



Progetti di ricerca **SUSCACE e FAESI**

**Recenti acquisizioni scientifiche
per le colture energetiche**

Supplemento n. 2 a **SHERWOOD - FORESTE ED ALBERI OGGI** n. 183
Anno 18 n. 4 Maggio 2012 - ISSN 1590-7805

Progetti di ricerca **SUSCACE e FAESI**

**Recenti acquisizioni scientifiche
per le colture energetiche**

Supplemento n. 2 a **SHERWOOD - FORESTE ED ALBERI OGGI** n. 183
Anno 18 n. 4 Maggio 2012 - ISSN 1590-7805

Progetti di ricerca SUSCACE e FAESI

Recenti acquisizioni scientifiche per le colture energetiche



Attività di ricerca coordinata dal:
Consiglio per la Ricerca e Sperimentazione in Agricoltura

nell'ambito dei Progetti di Ricerca:



Progetto SUSCACE - *Supporto Scientifico alla Conversione Agricola verso le Colture Energetiche*



Progetto FAESI - *Filiere Agro Energetiche nel Sud Italia*

Pubblicazione a cura di:

Luigi Pari

Forma consigliata di citazione del Volume:

Pari L., (a cura di) 2012 - Progetti di ricerca SUSCACE e FAESI.
Recenti acquisizioni scientifiche per le colture energetiche.
100 pp. In: Sherwood 183, Supplemento 2

Forma consigliata di citazione del singolo contributo:

Di Candilo M., Facciotto G. 2012 - Colture da biomassa ad uso energetico. Potenzialità e prospettive. 10-19. In: Progetti di ricerca SUSCACE e FAESI. Recenti acquisizioni scientifiche per le colture energetiche. Sherwood 183, Supplemento 2

Per informazioni:

Luigi Pari - luigi.pari@entecra.it

Consiglio per la Ricerca e Sperimentazione in Agricoltura
Unità di Ricerca per L'Ingegneria Agraria (CRA - ING)
Via della Pascolare 16 - 00016 Monterotondo (RM) Italia
www.entecra.it - <http://ing.entecra.it>

Tel. +39-06-90675249 - Fax. +39-06-90625591

Coordinamento editoriale

Silvia Bruschini - Compagnia delle Foreste - Arezzo
Enrico Santangelo - Unità per l'Ingegneria Agraria - Monterotondo (RM)

Impaginazione e grafica

Davide Coroneo - libero professionista - Arezzo

Editore



Compagnia delle Foreste

Via Pietro Aretino, 8 - 52100 Arezzo

Tel./fax 0575.370846

E-mail sherwood@compagniadelleforeste.it

Sito www.compagniadelleforeste.it - www.rivistasherwood.it

Stampa

Litograf Editor S.r.l. - Città di Castello (Perugia)

Supplemento n. 2 al n. 183 - Sherwood - Foreste ed Alberi Oggi

- 6** *I progetti di ricerca SUSCACE e FAESI: un contributo alle conoscenze scientifiche per promuovere le filiere agro-energetiche*
di L. Pari
- 7** *L'attività di divulgazione dei risultati prodotti dai progetti SUSCACE e FAESI*
di F. D'Andrea
- 10** **Colture da biomassa ad uso energetico. Potenzialità e prospettive**
di M. Di Candilo, G. Facciotto
- 20** **Raccolta delle colture da energia. Tecnologie disponibili**
di L. Pari, V. Civitarese, A. Assirelli, E. Santangelo
- 26** **Storia della SRF e suo sviluppo in Italia**
di G. Facciotto
- 31** **Colture per la filiera biodiesel. Potenzialità produttive in vari ambienti italiani**
di A. Del Gatto, M. Di Candilo
- 38** **Valutazione di genotipi di sorgo da biomassa. Prove comparative in Campania**
di M. Di Candilo, M. Mori, C. Coduti
- 44** **Potenzialità produttive del sorgo al Sud. Prove sperimentali con sussidio irriguo limitato e con acque di bassa qualità.**
di P. Maggio, P. Campi, F. Modugno, V. Turci, M. Mastrorilli
- 49** **Seme di sorgo in condizioni di stress abiotici. Tecniche innovative per il miglioramento delle caratteristiche germinative.**
di C. Patanè, V. Cavallaro, A. Saita
- 54** **Cardo da energia in ambiente caldo-arido**
di L. D'Andrea, A.D. Palumbo
- 58** **Canna comune per la destinazione energetica. Il punto sulla propagazione agamica negli ambienti del Meridione d'Italia**
di S.L. Cosentino, V. Copani
- 66** **Canna comune nel Nord Italia. Influenza delle tecniche di propagazione sulle prestazioni della coltura**
di M. Di Candilo, E. Ceotto
- 72** **Coltura in vitro. Un utile contributo alla propagazione su larga scala di *Arundo donax* e *Saccharum spontaneum***
di V. Cavallaro, C. Patanè, S. Tringali, A. Pellegrino
- 76** **Specie spontanee lignocellulosiche. Valutazioni in areali del Meridione d'Italia per destinazioni energetiche**
di G.C. Testa, D. Scordia, V. Copani
- 80** **Biomasse residuali agricole e forestali. Impiego a scopi energetici**
di G. Di Renzo, G. Altieri, F. Genovese
- 85** **Raccolta dei sarmenti di vite e olivo. Analisi di diversi cantieri sperimentali**
di P. D'Antonio, C. D'Antonio, C. Evangelista, V. Doddato
- 89** **Bilanci economici delle colture energetiche**
di D. Coaloa
- 94** **Sostenibilità ambientale delle colture da energia**
di E. Ceotto, M. Di Candilo

Gli articoli sono scaricabili in formato .pdf dai siti

<http://ing.entecra.it/Biomasse> e www.rivistasherwood.it/publicazioni-cdf.html

Nell'ultimo decennio la Comunità Europea ha promosso, attraverso un'intensa attività normativa, la valorizzazione delle biomasse agricole per fini energetici. Ciò ha generato un maggiore interesse verso le colture *no food* (che venivano precedentemente studiate per trovare alternative alle colture alimentari in surplus) o verso un uso alternativo (non alimentare) delle colture tradizionali, motivando gli imprenditori agricoli, agro-industriali ed agro-meccanici ad investire nel settore.

Il primo fronte impegnato a esplorare ed "orientare" il settore delle agro-energie è stato quello della ricerca agricola, che si è fatto carico della richiesta di valutazioni, riscontri e, in sintesi, risposte in tempi brevi, sulle diverse filiere agro-energetiche, alle richieste del mondo imprenditoriale.

In tale contesto il Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali ha prontamente recepito i segnali di cambiamento ed ha avviato (impegnando risorse finanziarie considerevoli) diversi progetti di ricerca di interesse nazionale, finalizzati sia a colmare il vuoto di conoscenza sia a progettare soluzioni efficienti ed innovative da proporre all'imprenditore agricolo e agro-industriale.

SUSCACE (Supporto Scientifico alla Conversione Agricola verso le Colture Energetiche) e **FAESI** (Filiera Agro-Energetiche nel Sud Italia), sono due dei Progetti di ricerca promossi dal MiPAAF per identificare i migliori percorsi produttivi delle colture energetiche nei diversi contesti pedo-climatici della Penisola. Entrambi, coordinati dal CRA-ING, hanno avuto avvio nel 2008 con una durata di 6 anni.

Il Progetto **SUSCACE (Supporto Scientifico alla Conversione Agricola verso le Colture Energetiche)** è stato

sviluppato per rispondere alle richieste delle proprietà industriali coinvolte nella riconversione del settore bieticolo-saccarifero (D.L. 10 gennaio 2006, n. 2, convertito, con modificazioni, dalla legge 11 marzo 2006, n. 81).

I principali obiettivi del Progetto sono:

- 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 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 colture 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 lignocellulosiche (canna comune, sorgo da fibra, canapa) ed ha visto il coinvolgimento di tre centri di ricerca del CRA.

Il Progetto FAESI (Filiera Agro-Energetiche nel Sud Italia)

è finalizzato a fornire supporto scientifico agli imprenditori agricoli, agro-industriali e 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 regioni 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 MiPAAF, del MIUR ed enti locali, operando in stretta sinergia anche con le realtà produttive delle Regioni.

Il presente lavoro, riportando i principali risultati scientifici ottenuti dalle Unità Operative dei progetti, intende definire lo stato attuale delle conoscenze scientifiche nel settore divulgando e cercando di mettere a fuoco eventuali ulteriori esigenze di ricerca verso cui verranno indirizzati gli sforzi nel proseguimento dell'attività prevista. Ciò anche con l'intenzione di promuovere una collaborazione sempre più coordinata e proficua tra il mondo della ricerca e gli utilizzatori dei risultati della attività della ricerca stessa.

LUIGI PARI
Coordinatore Generale dei Progetti SUSCACE e FAESI

Quello delle agroenergie è un settore in continua espansione per motivi sia economici (riduzione della spesa energetica) che ambientali (alternativa alle fonti fossili) sostenuto e favorito da un importante e parallelo supporto a livello di politiche nazionali ed europee.

È, allo stesso tempo, un laboratorio, una sorta di *work in progress* in cui accanto alle prime acquisizioni e certezze si affiancano tentativi, sperimentazioni, nuove acquisizioni, modifiche delle regole e dei meccanismi operativi già definiti per le colture tradizionali a destinazione alimentare.

Da questo punto di vista è facile immaginare quale ruolo fondamentale possa e debba avere il trasferimento delle informazioni dal settore della ricerca all'utilizzatore finale, per l'applicazione dell'innovazione prodotta.

Il *trait d'union* indispensabile tra conoscenza e applicazione pratica della stessa è costituito dalla divulgazione dei risultati, che non sia, però, limitata alla mera rappresentazione del dato asettico, ma che si spinga oltre, comprendendo anche dimostrazioni e confronto con i tecnici del settore in modo tale da rendere concreto ciò che viene indicato come trasferimento tecnologico.

Per tale motivo, nei progetti SUSCACE e FAESI, le attività di divulgazione e disseminazione dei risultati hanno trovato ampio spazio tanto da prevedere uno specifico programma di lavoro che si è articolato in diverse attività man mano che i risultati venivano prodotti e resi disponibili.

Tra queste grande rilievo hanno assunto sia le pubblicazioni scientifiche, che quelle tecniche e divulgative, ma anche i convegni, gli incontri con le organizzazioni di filiera o agricole, i seminari, i corsi di formazione rivolti ai tecnici del settore ed il materiale didattico distribuito.

Nell'arco dei primi tre anni l'attività di divulgazione ha richiesto un notevole sforzo, ma ha, al contempo, generato una consistente mole di pubblicazioni sia in diverse riviste scientifiche che in monografie.

Tra queste il volume "PARI L. (a cura di) 2011 - **Lo sviluppo delle colture energetiche in Italia - Il contributo dei progetti di ricerca SUSCACE e FAESI.** 895 pp. Ed. Nuova Cultura", lo speciale: "PARI L. (a cura di) 2010 - **Innovazioni tecnologiche per le agroenergie - Sinergie tra ricerca e impresa.** 68 pp. In Sherwood 168, Supplemento 2", lo speciale: "PARI L. (a cura di) 2009 - **Agroenergie dall'impianto alla raccolta.** 52 pp. In L'Informatore Agrario, Supplemento al n. 29 del 17/23 luglio 2009" e diversi eventi divulgativi svolti in numerose regioni italiane (da segnalare, tra queste, la partecipazione alla Fiera Eima Energy 2010 con gestione di uno spazio espositivo, *info-points* e seminari, Foto 1).

Il resoconto puntuale e dettagliato degli obiettivi dei progetti e di tutta l'attività di disseminazione delle informazioni è reso fruibile in rete attraverso il sito dedicato <http://ing.entecra.it/Biomasse>. Quest'ultimo è stato costruito con l'intento di fornire tutte le



Foto 1 - Panoramica dello spazio espositivo allestito dal CRA-ING all'interno della Fiera EimaEnergy svoltasi a Bologna nel novembre 2010.

L'attività di divulgazione dei risultati prodotti dai progetti SUSCACE e FAESI

informazioni senza appesantire troppo i contenuti, al fine di rendere scorrevole la navigazione. Nella schermata principale sono distinte quattro aree (Main Menu, Schede colturali, Risultati scientifici e Pubblicazioni) più un quinto campo in cui è possibile scaricare il volume sulle colture energetiche

precedentemente citato, sia in versione integrale che distinto per singole sezioni (Indice e introduzione, Colture legnose, Colture erbacee annuali, Colture erbacee poliennali e Biomasse residuali). Dal Main Menu è possibile accedere alla descrizione dei Progetti, all'elenco dei Partners e degli Eventi che sono stati effettuati finora, mentre nell'area Risultati scientifici sono stati inseriti la descrizione e i filmati dei prototipi delle macchine realizzate. Per quanto riguarda le Schede colturali, integrando fonti bibliografiche e risultati

derivanti dall'esperienza diretta dei ricercatori coinvolti, sono state prodotte delle schede sulle principali colture energetiche (distinte tra Colture legnose, Colture erbacee annuali, Colture erbacee poliennali) con l'obiettivo di fornire indicazioni sintetiche sui diversi aspetti (botanica, morfologia, agronomia, aspetti energetici) delle numerose specie studiate. Infine, nell'ultima sezione (Pubblicazioni) viene riportato l'elenco dei lavori bibliografici prodotti dai gruppi di ricerca (154), anche in questo caso, conformemente all'area precedente, differenziato per tipo di coltura (legnose, erbacee annuali, erbacee poliennali, con l'aggiunta di una sezione sulle biomasse residuali e una sulle bioenergie).

Il presente speciale costituisce un nuovo importante tassello nell'opera di divulgazione dei risultati intrapresa dal momento dell'avvio dei progetti ad oggi. Esso vuole essere un ulteriore importante veicolo di disseminazione e informazione con l'obiettivo e l'ambizione di divenire un riferimento scientifico e formativo per tutti gli attori della filiera delle colture energetiche: studenti, ricercatori, imprenditori agricoli, istituzioni.

È scaricabile sia dal sito di Progetto: <http://ing.entecra.it/Biomasse> che dal sito www.rivistasherwood.it/pubblicazioni-cdf.html

FIDALMA D'ANDREA
CRA - Servizio Attuazione e Coordinamento Programmi
di Ricerca Ordinari e Straordinari

Unità operative partecipanti al Progetto **SUSCACE**

Unità Operative	Ente	Località	Responsabile Scientifico
CRA-ING (Coordinatore) Unità di ricerca per l'Ingegneria Agraria	CRA	Monterotondo (RM)	Dott. L. Pari
CRA-PLF Unità di ricerca per le Produzioni Legnose fuori Foresta	CRA	Casale Monferrato (AL)	Dott. G. Facciotto
CRA-CIN Centro di ricerca per le Colture Industriali	CRA	Bologna	Dott. M. Di Candilo

Unità operative partecipanti al Progetto **FAESI**

Unità Operative	Ente	Località	Responsabile Scientifico
CRA-ING (Coordinatore) Unità di ricerca per l'Ingegneria Agraria	CRA	Monterotondo (RM)	Dott. L. Pari
CRA-PLF Unità di ricerca per le Produzioni Legnose fuori Foresta	CRA	Casale Monferrato (AL)	Dott. G. Facciotto
CRA-CIN Centro di ricerca per le Colture Industriali	CRA	Bologna	Dott. M. Di Candilo
CRA-SCA Unità di ricerca per i Sistemi Colturali degli ambienti Caldo-aridi	CRA	Bari	Dott. M. Mastrorilli
CRA Servizio Attuazione e Coordinamento Programmi di Ricerca	CRA	Roma	Dott.ssa F. D'Andrea
DISPA Dipartimento di Scienze delle Produzioni Agrarie e Alimentari	Università degli Studi di Catania	Catania	Prof. S.L. Cosentino
DITEC Dipartimento Tecnico Economico per la Gestione del Territorio Agricolo e Forestale	Università degli Studi della Basilicata	Potenza	Prof. G.C. Di Renzo
ARSSA Agenzia Regionale per lo Sviluppo ed i Servizi in Agricoltura della Regione Calabria	ARSSA	Mirto-Crosia (CS)	Dott. R. Bonofiglio



Colture da biomassa ad uso energetico

Potenzialità e prospettive

di MARIO DI CANDILO

GIANNI FACCIOTTO

Vengono esaminate le specie da biomassa lignocellulosica più idonee alle condizioni pedoclimatiche italiane, evidenziando per ciascuna di esse i punti di forza, le criticità, in attesa di soluzioni da parte della ricerca, e le prospettive di diffusione.

PAROLE CHIAVE: colture energetiche, competitività economica, compatività ambientale.

La nuova politica agricola comunitaria ha come obiettivo primario la realizzazione di uno sviluppo rurale sostenibile, basato sulla multifunzionalità dell'agricoltura (Agenda 2000, Conf. Berlino, 1999). Tale concetto è riferito al fatto che l'agricoltura, oltre ad assicurare la produzione primaria di beni e reddito, può svolgere molteplici altri ruoli inerenti la tutela ambientale, lo sviluppo equilibrato del territorio, il mantenimento della biodiversità, la prevenzione dei dissesti idrogeologici, la salvaguardia del tessuto economico locale e della vitalità delle comunità rurali. In tale quadro di riferimento **lo sviluppo di filiere agro-energetiche costituisce uno dei punti di riferimento della strategia europea e nazionale per ridurre le emissioni di gas serra** e la dipendenza dai combustibili fossili; inoltre, rappresenta un'opportunità per la diversificazione delle attività agricole e per la integrazione del reddito degli agricoltori. Secondo la direttiva europea 2009/28/CE, nota come pacchetto "Clima-Energia 20-20-20" entro il 2020 nell'UE si dovranno raggiungere i seguenti obiettivi strategici:

- la quota di energia rinnovabile dovrà raggiungere il 20% del fabbisogno energetico complessivo;
- le emissioni di gas serra dovranno essere ridotte di almeno il 20% rispetto a quelle del 1990;
- il consumo complessivo di energia dovrà essere ridotto del 20%, attraverso una migliore efficienza energetica.

Secondo una elaborazione AIEL, in Italia al 2020 l'energia derivata dalle biomasse, dovrà raggiungere quote pari a 19, 54 e 87% dell'energia totale ottenuta da Fonti di Energia Rinnovabile (FER), rispettivamente nei settori

dell'energia elettrica, nel riscaldamento e raffreddamento e in quello dei trasporti.

La biomassa agro-forestale rappresenta, dunque, una FER molto importante per la quale si possono prevedere ottime prospettive. D'altro canto, vi sono già paesi che ricavano dalle biomasse importanti quote di energia. Ci si riferisce, in particolare, al Brasile che è il più grande produttore di canna da zucchero e di zucchero al mondo e il secondo produttore di bioetanolo dopo gli Stati Uniti. Nella stagione saccarifera 2008-09 in questo Paese sono stati prodotti in totale 27,5 miliardi di litri di etanolo (GEIVER e JENSEN 2010). A livello europeo il Paese leader nell'utilizzo delle biomasse è la Germania, che ha sviluppato fortemente la filiera del biogas (oltre 500.000 ettari destinati a colture dedicate, quali: mais, sorgo zuccherino, triticale, ecc.); molto importante inoltre il caso della Finlandia che copre il 20% del fabbisogno energetico nazionale con la legna (HAKKILA 2006). A livello mondiale nei prossimi anni la produzione di biomasse agricole da colture "dedicate" potrebbe aumentare notevolmente soprattutto nei paesi avanzati, in ragione dell'incremento dei consumi energetici, della disponibilità delle tecnologie necessarie e della erogazione di incentivi monetari pubblici (WRIGHT 2006). Ovviamente, tale diffusione dovrà essere realizzata secondo principi di compatibilità ambientale, energetica ed economica. È fondamentale una specifica e attenta valutazione a priori di ciascun progetto al fine di identificare accuratamente i benefici e gli impatti.

Con riferimento alla sostenibilità economica del processo produttivo della biomassa, va considerato che il prezzo

MARIO DI CANDILO, CRA-CIN - Cento di Ricerca per le Colture Industriali, Bologna mario.dicandilo@entecra.it
GIANNI FACCIOTTO, CRA-PLF - Unità di Ricerca per le Produzioni Legnose fuori Foresta, Casale Monferrato (AL)

di questo prodotto è imposto da un mercato fortemente concorrenziale, pertanto la **competitività si basa sulla produttività e sulla capacità dell'imprenditore agricolo di ottenere grandi quantità di biomassa a basso costo**. Conseguentemente, risultano avvantaggiate le aziende che, grazie alla notevole disponibilità di terreno, al basso costo della manodopera e alle condizioni climatiche favorevoli, hanno bassi costi di produzione. In Italia, purtroppo, vi sono pochi terreni fertili, le superfici aziendali sono per lo più limitate e molto frammentate, e l'andamento primaverile-estivo è prevalentemente siccitoso in gran parte del Paese. In tale contesto i costi di produzione sono più alti rispetto agli altri paesi che, potendo destinare maggiori superfici alle colture da energia, possono beneficiare anche delle economie di scala. Alla luce di quanto fin qui evidenziato è chiaro che in Italia gli investimenti sulle colture energetiche si concentreranno soprattutto nel Nord del Paese (Pianura Padana), ove la piovosità maggiore e meglio distribuita nel tempo consente di ottenere produzioni sensibilmente superiori rispetto a quelle del Centro-Sud.

Altra conseguenza della nostra situazione strutturale sfavorevole è che l'imprenditore agricolo impegnato nella sola produzione di biomassa difficilmente potrà raggiungere livelli di reddito soddisfacenti. Necessariamente dovrà occuparsi anche della conversione energetica del prodotto: in questo caso la convenienza economica è quasi assicurata.

POSSIBILI DESTINAZIONI DELLE BIOMASSE

Produzione di energia termica su piccola scala

Attualmente le biomasse lignocellulosiche (legna a ciocchi, cippato, *pellets* e *briquettes*) destinate alla produzione di calore per il riscaldamento di abitazioni e per usi industriali a piccola scala sono fortemente competitive rispetto ai combustibili fossili. Di fatto, **tale destinazione d'uso è in costante crescita** grazie anche alla disponibilità di tecnologie di conversione (stufe, caldaie) molto efficienti, in grado di assicurare rese prossime al 90%.

Produzione di calore per teleriscaldamento

Il teleriscaldamento rappresenta un'altra destinazione d'uso delle biomasse lignocellulosiche. Si tratta di un sistema costituito di una centrale termica di media o grande potenza, che mediante una rete di tubi interrati e di un fluido termovettore (acqua in pressione a 120°C), distribuisce calore a numerosi edifici o interi quartieri. Tale tecnologia è molto diffusa nel Nord Europa, ma si sta diffondendo anche in Italia, soprattutto in Alto Adige, Piemonte, Lombardia, e lungo la dorsale appenninica.

Cogenerazione di energia elettrica e calore

La biomassa lignocellulosica può essere impiegata per l'alimentazione di impianti cogenerativi di energia elettrica e calore. In pratica, attraverso la combustione di biomassa in caldaia si produce vapore che alimenta una turbina accoppiata a un alternatore adibito alla produzione di energia elettrica. Il calore di scarico della macchina per la produzione di energia elettrica, pari al 65-75% del

contenuto energetico immesso con la biomassa, viene recuperato e destinato alla produzione di acqua calda per teleriscaldamento o per processi industriali.

Produzione di biogas, attraverso digestione anaerobica

In Italia ci sono 199 impianti per la produzione di biogas già operativi, altri 74 sono in costruzione, per una potenza complessiva di circa 150 MWe installati (PICCINI 2010). Si tratta di **un settore in forte espansione**, poiché offre le migliori garanzie tecniche ed economiche. In pratica la biomassa, mista a deiezioni animali e/o altri residui organici, attraverso digestione anaerobica all'interno di appositi "digestori", viene convertita in biogas, costituito per il 50-70% da metano e per la parte rimanente soprattutto da CO₂. Le colture maggiormente utilizzabili nel Nord Italia per tale destinazione sono: mais ceroso, sorgo zuccherino e triticale; nel Centro-Sud invece si prestano meglio i cereali a ciclo autunno-vernino, oppure le colture a ciclo primaverile-estivo con basse esigenze idriche. La trasformazione del biogas in energia può avvenire per combustione diretta in caldaia (con produzione di sola energia termica) o per combustione in cogeneratori per la produzione combinata di energia elettrica e di energia termica.

Produzione di bioetanolo

Le biomasse lignocellulosiche sono potenziali fonti di zuccheri per la produzione di etanolo, mediante fermentazione. Con tale tecnologia la resa in etanolo di una coltura lignocellulosica "dedicata" potrebbe raggiungere le 12 Tep/ha, mentre con le attuali tecniche di fermentazione degli zuccheri, utilizzando i cereali e la canna da zucchero, non si superano le 2-4 Tep/ha. In prospettiva questa via di accesso al bioetanolo diventerà sempre più importante anche se vi sono ancora talune criticità da rimuovere, quali: scarsa efficienza del processo di fermentazione dell'idrolizzato composto da esosi e pentosi in presenza di inibitori (es. composti fenolici); necessità di un elevato *input* energetico.

Produzione di biodiesel (Biomass To Liquid-BTL)

Le biomasse lignocellulosiche possono essere trasformate in un gas di sintesi, da cui si ottiene poi carburante diesel tramite un reattore Fisher-Tropsch. Il BTL, considerato biodiesel di "seconda generazione", è particolarmente promettente poiché offre la possibilità di ottenere un combustibile privo di zolfo e di composti aromatici. I principali limiti del processo sono legati agli elevati costi d'investimento degli impianti.

COLTURE ENERGETICHE

Le colture energetiche o "dedicate" possono essere raggruppate nelle seguenti tre tipologie:

- **colture da carboidrati** (cereali vernini, mais, barbabietola da zucchero e sorgo zuccherino): sono caratterizzate da un elevato contenuto zuccherino, e perciò le biomasse possono essere destinate alla produzione di bioetanolo (per autotrazione) o di biogas (per produzione di elettricità e calore);
- **colture oleaginose** (girasole e colza, soprattutto), contraddistinte da elevato contenuto in olio, che può essere utilizzato tal quale o trasformato in biodiesel;
- **colture da biomassa lignocellulosica**: sono specie



Foto 1 - Sorgho da biomassa (Foto Di Candilo)

caratterizzate da elevate produzioni di sostanza secca, che può essere destinata a diversi utilizzi energetici (combustione, gassificazione o pirolisi, produzione di biocarburanti di "seconda generazione").

Per la valutazione della competitività di una coltura energetica bisogna considerare molteplici aspetti, tuttavia il valore netto della produzione per unità di superficie, indipendentemente dalla destinazione finale della biomassa, è probabilmente il parametro più importante. Sotto il profilo energetico è molto importante valutare il rapporto tra *output* e *input* colturali (*output/input*) e il guadagno energetico netto (*output-input*). Quest'ultimo fattore è di maggiore interesse, in quanto un rapporto sebbene elevato può anche contemplare condizioni di basse produzioni, quindi con limitato interesse economico.

Riguardo alla valenza ambientale di una coltura da energia sono molto importanti le sue capacità di: immobilizzare il carbonio nel terreno; difendere il suolo dall'erosione e dai dissesti idrogeologici; e, salvaguardare la biodiversità.

COLTURE DA BIOMASSA LIGNOCELLULOSICA

La coltura ideale per la produzione di biomassa lignocellulosica dovrebbe presentare: facilità di reperimento del materiale di propagazione e costi d'impianto contenuti; elevata efficienza nella conversione dell'energia solare; elevato tasso di crescita giornaliero, mantenuto a lungo nel tempo; elevata efficienza d'uso dell'acqua e dell'azoto; resistenza a stress biotici e abiotici; competitività nei confronti delle infestanti; superficie fogliare estesa nello spazio e nel tempo, in modo da intercettare e convertire in biomassa la massima quantità di energia solare incidente; basso contenuto di umidità nella biomassa alla raccolta. Ovviamente, è molto difficile trovare una specie che raggruppi in sé tutti questi aspetti.

Le ricerche svolte in Italia nell'ultimo decennio hanno evidenziato le specie più idonee al nostro territorio per adattabilità ambientale e potenzialità produttive. Di seguito vengono esaminate quelle che hanno maggiore prospettive di diffusione, evidenziando per ciascuna di esse i punti di forza e le criticità.

Specie erbacee a ciclo annuale

Sorgho da biomassa

(*Sorghum bicolor* L. Moench: Foto 1).

È una graminacea di origine africana, diffusasi inizialmente in Asia ed Europa e successivamente in America ed Oceania. Fra le erbacee a ciclo annuale il sorgho è in-

dubbiamente 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.

La coltura del sorgho 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 sorgho ha una elevata efficienza d'uso dell'acqua (HABYARIMANA *et al.* 2004; COSENTINO 1996).

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 sorgho 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 (C-4), dote che si esalta particolarmente in ambienti caratterizzati da elevata intensità luminosa ed elevata temperatura, tipici del clima mediterraneo (HEICHEL 1976).

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 in pieno campo 18-20 t ha⁻¹ di sostanza secca in coltura 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 (DI CANDILO *et al.* 2010). 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 siccitoso.

Altro interessante aspetto 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.

Il sorgho 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 sorgho zuccherino può trovare un

vastissimo impiego nella filiera del biogas. 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 "seconda generazione" attraverso idrolisi della cellulosa.

Ovviamente è importante che la ricerca supporti le varie filiere per la risoluzione delle problematiche ancora aperte, quali:

- 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;
- selezione di nuove *cultivar* più produttive, più resistenti all'allettamento e a più elevata concentrazione di zucchero (nei tipi zuccherini);
- ottimizzazione dell'efficienza della fase agricola;
- razionalizzazione dei cantieri di raccolta;
- una più attenta valutazione dell'impatto ambientale connesso con la logistica dei trasporti nel caso della filiera lunga; ottimizzazione dell'efficienza della fase di trasformazione.

Specie erbacee perennanti

Canna comune

(*Arundo donax* L.: Foto 2).

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 (BEALE e LONG 1995; ROSSA *et al.* 1998; CHRISTOU 2001). Possiede **sorprendenti capacità di adattamento a tutti i tipi di suolo**, compresi quelli marginali e salini (PECK 1998), riesce a vegetare per lunghi periodi in condizioni estreme di contenuto idrico del terreno, dalle più aride alle più umide (LEWANDOSWIKI *et al.* 2003). Tollera valori di pH compresi fra 5 e 8,7 (DI TOMASO 1998). La coltura ha **ridotte esigenze di input colturali** grazie a peculiari caratteristiche della pianta, quali:

- ciclo perennante, che elimina i costi energetici annuali necessari per le lavorazioni del terreno e per la semina;
- elevata efficienza d'uso dell'azoto;
- traslocazione dei nutrienti, in autunno, dalle foglie ai rizomi (BELL e GARY 1997) per utilizzarli successivamente in primavera alla ripresa vegetativa;
- 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).

La canna comune **si contraddistingue anche 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 e NUNEZ 1964; PERDUE 1958): elementi che indubbiamente la proteggono dai parassiti di ogni genere. 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). Sotto il profilo ambientale



Foto 2 - Canna comune (Foto Di Candilo)

va evidenziato che la coltura è in grado di costituire validi *carbon sink*, sia per l'accumulo di sostanza organica nel terreno, conseguente alla non lavorazione, sia per l'accumulo di carbonio negli organi di riserva (rizomi e radici). In ragione delle numerose caratteristiche sopra evidenziate la canna comune è considerata una delle migliori specie per la produzione di biomassa lignocellulosica ad uso energetico nei paesi del Sud Europa (LUNNAN A. 1997; FOTI e COSENTINO 2001; SHATALOV e PEREIRA 2002; DI CANDILO *et al.* 2008).

Negli ambienti mediterranei l'*Arundo* non produce seme a causa della sterilità florale 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, poichè 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, piantine micro-propagate e talee di culmo. 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, sezionamento e reimpianto dei rizomi. Inoltre, il reperimento di questi ultimi risulta difficoltoso, poichè la mancanza di una adeguata attività vivaistica costringe ad attingere da piccoli canneti spontanei o da coltivazioni già in atto. D'altra parte, anche le piantine micropropagate hanno un costo piuttosto elevato (circa 4.500 € ha⁻¹) e la tecnica basata sull'impiego di talee di culmo è ancora in fase di perfezionamento. Inoltre, per l'applicazione di questa tecnica su ampia scala a costi competitivi occorre meccanicizzare le operazioni inerenti la raccolta e la selezione delle canne, il sezionamento di queste ultime e l'interramento delle talee.

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 (GEOTTO 2007). È stato riscontrato infatti che le talee prelevate in primavera inoltrata, da culmi al secondo anno di età, con



Foto 3 - Miscanto (Foto Di Candilo)

piccole ramificazioni laterali, interrato orizzontalmente a una quindicina di centimetri 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 fittezza che come uniformità di emergenza. 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 micro-propagate. 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. 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 accostamento, 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 ad eguagliare la coltura derivata da rizomi.

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). In un confronto fra diverse specie avviato nel 2002 ad Anzola dell'Emilia (BO), in terreno franco-limoso, l'*Arundo* 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 (2008-2010) si è poi stabilizzata

intorno alle 39 t ha⁻¹. 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 interessanti risultati, oltre che alla specie, sono ascrivibili, verosimilmente, ai tre seguenti fattori:

- 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;
- reintegro annuo del fosforo e dell'azoto nel terreno;
- buona piovosità durante la vegetazione della coltura (500-600 mm).

In un altro esperimento avviato nel 2007 a Conselice (RA), la performance della coltura nei 4 anni di valutazione è stata meno interessante, raggiungendo una produzione media pari a 16,4 t ha⁻¹. 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 potersi attingere.

Miscanto

(*Miscanthus* × *Giganteus*: Foto 3).

Appartiene alla famiglia delle *Poaceae*, è originario dell'Asia ed è stato introdotto in Europa negli anni '30 come pianta ornamentale. Il genere *Miscanthus* comprende 17 specie, che possono incrociarsi fra loro dando origine a ibridi interspecifici.

L'ibrido triploide *Miscanthus* × *Giganteus*, derivante verosimilmente dall'incrocio *M. sinensis* × *M. sacchariflorus* (GREEF e DEUTER 1993) è stato introdotto in Danimarca dal Giappone. Negli anni '60 la pianta è stata oggetto di studio per la produzione di cellulosa; successivamente, a partire dagli anni '80, è stata presa in considerazione anche per destinazione energetica.

Il miscanto è una specie erbacea perennante, rizomata a ciclo fotosintetico C-4. La parte ipogea della pianta risulta formata da rizomi, i quali danno origine ad un vasto apparato radicale fibroso che può superare i 2,5 m di profondità. La parte aerea, invece, è costituita da fusti esili eretti (7-8 mm di diametro), che nelle condizioni più favorevoli possono superare i 3 m di altezza. Le foglie sono alterne, lanceolate e taglienti per l'elevato contenuto di silicio. Analogamente alle foglie della canna comune, al termine di ciascun ciclo vegetativo cadono a terra formando uno strato pacciame molto efficiente per: ridurre le perdite di acqua per evaporazione; controllare le infestanti; e, proteggere il terreno dall'erosione.

Contrariamente ad altre specie C-4, il **miscanto non ha grandi esigenze termiche**: la soglia minima di vegetazione è di 8°C, ma già a 12°C mostra una buona capacità fotosintetica. Altri aspetti positivi della coltura sono: l'**elevata efficienza d'uso della luce incidente** (CLIFTON-



Foto 4 - Panico (Foto Di Candilo)



Foto 5 - Cardo (Foto Di Candilo)

BROWN *et al.* 2004); l'**elevata efficienza d'uso dell'acqua**, con valori attorno a 3,5 g di s.s. l⁻¹; e, la **buona efficienza d'uso dell'azoto** (circa 200 g di s.s. g⁻¹ di N). Anche in relazione alla traslocazione autunnale degli elementi nutritivi dalla parte aerea ai rizomi la specie è poco esigente dal punto di vista nutrizionale: in terreni di media fertilità sono sufficienti apporti annui di 50-100 kg ha⁻¹ di azoto. L'irrigazione è richiesta nel Sud Italia in particolar modo nell'anno d'impianto. **La pianta si contraddistingue anche per rusticità**, tale da non presentare problematiche fitosanitarie di rilievo.

Sotto il profilo ambientale offre gli stessi vantaggi della canna comune (accumulo di sostanza organica e carbonio nel terreno, non richiede trattamenti chimici di difesa contro parassiti e malerbe).

La produttività annua di biomassa cresce nei primi anni d'impianto, anche in relazione alla densità d'investimento iniziale, fino a stabilizzarsi nel terzo-quarto anno intorno alle 15-25 t ha⁻¹ di sostanza secca. **La durata dell'impianto può superare i 20 anni.**

Il prodotto può essere destinato alla produzione di energia termo-elettrica, per combustione, o in prospettiva alla produzione di biocombustibili di "seconda generazione" (bioetanolo e biodiesel).

