2
Stati Uniti	13362.3	16117.9	18351.9

Mentre la produzione di etanolo è abbastanza semplice per fermentazione di substrati zuccherini, la tecnologia si complica se il substrato di partenza è di natura lignocellulosica ed infatti gli impianti per la conversione in bioetanolo di materiali ad elevato contenuto di cellulosa scarseggiano (Busby, 2007). Nei soli Stati Uniti, dove la ricerca nel settore è molto sviluppata, sono allo studio impianti pilota per la trasformazione di substrati ricchi in cellulosa in bioetanolo, impianti che diventeranno operativi dal 2012; inoltre dalle fonti disponibili pare che circa 20 impianti industriali sono in fase di sviluppo e verranno commercializzati in breve tempo, allorquando sarà ottimizzata la tecnologia. Infatti, la produzione di etanolo di derivazione cellulosica è una tecnologia che appare molto promettente in termini di energia netta prodotta e di emissione di CO_2 legata al processo. Appare evidente che una qualsiasi produzione sostenibile di bioenergia sia strettamente correlata al tipo di biomassa impiegata, in quanto ciascuna tipologia presenta vantaggi e svantaggi in termini di energia impiegata per realizzare il processo di conversione, di risorse naturali impiegate (acqua, terra), e di mercato (potenziale competizione con colture ad uso alimentare) (McLaughlin *et al.,* 1999).

Tabella 2 - Volumi di etanolo prodotti da varie fonti, emissione di CO_2 e rapporto tra input ed output (modificata da Lemus *et al*., 2009).

Tipologia di biocarburante e fonte	Produzione annuale (10^9 litri)	Emissioni CO_2 (kg l^{-1})	Rapporto energetico netto (input/output)
Biodiesel da canola	1.89	0.91	1:2.5
Etanolo da fonte ligno-cellulosica	0.20	0.23	1:2-36*
Etanolo da cereali	17.39	1.94	1:1.3
Etanolo da canna da zucchero	16.97	1.08	1:8-10

*l'efficienza dipende dalla tecnologia adottata e dal tipo di substrato impiegato.

In sostanza dai dati disponibili è evidente che la produzione di etanolo richiede la realizzazione di impianti di grosse dimensioni e la disponibilità di grandi quantità di materia prima di origine agricola, pertanto non è proponibile come tecnologia di conversione energetica adatta a piccole realtà locali, come può avvenire per altre tecnologie (combustione, produzione di biogas).

Per quanto riguarda le valutazioni complessive sull'impiego delle colture erbacee poliennali a scopo di produzione di energia termica appare evidente che, nonostante le rese di produzione siano inferiori, il Miscanto, con i suoi più bassi costi di produzione rispetto ad esempio a canna e cardo, garantisce ricavi lordi unitari superiori (cfr. tabella 3).

Tabella 3 - Valutazioni economiche per tre colture energetiche erbacee poliennali (mod. da Progetto Bioenergy Farm).

	Canna	Miscanto	Cardo
Resa (t s.s./ha anno)	30,9	22,6	10,1
Costi totali (€/ha anno)	1.073	645	490
Costo produzione biomassa (€/t s.s.)	34,6	29,9	48,3
Ricavo unitario (€/t s.s.)	57,1	57	34,1
Ricavo lordo unitario (€/t s.s.)	22,5	29,3	-14,2

Estendendo le considerazioni ai costi di investimento ed operativi per la realizzazione di un impianto per la conversione in energia termica di biomasse erbacce, appare evidente che sempre il miscanto è la coltura energetica ottimale rispetto alle altre alternative che consistono in altre colture energetiche sia erbacee poliennali (Canna e Cardo) sia rispetto alle colture legnose da SFR che ovviamente rispetto ai combustibili fossili. A tale risultato concorre la bassa UR% alla raccolta (<20%) del Miscanto e la sua elevata resa colturale per ettaro; infatti, ad esempio, la UR% della Canna alla raccolta è mediamente del 55% e necessita di una fase di stoccaggio per far diminuire l'UR% della biomassa. Inoltre il Cardo, allo stato attuale, risulta non conveniente come coltivazione energetica.

Tabella 4 - Costo dell'energia termica erogata (**€**/MWh) nel caso di utilizzo come combustibile di canna comune, miscanto, metano e gasolio (mod. da Progetto Biocolt).

Impianti e costi operativi	U.M.	Canna comune	Miscanto	Metano	Gasolio
Saggio di interesse	(%)	4	4	4	4
Durata investimento	anni	15	15	15	15
Potenza nominale caldaia	kW	200	200	200	200
Ore annuo funzionamento	h	1500	1500	1500	1500
Energia termica utile - output impianto	MWh/anno	300	300	300	300
Rendimento medio annuo	%	85	85	90	88
Fabbisogno energia in ingresso - Input impianto	MWh/anno	353	353	333	341
Costi di investimento (IVA inclusa)	**€**	**115.000**	**115.000**	**26.000**	**36.000**
Costi di capitale (a)	€/anno	14.180	14.180	3.210	4.440
Costo/prezzo unitario del combustibile (IVA inclusa)	€/U.M.	72,52	72,82	0,74	1,12
Spesa annua combustibile (b)	€/anno	6.918	6.425	25.694	38.567
Manutenzione ordinaria e straordinaria (c)	€/anno	1.859	1.718	500	500
COSTI ANNUI (a+b+c)	**€/anno**	**22.956**	**22.323**	**29.404**	**43.507**
COSTI UNITA' ENERGIA EROGATA	**€/MWh**	**76,52**	**74,41**	**98,01**	**145,02**

Conclusioni

Negli ultimi decenni la domanda di petrolio tende ad aumentare del 50-70% pertanto attualmente a livello globale ci si interroga sulla ricerca di fonti alternative a quelle fossili, rinnovabili ed a minimo impatto ambientale. Per quanto riguarda le specie erbacee poliennali (in particolare *Arundo donax* e cardo) è da sempre noto che la pessima qualità delle materie prime (composizione particolarmente sfavorevole) non le rende ottimali per la combustione negli impianti sviluppati per le colture legnose, perciò l'alternativa è lo sviluppo di impianti specificatamente realizzati per queste biomasse. Per quanto riguarda le considerazioni di carattere tecnico fin qui sviluppate, da un attento studio e da un'approfondita ricerca bibliografica, si evince che mentre per la produzione di energia per combustione gli impianti dedicati alle erbacee poliennali hanno raggiunto un livello di sviluppo elevato in termini di controllo della temperatura, delle ceneri e del rilascio di particolato nell'atmosfera, e che a questo risultato ha contribuito in maniera rilevante la ricerca compiuta dalle aziende produttrici di impianti in collaborazione con le università e gli enti di ricerca, lo stesso non si può affermare per la conversione in bioetanolo.

Infatti, sebbene la produzione di bioetanolo si sia affermata in alcuni paesi storicamente dediti a tale produzione (Brasile e Stati Uniti) ed in quelli emergenti (Cina ed India) ed in alcuni casi ha rappresentato un'ottima occasione per risollevare l'economia di alcune aree depresse è evidente che la produzione di etanolo richiede

la realizzazione di impianti di grosse dimensioni e la tecnologia non è attualmente matura e nemmeno proponibile come tecnica di conversione energetica adatta a piccole realtà locali. Tuttavia lo studio dell'ottimizzazione e sviluppo di tali impianti sta ancora evolvendo e nei prossimi anni potrebbero essere presentati nuovi impianti commerciali in grado di convertire le biomasse, anche erbacee, in bioetanolo, con buoni risultati in termini economici e produttivi, anche per paesi come l'Italia dove ultimamente, nel tentativo di riconvertire alcuni zuccherifici viene proposta la produzione di bioetanolo a partire da materiale vegetale, in alcuni casi frumento.

Bibliografia

Amirante P., Di Renzo G.C. (1985). Sottoprodotti vegetali: una fonte di energia da recuperare, Riv. Terra e Vita, 40.

Bonari E., Picchi G., Guidi W., Piccioni E., Fraga A., Villani R. (2004). Le colture da energia. -Le colture dedicate ad uso energetico: il progetto Bioenergy Farm - Quaderno ARSIA.

Busby D.P. (2007). The cost of producing lignocellulosic ethanol [MS thesis]. Mississippi State University, Mississipi, MS, p. 125.

Campbell J.E., Lobell D.B., Genova R.C., Field C.B. (2008). The global potential of bioenergy on abandoned agriculture lands. Environmental Science and Technology; 42:5791–4. doi:10.1021/es800052w.

Drescher U., Bruggemann D., (2007). Fluid selection for the Organic Rankine Cycle (ORC) in biomass power and heat plants. Applied thermal engineering, 27, 223-228.

Duvia A., Gaia M. (2004). Cogenerazione a biomassa mediante turbogeneratori ORC Turboden: tecnologia, efficienza, esperienze pratiche ed economia. Relazione del Convegno "Energia prodotta da scarti del legno: opportunità di cogenerazione nel distretto del mobile".

Johnson J.M.F., Coleman M.D., Gesh R., Jaradat A., Mitchell R., Reicosky D. (2007). Biomass-bioenergy crops in the United States: A changing paradigm. The Americas Journal of Plant Science and Biotechnology;1(1):1–28.

Lemus R., Parrish D.J. (2009). Herbaceous crops with potential for biofuel production in the USA. CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources, 4.

McLaughlin S.B., Walsh M.E. (1999). Evaluating environmental consequences of producing herbaceous crops for bioenergy. Biomass and Bioenergy; 14(4): 317–24.

Rentizelas A., Karellas S., Kakaras E., Tatsiopoulos I. (2009). Comparative techno-economic analysis of ORC and gasification for bioenergy applications. Energy conversion and management, 50, 3, 674-681.

Picco D., Ferro L. (2009). Canna comune e miscanto vogliono una caldaia speciale. L'Informatore Agrario, Supplemento Energia Rinnovabile 17, 30-33.

Pimentel D, Patzek TW. (2005) Ethanol production using corn, switchgrass, and wood; biodiesel production using soybean and sunflower. Natural Resource Research, 14(1):65–76. Available from URL: http://www.springerlink.com/content/r1552355771656v0/ (accessed 29 July 2009).

Rooney W.L., Blumenthal J., Bean B., Mullet J.E. (2007). Designing sorghum as a dedicated bioenergy feedstock. Biofuels, Bioproducts and Biorefining; 1:147-57.

Scaramucci J.A, Perin C., Pulino P., Bordoni O.F.J., da Cunha M.P., Cortez LAB. (2006). Energy from sugarcane bagasse under electricity rationing in Brazil: a computable general equilibrium model. Energy Policy; 34(9):986–92. doi:10.1016/j.enpol. 2004.08.052.

Schuster A., Karellas S., Kakaras E., Spliethoff H. (2008). Energetic and economic investigation of Organic Rankine Cycle applications. Applied Thermal Engineering, 29, 1809-1817.

IV. Biomasse residuali

A - Biomasse residuali

Residual biomasses

Giovanni Carlo Di Renzo*, Paola D'Antonio*, Carmen D'Antonio*, Francesco Genovese*

Riassunto

La filiera di recupero delle biomasse residuali di natura agricola e forestale rappresenta un settore di fondamentale importanza per avere la disponibilità di biomasse da destinare alla produzione di energia senza impegnare il terreno per colture energetiche, trasformando i residui generalmente considerati dei rifiuti, e quindi materiali di scarto gravati da costi di smaltimento, in una fonte di energia. Pertanto, con l'ottimizzazione del cantiere di raccolta, le biomasse residuali rivestono un ruolo strategico nell'ambito dell'attuale politica energetica poiché rappresentano una valida risorsa per la produzione di energia termica e/o elettrica.

La biomassa residuale rappresenta un cospicuo bacino di approvvigionamento da cui gli stessi produttori possono trarre un importante utile in termini economici, in quanto possono risparmiarsi le operazioni di bruciatura in loco o di interramento previa trinciatura, tecniche peraltro dannose per l'ecosistema in quanto aumentano l'immissione incontrollata di fumi nell'atmosfera e rendono più agevole la diffusione di eventuali inoculi presenti nel legno, contaminando le piante sane con vari patogeni.

Al fine di fornire indicazioni circa l'ottimizzazione della raccolta, per le aree agricole ad elevata intensità produttiva localizzate nel nord est della Basilicata al confine con la provincia di Foggia, nel presente lavoro sono illustrati i risultati, dal punto di vista tecnico-economico, ottenuti con l'esecuzione della raccolta delle biomasse residue mediante quattro differenti cantieri che prevedono rispettivamente l'imballatura della paglia, l'imballatura o la trinciatura dei sarmenti di vite o dei residui di potatura dell'olivo.

I risultati ottenuti dimostrano un utile netto di particolare rilievo che nel caso della paglia può variare da un minimo di 2,10 € ad un massimo di 4,30 €, nel caso delle bal-

* Dipartimento Tecnico Economico per la gestione del territorio agricolo e forestale, Potenza.

lette di olivo si tratta di 1,53 € per la vendita di ogni balletta e nel caso delle ballette di vite di 1,50 €, sebbene il mercato delle ballette di vite ancora non sia avviato completamente. La richiesta di tale prodotto sarà sicuramente incrementata dalla realizzazione di una centrale termica a 20 km circa dall'area della Basilicata, a vocazione viticola, in cui sono state effettuate le prove sperimentali.

Il margine di guadagno derivante dalla vendita di biomasse residuali, però, presuppone la scelta ponderata di macchine idonee alle condizioni orografiche del territorio e rispondenti alle esigenze delle realtà in cui vengono adoperate nonché l'ottimizzazione dei cantieri che tali macchine nel loro insieme compongono. Infine, è stato anche ipotizzato e illustrato il progetto di una piattaforma di sfruttamento a fini energetici dei residui provenienti dall'attività agricola e agro-forestale.

Parole chiave: biomasse residuali, sarmenti, imballatura, trinciatura, piattaforma.

Abstract

Most countries in the world are taking measures aimed at reducing their energy dependence on fossil fuels (coal, petroleum and natural gas). The purpose of this is twofold: on the one hand, the limitation of greenhouse gas emissions responsible for global warming; on the other, a reduction in the exposure to economic risks associated with the rising prices of these increasingly scarce natural resources. A cost-effective approach to meet these objectives requires implementing energy efficiency practices and also giving priority to low-carbon technologies, including renewable energies sources. As an example of the extent to which these measures are going to affect our future, the European Union (EU) recently agreed on an ambitious "Plan on Climate Change" that includes a binding obligation to reach 20% of its energy mix from renewable sources by 2020.

Biomass, obtained from dedicated energy crops or as a by-product of agricultural, forest management and industrial activities, has an important role to play in this transformation. Biomass energy technologies are usually grouped into two categories: biological (such as fermentation and anaerobic digestion); and thermo chemical (including combustion, gasification and pyrolysis). In the latter group, biomass combustion for power generation has reached a high degree of maturity, as evidenced from the large number of plants currently in operation worldwide.

The recovery of residual biomass supply chain is an area of vital importance as it allows to recover without taking the land for biomass energy crops, transforming waste material from the waste disposal costs charged to energy product.

The residual biomass, therefore, represents a large reservoir which to draw first and foremost for the benefit of farmers, worried periodically using or burning on site or to landfill, by relying on techniques that have obvious limitations, the first as the cause of 'increased air pollution and the second because it permits the development of potential inoculum present in the wood, contaminating healthy plants with various diseases.

In addition, none of these two techniques gives to the residual biomass the strategic role they should have under the current energy policy, taking advantage of technologies

already available, can transform a product, difficult to dispose of, in a good energy resource whose management can be a source of income for farmers as long as you reach the optimization of a site for supply and collection of residual biomass.

This study wanted to analyze and compare, both from a technical point of view both from an economic point of view, four different sites for the baling of straw, for baling and chopping of vine shoots and tested two machines for the management pruning of olive trees.

The results showed an interesting profit margin for farmers who decide to manage the waste in this way. Income can be increased thanks to the choice of machines suitable to the conditions of topography of the area and meet the needs of the area in which they are in use. Finally, it was also hypothesized and illustrated the design of a platform for energy exploitation of agricultural and residues from agro-forestry.

Keywords: *residues, balers, energetic use, platform.*

Introduzione

Le criticità legate alla decrescente disponibilità delle fonti energetiche di origine fossile, nonché alla loro distribuzione geografica in aree politicamente instabili, unitamente alle ingenti problematiche ambientali a scala globale, hanno indotto una crescente attenzione verso la ricerca di fonti energetiche alternative intravedendo all'interno di queste il ruolo cruciale che può essere svolto dalle biomasse.

Il termine biomasse residue del settore agricolo e forestale, inteso come insieme delle sostanze organiche di origine vegetale o animale, racchiude un'ampia gamma di prodotti di origine dedicata o derivanti da scarti e residui di varie produzioni, che spaziano da quelle agricole-forestali e agroindustriali (McKendry, 2002; Klass, 1998). In Figura 1 è riportata una schematizzazione dei vari tipi di biomasse e della loro provenienza.

Le biomasse sono un'importante fonte di energia alternativa ai combustibili fossili, come indica anche l'obiettivo della Commissione Europea (2000) e possono portare la percentuale di energia prodotta da fonti rinnovabili dal 3% (pari a circa 45 milioni di tep) al 20% nel 2020 (circa 315 milioni di tep). Questa fonte di energia è una risorsa locale largamente disponibile, che permette la produzione diffusa di energia a costi contenuti e con semplici impianti. La valorizzazione dell'utilizzo delle biomasse può inoltre innescare processi di miglioramento ambientale e socio-economico come la diversificazione delle colture, il ripristino di suoli abbandonati, la manutenzione dei boschi, la creazione di posti di lavoro (McKendry, 2002). Infine, le biomasse contribuiscono a contrastare il riscaldamento climatico globale poiché il bilancio di produzione di gas serra, tipicamente di CO_2, si può considerare quasi neutro (Roman e Turnbull, 1997). A causa della grande varietà delle biomasse (cui corrisponde la varietà delle caratteristiche chimico-fisiche), non esiste un'unica tecnologia per trasformare l'energia contenuta in energia utilizzabile.

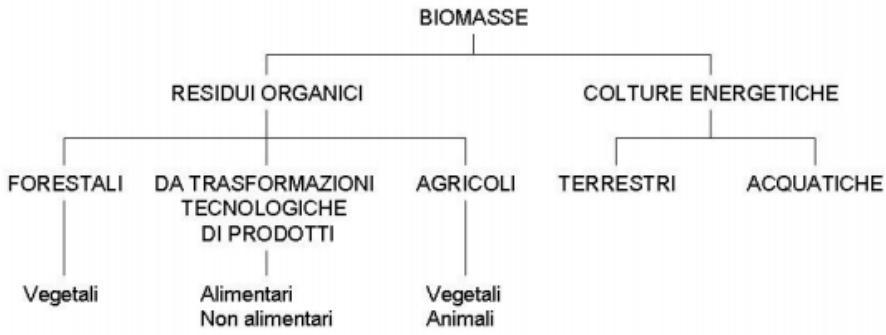


Figura 1 - Schema delle varie tipologie di biomasse e loro provenienza.

Per ottenere trasformazioni energetiche con elevate efficienze e per un utilizzo sostenibile delle biomasse, è necessario però considerare impianti con tecnologie moderne e pianificare razionalmente l'approvvigionamento, ovvero la raccolta e il trasporto, della biomassa necessaria al loro funzionamento (Rosch e Kaltschmitt, 1999; Combs, 2002).

In questo studio, quindi, l'utilizzo energetico delle biomasse è affrontato tenendo conto anche di questi aspetti.

Materiali e Metodi

Le prove sperimentali di raccolta delle biomasse residuali hanno interessato principalmente 3 colture: paglia, vite e olivo, seppur attraverso un protocollo sperimentale differente. La scelta, in questa prima fase, di queste tre biomasse residuali è nata dall'esigenza di dare precise risposte al crescente interesse nei confronti del settore delle biomasse da parte degli agricoltori, ogni anno in difficoltà al momento di smaltire i sottoprodotti provenienti dall'attività agricola.

Per la paglia sono stati confrontati da un punto di vista tecnico economico quattro diversi cantieri (Tab. 1) di imballatura presenti in quattro differenti aziende.

Il primo cantiere è stato ospitato da un'azienda del comune di Santeramo in Colle (BA) in cui alcuni ettari in piano erano destinati alla coltivazione del grano duro e con una produzione di paglia che si aggirava intorno a 2,5 t ha^{-1}. Il secondo cantiere è stato allestito presso un'azienda sita nel comune di Ascoli Satriano (FG) in una zona pianeggiante con meno di 10 ha coltivati a grano duro. A seguito dell'andanatura, in questa azienda la pressatura delle balle viene effettuata su andane della larghezza di 2 m e dell'altezza di 0,8 m. L'azienda in cui è stato testato il terzo cantiere è ubicata nel comune di Cerignola (FG), presenta una superficie pari a 12 ha quasi interamente in piano e coltivata a grano duro, varietà Simeto. La quantità di paglia prodotta è stata pari a 2,5 t ha^{-1} e nell'ambito di questa azienda la ranghinatura, la

pressatura e la raccolta delle balle avvengono nella stessa giornata. In un'azienda del comune di Oppido Lucano (PZ), con circa 30 ha destinati a frumento duro, sono state effettuate le prove sperimentali del quarto cantiere.

Tabella 1 - Descrizione dei cantieri di raccolta della paglia.

Paglia		Cantiere 1	Cantiere 2	Cantiere 3	Cantiere 4
FASI LAVORATIVE	Ranghinatura	Trattore Landini Powerfarm 80 syncro shuttle (60 kW) + Ranghinatore Tonutti 9 stelle	Trattore Fiat 780 57 kW (4 rm) + Ranghinatore Tonutti 13 stelle	Trattore Fiat 850 66 kW (4 rm); (2 rm) + Ranghinatore Tonutti 13 stelle; 9 stelle	Fiat 103 kW + Ranghinatore Tonutti 13 stelle
	Pressatura	Trattore Landini Powerfarm 80 syncro shuttle (60 kW) + Big Baler New Holland 658	Trattore John Deere 120 kW + Big Baler New Holland 960s	Trattore John Deere 8100 140 kW + Big Baler New Holland 980	Trattore Landini 140 kW + Big Baler Krone 1290 HDP
	Raccolta Big Balle	Trattore Landini Powerfarm 80 syncro shuttle (60 kW)	Trattore New Holland T 6050 + forca	Trattore John Deere 8100; Trattore Fiat 850	Trattore Hurlimann (60 kW)
	Trasporto	Autotreno capienza 49 balle	Autotreno capienza 49 balle	Autotreno capienza 49 balle	Rimorchio

Durante le prove sperimentali sono state testate 4 imballatrici:

- Big Baler New Holland 658, che realizza balle di lunghezza di circa 2,10 m larghezza, 1,20 m e altezza di circa 0,90 m, le balle possono raggiungere un peso di 500 kg. In questo caso la macchina ha prodotto balle da 300 kg e con una densità pari a 132 kg m^{-3};
- Big Baler New Holland 960s, che richiede l'accoppiamento con una trattrice di potenza minima pari a 90 kW circa e produce delle big balers con lunghezza variabile da 1,2 a 2,5 m ed una larghezza che varia tra gli 80 ed i 90 cm presenta, inoltre, una larghezza del pick- up di 2,25 m e un peso proprio di circa 8 t. In questo caso la macchina ha prodotto balle da 300 kg e con una densità pari a 132 kg m^{-3};
- Big Baler New Holland 980, che realizza balle di lunghezza di circa 2,10 m larghezza, 1,20 m e altezza di circa 0,90 m, le balle possono arrivare ad un peso di 500 kg. In questo caso la macchina ha prodotto balle da 400 kg e con una densità pari a 176 kg $m^{-3;}$
- Big Baler Krone 1290 HDP, che realizza balle quadre di dimensioni maggiori rispetto ad un'imballatrice classica e può produrre delle big-balle di 700 kg, lavorando con una pressione di esercizio nella camera di compressione pari al 100% della propria capacità. Tuttavia la macchina per ridurre i consumi e la manutenzione, nel corso delle prove è stata utilizzata ad una pressione di circa il 74% della pressione massima di esercizio. In tal modo sono state prodotte balle di circa

500 kg, ad una densità pari a 220 kg m^{-3} e con le seguenti dimensioni: lunghezza di 2,10 m, altezza 0,9 m, larghezza 1,20 m. La macchina presenta una pressa della larghezza di circa 3 m dotata di un nastro di carico di circa 2,8 m. Il sistema di controllo prevede un display ove oltre a tutti i parametri funzionali è possibile regolare pressione di lavoro.

Per tutte le fasi lavorative sono state messe a paragone le macchine utilizzate in termini di capacità operativa e di costi del prodotto finito.

Tabella 2 - Descrizione di 4 cantieri per la raccolta dei sarmenti di vite.

	Operazione	Indicazione	Macchine testate
Cantiere 1	Raccolta con rastrello	manodopera	Trattrice Landini 63 kW + Rastrello artigianale.
		trattrice	
		rastrello	
	Imballatura	manodopera	Trattrice New Holland TL 66 kW + Imballatrice parallelepipeda Ripartrak Magnum 1500-1600.
		trattrice	
	Carico	manodopera	
		trattrice	
		rimorchio	
Cantiere 2	Trinciatura e Carico	manodopera	Trattrice Landini 85 63 kW + Trinciacaricatrice Berti/C; Trattrice New Holland TL 66 kW + Carrello.
		trattrice	
		trinciacaricatrice	
		rimorchio	
Cantiere 3	Imballatura	manodopera	Trattrice New Holland DT5586 63 kW + Imballatrice Leggera Caeb mod. Quick Power MP400/S 1230.
		trattrice	
		imballatrice	
	Recupero balle nel filare + Carico Balle	manodopera	Trattrice Same Dorado 90 63 kW + Cesto; Trattrice New Holland TL 66 kW + Carrello.
		trattrice	
		cesto	
		rimorchio	
Cantiere 4	Imballatura	manodopera	Trattrice New Holland DT5586 63 kW + Imballatrice Leggera Caeb mod. Quick Power MP400/S 1230.
		trattrice	
		imballatrice	
	Carico Balle	manodopera	Trattrice New Holland TL 66 kW + Carrello.
		trattrice	
		Rimorchio	

Le prove sperimentali di raccolta dei residui di potatura della vite hanno previsto il confronto di quattro differenti cantieri (Tab. 2) al fine di valutare la tecnologia più idonea fra 4 macchine, attualmente disponibili sul mercato, in termini tecnici ed economici.

Il vigneto in cui sono state svolte le prove sperimentali è situato nella zona nord-est della Basilicata al confine con la Puglia. Si estende su di una superficie pianeggiante di 1,34 ha, suddiviso in 58 filari, ed è coltivato da 30 anni con la varietà Aglianico a spalliera e con sesto d'impianto di 2,20 x 1,00 m, utilizzando il sistema a

cordone speronato (con 4-6 speroni per cordone). Grazie ad alcuni sopralluoghi, preliminari alle prove, è stata calcolata la biomassa fresca prodotta dal vigneto e nella tabella che segue si riportano i valori relativi a 3 filari (Tab. 3) localizzati in 3 differenti zone del vigneto, che si caratterizzano per una diversa rigogliosità delle piante. Dai dati raccolti è emerso che la produttività di sarmenti nel presente vigneto è stata pari a 2,7 t ha^{-1}.

Tabella 3 - Sarmenti prodotti dal vigneto che ha ospitato le prove sperimentali.

SARMENTI PRODOTTI	**Piante** n.	**Peso sarmenti totale** (kg)	**Peso sarmenti per vite** (kg)
Filare n. 1	130	77	0,592
Filare n. 2	116	68	0,586
Filare n. 3	80	53,2	0,665

Figura 2 - Imballatrice parallelepipeda Ripartrak Magnum.

Nel primo cantiere è stata sottoposta a prova l'imballatrice parallelepipeda Ripartrak 1500 (Fig. 2) che ha una larghezza di lavoro del raccoglitore di 145 cm e che si adatta solamente al lavoro fuori dal filare. Durante le prove il materiale, precedentemente posizionato a bordo filare grazie al passaggio con un trattore che montava posteriormente un rastrello, è stato avvicinato al pick-up da un operatore munito di forca manuale. All'interno della macchina i sarmenti sono condotti all'organo di taglio e successivamente spostati lateralmente nella camera di compressione a stantuffo che ne effettua la pressatura cui segue una legatura automatica con spago che, con un doppio passaggio, fissa la rilegatura. Una volta formata e completata la balletta parallelepipeda, questa viene rilasciata sul suolo dal condotto di scarico posteriore.

Figura 3 - Trincia caricatrice Berti/C.

Nel secondo cantiere la trinciatura dei sarmenti di vite è stata eseguita mediante la trinciacaricatrice BERTI Picker/C (Fig. 3). Si tratta di una macchina operatrice di tipo semiportato, dotata di ruote proprie, necessarie a garantire la corretta altezza dal suolo e ad evitare rischi di impennamento della trattrice, dovuti al peso a pieno carico della macchina stessa. La macchina presenta anteriormente un pick-up di raccolta, provvisto di denti rigidi di forma e disposizione tale da evitare il sollevamento di sassi e terra. Il materiale raccolto, viene successivamente introdotto nella camera di trinciatura, dove un rotore a martelli provvede al suo sminuzzamento. Il movimento di tale dispositivo genera un flusso d'aria che spinge il materiale nel contenitore. Quest'ultimo è dotato superiormente di un coperchio provvisto di fori per l'allontanamento di aria e polvere. Lo scarico viene effettuato tramite il sollevamento ed il successivo ribaltamento del contenitore.

Nel terzo e nel quarto cantiere sono state utilizzate 2 rotoimballatrici della ditta Caeb, rispettivamente senza (Fig. 4) e con accumulatore di balle (rastrelliera di nove balle) per poter scaricare tutte le balle in testata ai filari ed evitare di rilasciarle nel filare (Fig. 5), al fine di ridurre i tempi di carico. La macchina presenta anteriormente un pick-up a denti rigidi (forche di raccolta) per il sollevamento del prodotto da terra, i tralci e sarmenti dopo un passaggio attraverso due rulli dentati controrotanti per una parziale sfibratura, viene introdotto nella camera di compressione.

La camera di compressione è a sezione fissa, dotata di dispositivi di imballatura a rulli di acciaio che consentono la compattazione in balle a "cuore tenero", garantendo l'uniforme passaggio dell'aria ed un'asciugatura naturale, che contrasta la formazione di muffe ed eventuali fermentazioni del materiale. La macchina è dotata di circuito idraulico a doppio effetto per l'apertura e la chiusura della camera di compressione, per consentire lo scarico delle balle prodotte mediante apertura del portellone posteriore.

Figura 4 - Imballatrice Leggera Caeb.

Figura 5 - Imballatrice Leggera Caeb con accumulatore.

Tabella 4 - Descrizione dei cantieri per la raccolta dei sarmenti di olivo.

Olivo	Operazione	Indicazione	Macchine testate
Cantiere Caeb con caricatore	Imballatura	manodopera	Trattrice New Holland DT5586 63 kW + Imballatrice Leggera Caeb mod. Quick Power MP400/S 1230.
		trattrice	
		Imballatrice	
	Carico Balle	manodopera	Trattrice New Holland TL 66 kW + Carrello.
		trattrice	
		rimorchio	
Cantiere Berti	Trinciatura	manodopera	Trattrice New Holland DT5586 63 kW + Trinciacaricatrice Berti Picker/C.
		trattrice	
		trinciatrice	
	Carico	manodopera	Trattrice New Holland TL 66 kW + Carrello.
		trattrice	
		rimorchio	

I residui di olivo sono stati raccolti utilizzando due diversi cantieri, il primo costituito dall'imballatrice Leggera della Caeb, il secondo dalla trinciacaricatrice della Berti (Tab. 4). L'uliveto, che ha ospitato il cantiere sperimentale, ha un'età complessiva di 30 anni e un sesto d'impianto di 5x5 m con un numero complessivo di 28 filari. Le varietà coltivate sono Ogliarola e Coratina.

Relativamente, poi, alla compattezza delle balle realizzate e al loro tasso di umidità, si sta valutando un metodo di essiccazione, mediante ventilazione forzata, reso possibile grazie alla realizzazione di un prototipo che è attualmente in fase di sperimentazione.

Risultati

Paglia

Dall'analisi dei dati raccolti in campo, è stato possibile valutare la capacità operativa dei cantieri testati, il costo per la produzione della singola balla e il margine realizzato dagli agricoltori a seguito della vendita delle balle (Tab. 5). Il cantiere 4 è risultato il più costoso a causa dell'elevato costo iniziale delle macchine utilizzate e del loro costo di esercizio che ha determinato un costo di produzione delle balle più elevato di tutti e pari a circa 12,00 € a balla riducendo il margine di guadagno ad 1,00 € soltanto dovuto alla vendita di ogni balla. Lo stesso però, proprio grazie all'ottima performance delle macchine si è caratterizzato per la migliore capacità operativa che è risultata pari a 15 balle h^{-1}. A riguardo, bisogna sottolineare che in tale cantiere sono state realizzate balle del peso di 500 kg, con una densità paria a 220 kg m^{-3} e che il margine derivante dalla vendita di ogni singola balla è pari a quasi 2,80 €.

La capacità operativa più bassa è stata riscontrata nel primo e nel secondo cantiere, con una produzione di balle dello stesso peso nell'arco di un'ora pari a 12 ma con una sensibile differenza di costo unitario della balla che, pur presentando le stesse dimensioni, viene realizzata nel secondo cantiere rispetto al primo con una maggiorazione di 3,80 €. Importanti rimangono i margini ottenibili, in entrambi i casi, dalla vendita delle singole balle pari a 5,90 € per il primo e a 2,10 € per il secondo cantiere. Il terzo cantiere, infine, si caratterizza per i più alti margini di guadagno, provenienti dalla vendita delle balle, in quanto pari a 4,30 €.

Tabella 5 - Confronto tecnico-economico dei cantieri di raccolta della paglia.

Cantiere	Paglia a terra (kg ha^{-1})	Peso singola balla (kg)	N. balle prodotte ha^{-1}	N. balle prodotte h^{-1}	Costo acquisto paglia a terra (€ $balla^{-1}$)	Costo raccolta e imballatura (€ $balle^{-1}$)	Costo unitario (€ $balla^{-1}$)	Prezzo vendita balla (€)
1	2200	300	7	12	1,50	4,60	6,10	12,00
2	2500	300	8	12	1,40	8,50	9,90	12,00
3	2500	400	6	13	1,40	8,30	9,70	14,00
4	2100	500	4	15	2,40	9,80	12,20	15,00

Vite

Tutti e quattro i cantieri sottoposti a confronto hanno consentito di mettere in evidenza una buona affidabilità delle macchine utilizzate, data non solo dal valore delle macchine ma anche dalle condizioni ottimali del vigneto in cui sono state effettuate le prove. In tabella 5 sono riportati la descrizione e i principali parametri tecnico-operativi ed economici rilevati, partendo dalla Ripartrak (Tab. 6) e a seguire per gli altri cantieri (Tab. 7, 8 e 9).

Tabella 6 - Dati tecnico-operativi del primo cantiere per la raccolta dei sarmenti di vite.

Macchina Operatrice	Operazione	Velocità effettiva (km h^{-1})	Capacità operativa (ha h^{-1})	Capacità operativa (t h^{-1})	Produzione (Balle h^{-1})	Costo orario (€ h^{-1})	Costo Prodotto (€ t^{-1} s.f.)		Costo unitario balla (€)
Ripartrak	Raccolta con rastrello	6,5	2,3	3,9		27,20	7,00	**36,00**	**1,10**
	Imballatura	**1-2**	**1,7**	**2,9**	**90**	**39,10**	**13,00**		
	Carico		2,0	3,4		53,20	16,00		

Dall'analisi del secondo cantiere è emersa sia da un punto di vista tecnico sia da un punto di vista economico la ridotta convenienza alla trinciatura dei sarmenti, attribuibile alle dimensioni della macchina pari a 1,7 m che sono risultati poco adatti al sesto d'impianto del vigneto. Inoltre, in conseguenza di una disordinata disposizione dei sarmenti in andana ed una imprecisa regolazione della macchina operatrice, la produzione raccolta registra una perdita di materiale rispetto alla produzione raccoglibile di circa il 40%. Dall'analisi dei dati risulta una bassa produzione ed un conseguente costo elevato del trinciato pari a 63,00 € t^{-1} (Tab. 7).

Tabella 7 - Dati tecnico-operativi del secondo cantiere per la raccolta dei sarmenti di vite.

Macchina Operatrice	Velocità Effettiva (Km h^{-1})	Capacità Operativa (ha h^{-1})	Capacità Operativa (t h^{-1})	Costo orario (€ h^{-1})	Costo Prodotto (€ t^{-1} s.f.)
Berti	3,5	1,09	0,99	62,89	63,00

Le perdite dovute a non raccolta del prodotto a terra non sono state, invece, registrate utilizzando l'imballatrice leggera Caeb testata nel terzo e nel quarto cantiere rispettivamente senza e con caricatore per l'accumulo delle ballette, grazie alle compatte dimensioni della macchina la cui larghezza di lavoro è pari a 1,33 m, rispetto alla larghezza del filare di 2,2 m, questo ha consentito di mantenere una velocità di avanzamento pari a 3,5 km h^{-1} e soprattutto di avere tempi di voltata ridotti pari a 22 secondi in media. Il costo sostenuto per la realizzazione di una balletta rimane contenuto e simile a quello calcolato utilizzando la Ripartrak. Il costo calcolato per ciascuna balla del peso medio di 26-28 kg è di 1,08 € $balla^{-1}$ (Tab. 8).

Tabella 8 - Dati tecnico-operativi del terzo cantiere per la raccolta dei sarmenti di vite.

Macchina Operatrice	Operazione	Velocità effettiva (Km h^{-1})	Capacità operativa (ha h^{-1})	Capacità operativa (t h^{-1})	Produzione (Balle h^{-1})	Costo orario (€ h^{-1})	Costo Prodotto (€ t^{-1} s.f.)		Costo unitario balla (€)
Caeb MP/400S 1230	**Imballatura**	**3,5**	**0,92**	**1,58**	**50**	**34,70**	**22,00**	**40,00**	**1,08**
	Recupero Balle e Carico	3	1,3	2,3		41,30	18,00		

Il costo più basso per la realizzazione di una balletta lo si è ottenuto utilizzando la rotoimballatrice leggera Caeb con accumulatore di balle. Il vantaggio in termini di produttività dell'intero cantiere è importante grazie alla eliminazione dei costi di recupero nel filare delle balle, in quanto la macchina stessa deposita le balle al capofila del filare. Il costo a tonnellata è determinato in 34,00 € t^{-1} con un costo per ciascuna balla, del peso di 26-28 Kg, di 0,92 € (Tab. 9).

Sulla base del confronto fra i due diversi modelli Caeb si evince una buona capacità operativa di entrambe, tant'è che il modello senza accumulatore realizza 50 balle ogni ora rispetto al modello con accumulatore che ne realizza 45. Questa differenza del 10% si deve ricercare nella manovrabilità leggermente inferiore che caratterizza il modello con accumulatore che sia per peso (800 kg rispetto ai 550 del modello senza caricatore delle ballette) sia per ingombro, dato dalla struttura metallica di raccolta delle balle, tende ad essere più lenta nelle fasi di svolta e di manovra. Passando invece a valutazione economiche si registra quanto la manodopera impiegata per il recupero ed il carico delle ballette, incida sulla determinazione del costo per tonnellate del prodotto imballato che risulta di 40,00 € t^{-1}, rispetto a 34,00 € t^{-1} del modello con accumulatore.

Tabella 9 - Dati tecnico-operativi del quarto cantiere per la raccolta dei sarmenti di vite.

Macchina Operatrice	Operazione	Velocità effettiva (km h^{-1})	Capacità operativa (ha h^{-1})	Capacità operativa (t h^{-1})	Produzione (balle h^{-1})	Costo orario (€ h^{-1})	Costo prodotto (€ t^{-1} s.f.)		Costo unitario balla (€)
Caeb Quick Power MP/400S 1230 con Accumulatore	**Imballatura**	**3,5**	**0,80**	**1,37**	**45**	**35,60**	**26,00**	**34,00**	**0,92**
	Carico		3,0	5,1		40,70	8,00		

Olivo

Queste prime prove sperimentali condotte sulla gestione dei sarmenti di olivo sono state mirate al confronto del lavoro effettuato dalla rotoimballatrice leggera Caeb con accumulatore (Tab. 10) e quello eseguito dalla trinciacaricatrice Berti (Tab. 11).

Tabella 10 - Dati tecnico-operativi del primo cantiere per la raccolta dei sarmenti di olivo.

Cantiere **Caeb** con caricatore	Operazione	Indicazione	Costo totale **(€ h^{-1})**	Costo unitario balla **(€)**	Costo **(€ t^{-1})**
In linea	Imballatura	manodopera	76,31	1,47	43,30
		trattrice			
		imballatrice			
	Carico Balle	manodopera			
		trattrice			
		rimorchio			

Dall'analisi dei dati, risulta una notevole incidenza dei costi di carico delle ballette, a causa della richiesta di ulteriore manodopera, che rendono il prodotto imballato più costoso rispetto a quello trinciato. In termini di destinazione finale emerge comunque un dato interessante riferito dagli agricoltori i quali affermano di vendere, al settore della panificazione e della ristorazione quale combustibile per i forni a legna, le ballette di olivo ad un prezzo di 3,00 €, che, considerando il costo di realizzo della balletta pari a 1,47 €, consente un margine di guadagno pari a 1,53 € per ogni balletta.

Tabella 11 - Dati tecnico-operativi del secondo cantiere per la raccolta dei sarmenti di olivo.

Cantiere **Berti**	Operazione	Indicazione	Costo totale (€ h^{-1})	Capacità operativa (kg s^{-1})	Costo (€ t^{-1})
In linea	Trinciatura	manodopera	67,13	16,55	40,60
		trattrice			
		trinciatrice			
	Carico	manodopera			
		trattrice			
		rimorchio			

In merito alle prove sperimentali realizzate per l'olivo i sesti d'impianto 5x5 m hanno azzerato le problematiche relative alla manovrabilità della macchina riscontrate all'interno del filare di un vigneto e questo fattore ha inciso positivamente sul costo del prodotto finale che nel caso della vite era stato calcolato in 63,30 € t^{-1} e nel caso dell'olivo pari a 40,60 € t^{-1}. D'altro canto, però, bisogna sottolineare che in oliveti di grosse dimensioni ed irregolari, differenti da quello oggetto delle prove sperimentali, l'incidenza delle pause per lo scarico del cassone, che si possono rendere necessarie anche nel bel mezzo del filare, rappresentando un fattore di riduzione della capacità operativa della macchina.

Discussione e conclusioni

I cantieri di raccolta della paglia hanno dimostrato tutti una buona capacità operativa ed una rispondenza alle diverse esigenze delle aziende in cui sono state testate. L'aspetto che, come spesso accade, ha inciso negativamente sui costi delle operazioni è rappresentato da una non ottimale organizzazione dell'intero cantiere, per cui se da una parte sono state scelte macchine efficaci e di comprovata affidabilità non si è proceduto allo stesso tempo all'ottimizzazione dei cantieri testati. Tale mancanza di ottimizzazione certamente rappresenta una spiegazione alla significativa differenza di costi di esercizio fra il primo e l'ultimo cantiere.

In termini, poi, di destinazione finale del prodotto la differenza tra i costi sostenuti per la realizzazione delle balle e il prezzo a cui le stesse possono essere vendute spinge verso ricavi interessanti che spesso però vengono raggiunti non dal singolo agricoltore ma dai contoterzisti, che grazie ai capitali a disposizione e alle elevate estensioni possono lavorare con macchine sempre tecnologicamente avanzate.

Il confronto fra i diversi cantieri ha sottolineato la necessità di organizzare e dimensionare gli stessi in maniera ottimale in base alle caratteristiche orografiche del territorio, al sistema d'impianto e di allevamento degli impianti arborei.

La prova effettuata con la trinciaraccoglitrice nel vigneto, tenendo conto degli imprevisti tecnici verificatisi durante la sperimentazione (dovuti in parte ad un errore di settaggio della macchina), in ogni caso ha dimostrato un'efficienza piuttosto limitata, dovuta alla mole e alle dimensioni di ingombro della macchina, che mal si adatta all'orografia del territorio ove sono state eseguite le prove, alle dimensioni medie degli appezzamenti coltivati a vigneto e ed alla struttura degli impianti, a riguardo si ritiene la macchina più idonea per aree coltivate a vite di ampiezza superiore ai 3 ha e con filari della lunghezza superiore ai 150 m in modo da sfruttare completamente la macchina che monta un accumulatore delle ballette.