La principale criticità della specie, come per la canna comune, è rappresentata dalla sterilità fiorale, che obbliga a propagare la specie per rizoma. In sostanza, è **il costo d'impianto della coltura, piuttosto elevato, che ne frena fortemente la diffusione**; ciò anche se l'importo andrebbe spalmato su un periodo non inferiore a 15 anni.

Panico

(*Panicum virgatum* L.: Foto 4).

Appartiene alla famiglia delle *Poaceae*. È originario del Nord America, ove si è diffuso come coltura foraggera (MOSER e VOGEL 1995; ELBERSEN *et al.* 2003). Dagli anni '80 viene studiato anche come coltura da biomassa per la produzione di elettricità, calore ed etanolo (TURNHOLLOW 1991; SANDERSON *et al.* 1996; McLAUGHLIN e Kszos 2005). Il panico è una specie perennante, rizomatosa, a ciclo fotosintetico C-4. **Negli USA è considerato come coltura modello per la produzione di biomassa lignocellulosica**, per i suoi buoni livelli produttivi in un ampio range di situazioni ambientali, per la sua adattabilità a terreni marginali, per le sue ridotte esigenze di input colturali e per i suoi effetti positivi sull'ambiente (FIKE *et al.* 2006; McLAUGHLIN *et al.* 1996; SANDERSON *et al.* 1996;)

La specie ha minimi termici pari a 5,5-10°C per la germi-

nazione e 12-16°C per la vegetazione, mentre la temperatura ottimale di crescita è di 25-30°C (MADAKAZE *et al.* 2003). La pianta, sensibile al fotoperiodo, è indotta alla fioritura quando la durata del giorno scende sotto le dieci ore. È piuttosto resistente alla siccità e si adatta abbastanza bene alle variazioni del pH del terreno (5-8).

La parte aerea della pianta è formata da culmi cilindrici, eretti, piuttosto sottili (6-8 mm di diametro) che possono raggiungere altezze di 2-2,5 m, fino a 3 m nelle condizioni più favorevoli. Le foglie sono glabre e allungate (20-30 cm). L'apparato radicale, ampio e profondo, risulta formato da lunghi rizomi e da radici fibrose. Contrariamente alla canna comune e al miscanto, **il panico produce seme fertile e, pertanto, può essere propagato per seme a costi molto contenuti**. Una volta insediata la coltura mostra buona competitività verso le infestanti e discreta tolleranza agli stress idrici. Va tuttavia sottolineato che l'impianto della coltura e le fasi immediatamente successive (emergenza e sviluppo delle plantule) risultano particolarmente delicati a causa di diversi fattori, quali:

- dormienza dei semi;
- dimensioni del seme estremamente ridotte (0,7-2 mg l'uno), che impongono estrema cura nella preparazione del letto di semina e nella deposizione del seme in uno strato molto superficiale del terreno;
- scarso vigore germinativo del seme, con conseguente possibilità di avere emergenze irregolari ed insufficienti, soprattutto nei terreni soggetti a formazione di crosta superficiale;
- ritmo di accrescimento lento delle giovani piante;
- mancanza di competitività della coltura nei confronti delle infestanti nel 1° anno;
- indisponibilità di graminicidi selettivi per il controllo delle infestanti.

Per tali motivazioni l'impianto della coltura spesso va incontro a insuccesso.

I genotipi disponibili si distinguono in due ecotipi: "lowland" e "upland". Il primo cresce come pianta spontanea nelle pianure alluvionali del Nord America, si contraddistingue per maggiore rusticità, maggiori dimensioni dei culmi, minore sensibilità all'allettamento e maggiore produttività (MOSER e VOGEL 1995; HULTQUIST *et al.* 1996).

La produttività della coltura può superare le 12 t ha⁻¹ anno⁻¹ di sostanza secca, fino a 25 t ha⁻¹ con le *cultivar* più produttive, quali ad esempio Alamo e Kanlow (GRIGATTI *et al.* 2004; MONTI *et al.* 2006; FIKE *et al.* 2006). La durata dell'impianto è di 10-15 anni.



Foto 6 - Pioppo (Foto Di Candilo)



Foto 7 - Robinia (Foto Di Candilo)

Cardo

(*Cynara cardunculus* L.: Foto 5).

È una specie erbacea perennante, appartenete alla famiglia delle *Asteraceae*. È originaria delle regioni del Bacino Mediterraneo, nelle quali si è largamente diffusa sia come pianta selvatica, sia come pianta coltivata ad uso alimentare. Dagli anni '90 è oggetto di studio anche come coltura da biomassa a destinazione energetica. La pianta ha un apparato radicale fittonante, abbastanza profondo (fino a 2,5 m); il fusto normalmente è molto ramificato, di altezza variabile da 1 a 2 m e diametro di 15-20 mm. Le foglie presentano numerose spine marginali. Le infiorescenze a capolino sono portate all'estremità del fusto principale e delle ramificazioni. Il frutto è un achenio con peso unitario compreso fra 15 e 70 mg.

Il ciclo del cardo può essere autunno-primaverile nelle zone litoranee, oppure primaverile-estivo nelle aree più fredde. In estate la parte epigea della pianta dissecca, ad eccezione delle gemme perennanti basali, le quali a fine estate-inizio autunno daranno origine ad un'ampia rosetta di foglie. In questo stadio la pianta sverna. In primavera si ha la differenziazione dello scapo florale, costituito da fusto, foglie e ramificazioni. Si tratta dunque di una specie particolarmente idonea alle condizioni caldo-aride del Sud Italia: grazie al ciclo di crescita autunno-primaverile, riesce a intercettare gli apporti idrici naturali, **riuscendo così a raggiungere buoni livelli produttivi senza il supporto irriguo**. Il cardo si adatta a vari tipi di terreno, anche se predilige quelli profondi, privi di scheletro e con pH prossimo alla neutralità.

Le esigenze nutritive della coltura sono piuttosto contenute: secondo una ricerca realizzata in Spagna gli apporti annuali di nutrienti indicati sono di 12, 3 e 20 kg ha⁻¹ di N, P₂O₅ e K₂O, rispettivamente.

Nel primo anno di vita la coltura presenta una scarsa competitività nei riguardi delle infestanti, pertanto **sono richiesti interventi di diserbo di tipo chimico e meccanico**. La resa in sostanza secca varia sensibilmente in relazione all'ambiente di coltivazione ed in particolare alla disponibilità di acqua nel terreno (RACCUJA e MELILLI 2007; FERNANDEZ *et al.* 2006): mediamente le produzioni di sostanza secca in parcelle variano fra 5 e 20 t ha⁻¹anno⁻¹. Quest'ultima risulta costituita per il 30-40% da capolini, 8-10% da semi e per la parte rimanente da fusti e foglie.

La biomassa può avere diverse destinazioni d'uso: la conversione termochimica mostra dei limiti dovuti all'alto contenuto di ceneri e basso potere calorifico; l'olio estratto dal

seme, pari a circa il 25%, può essere destinato alla produzione di biodiesel di buona qualità; altra possibile destinazione è quella cartaria; inoltre, il seme può essere destinato alla estrazione di polifenoli ad azione antiossidante.

Specie arboree

Pioppo

(*Populus* Spp L.: Foto 6).

Appartiene alla famiglia delle Salicacee e ha un areale naturale esteso su tutto l'emisfero boreale tra i 25° ed i 60° latitudine Nord. Il pioppo ha una lunga tradizione di coltivazione nel nostro Paese per la produzione di pannelli, di carta e per l'imballaggio. A partire dai primi anni duemila sono state costituite, soprattutto in Lombardia e Veneto, le prime piantagioni per la produzione di materiale di piccolo diametro da destinare alla produzione di energia. Mentre per la produzione tradizionale si utilizzano densità tra le 270 e le 400 piante per ha⁻¹ con turno di circa 10 anni, per la produzione energetica le densità sono molto più elevate: variano tra le 1.100 e le 14.000 piante ha⁻¹ con turni di 2 - 5 anni. Per questa coltura si utilizzano cloni appartenenti a specie pure, *P. alba* L e *P. deltoides* Bartr (ex Marshall), o ibride *P. × canadensis* Mönch e *P. × generosa* A. Henry. 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⁻¹anno⁻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⁻¹anno⁻¹, fino a punte di 20 t ha⁻¹anno⁻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). Le coltivazioni testate hanno dimostrato di **entrare a regime tra il secondo e il quarto turno**; in seguito la produttività decresce a causa di una progressiva mortalità delle ceppaie. I pioppi prediligono suoli tendenzialmente sciolti, profondi, con basso contenuto di calcare attivo e di cloruri. Il fattore che limita maggiormente la loro produzione è la disponibilità di acqua, necessitano di almeno 700 mm di piogge annuali (BERGANTE *et al.* 2010).

Robinia

(*Robinia pseudoacacia* L.: Foto 7).

Appartiene alla famiglia delle Leguminose; è una specie originaria del Nord America, ormai naturalizzata in Europa. Essa è **più rustica rispetto al pioppo** e può essere coltivata anche in terreni non irrigui di pianura e nelle zone collinari e montane fino a 1.000 m s.l.m. sulle Alpi e anche a quote maggiori sugli Appennini (GRAS 1991). Attualmente per le piantagioni italiane vengono utilizzate provenienze ungheresi, selezionate appositamente per le elevate produzioni di biomassa (REDEY *et al.* 2010). È comunque in corso una selezione di genotipi anche presso l'Unità di ricerca per le Produzioni Legnose fuori Foresta (PLF) del CRA (GRAS e MUGHINI 2009). Si adatta bene a molti tipi di suolo, preferendo quelli franchi, permeabili e silicei con pH intorno a 6. 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 con la robinia 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. **La robinia, grazie alla simbiosi col *Rhizobium*, è una specie azotofissatrice e miglioratrice del terreno;** necessitando di poche o nulle concimazioni azotate il bilancio energetico complessivo della coltivazione risulta migliore di quello di altre specie più esigenti. Per la **elevata capacità pollonifera, anche radicale**, la pianta si presta ai tagli ripetuti a distanze ravvicinate (2-3 anni) meglio del pioppo, necessita però di densità d'impianto inferiori (6.000 - 8.000 piante ha⁻¹). **È specie mellifera**, quindi se allevata con intervalli di taglio in grado di consentire la fioritura, turni di 5-6 anni, può fornire un importante contributo alla produzione di miele e allo sviluppo dell'entomofauna impollinatrice.

Utilizzando provenienze selezionate di questa specie in impianti con densità di 9.000 piante per ha⁻¹ e turni biennali sono state ottenute produzioni medie di circa 15 t ha⁻¹anno⁻¹ di sostanza secca (DI CANDILO *et al.* 2008); in impianti radi con 1.500 piante ha⁻¹ e turni di 5-6 anni sono state riscontrate rese pari a 6,6 t ha⁻¹anno⁻¹ (FACCIOOTTO *et al.* 2009).

Eucalitto

(*Eucalyptus* L'Her. Spp: Foto 8).

Appartenente alla famiglia delle Mirtacee, è originario dell'Oceania, ma si è ormai diffuso come coltura industriale in tutto il mondo. La pianta ha esigenze termiche piuttosto elevate, pertanto può essere coltivato solo nelle zone più calde del Centro-Sud Italia. Attualmente nel nostro Paese la superficie occupata dagli eucalitti ammonta a circa 40-50.000 ha (GEMIGNANI 2000). Buoni risultati si ottengono con le specie *Eucalyptus globulus* Labill. subsp. *globulus*, *Eucalyptus globulus* subsp. *bicostata* (Maiden, Blakely & J. Simm.) J.B. Kirk 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). Naturalmente nelle condizioni più difficili le produzioni sono abbastanza scarse.

Una quindicina di cloni di eucalitto sono stati selezionati in Italia dal CRA-PLF, sede di Roma, nell'ambito di



Foto 8 - Eucalitto (Foto Facciotto)

incroci tra piante di *E. camaldulensis* con *E. globulus* ssp. *globulus*, *E. globulus* ssp. *bicostata*, *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 fitoestrattiva di metalli pesanti, ma al momento non sono ancora disponibili sul mercato (MUGHINI *et al.*, 2007). Le prove di campo realizzate recentemente con il materiale migliorato, allevato a densità di 3-5.000 piante ha⁻¹ e turni di 2-5 anni, hanno fornito produzioni medie clonali variabili da 20 t ha⁻¹anno⁻¹ di sostanza secca, nelle situazioni più favorevoli (abbondanza di acqua), a 7-10 t ha⁻¹anno⁻¹ nelle condizioni più sfavorevoli (lungi periodi siccitosi estivi senza irrigazione) (MUGHINI *et al.* 2007). Recentemente si sono diffusi in tutto il bacino del Mediterraneo degli insetti galligeni ai quali sono risultate resistenti solo le specie *E. occidentalis* Endl. ed *E. gomphocephala* DC.: entrambe hanno esigenze termiche superiori a *E. camaldulensis*. La specie *E. gomphocephala* è stata utilizzata negli anni 2007-2010 per la costituzione di alcune piantagioni cedue a turno breve in Sardegna, nell'ambito del progetto SUSCACE, poiché il suo accrescimento risultava superiore a quello di *E. camaldulensis* attaccato dai parassiti; le produzioni ottenute nel primo taglio da tali piantagioni sono state comprese tra 4 e 9 t ha⁻¹anno⁻¹ di sostanza secca.

Bibliografia

Agenda 2000, Conf. Berlino, 1999 - http://ec.europa.eu/agenda2000/index_it.htm

ANGELINI L.G., 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.** Europ. J. Agronomy 22: 375-389.

BEALE C.V., LONG S.P., 1995 - **Can perennial C₄-grasses attain high efficiencies 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.

BERGANTE, S., FACCIOOTTO 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 Step-wise regression analysis. Central European Journal of Biology 5(4): 522-530.

BHANWRA R.K., CHODA S.P., KUMAR S., 1982 - **Comparative embryology of some grasses**. Proceedings of the Indian National Science Academy, 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.

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: 2089-2091.

CLIFTON-BROWN J.C., STAMPFL P.F., JONES M.B., 2004 - ***Miscanthus* biomass production for Energy in Europe and its potential contribution to decreasing fossil fuel carbon emissions**. Global Change Biol. 10: 509-518.

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, 1-3 April: 30-41.

COSENTINO S., FOTI S., VENTURI G., GIOVARDI R., COPANI V., MANTINEO M., D'AGOSTA G., BEZZI G., MAZZOCCO T., 2005 - **Culture erbacee annuali e poliennali da biomassa per energia di possibile coltivazione in Italia**. Agroindustria 1: 35-48.

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., BARBANTI L., FAZIO S., MONTI A., VENTURI G., 2009 - **Le colture lignocellulosiche per la produzione di biomassa da energia**. In: RANALLI P. (Ed.) Le piante industriali per una agricoltura multifunzionale. Edizioni Avenue Media, 199-244.

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., CESARETTI C., RANALLI P., DIOZZI M., PASINI P., 2005 - **Culture 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.) *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.

ELBERSEN H.W., CHRISTIAN D.G., YATES N.E., EL BASSAM N., SAUERBECK G., ALEXOPOULOU, 2003 - **Switchgrass nutrient composition**. In: Switchgrass (*Panicum virgatum* L.) as an alternative energy crop in Europe. Initiation of a productivity network. FAIR 5-CT97-3701. pp. 21-32 (www.switchgrass.nl).

FACCIOTTO G., GIORCELLI A., VIETTO L., ALLEGRO G., CASTRO G., PICCO F., 2006 - **Nuovi cloni di pioppo**. Agricoltura 6: 71-78

FACCIOTTO G.; BERGANTE S.; MUGHINI G.; GRAS M. L.; NERVO G. 2009 - **Biomass production with fast growing woody plants for energy purposes in Italy**. In: Proceedings of the International Scientific Conference 'Forestry in achieving millennium goals' Held on 50th Anniversary of foundation of the Institute of Lowland Forestry and Environment. Novi Sad, Serbia 13-15 Novembre 2008: 105-110

FERNANDEZ J., CURT M.D., AGUADO P.L., 2006 - **Industrial applications of *Cynara cardunculus* L. for energy and other uses**. Ind. Crops Prod. 24: 222-229.

FIKE J.H., PARRISH D.J., WOLF D.D., BALASKO J.A., GREEN J.T., RASNAKE M. JR., REYNOLDS J.M., 2006 - **Long-term yield potential of switchgrass-for-biofuel systems**. Biomass and Bioenergy, 30, 3: 198-206.

FOTI S., COSENTINO, S.L., 2001 - **Colture erbacee annuali e poliennali da energia**. Rivista di Agronomia 35: 200-215.

GEIVER L., JENSEN H., 2010 - **International Ethanol Report: 2010**. Ethanol producer Magazine. On line: www.ethanolproducers.com

GEMIGNANI G., 2000 - **La coltivazione degli eucalitti in ambiente mediterraneo**. In: DETTORI S., FILIGHEDDU M.R. (a cura di), Arboricoltura da legno: quale futuro? Accademia Italiana di Scienze Forestali, Firenze; Univ. degli Studi di Sassari, Dip. di Economia e sistemi arborei: 62-75.

GRAS M. L., MUGHINI G., 2009 - ***Robinia pseudoacacia* L.**: In: Risorse Genetiche Forestali in Italia. Arezzo; Centro per la Ricerca in Selvicoltura. Cap. 4 1-4.

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

GREEF J.M., DEUTER M., 1993 - **Syntaxonomy of *Miscanthus x giganteus* GREEF et DEU**. Angewandte Botanik, 67: 87-90.

GRIGATTI M., BARBANTI L., PRITONI G., VENTURI G., 2004 - **Comparison of switchgrass (*Panicum virgatum* L.) genotypes as potential energy crop**. In: Proc. 2nd World Conference on Biomass for Energy, industry and climate Protection, 10-14 May 2004, Rome, Italy.

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

HAKKILA P., 2006 - **Factors driving the development of forest Energy in Finland**. Biomass and Bioenergy 30: 281-288.

HEICHEL G.H., 1976 - **Agricultural production and energy resources**. Am. Scientist 64: 64-72.

HULTQUIST S.J., VOGEL K.P., LEE D.J. ARUMUGANATHAN K., KAEPLER S., 1996 - **Chloroplast DNA and nuclear DNA content variations among cultivars of switchgrass, *Panicum virgatum* L.** Crop Sci. 36: 1049-1052.

JACKSON G.C., 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.

KOS B., GREMAN H., LESTAN D., 2003 - **Phytoextraction of lead, zinc and cadmium from soil by selected plants**. Plant Soil Environ. 49: 548-553.

LEWANDOSWIKI 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.

- MADAKADZE I.C., STEWART R.M., MADAKADZE R.M., SMITH D.L., 2003 - **Base temperatures for seedling growth and their correlation with chilling sensitivity for warm-season grasses.** Crop Science, 43: 874-878.
- 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'Informatore Agrario, 18: 49-53.
- 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., L.A. Kszos, 2005 - **Development of switchgrass (*Panicum virgatum*) as a bioenergy feedstock in the United States.** Biomass and Bioenergy, 28: 515-535.
- MCLAUGHLIN S.B., SAMSON R., BRANSBY D., WISELOGEL A., 1996 - **Evaluating physical, chemical, and energetic properties of perennial grasses as biofuels.** In: Bioenergy '96. Proc. of the Seventh National Bioenergy Conference. Sept 15-20, Nashville Tennessee. Vol.1, pp.1-8.
- 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.
- 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., PRITONI G., VENTURI P., CANESTRALE R., 2006 - **Colture da biomassa: panico e canna comune, performance a confronto.** Agricoltura, anno 34, n. 11: 80-82.
- MOSER L.E., VOGEL K.P., 1995 - **Switchgrass, Big Bluestem, and Indiangrass.** In: R.F. BARNES, D.A. MILLER and C. NELSON (eds.) An introduction to grassland agriculture. Forages, 5th ed. Vol. 1, Ames, IA: Iowa University Press, pp. 409-420.
- 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.
- MUGHINI, G. 1997 - **Production of hybrid clones: Italy.** Commission of the European Communities, Brussels. In: Improvement of eucalypt management an integrated approach: breeding, silviculture and economics, Final Report, (01.11.1993-31.10.1996), AIR3-CT93-1678, pp.10.
- 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.
- ONOFRI A., 1940 - **La canna comune (*Arundo donax* L.).** Ed. INC.
- 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, 4: 1524-1532.
- 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.
- PERDUE R.E., 1958 - ***Arundo donax* – source of musical reeds and industrial cellulose.** Economic Botany 12: 368-404.
- PICCINI S., 2010. - **Il biogas: dove e quando conviene.** Atti del Workshop "L'esperienza di ITABIA: casi di studio e buone pratiche per un corretto approccio alle filiere legate alla bioenergia". Roma, 2 Luglio 2010: pp. 16-21, on line: <http://www.itabia.it>
- PIMENTAL D., KRUMMEL J., 1987 - **Biomass energy and soil erosion: assessment of resource costs.** Biomass 14: 15-38.
- RACCIUA S.A., MELILLI M.G., 2007 - **Biomass and grain oil yields in *Cynara cardunculus* L. genotypes grown in a Mediterranean environment.** Field Crops Research 101: 187-197.
- 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.** Lesnický časopis – Forestry Journal 56(4): 327-335.
- 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: 216–219.
- SANDERSON M.A., REED R.L., MCLAUGHLIN S.B., WULLSCHLEGER S., CONGER B., PARRISH D., WOLF D.D., TALIAFERRO C., HOPKINS A.A., OCUPAUGH W., HUSSEY M.A., READ J.C., TISCHLER, C.R. 1998 - **Switchgrass as a sustainable bioenergy crop.** Bioresour. Technol., 56: 83-93.
- SHATALOV A.A., PEREIRA H., 2002 - **Influence of stem morphology on pulp and paper properties of *Arundo donax* L.** Ind. Crops and Prod. 15: 77–83.
- TOLBERT V.R., THORNTON F.C., JOSLIN J.D., BOCK B.R., BANDARANAYAKE W.E., TYLER D., PETTRY D., GREEN T.H., MAKI R., BINGHAM L., HOUSTON A.E., SHIRES M., DEWEY J., 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 Partnership, Madison, Wisconsin, October 4-8, 1998.
- TURNHOLLOW A.F., 1991 - **Screening herbaceous lignocellulosic energy crops in temperate regions of the USA.** Bioresource Technology, 36: 247-252.
- WRIGHT L., 2006 - **Worldwide commercial development of bioenergy with a focus on energy crop-based projects.** Biomass and Bioenergy 30: 706-714.

KEYWORDS: agro-energy, energy crops, economic convenience, energy conversion.

Abstract: *The biomass crops for Energy use: potentiality and prospects*

The recent decisions of energy and agricultural policy of the EU, and the reasons behind the promotion of renewable energy are here discussed, with special emphasis on lignocellulosic energy crops. Regarding the prospects, and notably the economic income for the farmers, are highlighted the environmental conditions (drought conditions during the spring-summer growing season) and structural conditions (restricted land area available for bioenergy, small and fragmented land areas within the farms) of the Italian territory. Thus, in the current situation it is unlikely that the stakeholders could achieve satisfactory income if their role is limited to the production of biomass. Hence, we suggest that the farmers could take advantage by converting themselves the biomass into useful energy, then selling the energy on the market. Moreover, the main suitable energetic destination of the lignocellulosic biomass are discussed. Finally, the most promising species for producing bioenergy in Italian pedoclimatic conditions are presented, highlighting for each of the species the points of strength and the critical points.

Raccolta delle colture da energia

Tecnologie disponibili

di LUIGI PARI, VINCENZO CIVITARESE,
ALBERTO ASSIRELLI, ENRICO SANTANGELO

L'esigenza di diversificare le produzioni agricole e la necessità di utilizzare fonti rinnovabili di energia ha favorito lo sviluppo di filiere produttive ed energetiche basate sulle colture *no-food*, specificatamente dedicate alla produzione di biomassa a destinazione energetica. Il lavoro intende fare il punto sulla meccanizzazione delle fasi relative alla raccolta delle piantagioni erbacee, arboree ed oleaginose dedicate.

PAROLE CHIAVE: colture da energia, meccanizzazione della raccolta, trinciatura, condizionatura, trebbiatura

Nel corso degli ultimi anni le colture a destinazione energetica hanno assunto un ruolo di primo piano tra le fonti rinnovabili. Ciò è dovuto al fatto che le caratteristiche di tale modello colturale sono tali da consentire una strutturazione ed una pianificazione dettagliata della filiera, dalla fase di impianto alla logistica della raccolta, allo stoccaggio e alla conversione energetica. Timori e preoccupazioni, sia di tipo ambientale relativamente all'inquinamento causato dall'impiego di fonti non rinnovabili, sia di tipo economico concernenti l'esaurimento dei giacimenti fossili hanno, inoltre, promosso politiche incentivanti la diffusione di colture a destinazione energetica.

Le biomasse vegetali utilizzabili a tale scopo possono essere così distinte:

- residui e sottoprodotti lignocellulosici prove-

nienti dalla manutenzione dei boschi, (cimali, rami, potature, diradamenti) e dalla lavorazione del legno (cortecce, sfridi, segatura, trucioli);

- residui agro industriali (paglie, gusci, noccioli ecc);
- colture lignocellulosiche da piantagioni dedicate (pioppo, canna comune, sorgo da fibra ecc.);
- colture oleaginose (colza, girasole, ecc);
- colture zuccherine (barbabietola, sorgo zuccherino, topinambur ecc);
- colture amidacee (cereali, mais, patate);
- residui dell'industria agroalimentare.

La raccolta è una delle fasi del processo produttivo che riveste maggiore importanza ed è in grado di influenzare sia la redditività di una coltura, rendendola più o meno competitiva sul mercato in funzione del livello



Foto 1 - Rotore CRA ING. Da notare il minor numero di portacoltelli e il diverso angolo di inserzione dei coltelli rispetto al rotore di serie.

LUIGI PARI, CRA-ING - Unità di Ricerca per l'Ingegneria Agraria, Monterotondo - VINCENZO CIVITARESE, CRA-ING vincenzo.civitarese@entecra.it
ALBERTO ASSIRELLI, CRA-ING - ENRICO SANTANGELO, CRA-ING

di meccanizzazione adottato, **sia la qualità del prodotto finale**, agendo sulle dimensioni del prodotto finale e sul suo contenuto di umidità (ASSIRELLI *et al.* 2006). La qualità del prodotto risulta decisiva dal punto di vista della resa energetica, della conservabilità, del tipo di impianto industriale in cui verrà utilizzato e nella formazione del prezzo di mercato.

Il prodotto finale (ad alto contenuto energetico) derivante dalle biomasse vegetali può essere utilizzato come combustibile solido per riscaldamento, teleriscaldamento urbano, generazione di energia elettrica (legno, cippato, *pellets* ecc), come combustibile liquido per riscaldamento, autotrazione (oli vegetali, esteri, alcoli) e, infine, come combustibile gassoso per la generazione di energia termica ed elettrica (biogas da digestione anaerobica).

Il presente lavoro vuole fornire una panoramica della meccanizzazione disponibile per la raccolta delle colture energetiche, con particolare riferimento alle innovazioni agro-meccaniche sviluppate dal CRA-ING nell'ambito dei progetti SUSACE e FAESI.

TECNOLOGIE DISPONIBILI

La biomassa ottenibile da colture *no-food* può essere sostanzialmente di tipo lignocellulosico, da destinare a processi di combustione, oppure di tipo oleaginoso, per la produzione di biocombustibili. Le specie agrarie da cui è possibile ricavare biomassa lignocellulosica possono essere le più diverse: erbacee a ciclo annuale (sorgo da fibra), erbacee a ciclo poliennale (canna comune, miscanto) oppure arboree (pioppo, robinia, eucalipto). Per quanto riguarda le oleaginose, tra le più studiate troviamo il girasole, le brassicacee (colza, *Brassica carinata*) e il cardo. Quest'ultimo è in grado di produrre anche interessanti quantitativi di biomassa lignocellulosica, costituendo, pertanto, un interessante esempio di coltura a duplice destinazione energetica (biomassa lignocellulosica da combustione e seme oleaginoso per la produzione di biodiesel) e per la quale sarebbe particolarmente utile prevedere la raccolta separata delle due frazioni (biomassa lignocellulosica e seme oleaginoso).

Raccolta delle biomasse arboree allevate a Short Rotation Forestry

Le *Short Rotation Forestry* rappresentano una importante fonte di energia rinnovabile (HANSEN 1991) e una possibile alternativa ai combustibili fossili in Europa (BERGANTE *et al.* 2010). Le principali specie utilizzabili sono il pioppo (*Populus spp.*), la robinia (*Robinia pseudoacacia L.*), l'eucalipto (*Eucalyptus spp.*) e il salice (*Salix cinerea, salix alba ecc.*) e la scelta dipenderà dalle caratteristiche pedo-climatiche della zona (PARIS *et al.* 2011; ITABIA 1999; GCI 1999).

Raccolta in una fase

Le macchine maggiormente impiegate nella **raccolta in una fase (raccolta e cippatura delle piante in piedi)** sono rappresentate da falciatrici-caricatrici agricole semoventi equipaggiate con testate da biomassa (SPINELLI *et al.* 2009). Queste macchine, pur risultando altamente operative, tendono a produrre un cippato particolarmente fine, con ripercussioni negative sulla qualità finale del prodotto. Ciò è da attribuire alle caratteristiche del dispositivo di trinciatura di derivazione agricola montato di serie. Il CRA-ING (in collaborazione con la Ditta Veneta mais), allo scopo di migliorare la pezzatura del cippato

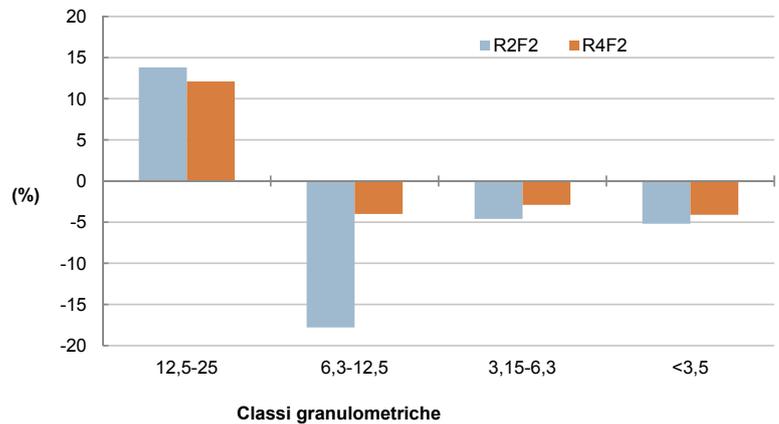


Grafico 1 - Variazione percentuale della ripartizione granulometrica del cippato ottenuto utilizzando il rotore CRA ING rispetto al rotore di serie. Le prove sono state condotte su piante di pioppo R2F2 (due anni di radice e due anni di fusto) ed R4F2 (quattro anni di radice e due anni di fusto) rispettivamente nelle località di Codevigo (PD) e Megliadino (PD) (PARI *et al.* 2009a)

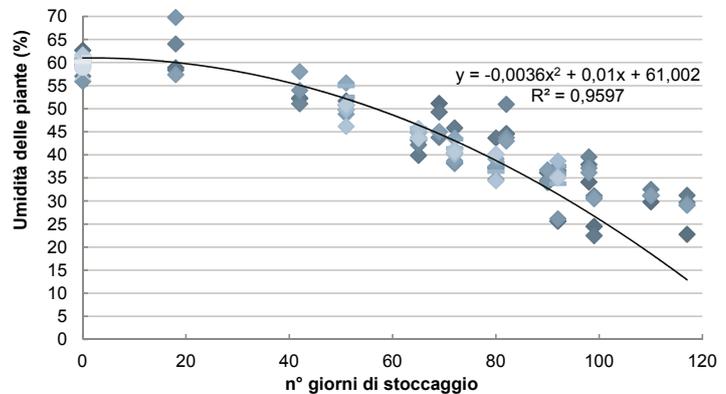


Grafico 2 - Curva di disidratazione: perdita di umidità delle piante di pioppo (R2F2) stoccate in andana in funzione del numero di giorni di permanenza in campo. La curva è stata interpolata utilizzando i dati derivanti da 198 campioni raccolti durante un arco di tempo di 4 mesi (metà febbraio - metà giugno) a partire dall'abbattimento.

prodotto da questa tipologia di macchine, ha sviluppato un rotore sperimentale da montare su falciatrici-caricatrici Claas Jaguar in sostituzione di quello di serie (Foto 1). Le prove sperimentali condotte su pioppo biennale (PARI *et al.* 2009a, PARI *et al.* 2009b) hanno dimostrato da un lato la possibilità di incrementare la percentuale di prodotto appartenente alla classe granulometrica qualitativamente più rappresentativa (12,5-25 mm) e, dall'altro, di ridurre il quantitativo di prodotto delle classi granulometriche più piccole (<12,5 mm) influenzanti negativamente la resa energetica del prodotto finale (Grafico 1).

I principali vantaggi offerti dalla raccolta e cippatura in una fase risiedono nel fatto che le raccogliatrici 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. Altri aspetti da prendere in considerazione riguardano la limitata finestra di raccolta



Foto 2 - Macchina abbattitrice andanatrice in fase di lavoro su pioppo biennale.



Foto 3 - Raccolta del colza mediante mietitrebbiatrice con separatore laterale a lama mobile.

(da metà novembre a metà marzo), il numero di giorni di praticabilità dei campi (che potrebbe ridursi sensibilmente in inverni particolarmente piovosi) e gli eventuali danni da compattamento prodotti su terreni con bassa portanza.

Raccolta in due fasi

La raccolta in due fasi prevede **l'esecuzione delle operazioni di abbattimento e cippatura in due momenti distinti.**

I cantieri di raccolta sviluppati dal CRA ING sono attualmente due: uno tradizionale con accatastamento delle piante a bordo a campo (PARI 2000), ed uno innovativo, con stoccaggio nell'interfila. Quest'ultimo cantiere risulta costituito da due macchine, un'abbattitrice andanatrice (Foto 2) che esegue il taglio e il rilascio delle piante nell'interfila (parallelamente alla direzione di avanzamento della trattore) e una cippatrice equipaggiata con testata *pick up* per la raccolta e la cippatura delle piante andanate (PARI *et al.* 2009c; PARI *et al.* 2010).

I principali vantaggi offerti da questa tipologia di cantiere risiedono nel fatto che 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 (Grafico 2) che consente di ottenere, nella successiva fase di cippatura, un prodotto più stabile e meno soggetto a processi fermentativi.

L'abbattitrice andanatrice risulta molto leggera e, a parità di condizioni, è in grado di produrre una minore compattazione del terreno rispetto alle tradizionali falciatrici-caricatrici e ai *dumper* carichi di cippato. L'abbattimento avviene, pertanto, nel periodo di riposo vegetativo, mentre il passaggio dei cantieri pesanti viene rinviato tra la fine di aprile e i primi di giugno, periodo questo che garantisce, in linea di massima, minori problemi di compattamento del suolo.

Il prodotto stoccato, inoltre, non necessita di essere movimentato in quanto l'impiego di falciatrici-caricatrici con *pick up* consente di raccogliere il prodotto direttamente nell'interfila.

Tale sistema impone, di contro, il passaggio di una macchina in più e una distanza tra le file non inferiore a 3,5 m, con una minore densità di piante ad ettaro.

Raccolta delle biomasse erbacee e delle oleaginose

La raccolta delle biomasse erbacee interessa diverse tipologie di macchine sia ordinariamente inserite nei cicli colturali aziendali sia appositamente progettate e realizzate per lo scopo. A seconda della coltura, le parti interessate alla trasformazione possono essere la granella, le parti vegetali della pianta o tutta la pianta.

Granella

Per quanto riguarda la granella le tipologie di macchine utilizzate non si discostano significativamente dalle mietitrebbiatrici ordinariamente impiegate per la raccolta dei cereali, con opportuni accorgimenti atti ad aumentarne la versatilità d'impiego sulle colture energetiche interessate. Queste ultime sono prevalentemente rappresentate da brassicacee, girasole, soia e cardo.