Nel caso delle imballatrici bisogna fare un'attenta osservazione relativamente alle condizioni del vigneto all'interno del quale si opera. L'imballatrice/compattatore parallelepipeda (Ripartrak Magnum) ad esempio, a causa della sua larghezza di lavoro di 2,4 m è risultata troppo larga per poter lavorare all'interno del vigneto in oggetto ed è quindi stata posizionata al margine del filare grazie al fatto che le condizioni di spazio e di pianura consentivano tale soluzione. Tale limite insito alla macchina si potrebbe però compensare qualora si ritenesse prioritario realizzare delle balle quadre la cui movimentazione e il trasporto risultano sicuramente più agevoli nonché la perdita di umidità più uniforme e veloce rispetto a quanto si verifichi nel caso delle ballette cilindriche.

Le imballatrici leggere non presentano il problema di manovrabilità, in quanto, vista la loro leggera struttura possono essere sollevate tramite l'attacco a tre punti del trattore, facilitando le operazioni di manovra, soprattutto in condizioni di terreni collinari (ove generalmente sorgono i vigneti nella provincia di Potenza) e le operazioni di trasferimento della macchina.

Dalle prove effettuate con le due rotoimballatrici leggere (Caeb) è risultata una notevole convenienza nell'utilizzo della rotoimballatrice con accumulatore, poiché tale attrezzatura elimina l'operazione di raccolta delle ballette all'interno del filare, riducendo i costi che passano da 1,08 € per ogni balletta a 0,92 €. Inoltre, l'imminente realizzazione a circa 20 km dalla zona che è stata oggetto delle prove di una centrale termica rappresenterebbe un ottimo investimento per gli agricoltori che uniti in consorzi potrebbero acquistare le macchine e riuscire a collocare immediatamente i sarmenti imballati ad una cifra, ancora ipotetica, ma probabile di circa 2,50 € per ogni balletta.

Dal punto di vista della destinazione finale del prodotto possono cambiare le valutazioni in merito alla convenienza ad effettuare la trinciatura o l'imballatura. In un'ottica di combustione in caldaia, appare preferibile l'utilizzo del prodotto trinciato, in quanto la sua movimentazione dal silo di stoccaggio, può facilmente essere realizzata con sistemi automatici, tipo vite senza fine.

Più complesso appare il rifornimento automatico di balle ad una caldaia, in quanto andrebbe progettato anche il sistema di prelievo di queste ultime ed il loro posizionamento su un nastro mobile che le conduca in caldaia.

Relativamente ai cantieri di raccolta dei sarmenti dell'olivo, la necessità di una idonea scelta delle macchine e di un corretto settaggio vengono ulteriormente sottolineate, mentre non si riscontra nessuna problematica in termini di manovrabilità della macchina che, grazie ai larghi sesti d'impianto di 5x5 m, si muove agevolmente all'interno del campo sperimentale. La scelta di imballare o trinciare il prodotto, vista la minima differenza di costi dato che la prima operazione richiede 43,30 € per tonnellata e la seconda 40,60 €, risulta essere dettata dalle esigenze dell'agricoltore e dalla commerciabilità, sulla base delle richieste del mercato cui voglia riferirsi, di una tipologia di prodotto piuttosto che di un'altra.

Infine, tralasciando i dati tecnico-operativi ed economici finora analizzati, si vuole sottolineare l'aspetto ambientale che viene fortemente favorito dalla raccolta delle biomasse residuali, il cui smaltimento non rappresenta soltanto un dispendio di energia e di denaro per gli agricoltori ma incide pesantemente sull'ambiente e su intere comunità che al contrario, grazie alle tecnologie attualmente disponibili, potrebbero avvantaggiarsi di una risorsa rinnovabile e ad impatto ridotto.

Progetto di una piattaforma per un impianto di recupero a fini energetici dei residui dei processi produttivi agricoli, forestali ed agroalimentari.

L'attività di ricerca è stata completata con uno studio per la realizzazione di una piattaforma per un impianto di recupero a fini energetici dei residui dei processi produttivi agricoli, forestali ed agroalimentari, approvvigionati nell'ambito del comprensorio della Val D'Agri.

L'impianto, di tipo cogenerativo, sarà realizzato nel territorio comunale di Viggiano, in una zona classificata come area agricola E3 (bosco produttivo) e IE/3 (impianti produttivi esistenti), è posizionata a sud-ovest del comune di Viggiano (PZ), e non presenta vincoli di natura idrogeologica e paesaggistica.

L'impianto è basato sulla produzione e recupero di biogas prodotto dai reflui zootecnici ed è stato concepito per produrre energia elettrica, da immettere nella rete elettrica nazionale, ed energia termica, per alimentare attraverso una rete di teleriscaldamento, alcuni edifici comunali (un caseificio ed una scuola). Sulla base di una stima preliminare la taglia di potenza dell'impianto progettato è di 800 kW elettrici e di 500 kW termici.

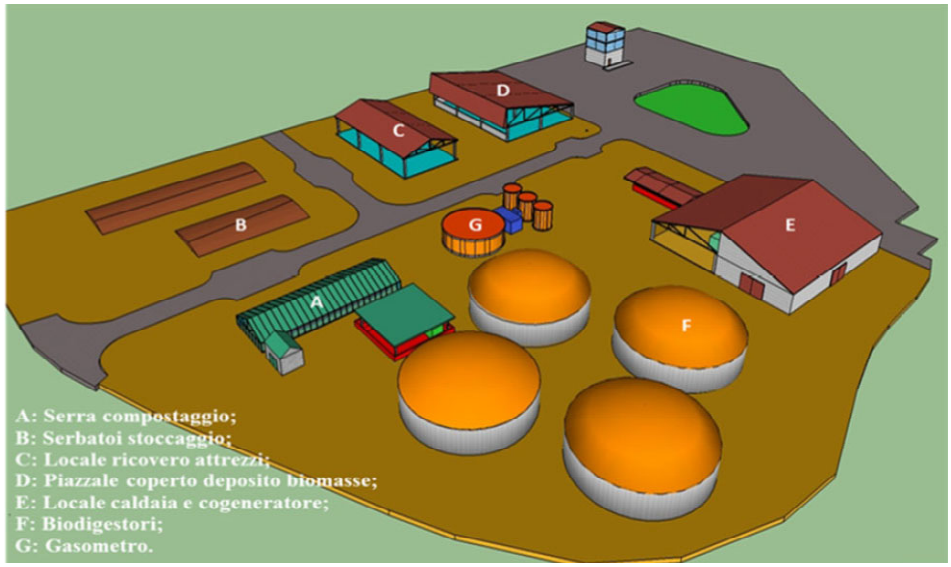


Figura 6 - Disegno della piattaforma vista dall'alto.

La scelta del sito è stata determinata dalle seguenti considerazioni:

- posizione baricentrica rispetto alle aziende conferenti;
- agevole collegamento con le principali vie di comunicazione;
- possibilità di immissione diretta dell'energia elettrica alla linea della media tensione;
- possibilità di valorizzazione dell'energia termica in uscita dall'impianto;
- disponibilità dei terreni comunali.

I benefici e le leve positive tenute in maggiore considerazione sono state le seguenti:

- particolare attenzione al problema dei nitrati in agricoltura;
- riduzione delle emissioni determinate dai reflui zootecnici in stoccaggio all'aperto;
- riutilizzo e valorizzazione dei residui agrozootecnici e agroindustriali;
- problema della riduzione delle emissioni di CO_2 in atmosfera;
- reimpiego in agricoltura di compost e ammendanti organici in sostituzione dei concimi chimici.

Disponibilità biomasse nel comprensorio della Val D'Agri

La stima delle biomasse presenti in questo comprensorio è basata su un'indagine conoscitiva relativa alle potenzialità di approvvigionamento di reflui zootecnici e dei sottoprodotti della lavorazione del latte (siero) che possono essere utilizzati in una piattaforma per la produzione di biogas, con successiva generazione di energia elettrica e termica. Contestualmente, allargando il raggio di azione, nell'indagine ricognitiva sono state incluse le biomasse di natura lignocellulosica sfruttabili a fini energetici.

In particolare, le biomasse provenienti da reflui zootecnici si considerano utilizzabili per la produzione di biogas:

1. letame bovino;
2. liquame bovino;
3. liquame suino;
4. siero di latte.

L'area oggetto di studio comprende i comuni di Grumento Nova, Marsico Nuovo, Marsicovetere, Moliterno, Paterno, Sarconi, Tramutola e Viggiano, per una superficie totale pari a 369,78 km^2. L'indagine in situ ha interessato 24 aziende zootecniche (di cui n. 2 allevamenti di bovini da carne, n. 19 allevamenti di bovini da latte, n. 2 allevamenti suini da carne e n. 1 centro parentale suini), scelti secondo criteri di numero capi allevati, dotazione strutturale (vasche liquame e platee per letame) tale da rendere efficienti e veloci le operazioni di carico, facilità di accesso (distanza dalla viabilità principale, tipologia e dimensione strada di accesso, disponibilità di spazio per la manovra degli automezzi, ecc.) e vicinanza alla piattaforma. Dall'analisi dei dati raccolti presso le aziende è emerso che i due allevamenti di bovini da carne, di cui uno situato nel comune di Viggiano e l'altro in quello di Marsicovetere, hanno una consistenza totale di 175 capi, mentre i 19 allevamenti di bovini da latte hanno una consistenza totale di 3.245 capi, di cui 1.500 in lattazione. In totale, i capi bovini presenti nelle aziende oggetto di rilievo sono 3.420 per una produzione giornaliera di circa 75 m^3 di letame e circa 120 m^3 di liquame, pari rispettivamente a 27.375 m^3 di letame e 43.800 m^3 di liquame per anno (Tab. 12).

Tabella 12 - Produzione di letame da allevamenti bovini.

Comune	Tipologia allevamento	Capi totali (n.)	Capi in lattazione (n.)	Letame giorno (m^3)	Letame anno (m^3)	Liquame giorno ($m\backslash^3$)	Liquame anno (m^3)
Viggiano	Bovini da carne	115	0	9	3.285	0	0
Marsicovetere	"	60	0	4	1.460	0	0
Grumento N.	Bovini da latte	1095	470	25	9.125	37	13.505
Marsico Nuovo	"	255	125	0	0	14	5.110
Paterno	"	70	30	3	1.095	0	0
Tramutola	"	400	185	10	3.650	12	4.380
Viggiano	"	1425	690	24	8.760	57	20.805
Totale		**3.420**	**1.500**	**75**	**27.375**	**120**	**43.800**

Le aziende zootecniche con allevamento di suini oggetto di indagine sono state 3, di cui 2 specializzate per l'ingrasso ed una per la produzione di suinetti.

Gli allevamenti dediti all'ingrasso, presenti nei comuni di Grumento Nova e Viggiano, hanno una consistenza di 500 capi cadauno, un peso medio di ogni capo pari a circa 100 kg e sono caratterizzate da realizzare circa 1,7 cicli di allevamento all'anno.

La produzione di liquame è di circa 10 m^3/giorno per le aziende dedite all'ingrasso e di circa 7 m^3/giorno per quella in cui vengono prodotti i lattonzoli, pari ad una produzione di liquame totale annua di circa 6.205 m^3 (Tab. 13).

Tabella 13 - Produzione di liquame da suini.

Comune	Tipologia allevamento	Scrofe (n.)	Lattonzoli (n)	Capi ingrasso (n)	Liquame al giorno (m^3)	Liquame all'anno (m^3)
Grumento N.	Ingrasso suini	0	0	500	5	1.825
Paterno	Produzione lattonzoli	200	600	0	7	2.555
Viggiano	Ingrasso suini	0	0	500	5	1.825
Totale		**200**	**600**	**1.000**	**17**	**6.205**

Nell'area oggetto di studio sono stati rilevati 6 caseifici, siti nei comuni di Marsicovetere, Paterno e Tramutola, che lavorano in totale circa 9 m^3 di latte al giorno con una produzione giornaliera di siero pari a circa 7,1 m^3, equivalente a circa 2.591 m^3 di siero all'anno (Tab. 14).

Tabella 14 - Produzione di siero di latte.

Comune	Latte lavorato al giorno (m^3)	Latte lavorato all'anno (m^3)	Siero prodotto al giorno (m^3)	Siero prodotto all'anno (m^3)
Marsicovetere	0,5	182,5	0,4	146,0
Paterno	4,7	1715,5	3,7	1350,5
Tramutola	3,7	1350,0	3,0	1095,0
	8,9	**3.248,5**	**7,1**	**2.591,5**

L'indagine condotta permette di avere un quadro esaustivo del quantitativo di reflui zootecnici e siero di latte (Tab. 15) che, dalle aziende zootecniche e dai caseifici, può essere trasportato alla piattaforma agro energetica per la produzione di biogas da utilizzare per la generazione di energia elettrica e termica.

Tabella 15 - Quantitativi di biogas producibili al giorno e all'anno.

Tipologia refluo	Quantitativo giornaliero (m^3)	Fattore diconversione (Nm^3 biogas m^{-3} biomassa)	Biogas prodotto al giorno (Nm^3)	Biogas prodotto all'anno (Nm^3)
Letame bovino	75	54	4.050	1.478.250
Liquame bovino	120	21	2.520	919.800
Liquame suino	19	19	361	131.765
Siero di latte	7,1	31	220	80.300
TOTALE			**7.151**	**2.610.115**

La piattaforma in oggetto, però, verrà anche alimentata da tutte quelle biomasse residuali di origine ligno-cellulosica provenienti dal settore agricolo- forestale. A tal riguardo, nella tabella che segue (Tab. 16), vengono riportate le potenziali produzioni di biomasse residuali allargando il raggio d'investigazione all'intero comprensorio della Val D'Agri, che può rappresentare un importante bacino di approvvigionamento.

Tabella 16 - Produzione di biomassa di origine agricola.

Comuni	Cereali		Vigneti		Uliveti		Frutteti	
	Produzione paglia (u=16%)	*Produzione paglia (ss)*	*scarti vigneti (u=50%)*	Scarti vigneti (ss)	*scarti uliveti (u=52%)*	*scarti uliveti (ss)*	*scarti frutteti (u=40%)*	*scarti vigneti (ss)*
	t	*t*	*t*	*t*	*t*	*t*	*t*	*t*
Grumento	287,4	247,76	44,58	29,72	526,02	346,07	7,48	5,34
Marsiconuovo	63,2	54,48	59,63	39,75	14,53	9,56	117,99	84,28
Marsicovetere	32,06	27,64	27,07	18,05	4,86	3,2	14,12	10,09
Moliterno	114,42	98,64	20,48	13,65	2,93	1,93	27,08	19,34
Montemurro	83,06	71,6	32,66	21,77	0,91	0,6	237,37	169,55
Paterno	122,4	105,52	-	-	-	-	141,04	100,74
San Chirico Raparo	226,44	195,21	20,41	13,61	-	-	186,02	132,87
San Martino D'Agri	55,48	47,83	11,2	7,47	-	-	159,65	114,04
Sarconi	25,72	22,17	42,29	28,19	35,6	23,42	2,84	2,03
Spinoso	53,82	46,4	91,32	60,88	7,61	5,01	26,6	19
Tramutola	19,38	16,71	100,59	67,06	29,58	19,46	28,79	20,56
Viggiano	258,12	222,52	307,63	205,09	76,81	50,53	81,18	57,99
Totale	**1.341,50**	**1.156,47**	**757,86**	**505,24**	**698,86**	**459,78**	**1.030,16**	**735,83**

Configurazione dell'impianto a cippato per la produzione di energia termica
L'impianto è progettato per essere alimentato con biomasse vegetali e residuali. Il combustibile agroforestale dell'impianto sarà costituito da legno vergine (in forma di cippato) sottoposto a preliminare essiccazione, proveniente dalla coltivazione del bosco, dallo sfruttamento di scarti legnosi provenienti da potature, o da filiere agricole e di recupero che producono residui vegetali non trattati se non meccanicamente.

L'impianto per la produzione di energia termica consente, mediante il vapore prodotto dalla caldaia e dallo scambiatore di calore, di produrre acqua calda ed eventualmente fredda (mediante accoppiamento ad un sistema per la produzione di frigorie) per uso civile. L'assetto è determinato dal fabbisogno istantaneo delle utenze termiche collegate alla rete di teleriscaldamento e la potenza termica in eccesso può essere impiegata per alimentare la rete di aereazione per l'essiccamento del cippato.

Allo scopo di limitare l'impatto ambientale della piattaforma l'impianto sarà dotato di tutti i sistemi di prevenzione e controllo delle emissioni previsti dalle normative vigenti:

1. linea di trattamento fumi, dimensionata per garantire il rispetto dei limiti fissati dalle attuali normative di legge, con monitoraggio in continuo delle emissioni gassose;
2. trattamento di depurazione delle acque prodotte nell'impianto, incluse quelle di prima pioggia;
3. raccolta ed evacuazione delle ceneri di combustione, destinate al riutilizzo per il compostaggio.

Organizzazione della piattaforma
Il combustibile arriverà alla centrale principalmente sotto forma di cippato di legno e sottoprodotti agricoli, forniti da operatori locali che provvederanno alla raccolta.

Per ragioni di sicurezza è comunque prevista anche la possibilità di effettuare presso la centrale la cippatura del legname e verrà costituita una scorta strategica di legname. Il combustibile arriverà alla Centrale su camion e rimorchi agricoli e sarà trattato ed immagazzinato.

L'area sarà attrezzata con sistema automatico di pesatura e di movimentazione del materiale.

La capacità complessiva di stoccaggio di residui di potatura, che costituisce la scorta strategica di combustibile, sarà tale da garantire autonomia all'impianto per 5 giorni.

Lo stoccaggio del cippato avviene sotto una tettoia coperta, in particolare sono previste le seguenti opere:

1. Piazzale stoccaggio biomasse: è un'area coperta, chiusa su due lati per mezzo di un muro, con un volume utile di stoccaggio tale da assicurare l'autonomia di funzionamento della centrale stabilita. Il deposito ha il fondo cementato ed è accessibile sull'intero fronte laterale alle pale meccaniche, per consentire una gestione ottimale delle diverse partite di cippato stoccate ed una adeguata rota-

zione del materiale. L'area di stoccaggio è equipaggiata con un sistema di essiccazione del cippato, tramite insufflamento di aria calda dal pavimento. L'aria calda è prodotta da uno scambiatore di calore (fumi-aria), posto alla fine della linea fumi, che consente di recuperare parte del calore residuo prima della immissione in atmosfera;
2. Vasca di scarico, dotata di un sistema di raccolta della biomassa che alimenta, attraverso un sistema di trasporto a nastro, la successiva sezione di vaglio e cippatura;
3. Vasca di alimentazione caldaia, equipaggiata con un sistema di raccolta del cippato che alimenta la tramoggia di carico della caldaia.

Caldaia

La caldaia è concepita per produrre energia termica utilizzando come combustibile il cippato di legno. Le pareti della camera di combustione sono raffreddate ad acqua. Nel circuito dell'acqua avviene una parziale evaporazione ed il vapore viene separato.

I fumi provenienti dalla camera di combustione passano attraverso un surriscaldatore ed un economizzatore e vengono quindi inviati, tramite un elettroventilatore, al sistema di abbattimento delle polveri.

Nella sezione terminale della linea fumi è inserito uno scambiatore fumi-aria che consente di recuperare parte del calore residuo dei fumi producendo aria calda che viene utilizzata per l'essiccazione del cippato.

Sistema di produzione acqua calda per teleriscaldamento

Il sistema di produzione dell'acqua calda per l'alimentazione del sistema di teleriscaldamento comprende:

1. uno scambiatore di calore dimensionato per erogare i quantitativi di acqua a 95°C e 4,5 bar, necessari per alimentare la rete di teleriscaldamento;
2. le elettropompe di circolazione dell'acqua calda, un serbatoio di stoccaggio, un serbatoio di espansione e le tubazioni di collegamento, complete di valvole e strumenti.

Impianto per la produzione di biogas

Il biogas prodotto è un gas naturale costituito principalmente da metano e anidride carbonica, prodotto dalla fermentazione anaerobica dei reflui zootecnici opportunamente miscelati. La fermentazione avviene all'interno di biodigestori in ambiente umido e in mancanza di ossigeno. Il materiale organico viene raccolto nel serbatoio stoccaggio liquami, e successivamente trasferito nei biodigestori per il processo di fermentazione. Il gas prodotto durante il processo di digestione anaerobica è costituito mediamente da metano in percentuali tra 50-70% e da anidride carbonica per il 30-50%. Alla fine, quindi, il biogas è convogliato in una turbina a gas per la generazione di energia elettrica, che viene in parte ceduta alla rete elettrica di distribuzione e in parte utilizzata per autoconsumo. L'energia termica prodotta dal motore può es-

sere usata per riscaldare il digestore regolando il processo di produzione del biogas, riscaldare eventuali serre, oppure essere immessa nella rete di teleriscaldamento.

L'impianto di produzione di biogas proposto prevede un processo in continuo, in cui il substrato è fermentato in circa 40 giorni.

I materiali stoccati vengono introdotti nel processo previa omogeneizzazione e miscelazione per garantire ai microrganismi un substrato sempre omogeneo.

Il digestato finale viene poi separato nelle due frazioni solida e liquida in un'idonea vasca di separazione.

Impianto di compostaggio

La fase solida in ambiente chiuso, in uscita dall'impianto di biogas viene mescolata a componenti strutturali. Per impostare il giusto rapporto di sostanza solida e strutturale viene usato un compost mixer. Il compost mixer/diffusore utilizzato per la omogeneizzazione della biomassa ha anche un sistema di irrigazione che consente di immettere l'acqua separata dal digestato direttamente nella fase solida durante la maturazione. Si calcola che fino al 50% del liquido derivato dalla produzione di biogas può essere utilizzato direttamente sul compost.

I liquidi derivati dall'impianto di compostaggio vengono poi pompati nell'impianto di produzione di biogas.

Questa gestione ottimizzata delle acque separate dal digestato permette di riportare nella biomassa in compostaggio gran parte del residuo azotato con notevoli benefici sulla qualità del prodotto finale.

Un sistema di aerazione provvede a immettere aria, mentre il sistema automatico di rivoltamento provvede periodicamente a spostare il prodotto dal basso verso l'alto, nonché a farlo avanzare nella trincea di compostaggio.