Sulla **raccolta delle brassicacee**, riferendosi prevalentemente a colza e *Brassica carinata*, il CRA-ING ha svolto un'attività pluriennale volta alla quantificazione delle perdite di raccolta in relazione alla tipologia colturale ed all'allestimento della raccogliitrice con diverse tipologie di accessori, partendo dalle comuni testate da frumento fino alle testate specifiche per la coltura (ASSIRELLI *et al.* 2008; PARI *et al.* 2011). In tali esperienze sono state confrontate le diverse soluzioni su entrambe le colture ed i migliori risultati in termini di riduzione delle perdite a terra sono stati ottenuti con testate specifiche a lama avanzata e separatori laterali a lama mobile posizionati sul lato destro, anche se le differenze rilevate sono sempre risultate piuttosto modeste in confronto con le produzioni ottenute (Foto 3). Un aspetto particolarmente importante emerso nelle esperienze condotte riguarda la **perfetta regolazione della raccogliitrice, un fattore in grado di influire in maniera decisiva sulle perdite a terra** più di quanto possa incidere la sola testata di raccolta.

La **raccolta del girasole** ad uso energetico non richiede particolari accorgimenti rispetto alla coltura ad uso alimentare zootecnico ed anche in questo caso sono presenti allestimenti dotati di diversa specializzazione in grado di consentire la raccolta della coltura con risultati soddisfacenti. Tali allestimenti vanno dall'adeguamento dell'originaria testata da frumento o di testate da mais,



Foto 4 - Mietitrebbiatrice equipaggiata con testata da cardo idonea alla raccolta separata dei capolini (convogliati al gruppo di trebbiatura) e degli steli (depositati in andana).



Foto 5 - Particolare del sistema di falciacondizionatura sviluppato dal CRA-ING per colture di altezza superiore ai 2 metri a stelo spugnoso.

fino a testate specifiche dotate di elementi di presa di diversa complessità e funzionalità. Per quanto riguarda le prime possono essere inseriti spartitori sulla lama di taglio in grado di intercettare le calatidi una volta recise impedendone la caduta a terra; relativamente alle testate da mais sono presenti *kit* di adeguamento consistenti nell'introduzione di sistemi di taglio fissi o mobili in grado di recidere gli steli e modifiche alle catene trasportatrici per migliorare la presa di steli e calatidi.

Le testate specifiche possono essere in versione elementare, con spartitori fissi ed aspo superiore, o in versione più completa, dotate cioè di elementi di presa a catena o cinghia lineare o sagomata in grado di bloccare energicamente lo stelo fino alla recisione della calatide, impedendone la caduta a terra (principale fattore influenzante le perdite). Sul piano dell'efficienza produttiva i migliori risultati, a parità di idonea regolazione della raccogliitrice, sono ottenibili da queste ultime versioni di testata.

La **raccolta della soia** per fini energetici non è una pratica ordinaria in Europa, ma in ogni caso prevede l'impiego di mietitrebbiatrici appositamente equipaggiate. I primi palchi fruttiferi della coltura in raccolta sono collocati a pochi centimetri da terra per cui in assenza di un adeguato livellamento superficiale può accadere che le comuni testate da frumento non siano in grado di recidere le piante alla base dei primi palchi determinando perdite di raccolta. Da vari anni sono disponibili *kit* di adeguamento o testate specifiche tali da svincolare il sistema di taglio dal telaio principale della testata, consentendo alla lama di seguire il profilo superficiale del terreno e recidendo le piante ad 1-2 cm da terra. La raccolta effettuata con questa tipologia di testate consente di ridurre considerevolmente le perdite che, se accompagnata da una corretta registrazione della raccogliitrice, possono essere mantenute entro valori inferiori al 3%. La scarsità di livellamento superficiale degli appezzamenti o la presenza di coltura allestata aumentano considerevolmente la necessità d'impiego di testate specifiche dotate degli accorgimenti descritti.

La **raccolta della granella di cardo** richiede l'impiego di testate simili o derivate dalla raccolta del girasole, in grado cioè di prelevare una minima parte di componen-

te vegetale di stelo e foglie per non sovraccaricare eccessivamente gli organi interni della mietitrebbia. Poiché la coltura interessa prevalentemente areali meridionali, dove può ottenere una certa valorizzazione anche il recupero della biomassa vegetale, il CRA-ING ha svolto diverse sperimentazioni in Portogallo, Spagna e Sud Italia mettendo a punto una testata di raccolta in grado di separare i corpi fruttiferi, inviandoli al gruppo di trebbiatura della macchina, e di recidere e convogliare in andana la rimanente parte vegetale, da integrare successivamente nei residui di trebbiatura (Foto 4). Il ciclo di raccolta prevede, infine, l'imballatura del prodotto andanato ed il successivo invio delle balle presso centri di trasformazione (generalmente termovalorizzatori). Il sistema di raccolta messo a punto è ora in fase di perfezionamento per la successiva separazione della frazione cellulosa nobile presente all'interno del pappo e che viene liberata durante le operazioni di trebbiatura.

Parti vegetali

Come parti vegetali possono essere considerati tutti i sottoprodotti di scarto ottenuti al termine delle operazioni di raccolta della granella. In questo caso trattandosi di prodotti a basso contenuto di umidità si può intervenire direttamente con imballatrici di diversa tipologia (rotoballe e *big-baler*) per l'ottenimento di biomassa per diverse destinazioni prontamente utilizzabile o stoccabile. Limitatamente all'impiego di sistemi di raccolta che non prevedono il taglio basale della coltura (girasole, brassicacee, mais, ecc.) sarà necessario eseguire un intervento di sfalcio e una successiva o contemporanea andanatura, in modo da consentire il successivo impiego di imballatrici.

I prodotti così ottenuti (di diversa forma, densità ed umidità) possono poi essere utilizzati direttamente o stoccati. Il tipo di imballaggio costituisce una scelta di notevole importanza che può influenzare le successive fasi di conservazione. Ad esempio, considerando la forma, le rotoballe sono frequentemente risultate più resistenti agli agenti atmosferici rispetto alle balle prismatiche anche di diversa densità.

Per la movimentazione sono disponibili diverse opzioni a seconda delle esigenze operative, dai comuni eleva-

tori a forche anteriori installate su trattrici successivamente impiegate anche per il traino dei rimorchi, fino ai movimentatori telescopici professionali dotati di gancio traino ed in grado di sostituire, relativamente a questa specifica operazione, le trattrici agricole.

Raccolta della pianta intera

La raccolta della pianta intera prevede percorsi differenziati in funzione sia delle dimensioni e della costituzione della stessa sia della tipologia di prodotto da ottenere. Le categorie di macchine utilizzate sono rappresentate da falciatrici, falciacondizionatrici e falciatriniciaricatrici.

Per **piante con sviluppo inferiore ai 2 metri di altezza** e per la raccolta di prodotto "lungo" possono essere impiegate sia falciatrici di diversa tipologia (comunemente derivate dalla foraggicoltura) sia falciacondizionatrici, cercando di privilegiare le versioni a flagelli per via della maggior aggressività sugli steli (tendenzialmente più resistenti delle tradizionali colture da foraggio).

Nel caso in cui vadano raccolte **colture con altezza superiore ai 2 metri ed a stelo spugnoso** (es. sorgo) CRA-ING ha sviluppato apposite falciacondizionatrici in grado di tagliare alla base e condizionare singolarmente ogni pianta per tutta la lunghezza (Foto 5), in modo da ridurre di 4-5 volte il tempo di esposizione alla radiazione solare per il raggiungimento di un idoneo grado di essiccazione ed evitando, pertanto, perdite eccessive di biomassa (ASSIRELLI e PARI 2008). Il ciclo di raccolta in questi casi si conclude con eventuale rivoltamento/i, andatura e riduzione in balle, sia tonde sia parallelepipedo secondo necessità.

Per la raccolta di piante caratterizzate da sviluppo in **altezza superiore a 2 metri, ma a stelo cavo** (es. *Arundo donax*) esperienze effettuate dal CRA-ING con falciacondizionatrici messe a punto per il sorgo da fibra non hanno messo in evidenza particolari problematiche, sottolineando però che il minor contenuto idrico e la diversa costituzione vegetale potrebbe non richiedere un livello di condizionamento così spinto.

Relativamente alla raccolta di fresco trinciato sono state analizzate falciatriniciaricatrici da foraggio che, con opportune regolazioni ed equipaggiate con diverse tipologie di testate, non hanno presentato difficoltà di rilievo; si può segnalare come alcuni costruttori stiano predisponendo testate differenziate dalle versioni comunemente utilizzate per la raccolta del mais ad uso insilato ancora in fase sperimentale. Le maggiori problematiche in grado di richiedere uno studio approfondito dei sistemi di presa e recisione delle piante riguarda la raccolta delle colture allettate, aspetto che con le attuali soluzioni progettate per la raccolta di mais e sorgo presenta ancora diversi aspetti critici.

PROSPETTIVE

Le più diffuse colture energetiche sono spesso specie agrarie già ampiamente conosciute e per le quali la tecnica colturale è nota; in altri casi quest'ultima va definita in funzione della particolare destinazione produttiva e, per specie ben adattate ai nostri climi, l'individuazione dell'agrotecnica più opportuna potrebbe non risultare eccessivamente problematica. La meccanizzazione delle coltivazioni e **le fasi che vanno dalla raccolta alla produzione di energia necessitano, invece, di un'accurata definizione ed integrazione con la produzione agricola** al fine di rendere economicamente conveniente e sostenibile l'intera filiera (BARBUCCI *et al.* 1994).

Il livello di meccanizzazione oggi disponibile nel settore delle colture energetiche può essere considerato soddisfacente e in grado di garantire la raccolta di qualsiasi tipologia di prodotto. La scelta del cantiere da utilizzare nella raccolta dipenderà dalle caratteristiche della coltura e dal tipo di prodotto che si desidera ottenere (cippato da piante fresche, cippato da piante disidratate, prodotto imballato, ecc). In alcuni casi si tratterà di adattare soluzioni già applicate a colture largamente diffuse, mentre per specie di nuova introduzione o con caratteristiche morfologiche e/o fisiologiche particolari andranno studiate soluzioni ingegneristiche innovative.

Lo sviluppo delle colture energetiche, se correttamente governato, può contribuire in maniera significativa al miglioramento dell'ambiente, come alternativa sostenibile alle fonti fossili, ma anche alla diversificazione delle possibilità di reddito per l'imprenditore agricolo. Affinché ciò avvenga è necessario ottimizzare l'intera filiera produttiva, dalla tecnica agronomica, alla movimentazione delle biomasse fino all'utilizzazione finale, richiedendo, quindi, un approccio integrato che coinvolga diverse figure professionali.

Bibliografia

ASSIRELLI A., BENTINI M., ZUCHELLI M., 2006 - **L'importanza della raccolta per le colture da biomassa**. L'Informatore Agrario, 41: 117-123

ASSIRELLI A., FEDRIZZI M., PARI L., 2008 - **Canola seed losses during harvesting in relation to different combine head**. 103. 16th European Biomass Conference & Exhibition, 2-6 June Valencia, Spain

ASSIRELLI A., PARI L., 2008 - **Design, realization and first tests of a prototype of mower conditioner to harvest fibre sorghum through haymaking**. 148. World Bioenergy 2008 Congress, 27-29 Maggio Jonkoping, Svezia.

BARBUCCI P., ANDREUCCETTI P., FRATI G., BACCHIET P., VANNUCCI D., PARI L., 1994 - **Energy crop harvesting: Fiber Sorghum, Kenaf, Arundo donax, Miscanthus, Cinara cardunculus**. 38-43. Biomass for energy and industry, 7th E.C. Conference, Bocom.

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.

Gruppo di coordinamento italiano (GCI), **Progetto ALTENER-BIOGUIDE**, 1999 - Le coltivazioni da biomassa per un'energia alternativa. Agricoltura, 47: 57-99.

HANSEN E.A., 1991 - **Poplar woody biomass yields: a look to the future**. Biomass and Bioenergy, 1: 1-7.

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. 40 pp.

PARI L., 2000 - **Isma system for mechanical harvesting of short rotation woody crops (SRWC)**. In: KYRITSIS S., BEENACKERS A. A. C. M., HELM P., GRASSI A., CHIARAMONTI D. (a cura di), Proceedings of the 1st World Conference on Biomass for Energy and Industry. Sevilla 5-9 giugno. ETA Florence-WIP Munich. vol. 1: 1966-1970.

PARI L., CMTARESE V., GALLUCCI F., DEL GIUDICE A., GIANNINI E., 2009a - **Un nuovo rotore per la Claas Jaguar 890**. Agroenergie, dall'impianto alla raccolta. Supplemento a L'Informatore Agrario, 29: 41-43.

PARI L., CMTARESE V., GALLUCCI F., 2009b - **Development of a chipping apparatus prototype mounted on a Claas Jaguar 890**.

In: Proceedings of the 17th European Biomass Conference & Exhibition - From research to industry and markets. Hamburg, Germany, 29 June - 3 July. ETA-Florence Renewable Energies. vol. 1: 247-251.

PARI L., CIMITARESE V., DEL GIUDICE A., 2009c - **Cantiere innovativo di raccolta di pioppo a turno breve**. Agroenergie, dall'impianto alla raccolta. Supplemento a L'Informatore Agrario, 29: 34-37.

PARI L., CIMITARESE V., DEL GIUDICE A., 2010 - **Abbattitrice andanatrice. Versione pre-commerciale della macchina**. In: Innovazioni tecnologiche per le agroenergie. Sinergie tra ricerca e impresa. Sherwood. 168, Supplemento 2: 6-10.

PARI L., ASSIRELLI A., SUARDI A., 2011 - **Brassicacee: scelta della raccogliatrice in funzione delle perdite**. 403-416. In PARI L. (a cura di) Lo sviluppo delle colture energetiche in Italia. Il contributo dei progetti di ricerca SUSACE e FAESI. Edizioni. Nuova Cultura. 895 pp.

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.

SPINELLI R., NATI C., MAGAGNOTTI N. 2009 - **Using modified foragers to harvest short-rotation poplar plantations**. Biomass and Bioenergy, 33: 817-821.

KEYWORDS: energy crops, harvest mechanization, chipping, conditioning, threshing.

Abstract: *The available technologies for harvest of energy crops*

The final product obtained from plant biomass production can be exploited as solid fuel for heating, district heating, generation of electric energy (wood, chips, *pellets*, *briquettes*), as liquid fuel for heating or road transport (vegetal oils, esters, alcohols) and, finally, as gaseous combustible for thermal and electric energy production (biogas from anaerobic digestion).

In order to optimize the whole chain from field to biorefineries, both the agronomic techniques and the subsequent phase downstream the agricultural production (mechanized harvesting, logistic and biomass utilization) need of a thorough definition.

The work endeavours to sum up on this second step, focusing on harvest mechanization, a fundamental step strongly affecting the crops profitability. An outline on available mechanization for energy crop harvest is provided, with particular reference to agro-mechanical innovations designed by CRA-ING for woody and herbaceous (annual or perennial) crops. The available machineries and the novel solutions for poplar, sunflower, oilseed rape and *Brassica carinata*, miscanthus and giant reed are described and discussed.

Storia della SRF e suo sviluppo in Italia

di GIANNI FACCIOTTO

Questo sistema di coltivazione di specie arboree a rapida crescita si sta lentamente affermando anche nel nostro Paese; esso consente di ottenere rese produttive molto elevate, in tempi brevi (1-6 anni), con fusti di piccolo diametro facili da raccogliere con cantieri altamente meccanizzati.

PAROLE CHIAVE: *Short rotation forestry*, cedui a turno breve, storia, modelli culturali, superficie coltivata.

Le biomasse vegetali, legna in particolare ma anche erba, funghi e muschio secchi, sono state utilizzate dalla nostra specie e da quelle che ci hanno preceduto, fin dai tempi più remoti (*Homo habilis*), per riscaldarsi, per rischiarare gli ambienti, per cucinare i cibi, per difesa e per la lavorazione di materiali, dalle punte di freccia fino ai manufatti industriali del XIX secolo. Negli ultimi due secoli, con l'espansione dell'industrializzazione, a partire dagli Stati economicamente più avanzati, la legna è stata sostituita dai combustibili fossili, carbone, petrolio e gas naturale, largamente disponibili a basso prezzo fino a pochi decenni orsono. Poi le crisi petrolifere che si sono succedute a partire dagli anni '70 del secolo scorso fino ad oggi, dovute all'instabilità politica dei principali paesi produttori di energie fossili, non ultime la primavera dei Paesi arabi iniziata lo scorso anno e le tensioni attuali con il regime degli Ayatollah iraniani e la crescente avversione per l'energia nucleare dell'opinione pubblica di tutti i paesi tecnologicamente più avanzati, hanno contribuito a portare **in auge le fonti di energia rinnovabile (FER)**.

Tra queste sono comprese anche le biomasse, *in primis*

quelle di origine forestale, sia per la produzione di energia termica ed elettrica che dei biocarburanti di seconda generazione. **A questi problemi socio economici si è aggiunto anche il cambiamento climatico globale** che è riconosciuto essere, se non del tutto, almeno in parte di causa antropica legato alle emissioni in atmosfera di gas climalteranti quali anidride carbonica, metano, protossido di azoto, prodotti dall'uso dei combustibili fossili. Per ovviare a questi problemi in ambito energetico, l'Unione Europea si è posta degli obiettivi ambiziosi, ma raggiungibili, entro il 2020: 20% di energia consumata da fonti rinnovabili, 20% di risparmio energetico e 20% di riduzione delle emissioni di CO₂; al nostro Paese è stato posto come obiettivo il 17% di energia da fonti rinnovabili. Attualmente la biomassa è la più importante FER nella UE; considerando tutti i 27 stati che la compongono nel 2009 sono stati prodotti da biomasse 104,7 Mtep pari al 68,6% delle energie prodotta da fonti rinnovabili (AEBIOM 2011). Con il termine biomassa AEBIOM intende la frazione biodegradabile di prodotti, rifiuti e residui di origine biologica derivanti dall'agricoltura



Cossato (BI) SRF quinquennale del clone di pioppo 'Morviso'.

GIANNI FACCIOTTO, CRA-PLF - Unità di Ricerca per le Produzioni Legnose fuori Foresta, Casale Monferrato (AL) gianni.facciotto@entecra.it

(comprendenti sostanze vegetali e animali), dalle foreste e dalle industrie collegate incluse pesca ed acquacoltura, e la frazione biodegradabile dei rifiuti industriali e urbani. Per quanto riguarda più specificamente **il settore agro-forestale abbiamo due tipi di biomasse: quelle residuali e quelle appositamente prodotte da colture dedicate**. Al momento nel nostro Paese le biomasse residuali sono solo parzialmente utilizzate e quindi ancora largamente disponibili, ma nell'ipotesi di un notevole incremento del consumo di biomassa, necessario per raggiungere gli obiettivi europei, si deve pensare fin da ora ad una espansione delle colture dedicate.

EVOLUZIONE DELLA SRF

Le colture arboree dedicate alla produzione energetica sono conosciute con il termine *Short Rotation Forestry* (SRF), ma si possono definire in maniera più appropriata "cedui a turno breve". I cedui sono conosciuti da tempo immemore; RACKHAM (1990) afferma che l'uomo del Neolitico considerava i polloni cresciuti da ceppaia più utili degli alberi nati da seme poiché erano più facili da lavorare; di essi si parla anche nel Vecchio Testamento. I cedui di salice, anche sottoforma di capitozza, sono coltivati da almeno due millenni nel nostro Paese e talvolta ancora si trovano lungo i piccoli corsi d'acqua delle pianure italiane; Plinio il Vecchio li cita per i molteplici utilizzi, alcuni ancora attuali, quali supporti per la vite, graticci, attrezzi agricoli, ceste, mobili oltre legna da ardere.

Anche la coltivazione del pioppo (*Populus alba*, *P. nigra*) sia per legna da ardere che da opera per l'edilizia o la produzione di mobili ha una lunghissima tradizione nel Mediterraneo e nel vicino Oriente; specialmente nei paesi poveri di boschi, dove addirittura il pioppo è conosciuto col nome di 'albero benedetto' (FAO 1956). Tornando al nostro Paese nel XIX secolo si è avuta una richiesta crescente di legna da parte delle industrie che, nel corso del tempo, aumentavano di numero e in dimensione e una concomitante espansione dell'agricoltura, per lo più a scapito dei vecchi cedui di pianura, favorita anche dal potenziamento della rete irrigua.

I cedui da legna del XIX secolo

Per cui nel periodo tra il 1844 e il 1895 gli agricoltori più evoluti e i tecnici agricoli, che si vanno formando, soprattutto nel Nord Ovest grazie all'Associazione Agraria di Torino e alla Società Agraria di Lombardia di Milano, cominciano a pensare a **nuove coltivazioni da legno da governare a ceduo o a capitozza per produrre una maggior quantità di legna da ardere e da lavoro**. Nel 1848 in un lavoro dal titolo 'Sulla piantagione e governo degli alberi da legno e da fuoco' pubblicato dalla Gazzetta dell'Associazione agraria di Torino tra le piante da ceduo compaiono oltre ai già citati pioppi e salici anche ontano e robinia. Negli scritti delle due associazioni di Torino e di Milano e nei giornali come 'Il coltivatore' di Casale Monferrato vengono riportate le tecniche di coltivazione; in particolare si suggerisce di utilizzare come materiale d'impianto dapprima le talee e poi i 'piontoni' alti 2,20 m con diametro di 5 cm. Essi consigliano inoltre di effettuare la messa a dimora con buche o fossi profondi 60 cm, fino a 100 cm nel caso il terreno fosse umido solo in profondità, distanziando le piante di 1,3 m fino a 2 sulla fila e 4 metri tra le file per permettere l'esbosco ogni 3-4 anni. Nel caso di impianti a filare suggerivano



Casale Monferrato (AL) SRF biennale di pioppo policlonale.

di piantare a file binate lungo i fossi o le risaie attuando la capitozzatura un anno sul filare destro e uno su quello sinistro con riposo al terzo. Per i salici si consigliava di tenere il materiale d'impianto completamente immerso in acqua per almeno 24 ore. Sia per le Salicacee che per le altre specie veniva suggerito già in quel tempo di piantare sulle fila individui 'di uguale forza così nell'asta come nelle radici' (PONTICELLI 1986). Per quanto riguarda le varietà di pioppo si parlava di pioppi indigeni ed esotici tra questi il *P. canadensis* (Pioppo canadese) ormai comune nell'Europa di quel tempo, il *P. monilifera* (Pioppo della Virginia) ed il *P. angulata* (Pioppo della Carolina) diffuso nel sud della Francia; per quest'ultima specie già nel 1844 presso l'Accademia di Torino ne veniva segnalata la difficoltà di riproduzione per talea e la necessità di ovviare a questo problema ponendo ramoscelli 'grossi quanto un dito' in fosse di 30 cm di profondità fresche ed irrigabili (PONTICELLI 1986). Molte di queste informazioni sono valide anche attualmente.

La robinia, introdotta in Francia dagli Stati Uniti come pianta ornamentale nel XVIII secolo da Jean Robin, allora specie nuova ha trovato fin da subito, specialmente in Piemonte convinti sostenitori grazie alle forti produzioni sia di legna da ardere che di paleria ma ha anche suscitato polemiche per la sua invadenza, come ancora ai giorni odierni. L'eucalitto entra nel nostro paese solo agli inizi del XX secolo grazie al PAVARI (1924) esclusivamente nell'Italia centro-meridionale avendo esigenze climatiche elevate. Inizialmente venne coltivato per la produzione di traversine ferroviarie, poi per la produzione di carta raggiungendo un'estensione di 75.000 ha. Ai giorni nostri la superficie a eucalitteto, che si attesta intorno ai 40-50.000 ha (GEMIGNANI 2000), viene in parte gestita a ceduo per uso energetico.

Concezione attuale della SRF

La SRF, vale a dire i cedui a turno breve come si intendono attualmente: coltivazione di specie arboree o arbustive a rapida crescita, su terreni agricoli, con elevata densità d'impianto (da 1.000 a 15.000 piante per ettaro), con ceduzioni ripetute nel breve periodo (1-6 anni) e con tecniche colturali simili a quelle utilizzate per le colture agrarie, si sono sviluppati solo nella seconda metà del XX secolo, grazie alle esperienze condotte sia in America (Stati Uniti), che nel Nord Europa (Svezia) dalle organizzazioni impegnate rispettivamente nella produzione di legname per l'industria cartaria e per gli impianti energetici.

Negli USA la nascita di questa coltura risale agli anni '60 nell'ambito della ricerca su nuove fibre per uso cartario. In quel periodo, quando si proponeva di introdurre colture da fibra come il bambù o il kenaf, alcuni forestali della Georgia pensarono di utilizzare invece specie arboree native del Nord America caratterizzate da rapida crescita, in grado di sopportare la ceduzione e, soprattutto, che potessero essere piantate e raccolte come una qualsiasi coltura agraria; il sistema venne definito "Silage sycamore" (McALPINE et al. 1966). I primi impianti vennero messi a dimora nel 1966 in varie località per valutare specie, spazatura e turno; tra le specie furono individuate il *Liriodendron tulipifera*, il *Liquidambar styracifolia* ed il *Platanus occidentalis* per il ritidoma sottile, la resistenza ai parassiti e per la capacità di crescere in un'ampia varietà di ambienti (STEINBECK e BROWN 1976). Le industrie cartarie a quel tempo però mostrarono poco interesse data la larga disponibilità di materiale a basso costo. Nel 1973 la prima crisi petrolifera spinse la ricerca di nuove fonti energetiche alternative al petrolio, legno incluso, e il Dipartimento di Energia (DOE) americano diede un nuovo impulso a queste coltivazioni avviando un programma di ricerca sulle *Short Rotation Woody Crops* (DICKMANN 2006). Negli anni '90 incrementò anche la domanda di carta fine per le stampanti da computer per cui alcune società, tra cui Boise Cascade e Potlatch Corporation, crearono ognuna poco meno di 10.000 ha di SRF, con pioppo nell'Ovest degli USA, coltivati in maniera intensiva (EATON 1998; STEINBECK 1999).

In Svezia invece le ricerche sulle SRF partirono solo dopo l'avvio della sopracitata crisi petrolifera, allo scopo di rimpiazzare i combustibili fossili nella produzione energetica. Le ricerche furono subito indirizzate a trovare le specie adatte ad una coltivazione intensiva a ceduo; rapidamente vennero individuate alcune specie di salice (SIREN et al. 1987). Le varietà ibride di *Salix viminalis*, *S. dasyclados* e *S. schwerinii*, dapprima furono coltivati sui terreni abbandonati e nelle zone umide, dove non si potevano effettuare altre colture, poi dalla metà degli anni '80 la SRF si estese anche su terre più fertili e negli anni '90, dopo che si scoprì che era possibile utilizzarli per il fitorimedio di terreni inquinati si estesero anche su questi suoli. La coltivazione è altamente meccanizzata dalla fase d'impianto alla raccolta, quest'ultima viene effettuata nel periodo invernale con il terreno gelato e il legno sminuzzato viene stoccato o trasportato per l'utilizzazione in impianti di cogenerazione termica ed elettrica. La coltura nel giro di qualche anno raggiunse i 16.000 ha poi si è lentamente ridotta negli ultimi 15 anni, abbandonando i suoli più marginali, fino agli attuali 13.000 ha (DIMITRIOU 2011).

Sperimentazioni in Italia

Anche in Italia a partire dagli anni '60 l'Ente nazionale cellulosa e Carta (ENCC) attraverso l'Istituto di sperimentazione per la Pioppicoltura (ISP) di Casale Monferrato e il Centro di sperimentazione Agricola e Forestale di Roma (CSAF), entrambi confluiti ora nell'Unità di Ricerca per le Produzioni Legnose fuori Foresta (PLF) del CRA, aveva condotto ricerche sulla coltivazione di pioppo, salice ed eucalitto con turno breve (5-6 anni) finalizzato soprattutto alla produzione di materiale per l'industria della carta. All'incirca nello stesso periodo BALDELLI e il CNR Ivalsa di Firenze hanno testato con

buoni risultati la robinia in cedui a turno breve in ambienti dell'Italia Centrale, Umbria in particolare (BALDELLI 1992; BALDINI e BERTI 1990). Però, analogamente a quanto successo nel Nord America, il basso prezzo pagato dalle industrie per questo materiale non ne ha consentito lo sviluppo su larga scala. Impianti con finalità dimostrativa e piantagioni commerciali sono stati messi a dimora soltanto nel periodo 1994-98 quando l'ENEL spa finanziò un progetto per studiare le potenzialità della SRF per la produzione di combustibile per una centrale elettrica (12 MWe) a ciclo combinato basata sulla gassificazione di biomassa legnosa. Le prove vennero effettuate nella golena del Po nel tratto vercellese alessandrino, nei dintorni di Grosseto, in Sardegna e nella pianura e collina pisana; in quest'ultima zona erano stati messi a dimora circa una sessantina di ettari di pioppo, eucalitto e robinia, poiché la centrale elettrica a biomassa doveva essere costruita nei pressi di Cascina (PI). La centrale non venne costruita ma il progetto è servito ad individuare le specie più idonee nei vari macro-ambienti italiani (pioppi e salici nelle pianure del Nord, eucalitto al Centro-Sud, robinia in collina) e a mettere a punto un primo modello colturale. Per quanto riguarda il modello colturale furono individuati alcuni punti critici: la meccanizzazione dell'impianto e della raccolta, il sesto (fila singola o binata) e il controllo delle infestanti nei primi mesi dopo la messa a dimora e dopo ogni ceduzione. Con successivi progetti di ricerca, a finanziamento regionale, nazionale ed internazionale, molti passi avanti sono stati fatti; sono stati selezionati appositamente nuovi cloni di pioppo, salice ed eucalitto ed identificate provenienze di robinia ed altre specie con ottime performances produttive. Infine si è giunti alla definizione di tre principali modelli colturali.

DESCRIZIONE DEI MODELLI CULTURALI

Il primo modello, **ceduo a turno brevissimo**, è caratterizzato da densità elevate con ceduzioni biennali o triennali; essendo derivato da quello utilizzato nei Paesi Scandinavi è anche conosciuto come modello svedese. Esso può essere usato per coltivare pioppi, salici, robinie ed olmo siberiano. In Italia negli impianti effettuati nei primi anni del XXI secolo con semenzali o talee di cloni di pioppo bianco (*P. alba*) si arrivò fino a densità di 14.000 piante per ettaro, disposte su file appaiate (bine) distanti 70-75 cm; ogni bina dista dall'altra tra 1,5 e 3 m mentre sulla fila le talee distano circa 70 cm tra loro. Nei nostri ambienti la fila binata rende difficoltoso il controllo delle infestanti; tra le bine, già dopo tre mesi dall'impianto, non si può più intervenire con mezzi meccanici, inoltre l'eccessiva competizione riduce la vitalità delle ceppaie. Dopo le prime esperienze negative la fila binata è stata sostituita con la fila singola, di più facile gestione, e la densità si sono ridotte parallelamente all'allargamento degli interfilari, ultimamente intorno a 3-3,5 m, per facilitare il transito delle macchine impiegate per la raccolta (BERGANTE e FACCIOTTO 2006).

Nelle prime piantagioni si era diffusa la ceduzione annuale poiché le macchine allora disponibili non erano in grado di tagliare piante con più di 60 mm di diametro a 10 cm dal colletto, mentre in pianura Padana già al secondo anno le piante possono arrivare a diametri di 120-130 mm all'altezza di taglio. La qualità del materiale prodotto

inoltre risultava scarsa: diametri piccoli, elevato rapporto corteccia-legno, alto contenuto in ceneri. Oggi, con la disponibilità di testate innovative (PARI e CIVITARESE 2008) la ceduzione al secondo o eventualmente al terzo anno è possibile e permette di ottenere un materiale qualitativamente migliore, con un rapporto corteccia-legno più basso e un più alto potere calorifico. Le spazature più larghe, preferite specialmente sui terreni a tessitura fine, hanno consentito l'utilizzo di un **sistema innovativo di raccolta in due tempi**. Le piante, con un primo cantiere vengono tagliate e coricate negli interfilari durante il periodo di riposo vegetativo, nella primavera successiva dopo aver perso sotto l'azione di vento e sole parte dell'umidità vengono raccolte da terra e sminuzzate con un secondo cantiere (PARI e CIVITARESE 2011).

Dopo ogni ceduzione la ceppaia è in grado di emettere numerosi ricacci, la maggior quantità di polloni in genere comporta un aumento di produzione al secondo turno e talvolta anche al terzo rispetto al primo; successivamente il numero di ricacci non è sempre in grado di controbilanciare la mortalità delle ceppaie soprattutto nel caso del pioppo. Con i cloni di più recente selezione e con la messa a punto di cantieri di raccolta sempre più efficienti e in grado di limitare i danni alle ceppaie la vitalità dovrebbe allungarsi nel tempo almeno fino ai 12-15 anni.

Il secondo modello colturale, **ceduo a turno breve**, è caratterizzato da densità intorno alle 1.000-2.000 piante per ettaro e turni di 5-8 anni. Derivando dal modello utilizzato per il pioppo in Nord America è conosciuto anche come modello americano o ceduo a media rotazione. Il sesto adottato è a rettangolo o quadro e le spazature sono solitamente di 3 m tra le file, mentre variano tra 2 e 3 m sulla fila. Questo modello, può essere utilizzato per tutte le specie arboree a rapida crescita, ma è particolarmente indicato per pioppo ed eucalitto. L'elasticità del turno, la possibilità di avere diversi sbocchi di mercato, la minor spesa d'impianto e la minore intensità colturale lo rendono più accettabile agli agricoltori rispetto al primo modello. La fase d'impianto è già altamente meccanizzata, mentre quella di raccolta è ancora in fase di messa a punto, attualmente si usano le macchine forestali impiegate nella raccolta dei pioppeti tradizionali con turno decennale (SPINELLI *et al.* 2008).

Un terzo modello, recentemente sperimentato in Lombardia ed in Piemonte, è quello delle **piantagioni miste di latifoglie nobili** (acero, ciliegio, noce, pero, sorbo, ecc.) per la produzione di legname pregiato con le Salicacee o la robinia per uso energetico. Questa tipologia d'impianto consente all'arboricoltore di avere un reddito aggiuntivo dalla sua piantagione a cadenze temporali ravvicinate (2-3 anni). Inoltre, con la giusta competizione che si crea tra le varie specie, le latifoglie nobili crescono più diritte e con rami di dimensioni diametriche ridotte, più facili da potare. Se allevate correttamente, come nelle prove sperimentali effettuate, queste piantagioni possono assicurare buone produzioni di biomassa (FACCIOTTO *et al.* 2009).

A seconda della densità d'impianto la produzione può avere utilizzi diversificati. La biomassa prodotta in piantagioni fitte, con densità elevate e con turno brevissimo può essere destinata solo alla produzione di cippato ad uso energetico. Con densità inferiori e turni di 5-6 anni la produzione può avere anche altri utilizzi: la parte di fusto fino a 10 cm di diametro in punta può essere destinata alle cartiere e la parte rimanente ai pannelli o all'energia a

Regioni	Periodo d'impianto		
	2000-2006	2007-2010	Totale
Piemonte	307	200	507
Lombardia	3183	65	3248
Veneto	1200	200	1400
Friuli Venezia Giulia	250	50	300
Emilia Romagna	40	900	940
Altre	100	200	300
Totale	5080	1615	6695

Tabella 1 - Superfici coltivate con specie legnose a ceduo con turni brevi per la produzione di biomasse nelle regioni italiane (da COALOA 2011).

seconda della richiesta del mercato. Lo sviluppo di questo modello colturale potrebbe contribuire a stemperare le tensioni che si sono create ad esempio tra i produttori di pannelli e quelli della bioenergia.

SUPERFICIE ATTUALE E PROSPETTIVE FUTURE

La superficie attualmente occupata da SRF in Italia ammonta a circa 7.000 ha, la maggior parte costituita nel periodo 2000-2006 nelle regioni Padane (Tabella 1); in particolare in Lombardia grazie ai generosi contributi del PSR (Reg. 1257/99) e in Veneto dopo l'emanazione della L.R. 14/2003 introdotta per incentivare le biomasse ad uso energetico. Negli anni successivi, con la riduzione dei contributi pubblici, i nuovi impianti sono drasticamente calati nelle due Regioni precedentemente citate mentre sono aumentati in Piemonte, grazie alla nascita di piccole centrali termoelettriche ed in Emilia Romagna per i programmi di riconversione della filiera bieticolo-saccarifera in filiera agroenergetica (COALOA 2011). Le SRF, che hanno un alto valore ambientale, potranno ulteriormente svilupparsi solo se inserite in filiere, possibilmente corte ed equilibrate, dove gli agricoltori, produttori di legno sminuzzato, vedranno remunerato in maniera corretta il proprio lavoro dai produttori di energia; meglio ancora se le due figure professionali saranno comprese nella stessa persona od impresa.