Al termine del processo di compostaggio è previsto anche l'insacchettamento del compost prodotto in apposito locale. La struttura per l'insacchettamento è costituita da una struttura in c.a. di dimensioni di m 7,00 x 5,00 x 3,50 pari a m^2 35, coperta da una struttura metallica e con capriate reticolate a doppia falda; tompagnature esterne e tramezzi divisori con mattoni forati di argilla, intonaci interni ed esterni con malta civile, pavimenti e rivestimenti con piastrelle di ceramica, infissi esterni in PVC effetto legno con vetrocamera, infissi interni in legno massello, impianti: idrico-sanitario, elettrico e di riscaldamento.

Considerazioni conclusive

La piattaforma proposta, posizionata nel sito scelto e baricentrica al flusso di materie prime in entrata ed ai prodotti finiti in uscita, a meno di 25 km di raggio dalle aziende zootecniche, mostra una logistica ben congeniata e sostenibile.

I residui organici agricoli vengono prelevati dalle aziende zootecniche, sollevandole, dall'onere della gestione dell'azoto, e vengono utilizzati per creare energia e un concime organico.

Il processo di digestione anaerobica stabilizza le deiezioni di partenza, riduce le emissioni di cattivi odori, la carica patogena e ne migliora le proprietà fertilizzanti.

La linea di compostaggio finale chiude la filiera con la produzione di un ammendante compostato misto finale di elevata qualità. L'impiego del compost da parte degli stessi agricoltori che ne hanno fornito le materie prime contribuisce a ridurre l'uso di prodotti chimici e a migliorare la fertilità dei suoli.

Invece, nel sistema di filiera foresta-legno, la cippatura ha una posizione strategica. Ogni soggetto imprenditoriale coinvolto, infatti, potrà contribuire, secondo le proprie caratteristiche, possibilità e mezzi, alla produzione di cippato per alimentare la centrale.

La presenza nella propria area, di un centro di raccolta e stoccaggio agevoleranno il coordinamento e la migliore valorizzazione dei diversi prodotti che l'agricoltore, solitamente sprovvisto di macchina cippatrice, consegnerà in cambio o di un prezzo concordato o dello stesso materiale cippato, da utilizzare poi per proprie necessità. Inoltre, per garantire un approvvigionamento costante della materia prima, è necessario coinvolgere soggetti privati, che possono rappresentare i primi grandi conferitori del prodotto agroforestale, con notevoli ricaduta occupazionale con importanti riflessi sul presidio del territorio e miglioramento dell'ambiente.

Ringraziamenti
Si ringraziano:

- Il Dottor Giuratrabocchetti, per la gentilissima collaborazione e per la profusa disponibilità;
- Il Signor Paulangelo della ditta Paulangelo s.r.l.;
- Il Signor Lippolis Giuseppe della Ditta Ripartrak.

Bibliografia

Amirante P., Di Renzo G.C., Scarascia Mugnozza G., "Interventi per il risparmio energetico e per l'utilizzazione delle energie rinnovabili in agricoltura", Riv. Tecnopolis, giugno 1984.

Amirante P., Di Renzo G.C., Pellerano A., "Aspetti tecnologici dell'essiccazione e densificazione delle biomasse", Atti del convegno di Meccanica Agraria, Perugia, 11 - 12 giugno, 1985.

Amirante P., Di Renzo G.C., "Sottoprodotti vegetali: una fonte di energia da recuperare", Riv. Terra e Vita n.40, ottobre, 1985.

Amirante P., Di Renzo G.C. "Experimental tests on a prototype machine for harvesting forestry trimming wastes", in Biomass Energy, Elsevier Applied Science, 1987.

Amirante P., Di Renzo G.C., "Il Problema energetico negli impianti di prima trasformazione: caseifici, oleifici e industria enologica", Riv. Italia Agricola, ottobre-dicembre, 1988.

Amirante P., Di Renzo G.C., "Innovazione tecnologica degli impianti e utilizzazione dei sottoprodotti", Atti del convegno CIOS sul tema "Dalle olive all'olio", Selva di Fasano (BR), 4 novembre 1988.

Amirante P., Di Renzo G.C., "Tecnologie e impianti per il riciclo delle biomasse di rifiuto e di scarto", atti del convegno S.I.C.A. "BIOMASS '91", Bari, 6-7 giugno, 1990, Ed. Patron, Bologna, 1991.Combs J., 2002. Biomass energy: an industry waiting for growth, Renewable Energy World, Review issue 2002-03.

Del Río P., 2009. Interactions between climate and energy policies: the case of Spain. Climate Policy, 9(2), 119–138.

Di Renzo G.C., "Prove sperimentali di estrazione meccanica della cera di jojoba - Criteri di massima per il dimensionamento degli impianti", Notiziario Agricolo Regionale - Regione Puglia, n.10, ottobre, 1990.

EU, 2008. Climate action and renewable energy package, 17 December 2008, COM(2008)0019 –2008/0016(COD).

Klass D.L., 1998. Biomass for renewable energy, fuels, and chemicals, Academic Press, San Diego, California.

McKendry P., 2002. Energy production from biomass (part 1): Overview of biomass, Bioresource Technology 83: 37-46.

Porceddu P.R., Babucci V., 2007. Soluzioni tecniche per le caldaie a biomassa domestiche – Estimo e Territorio n. 1.

Rosch C., M. Kaltschmitt, 1999. Energy from biomass – do non technical barriers prevent an increased use?, Biomass & Bioenergy 16: 347-356.

Roman U., J. Turnbull, 1997. Integrated biomass energy systems and emissions of carbon dioxide,Biomass & Bioenergy 13: 333-343.

San Miguel G., del Río P., Henández F., 2010. An update of Spanish renewable energy policy and achievements in a low carbon context, Journal J. Renewable Sustainable Energy 2, 031007 (2010).

Spinelli R., Nati C., Magagnotti N., Civitarese V., 2006. Produrre biomassa dai sarmenti di vite. L'Informatore Agrario n° 28: 36-39.

Van den Broek R., Faaij A., van Wijk A., 1996. Biomass combustion for power generation, Biomass and Bioenergy, 11(4), 271-281.

B - Messa a punto di sistemi di raccolta dei residui vegetali (potature)

Development of systems for the collection of crop residues

Paola D'Antonio*, Carmen D'Antonio*, Carmela Evangelista*

Riassunto

La gestione del materiale di scarto proveniente dalla potatura di vigneti ed oliveti spesso costituisce un problema per gli agricoltori che per disfarsene devono ricorrere alla bruciatura in loco o all'interramento. La prima pratica presenta, però, l'inconveniente di incrementare l'inquinamento atmosferico, da una parte, e dall'altra il non rispetto delle disposizioni normative che consentono la bruciatura nel caso in cui siano stati accertati problemi sanitari. L'interramento dei residui, invece, può favorire la diffusione di eventuali inoculi presenti nel legno, contaminando le piante sane con varie patologie. Entrambe le problematiche possono essere arginate qualora si decida di conferire una valenza energetica prima ed economica poi ai sarmenti, attraverso una loro raccolta in ballette o trasformazione in cippato o pellet, da destinare anche ad apposite caldaie per l'autoconsumo a livello aziendale o da affidare a filiere più lunghe attraverso la vendita di queste biomasse a centrali di dimensioni importanti. L'imballatura o la sminuzzatura di tali sarmenti deve, però, poter consentire un margine di reddito per gli agricoltori che decidano di intraprendere questa strada e ciò risulta possibile nel momento in cui si scelgono macchine con buone capacità operative, affidabili e in grado di muoversi agevolmente all'interno anche di filari stretti e lungo capezzagne di dimensioni non sempre agevoli. Il presente lavoro ha voluto analizzare e confrontare sia da un punto di vista tecnico sia da un punto di vista economico quattro differenti cantieri per la imballatura e la trinciatura dei sarmenti di vite. I risultati ottenuti dimostrano un utile netto di partico-

* Dipartimento Tecnico Economico per la gestione del territorio agricolo e forestale, Potenza.

lare rilievo per la vendita per ogni balletta di vite pari a 1,50 €, cifra che potrebbe anche aumentare dato che l'attuale mercato delle ballette di vite non si è ancora definitivamente assestato. La richiesta di tale prodotto, infatti, sarà sicuramente incrementata dalla realizzazione di una centrale termica a 20 km circa dall'area della Basilicata, a vocazione viticola, in cui sono state effettuate le prove sperimentali.

Parole chiave: biomasse, sarmenti, imballatura, trinciatura.

Abstract

Most countries in the world are taking measures aimed at reducing their energy dependence on fossil fuels (coal, petroleum and natural gas). The purpose of this is twofold: on the one hand, the limitation of greenhouse gas emissions responsible for global warming; on the other, a reduction in the exposure to economic risks associated with the rising prices of these increasingly scarce natural resources. A cost-effective approach to meet these objectives requires implementing energy efficiency practices and also giving priority to low-carbon technologies, including renewable energies sources (Del Río, 2009; San Miguel et al., 2010). As an example of the extent to which these measures are going to affect our future, the European Union (EU) recently agreed on an ambitious

"Plan on Climate Change" that includes a binding obligation to reach 20% of its energy mix from renewable sources by 2020 (EU, 2008).

Biomass, obtained from dedicated energy crops or as a by-product of agricultural, forest management and industrial activities, has an important role to play in this transformation. Biomass energy technologies are usually grouped into two categories: biological (such as fermentation and anaerobic digestion); and thermochemical (including combustion, gasification and pyrolysis). In the latter group, biomass combustion for power generation has reached a high degree of maturity, as evidenced from the large number of plants currently in operation worldwide (Van den Broek et al*., 1996).*

In Italy about 2 million ha are dedicated t ovine cultivation and every year about 2.85 million tons of biomass residue from the pruning of olive groves, vineyards and other orchards are available. The management of waste material from the pruning of vineyards and olive groves is often a problem for farmers who have to resort to burning to dispose of on site or to landfill. The first practice has, however, the disadvantage of increasing air pollution, on the one hand, and other non-observance of legal provisions which allow burning when health problems have been determined. Pruning wood is usually cut and left in the field as organic mulching and in bibliografy has reported an estimated whole cost for pruning treatment of 75 € ha-1. The burning in field is often forbidden due to smoke, dusts and odours.

Old plants can be burnt in domestic stoves but roots must be delivered to landfill site. The burial of residues, however, permits the development of potential inoculums present in the wood, contaminating healthy plants with various diseases. Both problems can be stopped if you decide to give a first value and economic efficiency, then the vine,

through a collection in their transformation into round or square balers or wood chips or pellets, to be used also for domestic boilers or for big boilers. This oppurtinity can be seized only if the biomass is delivered to the end user within set price limits.

The baling or shredding of these shoots must, however, to allow a margin of income for farmers who decide to take this route and what is possible when you rely on machines with good operational capacity, reliable and able to move easily even in narrow rows and headlands along the dimensions.

The objectives of that study was to test four types of machines, available on the market for the recovery of pruning waste, in order to define the best working conditions aimed at reducing the collection costs and to evaluate the more convenient technical setting of the machines in the field.

The results showed an interesting profit margin for farmers who decide to manage the waste in this way of pruning. Income can be increased thanks to the choice of machines suitable to the conditions of topography of the area and meet the needs of the vineyard studied.

On the economics side, the cost of residues management under favourable conditions (short forwarding distance and efficiency machineries) plays a crucial role in the choosing of recovering the pruning waste for energy use.

This cost compares favourable with the price currently offered for energy biomass in Italy, which can reach 50-55 € t^{-1}, delivered to the plant.

Keywords: *pruning, residues, balers, energetic use.*

Introduzione

Il contesto energetico italiano è caratterizzato dalla forte dipendenza dall'estero per l'approvvigionamento energetico. Il 15% dell'elettricità consumata nel nostro paese è, infatti importata, così come l'80% delle materie prime energetiche. In questa situazione l'assetto economico del paese è in condizione di permanente instabilità dovuta alle continue oscillazioni del prezzo dei combustibili fossili.

Inoltre, le criticità legate alla decrescente disponibilità delle fonti energetiche di origine fossile, nonché alla loro distribuzione geografica in aree politicamente instabili, unitamente alle ingenti problematiche ambientali a scala globale, hanno indotto una crescente attenzione verso la ricerca di fonti energetiche alternative intravedendo all'interno di queste il ruolo cruciale che può essere svolto dalle biomasse. Le biomasse si trovano pressappoco ovunque, anche se in qualità e quantità diverse; sono facilmente accessibili e possono essere utilizzate con una vasta gamma di tecnologie (Amirante, Di Renzo, 1991).

Un'altra importante caratteristica delle biomasse è lo stretto legame con il territorio; sono largamente disponibili sul territorio e, pertanto, possono essere considerate una risorsa locale.

Il nuovo comparto delle bioenergie potrebbe, quindi, apportare benefici non indifferenti.

In particolare, le biomasse possono rappresentare una valida risorsa per il territorio agricolo della regione Basilicata, investita anch'essa dalle difficoltà causate dalla nuova politica agricola europea, che prevede nell'immediato futuro un taglio netto degli incentivi agricoli.

La recente politica energetica potrà apportare al nostro territorio una serie di importanti benefici ambientali, sociali, economici ed occupazionali e consentire all' agricoltura locale di rispondere meglio ai reali bisogni delle famiglie al fine di conservare il nostro patrimonio produttivo.

Come benefici economici abbiamo il risparmio delle spese per lo smaltimento dei residui di potatura, il risparmio delle spese per la corrente elettrica, il riscaldamento e il condizionamento in virtù della sostituzione dei vecchi impianti con i nuovi alimentati a biomasse, che non costituiscono un costo, essendo i biocombustibili scarti di lavorazione, la possibilità di ricavo dalla concessione dei certificati bianchi per la produzione di energia termica da fonte rinnovabile in misura equivalente ai m^3 di metano non consumati dall'utenza e la possibilità di ricavo dalla concessione dei certificati verdi per la produzione di energia elettrica da biomasse (0,28 € kWh^{-1} se l'impianto è al di sotto di 1 MW ed il bacino di approvvigionamento delle biomasse è al di sotto dei 70 Km).

La filiera di recupero delle biomasse residuali rappresenta un settore di fondamentale importanza in quanto consente di recuperare biomasse senza impegnare il terreno per colture energetiche, trasformando i residui da materiale di scarto gravato da costi di smaltimento, a prodotto energetico.

Infatti, nella gestione dei residui della potatura della vite, le pratiche più utilizzate sono la bruciatura, non sempre consentita, e la diretta trinciatura in campo per fornire sotto l'aspetto chimico una parte della necessaria sostanza organica al terreno, dando al sarmento un proprio valore intrinseco, a patto però che questa pratica non rappresenti una possibile veicolazione di patologie fungine.

Il recupero dei residui di potatura rappresenta un'opportunità per l'economia rurale. Affinchè la raccolta del residuo avvenga in maniera efficace è necessario, però, mettere in campo tecnologie efficienti ed economicamente convenienti, il cui utilizzo consenta di ricavare un reddito dalla raccolta e utilizzo a fini energetici dei sarmenti di potatura.

Materiali e Metodi

Le prove sperimentali di raccolta dei residui di potatura della vite hanno previsto il confronto di quattro differenti cantieri (Tab. 1) al fine di valutare la tecnologia più idonea fra 4 macchine, attualmente disponibili sul mercato, in termini tecnici ed economici.

Tabella 17 - I quattro cantieri messi a confronto nelle prove sperimentali.

	Operazione	Indicazione	Macchine testate
Cantiere 1	Raccolta con rastrello	manodopera	Trattrice Landini 63 kW + Rastrello artigianale.
		trattrice	
		rastrello	
	Imballatura	manodopera	Trattrice New Holland TL 66 kW + Imballatrice parallelepipeda Ripartrak Magnum 1500-1600.
		trattrice	
	Carico	manodopera	
		trattrice	
		rimorchio	
Cantiere 2	Trinciatura e Carico	manodopera	Trattrice Landini 85 63 kW + Trinciacaricatrice Berti/C; Trattrice New Holland TL 66 kW + Carrello.
		trattrice	
		trinciacaricatrice	
		rimorchio	
Cantiere 3	Imballatura	manodopera	Trattrice New Holland DT5586 63 kW + Imballatrice Leggera Caeb mod. Quick Power MP400/S 1230.
		trattrice	
		imballatrice	
	Recupero balle nel filare + Carico Balle	manodopera	Trattrice Same Dorado 90 63 kW + Cesto; Trattrice New Holland TL 66 kW + Carrello.
		trattrice	
		cesto	
		rimorchio	
Cantiere 4	Imballatura	manodopera	Trattrice New Holland DT5586 63 kW + Imballatrice Leggera Caeb mod. Quick Power MP400/S 1230.
		trattrice	
		imballatrice	
	Carico Balle	manodopera	Trattrice New Holland TL 66 kW + Carrello.
		trattrice	
		Rimorchio	

Il vigneto in cui sono stati testati i diversi cantieri di raccolta è situato nella zona nord-est della Basilicata al confine con la Puglia. Si estende su di una superficie pianeggiante di 1,34 ha, suddiviso in 58 filari, ed è coltivato da 30 anni con la varietà Aglianico a spalliera e con sesto d'impianto di 2,20 x 1,00 m, utilizzando il sistema a cordone speronato (con 4-6 speroni per cordone).

Grazie ad alcuni sopralluoghi, preliminari alle prove, è stata calcolata la biomassa fresca prodotta dal vigneto e nella tabella che segue si riportano i valori relativi a 3 filari (Tab. 2) localizzati in 3 differenti zone del vigneto, che si caratterizzano per una diversa rigogliosità delle piante. Dai dati raccolti è emerso che la produttività di sarmenti nel presente vigneto è stata pari a 2,7 t ha^{-1}.

Nel primo cantiere è stata sottoposta a prova l'imballatrice parallelepipeda Ripartrak 1500 (Fig. 1) che ha una larghezza di lavoro del raccoglitore di 145 cm e che si

adatta solamente al lavoro fuori dal filare. L'operazione di imballatura dei sarmenti, quindi, è stata effettuata alla testa del filare.

Tabella 2 - Sarmenti prodotti dal vigneto che ha ospitato le prove sperimentali.

SARMENTI PRODOTTI	**Piante** n.	**Peso sarmenti totale** (kg)	**Peso sarmenti per vite** (kg)
Filare n. 1	130	77	0,592
Filare n. 2	116	68	0,586
Filare n. 3	80	53,2	0,665

Figura 1 - Imballatrice parallelepipeda Ripartrak Magnum.

Figura 2 - Rastrello artigianale.

Durante le prove il materiale, precedentemente posizionato a bordo filare dopo esser stato raccolto grazie al passaggio con un trattore che montava posteriormente un rastrello (Fig. 2), è stato avvicinato al pick-up da un operatore munito di forca manuale e che spingeva tali sarmenti all'interno della imballatrice. Questi ultimi sono, in tal modo, condotti all'organo di taglio e successivamente spostati lateralmente nella camera di compressione a stantuffo che ne effettua la pressatura cui segue una legatura automatica con spago che, con un doppio passaggio, fissa la rilegatura. Una volta formata la balletta parallelepipeda, questa fuoriesce meccanicamente dal condotto d'uscita posteriore e cade al suolo. L'operatrice è stata collegata ad un trattore New Holland TL 66 kW turbo con motore Iveco NEF 4.500 cm^3 a regolazione meccanica.

Nel secondo cantiere la trinciatura dei sarmenti di vite è stata eseguita mediante la trinciacaricatrice BERTI Picker/C (Fig. 3), in grado di effettuare all'interno del filare la raccolta e la trinciatura dei sarmenti. Una volta agganciata la trinciacaricatrice al trattore, il trattorista posiziona il mezzo alla testa del filare ed inizia le operazioni preliminari di funzionamento e settaggio della macchina. La prima operazione consente di assicurare il corretto funzionamento di tutti i componenti della macchina e la corretta trasmissione del moto, invece la seconda serve a settare l'altezza di rac-

colta del pick-up in base alla superficie del terreno e viene effettuata mediante l'utilizzo del comando del sollevatore, posto a bordo del trattore.

Figura 3 - Trinciacaricatrice Berti/C.

Terminate le suddette operazioni, la macchina inizia le operazioni di raccolta, trinciatura e carico nel cassone. La Berti è una macchina operatrice di tipo semiportato, dotata di ruote proprie, necessarie a garantire la corretta altezza dal suolo e ad evitare rischi di impennamento della trattrice, dovuti al peso a pieno carico della macchina stessa. Presenta anteriormente un pick-up di raccolta, provvisto di denti rigidi di forma e disposizione tale da evitare il sollevamento di sassi e terra. Il materiale raccolto, viene successivamente introdotto nella camera di trinciatura, dove un rotore a martelli provvede al suo sminuzzamento. Il movimento di tale dispositivo genera un flusso d'aria che spinge il materiale nel contenitore posizionato posteriormente alla trinciatrice. Il contenitore è realizzato in lamiera stampata e lo scarico del trinciato viene effettuato tramite il sollevamento ed il successivo ribaltamento del contenitore, con l'ausilio di due martinetti idraulici. Il contenitore è delimitato superiormente da un coperchio, provvisto di fori per l'allontanamento di aria e polvere, che consente di ispezionare l'interno e che durante lo scarico, funge da scivolo per il materiale che viene convogliato nel rimorchio.

La particolare disposizione dei martelli e la loro distanza impediscono l'introduzione all'interno della macchina di pietre e sassi, consentendone l'utilizzo anche su terreni difficili.

Durante le prove, l'operatrice è stata collegata al trattore Same Dorado 90 da 63 kW con motore SDF Euro III a quattro cilindri Intercooler. Alcuni campioni di trinciato sono poi stati analizzati in laboratorio sia per verificarne l'uniformità di trinciatura sia per testarne il grado di umidità.

Nel terzo cantiere si è proceduto alla raccolta e all'imballatura dei sarmenti di vite utilizzando la rotoimballatrice leggera Quick Power MP/400S 1230 (Fig. 4).

Figura 4 - Imballatrice Leggera Caeb.

Terminate le operazioni di settaggio della macchina, questa ha iniziato l'operazione di raccolta procedendo ad una velocità di avanzamento della trattrice pari a 5 Km h^{-1}. Durante la fase di raccolta dei sarmenti, si è verificato un graduale riempimento della camera di compressione, del tipo a sezione fissa, dotata di dispositivi di imballatura a rulli di acciaio che consentono la compattazione in balle a "cuore tenero", in grado di garantire un uniforme passaggio dell'aria ed un'asciugatura naturale. Il riempimento della camera di compressione si conclude quando un segnale acustico avvisa il trattorista di arrestare il mezzo per consentire l'operazione di imballatura, rilegatura, rilascio della balletta nel caricatore montato direttamente sull'attrezzo.