Bibliografia

AEBIOM, 2011 - **Annual Statistical Report on the contribution of biomass to the energy system on EU27.**

BALDELLI C., 1992 - **Robinia best species in progress for biomass production in several mediterranean climates.** In Proceedings of 6th E.C. Conference on Biomass for Energy, Industry and Environment, Atene 22-26 aprile 1991. London, Elsevier Applied Science: 220-223

BALDINI S., BERTI S., - 1990. **Première expérience dans l'exploitation et sur les caractéristiques de la biomasse pour l'énergie (Robinia pseudoacacia).** In: Proceedings of 5th European Conference "Biomass for Energy and Industries", Lisbona 9-13 Ottobre 1989. London, Elsevier Applied Science: 1.281-1.289.

BERGANTE S., FACCIOTTO G., 2006 - **Impianti annuali, biennali, quinquennali. Produttività e costi in alcune realtà del Nord Italia.** SHERWOOD - Foreste ed Alberi Oggi n. 128 25-30.

COALOA D., 2011 - **Cedui a rapido accrescimento settore in rapida (de) crescita?** Agroforenergy 3/11: 38-41.

DICKMANN D.I., 2006 - **Silviculture and biology of short-rotation woody crops in temperate regions: then and now.** Biomass and Bioenergy 30: 696-705.

DIMITRIOU I., 2011 - **Willow short rotation coppice for energy and environmental services in Sweden**. In Proceedings of STREPOW international Workshop February 23-24, 2011 Andrevlje, Novi Sad, Serbia: 95-100.

EATON J., 1998 - **Farming Poplar in the Oregon Desert**. In proceedings of the Short-Rotation Woody Crops, Operations Working Group, Second Conference, 25-27 August 1998 Vancouver, Washington USA:1-6

FACCIOTTO G., BERGANTE S., GUGINO C., PIAGNANI C., LIOIA C., 2009 - **Biomass production in mixed plantation with SRC and noble hardwoods**. In: Proceedings of 17th European Biomass Conference and Exhibition. Hamburg, Germany 29 June-3 July 2009: 222-226

FAO, 1956 - **Les peuplier dans la production du bois e l'utilisation des terres**.

GEMIGNANI G., 2000 - **La coltivazione degli eucalitti in ambiente mediterraneo**. In "Arboricoltura da legno: quale futuro?", a cura di Dettori S., Fidigheddu M.R., Accademia Italiana di Scienze Forestali, Firenze; Univ. degli Studi di Sassari, Dip. di Economia e sistemi arborei: 62-75.

MCALPINE R.G., BROWN, C.L., HERRICK A.M.; RUARK, H.E., 1966 - **Silage sycamore**. Forest Farmer. 26: 6-7.

PARI L., CIVITARESE V., 2008 - **Nuova testata di raccolta in prova su pioppo biennale**. L'informatore Agrario 35: 48-51.

PARI L., CIVITARESE V., 2011 - **Cantieri di raccolta delle colture legnose**: 165-181. In: 'Lo sviluppo delle colture energetiche in Italia. Il contributo dei progetti di ricerca SUSCACE e FAESI' a cura di Pari L. CRA-Roma:165-181.

PAVARI A., 1924 - **Sulla coltivazione degli eucalitti in Italia**. L'Italia Agricola 61, 5: 57-60.

PONTECELLI P., 1986 - **Le origini della pioppicoltura italiana**. Edagricole, 114 pp.

RACKHAM O., 1990 - **Trees and woodland in the British landscape**. Dent & Sons Ltd.

SIREN G., SENNERBY-FORSSE L., LEDIN S., 1987 - **Energy plantation –**

short rotation forestry in Sweden. Biomass regenerable energy. Chichester, UK, J. Wiley & Sons Ltd.

SPINELLI R., NATI C., MAGAGNOTTI N., PICCHI G., 2008 - **Harvesting poplar medium rotation coppice with light equipment**. In: FAO IPC 23rd Sess. 'Poplars, Willows and People's Wellbeing'. Beijing, China, 27-30 October 2008. www.fao.org/forestry/ipc2008

STEINBECK K., 1999 - **Thirty years of short rotation hardwoods research**. In proceedings of 10th Biennial Southern Silvicultural Research Conference, Shreveport, LA, February 16-18, 1999: 63-66.

STEINBECK K., BROWN C.L., 1976 - **Yield and utilization of hardwood fiber grown on short rotations**. Applied Polymer Symposium. 28: 393-401

KEYWORDS: Short Rotation Forestry, history, cultural models, development in Italy.

Abstract: *Timeline of Short rotation forestry and its expansion in Italy*

Planted coppices for wood production are been used for a long time, from Neolithic to Roman Empire until now. But the modern short rotation forestry evolved from scientific works carried out since the mid-1960s in North America to produce fibre for the paper and pulp industries and since 1970s in Sweden, following the first oil crises, with researches focused on growing willows for energy plants. In Italy the experimentation of new SRF started in 1994 within a program of ENEL (Italian Electric Company) and more recently within research programmes financed by UE, Italian Ministry of Agricultural, Food and Forestry Policies and some Italian Regions. So in the last ten years, SRF become one of the most interesting woody crops for energy exploitation, cultivated at first in experimental trials and then in commercial stand according the 'Very high density model-VHD' (5.700 – 10.000 plants per hectare and rotation of 2-3 years), the 'High density model HD' (1.000 – 2.000 trees per hectare and rotation of 5-6 years) and 'Mixed plantation' that combines reforestation with noble hardwood species (Maple, Cherry and Service, etc) and short rotation coppices (VHD). Today about 7.000 ha of SRF are been planted in Italy mainly in the Po valley using poplar clones and also black locust, eucalyptus and others fast growing species. SRF supply woody biomass for heat and power cogeneration plants.

Colture per la filiera biodiesel

Potenzialità produttive in vari ambienti italiani

di ANDREA DEL GATTO

MARIO DI CANDILO

Nelle aree interessate a progetti di riconversione bieticolo-saccarifera nel triennio 2009-2011 è stata impiantata una rete di sperimentazione nazionale al fine di valutare la rispondenza delle principali varietà di girasole, *Brassica napus* e *Brassica carinata* presenti in commercio ad essere impiegate come colture energetiche.

PAROLE CHIAVE: girasole, *Brassica napus*, *Brassica carinata*, varietà, ibrido, produzione di granella, contenuto di olio, produzione di olio.

L'applicazione della riforma della OCM zucchero (Regolamento del Consiglio (CE) n. 318-319-320/2006), ha comportato una drastica riduzione della capacità produttiva nazionale con conseguente sensibile riduzione della superficie coltivata a barbabietola e chiusura di numerosi zuccherifici per i quali sono stati approvati piani di dismissione/ri-conversione.

In tale situazione sono emersi fabbisogni di intervento in termini di riconversione produttiva delle superfici collegata a quella degli stabilimenti cui tali aziende conferivano il prodotto, con l'obiettivo di affrontare la problematica del settore bieticolo-saccarifero in un'ottica di filiera (LAZZARI *et al.* 2009). Va inoltre considerato che questo quadro si è innestato in un contesto di assoluta incertezza per le scelte degli agricoltori generato dall'applicazione del disaccoppiamento degli aiuti comunitari, susseguente la riforma di medio termine della PAC.

Le proprietà industriali avevano presentato progetti di riconversione in base ai quali la maggior parte dei siti dismessi sarebbe dovuta essere indirizzata verso le filiere agro-energetiche (biocarburanti e produzione di energia elettrica da biomasse) il cui sviluppo però, al momento, è ben lontano dall'essere realizzato (D'ANDREA 2011).

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 industrie Eridania Sadam, S.F.I.R., Co.Pro.B. Italia Zuccheri per favorire, nei bacini di approvvigionamento degli impianti derivati dagli zuccherifici, l'investimento delle superfici un tempo 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 loro riuscita, con particolare riferimento a quegli aspetti che i programmi di ricerca nazionali ed europei svolti negli ultimi anni non avevano completamente chiarito (PARI 2011).

Si è perciò focalizzata l'attenzione sullo studio di tre specie oleifere industriali, girasole, colza e *Brassica carinata*, (DEL GATTO *et al.* 2009, 2010a, 2010b, 2010c, 2011a, 2011b, 2011c) per un triennio (2009, 2010, 2011), mirando all'individuazione delle specie e varietà più produttive con caratteristiche qualitative dell'olio più adatte alla produzione del biodiesel nelle varie realtà della Penisola (Nord, Centro e Sud). Tali scelte risultano determinanti per conseguire risultati economicamente validi (TONIOLO *et al.* 1992; LAURETI *et al.* 2000), anche perché i numerosi genotipi disponibili sono frutto del lavoro di miglioramento genetico svolto all'estero, data l'importanza che queste colture rivestono al di fuori dei confini nazionali (MOSCA e ZANETTI 2007; MONOTTI *et al.* 2004).

Per le brassicacee si è deciso di avviare *ex novo* una rete di sperimentazione nazionale, non essendo disponibili, da anni,



Foto 1 - Panoramica delle prove varietali di colza in fine inverno nelle Marche.



Foto 2 - Parcele di *B. carinata* (a sinistra) e *B. napus* (a destra) in fioritura.



Foto 3 - Scalarità di fioritura negli ibridi di girasole a confronto nella prova di Osimo (AN).

che risultati di isolate esperienze; per il girasole, invece, per evitare inutili e dispendiose sovrapposizioni, si è ritenuto che le prove sperimentali, già in essere e consolidate da anni con il Progetto "Qualità girasole", finanziato da Assosementi-AIS, supportate dalle esperienze in corso ad Osimo con il Progetto regionale "Girasole alto oleico" (DEL GATTO *et al.* 2008), potessero fornire sufficienti informazioni sulla coltura. Si è comunque reputato opportuno integrare in ambito SUSCACE le indicazioni disponibili con l'aggiunta di una unità operativa nell'Italia Sud-orientale, in Puglia.

COLZA (*BRASSICA NAPUS*)

A partire dall'autunno 2008, sono state poste in valutazione annualmente trentadue varietà afferenti a sedici ditte sementiere; nel terzo anno, alle migliori diciassette del primo biennio ne sono state affiancate altre quindici di nuova introduzione.

Le prove sono state eseguite in Friuli Venezia Giulia, sotto la conduzione dell'Agenzia Regionale per lo Sviluppo Rurale (ERSA), Servizio ricerca e sperimentazione del Friuli; in Emilia Romagna e nelle Marche dal Consiglio per la ricerca e la sperimentazione in agricoltura - Centro di ricerca per le colture industriali (CRA-CIN); in Toscana dall'ente Regionale - Settore Promozione dell'innovazione e sistemi della conoscenza; in Sardegna dal Dipartimento per la Ricerca nelle Produzioni Vegetali dell'AGRIS Sardegna ed in Puglia dal Dipartimento di Scienze Agroambientali e Territoriali (DSAAT) della Facoltà di Agraria dell'Università di Bari. Nelle prove è stato adottato un disegno sperimentale a blocco randomizzato con 3 ripetizioni, parcella di 15-18 m² (con una superficie utile di raccolta di almeno 10 m²), una densità di investimento di 65 semi germinabili/m² ed un'epoca di semina tale da consentire il raggiungimento dello stadio di rosetta all'arrivo dei primi freddi; sono stati rilevati: data di semina, emergenza, inizio e fine fioritura, matu-

razione 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 del 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.

Di seguito verranno riportati i risultati produttivi medi del biennio 2008/09-2009/10, in cui sono state saggiate le stesse accessioni degli areali del Nord, Centro e Sud Italia, considerando solo le migliori 10 varietà, e, separatamente, per l'annata 2010/11, che ha visto la sostituzione di 15 *cultivar*.

Biennio 2008/09-2009/10

L'andamento climatico della seconda annata ha fortemente condizionato la coltura specialmente nelle località estreme della rete di prove, spostando il baricentro della produttività dal Nord verso le regioni centro-meridionali ed incidendo pesantemente nell'ambito del biennio. Le basse temperature di inizio inverno hanno influito drasticamente sullo sviluppo della *B. napus*, specialmente nelle località settentrionali, causando evidenti danni da freddo e limitando l'altezza delle piante di almeno una trentina di centimetri rispetto alla media dell'anno precedente, penalizzando sensibilmente 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 la coltura 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. Conseguentemente le migliori rese sono state realizzate ad Osimo (AN) e Gravina (BA) (4,20 e 4,09 t ha⁻¹, in media, rispettivamente); in Emilia si sono più o meno

Cultivar	Produzione		Contenuto olio s.s.
	seme al 9% di um.	olio su s.s.	
	t ha ⁻¹		(%)
EXCALIBUR	3,16	1,30	45,0
HORNET	3,10	1,26	44,6
PULSAR	3,07	1,20	43,2
ES BETTY	3,06	1,20	43,4
EXAGONE	3,03	1,21	44,0
NK FORMULA	3,00	1,24	45,1
PR46W14	2,99	1,21	44,5
VECTRA	2,97	1,16	42,9
ALPAGA	2,94	1,22	45,4
PR46W10	2,92	1,16	43,9
Media	3,02	1,22	44,2
Media generale	2,77	1,11	44,1

Tabella 1 - NORD. Produzione di granella al 9% di umidità, contenuto e resa in olio delle migliori 10 *cultivar* delle 30 comuni in prova nel biennio 2008/09 - 2009/10.

Cultivar	Produzione		Contenuto olio s.s.
	seme al 9% di um.	olio su s.s.	
	t ha ⁻¹		(%)
PULSAR	3,47	1,41	44,7
VECTRA	3,42	1,37	44,2
EXCALIBUR	3,41	1,41	45,3
ALPAGA	3,41	1,44	46,3
TASSILO	3,24	1,37	46,4
HERCULES	3,24	1,31	44,3
ES ARTIST	3,23	1,31	44,6
ES BETTY	3,20	1,29	44,2
HYBRISTAR	3,15	1,27	44,5
CHAMPLAIN	3,15	1,28	44,9
Media	3,29	1,35	44,9
Media generale	3,06	1,25	45,1

Tabella 2 - CENTRO. Produzione di granella al 9% di umidità, contenuto e resa in olio delle migliori 10 *cultivar* delle 30 comuni in prova nel biennio 2008/09-2009/10.

Cultivar	Produzione		Contenuto olio s.s.
	seme al 9% di um.	olio su s.s.	
	t ha ⁻¹		(%)
EXCALIBUR	3,50	1,38	43,6
TASSILO	3,25	1,27	43,5
EXAGONE	2,99	1,21	44,8
NK FORMULA	2,98	1,12	41,8
HORNET	2,88	1,14	43,5
PULSAR	2,78	1,04	41,7
PR46W14	2,69	1,07	44,5
FACILE	2,68	1,06	43,9
HENRY	2,67	1,07	43,8
ES ARTIST	2,65	1,03	43,3
Media	2,91	1,14	43,4
Media generale	2,53	0,98	43,0

Tabella 3 - SUD. Produzione di granella al 9% di umidità, contenuto e resa in olio delle migliori 10 *cultivar* delle 30 comuni in prova nel biennio 2008/09-2009/10.

Cultivar	Produzione		Contenuto olio s.s.
	Seme al 9% di um.	Olio su s.s.	
	t ha ⁻¹		(%)
HORNET	3,69	1,55	46,0
HYBRISWING	3,68	1,57	46,8
FREGAT	3,52	1,50	46,4
DK EXPOWER	3,48	1,48	46,6
EXAGONE	3,34	1,37	45,4
EXCALIBUR	3,27	1,39	46,6
PR46W14	3,24	1,36	46,3
ALBATROS	3,21	1,35	47,1
ORLANDO	3,20	1,28	44,4
ARTOGA	3,18	1,29	45,3
Media	3,38	1,41	46,1
Media generale	3,01	1,25	45,9

Tabella 4 - NORD. Produzione di granella al 9% di umidità, contenuto e resa in olio delle migliori 10 cultivar fra quelle in prova nell'annata 2010-11.

Cultivar	Produzione		Contenuto olio s.s.
	Seme al 9% di um.	Olio su s.s.	
	t ha ⁻¹		(%)
HYBRISTAR	4,59	1,96	46,4
EXCALIBUR	4,34	1,81	46,6
ALBATROS	4,31	1,85	47,1
PULSAR	4,25	1,80	44,9
FREGAT	4,25	1,79	46,4
ZOOM	4,24	1,81	46,6
EXAGONE	4,19	1,75	45,4
PR46W14	4,18	1,76	46,3
BAGIRA	4,12	1,72	45,1
HORNET	4,12	1,71	46,0
Media	4,26	1,80	46,1
Media generale	3,87	1,63	45,9

Tabella 5 - CENTRO. Produzione di granella al 9% di umidità, contenuto e resa in olio delle migliori 10 cultivar fra quelle in prova nell'annata 2010/11.

Cultivar	Produzione		Contenuto olio s.s.
	Seme al 9% di um.	Olio su s.s.	
	t ha ⁻¹		(%)
FREGAT	3,22	1,35	46,4
HYBRISWING	2,94	1,25	46,8
ORLANDO	2,92	1,19	44,4
PRIMUS	2,80	1,24	47,8
PR46W14	2,77	1,17	46,3
PULSAR	2,67	1,09	44,9
VECTRA	2,64	1,06	44,1
EXCALIBUR	2,62	1,12	46,6
HORNET	2,59	1,08	46,0
EXAGONE	2,55	1,04	45,4
Media	2,77	1,16	45,9
Media generale	2,33	0,98	45,9

Tabella 6 - SUD. Produzione di granella al 9% di umidità, contenuto e resa in olio delle migliori 10 cultivar fra quelle in prova nell'annata 2010/11.

equivalsi i risultati raggiunti in entrambe le stagioni (3,98 e 3,55 t ha⁻¹, rispettivamente, con una flessione di appena il 10 %, mentre in Toscana ed in Sardegna si sono appena superate le due tonnellate per ettaro.

A causa del particolare andamento climatico, al Nord (Tabella 1) le migliori cultivar hanno appena superato, mediamente, le 3 t ha⁻¹ per la produzione di seme, e raggiunto 1,22 t ha⁻¹ per quella di olio teorico, con un contenuto medio di sostanza grassa del 44,2%. Al Centro (Tabella 2) si sono conseguite le 3,29 e 1,25 t ha⁻¹ in seme e olio, rispettivamente, con un tenore di olio prossimo al 45%. Al Sud (Tabella 3), dove si è osservata la maggiore differenziazione varietale, con uno scarto fra la media delle migliori varietà e quella generale di oltre il 13%, si sono sfiorate le 3 t ha⁻¹ di granella, con un contenuto percentuale di olio del 43,4%, che ha consentito di stimare una resa media in olio di 1,14 t ha⁻¹.

Excalibur e Pulsar si sono distinte per costanza e stabilità di produzione in tutti gli ambienti di prova, con rese in seme sempre al di sopra delle 3 t ha⁻¹, ad eccezione della seconda che al Sud ha fatto apprezzare un risultato inferiore (2,78 t ha⁻¹). Es Betty, Vectra ed Alpaga, unica, quest'ultima, delle varietà non ibride presenti nella graduatoria di merito, si sono messe in evidenza, a posizioni alterne, negli ambienti del Nord e del Centro, mentre Hornet, Exagone, NK Formula e PR46W14, in quelli del Nord e del Sud; Tassilo in quelli del Centro e del Sud.

PR46W10 ha espresso la sua maggiore potenzialità produttiva nelle località settentrionali, Hercules, ES Artist, Hybristar e Champlain, hanno valorizzato maggiormente quelle centrali, mentre Facile, Henry ed Es Artist quelle meridionali.

2010/11

L'annata 2010-2011 ha presentato degli andamenti meteorologici oscillanti intorno alla norma per quasi tutte le località di prova, con evidenti incrementi pluviometrici primaverili a Gravina (BA), Osimo (AN) e Palazzolo (UD); in quest'ultima le piogge sono cadute più copiose nel periodo autunnale e a fine ciclo. Comunque, la produzione media, pur risultando simile a quella della stagione precedente, ha presentato una maggiore uniformità, con valori pressoché simili, al di fuori dei due ambienti estremi: Osimo, che ha confermato il livello più elevato (4,07 t ha⁻¹) e Ussana (CA), che, invece, ha subito un decremento del 27% (1,47 t ha⁻¹). Della stessa entità è stato l'incremento evidenziato dalla località friulana (2,49 t ha⁻¹), nel biennio precedente sempre al di sotto delle proprie potenzialità, che in Toscana (3,68 t ha⁻¹) ha raggiunto il 40%; in Puglia si sono spuntate ottime produzioni (3,20 t ha⁻¹), pur con un calo medio del 20% rispetto al 2010, mentre in Emilia Romagna

è stata riscontrata una resa pressoché identica (3,54 t ha⁻¹).

Cinque accessioni, Hornet, Fregat, Exagone, Excalibur, PR46W14, si sono collocate nelle posizioni di vertice in tutti e tre gli ambiti considerati (Tabelle 4, 5, 6), fornendo un buon riscontro di affidabilità.

Hibriswing e Orlando si sono distinte sia al Nord che al Sud, Albatro al Nord e al Centro, Pulsar al Centro e al Sud. DK Expower e Artoga hanno trovato le migliori condizioni per estrinsecare le proprie potenzialità produttive negli areali del Nord Italia; Hibristar, ottenendo in assoluto la migliore resa insieme a Zoom e Bagira nell'Italia Centrale, Primus e Vectra in quella Meridionale.

Fra le varietà in prova per il primo anno sei si sono annoverate fra le migliori delle località settentrionali e quattro in quelle centrali e meridionali.

BRASSICA CARINATA

Il recente interesse per questa specie non ha ancora permesso il necessario implemento nel lavoro di miglioramento genetico capace di donarle il corredo caratteriale in grado di farla apprezzare concorrenzialmente rispetto al simile colza. Per questo motivo le varietà disponibili sul mercato sono attualmente in numero molto ridotto. Sicuramente la migliore adattabilità a diversi ambienti pedoclimatici, la maggiore resistenza a stress biotici e abiotici, la particolare composizione dell'olio, ricco di acido erucico, linolenico e glucosinolati, che lo renderebbe particolarmente indicato per usi industriali e la possibilità di utilizzare le farine di estrazione, in cui tali composti residuano, come prodotto ammendante e antiparassitario del terreno, ne fanno sicuramente una essenza interessante ai fini di una valorizzazione energetica (DEL GATTO 2011).

Anche in questo caso a partire dall'autunno 2008 e per un triennio sono state poste in valutazione sei accessioni di *B. carinata*, afferenti a tre ditte sementiere, nei primi due anni e quattro nell'ultimo, adottando le stesse località di prova e metodologia sperimentale già illustrate per il colza.

2008/09

Il decorso pluviometrico nelle località di prova del Nord Italia è risultato 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. Ciò ha influito negativamente sulla capacità di approfondimento radicale e di assorbimento dell'azoto da parte della pianta. Successivamente 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 simili a quelle

Cultivar	NORD			CENTRO			SUD		
	Produzione		Contenuto	Produzione		Contenuto	Produzione		Contenuto
	Seme al 9% di um.	Olio su s.s.	Olio s.s.	Seme al 9% di um.	Olio su s.s.	Olio s.s.	Seme al 9% di um.	Olio su s.s.	Olio s.s.
	t ha ⁻¹		(%)	t ha ⁻¹		(%)	t ha ⁻¹		(%)
CT 180	2,10	0,63	32,8	3,34	0,95	31,5	2,17	0,73	36,9
CT 204	1,76	0,51	31,6	3,25	1,02	34,6	1,77	0,60	37,0
ISCI 7	1,74	0,52	32,8	2,83	0,85	33,0	1,55	0,49	34,7
SINCRON	0,95	0,24	28,5	1,89	0,51	29,5	1,10	0,37	37,2
SERENA	1,62	0,47	32,6	3,07	0,95	33,9	0,70	0,21	32,4
CARINA	1,83	0,54	32,7	2,78	0,86	34,2	1,33	0,44	36,5
Media	1,67	0,49	31,8	2,86	0,86	32,8	1,43	0,47	35,8

Tabella 7 - Produzione di granella al 9 % di umidità, contenuto e resa in olio delle *cultivar* valutate nell'annata 2008/09.

Cultivar	NORD			CENTRO			SUD		
	Produzione		Contenuto	Produzione		Contenuto	Produzione		Contenuto
	Seme al 9% di um.	Olio su s.s.	Olio s.s.	Seme al 9% di um.	Olio su s.s.	Olio s.s.	Seme al 9% di um.	Olio su s.s.	Olio s.s.
	t ha ⁻¹		(%)	t ha ⁻¹		(%)	t ha ⁻¹		(%)
CT 207	3,01	0,88	32,0	2,03	0,65	34,8	3,13	0,99	34,9
CT 180	2,82	0,87	34,0	2,00	0,64	35,5	3,92	1,29	36,3
CT 204	2,84	0,95	36,9	2,09	0,68	36,3	3,05	1,10	40,2
ISCI 7	2,74	0,85	34,0	2,29	0,72	34,9	2,60	0,88	37,2
SERENA	2,88	0,90	34,2	2,45	0,79	35,4	3,39	1,16	37,6
SINCRON	2,25	0,68	33,3	1,67	0,51	32,4	2,98	1,06	39,1
Media	2,76	0,85	34,1	2,09	0,67	34,9	3,18	1,08	37,5

Tabella 8 - Produzione di granella al 9 % di umidità, contenuto e resa in olio delle *cultivar* in prova nell'annata 2009/10.

Cultivar	NORD			CENTRO			SUD		
	Produzione		Contenuto	Produzione		Contenuto	Produzione		Contenuto
	Seme al 9% di um.	Olio su s.s.	Olio s.s.	Seme al 9% di um.	Olio su s.s.	Olio s.s.	Seme al 9% di um.	Olio su s.s.	Olio s.s.
	t ha ⁻¹		(%)	t ha ⁻¹		(%)	t ha ⁻¹		(%)
CT 207	2,50	0,83	36,7	2,70	0,90	36,7	1,67	0,56	36,7
CT 180	2,27	0,75	37,0	3,75	1,26	37,0	2,15	0,73	37,0
CT 204	1,68	0,55	36,9	3,11	1,07	36,9	2,27	0,77	36,9
ISCI 7	1,77	0,59	37,5	2,84	0,97	37,5	1,77	0,61	37,5
Media	2,06	0,68	37,0	3,10	1,05	37,0	1,97	0,67	37,0

Tabella 9 - Produzione di granella al 9 % di umidità, contenuto e resa in olio delle *cultivar* in prova nell'annata 2010/11.

delle località del Sud, caratterizzate, solitamente, da problemi di *deficit* idrico endemico e più basse di quelle realizzate nelle località del Centro, che hanno usufruito di un andamento meteorologico più regolare.

CT 180 è risultata la migliore in tutti gli areali di saggio (Tabella 7) con uno scarto per la resa in granella rispetto alla seconda (CT 204) che al Sud ha raggiunto il 18%, mentre al Centro si è limitato al 3%. È in questo ambiente che le *cultivar* già menzionate, insieme a Serena, hanno raggiunto, in assoluto, i migliori risultati dell'anno, superando le 3 t ha⁻¹.

Dall'esame del dato medio degli areali e delle produzioni di punta delle singole accessioni appare evidente la minore potenzialità produttiva della specie rispetto al colza, con produzioni mediamente inferiori del 40%.

Questa situazione assume dei connotati ancora più marcati in relazione alla resa in olio, dove lo scarto ha superato il 50%. Ciò è principalmente dovuto allo scarso tenore in olio

dei semi, componente fondamentale della resa, di oltre 10 punti percentuali inferiore a quello medio del colza.

2009/10

Il secondo anno di prova ha presentato, come illustrato precedentemente, un decorso generalmente favorevole, risultando il migliore del triennio. Condizioni particolarmente confacenti alle brassicacee si sono realizzate, insolitamente, al Sud Italia, consentendo alle località meridionali di raggiungere i migliori risultati dell'anno e dell'intero ciclo di prove (3,18 t ha⁻¹).

Il comportamento varietale è stato quanto mai diversificato (Tabella 8): al Nord, infatti, si è posta in evidenza CT 207 che, unica in quell'ambiente, ha superato le 3 t ha⁻¹ di resa in seme; CT 204 ha raggiunto la più alta produzione teorica in olio, grazie al migliore tenore nei semi, di 2,8 punti percentuali superiore a quello medio dell'ambiente. Al Centro tutte

le accessioni, tranne Sincron, hanno superato le 2 t ha⁻¹ per la produzione di seme; Serena ha raggiunto il migliore risultato assoluto in granella e olio; CT 204 ha confermato il più alto tenore lipidico nel seme. Al Sud CT 180 ha ottenuto la migliore prestazione sfiorando le 4 t ha⁻¹, ma ben altre tre varietà, Serena, CT 207, CT 204, hanno superato il limite delle 3 t ha⁻¹. La graduatoria relativa alla resa in olio è rimasta pressoché identica, con Sincron che si è inserita nel gruppo delle migliori, con rese sopra la tonnellata, grazie al buon tenore in olio fatto riscontrare. Per questo carattere CT 204 ha confermato le positive peculiarità già evidenziate, superando il valore del 40%.

2010/11

Le basse temperature autunno-vernine hanno causato danni sensibili alle piante, specialmente nel Nord Italia. Nelle altre località, invece, l'annata complessivamente è risul-

CENTRO			
Varietà	Produzione		Contenuto
	Acheni al 9% di um.	Olio su s.s.	Olio s.s.
	t ha ⁻¹		(%)
Mas 92.B	4,21	1,77	46,1
Doriana	4,18	1,88	49,4
Rumbasol	3,99	1,78	48,7
Orasole	3,91	1,69	47,2
Mas 91.A	3,88	1,64	46,2
PR64H41	3,87	1,70	48,1
Oleko	3,86	1,55	44,1
NK Camen	3,83	1,69	48,4
Sanbro MR	3,82	1,56	44,8
Ruby	3,82	1,59	45,8
Media	3,94	1,68	46,9
Media generale	3,75	1,60	46,7

SUD			
Varietà	Produzione		Contenuto
	Acheni al 9% di um.	Olio su s.s.	Olio s.s.
	t ha ⁻¹		(%)
Mas 92.B	3,06	1,11	39,7
Doriana	2,73	1,08	43,0
Rumbasol	2,58	0,94	39,8
Orasole	2,47	0,97	43,3
Mas 91.A	2,36	0,92	43,0
PR64H41	2,30	0,84	40,2
Oleko	2,21	0,62	38,0
NK Camen	2,19	0,83	41,4
Sanbro MR	2,14	0,83	42,6
Ruby	2,04	0,72	38,6
Media	2,41	0,88	41,0
Media generale	2,03	0,75	40,5

Tabella 10 - Risultati produttivi dei migliori 10 ibridi fra quelli in prova nel 2009 (In neretto gli ibridi ad alto contenuto di acido oleico).

CENTRO			
Varietà	Produzione		Contenuto
	Acheni al 9% di um.	Olio su s.s.	Olio s.s.
	t ha ⁻¹		(%)
Mas 84.E	3,69	1,59	48,3
Mas 83.R	3,66	1,56	47,7
NK Camen	3,63	1,52	46,6
Doriana	3,54	1,49	46,9
Mas 92.B	3,48	1,44	45,9
Inostarck	3,48	1,45	46,1
NX 64005	3,44	1,43	46,3
Ruby	3,41	1,34	44,1
Sillouet	3,41	1,35	44,4
Mas 90.T	3,40	1,43	46,9
Media	3,51	1,46	46,3
Media generale	3,32	1,35	45,4

SUD			
Varietà	Produzione		Contenuto
	Acheni al 9% di um.	Olio su s.s.	Olio s.s.
	t ha ⁻¹		(%)
Doriana	2,15	0,94	47,9
Inostarck	1,87	0,72	42,3
DKF 3554	1,86	0,68	40,2
DKF 2727	1,81	0,71	43,4
Oleko	1,81	0,68	41,7
Sillouet	1,79	0,71	43,4
Barolo	1,78	0,64	39,3
LG 56.68	1,77	0,66	41,1
Solaris	1,74	0,64	40,6
Mas 90.T	1,69	0,61	39,9
Media	1,83	0,70	42,0
Media generale	1,62	0,62	41,8

Tabella 11 - Risultati produttivi dei migliori 10 ibridi fra quelli in prova nel 2010 (In neretto gli ibridi ad alto contenuto di acido oleico).

CENTRO			
Varietà	Produzione		Contenuto
	Acheni al 9% di um.	Olio su s.s.	Olio s.s.
	t ha ⁻¹		(%)
Sillouet	4,27	1,87	47,8
Pacific	4,22	1,79	46,4
Inostarck	4,21	1,86	48,6
NX 00989	3,99	1,76	48,3
Mas 88.OL	3,98	1,75	48,1
DKF 3554	3,86	1,71	48,3
NX 54127	3,82	1,70	49,0
Siklos CL	3,82	1,62	46,5
NK Rocky	3,77	1,71	49,6
NK Ferti	3,76	1,67	48,5
Media	3,97	1,74	48,1
Media generale	3,66	1,58	47,4

SUD			
Varietà	Produzione		Contenuto
	Acheni al 9% di um.	Olio su s.s.	Olio s.s.
	t ha ⁻¹		(%)
NK Rocky	4,21	1,91	49,9
Barolo RM	4,11	1,59	42,3
Sillouet	4,09	1,82	48,8
Sanbro MR	3,88	1,61	45,6
Brasil	3,77	1,75	51,1
LG 54.50 HO	3,75	1,63	47,7
NK Ferti	3,69	1,66	49,6
Doriana	3,66	1,66	50,0
Cartago	3,65	1,61	48,5
NX 00989	3,64	1,61	48,7
Media	3,85	1,69	48,2
Media generale	3,35	1,46	47,8

Tabella 12 - Risultati produttivi dei migliori 10 ibridi fra quelli in prova nel 2011 (In neretto gli ibridi ad alto contenuto di acido oleico).

tata soddisfacente, intermedia nel triennio di sperimentazione: tutte hanno mostrato una flessione produttiva rispetto alla scorsa stagione, la migliore del triennio, minima ad Osimo (-5%), massima a Ussana (-58%). Lo stesso può dirsi per la resa in olio, dove, però, un leggero incremento nel contenuto medio stimato ha consentito un'inversione di

tendenza ad Osimo (+15%) ed una riduzione degli scarti ad Anzola e Gravina (-15 e -17%, rispettivamente). Nelle località settentrionali CT 207 si è dimostrata la più produttiva (Tabella 9); ad essa si è affiancata CT 180 che ha anch'essa superato le 2 t ha⁻¹ di resa in granella. Nell'Italia Centrale è quest'ultima che ha ot-

tenuito le maggiori rese in seme e olio, superando, insieme a CT 204, il valore delle 3 ed 1 t ha⁻¹, rispettivamente. Le altre due hanno comunque ottenuto produzioni superiori a quelle delle migliori negli altri due ambienti. Al Meridione si sono distinte le stesse *cultivar*, anche se a posizioni invertite. ISCI 7 ha evidenziato il più alto contenuto in olio.

GIRASOLE (*HELIANTHUS ANNUUS*)

Alla sperimentazione hanno partecipato sei unità che hanno operato in altrettante località: il Consiglio per la ricerca e la sperimentazione in agricoltura - Centro di ricerca per le colture industriali (CRA-CIN) di Osimo (AN), coordinatore del Progetto "Qualità girasole", la Regione Toscana - Settore Promozione dell'innovazione e sistemi della conoscenza, che ha operato a Marciano della Chiana (AR); l'ASTRA Innovazione e Sviluppo Unità operativa "Mario Neri" di Imola (BO), che ha lavorato nel Ravennate (Mandriole - 2009, Conselice - 2010 e 2011); il 3A - Parco Tecnologico Agroalimentare dell'Umbria Soc. Cons. a r.l., Area Innovazione e Ricerca, che ha predisposto le prove di Umbertide (PG) nel 2009, Avigliano Umbro (TR), nel 2010 e Montecastrilli (TR) nel 2011; il Dipartimento di Scienze Agro-ambientali e Territoriali (DSAAT) della Facoltà di Agraria dell'Università di Bari, che ha svolto la sperimentazione a Gravina (BA); a queste si è aggiunta l'unità operativa del CRA-CAT (Colture Alternative al Tabacco) di Scafati (SA) che ha svolto la prova a Calvi (BN) a titolo volontario. Alla sperimentazione del triennio 2009-2011 hanno partecipato 8 ditte sementiere che hanno fornito ventisei ibridi commerciali il primo anno, trenta il secondo e trentadue il terzo, di cui, rispettivamente, undici, dieci e nove dotati di semi con olio ad alto contenuto di acido oleico.

Le prove sono state realizzate con disegno sperimentale a blocchi randomizzati con tre ripetizioni.

L'investimento è stato di 6 piante/m² per tutte le varietà. Sono stati eseguiti i rilievi biomorfologici (data di emergenza, fioritura, maturazione agronomica, altezza delle piante, superficie della calatide e della zona sterile centrale), produttivi e qualitativi (peso 1.000 acheni, produzione parcellare su una superficie di almeno 9 m², 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 (MONOTTI *et al.* 2003).

2009

L'annata è stata caratterizzata, in tratti salienti, da decorsi termici praticamente speculari per le varie località di prova, 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 nei mesi primaverili, nella fase precedente la fioritura, hanno fatto registrare, successivamente, fenomeni utili alla coltura a Calvi, Umbertide e Gravina.

Si può affermare perciò che il 2009 sia risulta-

to favorevole alla coltura; almeno per quanto riguarda le località centrali è infatti stata raggiunta la più alta produzione media complessiva del triennio (3,75 t ha⁻¹), intermedia per quelle meridionali (2,03 t ha⁻¹).

Mas 92.B e Doriana (Tabella 10) hanno fornito, nell'ordine, la migliore resa in acheni, superando, entrambe, le 4 t ha⁻¹; Rumbasol OR e Orasole vi si sono approssimate. In ogni caso la differenziazione varietale è stata esigua, considerando che ben 24/26 accessioni hanno prodotto più di 3,50 t ha⁻¹.

Il contenuto in olio degli acheni è invece risultato abbastanza variabile, con uno scarto tra i valori estremi superiore ai 6 punti percentuali. Sei ibridi hanno presentato un tenore in sostanza grassa superiore al 48% che, in alcuni casi, ha permesso di scavalcare, nella resa teorica in olio, *cultivar* che le precedevano nella precedente graduatoria produttiva.

La classifica relativa agli ambienti meridionali è risultata molto diversa rispetto a quella relativa al Centro Italia. Gli ibridi si sono maggiormente diversificati (lo scarto tra le rese antipodiche ha superato il 52% della migliore produzione in acheni e il 54% in olio); solo tre di essi hanno mantenuto il piazzamento fra i migliori, per il resto si è verificato un completo capovolgimento della precedente graduatoria: Solaris, il più produttivo, che ha superato le 3 t ha⁻¹ di acheni, occupava la ventiduesima posizione, Arena PR, DKF3554, Mas 97.OL, rispettivamente al 3°, 4°, 5° posto, erano risultati ventitreesimo, ventiseiesimo e venticinquesimo.

Il contenuto in olio è risultato estremamente basso, superando appena il 40% nella media complessiva: fra i migliori ben quattro non hanno raggiunto tale valore. Ciò si è ripercosso negativamente sulla resa in olio che ha visto solamente Solaris e PR64H41 superare la produzione di 1 t ha⁻¹ in olio.

In ogni caso degli undici genotipi ad alto contenuto di acido oleico in prova, quattro sono stati annoverati fra i migliori dieci, anche se solo un paio (PR64H41 e Orasole) si sono messi in evidenza in entrambi gli areali.

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 risultavano normalmente più scarse, con conseguente contrazione delle rese. Complessivamente il quadro stagionale non può dirsi sia stato avverso al girasole, che, anche a causa delle precipitazioni episodiche in prossimità della fioritura, nelle località di Osimo e, soprattutto, Conselice, ha potuto manifestare delle soddisfacenti rese medie in acheni ed olio.

Quattro ibridi hanno superato le 3,50 t ha⁻¹ di

acheni (Tabella 11): Mas 84.E, Mas 83.R, NK Camen (alto oleico) e Doriana, tutti con rese in olio superiori o prossime ad 1,50 t ha⁻¹. Mas 84.E ha anche fatto registrare il più alto contenuto in olio, mentre Ruby e Sillouet, unici nel gruppo dei migliori, non hanno raggiunto il tenore medio generale (45,4 %).

Al Sud la situazione è apparsa quanto mai diversificata con solo quattro accessioni che hanno mantenuto le posizioni di vertice occupate nelle località dell'Italia Centrale. Fra queste Doriana, unica a superare le 2 t ha⁻¹ di resa in acheni ed Inostark, entrambe al vertice della classifica. I valori del contenuto di olio sono risultati inferiori di circa 4 punti percentuali rispetto alle altre località con conseguente ripercussione sui valori delle rese ettariali in olio, sempre inferiori alla tonnellata.

2011

L'andamento climatico del 2011 è stato caratterizzato da temperature sempre più alte della media poliennale e precipitazioni che solo ad Osimo sono risultate deficitarie per tutto il ciclo della coltura, specialmente in estate; viceversa a Gravina lo scostamento è sempre stato positivo, mentre nelle altre località di prova si sono apprezzati incrementi delle piogge almeno durante il periodo critico di fioritura-riempimento degli acheni.

Per i suddetti motivi le produzioni del Centro e Sud Italia si sono equivalse, sia per quanto riguarda gli acheni che l'olio; il particolare andamento meteo ha condizionato positivamente anche il contenuto di olio dei semi, carattere notoriamente più legato a fattori di natura genetica (LAURETI *et al.* 2006) che, nei valori medi, sia complessivamente che nell'ambito relativo ai migliori ibridi, è risultato simile.

Sillouet (Tabella 12) si è ottimamente comportato raggiungendo la testa della classifica relativa al Centro Italia e la terza (seconda per la resa in olio) posizione nell'altra, con rese sempre superiori alle 4 t ha⁻¹ in acheni e 1,80 in olio.

Lo stesso livello produttivo in granella è stato raggiunto da Pacific ed Inostarck, ma con risvolti completamente diversi nel Meridione. NX 00989 e NK Rocky, invece, si sono ben comportati in entrambi gli ambiti, il primo risultando addirittura il migliore al Sud.

Il contenuto in olio è stato ottimo in entrambi i riscontri; Basil e Doriana hanno fatto registrare valori superiori o eguali al 50%. La rappresentatività dei genotipi ad alto contenuto di acido oleico nelle graduatorie di merito ha, grosso modo, eguagliato quella degli stessi nell'ambito delle prove sperimentali.

CONCLUSIONI

La valutazione delle potenzialità produttive e dell'adattamento delle principali varietà commerciali di colza, *Brassica carinata* e girasole negli areali oggetto di riconversione delle superfici destinate precedentemente a barba-

bietola da zucchero, ha permesso di ottenere utili indicazioni.

Innanzitutto tra le specie in esame quella del girasole ha fornito maggiore affidabilità in quanto è risultata molto meno soggetta alle mutevoli condizioni climatiche; ciò si è verificato maggiormente per le località dell'Italia Centrale che da sempre costituiscono la fascia di elezione per la coltivazione dell'oleaginosa nel nostro Paese (FRASCARELLI 2010) e che hanno mostrato nel triennio una certa costanza nelle produzioni.

Lo stesso non si è realizzato per le brassicacee, che, al contrario, hanno mostrato una completa dipendenza dagli andamenti termopluviometrici che sono stati in grado di penalizzare fortemente le colture, anche in ambienti tradizionalmente vocati, o esaltarne la produzione in altri non tipicamente tradizionali. A questo si aggiungono le difficoltà cui si può andare incontro per la particolare collocazione dell'epoca di impianto, così anticipata rispetto ai cereali a paglia, specie nell'Italia settentrionale, che a volte impedisce la corretta predisposizione del letto di semina, cui la coltura si dimostra estremamente sensibile.

Tutto questo risulta di ostacolo alla necessità di programmazione del materiale di approvvigionamento di un qualsiasi impianto di trasformazione bio-energetica.

Dal punto di vista varietale le scelte degli operatori rimangono uno degli aspetti fondamentali per la riuscita delle colture, anche perché, specialmente per il colza ed in generale per le località meridionali, le differenze tra genotipi sono risultate piuttosto marcate e lo scarto tra gli estremi ha raggiunto valori superiori al 60% della migliore produzione.

Il supporto fornito dal progetto SUSCACE attraverso l'istituzione di una rete di valutazione sperimentazione è stato in tal senso opportuno e fondamentale, anche considerata la velocità del ricambio varietale che caratterizza il mercato e la prevalente, se non assoluta, provenienza estera del materiale messo a disposizione dalle ditte sementiere che necessita di essere testato nei nostri ambienti.

Il colza ha evidenziato genotipi in grado di valorizzare la propria potenzialità produttiva in diverse località, fornendo discrete garanzie di costanza produttiva. È il caso di Excalibur, ai vertici delle classifiche dei vari ambienti nell'intero triennio con una resa in granella sempre superiore alle 3 t ha⁻¹ e Pulsar, Hornet ed Exagone, che, nello stesso arco temporale, hanno abbandonato la graduatoria di merito in un solo ambito all'interno di un solo anno, eguagliando o approssimando lo stesso risultato. Per la *Brassica carinata* dal triennio di valutazione non sono apparse caratteristiche produttive tali, soprattutto a causa dello scarso contenuto in olio del seme, da farla apprezzare negli areali oggetto di sperimentazione, tranne che per particolari condizioni che pongono a rischio la coltura del colza, eventual-

mente alternativa, a causa della deiscenza delle silique. La specie necessita ancora degli sforzi del miglioramento genetico per potersi considerare a pieno titolo una coltura competitiva. Tra le *cultivar* migliori nell'arco del triennio vanno ricordate CT 180 e CT 204.

Riguardo al girasole la diversificazione varietale nei vari anni e località è stata superiore, tanto che non è possibile reperire varietà sempre ai vertici nei vari anni e ambienti. In ogni caso, nel primo biennio di sperimentazione, si sono distinte Mas 92.B, Doriana, Ruby e NK Camen al Centro e Solaris e DKF 3554 al Sud; nel biennio 2010-2011 si sono poste in evidenza Sillouet ed Inostark, nelle località centrali, Doriana, Barolo e ancora Sillouet, in quelle meridionali.

Bibliografia

D'ANDREA F., 2011 - **Il ruolo dei progetti di ricerca del CRA nel settore delle Agro-energie**. In: Lo sviluppo delle colture energetiche in Italia. Nuova Cultura: 11-19.

DEL GATTO A., 2011 - **Classificazione e risorse genetiche della *Brassica carinata***. in: Lo sviluppo delle colture energetiche in Italia. Nuova Cultura: 319-321.

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., 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., RIDONI G.M., SARTI A., COZZOLINO E., CONCEZZI L., DE MASTRO G., 2010a - **Le varietà di girasole per le semine 2010**. L'Informatore Agrario, 12: 49-55

DEL GATTO A., PIERI S., MANGONI L., DI CANDILO M., DIOZZI M., DE MASTRO G., GRASSANO N., SIGNOR M., BARBIANI G., CARBONI M., CAULI F., RIDONI G. M., FABBRINI L., 2010b - **Scegliere le varietà energetiche di colza**. L'Informatore Agrario, 33: 57-63

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. M., FABBRINI L., 2010c - **Le varietà di *Brassica carinata* per le prossime semine**. L'Informatore Agrario, 38: 52-54

DEL GATTO A., PIERI S., RIDONI G.M., SARTI A., CONCEZZI L., DE MASTRO G., VERDINI L., 2011a - **Le varietà di girasole per le prossime semine**. L'Informatore Agrario, 11: 53-58

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. M., FABBRINI L., 2011 - **Semina del colza 2011b: le varietà per tutti gli areali**. L'Informatore Agrario, 32: 53-56

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., 2011c - **I risultati della *Brassica carinata***. L'Informatore Agrario: 32, 55

FRASCARELLI A., 2010 - **Dalla pac una spinta al girasole**. L'Informatore Agrario, 12: 45-47

Gazzetta ufficiale dell'Unione europea 28/02/2006 - **REGOLAMENTO (CE) N. 318, 319, 320/2006 DEL CONSIGLIO del 20 febbraio 2006 L58/1-50**

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.

LAURETI D., DEL GATTO A., PIERI S., MONOTTI M., DEL PINO A.M., 2000 - **Valutazione di cultivar di girasole alto oleico nell'Italia centrale**. L'Informatore Agrario, LVI (11): 47-51

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., 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.

MOSCA G., ZANETTI F., 2007 - **Ottime rese del colza con le giuste scelte agronomiche**. L'Informatore Agrario, LXIII, 33: 38-42

PARI I., 2011 - **Culture energetiche per la diversificazione nel settore agricolo: i progetti di ricerca SUSCACE e FAESI**. In: Lo sviluppo delle colture energetiche in Italia. Nuova Cultura: 21-25.

TONIOLO L., MOSCA G., BERTI A., MICELI F., FONTANA F., PARADISI U., LAURETI D., CIRIOFOLO 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.

KEYWORDS: sunflower, *Brassica napus*, *Brassica carinata*, variety, hybrid, seed yield, oil content, oil yield

Abstract: *Crops for biodiesel chain: yield potential in the Italian environments*

In order to evaluate potential adaptation and production of the main varieties of *Brassica napus*, *Brassica carinata* and sunflower, within SUSCACE Project, in the years 2009-2011 some experimental trials were made in six different Italian locations, separately for the three species, considering 51 cultivars for the first one, 7 for the second one and 52 for the third one. 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, since the differences among genotypes have been essential, amounting till 60% of the best production. Hybrid cultivars have confirmed their superiority, generally indicating greater productivity and vitality than other varieties. *Brassica carinata* has revealed less productive capacity, not in relation to seed yields, but mostly to oil content, that is in medium 10 percentage points lower. Tests have highlighted good productive potentiality of sunflower in all locations of cultivation, demonstrating good quality of the material evaluated. The varieties with high oleic acid content have confirmed high and stable content of this kind of fat acid in every locations, sometime showing values higher than 90%.

Valutazione di genotipi di sorgo da biomassa

Prove comparative in Campania

di MARIO DI CANDILO

MAURO MORI

CARLO CODUTI

Allo scopo di valutare l'adattabilità ambientale e le potenzialità produttive del sorgo da biomassa (*Sorghum bicolor* L.) nel Sud Italia, nel biennio 2009-2010 sono state realizzate prove di confronto varietale in coltura asciutta a Montefalcone del Fortore (BN) e a Sant'Angelo dei Lombardi (AV).

PAROLE CHIAVE: sorgo da fibra, sorgo zuccherino, agro-energia, biomassa lignocellulosica.

Nel Sud Italia il clima è caratterizzato da severe carenze di precipitazioni nel corso dei mesi estivi, pertanto il maggiore fattore limitante le produzioni agricole è rappresentato dall'acqua. Molte coltivazioni devono essere necessariamente supportate dall'irrigazione nel corso del ciclo colturale. D'altra parte la disponibilità di acqua irrigua è limitata e, pertanto, riservata prima di tutto alle colture da reddito (orticole, uva da tavola, ecc.). In tale contesto la realizzazione di colture da biomassa lignocellulosica ad uso energetico può entrare facilmente in conflitto con le produzioni alimentari per l'uso del terreno e dell'acqua. Tuttavia, anche nel **Meridione le colture da biomassa potrebbero trovare un certo spazio se realizzate con specie resistenti agli stress idrici, ad alta efficienza d'uso dell'acqua (WUE) e adattabili anche a terreni e acque irrigue non idonei per le colture di tipo alimentare, perché inquinati.**

Una delle poche specie adattabili alle condizioni caldo aride del Sud Italia è il sorgo da biomassa, comprendente sia i tipi da fibra, sia quelli 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 salini (RIVELLI *et al.* 2002; YANG *et al.* 1990), e buona efficienza d'uso dell'azoto (FAGNANO e POSTIGLIONE 2002; LOVELLI *et al.* 2001) e 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 WUE pari a 4,8-5,3 g l⁻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). Inoltre, il sorgo ha la capacità di entrare in stasi vegetativa rallentando i processi vitali in caso di stress idrico accentuato, per intensificarli nuovamente non appena le condizioni idriche tornano favorevoli.

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

MARIO DI CANDILO, CRA-CIN - Cento di Ricerca per le Colture Industriali, Bologna mario.dicandilo@entecra.it - MAURO MORI, Dipartimento di Ingegneria Agraria e Agronomia del Territorio, Università di Napoli Federico II, Portici (NA) - CARLO CODUTI, STAPA - CePICA, Benevento, Regione Campania



Foto 1 - Immagini della prova di confronto fra genotipi di sorgo da biomassa : in quella di sinistra è possibile osservare il diverso grado di chiusura delle interfile da parte delle piante; nell'immagine di destra è riportato un genotipo particolarmente vigoroso ed uniforme. Sant'Angelo dei Lombardi (AV), fine Giugno 2010.

sto che con la canna comune o con il pioppo, poiché permette di riconvertire prontamente il terreno.

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 sorgi 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 "Filiera Energetiche per il Sud Italia - FAESI", finanziato dal MiPAAF, sono state realizzate **prove di confronto varietale in coltura "asciutta" con l'obiettivo di valutare le potenzialità produttive dei genotipi disponibili in ambienti interni della Campania**. Di seguito si riportano le metodologie e i risultati relativi a prove svolte nel biennio 2009-2010.

MATERIALI E METODI

Nel 2009 la prova di confronto varietale è stata realizzata a Montefalco (BN), in terreno franco-argilloso, in pendio, posto a circa 800 m di quota. Le tesi, rappresentate da 12 ibridi di sorgo di diverse tipologie (Tabella 1), sono state distribuite in campo secondo uno schema a strip-plot, con tre ripetizioni e parcelle da 280 m² ciascuna, per una superficie complessiva pari ad un ettaro.

Per la preparazione del terreno è stata eseguita un'aratura superficiale (30 cm) ed una erpicatura; in occasione di quest'ultima sono stati interrati 110 kg ha⁻¹ di P₂O₅. La semina è stata eseguita con seminatrice da frumento a metà maggio su file continue poste a 20 cm l'una dall'altra; purtroppo a causa della insufficiente disponibilità di umidità nel terreno l'emergenza delle plantule è avvenuta oltre un mese dopo la semina. Alla levata delle piante è stato somministrato l'azoto in dose di 150 kg ha⁻¹.

Nel 2010 la prova è stata ripetuta a Sant'Angelo dei Lombardi (AV) mettendo a confronto 15 genotipi, di cui 8 già provati l'anno precedente e 7 di nuovo inserimento. Il terreno impiegato, come nel 2009, è franco-argilloso, con giacitura in pendio, posto a 700 m di quota. La preparazione del letto di semina e la concimazione in

pre-semina sono state eseguite come nel 2009; l'azoto invece è stato somministrato in due interventi: metà alla semina e metà alla levata delle piante, per una dose complessiva di 120 kg ha⁻¹. Lo schema sperimentale adottato è il blocco randomizzato, con tre ripetizioni e parcelle di 50 m². La semina in questa seconda annata, a causa dell'andamento primaverile piovoso, è stata eseguita all'inizio di giugno con una seminatrice pneumatica parcellare a distanze di 45 cm fra le file e 8 cm sulla fila. L'emergenza delle plantule, grazie alla buona disponibilità di acqua nel terreno e alle temperature relativamente elevate del periodo, è avvenuta in modo uniforme già dopo una settimana dalla messa a dimora del seme (Foto 1).

In entrambe le annate le coltivazioni sono state condotte in "asciutta".

Alla raccolta, eseguita il 24/9 nel primo anno e il 4/9 nel secondo, in ogni parcella sono stati rilevati i caratteri:

- resistenza all'allettamento;
- numero di culmi m⁻²;
- altezza e diametro basale dei culmi;

Varietà	Culmi m ⁻² (n.)	Altezza pianta (cm)	Diametro stelo (mm)	Nodi culmo ⁻¹ (n.)
SilageKing	36,0 a	178,0 bc	10,6 bd	9,3 a
Bulldozer	35,5 a	207,3 ab	9,8 cd	9,3 a
Biomass 140	30,8 ab	227,0 a	10,9 bd	9,1 a
Sucre 506	33,9 ab	200,0 ac	10,9 bd	9,6 a
S.S. 20	29,0 bc	116,7 d	12,3 ac	9,2 a
Biomass 133	33,5 ab	208,0 ab	9,8 cd	8,3 a
P. 849	32,9 ab	181,0 bc	9,2 d	8,6 a
Sucre 405	34,2 ab	169,7 c	9,7 cd	8,2 a
Sugargraze	31,4 ab	179,8 bc	11,6 ad	9,0 a
P. 811	24,3 c	131,3 d	14,2 a	5,9 b
Padana 4	31,9 ab	130,4 d	10,7 bd	6,3 b
BMR	24,5 c	126,0 d	12,8 ab	5,7 b
Medie	31,5	171,3	11,0	8,2

I valori della stessa colonna contrassegnati da lettere diverse differiscono significativamente per P=0,05 (test di Duncan).

Tabella 1 - Caratteristiche biometriche delle varietà di sorgo provate a Montefalco (BN) nel 2009.



Foto 2 - Particolari della prova di sorgo da biomassa in prossimità della raccolta: nell'immagine a sinistra risulta evidente la diversa sensibilità varietale all'allettamento; la foto a destra invece evidenzia differenze fra genotipi per altezza delle piante e grado di spigatura.

- produzione di biomassa fresca;
- rapporto fra le componenti della biomassa (culmi, foglie e panicoli);
- umidità della biomassa al momento dello sfalco;
- resa in sostanza secca per unità di superficie;
- grado zuccherino dei succhi (°Brix).

RISULTATI

Anno 2009

In Tabella 1 sono riportati i valori medi dei principali parametri biometrici. Dall'esame di tali dati si può innanzitutto osservare che la densità d'investimento alla raccolta è stata elevata (oltre 30 culmi m^{-2}) per quasi tutte le varietà. Conseguentemente il diametro degli steli è risultato contenuto (9-13 mm).

Anche l'altezza raggiunta dalle piante è stata modesta (171 cm in media): per le *cultivar* più sviluppate sono stati riscontrati valori compresi fra 200 e 227 cm.

In Tabella 2 sono riportate le rese in biomassa fresca, le incidenze percentuali delle frazioni componenti la biomassa (culmi, foglie e panicoli) e le percentuali di

sostanza secca della biomassa stessa. La produzione media di biomassa umida è stata di $41,6 t ha^{-1}$, rese sensibilmente più elevate sono state raggiunte dalle varietà SilageKing ($52,3 t ha^{-1}$), Bulldozer ($51,1$), Sucre 506 e P 811 ($47,8$).

La biomassa raccolta in media è risultata composta per il 62,1% da steli, 26,3% da foglie e 11,6% da panicoli. Al riguardo, vanno però evidenziati comportamenti molto differenziati delle *cultivar*; infatti, mentre alcune varietà (Sucre 506, Bulldozer e P. 849) hanno fatto riscontrare elevata incidenza di steli (67-70%), ridotta presenza di foglie (20-28%) e scarsa incidenza di panicoli (5-13%), altre *cultivar* (P 811, Padana 4 e BMR) si sono contraddistinte per elevata fogliosità (38-45%) e assenza completa di panicoli.

La percentuale di umidità della biomassa, sebbene la raccolta sia stata eseguita a fine settembre, è stata piuttosto elevata (69,3% in media), tuttavia anche per questo carattere sono state riscontrate differenze significative tra varietà che hanno fornito il prodotto più umido (Padana 4, BMR e P 811 con valori pari a 77-81%) e quelle con la biomassa meno umida (Sucre 405, Biomass 140 e Biomass 133, con livelli del 60-65%).

La resa media in sostanza secca è stata di $12,7 t ha^{-1}$; fra le varietà si sono distinte positivamente SilageKing, Bulldozer, Biomass 140 e Sucre 506 con produzioni comprese fra $14,8$ e $16,5 t ha^{-1}$ (Grafico 1). Si tratta di livelli produttivi sicuramente inferiori rispetto a quelli raggiungibili nel Nord Italia; tuttavia, se si considera che la coltivazione è stata realizzata nel Sud Italia, in alta collina, su terreno in pendio e senza l'ausilio dell'irrigazione le rese ottenute non sono poi così male.

Anno 2010

In Tabella 3 sono riportati i dati relativi ai caratteri biometrici delle piante. Dal loro esame risulta che l'investimento alla raccolta è stato di 23 culmi m^{-2} in media; al riguardo le varietà si sono differenziate significativamente in relazione alla loro capacità di accostamento: le *cultivar* meno dotate di tale carattere (Biomass 133, Biomass 140 e Biomass 150) hanno presentato le densità più basse ($16-18 culmi m^{-2}$), prossime a quella attesa; al contrario, i genotipi con maggiore espressione

Varietà	Biomassa fresca ($t ha^{-1}$)	Steli (%)	Foglie (%)	Panicoli (%)	Sostanza secca (%)
SilageKing	52,3 a	51,3 d	19,6 de	29,1 a	31,5 e
Bulldozer	51,1 ab	66,9 ab	27,9 c	5,2 d	30,7 e
Biomass 140	39,5 ce	66,1 ab	19,9 de	14,0 bc	38,5 b
Sucre 506	47,8 ac	70,0 a	21,5 d	8,5 cd	30,9 e
S.S. 20	42,8 ad	53,7 cd	19,9 de	26,4 a	33,9 d
Biomass 133	37,5 ce	65,6 ab	21,0 de	13,4 bc	35,2 c
P. 849	36,7 de	67,0 ab	20,0 de	13,0 bc	34,0 cd
Sucre 405	30,2 e	66,7 ab	16,5 e	16,8 b	40,4 a
Sugargraze	39,3 ce	61,1 bc	26,5 c	12,4 bc	30,5 e
P. 811	47,8 ac	60,4 bc	39,6 b	0,0 e	22,6 f
Padana 4	41,2 bd	54,9 cd	45,1 a	0,0 e	19,2 h
BMR	33,3 de	61,6 bc	38,4 b	0,0 e	20,7 g
Medie	41,6	62,1	26,3	11,6	30,7

I valori della stessa colonna contrassegnati da lettere diverse differiscono significativamente per $P=0,05$ (test di Duncan).

Tabella 2 - Caratteristiche produttive delle varietà di sorgo provate a Montefalco (BN) nel 2009.

del carattere in discorso (Mitril, P.849 e Bulldozer) hanno mostrato le maggiori fittezze, comprese fra 28 e 31 culmi m⁻².

Le varietà Biomass 150 e Bulldozer hanno evidenziato le maggiori altezze dei culmi (oltre 400 cm), differenziandosi significativamente da tutte le altre ed in particolare da PSE 27677, P.811 e PSE 98456 che sono risultate le più basse (188-223 cm).

Differenze di rilievo fra genotipi sono emerse anche per il diametro basale dei culmi. In questo caso le differenze sembrano legate alla fittezza dei culmi stessi, oltre che al genotipo. Di fatto i valori più elevati sono stati riscontrati in Biomass 133, Herkules, Biomass 140 e Biomass 150 (20-21 mm), che sono state le varietà a più basso investimento. Al contrario, i culmi più sottili (13-15 mm) sono stati rilevati nei genotipi che hanno manifestato le maggiori fittezze (P. 849, Mitril e SilageKing).

Il numero di nodi culmo⁻¹ (10,6 in media) è apparso correlato positivamente all'altezza del culmo stesso; infatti le *cultivar* Biomass 150 e Bulldozer si sono distinte dalle altre per maggior numero di nodi, oltre che per maggiore altezza dei culmi.

In questo secondo anno, grazie ad una maggiore piovosità rispetto alla precedente annata le piante hanno manifestato maggiore vigore, raggiungendo a fine ciclo un'altezza media nettamente superiore a quella del 2009 (300 contro 171 cm). La maggiore taglia dei culmi, unitamente alle piogge di fine agosto hanno favorito anche fenomeni di alettamento. Al riguardo hanno mostrato buona resistenza le *cultivar* Bulldozer, Biomass 150, Biomass 140, Biomass 133 e P 811; al contrario, Herkules, Goliath e Sucre 506 sono risultate le più suscettibili (Foto 2).

Sotto il profilo produttivo si sono particolarmente distinte le varietà Bulldozer, Sucre 506 e PSE 98456, con rese di 100 t ha⁻¹ circa di prodotto fresco; al contrario, SilageKing e PSE 27677 hanno fornito le minori rese (Grafico 2).

Nel Grafico 3 sono indicate le produzioni di sostanza secca ottenute dai vari genotipi. La graduatoria di merito è all'incirca la stessa del prodotto fresco, salvo alcuni scavalcamenti dovuti alle differenti percentuali di sostanza secca della biomassa. Di fatto, Bulldozer e Goliath sono risultate le più interessanti, con rese di oltre 20 t ha⁻¹; buone *performance* si sono avute anche da Biomass 150 e Sucre 506 (18-19 t ha⁻¹). Le varietà meno interessanti sono state PSE 27677, SilageKing e P.811 che hanno prodotto appena 9-11 t ha⁻¹ di sostanza secca.

Circa la composizione della biomassa raccolta (Tabella 4) sono emerse differenze molto rilevanti: nelle varietà più produttive la ripartizione della biomassa è stata del 62-66% per gli steli, 27-31% per le foglie e 7-8% per i panicoli, mentre nei genotipi meno produttivi si è avuta minore incidenza degli steli (34-45%) e maggiore presenza di foglie (40-55%).

Il grado zuccherino (Tabella 4) ha avuto la migliore espressione in Biomass 150, Sucre 506, Goliath, Herkules e Biomass 133, senza differenze di rilievo fra tipi zuccherini e tipi da fibra. Nei genotipi a maggiore incidenza di foglie (PSE 27677, Padana 4 e P.811) il grado zuccherino è risultato significativamente più basso (7,9-9,5 °Brix).

Varietà	Culmi m ⁻² (n.)	Altezza pianta (cm)	Diametro stelo (mm)	Nodi culmo ⁻¹ (n.)
Biomass 133	16,3 g	357,3 bc	21,3 a	11,7 bc
Biomass 140	17,3 fg	361,7 b	20,3 ab	12,0 b
Biomass 150	18,0 eg	412,3 a	20,0 ac	13,0 a
Sucre 506	25,3 bc	324,3 d	19,5 ac	11,3 bd
SilageKing	24,7 bd	252,7 g	15,3 ef	10,3 de
Bulldozer	28,0 ab	409,7 a	19,0 bd	13,3 a
Herkules	19,2 dg	372,7 b	20,7 ab	11,3 bd
P. 811	21,0 cg	200,3 i	18,7 bd	9,0 f
P. 849	28,0 ab	257,0 fg	13,0 g	10,7 ce
Padana 4	24,3 bd	227,0 h	19,0 bd	9,0 f
Mitril	31,0 a	302,3 e	13,3 fg	9,0 f
Goliath	19,3 dg	340,3 cd	19,3 ac	10,7 ce
PSE 27677	19,3 dg	188,0 i	17,0 de	8,7 f
PSE 98456	23,3 be	223,0 h	18,0 cd	9,7 ef
Trudan HL	24,7 bd	275,7 f	14,3 fg	9,3 f
Medie	22,6	300,3	17,9	10,6

Tabella 3 - Caratteristiche biometriche delle varietà di sorgo da biomassa messe a confronto a Sant'Angelo dei Lombardi (AV) nel 2010.

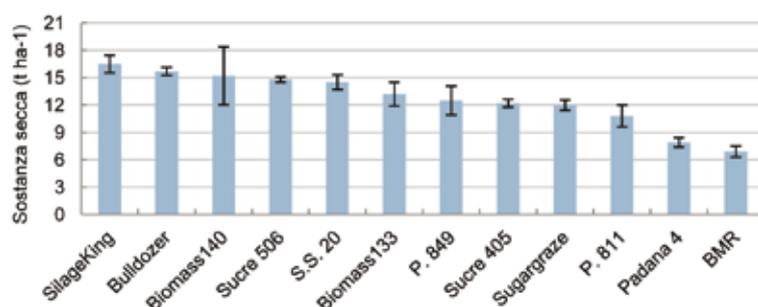


Grafico 1 - Produzioni di biomassa delle varietà di sorgo valutate a Montefalcone (BN) nel 2009.

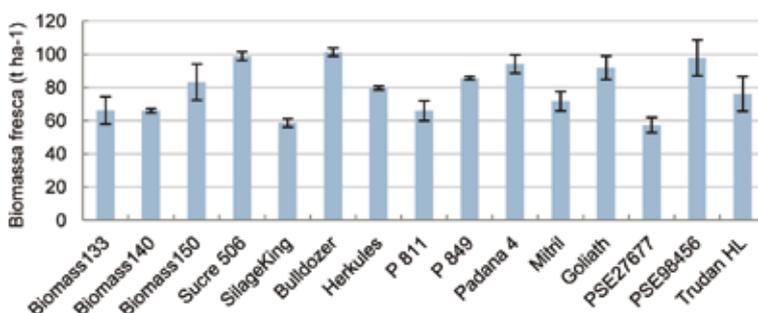


Grafico 2 - Produzioni di biomassa fresca delle varietà di sorgo a Sant'Angelo dei Lombardi (AV) nel 2010.

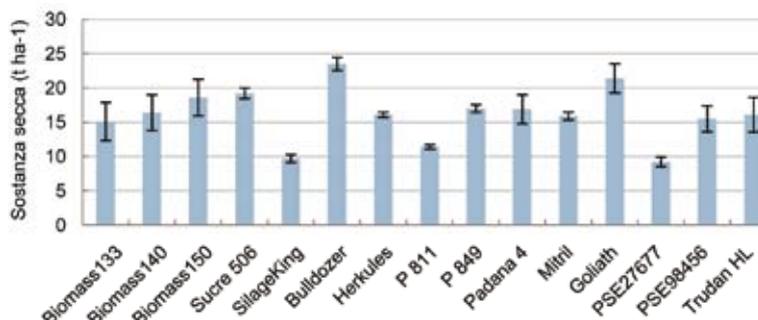


Grafico 3 - Rese in sostanza secca dei genotipi di sorgo a Sant'Angelo dei Lombardi-AV nel 2010.

Varietà	Culmi/ biomassa (%)	Foglie/ biomassa (%)	Panicoli/ biomassa (%)	Sostanza secca (%)	°Brix
Biomass 133	63,0 bd	27,8 g	9,2 ce	22,5 ab	15,9 a
Biomass 140	58,0 ef	34,6 ef	7,4 df	25,4 a	13,6 ac
Biomass 150	65,3 ab	26,8 g	7,9 df	22,2 ab	16,5 a
Sucre 506	61,6 cd	31,3 eg	7,1 df	19,5 ab	16,4 a
SilageKing	50,7 h	35,9 de	13,4 c	16,6 b	10,6 de
Bulldozer	66,4 a	26,6 g	7,0 df	23,1 ab	14,5 ab
Herkules	60,4 de	34,9 ef	4,7 eg	20,2 ab	16,0 a
P. 811	44,8 i	55,2 a	0,0 h	17,5 ab	9,5 de
P. 849	48,9 h	30,5 fg	20,6 b	19,8 ab	10,9 cd
Padana 4	54,6 g	43,5 bc	1,9 gh	17,7 ab	9,3 de
Mitri1	62,4 g	26,1 g	11,5 cd	22,5 ab	15,4 a
Goliath	63,7 ad	28,1 g	8,2 df	23,1 ab	16,2 a
PSE 27677	33,9 j	40,0 cd	26,1 a	16,0 b	12,0 bd
PSE 98456	55,0 fg	45,0 b	0,0 h	15,8 b	7,8 e
Trudan HL	64,7 ac	31,3 eg	4,0 fh	20,8 ab	14,9 a
Medie	56,9	34,5	8,6	20,2	13,3

Tabella 4 - Caratteristiche della biomassa delle varietà di sorgo: incidenza delle componenti, percentuale di sostanza secca e grado zuccherino (Sant'Angelo dei Lombardi-AV, 2010).

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 ceduzione 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 in genere 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 la qualità della biomassa è piuttosto carente a causa dell'alto contenuto in cenere e silicio, problema che tuttavia non provoca conseguenze di rilievo sulle centrali di nuova generazione.

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 ha 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 (PICCINI 2010) e vista la buona 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 applicata nel settore per la risoluzione delle **problematiche ancora aperte**, quali:

- 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 Italia, e poter anticipare la raccolta nel Nord in epoca più favorevole all'essiccazione naturale della biomassa in campo, dopo lo sfalcio;
- selezione di nuove *cultivar* più produttive e più resistenti all'allettamento;
- miglioramento dell'efficienza della fase agricola e di quella di trasformazione;
- razionalizzazione dei cantieri di raccolta;
- le limitate superfici aziendali italiane, congiuntamente all'elevata frammentazione dei terreni, rendono necessario la costituzione di consorzi tra gli imprenditori delle aziende di piccole dimensioni per raggiungere una massa critica nella produzione di biomassa;
- 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.

Bibliografia

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., GIOVANNARDI R., COPANI V., MANTINEO M., D'AGOSTA G., BEZZI G., TASSAN MAZZOCCO G., 2006 - **Agroindustria**, 4, 1: 35-48.

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 34° Convegno della Società Italiana di Agronomia. Pisa 17-21 settembre 2001: 188-189.

PICCININI S., 2010 – **Il biogas: dove e quando conviene**. Workshop, Roma 2 luglio 2010.
www.itabia.it

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.