La macchina è dotata di circuito idraulico a doppio effetto per l'apertura e la chiusura della camera di compressione, per consentire lo scarico delle balle prodotte mediante apertura del portellone posteriore.

L'imballatrice è stata collegata al trattore New Holland DT 5586 da 63 kW a quattro ruote motrici con motore Iveco Nef e dotata di trasmissione meccanica, che si presta molto bene all'azionamento della imballatrice leggera Quick Power MP400/S, infatti, grazie alla sua presa di potenza può disporre di una velocità di 540-1000 giri/minuto per fornire il giusto moto meccanico.

La macchina può produrre delle balle di circa 25-35 Kg, con la possibilità di variarne il peso aumentando o diminuendo la pressione all'interno della camera.

Dopo le operazioni di imballatura, si è proceduto al recupero delle balle, rilasciate all'interno dei filari, mediante un trattore Same Dorado 90 sul quale è stato montato un cesto per la raccolta (Fig. 5), all'interno del quale un operatore posizionava le ballette prelevate dal suolo.

Figura 5 - Cesto di raccolta ballette.

Figura 6 - Imballatrice Leggera Caeb con accumulatore.

Nel quarto cantiere, infine, è stata testata la seconda rotoimballatrice della ditta Caeb, munita di accumulatore di balle (rastrelliera di nove balle) per poter scaricare tutte le balle in testata ai filari ed evitare di rilasciarle nel filare (Fig. 6), al fine di ridurre i tempi di carico delle stesse. La macchina è identica a quella utilizzata nel terzo cantiere ma è munita di un a struttura in ferro di raccolta delle ballette prodotte e che avvolge il cassone della imballatrice.

Risultati

1° Cantiere

La prima prova è stata effettuata con l'utilizzo dell'imballatrice parallelepipeda Ripartrak Magnum 1600. Inotre, la prova ha interessato l'utilizzo di un rastrello applicato al trattore per la raccolta dei sarmenti presenti e la formazione di un cumulo di sarmenti alla testa del filare in prossimità della imballatrice che realizzava le balle parallelepipede.

In questo primo cantiere sono state prodotte 10 balle con dimensioni e pesi variabili, a seguito di differenti regolazioni della camera di compressione, da 30 a 40 Kg, per una quantità totale di 351,3 Kg e un peso medio pari a circa 35 kg. In termini operativi, la macchina ha dimostrato una buona affidabilità e un prodotto ottimale sia per le dimensioni che per la forma parallelepipeda che consente una movimentazione e uno stoccaggio del prodotto più agevoli rispetto alle balle cilindriche. Sebbene alimentata manualmente, la macchina ha richiesto 40 secondi per la realizzazione di ogni singola balla, mostrando una buona capacità operativa tale da consentire la produzione di 90 balle in un'ora.

In termini economici, sulla base della capacità operativa calcolata, è emerso un costo di 36,00 € per la produzione di 1 t di sarmenti imballati e un costo unitario di una rotoballa pari a 1,10 € (Tab. 3).

Tabella 3 - Capacità operativa e costi del primo cantiere.

Cantiere 1	Operazione	Capacità operativa (ha h^{-1})	Capacità operativa (t h^{-1})	Produzione (Balle h^{-1})	Costo orario (€ h^{-1})	Costo Prodotto (€ t^{-1} s.f.)		Costo unitario balla (€)
In linea	Raccolta con rastrello	2,3	3,9		27,20	7,00	**36,00**	**1,10**
	Imballatura	**1,7**	**2,9**	**90**	**39,10**	**13,00**		
	Carico	2,0	3,4		53,20	16,00		

2° Cantiere

La velocità di avanzamento della macchina è stata di 5 Km h^{-1} che, però, risultando una velocità eccessiva è stata successivamente ridotta a 3,5 Km h^{-1} per consentire di ottimizzare la lavorazione, al fine di convogliare all'interno della trinciatrice tutti i sarmenti presenti nell'andana. La riduzione della velocità di avanzamento si è resa necessaria anche per la larghezza della macchina stessa al fine di evitare eventuali urti tra filare e macchina.

Il tempo occorso per l'operazione di ciascuna andana è di 3' alla velocità di 4,5 Km h^{-1} e di 3'40" per la seconda parte dell'operazione eseguita alla velocità di 3,5 Km h^{-1}, il tempo complessivo di lavorazione sulle tre andane è stato di 9'40".

A questi tempi vanno sommati i tempi impiegati per le tre svolte con una media di circa 40" ciascuna. Si è rilevata una certa differenza di tempi di svolta tra i due lati dell'impianto per la diversa ampiezza dei margini del vigneto.

Il tempo complessivo di raccolta sulle tre andane (6 filari) è stato calcolato in 12', dato dai tempi di svolta pari a 1'50" da sommare al tempo impiegato per l'operazione nei filari, con un aumento del 5% per imprevisti.

Dall'analisi della pezzatura del prodotto trinciato, è emersa la presenza di elementi lignei di diversa lunghezza. Questa circostanza ha suggerito l'individuazione di 6 classi di lunghezza in grado di rappresentare percentualmente il campione.

La maggior parte del prodotto, pari a circa il 90%, presenta una pezzatura compresa fra 1 e 10 cm, mentre il restante 10 % è costituito in parte da elementi con lunghezza superiore a 10 cm ed in parte da elementi con lunghezza inferiore ad 1 cm (Tab. 4). Tale circostanza, nel caso di un impiego del prodotto in caldaia, induce ad alcune considerazioni.

Gli elementi della classe 1, per le ridotte dimensioni e peso, potrebbero non entrare in combustione, perché allontanati dall'aria primaria della caldaia. Questo comporterebbe una perdita media di circa il 4,4% del prodotto.

Tabella 4 - Classi di pezzatura del trinciato.

1. Lunghezza [10^{-2}m] 0 ≤ L ≤ 1
   Percentuale 4,7%

2. Lunghezza [10-2m] 1 ≤ L ≤ 3
   Percentuale 20,9%

1. Lunghezza [10-2m] 3 ≤ L ≤ 5
   Percentuale 28,8%

2. Lunghezza [10-2m] 5 ≤ L ≤ 7,5
   Percentuale 25,9%

1. Lunghezza [10-2m] 7,5 ≤ L ≤ 10
   Percentuale 13,6%

2. Lunghezza [10-2m] 10 ≤ L ≤ 20
   Percentuale 6,1%

Mentre gli elementi della classe 6, per le maggiori dimensioni, potrebbero creare problemi di trasferimento con la coclea, dal silo alla caldaia.

Successivamente per il calcolo dell'umidità, sono stati prelevati 5 campioni di trinciato e sottoposti per 48 ore ad una temperatura di 60°C in forno.

Con i dati rilevati è risultata un'umidità media del 46%, in linea con i valori riportati in letteratura pari al 50%.

Tabella 5 - Capacità operativa e costi del secondo cantiere.

Cantiere 2	Operazione	Indicazione	quantità	Costo **(€/ora)**	tempo di esecuzione **(ora)**	Costo raccolta e imballatura **(€/ha)**	Totale **(€/t s.f.)**	Totale **(€/q s.f.)**
In linea	Trinciatura e Carico	manodopera	2	12,50	0,55	22,92	63	6,3
		trattrice	2	14,08	0,55	25,81		
		trinciacaricatrice	1	8,08	0,55	7,41		
		rimorchio	1	1,65	0,55	1,51		
		con una produttività di 1,40 t/ha il costo del trinciato risulta					41	4,1

Relativamente alla macchina, questa prova ha evidenziato alcuni elementi di criticità, riconducibili non alla qualità tecnica della macchina, ma probabilmente alla cattiva regolazione della stessa rispetto alle condizioni del terreno, riportando come ben illustrato in tabella 5, una resa di trinciato di 0,91 t ha^{-1}, troppo bassa rispetto alle rese delle prove successive oscillanti da 1,60÷1,80 t ha^{-1}. Dall'analisi di questo cantiere è emersa sia da un punto di vista tecnico sia da un punto di vista economico la ridotta convenienza alla trinciatura dei sarmenti, attribuibile alle dimensioni della macchina pari a 1,7 m che sono risultate poco adatte al sesto d'impianto del vigneto. Inoltre, in conseguenza di una disordinata disposizione dei sarmenti in andana ed una imprecisa regolazione della macchina operatrice, la produzione raccolta registra una perdita di materiale rispetto alla produzione raccoglibile di circa il 40%. Dall'analisi dei dati risulta una bassa produzione ed un conseguente costo elevato del trinciato pari a 63,00 € t^{-1}.

Se invece ipotizziamo la resa minima di 1,70 t ha^{-1} decurtato del 20% di sfrido, otteniamo una quantità di trinciato di 1,40 t ha^{-1} con un conseguente costo di 41,00 € t^{-1}.

3° Cantiere

La seguente prova è stata realizzata con la rotoimballatrice leggera Caeb priva dell'accumulatore che procedeva ad una velocità di avanzamento pari a 5 km h^{-1} e produceva una balla nell'arco di 50". I tempi di svolta sono di 20-25 sec e risultano ridotti rispetto alla trinciacaricatrice per la maggiore maneggevolezza che presenta questa. Le perdite dovute a non raccolta del prodotto a terra non sono state, invece, registrate utilizzando l'imballatrice leggera Caeb testata nel terzo e nel quarto cantiere rispettivamente senza e con caricatore per l'accumulo delle ballette, grazie alle

compatte dimensioni della macchina la cui larghezza di lavoro è pari a 1,33 m, rispetto alla larghezza del filare di 2,2 m, questo ha consentito di mantenere una velocità di avanzamento pari a 3,5 km h^{-1} e soprattutto di avere tempi di voltata ridotti pari a 22 secondi in media. Il costo sostenuto per la realizzazione di una balletta rimane contenuto e simile a quello calcolato utilizzando la Ripartrak. Il costo calcolato per ciascuna balla del peso medio di 26-28 kg è di 1,08 € $balla^{-1}$ (Tab. 6).

Tabella 6 - Capacità operativa e costi del terzo cantiere.

Cantiere 3	Operazione	Indicazione	quantità	Costo **(€/ora)**	tempo di esecuzione **(ora)**	Costo raccolta e imballatura **(€/ha)**	Totale **(€/t s.f.)**	Costo unitario balla **(€)**
In linea	Imballatura	manodopera	1	12,50	0,70	14,58	40	1,08
		trattrice	1	8,00	0,70	9,33		
		imballatrice	1	8,08	0,70	9,43		
	Recupero balle nel filare + Carico Balle	manodopera	2	12,50	0,45	18,75		
		trattrice	1	14,08	0,45	10,56		
		cesto	1	0,60	0,45	0,45		
		rimorchio	1	1,65	0,45	1,24		

4° Cantiere

La quarta prova è stata realizzata con la rotoimballatrice Caeb Quick Power 1230 di recente realizzazione e che si caratterizza per la presenza di un meccanismo per il trasferimento meccanico delle balle direttamente in un accumulatore sovrapposto alla stessa imballatrice. La macchina ha lavorato ad una velocità di avanzamento di 4 Km h^{-1}. Il costo più basso per la realizzazione di una balletta lo si è ottenuto utilizzando proprio questa macchina. Il vantaggio in termini di produttività dell'intero cantiere è importante grazie alla eliminazione dei costi di recupero nel filare delle balle, in quanto la macchina stessa deposita le balle al capofila del filare. Il costo a tonnellata è determinato in 34,00 € t^{-1} con un costo per ciascuna balla, del peso di 26-28 Kg, di 0,92 € (Tab. 7).

Sulla base del confronto fra i due diversi modelli Caeb si evince una buona capacità operativa di entrambe, tant'è che il modello senza accumulatore realizza 50 balle ogni ora rispetto al modello con accumulatore che ne realizza 45. Questa differenza del 10% si deve ricercare nella manovrabilità leggermente inferiore che caratterizza il modello con accumulatore che, sia per peso (800 kg rispetto ai 550 kg del modello senza caricatore delle ballette) sia per ingombro, dato dalla struttura metallica di raccolta delle balle, tende ad essere più lento nelle fasi di voltata e di manovra. Passando, invece, a valutazione economiche si registra quanto la manodopera impiegata per il recupero ed il carico delle ballette, incida sulla determinazione del costo per tonnellate del prodotto imballato che risulta di 40,00 € t^{-1}, rispetto a 34,00

€ t^{-1} del modello con accumulatore, con una differenza di costo delle ballette realizzate con le due diverse macchine di 0,16 €.

Tabella 7 - Capacità operativa e costi del quarto cantiere.

Cantiere 4	Operazione	Indicazione	quantità	Costo **(€/ora)**	tempo di esecuzione **(ora)**	Costo raccolta e imballatura **(€/ha)**	Totale **(€/t s.f.)**	Costo unitario balla **(€)**
In linea	Imballatura	manodopera	1	12,50	0,75	15,63	34	0,92
		trattrice	1	14,08	0,75	17,60		
		imballatrice	1	9,00	0,75	11,25		
	Carico Balle	manodopera	2	12,50	0,20	8,33		
		trattrice	1	14,08	0,20	4,69		
		rimorchio	1	1,65	0,20	0,55		

Discussione e conclusioni

Il confronto fra i diversi cantieri testati ha sottolineato la necessità di organizzare e dimensionare gli stessi in maniera ottimale in base alle caratteristiche orografiche del territorio, al sistema d'impianto e di allevamento del vigneto.

La prova effettuata con la trinciacaricatrice, nonostante gli imprevisti tecnici avuti durante la sperimentazione (dovuti ad un errore di settaggio della macchina), si ritiene che non offra buona adattabilità al vigneto oggetto delle prove, a causa della sua mole, che mal si adatta all'orografia del nostro territorio, delle ridotte estensioni dei vigneti e della struttura dei nostri impianti, tant'è che a riguardo si ritiene la macchina più idonea per vigneti con impianti più ampi ed estesi.

Inoltre il prodotto presenta degli inconvenienti come già descritto, dovuti ad una certa eterogeneità che può comportare nel caso del prodotto più piccolo (classe 1) una perdita di combustibile ed un contenuto di umidità elevato (circa del 50%) che può nella fase di stoccaggio del materiale attivare processi spontanei e formazione di muffe.

Nel caso delle imballatrici bisogna fare un'attenta osservazione relativamente alle condizioni del vigneto all'interno del quale si opera. L'imballatrice parallelepipeda (Ripartrak Magnum) ad esempio, a causa della sua larghezza di 2,4 m è risultata troppo ampia per poter lavorare all'interno del vigneto in oggetto ed è quindi stata posizionata al margine del filare grazie al fatto che le condizioni di spazio e di pianura consentivano tale soluzione. Tale limite insito alla macchina si potrebbe però compensare qualora si ritenesse prioritario realizzare delle balle quadre la cui movimentazione e il trasporto risultano sicuramente più agevoli nonché la perdita di umidità più uniforme e veloce rispetto a quanto si verifichi nel caso delle ballette cilindriche.

Le imballatrici leggere e compatte, invece, non presentano il problema di manovrabilità, in quanto, vista la loro leggera struttura possono essere sollevate tramite l'attacco a tre punti del trattore, facilitando le operazioni di manovra, soprattutto in condizioni di terreni collinari (ove generalmente sorgono i vigneti nella provincia di Potenza) e le operazioni di trasferimento della macchina.

Dalle prove effettuate con le due rotoimballatrici leggere (Caeb) è risultata una notevole convenienza nell'utilizzo della rotoimballatrice con accumulatore, poiché tale attrezzatura elimina l'operazione di raccolta delle ballette all'interno del filare, riducendo i costi che passano da 1,08 € per ogni balletta a 0,92 €. Inoltre, l'imminente realizzazione a circa 20 km dalla zona, in cui sono state svolte le prove, di una centrale termica rappresenterebbe un ottimo investimento per gli agricoltori che uniti in consorzi potrebbero acquistare le macchine e riuscire a collocare immediatamente i sarmenti imballati ad una cifra, ancora ipotetica, ma probabile di circa 2,50 € per ogni balletta.

Dal punto di vista della destinazione finale del prodotto possono cambiare le valutazioni in merito alla convenienza ad effettuare la trinciatura o l'imballatura. In un'ottica di combustione in caldaia, appare preferibile l'utilizzo del prodotto trinciato, in quanto la sua movimentazione dal silo di stoccaggio, può facilmente essere realizzata con sistemi automatici, tipo vite senza fine.

Più complesso appare il rifornimento automatico di balle ad una caldaia, in quanto andrebbe progettato anche il sistema di prelievo di queste ultime ed il loro posizionamento su un nastro mobile che le conduca in caldaia.

Ringraziamenti
Si ringraziano:

- Il Dottor Giuratrabocchetti, per la gentilissima collaborazione e per la profusa disponibilità;
- Il Signor Paulangelo della ditta Paulangelo s.r.l. per la continua disponibilità tecnica;
- Il Signor Lippolis Giuseppe della Ditta Ripartrack.

Bibliografia

Amirante P., Di Renzo G.C., Scarascia Mugnozza G., "Interventi per il risparmio energetico e per l'utilizzazione delle energie rinnovabili in agricoltura", Riv. Tecnopolis, giugno 1984.

Amirante P., Di Renzo G.C., Pellerano A., "Aspetti tecnologici dell'essiccazione e densificazione delle biomasse", Atti del Convegno di Meccanica Agraria, Perugia, 11 - 12 giugno, 1985.

Amirante P., Di Renzo G.C., Pellerano A., "Prove sperimentali di bricchettatura di biomasse ligno-cellulosiche", Atti del Convegno di Meccanica Agraria, Perugia, 11 - 12 giugno, 1985.

Amirante P., Di Renzo G.C., "Sottoprodotti vegetali: una fonte di energia da recuperare", Riv. Terra e Vita n. 40, ottobre, 1985.

Amirante P., Di Renzo G.C. "Experimental tests on a prototype machine for harvesting forestry trimming wastes", in Biomass Energy, Elsevier Applied Science, 1987.

Amirante P., Di Renzo G.C., "Tecnologie e impianti per il riciclo delle biomasse di rifiuto e di scarto", atti del convegno S.I.C.A. "BIOMASS '91", Bari, 6-7 giugno, 1991, Ed. Patron, Bologna, 1991.

EU, 2008. Climate action and renewable energy package, 17 December 2008, COM(2008)0019–2008/0016(COD).

Del Río P., 2009. Interactions between climate and energy policies: the case of Spain. Climate Policy, 9(2), 119–138.

Porceddu P.R., Babucci V., 2007. Soluzioni tecniche per le caldaie a biomassa domestiche – Estimo e Territorio n. 1.

San Miguel G., del Río P., Henández F., 2010. An update of Spanish renewable energy policy and achievements in a low carbon context, Journal J. Renewable Sustainable Energy **2**, 031007 (2010).

Spinelli R., Nati C., Magagnotti N., Civitarese V., 2006. Produrre biomassa dai sarmenti di vite. L'Informatore Agrario n° 28: 36-39.

Van den Broek R., Faaij A., van Wijk A., 1996. Biomass combustion for power generation, Biomass and Bioenergy, 11(4), 271-281.

C - Stima del potenziale di biomassa agro-forestale da residui agricoli e forestali in Basilicata

Estimation potential of agroforestry biomass from agricultural and forestry waste in Basilicata

Paola D'Antonio*, Carmen D'Antonio*, Vito Doddato*

Riassunto

Lo sviluppo sociale, economico e ambientale che ha caratterizzato gli ultimi anni, impone di adottare nuove politiche mirate alla programmazione concreta di strategie di sviluppo sostenibile. La crescita di tutti i Paesi, dipende dalle disponibilità energetiche su cui poter fare affidamento; le fonti energetiche maggiormente utilizzate sono quelle di origine fossile (petrolio, carbone e metano), che sono i principali responsabili dei mutamenti dovuti alla crescita dell'effetto serra. È ormai necessario puntare a soddisfare una quota della domanda attuale di energia attraverso alcune misure come l'ottimizzazione dell'efficienza energetica e il ricorso alle fonti rinnovabili. Tra quest'ultime, va riconosciuta l'importanza delle biomasse costituite da scarti di origine agricola, forestale e industriale, oppure prodotte da colture dedicate i cui benefici, derivanti dalle biomasse, comprendono la riduzione delle emissioni di CO_2, la tutela della fertilità dei suoli, l'aspetto idrogeologico, la qualità delle acque, l'estetica paesaggistica e non in ultimo il ritorno economico a livello aziendale. L'oggetto di analisi del presente studio si indirizza non solo verso la valutazione della parte residuale delle piante, ma anche ad un'attenta analisi riguardante il biogas andando a valutare non solo le tipologie di allevamento, differenziandoli per specie allevata, ma anche andando a stimare le quantità di biogas recuperabili con l'analisi quali- quantitativa delle deiezioni. Altro aspetto impor-

* Dipartimento Tecnico Economico per la gestione del territorio agricolo e forestale, Potenza.

tante è l'analisi degli scarti dell'industria agro- alimentare della regione con riferimento al comparto lattiero caseario.

Parole Chiave: fonti rinnovabili, biomassa, disponibilità, residui, Basilicata.

Abstract

The steady rise of the social, economic and environmental impacts that occurred in recent years, requires the adoption of new policies aimed at the concrete planning of sustainable development strategies. The growth of all countries, depends on the availability of energy you can rely on; energy sources are those most commonly used fossil fuels (oil, coal and natural gas) which are mainly responsible for the changes due to the growth of the greenhouse effect. Most countries in the world are taking measures aimed at reducing their energy dependence on fossil fuels (coal, petroleum and natural gas). The purpose of this is twofold: on the one hand, the limitation of greenhouse gas emissions responsible for global warming; on the other, a reduction in the exposure to economic risks associated with the rising prices of these increasingly scarce natural resources. A cost-effective approach to meet these objectives requires implementing energy efficiency practices and also giving priority to low-carbon technologies, including renewable energies sources (Del Río, 2009; San Miguel et al., 2010). As an example of the extent to which these measures are going to affect our future, the European Union (EU) recently agreed on an ambitious "Plan on Climate Change" *that includes a binding obligation to reach 20% of its energy mix from renewable sources by 2020 (EU, 2008).*

Biomass, obtained from dedicated energy crops or as a by-product of agricultural, forest management and industrial activities, has an important role to play in this transformation. Biomass energy technologies are usually grouped into two categories: biological (such as fermentation and anaerobic digestion); and thermochemical (including combustion, gasification and pyrolysis). In the latter group, biomass combustion for power generation has reached a high degree of maturity, as evidenced from the large number of plants currently in operation worldwide (Van den Broek et al.*, 1996).*

It would be needed to aim to satisfy a portion of the current demand for energy through measures such as optimizing energy efficiency and the use of renewable sources. Among the latter, it must be recognized the importance of biomass consisting of agricultural waste, forestry and industry, or produced from dedicated crops whose benefits derived from biomass, including the reduction of CO2 emissions, protection of soil fertility, the appearance of hydrogeological, water quality, landscape aesthetics, and not least the return on investment across the enterprise. The object of analysis of this study is directed not only towards the evaluation of the residual portion of the plants, but also a careful analysis concerning the biogas going to examine not only the types of farming and differentiated by species bred, but also going to estimate the recoverable amount of biogas with the quantitative analysis of the manure. Another important aspect is the analysis of agro-food waste in the region with reference to the dairy sector.