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.

KEYWORDS: fiber sorghum, sugar sorghum, bioenergy, ligno-cellulosic biomass.

Abstract: Evaluation of biomass sorghum genotypes (*Sorghum bicolor* L.) in Campania Region.

In the years 2009 and 2010, among the activities of the project "Filiera Energetiche per il Sud Italia", two field experiments comparing sorghum genotypes were carried out in the inner part of Campania Region: Montefalcone (BN) e a Sant'Angelo dei Lombardi (AV). In the year 2009, 12 sorghum hybrids were compared using a strip plot experimental design, with three replications and plot of 280 m². In the year 2010, 15 cultivar were compared (only 8 of them belong to the group compared in the precedent year) using a randomized block design with three replications, and plots of 50 m². At harvesting time were measured: the biometric characteristics culm density, culm height, culm basal diameter; the resistance to lodging, the biomass yield and its moisture content, the fraction of leaves, stems and panicles over the total aboveground biomass, and the sugar concentration of the stem juice (° Brix). The year 2009 was a dry season, whilst the year 2010 was a rainy seasons. The type of season substantially influenced the growth and productivity of the crop: in 2009 the average plant height was 171 cm and the dry matter yield 12.8 t ha⁻¹; in 2010 the average height was 300 cm and the dry matter yield 16.0 t ha⁻¹. The most promising genotypes were 'Bulldozer' and 'Goliath', with dry matter yields overcoming 20 t ha⁻¹. Good performances were observed for 'Biomass 150' and 'Sucre 506', even though the last genotype is susceptible to lodging. The higher values for sugar content (15.4-16.5 °Brix) were measured for 'Biomass 150', 'Sucre 506', 'Goliath', 'Herkules', 'Mitril' e 'Trudan HL'.

Potenzialità produttive del sorgo al Sud

Prove sperimentali con sussidio irriguo limitato e con acque di bassa qualità

di POMPEO MAGGIO, PASQUALE CAMPI,
FRANCESCA MODUGNO, VINCENZA TURCI,
MARCELLO MASTRORILLI

La ricerca riguarda le attività agronomiche a supporto delle filiere energetiche nel Sud. Lo scopo dello studio è valutare la produttività delle colture *non-food* irrigate con acqua di scarsa qualità e con volumi sub-ottimali. L'esperimento è stato realizzato in due annate in agro di Cerignola (FG) su tre ibridi di sorgo (Pioneer 811, Pioneer 849 e KWS Bulldozer).

PAROLE CHIAVE: bilancio idrico, acque reflue municipali, stato idrico del terreno, irrigazione deficitaria, area mediterranea, biomasse

La coltura del sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench.) continua a suscitare particolare interesse nell'ambito dello sviluppo di filiere per la produzione di biomasse agricole a scopo energetico nel Sud Italia. Tale interesse è dovuto principalmente all'elevato contenuto in zuccheri solubili presenti nel culmo (la cui percentuale sul fresco può variare dall'8 al 14%) (SINGH e SINGH 1995), ai ritmi di crescita elevati e al notevole valore energetico della biomassa, oltre che ad una spiccata capacità di adattamento al clima semi-arido mediterraneo dovuta alle minori esigenze azotate (SMITH e BUXTON 1993, REXEN 1992) ed idriche (DERCAS *et al.* 1995, DUARTE *et al.* 2000) rispetto a quelle del mais (MASTRORILLI *et al.* 1999). La Comunità Europea nell'ambito delle politiche in materia ambientale e di

colture *no food* ha, inoltre, incoraggiato la produzione del sorgo per l'elevata efficienza nella fissazione della CO₂. Secondo ALMODARES e HADI (2009), il sorgo utilizzato per la produzione di bioetanolo, può essere una coltura alternativa al mais in aree marginali, dove la disponibilità idrica è limitata durante la stagione di crescita della coltura.

Diversi studi hanno abbondantemente dimostrato le potenzialità produttive del sorgo come coltura energetica (CURT *et al.* 1995, SMITH e DORAN 1996) ma le capacità di adattamento dei diversi ibridi in ambienti caldo aridi in condizioni idriche limitanti sono tuttora in fase di studio. Ciò rappresenta un punto focale, nella specifica realtà pedo-climatica delle regioni meridionali, dove le condizioni climatiche del Mediterraneo favorevoli



Foto 1 - Sonde TDR.

POMPEO MAGGIO, CRA-SCA - Unità di Ricerca per i Sistemi Culturali degli ambienti Caldo-aridi, Bari - PASQUALE CAMPI, CRA-SCA pasquale.campi@entecra.it
FRANCESCA MODUGNO, CRA-SCA - VINCENZA TURCI, CRA-SCA - MARCELLO MASTRORILLI, CRA-SCA



Foto 2 - Canale Regina

alla ecofisiologia dalla coltura, come le alte temperature ed elevata radiazione solare, sono limitate dalla scarsità delle risorse idriche. Pertanto, per realizzare una migliore pianificazione delle risorse idriche disponibili e per stabilire strategie irrigue in grado di ottimizzare le rese della biomassa è necessario conoscere la risposta delle colture alla variazione dei volumi irrigui (STEDUTO *et al.* 1997). L'obiettivo di questo lavoro è valutare la produttività del sorgo coltivato a fini energetici e irrigato con sussidi irrigui limitati e con acque reflue.

MATERIALI E METODI

Le prove sperimentali sono state eseguite in due annate (2009 e 2010) presso l'Azienda Agricola Conteduca di Cernignola (FG) (latitudine 41°24', longitudine 15° 56', quota 3 m s.l.m.). La località è caratterizzata da clima mediterraneo, con una pluviometria media annua di circa 600 mm e con precipitazioni concentrate durante il periodo autunno-invernale, mentre sono di scarsa entità nel periodo primaverile-estivo.

Il terreno dell'azienda sperimentale è argilloso con un contenuto di argilla pari al 45%. Per l'impianto è stato adottato un dispositivo sperimentale a *split-plot*, ripetuto tre volte, con parcelle elementari di 80 m². Sono stati considerati **3 ibridi di sorgo per la produzione prevalente di biomassa** (Pioneer 811, Pioneer 849 e KWS Bulldozer). I trattamenti irrigui a confronto sono stati: **restituzione del 100% (100ET) e del 50% (50ET) dell'evapotraspirazione (ETc)** calcolata secondo l'approccio FAO (VASILAKOGLU *et al.* 2011, ALLEN *et al.* 1998).

In entrambe le annate la semina della coltura è stata effettuata nella prima decade di maggio.

Circa la concimazione, in quella di fondo sono stati distribuiti 150 kg ha⁻¹ di P₂O₅, 50 kg ha⁻¹ K₂O (in aprile) e 100 kg ha⁻¹ di N, con due applicazioni in copertura (50+50 kg ha⁻¹ di N come nitrato ammonico).

Decreto	
D.Lgs152/06	Definisce le acque in questione come "acque superficiali all'interno di un bacino idrico superficiale del territorio"
R.D.1775/33 s.m.i.	Definisce come acque pubbliche art.1 "tutte le acque sorgenti, fluenti e lagunari del sottosuolo" soggette pertanto alla regolamentazione per il loro utilizzo.
D.M. 185/03	Norme tecniche da seguire per l'ottenimento delle autorizzazioni.

Tabella 1 - Quadro giuridico di riferimento per l'utilizzo delle acque reflue.

Al fine di sfruttare al massimo le potenzialità del sorgo in condizioni idriche deficitarie, è stato previsto un doppio raccolto per ogni combinazione sperimentale. In entrambi i trattamenti irrigui, **la stessa parcella di sorgo è stata sfalcata due volte: alla fase fenologica di maturazione cerosa, in piena estate** (prima decade di agosto) e **inizio autunno** (ottobre). Dopo aver eseguito il primo sfalcio (inizio agosto), la coltura è stata lasciata sul campo in modo da valutare la produzione complementare ottenibile dai ricacci. Il "secondo ciclo" ha avuto termine a ottobre, 70-80 giorni dopo il primo sfalcio. Dopo il primo sfalcio è stata eseguita l'irrigazione di soccorso per favorire l'emissione di germogli avventizi che sono stati lasciati a vegetare sino alla metà di ottobre quando, in corrispondenza dell'emissione completa dei panicoli, è stata effettuata la raccolta.

Questa seconda coltura ha usufruito di ridotti *input* agronomici, tranne alcune irrigazioni di soccorso.

Durante la coltivazione **è stato monitorato in campo l'indice di area fogliare (LAI)** attraverso il ceptometro 'LICOR 2000'.

Durante la stagione di crescita del sorgo è stata misurata giornalmente, per ciascun trattamento irriguo, l'evapotraspirazione della coltura:

$$ETc = \pm\Delta W + P - D \quad (1)$$

Il bilancio idrico semplificato (1) considera solo tre termini, in quanto nel campo sperimentale il ruscellamento e la risalita capillare sono assunte nulle (COSENTINO *et al.* 1997). Gli **apporti idrici (P)** sono rappresentati dalla somma delle misure giornaliere di pioggia e acqua irrigua. Il **drenaggio (D)** è stato calcolato pari all'eccesso degli apporti di acqua rispetto alla capacità del terreno di trattenere l'acqua.

L'**umidità del terreno (W)** è stata misurato con sonde

	pH	CE	Cl ⁻	ES	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Bicarb.	Carb.	SAR	Durezza
		dS/m	gr/l	%	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l		
Origine	8,23	2,41	0,57	1,34	1,02	2,22	16,71	1,36	0,08	0,07	0,60	8,00	13,12	3,24
Lagun.	8,10	2,50	0,55	1,35	3,11	3,00	10,14	1,26	0,06	0,07	0,24	8,16	5,80	6,11
Uscita	8,17	2,50	0,68	1,36	2,51	2,55	9,17	1,16	0,05	0,07	0,48	6,28	5,77	5,05

Tabella 2 - Analisi delle acque reflue utilizzate per l'irrigazione.

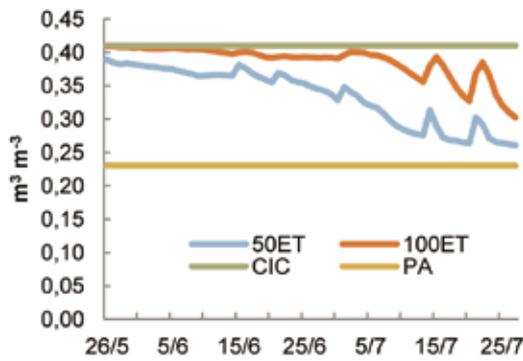


Grafico 1 - Stato idrico del terreno in funzione del regime irriguo (2010).

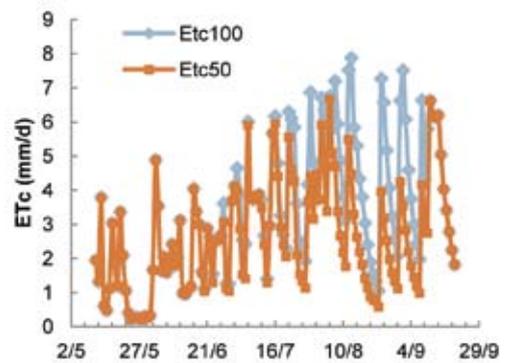


Grafico 2 - Andamento dell'evapotraspirazione dell'ibrido Pioneer 811 in funzione del regime irriguo nell'anno 2010.

coassiali (0,3 m in lunghezza) installate nella parcella relativa all'ibrido Pioneer 811 (Foto 1), prima della semina, orizzontalmente nel suolo a 0,3 m in profondità. Le sonde sono state collegate a un TDR100 - Campbell datalogger CR1000.

L'impianto è stato irrigato con acque reflue provenienti dal canale Regina (Foto 2) situato in agro di Cerignola (FG) e che costeggia la proprietà "Conteduca", sede della prova sperimentale. Il canale in questione è un canale consortile di scolo delle acque superficiali in cui confluiscono anche le acque in uscita dall'impianto di depurazione del comune di Cerignola, il cui funzionamento non è assicurato con costanza. Il quadro giuridico di riferimento per determinare le competenze amministrative e gli obblighi previsti per l'uso irriguo delle acque reflue sono riportati in Tabella 1.

Durante l'utilizzo per scopi irrigui è stato monitorato il contenuto di metalli pesanti e di sali presenti nell'acqua in tre diversi punti: all'origine, dopo il lagunaggio e all'uscita dei gocciolatori.

RISULTATI

Le analisi delle acque effettuate periodicamente all'origine, dopo il lagunaggio e all'uscita dei gocciolatori hanno evidenziato l'assenza di metalli pesanti (al di sotto della sensibilità di lettura dello spettrofotometro ICP). Sono stati analizzati: Pb, Cu, Cr, Cd, Ni, Fe, Mn, Zn. Solo per lo Zinco le analisi hanno indicato concentrazioni rilevabili (0,037 mg/l), ma comunque al di sotto del valore soglia (0,5 mg/l). Nella Tabella 2 sono indicati i valori riscontrati durante uno dei controlli periodici. Questi dati analitici non rivelano situazioni che impediscano l'utilizzazione agronomica di queste acque ai fini irrigui.

Il dispositivo sperimentale adottato, ha permesso di differenziare chiaramente lo stato idrico del terreno in funzione del volume irriguo somministrato (Grafico 1). Dalle misure di umidità volumetrica del terreno risulta che il terreno, dall'emergenza alla levata, si è mantenuto nell'ambito dei valori compresi tra la capacità idrica di campo e la soglia che delimita l'acqua facilmente disponibile per la coltura in coincidenza delle irrigazioni pari al 100% dell'ETc. Mentre i volumi irrigui dimezzati (50% ETc) hanno mantenuto l'umidità volumetrica del terreno di poco superiore al punto di appassimento.

I valori stagionali di evapotraspirazione sono riportati in Tabella 3 (relativamente all'ibrido Pioneer 811). Nel Grafico 2 si riportano, a titolo di esempio, gli andamenti dell'evapotraspirazione durante la stagione di crescita del 2010 (calcolati in base al bilancio idrico) per i due regimi irrigui a confronto. La figura in questione si riferisce all'evapotraspirazione dell'ibrido Pioneer 811 che non è stato raccolto due volte durante il ciclo colturale. L'ETc presenta i valori minimi nella fase iniziale: essi aumentano con il procedere del ciclo colturale fino ad un massimo di 8 mm d⁻¹, nel caso della gestione irrigua ottimale (100ET).

Il sorgo allevato in condizioni di *stress* idrico controllato (50ET), invece, ha presentato valori inferiori di ETc, soprattutto durante la fase di massimo accrescimento, fino ad un massimo di 6 mm d⁻¹.

Il Grafico 2 mostra picchi di ETc durante il mese di Maggio, subito dopo la semina del sorgo, quando il terreno si presenta senza vegetazione. Questi picchi corrispondono a perdite per evaporazione direttamente dal suolo e sono inevitabili in quanto, dopo la semina il sorgo esige che il terreno sia umido in superficie, altrimenti il sorgo non ger-

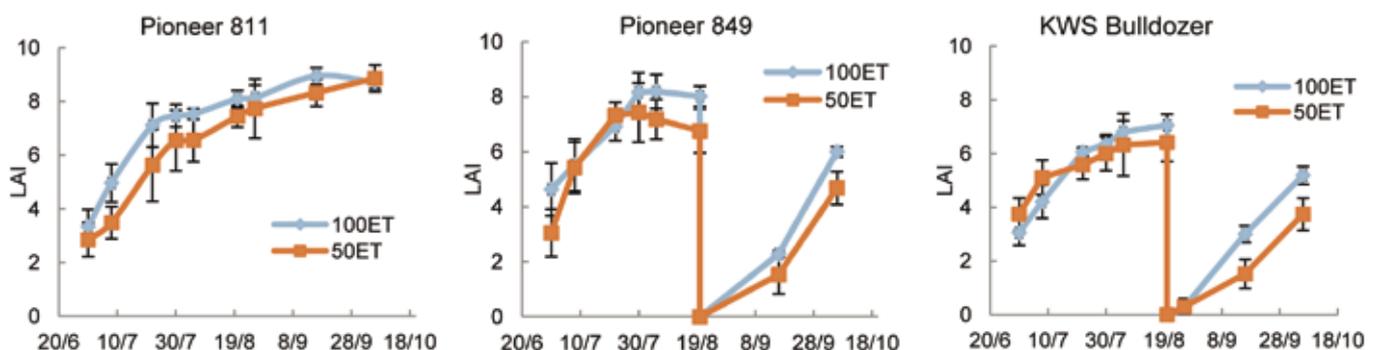


Grafico 3 - Andamento dell'indice di area fogliare in funzione dell'ibrido e regime irriguo.



Foto 3 - Ibridi Pioneer 811 e 849 (dopo lo sfalcio di agosto)



Foto 4 - Ibridi di sorgo a confronto.

mina uniformemente e la coltura ha un avvio stentato che si ripercuote negativamente fino alla raccolta. Per favorire l'affrancamento della coltura sono, quindi, necessarie frequenti irrigazioni che contribuiscono all'evaporazione e ad abbassare l'efficienza di uso dell'acqua da parte del sorgo durante le prime settimane dalla semina.

Dopo il primo sfalcio, l'ETc si riduce drasticamente per poi riprendere a seguito dell'irrigazione di soccorso e delle precipitazioni di fine estate. La presenza di un apparato radicale già sviluppato non determina differenze significative sull'andamento dell'ETc e, quindi, sull'accrescimento della coltura. Ciò è confermato dall'andamento dell'indice di area fogliare. Nel Grafico 3 si mostra l'effetto del regime irriguo (i valori di LAI sono proporzionali al volume irriguo applicato) e la ripresa della crescita del sorgo dopo il primo sfalcio (nel caso degli ibridi Pioneer 849 e KWS Bulldozer).

L'ibrido Pioneer 811 non è stato effettuato lo sfalcio due volte durante lo stesso ciclo perché non raggiunge la fase di maturazione cerosa. Il regime irriguo pari al 50% dell'ET calcolata ha indotto una riduzione del LAI misurato rispetto ai trattamenti irrigati col 100% di ET.

Gli effetti del regime irriguo sui valori di LAI non sono significativi sia nel primo sfalcio che durante il secondo ciclo produttivo. I massimi valori di LAI si registrano alla fase di maturazione cerosa, l'ibrido Pioneer 849 ha mostrato i valori più alti rispetto agli altri due in prova.

Regime irriguo (% ET)	2009	2010
50	306	354
100	417	449

Tabella 3 - Evapotraspirazione stagionale dell'ibrido Pioneer 811 in funzione dello sfalcio, regime irriguo (%ET) e annate.

Trattamenti	Produzione totale (t ha ⁻¹)		
	2009	2010	
Irrigazione (I)	100%	24,39	27,84
	50%	23,37	25,78
Varietà (V)	Pioneer 811	26,23	31,30 a
	Pioneer 849	22,98	22,72 c
	KWS Bulldozer	22,42	26,42 b
Significatività	I	ns	ns
	V	ns	***

Tabella 4 - Produzioni di sostanza secca totale per ettaro di tre ibridi di sorgo in funzione del regime irriguo (raccolte di agosto e ottobre).

Per quanto riguarda le rese degli ibridi nei 2 anni (Tabella 4), si osserva una tendenza dell'ibrido 811 ad una maggiore produttività, che nel 2010 è risultata essere statisticamente significativa. Mentre nei due anni non si registrano perdite di produzione in funzione del regime irriguo utilizzato.

I secondi sfalci (Foto 3) hanno contribuito ad incrementare le produzioni di sostanza secca totale del 30% circa (7,4 e 8,4, t ha⁻¹, rispettivamente nel 2009 e nel 2010). L'irrigazione deficitaria (restituzione del 50% dell'ET calcolata) non ha determinato un abbassamento della produzione in entrambe le annate.

CONCLUSIONI

In ambienti meridionali, durante il periodo estivo la domanda evapotraspirativa raggiunge il massimo livello, mentre le piogge sono scarse e sempre aleatorie. Questo implica che per la maggior parte delle colture di pieno campo l'irrigazione diventa una pratica indispensabile.

Le limitate risorse idriche richiedono nuove strategie di utilizzazione dell'acqua in agricoltura. Ciò rappresenta un punto focale per la gestione agronomica delle colture energetiche 'dedicate', in quanto la loro sostenibilità ambientale ed economica si poggia sulla riduzione degli input agronomici.

La ricerca illustrata (Foto 4) ha indicato una delle possibili vie da intraprendere per giungere alla sostenibilità dell'irrigazione per il sorgo, una coltura energetica annuale di facile introduzione negli attuali ordinamenti produttivi meridionale del Mezzogiorno d'Italia (MASTROILLI 1999).

I dati qui riportati dimostrano come l'ibrido da biomassa (Pioneer 811) sia più produttivo degli altri due utilizzati per la prova (Pioneer 849 e KWS Bulldozer), anche se nell'ambiente mediterraneo non raggiunge la fase di maturazione cerosa.

Per quanto riguarda il regime irriguo, si conferma che l'applicazione dello stress idrico controllato non comporta una riduzione di resa per gli ibridi utilizzati.

Infine, l'ipotesi di ottenere un doppio raccolto, sperimentata con successo in colture da biomassa, come il sorgo "Sudangrass" (MASTROILLI *et al.* 2002), ha trovato qui una ulteriore conferma. Tuttavia, anche se la strategia produttiva si è dimostrata efficace, essa dovrebbe essere approfondita con considerazioni di ordine agronomico ed economico. Nel primo caso è necessario verificare se l'aumento del ciclo colturale di 2-3 mesi non comprometta l'inserimento in successione di una coltura a semina autunnale. Dal punto di vista economico è importante valutare se l'incremento di produzione ottenibile con il doppio raccolto riesca a compensare i maggiori costi di produzione dovuti all'irrigazione di soccorso e alle operazioni di raccolta.

Bibliografia

ALLEN R.G., PEREIRA L.S., RAES D., SMITH M. 1998 - **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Irrigation and Drainage. Paper No. 56, FAO, Rome: 300.

ALMODARES, A., HADI, M.R. 2009 - **Production of bioethanol from sweet sorghum: a review**. Afr. J. Agric. Res.. (4): 772-780.

COSENTINO, S. L., RIGGI E., MANTINEO M. 1997 - **Sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) performance in relation to soil water deficit in the South of Italy**. Proceedings First international sweet sorghum conference. Li Dajue Ed.: 430-442

CURT, M.D., FERNANDEZ, J., MARTINEZ, M. 1995 - **Productivity and water use efficacy of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) cv. 'Keller' in relation to water regime**. Biomass Bioenergy. (8): 401-409.

DERCAS, N., PANOUTSOU, C., DALIANIS, C., SOOTER, C. 1995 - **Sweet Sorghum (*Sorghum bicolor* [L.] Moench)**. In: CHARTIER, et al. (Eds.), Proceedings of the Eighth E.C Conference on Response to four irrigation and two nitrogen fertilization rates. Biomass for Energy, Environment, Agriculture, vol. 1. Pergamon Press, UK: 629-639

DUARTE, M.P., FERNANDO, A.L., GUIMARAES, H., AMPARO, V., ALVES, L., SANTOS OLIVEIRA, J.F., 2000 - **Study of sweet and fiber sorghum in Portugal. Effect of climatic conditions and sowing date on the final productivity and on quality of the biomass**. In: Proceedings of the First World Conference on Biomass for Energy and Industry, Sevilla, Spain, 5-9 June: 361-364.

MASTROILLI M. 1999 - **Sviluppo di modelli idrologici per ambienti mediterranei**. Bollettino SIS. 48(1): 245-250.

MASTROILLI, M., KATERJI, N., RANA, G. 1999 - **Productivity and water use efficiency of sweet sorghum as affected by soil water deficit occurring at different vegetative growth stages**. Eur. J. Agron. (11): 207-215.

MASTROILLI M., CAMPI P., COLUCCI R., DI BARI V. 2002 - **Double harvest: an agronomic strategy to increase the water use efficiency of biomass crops in Mediterranean Europe**. In: Book of proceedings VII Congress of the European Society for Agronomy, Cordoba, 15-18 July 02, F.J. Villalobos and L. Testi Eds.: 113-114.

REXEN, F. 1992 - **The non-food dimension in EEC research programmes**. Ind. Crops Prod. (1): 1-4.

SINGH B.R., SINGH D.P. 1995 - **Agronomic and physiological responses of sorghum, maize and pearl millet to irrigation**. Field Crops Research (45): 57-67

SMITH, G.A., BUXTON, D.R. 1993 - **Temperate zone sweet sorghum ethanol production potential**. Bioresour. Technol. (43): 71-75.

SMITH, J.L., DORAN, J.W. 1996 - **Measurement and use of pH and electrical conductivity for soil quality analysis**. In: Doran, J.W., Jones, A.J. (Eds.), Methods for Assessing Soil Quality. Soil Science Society of America, Madison, WI.: 169-186.

STEDUTO, P., KATERJI, N., PUERTOS-MOLINA, H., UNLU, M., MASTROILLI, M., RANA, G. 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.

VASILAKOGLU I. DHIMA K, KARAGIANNIDIS N, GATSIS T. 2011 - **Sweet sorghum productivity for biofuels under increased soil salinity and reduced irrigation**. Field Crops Res. (120): 38-46.

KEYWORDS: water balance, municipal waste water, soil water status, deficit irrigation, Mediterranean area, biomass.

Abstract: *Sorghum productivity as affected by limited and waste water irrigation.*

The research focused on agronomic activities supporting the energy chain in the Southern Italy. The purpose of the agronomic study was to evaluate the yield of non-food crops watered with limited and waste water irrigation. In particular, the 2-year field experiment aimed to evaluate the potential production of Sorghum with limited irrigation by using waste water.

The results confirmed a satisfactory tolerance of sorghum to water stress and its high productivity even with reduced water supplies. As for the use of the waste water for irrigating a no-food crop, results on productivity indicate that sorghum does not show any reduction since the yields (ranging between 22 and 31 t/ha of above ground dry matter) obtained in both seasons attained the highest production levels of sorghum crops growing in the Mediterranean area, if irrigation water is supplied (varying from 330 to 430 mm of seasonal irrigation depth).

Seme di sorgo in condizioni di *stress* abiotici

Tecniche innovative per il miglioramento delle caratteristiche germinative

di CRISTINA PATANÈ

VALERIA CAVALLARO

ALESSANDRO SAITA

Nella coltivazione del sorgo da biomassa per energia, un ridotto contenuto idrico del terreno alla semina o temperature subottimali possono ridurre o ritardare la germinazione del seme e limitare l'insediamento della coltura. L'*osmopriming* del seme può contribuire al superamento dei limiti imposti dallo *stress* termico o idrico sulla germinazione del seme.

PAROLE CHIAVE: germinazione, *osmopriming*, sorgo, *stress* termico, *stress* idrico.

Nelle specie vegetali annuali, il periodo che intercorre tra la semina e l'insediamento stabile della coltura rappresenta una fase cruciale dell'intero ciclo colturale. L'uniformità e la percentuale di plantule emerse di colture seminate direttamente in pieno campo possono avere un forte impatto sulla resa finale della coltura. Inoltre, il sempre più diffuso uso di semi costosi di ibridi ha dato maggiore enfasi alle *performance* germinative dei semi messi a dimora. Le condizioni ambientali, tuttavia, non sempre conducono ad una rapida germinazione in campo e successiva crescita della plantula.

Stress di natura abiotica come temperature estreme, carenza idrica, salinità, presenza di crosta superficiale del terreno, possono infatti esercitare, su questi processi, una influenza negativa.

Questi problemi vengono talora resi più complessi dalla

suscettibilità di una data coltura a molti di questi *stress* nel corso della germinazione del seme e della emergenza della plantula. Non sorprendono, pertanto, i diversi sforzi rivolti alla individuazione di trattamenti pre-semina che migliorino le *performance* germinative del seme in pieno campo.

Il sorgo, zuccherino e da fibra, per le sue origini tropicali, negli ambienti caldo-aridi come quelli del bacino del

Mediterraneo viene coltivato nel corso della stagione estiva, rendendo necessario l'intervento irriguo (COSENTINO 1996). Quindi, in tali ambienti, l'irrigazione rappresenta una voce rilevante nel bilancio energetico ed economico della coltura. Peraltro **in tali ambienti lo *stress* idrico diventa sempre più un fattore ambientale limitante dal quale dipende il successo dell'insediamento di**



Semi di sorgo nel corso del trattamento di *osmopriming*.

CRISTINA PATANÈ, CNR-ISA FoM - Istituto per i Sistemi Agricoli e Forestali del Mediterraneo, Catania cristinamaria.patane@cnr.it

VALERIA CAVALLARO, CNR-ISA FoM - ALESSANDRO SAITA DISPA - Dipartimento di Scienze delle Produzioni Agrarie e Alimentari, Università degli Studi di Catania

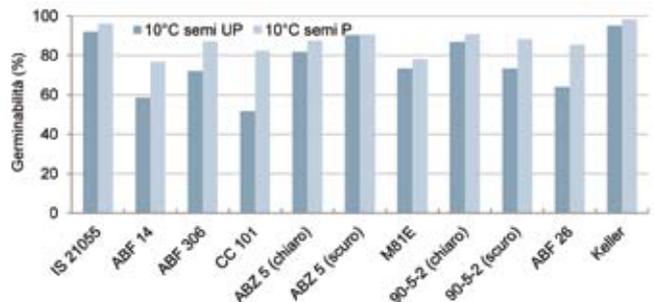
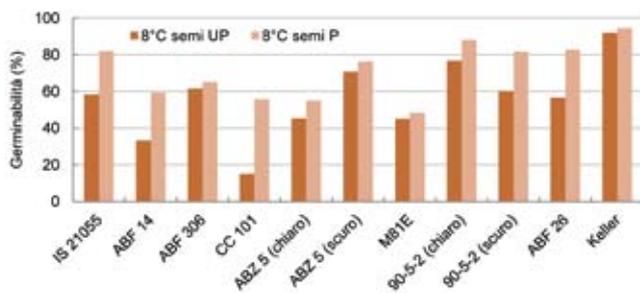


Grafico 1 - Germinabilità finale a 8 e 10°C in semi tal quali (UP) e semi osmocondizionati (P) nelle cultivar di sorgo esaminate.

una coltura in pieno campo. La germinazione del seme può essere fortemente ridotta o ritardata da un diminuito tasso di assorbimento di acqua da parte del seme, quando la disponibilità idrica del terreno è limitata. Una possibilità di sfuggire, almeno nelle prime fasi del ciclo biologico, al periodo secco può essere rappresentata dall'adozione di **semine precoci** (es. Marzo-Aprile). La semina anticipata del sorgo presenta innumerevoli vantaggi, in quanto:

- consente di sfruttare una stagione colturale più lunga negli ambienti temperati, e quindi di raggiungere una maggiore produttività;
- si ha una riduzione dell'evaporazione del suolo grazie ad un più rapido ombreggiamento dello stesso;
- la coltura ha, quindi, la possibilità di avvantaggiarsi maggiormente delle piogge primaverili, che favoriscono l'emergenza delle piantine e riducono gli interventi irrigui.

Con l'anticipo della semina, qualora si verifichi un ritorno di freddo, le piante sarebbero già abbastanza sviluppate da sopportare meglio un brusco cambiamento di temperatura. La semina precoce, favorendo l'anticipo della raccolta, **agevola anche la preparazione del terreno per la semina della coltura seguente**, riducendo alcuni effetti negativi delle piogge che di norma si verificano tra la fine dell'estate e l'inizio dell'autunno, quali, ad esempio, l'impraticabilità dei terreni. Poiché la disponibilità di radiazione solare non rappresenta nei nostri ambienti un fattore limitante, la semina precoce consente alla pianta di sviluppare un apparato fogliare atto ad intercettare la massima quantità di luce anticipatamente rispetto alla semina tradizionale.

Tuttavia, **le elevate esigenze termiche (>10°C) del seme in fase di germinazione possono rappresentare un limite all'impiego di semine anticipate nel sorgo**. Inoltre, negli ambienti caldo-aridi quali quelli del Meridione d'Italia, un insufficiente contenuto idrico del terreno alla semina o elevati livelli di salinità possono esercitare un effetto negativo sulla germinazione del seme, che pertanto si riduce o viene ritardata, determinando uno scarso insediamento della coltura. Diversi approcci sono stati proposti per ridurre l'impatto di stress abiotici sulla germinazione del seme.

TRATTAMENTI PRESEMINA

Nell'ambito dei trattamenti pregerminativi efficaci nel determinare un incremento di velocità e uniformità di germinazione, riveste particolare importanza **la tecnica del precondizionamento osmotico o osmopriming**. È questo, un processo di idratazione controllata del seme

eseguito all'interno di una soluzione a potenziale idrico ridotto, generalmente seguito da una disidratazione del seme alle condizioni di umidità iniziale.

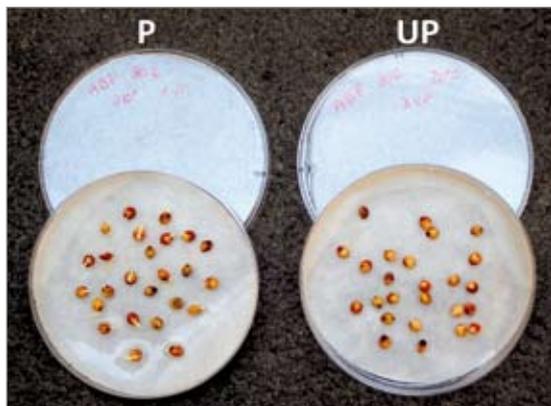
Nel corso dell'*osmopriming*, la quantità di acqua assorbita dal seme viene regolata dal potenziale osmotico della soluzione, che ne previene l'emissione della radichetta. Normalmente, la germinazione del seme si realizza in tre fasi: imbibizione, attivazione e accrescimento. Durante l'imbibizione il seme assorbe acqua fino al raggiungimento di un certo equilibrio osmotico. Il seme permane, dunque, a tale valore di contenuto idrico, mentre vengono attivati i primi processi metabolici richiesti per la germinazione (BRADFORD 1986).

Fondamentalmente gli stessi processi si verificano durante l'*osmopriming*, ma il **potenziale osmotico della soluzione di imbibizione previene la completa idratazione del seme, impedendo lo sviluppo della radichetta, ma consentendo ugualmente l'attivazione metabolica del seme**. Quest'ultimo può essere riportato all'umidità iniziale senza alcun danno, permanendo nello stato attivato raggiunto durante il trattamento. Allorché il seme viene posto a dimora, esso **conclude la germinazione più velocemente e uniformemente** rispetto al seme non trattato, in particolar modo in condizioni subottimali di temperatura o umidità (BRADFORD 1986).

Gli agenti osmotici normalmente adottati nell'*osmopriming* possono essere di due tipi: minerali ed organici.

I sali inorganici più comunemente adottati sono sali di potassio (KNO_3 , K_3PO_4 e K_2HPO_4). Tra gli agenti osmotici di natura organica, è largamente impiegato in laboratorio il PEG (polietilenglicole), un polimero organico fisiologicamente inerte, ad alto peso molecolare, che in quanto tale non penetra all'interno del seme e, pertanto, non determina, a differenza di alcuni sali inorganici, effetti tossici (KAYA *et al.* 2006).

Pressione osmotica, temperatura e durata rappresentano parametri di primissima importanza per il trattamento, che vanno opportunamente diversificati in relazione alle caratteristiche del seme. Il controllo che attraverso le soluzioni osmotiche si realizza sulla germinazione risulta dalla interazione di questi tre fattori, uno dei quali, la pressione osmotica, varia direttamente in funzione della temperatura. In riferimento a quest'ultima, in genere il trattamento va effettuato a temperature di qualche grado inferiori alla temperatura ottimale per la germinazione, comprese tra i 10° e i 25°C (BRADFORD 1986). Le pressioni osmotiche comunemente adottate variano da -0,5 a -1,5 MPa. Il trattamento viene generalmente eseguito per immersione diretta del seme nella soluzione (salina o a base di PEG) in contenitori provvisti di un sistema di arieggiamento con il quale si evitano



Semi tal quali (UP) e semi osmocondizionati (P) di sorgo cv. ABF 306 a 24 ore di germinazione a 20°C.

condizioni di asfissia al seme. Al termine del trattamento, il seme viene abbondantemente lavato e quindi lasciato asciugare a temperatura ambiente (HERNER 1986). L'*osmoprimering* viene largamente adottato per migliorare le caratteristiche germinative dei semi in condizioni subottimali di temperatura ed umidità, di molte colture, ortive in particolare. Tuttavia il suo impiego può risultare ugualmente valido anche per altre colture erbacee, quali il sorgo, allorché si richiede al seme una pronta germinazione anche in condizioni subottimali. La possibilità di migliorare le *performance* germinative in condizioni termiche o idriche subottimali attraverso l'*osmoprimering* del seme in soluzioni di PEG è stata dimostrata in laboratorio anche sul sorgo zuccherino (FOTI *et al.* 2002; PATANÈ *et al.* 2006). Come già accennato, il PEG, a confronto con altri agenti osmotici (ad es. i sali potassici) è più comunemente adottato in quanto non tossico (BRADFORD 1986).

LE SPERIMENTAZIONI DEL CNR-ISAFoM

Nell'ambito del progetto FAESI, presso i laboratori dell'Istituto per i Sistemi Agricoli e Forestali del Mediterraneo del CNR di Catania, su alcune *cultivar* di sorgo zuccherino e da fibra è stato condotto uno studio al fine di verificare l'efficacia dell'*osmoprimering*, già precedentemente accertata su tale specie (FOTI *et al.* 2002; PATANÈ *et al.* 2006), **nello stimolare la germinabilità del seme, sia in termini di velocità che di percentuale di semi germinati, in condizioni di stress termico, e nell'abbassare la soglia termica di germinazione.** Lo studio è stato condotto a 7 temperature di germinazione: 8, 10,

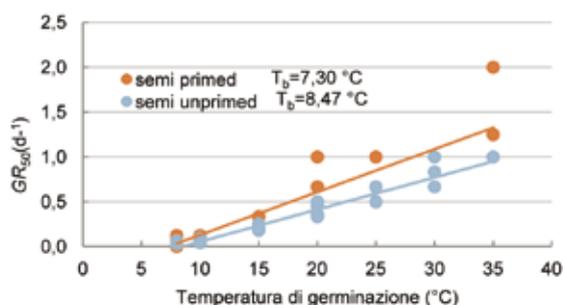


Grafico 2 - Relazione tra GR_{50} e temperatura di germinazione e valori di soglia termica per la germinazione (T_b) in semi *unprimati* e *primati* di sorgo (media delle *cultivar*).

Cultivar	Tipo	Coefficiente b (d ⁻¹ °C ⁻¹)		Soglia termica minima di germinazione T_b (°C)	
		Semi UP	Semi P	Semi UP	Semi P
IS 21055	F	0,0341	0,046	8,77	7,05
ABF 14	F	0,0363	0,047	9,90	7,74
ABF 306	F	0,0338	0,047	8,49	7,14
CC 101	F	0,0384	0,064	9,33	7,97
ABZ 5 (seme chiaro)	Z	0,0397	0,044	9,55	7,88
ABZ 5 (seme scuro)	Z	0,0392	0,046	7,51	6,96
M81E	Z	0,0378	0,066	8,88	8,02
90-5-2 (seme chiaro)	Z	0,0336	0,044	8,47	6,59
90-5-2 (seme scuro)	Z	0,0352	0,045	8,43	6,87
ABF 26	F	0,0337	0,039	8,72	5,64
Keller	Z	0,0340	0,040	7,37	7,00

Tabella 1 - Valori del coefficiente b della regressione lineare del GR_{50} vs. temperatura e soglia termica minima di germinazione (T_b) calcolati per i semi non trattati (UP) e per quelli osmocondizionati (P) delle *cultivar* di sorgo esaminate (F= tipi da fibra, Z= tipi zuccherini).

15, 20, 25, 30 e 35°C. Il pretrattamento di *osmoprimering* è stato effettuato immergendo i semi di ciascuna *cultivar* in una soluzione aerata di polietilenglicole (PEG 6000) alla concentrazione di 250 g/l, a 15°C al buio in germinatoio per 3 giorni. Dopo il trattamento, i semi sono stati abbondantemente sciacquati con acqua corrente e successivamente con acqua distillata, lasciati asciugare a temperatura ambiente e posti, quindi, in germinatoio ad una delle temperature allo studio.

L'*osmoprimering* ha esercitato un effetto di stimolo sulla **germinabilità finale** delle *cultivar* di sorgo, in corrispondenza delle temperature più basse (8 e 10°C) (Grafico 1). Il pretrattamento osmotico è apparso particolarmente efficace nelle *cultivar* da fibra, la cui germinabilità si è incrementata sino a +70%, rispetto al testimone non trattato. L'*osmoprimering* ha inoltre esercitato un effetto benefico sulla germinabilità della *cultivar* sensibile alle alte temperature (ABF 14) che a 35°C ha visto incrementare la propria germinabilità di quasi il 20% (da 76,0 a 89,8%). Delle *cultivar* esaminate, solo M81E non ha beneficiato dell'*osmoprimering*, mantenendo la propria germinabilità sui livelli accertati per i semi non trattati. L'effetto benefico dell'*osmoprimering*, tuttavia, è apparso più evidente sulla **velocità di germinazione**, come peraltro attestano i più alti valori del coefficiente b (che esprime il tasso di germinazione) della regressione lineare del GR_{50} (inverso del t_{50} cioè del tempo reale, espresso in giorni, necessario per il raggiungimento del 50% di semi germinati) vs. la temperatura di germinazione, calcolati per i semi *osmoprimerati* rispetto ai semi *unprimati* (non trattati) (Tabella 1). L'*osmoprimering* del seme è risultato efficace anche nell'abbassare la soglia minima di germinazione, da 8,47 a 7,30°C (media delle *cultivar* di sorgo esaminate) (Grafico 2). In alcune *cultivar* (ABF 14 e ABF 26), la T_b nei semi trattati si è ridotta di oltre 2°C rispetto a quella calcolata per il lotto di semi non trattati (Tabella 1).

Poiché è stato dimostrato che l'*osmoprimering* può ridurre il potenziale idrico di base (ψ) verso valori più negativi, aumentando la capacità germinativa del seme in condizioni di ridotta disponibilità idrica (BRADFORD 1990), limitatamente a due *cultivar* di sorgo (Keller e Makueni local), selezionate sulla base di precedenti studi per la loro maggiore tolleranza alle basse temperature in fase di germinazione, è stato valutato l'effetto del trattamento di *osmoprimering* sulle caratteristiche germinative del seme

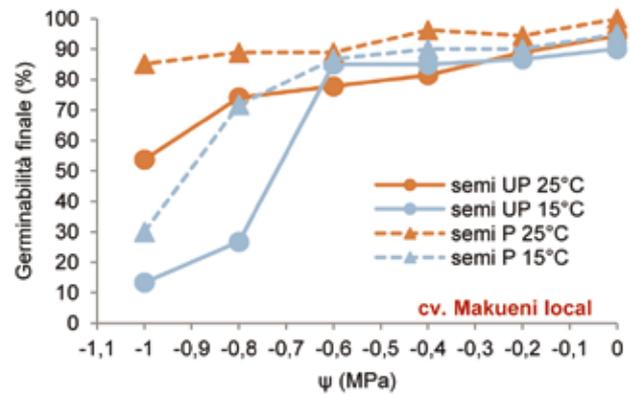
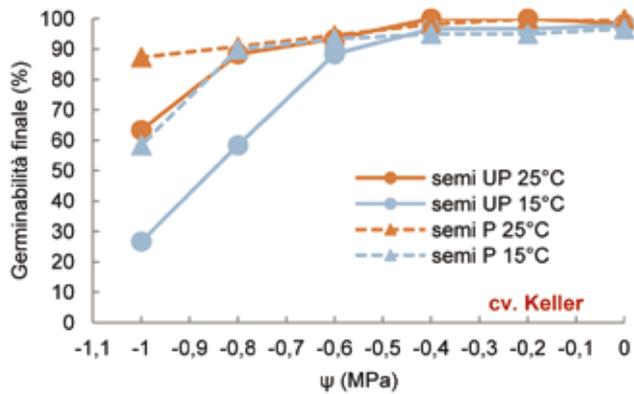


Grafico 3 - Effetti del potenziale idrico sulla germinabilità finale a 25 e 15°C dei semi *unprimed* (UP) e *primed* (P) nelle due *cultivar* di sorgo esaminate.

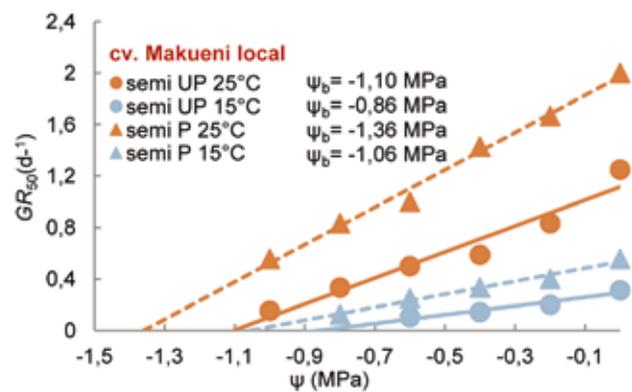
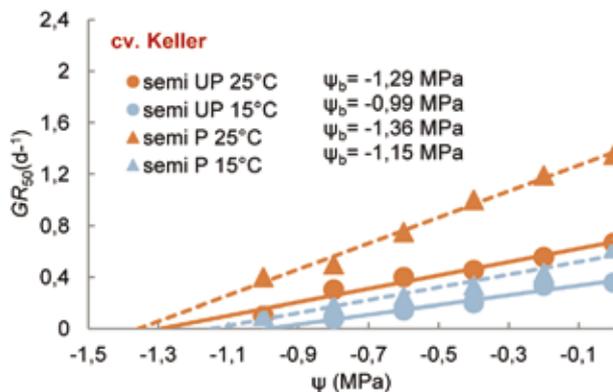


Grafico 4 - Relazione tra GR_{50} e potenziale idrico della soluzione di imbibizione a 25 e 15°C e valori di potenziale idrico di base per la germinazione (ψ_b) in semi *unprimed* (UP) e *primed* (P) nelle due *cultivar* di sorgo esaminate.

in condizioni di *stress* idrico, inducendo livelli diversi di potenziale idrico della soluzione di imbibizione, e simulando così le condizioni di *deficit* idrico del terreno che spesso limitano l'insediamento stabile delle colture, nelle aree semiaride del Meridione d'Italia.

La prova è stata condotta a due temperature, una subottimale (15°C), l'altra ottimale (25°C) per la germinazione dei semi di sorgo. Sono stati studiati livelli diversi di potenziale idrico ψ (0, -0,2, -0,4, -0,6, -0,8 e -1,0 MPa) della soluzione di imbibizione, indotti dissolvendo concentrazioni diverse di polietilenglicole (PEG 6000) in acqua distillata. Anche per questa prova sono stati posti a confronto semi tal quali e semi previamente sottoposti a *osmopriming* in PEG 6000. In questo caso il PEG è stato, dunque, adottato sia per ridurre il potenziale idrico della soluzione di imbibizione nel corso della germinazione (e simulare, dunque, lo *stress* idrico), sia come agente osmotico per l'*osmopriming* del seme prima del test di germinazione.

Il trattamento di *osmopriming* ha esercitato un effetto positivo sulla germinazione del seme di entrambe le *cultivar* di sorgo ai livelli più alti di *stress* idrico ($\psi = -1,0$ MPa a 25°C e $\psi \leq -0,8$ MPa a 15°C) (Grafico 3). Inoltre, il trattamento al seme ha consentito una riduzione della soglia idrica minima di germinazione ad entrambe le temperature ed in entrambe le *cultivar* (Grafico 4). L'abbassamento della temperatura di germinazione dai suoi valori ottimali rende i semi più sensibili allo *stress* idrico, e l'*osmopriming* può risultare utile nel superamento degli ostacoli imposti da una ridotta disponibilità idrica sulla germinazione del

seme in condizioni termiche non ottimali. Infatti a 15°C, i valori più bassi di soglia idrica calcolati nei semi trattati potrebbero consentire la germinazione in condizioni idriche che, per contro, ostacolerebbero la germinazione dei semi con una soglia idrica più alta (in questo caso quelli non trattati). L'*osmopriming* riduce, inoltre, il ritardo germinativo determinato nei semi dallo *stress* idrico. Questo effetto può essere spiegato dalla maggiore velocità di imbibizione che si verifica nei semi *osmoprimered* rispetto a quelli non trattati, soprattutto a temperatura subottimale (PATANÈ *et al.* 2006).

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Condizioni termiche subottimali nel corso della germinazione rendono i semi di sorgo più sensibili alla riduzione del potenziale idrico del terreno e a 15°C, temperatura prossima a quelle che si verificano nel periodo di semina della coltura nelle regioni Mediterranee, la germinazione del seme in laboratorio si riduce anche al di sotto del 50% a un potenziale idrico di -0,8 MPa. In tali condizioni, l'*osmopriming* risulta utile nel superamento degli effetti negativi imposti anche da un ridotto potenziale idrico sulla germinazione del seme, consentendo anche di minimizzare gli apporti idrici in fase di semina e contribuendo alla riduzione dell'impatto della coltura sull'ambiente. L'applicazione dell'*osmopriming*, riducendo i requisiti termici del seme per la germinazione, può inoltre consentire un anticipo delle semine negli ambienti caldo-aridi, garantendo l'insediamento della coltura in un periodo in cui la stessa può ancora beneficiare delle piogge primaverili.

Infine, poiché il trattamento di *osmopriming* del seme può indurre in un genotipo sensibile al freddo la stessa capacità germinativa di un genotipo tollerante, il trattamento fisiologico al seme potrebbe sostituirsi ad un programma di miglioramento genetico come mezzo per incrementare il tasso di germinazione nei genotipi commercialmente disponibili, ad elevata produttività tuttavia sensibili al freddo. Per contro, l'*osmopriming* del seme di genotipi di sorgo tolleranti al freddo potrebbe migliorarne ulteriormente la germinazione a temperature subottimali.

Bibliografia

BRADFORD K.J., 1986 - **Manipulation of seed water relations via osmotic priming to improve germination under stress conditions.** Hortscience, 21: 1105-1112.

BRADFORD K.J., 1990 - **A water relations analysis of the seed germination rates.** Plant Physiology, 94: 840-849.

COSENTINO S.L., 1996 - **Crop physiology of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench).** Atti "First European Seminar on Sorghum for Energy and Industry", Toulouse, 30-41.

FOTI S., COSENTINO S.L., PATANÈ C., D'AGOSTA G., 2002. **Effect of osmoconditioning upon seed germination of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) under low temperature.** Seed Science and Technology, 30: 521-533.

HERNER R.C., 1986 - **Germination under cold soil conditions.** HortScience, 21: 1118-1122.

KAYA M.D., OKÇU G., ATAK M., ÇIKILI Y., KOLSARICI O., 2006 - **Seed treatments to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (*Helianthus annuus* L.).**

European Journal of Agronomy, 24: 291-295.

PATANÈ C., CAVALLARO V., AVOLA G., D'AGOSTA G., 2006 - **Seed respiration of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) during germination as affected by temperature and osmoconditioning.** Seed Science Research, 16: 251-260.

KEYWORDS: germination, osmopriming, sorghum, water stress, thermal stress.

Abstract: *Innovative techniques to improve seed germination of sorghum for energy biomass under abiotic stresses*

Sorghum for energy biomass in the semi-arid environments of South Italy is cultivated in summer time, thus requiring the use of water for irrigation. Early sowings in sorghum may allow the crop to escape part of the dry period, thus saving irrigation water. However, the thermal requirements of sorghum for seed germination may limit the adoption of early sowings. Moreover, in semi arid environment, water deficit at sowing may adversely affect germination and seedling establishment. One successful seed treatment that promotes seed germination under stressful conditions is osmoconditioning or priming, which is a controlled hydration treatment at low water potential, that allows the seed to imbibe, so that pregerminative metabolism proceeds, but radical emergence is prevented. This metabolic advancement determines a more uniform and rapid radical emergence when seeds are transferred to higher water potential. Studies conducted at the laboratory of CNR-ISAFoM of Catania, in the framework of the FAESI project funded by the Italian Ministry of Agriculture and Forestry, demonstrated that seed osmopriming may decrease the impact imposed by low temperatures on seed germination of sorghum, promoting germination in terms of percentage and speed. Osmopriming was also found to be effective in reducing water requirements during germination at both optimal and suboptimal temperatures, thus allowing to lessen water supply at sowing, with interesting implications in terms of environmental impact of the crop.

Cardo da energia in ambiente caldo-arido

di LAURA D'ANDREA

ANGELO DOMENICO PALUMBO

Il cardo è una specie erbacea perenne nativa del bacino del Mediterraneo. Può essere coltivato per utilizzi diversi, ma principalmente come coltura energetica. La biomassa epigea totale è destinata alla filiera lignocellulosica mentre, in subordine, soltanto gli acheni (detti comunemente "semi") sono utilizzati per la filiera biodiesel.

PAROLE CHIAVE: colture energetiche, ambiente mediterraneo, filiera lignocellulosica, filiera biodiesel, tecnica culturale.

Il cardo (*Cynara cardunculus* L. var. *altilis*) (Foto 1) è poco conosciuto agronomicamente e può essere utilizzato in due filiere energetiche: biodiesel e lignocellulosica.

Esso è botanicamente vicino al carciofo (*Cynara scolymus* L.), è una pianta erbacea perenne con ciclo annuale di sviluppo, si adattata bene agli ambienti a clima mediterraneo e potrebbe essere usata per produrre biomassa in terreni marginali. Del cardo, come per le altre colture poliennali, si sottolinea la sostenibilità agronomica e ambientale perché:

- limita le lavorazioni del terreno, con risvolti positivi sul rischio erosivo e sul contenimento della CO₂;
- richiede limitato impiego di erbicidi;
- ha minori esigenze nutritive rispetto alle altre colture industriali;
- consente la raccolta annuale di biomassa.

IL CARDO

Appartiene alla famiglia Asteraceae (ex Compositae), sottofamiglia Tubuliflorae, tribù Cynareae, ge-

nere *Cynara*, specie *cardunculus*.

In *Cynara cardunculus* ci sono due varietà botaniche: var. *altilis* (Cardo domestico o cardo da coste) e var. *sylvestris* (Cardo selvatico) (WIKLUND 1992).

Ciclo culturale

Il cardo ha un ciclo autunno-primaverile nel bacino del Mediterraneo, luogo di origine in cui il clima è mite.

Germoglia in autunno, passa l'inverno in stadio vegetativo (Foto 2) (stadio in cui risulta massima la resistenza al freddo) e sviluppa lo scapo florale (Foto 3) in primavera.

In estate si ha l'arresto vegetativo e l'apparato aereo della pianta secca (Foto 4), mentre l'apparato radicale sopravvive in stato di dormienza; dal rizoma, in autunno, si sviluppano nuovi germogli a partire dalle gemme latenti alla base del fusto.

Morfologia

L'apparato radicale è fittonante e capace di esplorare gli orizzonti profondi del suolo più ricchi di umidità.



Foto 1 - Capolino di cardo in fioritura (Foto D'Andrea)

LAURA D'ANDREA, DISAAT - Dipartimento di Scienze Agroambientali e Territoriali, Università degli Studi di Bari laura.dandrea@libero.it
ANGELO DOMENICO PALUMBO, CRA-SCA - Unità di Ricerca per i Sistemi Culturali degli ambienti Caldo-aridi, Bari

Il fusto è uno scapo florale che può raggiungere un'altezza anche superiore ai 2 m.

Le foglie basali sono peziolate, larghe, subcoriacee, profondamente pennate, mentre quelle del fusto sono alternate e sessili.

I fiori sono raggruppati in grandi capolini globosi (fino a 8 cm di diametro), la corolla varia dal blu al lilla.

Il seme maturo è racchiuso in un achenio lucido e di colore scuro (marrone e/o nero). Il peso dei mille "semi" può oscillare tra i 20 e i 50 g, a seconda della varietà.

Esigenze e adattamento ambientale

Il cardo è una specie termofila anche se nel periodo invernale tollera senza problemi temperature anche di -5°C. Tuttavia la plantula, fino allo stadio di rosetta, risulta sensibile alle gelate. Per questo motivo la semina va effettuata circa 2 mesi prima dell'arrivo delle basse temperature. Rifugge i terreni con rischio di ristagno idrico e poco profondi.

Se destinata alla produzione di biomassa, le esigenze idriche della coltura sono soddisfatte da precipitazioni autunnovermive che non devono essere inferiori a 400 mm anno⁻¹, distribuite omogeneamente tra novembre e marzo, al fine di ottenere una biomassa vegetativa in grado di sostenere lo sviluppo dello scapo florale.

TECNICA CULTURALE

La lavorazione principale del terreno e del letto di semina è simile a quella prevista per le comuni colture cerealicole e/o industriali. Essendo una coltura poliennale, si effettua un'aratura profonda per rompere la suola di lavorazione o eventuali strati compatti sub-superficiali. Analogamente può essere raggiunto impiegando un ripuntatore e una



Foto 2 - Coltivazione di cardo in stadio vegetativo (Foto D'Andrea)

successiva aratura superficiale.

Il cardo è propagato per seme nel periodo autunnale, non appena si abbiano le condizioni climatiche idonee (temperatura e umidità) che consentono alla pianta di accrescersi rapidamente e di raggiungere una fase di rosetta che resista alle prime gelate.

La densità di impianto varia da circa 20.000 piante ha⁻¹, nel caso in cui la riserva idrica del suolo sia modesta; fino a circa 30.000 piante ha⁻¹, in terreni freschi e profondi.

La semina è eseguita utilizzando normali seminatrici di precisione, in cui si regola la distanza tra le file (da 0,75 m ad

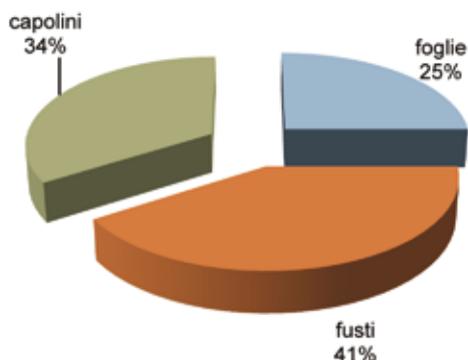


Grafico 1 - Ripartizione percentuale della biomassa aerea del cardo in foglie, fusti e capolini (modificato da FERNANDEZ 1991).

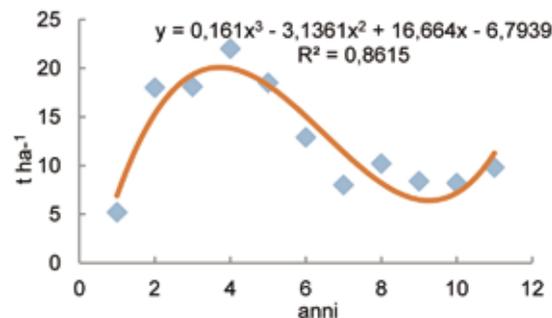


Grafico 2 - Variazione della resa in biomassa secca del cardo negli anni (modificato da ANGELINI *et al.* 2009).

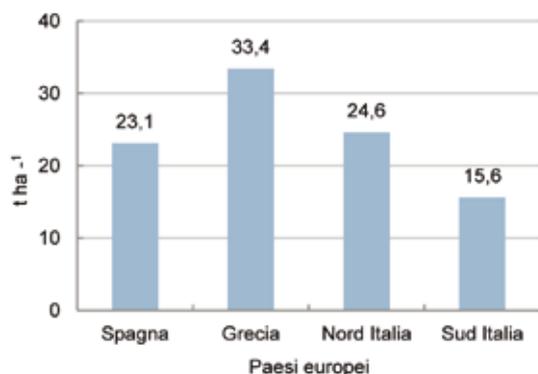


Grafico 3 - Variazione della resa in biomassa secca del cardo tra località (modificato da FERNANDEZ *et al.* 2006).

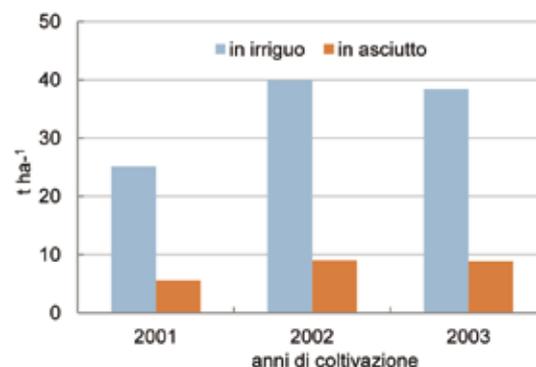


Grafico 4 - Variazione della resa in biomassa fresca del cardo coltivato in irriguo e asciutto (modificato da FERNANDEZ *et al.* 2006).



Foto 3 - Scapo fiorale di cardo con capolini principali e secondari (Foto D'Andrea)



Foto 4 - Particolare di un campo di cardo alla maturità (Foto D'Andrea)

1 m) e sulla fila, per cui sono necessari dai 3 ai 5 kg ha⁻¹ di seme.

La concimazione è eseguita nella fase dell'impianto e negli anni successivi. La concimazione di fondo precede la lavorazione principale del terreno, è calcolata in funzione delle asportazioni presunte e della dotazione naturale del suolo. In genere sono quantitativi elevati (100-120 kg ha⁻¹ di azoto, 60-80 kg ha⁻¹ di P₂O₅ e 100-150 kg ha⁻¹ di K₂O). La concimazione negli anni successivi può essere eseguita annualmente o quando necessaria, dopo più cicli di coltivazione. In tal caso, è eseguita nel periodo autunnale subito dopo la raccolta della biomassa, con concimi fosfopotassici; mentre nel periodo fine inverno - inizio primavera, in pieno sviluppo vegetativo, con concimi azotati.

Il controllo della flora infestante è importante all'impianto e negli anni successivi alla ripresa vegetativa, in quanto il terreno è nudo e la coltura non è competitiva. In seguito, con lo sviluppo della parte aerea delle piante, si ha una copertura quasi totale del terreno tale da impedire lo sviluppo delle malerbe. I sistemi di controllo sono sia meccanici (utilizzo di erpici) sia chimici (applicazione di

principi attivi anti-germinello quali linuron, oxadiazon e pendimetalin, con ampio spettro d'azione).

Le avversità della coltura sono rappresentate principalmente da afidi, insetti minatori del fusto e da insetti defogliatori, che tuttavia non comportano danni tali da rendere necessaria una strategia di difesa.

La raccolta del cardo, costituita da biomassa aerea e seme, si esegue tra luglio e agosto, dopo il completamento del ciclo colturale e prima che i semi si disperdano. In questo periodo, la biomassa aerea dovrebbe essere secca con una umidità inferiore al 15% e i semi completamente maturi.

La raccolta può essere eseguita con uno o due passaggi. In un'unica soluzione, l'intera biomassa non è separata dai semi ed è utilizzata una macchina falciatrice-caricatrice. In due passaggi, la raccolta si effettua prima per raccogliere il seme con una normale mietitrebbiatrice da cereali o da girasole, in seguito per raccogliere la biomassa che è sfalciata e posta in andane. Con il successivo passaggio di un'imballatrice, si formano balte di diversa forma e densità di facile movimentazione e trasporto.

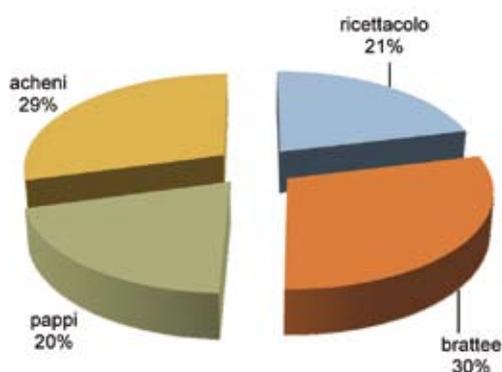


Grafico 5 - Ripartizione percentuale della produzione di capolini di cardo (modificato da FERNANDEZ 2009).

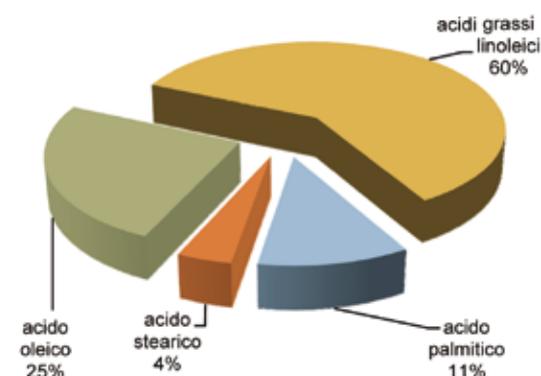


Grafico 6 - Composizione percentuale degli acidi grassi dell'olio di cardo (modificato da FERNANDEZ *et al.* 2006).

PRODUZIONE

La produzione del cardo è suddivisa tra la biomassa e il seme. La biomassa aerea è costituita da foglie, fusti e capolini, la cui percentuale è rappresentata nel Grafico 1. La produzione di biomassa varia da 3 a 30 t ha⁻¹, in funzione degli anni (Grafico 2), dei luoghi di produzione (Grafico 3) e della tecnica colturale (Grafico 4). Essa rappresenta la base della filiera energetica lignocellulosica, detta anche bio-termoelettrica.

È possibile utilizzare la biomassa aerea come combustibile solido, in quanto si ricava una quantità di energia pari ad altre colture lignocellulosiche. I valori della biomassa aerea intera sono pari a 4.083 e 3.795 Kcal kg⁻¹ di sostanza secca, rispettivamente riferiti al potere calorifico superiore (PCS) e al potere calorifico inferiore (PCI) (FERNANDEZ *et al.* 2006). Il seme rappresenta la base della filiera energetica biodiesel. La produzione di seme varia da 1 a 3 t ha⁻¹, rappresenta circa il 10-13% della biomassa totale e il 20-30% del capolino (Grafico 5). Dal seme si estrae olio, contenuto in quantità pari a circa il 25%. La composizione degli acidi grassi dell'olio è molto simile a quella del girasole (CURT *et al.* 2002; FOTI *et al.* 1999; MACCARONE *et al.* 1999) (Grafico 6).

Bibliografia

ANGELINI G.L., CECCARINI L., NASSI N. O DI NASSO, BONARI E., 2009 - **Long-term evaluation of biomass production and quality of two cardoon (*Cynara cardunculus* L.) cultivars for energy use.** Biomass and Bioenergy (33): 810-816.

CURT M.D., SANCHEZ G., FERNANDEZ J., 2002 - **The potential of *Cynara cardunculus* L. for seed oil production in a perennial cultivation system.** Biomass and Bioenergy 23 (1): 33-46.

FERNANDEZ J., 1991 - **Production and utilization of *Cynara cardunculus* L. biomass for energy, paper-pulp and food industry.** In: GRASSI G., COLLINA A., ZIBETTA H. (Eds.), Proceedings of the International Conference on Biomass for Energy, Industry and

Environment, 22-26 April 1991, Athens, Greece. pp. 312-316.

FERNANDEZ J., CURT M.D., AGUADO P. L., 2006 - **Industrial applications of *Cynara cardunculus* L. for energy and other uses.** Ind. Crops and Prod. 24: 222-229.

FERNANDEZ J., 2009 - **El cultivo de cardo (*Cynara cardunculus* L.) para producción de biomasa.** Hojas Divulgadoras N. 2130HD. Centro de Publicaciones del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Spagna. Pp. 43.

FOTI S., MAUROMICALE G., RACCUA S.A., FALlico B., FANELLA F., MACCARONE E., 1999 - **Possible alternative utilisation of *Cynara* spp. Part I. Biomass, grain yield and chemical composition of grain.** Ind. Crops Prod. 10: 219-228.

MACCARONE E., FALlico B., FANELLA F., MAUROMICALE G., RACCUA S.A., FOTI S., 1999 - **Possible alternative utilization of *Cynara* spp. Part II. Chemical characterisation of their grain oil.** Ind. Crop Prod. 10: 229-237.

WIKLUND A., 1992 - **The genus *Cynara* L. (Asteraceae-Cardueae).** Botanical Journal of the Linnean Society 109: 75-123.

KEYWORDS: energy crops, Mediterranean basin, lignocellulosic and biodiesel chains, biomass cultivation.

Abstract: *Cardoon for bio-energy grown in hot-dry environment.*

Among energy crops, herbaceous perennial species seem to be more promising than annual plants in consideration of their benefits in terms of Greenhouse Gas (GHG) emissions. The cardoon (*Cynara cardunculus* L. var. *altitilis*) is a crop with low energy inputs, such as irrigation, fertilization and soil ploughing. It belongs to the Asteraceae family and is characterized by a high growth and biomass production, fully adapted to the semi-arid Mediterranean climate (low amount and irregular distribution of rainfall with hot-dry summers). The succession of annual growth cycles may last several years. It can be cultivated as an energy crop using the whole aboveground biomass (leaves, stalks and heads) for lignocellulosic fuel, and the seeds as raw material for biodiesel production.

Canna comune per la destinazione energetica

Il punto sulla propagazione agamica negli ambienti del Meridione d'Italia

di SALVATORE LUCIANO COSENTINO
VENERA COPANI

La canna comune è una specie rizomatosa spontanea presente in tutto il bacino del Mediterraneo; l'elevata produzione di biomassa lignocellulosica ne fa una potenziale coltura da energia per la filiera bio-termo-elettrica per gli ambienti del Meridione d'Italia. La sua diffusione richiede la messa a punto di un'efficiente tecnica di propagazione agamica.

PAROLE CHIAVE: Canna comune, ambienti caldo-aridi, rizomi, talee di culmo, tecniche di propagazione agamica.

Arundo donax L. - canna comune (italiano); *grand roseau*, *canne de Provence* (francese); *cana-do-brejo*, *cana-do-reino* (portoghese, Brasile); *giant reed*, *Spanish reed* (inglese); *caña común*, *caña de Castilla* (spagnolo); *pfahlrohr* (tedesco); *qalam*, *ghab* (arabo) - è un'erbacea perenne, rizomatosa, a ciclo fotosintetico C-3.

Appartiene alla famiglia delle *Poaceae*, sottofamiglia *Arundinoideae* ed è una delle specie a maggiore sviluppo nell'ambito di questa famiglia. Cresce in fitte macchie (canneti) (Foto 1) che si sviluppano da un intricato e robusto apparato rizomatoso sotterraneo, provvisto di grosse radici fibrose che penetrano il suolo in profondità (LEWANDOWSKI *et al.* 2003). Nelle regioni temperate, tra la primavera e l'estate, le gemme del rizoma provvedono all'avanzamento del canneto che colonizza così tutti gli spazi disponibili emettendo le nuove canne che si frammischiano ai vecchi culmi degli anni precedenti.

La specie è coltivata da centinaia di anni dall'Asia, all'Eu-

ropa, all'Africa, al Medio Oriente per fruttare la versatilità dei culmi aerei, adatti alla confezione di ceste, cannicci (supporti di canne disposte parallelamente tenute insieme da legature trasversali), strumenti musicali (zufolo, flauto di Pan), tutori per colture ortive. La raccolta delle canne negli ambienti a clima temperato avviene tra dicembre e febbraio, quando il tenore di umidità della biomassa raggiunge il suo valore minimo.

Nelle regioni del Mediterraneo la canna è stata impiegata anche nella medicina popolare (emostatico), come unità di misura della lunghezza, nell'edilizia abitativa (mista a calce e pomice) per la realizzazione di solai leggeri ed elastici (COSENTINO e COPANI 2011). Negli USA, dove è stata introdotta nei primi anni del XIX secolo per il controllo dell'erosione, la sua invasività ha creato non poche difficoltà nelle aree ripariali (AHMAD *et al.* 2008; DECRUYENAERE e HOLT 2005).

La specie è nativa di ambienti umidi dell'Asia orientale (POLUNIN e HUXLEY 1987); da tempo



Foto 1 - Canneto (Foto DISPA).

SALVATORE LUCIANO COSENTINO, DISPA - Dipartimento di Scienze delle Produzioni Agrarie e Alimentari, Università degli Studi di Catania cosentin@unicit.it
VENERA COPANI, DISPA

si è naturalizzata nel bacino del Mediterraneo da dove è giunta, seguendo le peregrinazioni dell'uomo, nei vari continenti. La rapida colonizzazione di rive di corsi d'acqua, fossati, acquitrini, paludi, è attribuita alla sua **capacità di propagarsi rapidamente ed efficacemente per mezzo di tratti del rizoma e di frammenti del culmo**. Benché sviluppi un'infiorescenza di notevoli dimensioni, non sono stati trovati semi vitali in nessuna parte del mondo in cui la specie è stata introdotta (PERDUE 1958), per cui **la propagazione agamica rappresenta la sola via attraverso la quale la specie si può diffondere**.

La coltivazione su vasta scala di questa pianta è stata realizzata in Italia tra il 1935 ed il 1964 a Torviscosa (UD), per soddisfare il fabbisogno di cellulosa dello stabilimento dove la Snia-Viscosa produceva, grazie ad un procedimento brevettato, il rayon, un filato simile alla seta (FACCHINI 1941).