Keywords: *renewable sources, biogas, residual, Basilicata.*

Introduzione

Il costante sviluppo sociale, economico ed ambientale che ha caratterizzato gli ultimi decenni, impone l'adozione di una programmazione basata su strategie sostenibili, considerando che la crescita in termini di PIL di tutti i Paesi, dipende dalle disponibilità energetiche su cui poter fare affidamento. Le fonti energetiche maggiormente utilizzate sono quelle di origine fossile (petrolio, carbone e metano), ma tali fonti energetiche sono le principali responsabili dei mutamenti dovuti alla crescita dell'effetto serra. Sarebbe auspicabile puntare a soddisfare una quota della domanda attuale di energia attraverso misure quali l'ottimizzazione dell'efficienza energetica e il ricorso alle fonti rinnovabili. Tra quest'ultime, va riconosciuta l'importanza delle biomasse che sono ampiamente disponibili sul territorio e per la possibilità che offrono di sostituire i combustibili tradizionali nelle loro forme fisiche come biocombustibili solidi, liquidi e gassosi. La biomassa è sostanza organica vegetale che deriva direttamente o indirettamente dalla fotosintesi clorofilliana, escluse quelle fossilizzate perché hanno un periodo di rinnovabilità troppo lungo. Le biomasse destinabili alla produzione di energia possono essere costituiti da scarti di origine agricola, forestale e agroindustriale (Amirante e Di Renzo, 1988), oppure prodotte da colture dedicate. I benefici derivanti dalle biomasse comprendono la riduzione di emissioni gassose incontrollate, la tutela della fertilità dei suoli, l'aspetto idrogeologico, la qualità delle acque, l'estetica paesaggistica e non ultimo il ritorno economico a livello aziendale che deriva dall'uso di materiali considerati "rifiuti" e quindi da smaltire.

Il nostro Paese, nell'ambito del *Climate package* europeo, ha degli obiettivi ambiziosi di incremento della quota di energia prodotta tramite fonti rinnovabili dove, come ha affermato recentemente il presidente dell'Autorità per l'energia elettrica e il gas, le biomasse dovranno necessariamente ricoprire un ruolo centrale. Molti osservatori ritengono che in Italia il settore del biogas crescerà analogamente a quanto è accaduto negli anni recenti in altri Paesi europei. Mentre per il settore delle biomasse lignocellulosiche molti sono stati gli studi nazionali, regionali e locali che hanno definito e valutato il potenziale (Colonna e Croce, 2009), per le biomasse fermentescibili di origine zootecnica vi sono alcuni studi locali (AA.VV., 2008; Pear Latina, 2008), regionali (Rossi e Piccinini, 2007; Alfano *et al.*, 2010) e uno solo nazionale i cui risultati, datati 2004, si riferiscono all'Italia intera e a tre comparti: quello bovino, suinicolo e avicolo. Data però la natura delle politiche (Pianificazione energetica, Sviluppo rurale) appare estremamente utile disporre di dati e di informazioni a un maggior livello di dettaglio. Conoscere, infatti, la distribuzione territoriale del potenziale energetico delle biomasse e le sue caratteristiche possono consentire l'adattamento delle politiche e della legislazione sia nel settore energetico sia ambientale e dello sviluppo rurale, al fine di tradurlo in una reale opportunità, valutandone anche i benefici associati. Nell'ambito di un accordo di programma sulla Ricerca sul sistema elettrico, il Ministero dello sviluppo economico ha dato all'Enea il compito di realizzare il Censimento nazionale del potenziale energetico delle biomasse e un Atlante delle

biomasse. La filiera agro-zootecnica del biogas è oggetto di una grande attenzione nel nostro Paese soprattutto in quelle aree ove un'imprenditoria agricola dinamica e capace di innovare ha già cominciato a trasformare i propri scarti in un'opportunità, investendo su tecnologie consolidate che accoppiano un digestore anaerobico ad un motore a combustione interna e consentono agli agricoltori di soddisfare da una parte le loro esigenze termiche e dall'altra di mettere in rete l'energia elettrica prodotta garantendo un ritorno economico all'investimento realizzato. L'affidabilità della tecnologia, dimostrata dalle migliaia di impianti realizzati e attivi in tutta Europa, insieme alle nuove norme di incentivazione che, dopo un lungo periodo di incertezza attuativa, hanno oggi, con gli ultimi provvedimenti legislativi, sufficienti caratteristiche di semplicità, chiarezza e stabilità, dovrebbero far crescere rapidamente il numero di impianti per la produzione di biogas anche in Italia. In questo senso assume particolare valore la disponibilità di stime aggiornate, pur se con dettaglio limitato ai confini provinciali, in grado di aiutare il decisore pubblico a comprendere in quali aree sussistano le condizioni minime per lo sviluppo della filiera biogas basata su biomasse locali, aree nelle quali presumibilmente si avrà nel breve periodo un numero elevato di richieste di autorizzazione all'allaccio al sistema elettrico di nuovi impianti di produzione di energia alimentati a biogas. Le biomasse idonee ad essere trasformate, tramite la digestione anaerobica, in biogas sono molte ed eterogenee. L'elenco di quei residui, scarti e sottoprodotti che, per caratteristiche fisiche e chimiche (rapporto C/N, contenuto idrico, tenore di zuccheri, componenti antifermentativi), sono idonei alla digestione tal quali o alla codigestione con altre biomasse è ampio, ma solo alcuni di essi, per quantità, qualità, distribuzione territoriale e facilità di concentrazione e trasporto, assumono un rilievo nazionale e sono stati quindi oggetto della analisi riportata nel presente lavoro. Le biomasse di interesse per la produzione di biogas sono prevalentemente quelle di scarto originate dai settori:

- Zootecnico (deiezioni solide e liquide degli allevamenti);
- Agroindustriale (scarti della lavorazione e trasformazione dei prodotti agricoli);
- Produzione agricola (residui colturali dal settore ortofrutticolo e dei seminativi).

Poiché ogni biomassa è originata da un particolare e specifico processo produttivo, per realizzare una stima quantitativa è necessario disporre di dati, informazioni e parametri sufficientemente dettagliati e di qualità circa il processo che ci consente di giungere ad un risultato con un buon grado di attendibilità. Questi obiettivi però non sono facilmente e contemporaneamente perseguibili, a livello nazionale, per biomasse di scarto eterogenee e per le quali mancano informazioni consolidate circa la produzione ed il reimpiego, per cui in alcuni casi non è stato possibile, a causa dei dati disponibili, conformarsi a tali obiettivi. Secondo la classifica dell'economia verde italiana redatta da Fondazione Impresa che ha calcolato l'Indice di *Green Economy* (Ige) emerge un dato fondamentale che vuole che la Basilicata si posizioni al secondo posto nella classifica nazionale per la produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili grazie ad un valore pari al 48,8 per cento.

Le fonti dei dati grezzi utilizzati per l'elaborazione Materiali e metodi

Per gli scarti di origine agricola, partendo dalla bibliografia di riferimento, sono stati acquisiti i dati dell'ISTAT e dell'ARBEA, e loro successive rielaborazioni.

Per l'analisi delle biomasse ricavate dal comparto forestale, è stata prevalentemente utilizzata la carta regionale forestale a cura dell'IFN.

Infine per il comparto zootecnico si e fatto riferimento ai dati dell' ENEA.

Gran parte dei dati utilizzati nel presente lavoro provengono da campagne di monitoraggio finalizzate alla caratterizzazione e alla valutazione economica dell'intero comparto agricolo- forestale. In ogni caso, per quanto riguarda la Regione Basilicata, i dati sono stati sottoposti a verifiche a campione e ad indagini specifiche, per un opportuna validazione, nonché per una valutazione quantitativa e qualitativa dei reflui e degli scarti derivanti dall'industria agro alimentare e precisamente del settore lattiero caseario.

Tabella 1 - Biomasse agricole considerate e sottoprodotti relativi.

Coltura		Sottoprodotto principale	Sottoprodotto secondario
Cereali	Frumento tenero e duro	paglia	-
	Orzo	paglia	-
	Avena	paglia	-
Vite		residui di potatura	
Olivo		residui di potatura	
Fruttiferi (arancio, melo, pesco, pero,…)		residui di potatura	legna da espianto a fine ciclo

L'analisi del presente studio ha come obiettivo la valutazione della componente residuale delle piante, escludendo le radici, le stoppie e il materiale troppo fine, non recuperabile (Tab. 1). I sottoprodotti secondari non sono stati considerati all'interno del presente piano di approvvigionamento in quanto si ritiene non sia una risorsa disponibile. Infatti, le stime presentate dall'ENEA (ENEA, 2001) indicano che circa il 90-95% della biomassa proveniente dall'espianto delle colture arboree (vite, agrumi, fruttiferi) sia già utilizzata a fini energetici (principalmente come legname per il riscaldamento domestico). Per il sottoprodotto principale si è riscontrato sia dalle esperienze nazionali, così come emerso dall'indagine regionale sia, nella pratica comune, dopo la fase di potatura, che i residui legnosi vengono trinciati in pieno campo o bruciati ai margini degli impianti. L'impiego di tali scarti per fini energetici ha iniziato a suscitare l'interesse del mondo scientifico a partire dagli anni ottanta. Le ricerche sono state indirizzate verso la risoluzione di problematiche riguardanti la meccanizzazione della raccolta del sottoprodotto, all'essiccazione e stoccaggio delle biomasse, alla trasformazione delle stesse in energia sfruttabile o come calore, o come elettricità o come biocombustibili da impiegarsi per l'autotrazione. La biblio-

grafia che riguarda la stima dei residui delle colture arboree (Amirante P. e Di Renzo G.C., 1985; Spinelli R., 2004) è molto ricca di casi di studio, anche relativi ai contesti dell'area in esame o, comunque, riguardanti aree simili in termini di condizioni pedo-climatiche, di varietà e di trattamenti adoperati.

Risultati e discussione

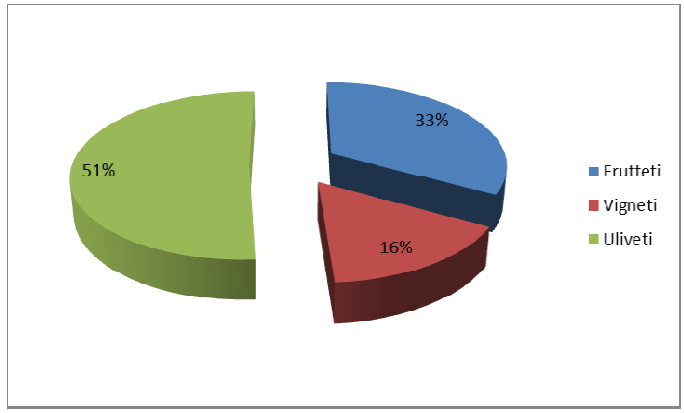


Grafico 1 - Distribuzione delle superfici a coltivazioni legnose agrarie in Basilicata, elaborazioni dati ISTAT.

Le coltivazioni legnose agrarie, in Basilicata, ricoprono una superficie pari 55.874 ettari con una netta predominanza degli uliveti (Graf. 1) che, con 28.749 ettari (ISTAT, 2001) contano il 51% del totale. Altro settore di antica tradizione e molto importante per il contesto lucano è quello viti-vinicolo. La superficie vitata a livello regionale è pari a 8.737 ettari (8% delle coltivazioni legnose) distribuita fra 23.800 aziende (ISTAT, 2001). In riferimento alle coltivazioni frutticole, invece, queste rappresentano il 32% (18.390 ha) delle superfici a coltivazioni legnose. Dal punto di vista territoriale la loro localizzazione è da ascriversi quasi esclusivamente all'area del metapontino, che concentra circa l'85% della produzione regionale, mentre la restante parte si concentra nella Val d'Agri. In riferimento alla cerealicoltura, essa, risulta presente su tutto il territorio agrario, fatta eccezione per alcune zone dove la produzione cerealicola è maggiormente vocata, come le zone della collina materana e quella del Bradano-Vulture-Melfese. La resa media regionale di frumento si aggira intorno ai 23 - 25 quintali per ettaro, con punte elevate che sfiorano i 30-40 quintali nelle aree a maggiore specializzazione produttiva. In relazione agli ordinamenti produttivi presenti in Basilicata, sono state considerate le seguenti fonti di approvvigionamento:

1. Potatura vigneti;
2. Potatura uliveti;

3. Potatura frutteti;
4. Residui delle coltivazioni cerealicole.

I residui di potatura

I residui derivanti dalle colture arboree sono costituiti principalmente da residui di potatura di uliveti, vigneti e frutteti, che vengono eseguite in epoche diverse secondo il ciclo biologico e produttivo delle colture, ricordando che due sono le metodologie atte alla raccolta di residui di potatura finalizzati alla produzione di bioenergia: l'imballatura o lo sminuzzamento che possono essere eseguite direttamente in campo. Nel primo caso si utilizzano macchine che provvedono alla raccolta, pressatura (in rotoballe o balle quadre) ed eventualmente carico del materiale, impiegando mezzi e tecnologie derivate dall'imballatura del foraggio, opportunamente modificate. Nel secondo caso, si utilizzano cantieri di raccolta meccanizzati che provvedono alla raccolta, trinciatura e carico del materiale in cassoni, pronti per il trasporto alla centrale. La possibilità di recuperare dei residui di potatura (sarmenti di vite, frasche di olivo, ramaglie di frutteti) per un loro utilizzo a fini energetici è legata alla possibilità di procedere alla raccolta del materiale e, quindi, in funzione alla densità d'impianto, alle modalità di potatura e al conseguente accrescimento delle piante (la forma di allevamento), nonché alla disposizione (grado di frammentazione e pendenza) del terreno. Per valutare la disponibilità di questa biomassa si è considerata come area di approvvigionamento l'intera regione Basilicata. Anche in questo caso, così come per la stima delle estensioni cerealicole, le fonti che eseguono valutazioni e censimenti per le colture arboree sono l'ISTAT e l'ARBEA. Comparando i due database (Tab. 2) è possibile notare che mentre i dati ISTAT sono presenti per tutte le categorie analizzate, i dati ARBEA mancano nella quantificazione delle superfici destinate a frutteti ed agrumeti. In termini di estensione di superficie, i dati ARBEA presentano una superficie inferiore, riportando, come già discusso per i cereali, le superfici soggette ad aiuto comunitario ed escludendo, quindi, le proprietà minori e le proprietà che non hanno effettuato la domanda di pagamento unico (Tab. 3). In ragione di queste considerazioni, per la quantificazione della biomassa potenzialmente recuperabile dalle attività di potatura, si è optato di scegliere le superfici riportate dall'ISTAT. L'impiego dei dati del censimento ISTAT del 2001, al contrario di quanto evidenziato per le superfici cerealicole, non comporta grandi scostamenti dalla realtà attuale, in quanto si tratta di colture meno soggette a consistenti modificazioni colturali nel breve periodo essendo a ciclo poliennale. Sono stati quindi rilevati gli ettari di uliveto, vigneto e frutteto, al fine di ottenere una spazializzazione del dato a livello regionale (Tab. 4).

Tabella 2 - Confronto dati ISTAT e ARBEA (dato in ettari) per la regione Basilicata.

	Uliveti	Vigneti	Frutteti	Agrumeti
ISTAT (anno 2001)	28.750,00	8.736,80	10.176,33	8.213,44
ARBEA (anno 2004)	22.656,52	3.284,34	-	-

Tabella 3 - Superfici agricole considerate e relativi sottoprodotti; elaborazione su dati Arbea.

Comunità Montana	**Cereali**	
	Superficie cereali	**Produzione paglia**
	ha	**t**
ALTO AGRI	670,75	1.341,50
ALTO BASENTO	2.377,43	4.754,86
ALTO BRADANO	18.667,78	37.335,56
ALTO SARMENTO	33,67	67,34
ALTO SAURO CAMASTRA	1.036,94	2.073,88
ALTO SINNI	452,07	904,14
BASSO SINNI	1.836,77	3.673,54
COLLINA MATERANA	4.504,03	9.008,06
LAGONEGRESE	15,35	30,7
MARMO PLATANO	657,51	1.315,02
MEDIO AGRI	995,29	1.990,58
MEDIO BASENTO	3.261,36	6.522,72
MELANDRO	208,45	416,9
VULTURE	17.163,40	34.326,80
Comuni privi di CM	38.133,48	76.266,96
Provincia di Matera	38.257,37	76.514,74
Provincia di Potenza	51.756,91	103.513,82
Totale Basilicata	**90.014,28**	**180.028,56**

Tabella 4 - Superfici agricole e relativi sottoprodotti potenzialmente realizzabili.

Comunità Montana	Vigneti		Uliveti		Frutteti	
	Superficie Vigneti	Scarti Vigneti	Superficie Uliveti	Scarti Uliveti	Superficie Frutteti	Scarti Frutteti
	ha	t	ha	t	ha	t
Alto Agri	489	1957	410	1026	338	845
Alto Basento	495	1671	502	1254	149	372
Alto Bradano	528	1415	1384	3461	36	90
Alto Sarmento	90	359	335	836	91	228
Alto Sauro Camastra	162	648	359	899	48	119
Alto Sinni	352	1407	1571	3928	290	725
Basso Sinni	217	1266	1572	3930	4286	10715
Collina Materana	48	191	2409	6023	198	496
Lagonegrese	425	1700	934	2336	267	666
Marmo Platano	361	1394	225	563	80	200
Medio Agri	143	571	1145	2862	158	396
Medio Basento	152	607	816	2040	14	35
Melandro	441	1764	869	2173	108	270
Vulture	2239	4065	3820	9550	876	2190
Comuni privi di CM	2504	13145	12319	30795	11261	28153
Provincia di Matera	2630	14391	15956	39890	15570	38924
Provincia di Potenza	6015	18309	12715	31788	2631	6576
TOTALE	**8645**	**32699**	**28671**	**71678**	**18200**	**45501**

Vigneti

I residui della vite sono costituiti sia dal volume dendrometrico dell'intera pianta, derivante dall'espianto del vigneto a fine ciclo, sia dai residui di potatura (i sarmenti) che vengono prodotti annualmente. Mentre la legna viene utilizzata prevalentemente per scopi energetici all'interno dell'azienda stessa, i residui di potatura sono per la maggior parte vengono bruciati a bordo campo oppure trinciati. Dalle analisi bibliografiche e dai riscontri diretti in campo si rileva che la produzione media di residui, è di circa 2,9 t ha^{-1} $anno^{-1}$ di residuo fresco.

Uliveti

La potatura degli uliveti, viene definita "di produzione", in quanto l'intervento colturale si attua quando la pianta fruttifica e consiste nel mantenere la forma di allevamento scelta per rinnovare e aiutare lo sviluppo dei rami produttivi, favorendo un'illuminazione in tutta la chioma allo scopo di ottimizzare la produzione del frutto. Le operazioni di potatura, così come per la vite, vengono eseguite alla ripresa vegetativa (febbraio-marzo). I residui delle operazioni di potatura sono attualmente destinati in parte al consumo interno dell'azienda agricola, nella frazione legnosa di maggiori dimensioni, mentre la componente di minori dimensioni viene allontanata

dal campo e bruciata. Dai dati e dalle esperienze realizzate sul territorio regionale è risultato che si rendono disponibili circa 2,2 t ha^{-1} $anno^{-1}$ di residuo fresco.

Frutteti

Per i frutteti,inclusi gli agrumeti della zona del metapontino, vale quanto già detto riguardo gli uliveti, anche se la cadenza degli interventi colturali e, pertanto, della produzione di residui accade annualmente. I rilievi effettuati hanno permesso di quantificare la produzione media di residui in circa 2,5 t ha^{-1} $anno^{-1}$ di residuo fresco.

I residui delle coltivazioni cerealicole

Le superfici destinate a tale pratica colturale sono oggetto di valutazione da parte di numerose agenzie e centri di ricerca, tra cui l'ISTAT (Istituto Nazionale di Statistica) che da una recente analisi effettuata su dati campionari, mostra che le superfici a cereali per la produzione di granella (frumento tenero e duro, segale, farro, orzo e avena) ammontano a poco meno di 198.000 ettari, distribuiti per il 22% in territori di montagna, per 73% in collina e per il rimanente 5% in pianura. Nel grafico 2 viene riportata la ripartizione percentuale della superficie investita a seminativi in Basilicata.

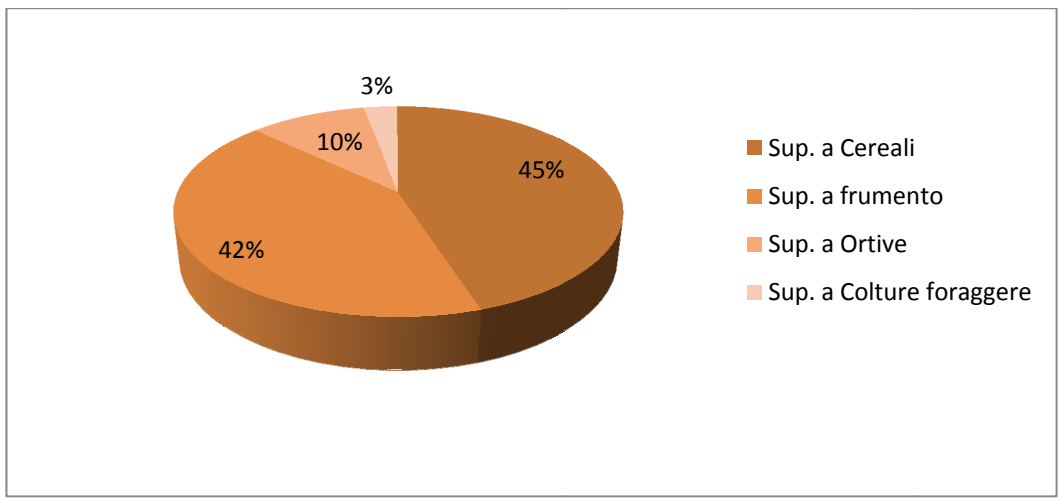


Grafico 2 - Ripartizione della superficie investita a seminativi in %.

Tabella 5 - Tipologie forestali distinte per aree (superfici in ettari); Elaborazione dati Carta Forestale Regionale, Regione Basilicata, 2006.

Area	Boschi di faggio	Pinete	Boschi di castagno	Querceti mesofili	Altri boschi di latifoglie mesofile	Arbusteti termofili	Boschi di pini mediterranei	Boschi di leccio	Macchia	Gariga	Formazioni igrofile	Piantagioni da legno e rimb.	Aree prive di vege-tazione	Totale
Alto Agri	4.067,20	2.372,60	2.414,90	20.886,90	3.813,00	5.253,50	1.694,70	-	127,1	-	1.101,50	211,8	423,7	42.367,00
Alto Basento	335	1.157,50	343,1	22.116,10	49,5	1.101,20	586,9	24,5	49	-	959,1	58,1	-	26.780,00
Alto Bradano	-	-	-	10.455,00	-	712,8	412,7	-	100	-	637,8	-	162,6	12.481,00
Alto Sinni	6.568,20	435,9	668,4	14.299,00	1.801,90	1.860,00	319,7	523,1	1.424,10	-	1.017,20	116,3	58,1	29.092,10
Area matera-na[1]	-	-	-	5.492,40	-	484,6	11.146,30	1.292,30	11.832,80	5.653,90	3.796,20	525	121,2	40.344,60
Basso Sinni	-	112,7	-	2.542,60	338,2	400,8	2.367,20	826,7	5.611,20	12,5	200,4	87,7	50,1	12.550,10
Camastra Alto Sauro	3.312,20	572,1	150,6	19.451,70	60,2	5.299,50	240,9	-	240,9	-	391,4	361,3	-	30.080,90
Collina Mate-rana	-	-	-	12.399,30	22,2	1.266,60	555,5	1.199,90	5.733,00	266,7	711,1	66,7	-	22.221,00
Lagonegrese	6.600,30	359,2	1.391,90	18.678,40	8.486,10	1.347,00	538,8	5.612,50	-	-	1.885,80	44,9	-	44.944,90
Marmo Plata-no	1.951,30	55,8	1.431,00	11.299,10	2.267,20	631,9	111,5	-	-	-	780,5	55,8	-	18.584,00
Medio Agri	-	33,5	-	5.121,50	535,6	691,8	267,8	2.488,20	1.573,30	-	345,9	100,4	-	11.158,00
Medio Basento	-	-	-	8.893,80	-	437	273,2	98,3	721,1	-	469,8	10,9	-	10.904,10
Melandro	3.372,90	95,3	209,6	11.795,70	1.010,00	1.905,60	190,6	-	19,1	-	324	95,3	19,1	19.036,90
Val Sarmento	2.429,20	410,6	136,9	9.545,70	769,8	2.839,80	68,4	581,6	256,6	-	51,3	34,2	-	17.124,10
Vulture[2]	1.270,60	144,8	1.978,30	11.012,60	442,4	376,5	639,9	-	239,9	-	1.311,80	238,8	80,4	17.736,10
Totale	**29.907,00**	**5.749,80**	**8.724,70**	**183.989,70**	**19.596,20**	**24.608,70**	**19.413,90**	**12.647,30**	**27.928,10**	**5.933,10**	**13.983,90**	**2.007,20**	**915,1**	**355.404,80**

Tabella 6 - Dati regionali sulla consistenza suinicola rapportati ai dati nazionali.

	n° aziende	SCROFE	SCROFETTE	VERRI	GRASSI	LATTONZOLI	MAGRONCELLI	MAGRONI	CINGHIALI	TOT CAPI
Basilicata	29	33	0	5	200	95	40	6460	1	6834
Italia	**15227**	**437487**	**94739**	**11426**	**14897336**	**1271283**	**1018034**	**1509534**	**686**	**5830525**

Stima delle biomasse derivanti dal comparto forestale

Dopo un lungo periodo di contrazione dell'utilizzo della legna da ardere come fonte energetica dovuto alla forte competitività dei combustibili di origine fossile (in particolare petrolio e gas), dagli anni settanta è possibile registrare un nuovo trend crescente nella domanda per tali fonti. I fattori influenti sul rinnovato interesse quale fonte per la produzione di energia primaria sono da accomunarsi sia al costante aumento del prezzo delle risorse energetiche non rinnovabili, sia all'incremento dell'urbanizzazione diffusa che, specialmente nella nostra regione, ha manifestato un progressivo aumento negli ultimi decenni. Con un Indice di boscosità pari che si aggira intorno al 36%, la Basilicata, viene indicata come una regione ad alta vocazione forestale. Secondo la Carta Forestale Regionale del 2006 (Tab. 5), le risorse regionali sono dell'ordine dei 355.405 ha; mentre i dati contenuti nel secondo Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi forestali di Carbonio (INFC, 2006) la superficie boscata in Basilicata si aggira intorno ai 356.426 ha. Nella valutazione delle biomasse disponibili ai fini energetici, viene considerata la Carta Forestale Regiona-le quale base informativa per la quantificazione della biomassa utile ai fini energetici, ricordando che, oltre i ¾ del patrimonio forestale si concentra nella provincia di Potenza; le latifoglie rappresentano la formazione prevalente in Basilicata; mentre le conifere interessano una piccola parte della superficie forestale totale, con una maggiore concentrazione in provincia di Matera. Rispetto alla forma di governo troviamo che le formazioni governate a ceduo sono dell'ordine del 51,6% e quelle governate ad altofusto si aggirino intorno al 48,4%; mentre per il castagno bisogna ricordare che la quasi totalità della superficie investita a questa specie è governata a ceduo (97,3%).

Reflui zootecnici

Dall'analisi del territorio lucano caratterizzato da un elevato numero di allevamenti zootecnici, la possibilità di valorizzazione dei reflui in un impianto di digestione anaerobica con produzione di biogas, come anche la scelta relativa alla sua ubicazione sul territorio sono condizionate da diversi fattori.

Il patrimonio suinicolo lucano, da dati elaborati dall'ISTAT (Tab. 6) è di circa 6834 capi con una distribuzione, quindi da come si evince in tabella la Basilicata partecipa, per il comparto suinicolo nazionale per circa lo 0,11%, quindi una piccolissima parte. Dall'analisi, poi, i quantitativi sia di deiezioni liquide, espresse in m3 anno^{-1}, che di deiezioni solide, espresse in t/anno, la produzione di Biogas per la regione Basilicata e dell'ordine di 0.54 Nm^3*10^6 anno^{-1} rispetto al contributo nazionale quindi la Basilicata partecipa per lo 0,15% (Tab. 7). Questo tipo di effluente zootecnico è caratterizzato da un contenuto di sostanza secca o solidi totali (1- 6%) e di sostanza organica o solidi volatili estremamente variabile a causa delle differenti tipologie di allevamento comunemente presenti nel territorio regionale.

La consistenza bovina e bufalina all'interno del territorio della regione risulta poco significativo se si confronta con i dati dell'intera nazione; possiamo affermare dalle elaborazioni dei dati forniti dall' ISTAT che la Basilicata partecipa per l'1,55%

Tabella 7- Raffronto fra le quantità di biogas potenziale tra la Basilicata e l'intero contesto Nazionale ricavati dall'allevamento suinicolo.

	TOT CAPI	Deiezioni liquide (m3 anno $^{-1}$)	Deiezioni solide (t anno $^{-1}$)	Biogas da liquame (Nm^3*10^6 anno $^{-1}$)	Biogas da letame (Nm^3*10^6 anno $^{-1}$)	Biogas tot (Nm^3*10^6 anno $^{-1}$)
Basilicata	6.834	27.073	1.088	0,45	0,09	0,54
ITALIA	5.838.525	17.135.457	751.366	284,69	61,00	345,68

Tabella 8 - Dati sul Biogas riguardanti gli allevamenti bovini e bufalini a livello Regionale e Nazionale.

Regione	N° Capi bovini	Deiezioni liquide (m^3 anno $^{-1}$)	Deiezioni solide (t anno $^{-1}$)	N° Capi bufalini	Deiezioni liquide (m^3 anno $^{-1}$)	Deiezioni solide (t anno $^{-1}$)	N° Capi Tot.	Deiezioni liquide (m^3 anno $^{-1}$)	Deiezioni solide (t anno $^{-1}$)	Biogas da liquame (Nm^3*10^6 anno $^{-1}$)	Biogas da letame (Nm^3*10^6 anno $^{-1}$)	Bicgas tot (Nm^3*10^6anno $^{-1}$)
Basilicata	93.697	1.329.578	168.975	1.388	19.609	2.525	95.085	1.349.187	171.500	19	6	25
ITALIA	6.026.355	75.412.745	9.533.198	333.232	5.225.298	671.463	6.359.587	80.638.043	10.204.660	1.128	344	1.472

Tabella 9 - Dati rilevati dall'ISTAT nel 2006, per quanto riguarda sia la produzione di latte raccolto che il prodotto trasformato e producibilità di biogas.

			Latte raccolto nel 2006	Latte alimentare "Trattato igienicamente (q)				Latte di vacca trasformato nel 2006	Burro	Formaggi				
Regione	Producibilità di BIOGAS (m^3 biogas/anno)	TOT Siero digerebile (q)	Quantità	Intero	Parzialmen-te Scremato	Scremato	Totale	Quantità	Quantità	A pasta dura	A pasta semi dura	A pasta molle	Freschi	Totale
Basilicata	46.637	11.306	312.650	18.000	12.000	n.p.	30.000	282.650	1.147	480	11.637	2.929	30.374	45.420
ITALIA	13.433.150	3.256.521	109.440.459	13.845.702	13.348.985	1.645.678	28.840.365	81.413.033	1.196.363	4.124.674	973.241	1.925.752	4.516.698	11.540.365

per la consistenza bovina e per lo 0,42 % per la consistenza bufalina. Dall'analisi dei dati relativi ai quantitativi sia di deiezioni liquide, espresse in m^3 $anno^{-1}$, che di deiezioni solide, espresse in t/anno, la produzione di Biogas per la regione Basilicata e dell'ordine di 25 Nm^3*10^6 $anno^{-1}$ rispetto al contributo nazionale quindi la Basilicata partecipa per l' 1,7% (Tab. 8). Ricordiamo che le deiezioni bovine e bufaline sono spesso rimosse utilizzando dei raschiatoi. L'aggiunta della paglia, spesso effettuata nelle stalle, conduce a variazioni nel contenuto di solidi totali (8- 15%). Ricordiamo anche che nelle deiezioni bovine, come nel caso dei suini, il contenuto di solidi totali dipende anche dal sistema di allevamento.

Tipico sottoprodotto e scarto agro-industriale può essere considerato il siero di latte, quindi facendo riferimento all'industria casearia possiamo affermare che la Basilicata dai dati rilevati dall'ISTAT nel 2006 (tab. 9), per quanto riguarda sia la produzione di latte raccolto che di latte trasformato, esprime una producibilità di biogas pari a 46637 m^3 biogas $anno^{-1}$, con un'incidenza sulla produzione dell'intera nazione dell'ordine dello 0,34%.

Conclusioni

Alla luce dei risultati dell'indagine effettuata appare evidente che l'attuale livello di utilizzo di biomasse ligno-cellulosiche per la produzione di energia è fortemente sottostimato dalle statistiche forestali e dai bilanci energetici nazionali. Tale situazione è in gran parte da ricollegare ad una presenza diffusa di piccoli utilizzatori domestici e dalla disponibilità e relativo impiego di residui di lavorazione del legno nei processi industriali, fenomeni entrambi di non facile registrazione statistica. Se le valutazioni andassero oltre i consumi, fino a valutare le quantità effettivamente disponibili e l'offerta potenziale di biomasse legnose, i dati potrebbero segnalare la possibilità di una significativa espansione della filiera bosco-energia. Queste ipotesi vanno, tuttavia, considerate con una certa prudenza, soprattutto quando collegate all'espansione dei livelli di consumo in impianti di scala industriale.

In riferimento invece al biogas ricordiamo che in Italia nell'ultimo decennio si è assistito ad un forte interesse in agricoltura e in particolare nel settore zootecnico (allevamenti bovini e suini) per la produzione di biogas ed energia elettrica che ormai si può considerare una pratica consolidata dove prevale la produzione di energia elettrica e la sua immissione nella rete di distribuzione nazionale.

Bibliografia

AA.VV., 2006a. Carta forestale della Basilicata. Dipartimento Ambiente Territorio e Politiche della Sostenibilità (Regione Basilicata) e Istituto Nazionale di Economia Agraria (INEA).

AA.VV., 2006b. Energia dalle biomasse. Le tecnologie, i vantaggi per i processi produttivi, i valori economici e ambientali. AREA Science Park, n. 24.Trieste.

AA.VV., 2006c. La filiera legno-energia. Proaere (progetti dell'agricoltura per le energie rinnovabili in Europa). Programma Leonardo da Vinci.

AA.VV. 2008. Studio per la pianificazione energetico-ambientale della Provincia di Latina. Parte IV: «Offerta potenziale di energia rinnovabile ed efficienza energetica». A cura del gruppo di ricerca di sistemi per l'energia e l'ambiente. Università di Roma Sapienza, Facoltà di ingegneria.

Alfano V., Colonna N., Pignatelli V. 2010. Il potenziale di biogas da reflui zootecnici nel Lazio. RT/2010/2/Enea.

Amirante P., Di Renzo G.C., Scarascia Mugnozza G., 1984. Interventi per il risparmio energetico e per l'utilizzazione delle energie rinnovabili in agricoltura, Riv. Tecnopolis, giugno 1984.

Amirante P., Di Renzo G.C., 1985. Sottoprodotti vegetali: una fonte di energia da recuperare, Riv. Terra e Vita n.40, ottobre, 1985.

Amirante P., Di Renzo G.C. 1987. "Experimental tests on a prototype machine for harvesting forestry trimming wastes", in Biomass Energy, Elsevier Applied Science, 1987.

Amirante P., Di Renzo G.C., 1988. "Innovazione tecnologica degli impianti e utilizzazione dei sottoprodotti", Atti del convegno CIOS sul tema "Dalle olive all'olio", Selva di Fasano (BR), 4 novembre 1988.

Amirante P., Di Renzo G.C., 1991. "Tecnologie e impianti per il riciclo delle biomasse di rifiuto e di scarto", atti del convegno S.I.C.A. "BIOMASS '91", Bari, 6-7 giugno, 1991, Ed. Patron, Bologna, 1991.

Bernetti J., 1998. Il mercato delle biomasse forestali per scopi energetici: un modello di offerta, Rivista di Economia Agraria, anno LIII n. 3, settembre 1998.

Castellani C. 1966. Il saggio di accrescimento e di utilizzazione delle fustaie sottoposte ad assestamento. Italia forestale e Montana, fasc. 5.

Castellani C. 1967. I boschi cedui sottoposti ad assestamento in Italia: i turni, gli incrementi e le utilizzazioni. Italia forestale e Montana, fasc. 4.

Ciccarese L., Spezzati E., Pettenella D. 2003. Le biomasse legnose. Una indagine sulle potenzialità del settore forestale italiano nell'offerta di fonti di energia, APAT, Roma.

Colonna N., Croce S. 2009. Biomass potential assessment in Italy: approaches and methodologies. Convegno Siba, Roma, aprile.

ENEA, 2005. Lo sviluppo delle rinnovabili in Italia tra necessità e opportunità, ISBN 88-8286-128-7

INEA, 2006. *Carta Forestale della Basilicata*, Atlante. ISBN 88 – 8145 – 062 – 3;

IFNI, 1988. Inventario Forestale Nazionale Italiano. Ministero delle Politiche Agricole e Forestali, Direzione Generaleper l'Economia montala e per le Foreste..

ISMEA, 2008. Frumento – *Raccolto 2008: previsioni di semina dei cereali autunno vernini*. News mercati, speciale stime di produzione.

ISTAT, 2008. Struttura e produzioni delle aziende agricole, anno 2007. Roma
ISTAT, 2001. V Censimento generale dell'Agricoltura. Roma
Itabia – ItalianBiomassAssociation, 2005. Le biomasse per l'energia e l'ambiente: Rapporto 2003, Roma, 2005.
Itabia – ItalianBiomassAssociation, 2003. Rapporto sullo stato della bioenergia in Italia nel 2002. Studio di settore, Roma, 2003.
Itabia – ItalianBiomassAssociation, 2004. Le biomasse per l'energia e l'ambiente, Rapporto 2003.
Ministero delle Politiche Agricole e Forestali,1999. Programma Nazionale Biocombustibili (PROBIO).
Ministero delle Politiche Agricole e Forestali, 2003. Risorse Agro-forestali-energetiche per il Mezzogiorno e lo Sviluppo Economico Sostenibile (RAMSES).
Rossi L., Piccinini S. 2007. Sottoprodotti agroindustriali, un potenziale da sfruttare. L'Informatore Agrario, 34.
Spinelli R. 2004. Macchine e cantieri riuniti per la raccolta dei residui di potatura. *L'informatore agrario*, 14: 59-61.
Spinelli R. 2004. Ramaglia di potatura, come valorizzare un sottoprodotto. *Olio e olio*, 6: 8-10.

D - Prove comparative di soluzioni commerciali per la raccolta delle potature di olivo

Comparative test of commercial solutions for the harvesting olive pruning

Luigi Pari*, Sara Croce*, Andrea Acampora*, Alberto Assirelli*

Riassunto

All'impiego energetico della biomassa di origine agro-forestale sono legate importanti aspettative in virtù dei vantaggi che ne derivano, non solo da un punto di vista ambientale, ma anche per le positive ricadute in ambito socio-economico. In particolare l'attenzione è rivolta a quelle biomasse che al momento non presentano altri impieghi e che sono tecnicamente ed economicamente convenienti per scopi energetici. Al fine di garantirne un uso razionale e permettere di programmare azioni concrete volte al loro sfruttamento in armonia con il territorio, si rendono fondamentali studi e ricerche puntali che tengano conto sia delle peculiari caratteristiche locali in cui si opera che delle moderne tecnologie effettivamente disponibili sul mercato. Alla luce di quanto esposto, l'obiettivo del presente lavoro è quello di presentare dei preliminari risultati relativi alle prestazioni di alcuni tra i principali modelli di soluzioni commerciali attualmente proposti per la raccolta e successivo uso per scopo energetico delle biomasse arboree residuali provenienti dal comparto agricolo.

Parole chiave: potatura di olivo, raccolta, meccanizzazione, biomassa.

* CRA-ING, Unità di Ricerca per l'Ingegneria Agraria.

Abstract

Great expectations are connected to the energy use agro-forestry based biomass due to their environmental benefits and the positive impact in the social-economic development. In order to rationalize the use of available biomass, researches about specific local area are carried out and modern available technologies are studied.

In particular, the interest focuses on the biomass whose use is not technically and economically more convenient in respect to the energy conversion: residues from woodland and agricultural use. The aim of this work is to show the preliminary results obtained by mechanical harvesting pruning. During the test carried out in Puglia in the spring of 2011, six commercial machines, which currently represent the main models in Italy, were tested. In conclusion, these machines represent an innovative system for harvesting and chipping of pruning for energy uses due to good performance shown during the tests.

Keywords: *olive pruning, harvesting, mechanization, biomass.*

Introduzione

A livello internazionale, come pure nella dimensione locale, si assiste negli ultimi anni a un forte impulso alla produzione ed al consumo delle fonti energetiche rinnovabili. In tale contesto importanti aspettative sono legate all'utilizzo delle biomasse di origine agricola e forestale, proprio grazie alla loro flessibilità d'impiego e alla disponibilità di utilizzo in diverse tipologie di utenze. La biomassa occupa un posto di tutto rilievo tra le fonti rinnovabili di energia anche per le importanti implicazioni sul territorio sia di carattere ambientale che socio-economico. Infatti uno degli aspetti più importanti ed attuali, è proprio la protezione del territorio poiché questa ha l'importante caratteristica di essere strettamente connessa al luogo di origine. Il suo utilizzo rappresenta in molti casi una fonte di sviluppo offrendo nuove opportunità di lavoro e imprenditoriali. In tempi recenti l'attenzione è stata rivolta soprattutto alla possibilità di recuperare e utilizzare le biomasse residuali (es. scarti di potature) proprio perché in tal modo si ottengono vantaggi relativi allo smaltimento di questi ultimi, fornendo oltretutto opportunità di ulteriore introito per l'agricoltore.

La biomassa è disponibile in qualità e quantità diverse sul territorio ed è potenzialmente utilizzabile per soddisfare diverse esigenze, pertanto quando si parla di utilizzazione della biomassa per scopo energetico, è importante porre particolare attenzione all'aspetto logistico, proprio perché tale risorsa è diffusa sul territorio ed è quindi necessario organizzarne la raccolta e il suo successivo trasporto.

In virtù del sempre più crescente interesse nei confronti della biomassa, e in particolare della componente residuale quale risorsa energetica, i costruttori di macchine agricole stanno dedicando negli ultimi anni particolare attenzione al recupero del-

le potature da terra. Le macchine operatrici disponibili per la raccolta sono principalmente raggruppabili in due categorie: raccogli-trincia-caricatrici e imballatrici. Nel primo caso si ottiene in un solo passaggio il materiale già triturato, mentre l'imballatura offre la possibilità di aumentare la densità del materiale migliorandone la movimentazione. In tale contesto il Cra-Ing, Unità di Ricerca per l'Ingegneria Agraria, nell'ambito delle attività previste dal progetto FAESI (Filiere AgroEnergetiche nel Sud Italia), ha provato su campo alcuni tra i principali modelli commercializzati attualmente a livello nazionale. Lo scopo è stato quello di verificare le effettive potenzialità e limiti delle macchine nelle medesime condizioni di lavoro. Le prove si sono svolte nella campagna Salentina caratterizzata da ingenti quantità di potato di olivo e sesti d'impianto in grado di consentire buoni livelli di meccanizzazione.

Potenziale di biomassa disponibile nel Sud-Italia

Prima della scelta dell'areale di prova è stata condotta un'analisi sul potenziale di biomassa residuale disponibile in alcune regioni del sud Italia.

Dai dati esaminati emerge che la regione con il maggior maggior estensione della superficie agricola utilizzata risulta la Puglia, seguita dalla Sardegna (Tab. 1).

Tabella 1 - Estensione superficie agricola utilizzata (SAU).

Regione	SAU (ha)	SAU (%)
Basilicata	542.256,28	54
Calabria	514.047,36	34
Campania	562.880,11	41
Puglia	1.197.379,64	62
Sardegna	1.072.469,22	44

Fonte: Dati ISTAT 2007

In quasi tutte queste regioni la tipologia di utilizzo più diffusa è quella dei seminativi: fanno eccezione la Sardegna, dove si hanno più prati e pascoli rispetto ai terreni dedicati ai seminativi, e la Calabria dove invece primeggiano le coltivazioni legnose (Fig. 1-2). Tra le coltivazioni legnose spicca l'olivo, in particolare nella regione Puglia e Calabria. Sapere quanto e cosa viene coltivato risulta un passaggio obbligatorio per poter effettuare una stima valida riguardo la disponibilità di residui locali. Secondo Enea (2009), sulla base delle informazioni ricavabili dalla superficie coltivata, la regione dove si ha la maggior disponibilità di biomasse dal comparto agroforestale per scopo energetico è la Puglia, dove il contributo derivato dal comparto agricolo risulta davvero consistente (Tab. 2).

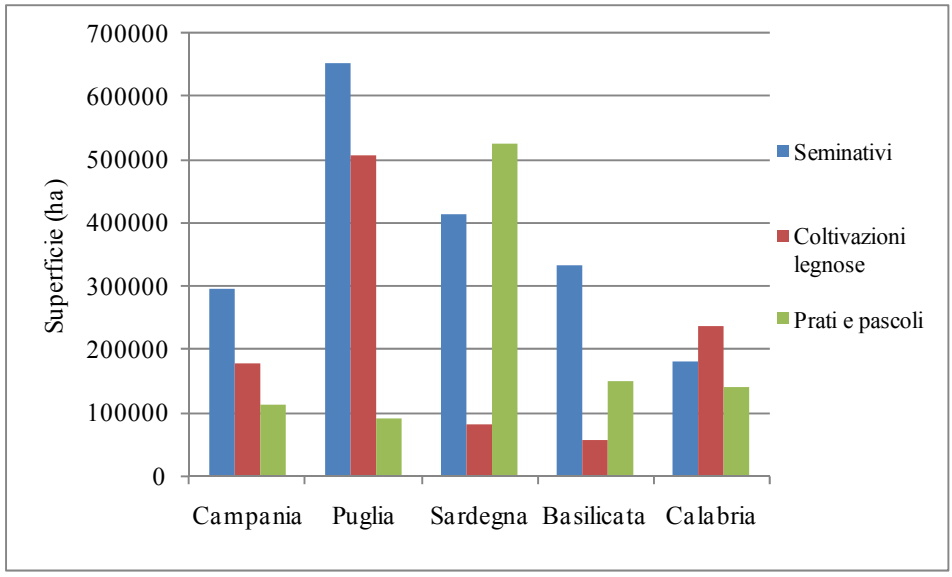


Figura 1 - Ripartizioni SAU - principali utilizzazioni. Fonte: dati ISTAT 2000, V Censimento Agricoltura.

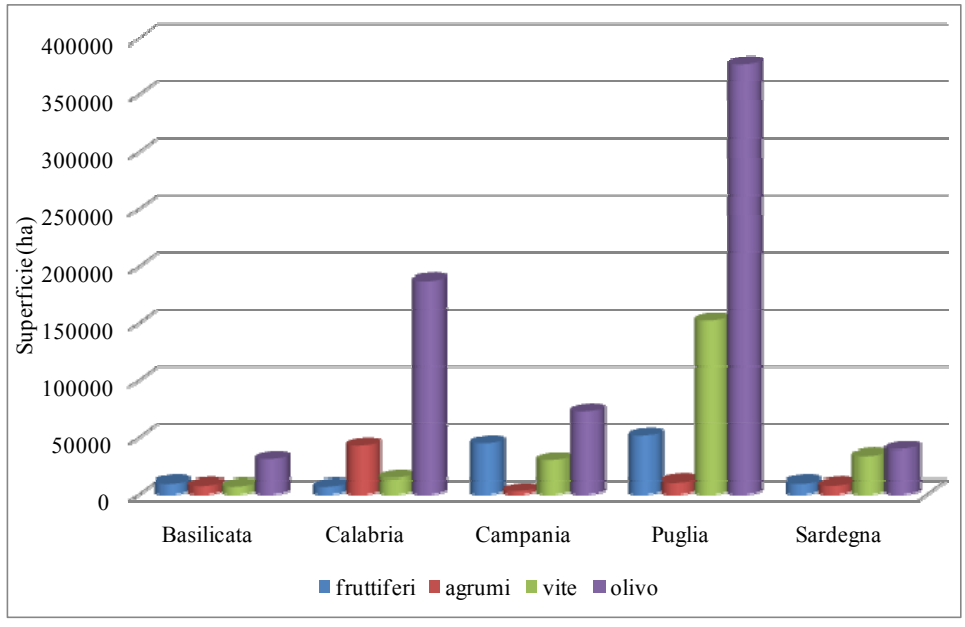


Figura 2 - Coltivazioni legnose-dettaglio regionale. Fonte: dati Istat 2009.

Tabella 2 - Potenziali residui agroforestali - dettaglio regionale.

t/anno s.s.	*Basilicata*	*Calabria*	*Campania*	*Puglia*	*Sardegna*
Paglie potenziali	452.096	212.111	316.879	1.219.421	259.991
Potature potenziali	49.958	1.012.213	286.579	813.875	120.896
Tot residui agricoli*	513.631	1.414.248	681.177	2.425.980	410.120
Boschi latifoglie	63.818	125.803	117.574	41.290	43.153
Boschi conifere	1.465	27.993	2.255	5.145	6.917
Arboricoltura	0	0	0	0	14.940
Tot biomassa foresta	65.283	153.796	119.829	46.435	65.010
Totale biomasse	***578.914***	***1.568.044***	***801.006***	***2.472.415***	***475.130***

**compresi sanze, vinacce, gusci e lolla di riso*

Fonte: dati ENEA 2009

Gli impieghi attuali delle biomasse lignocellulosiche e raccolta meccanizzata

Gli scarti provenienti dall'agricoltura, ovvero paglie di cereali, stocchi del mais e ramaglie di potatura, presentano spesso un problema di smaltimento. L'utilizzo delle ramaglie di potatura delle colture arboree è meno conveniente rispetto al recupero degli scarti delle colture erbacee perché queste ultime necessitano di costi relativi alla raccolta e compattazione da parte di macchine specifiche. D'altro canto il loro recupero per scopo energetico sta emergendo come una delle possibilità più interessanti proprio perché nel contempo permette di risolvere il problema dello smaltimento e fornisce una fonte di guadagno per gli agricoltori. Attualmente i residui agricoli di potatura vengono spesso concentrati fuori dagli appezzamenti nelle aree più aperte delle capezzagne e bruciati. Tale pratica richiede un lavoro manuale con produttività media di 0,5 th^{-1} e l'operazione di smaltimento pertanto ha un costo che si aggira tra i 100-150 € ha^{-1} (nel caso del vigneto) (Arsia, 2009) a cui non corrisponde alcun ricavo perché il materiale viene completamente distrutto. Può inoltre essere utile tener presente il divieto di bruciatura delle stoppie e delle paglie, nonché di tutti i residui presenti dopo la raccolta al termine dei cicli produttivi, richiesto nel rispetto delle buone pratiche agricole, requisito di condizionabilità, per l'accesso ai contributi agricoli comunitari già recepite a livello nazionale. La possibilità di meccanizzare le operazioni di raccolta implica la scelta della tecnologia più adatta che a sua volta è strettamente legata alle peculiari caratteristiche locali: sono fondamentali le caratteristiche legate al tipo di coltura e al campo, quali il sesto d'impianto e la giacitura. Per poter mettere l'agricoltore nelle condizioni di inserirsi effettivamente nella nuova filiera energetica è necessrio inoltre che il mercato proponga soluzioni efficienti e

allo stesso tempo economiche (Arsia, 2004). Per rispondere a tali esigenze, i costruttori di macchine agricole stanno dedicando sempre maggiore attenzione a questo settore. Infatti, benché modelli sperimentali siano stati proposti già da tempo, è solo negli ultimi anni che si assiste ad una crescente diffusione di modelli commerciali proposti dalle varie ditte per rispondere efficacemente al problema del recupero delle potature da terra. Le principali categorie di modelli proposti sono imballatrici e trincia-caricatrici. L'imballatura permette di organizzare il prodotto in forma compatta che, a seconda del modello utilizzato, può avere forma parallelepipeta o cilindrica e presentarsi in diverse grandezze dimensionali. Tramite questa soluzione si facilita uno stoccaggio prolungato in quanto il prodotto in questo modo non presenta problemi di fermentazione del cippato (Lehtikangas e Jirjis, 1998). Le prime prove di imballatura di residui di vite effettuate in Italia risalgono agli anni '80 (Brunetti e Dentico, 1983). L'imballatura vanta dunque di un ampio tempo di convalida sia a livello sperimentale che commerciale per questo settore. Invece è solo a metà degli anni '90 che si hanno i primi risultati relativi all'utilizzo delle trincia-caricatrici per il recupero di potature da terra (Brokeland e Bruggmann, 1996). Si tratta di una tecnica molto interessante perché permette di ottenere un prodotto prontamente termovalorizzabile.

È evidente che la scelta di un modello piuttosto che un altro dipende dal contesto logistico organizzativo in cui si opera.

In letteratura è possibile trovare ampia documentazione relativa alla produttività delle macchine atte al recupero dei cascami a terra e alla convenienza economica nel loro utilizzo nelle varie tipologie di impianto considerato (Nati *et al.,* 2007; Pari *et al*, 2001a; Pari *et al,* 2001b; Pari *et al,* 2001c; Pari *et al.,* 2010; Recchia *et al*, 2009; Spinelli, 2000; Spinelli, 2003; Spinelli *et al*., 2006; Spinelli *et al.,* 2007; Spinelli *et al* 2009; Spinelli *et al* 2010; Spinelli e Picchi, 2010).

Prova in campo

Il Cra-Ing ha organizzato delle prove di raccolta meccanizzata delle potature di olivo nel Salento. L'iniziativa ha rappresentato anche un importante momento di incontro tra le varie realtà locali, ed ha favorito la comunicazione tra imprenditori e agricoli. La prova è stata organizzata nell'ambito di una filiera energetica avanzata in collaborazione con AIEL (Associazione Italiana Energie Agroforestali), con Confederazione Italiana di Agricoltori di Lecce e con il supporto dell'impianto di valorizzazione energetica delle potature di Calimera. L'impianto è di tipo cogenerativo: produce sia calore che energia utilizzando cippato di legno. È dotato di una moderna tecnologia e consta essenzialmente di una caldaia a griglia mobile, con sistema di alimentazione a nastro trasportatore.

Foto 1 - Campo oggetto della prova.

Le prove di raccolta meccanizzata sono state effettuate a Castrignano de' Greci in provincia di Lecce, in un appezzamento di oliveto di 0,45 ha, la cui età stimata è di circa 40 anni. Il terreno, di tipo sabbioso, si presentava molto compattato e quasi del tutto privo di erbe infestanti. Il campo era caratterizzato da un sesto di impianto 7,5x7 metri le cui piante subiscono una regolare potatura annuale di mantenimento; il ciclo di raccolta tipico locale prevedeva taglio, rilascio a terra e sistemazione in andane dei residui di potatura (Foto 1 e 2). Al momento della raccolta il potato a terra presentava un'umidità del 22%. Le andane si sviluppavano lungo l'intera lunghezza della fila, con un'altezza media di 0,6 metri.

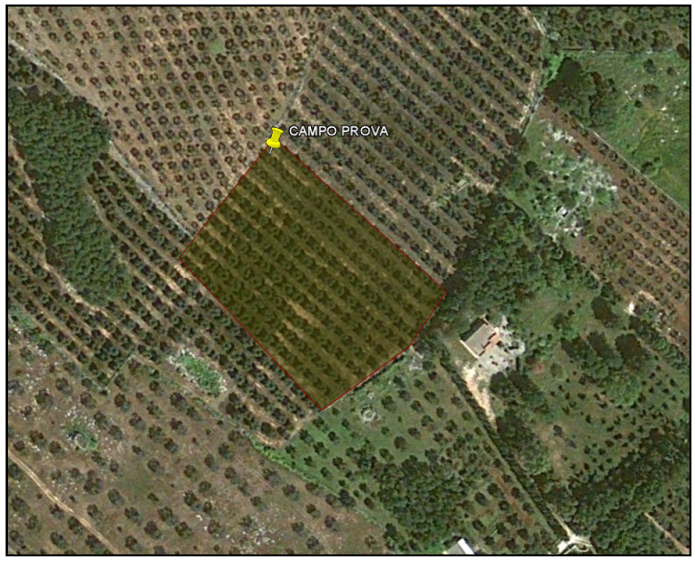


Foto 2 - Area di prova-vista aerea.

Il materiale andanato è risultato essere costituito per l'80% da rami con diametro medio inferiore ai 2 cm, inoltre il 56% di questi avevano una lunghezza compresa tra i 100 e 150 cm (Fig. 3).

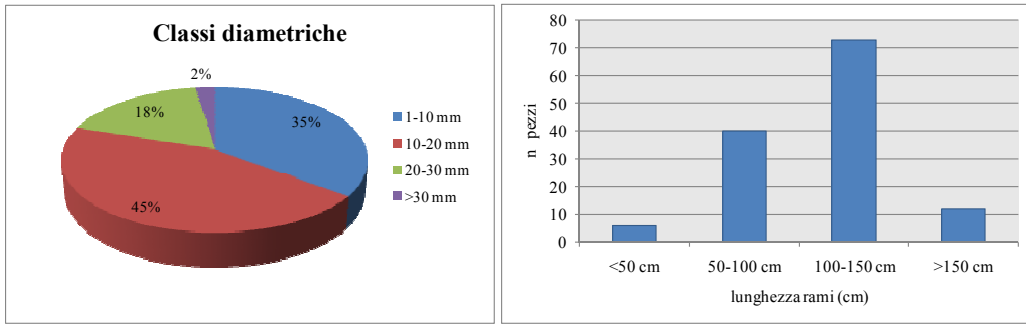


Figura 3 - Divisione dei rami potati per classi diametriche (sx) e ripartizione per lunghezza (dx).

Durante le prove hanno lavorato sei raccogli-trincia-caricatrici dotate o meno di contenitore e con diversa possibilità di scarico (Foto 3, 4 e 5).

Ogni macchina ha avuto a disposizione un proprio spazio dove effettuare la prova: ogni modello ha lavorato su due file di lunghezza 100 metri l'una. Le macchine hanno eseguito la prova singolarmente; nella tabella 3 vengono riportate le principali caratteristiche dei modelli presenti.

Tabella 3 - Caratteristiche macchine.

Modello	Larghezza del pick-up (m)	Capacità cassone (m^3)	Altezza scarico cassone (m)	Diametro rotore (mm)	Elementi di lavoro presenti sul rotore (n°)	Tipo di elementi di lavoro	Velocità rotazione albero
A	2	5	2,6	229	27	martelli	ord.: 2.500
B	1,6	1,7	2,2	193	28	mazze	ord.: 2.300
C	1,45	/	/	465	20	mazze	min.: 2.600; max.: 3.270
D	2	8,3	3,3	410	36	mazze	min.: 2.200; max.; 2.600
E	1,9	1,8	2,5	480	22	mazze	ord.: 2.500
F	2	2,8	2,2	168	20	mazze	min.: 1.800; max.: 2.500; ord.: 2.200

Durante la prova sono stati registrati i tempi di lavoro, riportati in tabella 4.

Tabella 4 - Tempi di lavoro registrati dalle varie macchine durante la prova dimostrativa.

	A	B	C	D	E	F
Velocità effettiva (m/s)	1,07	0,83	0,68	0,98	0,40	0,48
Velocità operativa (m/s)	0,82	0,60	0,60	0,77	0,24	0,39
Rendimento operativo (%)	0,77	0,72	0,88	0,79	0,61	0,82
Capacità di lavoro effettiva (ha/h)	1,52	1,19	0,97	1,39	0,57	0,68
Capacità di lavoro operativa (ha/h)	1,17	0,85	0,85	1,10	0,35	0,56
Produzione oraria operativa (t/h)	14,09	10,19	10,26	13,14	4,18	6,68

Dai risultati ottenuti si evince che in tutti i casi la capacità di lavoro operativa ottenuta risultava simile e comunque non superiore a 1,2 hah^{-1}. L'unico modello sprovvisto di proprio cassone presentava il maggior rendimento operativo grazie alla mancanza delle soste dovute alle operazioni di scarico e alla maggior autonomia del rimorchio collegato. Tutte le macchine presentano una larghezza di lavoro compresa tra 1,4 e 2 m e hanno lavorato con un'altezza di raccolta compresa tra 1 e 3 cm da terra; tali caratteristiche tecniche hanno consentito di operare su andane larghe fino a 1,5 m e alte circa mezzo metro.

Considerazioni conclusive

Durante le prove di campo sono state valutate le prestazioni di diverse macchine atte al recupero da terra delle potature. Tra le macchine testate si trovavano sia modelli muniti di propria tramoggia che con scarico diretto. Provare i vari modelli nelle medesime condizioni operative permette di verificare le loro effettive funzionalità in relazione alle particolari caratteristiche del campo comuni a tutti i modelli. Dai dati ottenuti si può affermare che nel complesso le macchine hanno mostrato buone prestazioni in campo, rappresentando una concreta opportunità per il recupero delle potature per scopo energetico. I volumi di contenimento dei vari modelli hanno rappresentato il principale limite al rendimento operativo per via delle soste di scarico necessarie per la movimentazione di un prodotto caratterizzato da ridotta densità quale il trinciato di potatura. Il materiale ottenuto può però essere prontamente utilizzato sia per rispondere a esigenze aziendali (piccoli impianti) sia per essere inserito in un più ampio contesto di valorizzazione energetica della biomassa (medi-grandi impianti). Il periodo di sosta in campo anche se di poco superiore a una o due settimane consente una buona riduzione del contenuto di umidità.

Future analisi di laboratorio saranno necessarie per verificare il grado di inquinamento del materiale da terra in relazione anche alle diverse caratteristiche tecniche e funzionali delle operatrici utilizzate.

Foto 3 - Macchina con tramoggia con capacità superiore ai 2 m^3.

Foto 4 - Macchina con tramoggia con capacità inferiore ai 2 m^3.

Foto 5 - Macchina priva di proprio dispositivo di carico.

Bibliografia

Arsia, 2004. Le colture dedicate ad uso energetico: il progetto Bioenergy Farm- Regione Toscana.

Arsia, 2009. La filiera legna-energia, risultati del progetto interregionale Woodland Energy- Regione Toscana.

Brokeland R., Bruggemann C., 1996. Neuer hackervorsatz im praktischen eisatz. Forstmaschinen- Profi, 11: 24-25

Brunetti N., Dentico G., 1983. Potature di vite e olivo compattate per uso energetico: esperienza dimostrativa di raccolta, essiccamento e compattazione. 38° Convegno Nazionale dell'Associazione Termotecnica Italiana, Bari.

Enea, 2009. Censimento potenziale energetico biomasse, metodo indagine, atlante Biomasse su WEB-GIS. A cura di: Motola V., Colonna N., Alfano V., Gaeta M., Sasso S., De Luca V., De Angelis C., Soda A., Braccio G. Rapporto Enea, Roma.

Istat, 2000.V Censimento Generale dell'Agricoltura, Roma, 2001.

Istat, 2007. Agricoltura e zootecnia, dati annuali. www.agri.istat.it.

Istat, 2009. Agricoltura e zootecnia, dati annuali. www.agri.istat.it.

Lehtikangas P., Jirjis R., 1998. Storage of logging residues in bales. Proc. 10 th EU Bioenergy Conference, Biomass for Energy and Industry, Wurzburg (D) June 1998.

Nati C., Spinelli R., Magagnotti N., Verani S., 2007. Dalle potature di olivo biomassa per usi energetici. L'Informatore Agrario 9

Pari L., Sissot F., 2001a. La rotoimballatura delle potature di pesco e olivo. L'Informatore Agrario 42

Pari L., Sissot F., 2001b. Prove di raccolta di cascami di vite e pesco con imballatrice Arbor RS 170. L'Informatore Agrario 12

Pari L., Sissot F., 2001c. Prove di trinciatura e raccolta dei cascami di potatura in campo. L'Informatore Agrario 45

Pari L., Croce S., Acampora A., 2010. Raccolta dei residui di potatura. Recupero energetico dei cascami d'olivo nel Salento. Sherwood-Foreste ed alberi oggi, 168 **S**upplemento 2

Recchia L., Daou M., Rimediotti M., Cini E., Vieri M., 2009. New shredding machine for re cycling pruning residuals. Biomass and bioenergy 33: 149-154

Spinelli R., Spinelli R., 2000. Prove di imballatura delle potature di olivo. L'Informatore Agrario 4

Spinelli R., 2003. Macchine a cantieri riuniti per la raccolta dei residui di potatura. L'Informatore Agrario 14

Spinelli R., Nati C., Magagnotti N., Civitarese V., 2006. Produrre biomassa dai sarmenti di vite- L'Informatore Agrario 28

Spinelli R., Magagnotti N., Picchi G., 2007. La cippatrice Jordan RH 25 al lavoro sulle potature di olivo- L'Informatore Agrario 41

Spinelli R., Magagnotti N., 2009. Raccolta dei residui di potatura conveniente per i viticoltori. L'Informatore Agrario 6

Spinelli R., Magagnotti N., Nati C., 2010. Harvesting vineyard pruning residues for energy use. Biosystem engineering 105: 316:-22

Spinelli R., Picchi G., 2010. Industrial harvesting of olive tree pruning residue for energy biomass. Bioresource Technology 101: 730-735.

Finito di stampare nel mese di settembre 2011
con tecnologia *print on demand*
presso il Centro Stampa "*Nuova Cultura*"
p.le Aldo Moro n. 5 - 00185 Roma
www.nuovacultura.it

per ordini: ordini@nuovacultura.it

[Int_9788861347304_17x24_col_04BM]