BIOMASSA E BILANCIO ENERGETICO

La canna comune è considerata una delle più promettenti specie per la produzione di energia e pasta di cellulosa per gli ambienti dell'Europa meridionale (FAIR3 CT96 2028, 2001), grazie ad alcune caratteristiche molto interessanti: erbacea perenne, di facile adattamento ad ambienti alquanto diversi, elevata produzione di biomassa, ridotte esigenze di *input* colturali. Le prove condotte nell'Europa meridionale stimano una produzione di sostanza secca intorno a 30 t ha^{-1} con punte superiori a 40 t ha^{-1} (COSENTINO *et al.* 2005a). Garantisce stabilità produttiva e rese più elevate rispetto a quelle di altre colture di potenziale interesse per la produzione di energia. Negli ambienti meridionali, tra il secondo ed il terzo anno di coltivazione, la resa oscilla tra 26 e 37 t ha^{-1} di s.s. in relazione al soddisfacimento idrico. Rese comprese tra 21 e 39 t ha^{-1} di s.s. sono state segnalate nell'Italia centrale tra il secondo e il sesto anno dall'impianto; a Bologna e Udine sono state registrate rese crescenti dal primo al terzo anno, con valori massimi di 42 e 51 t ha^{-1} di s.s. rispettivamente (COSENTINO *et al.* 2008). Dopo oltre 10 anni dall'impianto il livello produttivo del canneto si mantiene al di sopra dei $2/3$ della sua produttività massima anche in condizioni di sospensione dopo i primi anni di qualunque *input* colturale (dati DISPA non pubblicati).

La biomassa della canna comune può essere convertita in calore ed elettricità con elevate rese. Prove effettuate in Sicilia tra il 2002 e il 2007 (MANTINEO *et al.* 2009) indicano che **la resa energetica**, differenza tra il contenuto energetico complessivo della biomassa prodotta (*output*) e l'ammontare dell'energia ausiliaria immessa nel sistema colturale (*input*), **nel secondo e terzo anno di coltivazione raggiunge valori di 480 e 600 GJ ha⁻¹ rispettivamente**, con punte prossime a 700 GJ ha^{-1} in condizioni ottimali di umidità del suolo e concimazione azotata; questi valori sono di gran lunga superiori a quelli che si ricavano dalla biomassa del miscanto (*Miscanthus* spp.), una specie più adatta agli ambienti settentrionali, e dalla biomassa del cardo (*Cynara cardunculus* var. *altilis* D.C.), una specie mediterranea, entrambi sottoposti alle stesse condizioni di coltivazione. Nel miscanto, infatti, la resa energetica più alta (426 GJ ha^{-1}) che si raggiunge al terzo anno, è inferiore del 30% circa rispetto a quella della canna comune; nel cardo, nell'anno più produttivo (il primo), è inferiore del 40% (365 GJ ha^{-1}).



Foto 2 - Rizoma di canna comune. Sono presenti canne (culmi aerei), gemme principali (più grandi) pronte ad emergere per dar vita a nuovi culmi, gemme secondarie (più piccole) che provvedono al prolungamento del rizoma (Foto DISPA).

Anche **il rendimento energetico** (rapporto tra *output* e *input*) risulta molto conveniente, pari a 28 in media nei primi anni, in condizioni di *input* colturali elevati e prossimo a 180 negli anni successivi, quando vengono sospese l'irrigazione e la concimazione. Per contro, il rendimento energetico del miscanto, pressoché simile a quello di *Arundo* nei primi tre anni, al quarto e quinto anno è in media di 130. La resa energetica del cardo si limita ai primi tre anni ($15,4$; $27,0$; $15,0$), dal momento che il ciclo poliennale di questa pianta non supera tale periodo ed è pari, in media, a 19 (MANTINEO *et al.* 2009).

ASPETTI AMBIENTALI

Il risparmio in termini di emissioni di anidride carbonica verso l'atmosfera è favorevole ai biocombustibili solidi (COSENTINO *et al.* 2005b); questo aspetto può essere considerato, probabilmente, il più significativo, per l'attenzione riservata al contenimento delle emissioni della CO_2 a seguito del Protocollo di Kyoto. Il calcolo prende in considerazione la quota di CO_2 fissata nella biomassa quale *input* positivo e la quota di CO_2 emessa nell'atmosfera durante tutto il processo produttivo, sia durante la fase agricola che durante quella industriale quale *output* negativo.

Da una rassegna di ricerche italiane curata da COSENTINO *et al.* (2008) risulta che la filiera biocombustibili solidi per la produzione di elettricità e calore attraverso la combustione, bruciando la biomassa di canna comune consente un risparmio di $37,7 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$, seguito da quello del sorgo da fibra ($25,1 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$), del cardo ($19,1 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$) e del miscanto ($17,5 \text{ t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$). La produzione di bioetanolo dal sorgo zuccherino e la bagassa utilizzata per la produzione di elettricità permette un risparmio inferiore, tra $14,4$ e $27,4 \text{ t CO}_2$ equivalenti ha^{-1} , nell'ordine negli ambienti meridionali e centro-settentrionali. La produzione di biodiesel da olio di colza ed energia termica dai co-prodotti porterebbe a un risparmio di CO_2 ancora più basso, variabile tra $15,8$ e $7,5 \text{ t CO}_2$ equivalenti ha^{-1} , rispettivamente per la produzione ottenuta al Nord, con un itinerario tecnico ad alti livelli di *input*, e al Sud.

Trattamenti	Dimensione del rizoma (g)	Sopravvivenza (%)	Emergenza* (giorni)	Culmi (n m ⁻²)	Altezza culmo (cm)	Biomassa epigea (t ha ⁻¹ s.s.)
R3	699,3a	100a	14b	6,6a	176,5a	2,7a
R1	250,9b	81,3c	17ab	5,6a	145,6a	2,0a
T10	233,1b	93,8b	17ab	6,3a	163,0a	2,6a
T5	135,1c	75,0d	20,5a	3,9b	168,8a	2,9a
Media	329,6	88,8	17,8	5,6	163,5	2,6

* Giorni dal trapianto

Tabella 1 - Caratteristiche, biologiche, biometriche e produzione di biomassa rilevati nel corso del primo ciclo colturale in relazione alla tipologia di rizoma (R3=rizoma con tre gemme principali; R1= rizoma con una gemma principale; T10= tratto di rizoma lungo 10 cm privo di gemme principali; T5= tratto di rizoma lungo 5 cm privo di gemme principali). Valori contrassegnati da lettere diverse differiscono significativamente per $P>0,05$ (S.N.K. test).

Trattamenti	Nodi interrati (n m ⁻²)	Emergenza* (d)	Densità dei culmi (n m ⁻²)	Tasso di germogliamento (% dei nodi interrati)	Nodi germogliati (n m ⁻²)	Altezza culmo (cm)	Biomassa epigea (t ha ⁻¹ s.s.)
CI	38,1a	35a	3,9a	3,3b	1,3a	104,7 b	0,57a
CB	10,1b	38a	3,9a	13,0a	1,3a	128,4 a	0,42a
CM	12,9b	37a	5,2a	10,1a	1,3a	118,2ab	0,34a
CA	32,2a	37a	4,3a	2,8b	0,9a	105,1b	0,24a
Media	23,3	36,8	4,3	7,3	1,2	114,1	0,39

* Giorni dal trapianto

Tabella 2 - Caratteristiche, biologiche, biometriche e produzione di biomassa rilevati nel corso del primo ciclo colturale in relazione alla tipologia di canna (CI=canna intera; CB=tratto basale; CM=tratto mediano; CA=tratto apicale). Valori contrassegnati da lettere diverse differiscono significativamente per $P>0,05$ (S.N.K. test).

PROPAGAZIONE AGAMICA

Un aspetto cruciale per la diffusione in coltura della canna comune è quello relativo alla sua propagazione. Come detto la specie non produce seme in natura, almeno negli ambienti in cui si è diffusa e naturalizzata (LEWANDOWSKI *et al.* 2003), fatto che comporta, tra l'altro, una scarsissima variabilità genetica all'interno della specie, come attestano le analisi condotte nell'ambito di un progetto di ricerca di rilevanza nazionale (PRIN) coordinato dal DISPA dal 2008 al 2010. La sua propagazione è affidata, pertanto, agli organi vegetativi: rizoma e culmo.

Il **rizoma** (Foto 2) è un fusto strisciante che cresce appena al di sotto della superficie del terreno, ramificato, distinto in nodi ed internodi, provvisto di gemme che provvedono al suo prolungamento e alla emersione dal suolo dei fusti aerei. 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 ramificare il rizoma (gemme di prolungamento) (ONOFFRY 1940). Alla ripresa vegetativa primaverile dalla gemma principale si sviluppa un germoglio che origina una canna. Le gemme secondarie, accrescendosi e distanziandosi da quella principale danno origine alle canne che si sviluppano 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 coltivazione della canna a partire dal rizoma, richiede lo svellimento di parte di un vecchio canneto, la divisione

del rizoma ed il successivo interrimento di queste. L'investimento unitario minimo è pari a un rizoma per metro quadrato.

Il **culmo** aereo (canna) completamente sviluppato può raggiungere i 700 cm di altezza; presenta un diametro medio di 2-4 cm ed è costituito di nodi (da 30 a 40) ed internodi (lungi in media 16-20 cm), via via più corti procedendo dal basso verso l'alto. I culmi dell'anno non ramificano, quelli di 2 anni, utilizzati solitamente per la propagazione agamica, per fenomeni di dominanza apicale ramificano nel terzo superiore. I nodi portano gemme da cui, a maturità e in opportune condizioni (interrati e mantenuti umidi) si sviluppano radici e germogli (Foto 3). I culmi vengono interrati nel solco alla profondità di circa 10-15 cm, alla distanza di 80-100 cm tra i solchi. L'ambiente caldo arido mediterraneo, caratterizzato da inverni miti e piovosi ed estati calde e siccitose, pone alle tecniche di propagazione vegetativa dell'*Arundo* una serie di vincoli che devono essere attentamente valutati per individuare le soluzioni più convenienti. In considerazione delle esigenze termiche della specie, la finestra utile per consentire un soddisfacente attecchimento degli organi vegetativi si realizza all'inizio della primavera, epoca nella quale ordinariamente nei canneti spontanei le gemme del rizoma si risvegliano dopo la stasi invernale; in questo periodo, infatti, le temperature crescenti e la sufficiente disponibilità idrica del suolo assicurano condizioni favorevoli alla germogliazione e radicazione. All'uscita dell'inverno, inoltre, il rizoma possiede una riserva di lipidi, proteine, azoto e carboidrati solubili disponibili per gli organi in rapido accrescimento (culmi aerei e gemme di prolungamento del rizoma). Queste riserve garantiscono che il trapianto primaverile di por-



Foto 3 - Talea di culmo. La gemma del nodo, dopo alcune settimane dal suo interrimento, ha sviluppato un germoglio e radici (Foto DISPA).

zioni di rizoma possa avvenire in condizioni di maggiore sicurezza in termini di tasso di attecchimento e veloce ricostituzione dell'apparato radicale e aereo.

Il rizoma pertanto è l'organo di propagazione naturale per realizzare un nuovo canneto. La sua utilizzazione, tuttavia, presenta ostacoli di carattere economico e tecnico, legate all'approvvigionamento del materiale di propagazione.

DIMENSIONE DEL RIZOMA

Un tratto di rizoma idoneo al trapianto può avere un peso variabile da poche centinaia di grammi a oltre 1.000 grammi e contenere un numero più o meno elevato di gemme principali già differenziate (culmi potenziali) e gemme secondarie (di prolungamento del rizoma). Il risparmio di materiale di propagazione passa attraverso la riduzione della dimensione del rizoma. È necessario, tuttavia, valutare l'incidenza della dimensione del rizoma sulla sua sopravvivenza.

Nel mese di Aprile del 2007, una prova realizzata ponendo a confronto rizomi del clone Fondachello⁽¹⁾ di dimensioni e peso variabili tra 699 g con tre gemme principali (R3) e 135 g con nessuna gemma principale e una lunghezza massima di 5 cm (T5) (Tabella 1) ha messo in evidenza che, in condizioni di buona disponibilità idrica del suolo (volume stagionale di irrigazione di 240 mm), solo il rizoma di dimensioni ridotte a 5 cm condiziona il tasso di insediamento e il numero di nuovi culmi differenziati (3,9 culmi m⁻² nel primo anno nella tesi T5 contro circa 6 culmi m⁻² nelle altre tesi); tuttavia, le compensazioni interne tra numero e peso dei culmi determina un risultato produttivo finale statisticamente non differenziato (tra 2 e 2,9 t ha⁻¹).

RIZOMA O TALEA DI CULMO?

Impiegare una talea di culmo al posto del rizoma presenta una serie di vantaggi legati alla più facile reperibilità e abbondanza del materiale di propagazione e al costo di impianto più contenuto (COSENTINO 2010). Le canne dalle quali prelevare le talee sono quelle dell'anno precedente (canne di due anni); il tasso di attecchimento in pieno campo è, comunque, basso, inferiore al 10% circa dei nodi interrati (COPANI *et al.* 2009). Alla fine degli

(1) *Nell'ambito del progetto della UE FAIR FAIR3 CT96 2028 (2001) il DISPA ha collezionato e mantiene dal 1997, presso l'azienda didattico-sperimentale dell'Università di Catania una collezione di 39 genotipi di Arundo donax L. reperiti nel territorio siciliano e in Calabria (COSENTINO et al. 2006).*

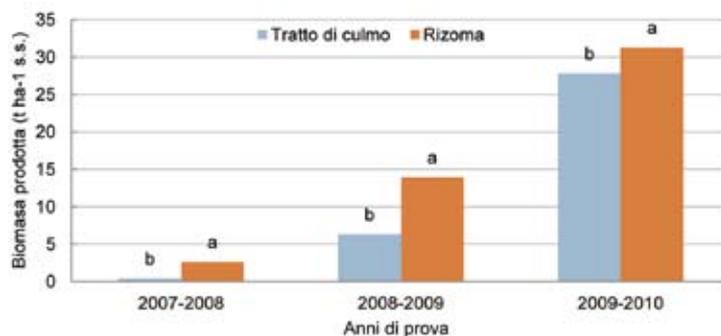


Grafico 1 - Produzione di biomassa secca nel triennio in relazione all'organo di propagazione utilizzato. Per ciascun anno, lettere diverse indicano differenze significative per P<0,05 (S.N.K.test).

anni '90, prove effettuate a Catania nell'ambito del programma FAIR3 della Unione Europea (2001), interrando la canna intera e tratti provvisti di un solo nodo, hanno evidenziato nel primo caso fenomeni di dominanza apicale, con conseguente elevata difformità di emergenza dei germogli e ridotto tasso di germogliamento, nel secondo caso un totale insuccesso. Per superare i limiti di quella prova, nell'Aprile del 2007, sempre a Catania, sono state poste allo studio, in condizioni irrigue (volume stagionale di irrigazione di 240 mm), tratti del culmo lunghi circa 100 cm distinti in base alla regione di provenienza (basale, mediana e apicale) e la canna intera. Per aumentare la densità dei nodi le canne sono state interrate affiancando un secondo tratto, sfalsato di circa 50 cm.

Come mostra la Tabella 2, a causa della diversa lunghezza degli internodi della canna e delle sovrapposizioni, sono stati interrati un numero di nodi compresi tra 32 e 38 m⁻² con i tratti apicali e canna intera, negli altri due casi (CB, CM) i nodi interrati sono stati poco più di 10 m⁻². I tratti basali e mediani hanno mostrato un più elevato tasso di germogliamento dei nodi, tra il 10 e il 13% contro il 3% circa dei nodi della sezione basale e della canna intera. Il numero di nodi germogliati sull'unità di superficie è risultato, per effetto della differente densità dei nodi, del tutto simile (tra 0,92 e 1,31 nodi m⁻²) e conseguentemente anche la produzione di biomassa (molto bassa come avviene sempre nel primo ciclo colturale) non si è differenziata in rapporto ai trattamenti (tra 0,24 e 0,57 t ha⁻¹ s.s.).

Nell'arco di un triennio tanto il canneto derivante da rizomi quanto quello da culmi è cresciuto in misura esponenziale; la produzione è passata da 2,6 a 31,3 t ha⁻¹ s.s. nel caso dell'impianto da rizoma e da 0,4 a 27,8 t ha⁻¹ nel caso dell'impianto da talea di culmo (Grafico 1) (COSENTINO *et al.* 2010). Durante il primo e il secondo ciclo colturale la produttività del canneto derivante da rizomi, indipendentemente dalla dimensione di questi, ha superato dell'85% e del 55% rispettivamente quella del canneto derivante da talee di culmo, ma al terzo anno il divario si è ridotto all'11% (Grafico 1).

Relativamente al ruolo della tipologia dell'organo di propagazione, il rizoma di maggiori dimensioni (R3) ha determinato una significativa maggiore resa di biomassa (21,8 t ha⁻¹ anno⁻¹ di s.s., in media, nel triennio, con un massimo assoluto di 43,7 t ha⁻¹ s.s. nel terzo anno) rispetto alle altre tipologie di tratti di rizoma (14,0 t ha⁻¹

Anni	Rizoma					Culmo				
	R3	R1	T10	T5	Media	CI	CB	CM	CA	Media
2007-2008	2,7	2,0	2,6	2,9	2,6	0,6	0,4	0,3	0,2	0,4
2008-2009	18,9	9,5	15,4	12,0	13,9	6,0	6,4	5,8	7,1	6,3
2009-2010	43,7	20,3	28,9	32,3	31,3	33,5	25,9	25,1	26,8	27,8
Media	21,8a	10,6c	15,6b	15,7b	15,9	13,4a	10,9a	10,4a	11,4a	11,5

R3 = rizoma con tre gemme principali; R1 = rizoma con una gemma principale; talea di culmo: T10 = tratto di rizoma lungo 10 cm privo di gemme principali; T5 = tratto di rizoma lungo 5 cm privo di gemme principali; CI = canna intera; CB = tratto basale; CM = tratto mediano; CA = tratto apicale.

Tabella 3 - Produzione di biomassa secca ($t\ ha^{-1}$) nel triennio in relazione ai trattamenti allo studio. Per ciascun tipo di organo di propagazione, lettere diverse indicano significatività tra i trattamenti per $P < 0.05$ per le medie del triennio (S.N.K. test).

Trapianto (data)	Emergenza (data)		Trapianto - emergenza (giorni)		Somma termica ($^{\circ}C$)		Densità culmi ($n\ m^{-2}$)		Resa ($t\ ha^{-1}$)	
	R	C	R	C	R	C	R	C	R	C
25/02/08	05/04/08	15/04/08	40	50	405	589	5,8	6,6	2,9	1,5
05/03/08	10/04/08	30/04/08	36	56	379	662	6,7	8,3	4,4	4,9
17/03/08	15/04/08	05/05/08	29	49	330	631	6,7	7,2	5,3	4,2
31/03/08	30/04/08	14/05/08	30	44	405	622	6,3	6,4	3,8	3,6
12/04/08	10/05/08	25/05/08	28	43	408	662	5,3	3,6	3,5	2,1
23/04/08	14/05/08	30/05/08	21	37	383	618	5,3	5,7	4,0	2,4
Media	24/04/08	09/05/08	30,7b	46,5a	385b	631a	6,0a	6,3a	4,0a	3,1a

R = rizoma; C = talea di culmo

Tabella 4 - Caratteri biologici, biometrici e biomassa secca prodotta nel corso del primo ciclo produttivo in relazione ai fattori studiati. Valori contrassegnati da lettere diverse differiscono significativamente per $P > 0,05$ (S.N.K. test).

anno⁻¹) (Tabella 3). Nel caso della talea di culmo, non sono state osservate, per contro, differenze significative tra le quattro tipologie prese in esame ($11,5\ t\ ha^{-1}$ s.s. in media nel triennio).

Con riferimento al risultato del terzo anno, eccezione fatta per la tesi R3 che ha richiesto, tuttavia, l'impiego di porzioni di rizoma di elevate dimensioni e per la tesi CI (canne intere sovrapposte ogni 50 cm), che ha richiesto un elevato numero di canne, la produzione dei tratti di rizoma di piccole dimensioni (T10 e T5) è stata di entità paragonabile a quella delle talee di culmo (CB, CM, CA) (Tabella 3).

TRAPIANTO PRIMAVERILE

La primavera, come detto, è la stagione più adatta all'impianto del canneto, dal momento che all'uscita dell'inverno i rizomi posseggono la più alta riserva di elementi nutritivi da impegnare nell'accrescimento del rizoma stesso e nella differenziazione dei culmi aerei e

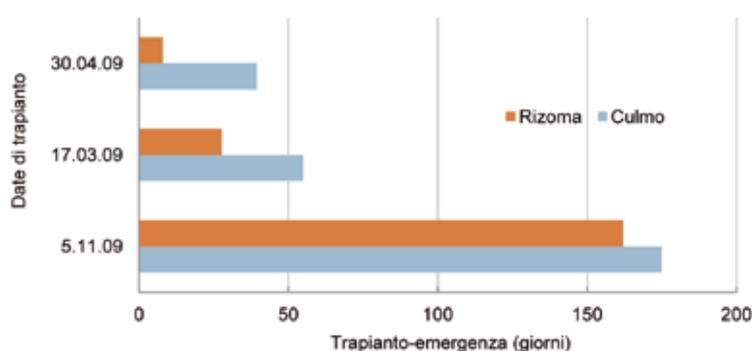


Grafico 2 - Durata dell'intervallo trapianto-emergenza dei culmi in relazione alla data di trapianto e all'organo di propagazione utilizzato.

dell'apparato radicale. Ma qual è il momento più opportuno per effettuare il trapianto? In una prova sperimentale condotta nella collina interna siciliana (EN) nel 2008, sono stati trapiantati rizomi e talee di culmo in sei date (tra il 25 Febbraio e il 23 Aprile), con interventi irrigui (124 mm) limitati al periodo di insediamento delle talee (da maggio a giugno) (COPANI *et al.* 2009). L'inizio dell'emergenza di nuove canne è stato registrato a partire dal 5 Aprile (dai rizomi) e dal 15 Aprile (dalle talee di culmo), la fine dell'emergenza il 14 Maggio (dai rizomi) e il 30 Maggio (dalle talee di culmo) (Tabella 4). Il tempo intercorso tra il trapianto e l'emergenza delle nuove canne si è progressivamente ridotto da 40 a 21 giorni nel caso del rizoma e da 50 a 37 giorni nel caso della talea di culmo. La somma termica necessaria per l'emergenza, è risultata in media pari a $385\ ^{\circ}C$ e $631\ ^{\circ}C$ rispettivamente per la germogliazione del rizoma e della canna (Tabella 4).

È stato possibile calcolare anche la soglia termica minima necessaria per l'emergenza delle nuove canne, pari a $17\ ^{\circ}C$ (T_{MAX}) e $7,5\ ^{\circ}C$ (T_{MIN}) (COPANI *et al.* 2009); i valori individuati sono risultati in accordo con quanto rilevato da SPENCER e KSANDER (2006) in ambiente controllato. I risultati produttivi migliori nell'arco di tempo considerato sono stati quelli ottenuti in corrispondenza del trapianto di marzo (prima e seconda decade) sia per i rizomi (tra $4,4$ e $5,3\ t\ ha^{-1}$ s.s.) che per le talee di culmo (tra $4,2$ e $4,9\ t\ ha^{-1}$ s.s.) (Tabella 4).

TRAPIANTO AUTUNNALE

L'emergenza dei germogli derivanti da rizomi e quelli dalle talee di culmo trapiantate in date diverse nella collina enne-se, considerata la somma termica necessaria, prende l'avvio, come detto, intorno al mese di aprile. Procrastinando l'epoca di trapianto si riduce il tempo di emergenza ma

	I anno			II anno		
	I epoca di trapianto (05.11.2008)					
	Asciutto	Irrigato	Media	Asciutto	Irrigato	Media
Culmo	2,6	8,8	5,7 ^a	7,5	19,4	13,4 ^a
Rizoma	1,2	3,3	2,2 ^b	9,6	8,4	9,0 ^b
Media	1,9^b	6,1^a	4,0	8,6^b	13,9^a	11,2
II epoca di trapianto (17.03.2009)						
Culmo	2,4	11	6,7 ^a	5,1	14	9,6 ^a
Rizoma	6,6	10,8	8,7 ^a	8,0	15,5	11,8 ^a
Media	4,5^b	10,9^a	7,7	6,6^b	14,8^a	10,7
III epoca di trapianto (30.04.2009)						
Culmo	0,6	5,8	3,2 ^b	3,0	15,7	9,3 ^b
Rizoma	4,2	12,8	8,5 ^a	8,6	17,7	13,1 ^a
Media	2,4^b	9,3^a	5,9	5,8^b	16,7^a	11,2

Tabella 5 - Produzione di biomassa nel primo e secondo ciclo culturale in relazione ai trattamenti studiati. Entro ciascuna epoca di trapianto, lettere diverse indicano significatività per gli effetti principali per $P \leq 0,05$ (S.N.K. test).

questa si colloca sempre più verso la primavera inoltrata, quando il *deficit* idrico del suolo rende l'irrigazione una pratica indispensabile.

Negli ambienti meridionali del nostro Paese, nelle aree collinari, il *deficit* idrico si manifesta in media a partire dal mese di aprile, nelle zone di pianura inizia già a marzo, per cui il trapianto primaverile richiede quasi sempre una certa disponibilità idrica. È stata quindi presa in esame l'ipotesi di anticipare il trapianto al periodo autunnale, anche sulla base dei risultati di una precedente ricerca (COSENTINO *et al.* 2009). A questo scopo la prova è stata realizzata a Catania (COPANI *et al.* 2010), in condizioni termiche più favorevoli (temperatura media annua superiore di circa 2°C) rispetto alla collina. Il trapianto dei rizomi e delle canne è avvenuto l'11 Novembre 2008, il 17 Marzo e il 30 Aprile 2009; sono stati differenziati due livelli di disponibilità idrica supplementare:

- solo al trapianto e nelle prime fasi di insediamento delle talee (**tesi asciutta**, 23 mm);
- restituzione dell'ETm per tutta la stagione estiva (**tesi irrigata**, 250 mm).

I rizomi sono stati trapiantati alla densità di 1 m⁻²; le canne (lunghe 100 cm, in doppio nel solco) sono state poste alla distanza di 100 cm tra i solchi.

L'emergenza dei culmi è avvenuta, in media, dopo 168 giorni dal trapianto di novembre (23 Aprile), dopo 41 giorni dal trapianto di marzo (27 Aprile) e dopo 25 giorni dal trapianto di aprile (24 Maggio). Il tempo medio di emergenza per il rizoma è stato 65 giorni e per la talea di culmo 89 giorni (Grafico 2).

I risultati relativi al numero totale di culmi differenziati nell'arco del primo ciclo di sviluppo delle piante (Grafico 3) mostrano come il trapianto autunnale abbia penalizzato fortemente il rizoma (3,8 culmi m⁻² nella media del trattamento irriguo) contro 8,2 culmi m⁻² e 7,5 culmi m⁻² differenziati in seguito ai trapianti di Marzo e Aprile rispettivamente. La talea di culmo, per contro, ha fatto registrare il miglior risultato proprio in corrispondenza del trapianto autunnale (10,6 culmi m⁻², 5,0 e 1,7 culmi m⁻² nelle tre date di trapianto sempre nella media dell'irrigazione).

IL RUOLO DELL'IRRIGAZIONE

Il ruolo dell'irrigazione è apparso rilevante ai fini della differenziazione dei culmi aerei in tutte le epoche di trapianto. La maggiore disponibilità di acqua nella condizione irrigata ha comportato, in media, il raddoppia-

mento del numero di nuovi culmi emessi, ma con differenze sostanziali in relazione all'organo di propagazione e al momento del trapianto. Per la talea di culmo trapiantata in autunno il divario è stato del 39% (13,3 culmi m⁻² contro 10,6 culmi m⁻² nell'ordine per la tesi irrigata e asciutta); questo divario nei trapianti primaverili, in condizioni di *deficit* idrico del suolo crescente, è stato pari al 70% (trapianto del 17 Marzo) e all'82% (trapianto del 30 Aprile (Grafico 3)). Il rizoma, per contro, ha sofferto meno il *deficit* idrico in corrispondenza dei trapianti primaverili, con un divario tra asciutto ed irrigato di circa il 30%; nel trapianto autunnale,

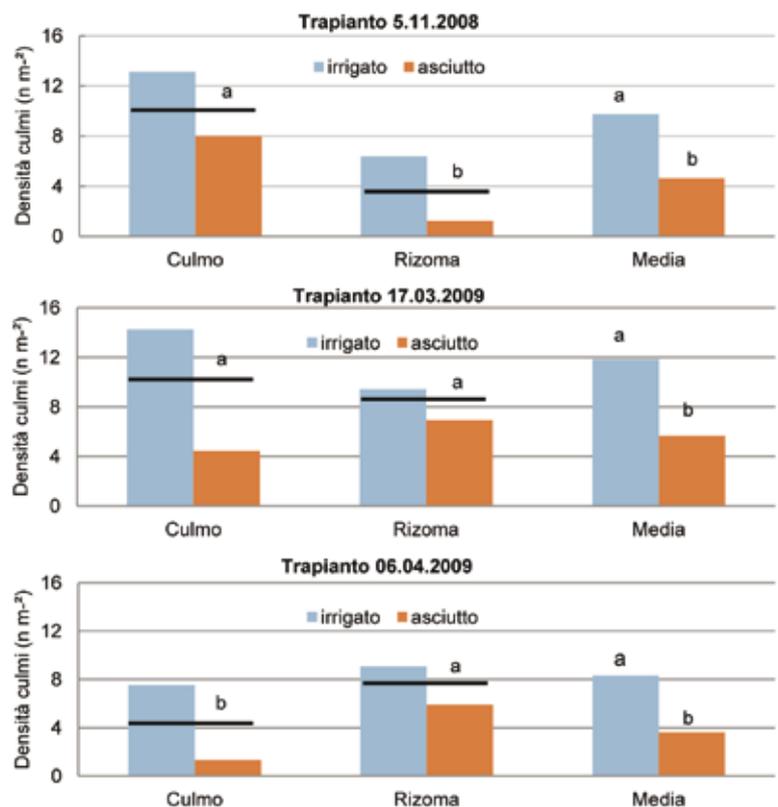


Grafico 3 - Culmi differenziati entro la prima stagione di crescita in relazione a tutti i fattori studiati. Entro ciascuna epoca di trapianto, istogrammi con differenti lettere indicano significatività per $P \leq 0,05$. Le lettere sulle colonne della media indicano la significatività per gli effetti 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).

invece, si è determinata una forte differenza tra asciutto ed irrigato (1,2 culmi m⁻² contro 6,4 culmi m⁻² differenziati, pari a una riduzione dell'80%) che potrebbe essere attribuita all'indebolimento del rizoma durante la lunga stasi, oltre 160 giorni, che intercorre tra il trapianto e l'emergenza.

La produzione di biomassa nel primo ciclo colturale ha rispecchiato abbastanza fedelmente il dato della densità dei culmi dal momento che questa componente concorre più di altre a determinare la resa. **La seconda epoca di trapianto (Marzo) è risultata la migliore dal punto di vista produttivo per entrambe le tipologie di impianto, seguita dalla terza (Aprile) e quindi dalla prima (Novembre).**

La produzione di biomassa del secondo ciclo produttivo, svolto senza apporti irrigui supplementari, è stata influenzata fortemente dalle condizioni in cui le piante sono cresciute nel precedente anno, per cui l'impianto autunnale con talea di culmo ha mantenuto una superiorità produttiva rispetto al rizoma nella stessa epoca di trapianto (19,4 t ha⁻¹ contro 8,4 t ha⁻¹ rispettivamente) (Tabella 5); il rizoma ha anch'esso prodotto più nelle condizioni di trapianto primaverile ed in particolare quando ha usufruito dell'irrigazione il precedente anno (15,5 t ha⁻¹ e 17,7 t ha⁻¹ in corrispondenza della seconda e terza epoca di trapianto rispettivamente) rispetto al trapianto autunnale e a quello primaverile asciutto (circa 9,0 t ha⁻¹). In generale, quindi, **il trapianto autunnale è stato più favorevole alla canna che non al rizoma**; nelle condizioni di maggiore soddisfacimento idrico, la produttività del rizoma trapianto in primavera e le talee di culmo in tutti i casi, hanno superato in larga misura (dal 50 all'80%) la produttività ottenuta in condizioni asciutte.

CONCLUSIONI

Negli ultimi anni, fra le colture da biomassa per energia l'attenzione si è focalizzata su specie graminacee spontanee della flora locale, perfettamente adattate alle condizioni pedo-climatiche nelle quali vivono (MANGAN *et al.* 2011); queste specie richiedono *input* colturali minimi contribuendo per questa via alla sostenibilità dell'agroecosistema. In questo ambito, le specie erbacee poliennali che accumulano biomassa lignocellulosica sono tra le più interessanti, dal momento che il loro bilancio energetico (energia ricavata al netto di quella spesa per la coltivazione) ed ambientale risulta largamente positivo.

Negli ambienti caldo-aridi la canna comune (*Arundo donax* L.) è candidata a ricoprire questo ruolo con elevate possibilità di successo. La fase di impianto attraverso organi vegetativi rappresenta un momento cruciale per la sua coltivazione. Sulla base delle ricerche realizzate in Sicilia si può affermare che è possibile propagare la coltura attraverso l'uso del rizoma o della talea di culmo. Nel complesso, **il rizoma, pur assicurando un più efficace attecchimento e una produttività più elevata nel breve periodo (primi due anni) rispetto alla talea di culmo, presenta tuttavia un maggior costo di impianto.**

L'impiego del rizoma o della talea di culmo dipende in larga misura anche dal momento nel quale si realizza l'impianto, in primavera o in autunno. I risultati indicano che il trapianto autunnale favorisce la talea di culmo, mentre il trapianto primaverile in asciutto avvantaggia il rizoma rispetto alla talea di culmo.

Bibliografia

AHMAD R., PUI-SZE L., SPENCER D.F., IASINIUK M., 2008 - **Molecular evidence for a single genetic clone of invasive *Arundo donax* in the United States.** Aquatic Botany, 88: 113-120.

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 Maggio 2010.

COSENTINO S. L. (coordinatore), 2010 - **Relazione scientifica conclusiva del progetto PRIN 2007 'Tecniche di propagazione e coltivazione di *Arundo donax* L., coltura da biomassa lignocellulosica per la produzione di biocombustibili di seconda generazione'.**

COSENTINO S.L., COPANI V., 2010 - **La produttività del canneto (*Arundo donax* L.) in relazione alla tecnica di impianto.** Atti XXXIX Convegno Società Italiana di Agronomia, Roma, 20-22 settembre 2010: 87-88.

COSENTINO S.L., COPANI V., 2011 - **La propagazione agamica della canna comune (*Arundo donax* L.).** In PARI L. (a cura di) **Lo sviluppo delle colture energetiche in Italia.** Il contributo dei progetti di ricerca SUSFACE e FAESI. CRA - Consiglio per la Ricerca e la sperimentazione in Agricoltura: 659-681.

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. L., 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., 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, 2: 81-95.

COSENTINO S. L., FOTI S., VENTURI G., GIOVANARDI R., COPANI V., MANTINEO M., D'AGOSTA G., BEZZI G., TASSAN MAZZOCCO G., 2005a - **Colture erbacee annuali e poliennali da biomassa per energia di possibile coltivazione in Italia.** Agroindustria, 4,1: 35-48.

COSENTINO S. L., FOTI S., D'AGOSTA G.M., MANTINEO M., COPANI V., 2005b - **Confronto tra gli impatti ambientali di biocombustibili e di combustibili fossili per mezzo della "Life Cycle Assessment" (LCA).** Agroindustria, 4, 1:109-128.

DECRUYENAERE J.G., HOLT J.S., 2005 - **Ramet demography of clonal invader (*Poaceae*), in Southern California.** Plant and Soil, 277: 41-52.

FACCHINI P., 1941 - **La Canna gentile per la produzione della cellulosa nobile, l'impresa agricolo-industriale di Torviscosa, SNIA VISCOSA, Milano.**

FAIR3 CT96 2028, 2001 - **Giant reed (*Arundo donax* L.) Network.** Improvement, Productivity and Biomass Quality. Final Project Report.

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.

MANGAN M.E., SHEAFFER C., WYSE D.L., EHLKE N.J., REICH P.B., 2011 - **Native perennial grassland species for bioenergy: establishment and biomass productivity**. Agronomy Journal, 103, 2: 509-519.

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 semi-arid Mediterranean environment**. Field Crops Research, 114: 204-213.

ONOFFRY 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.

SPENCER D.F., KSANDER G. G., 2006 - **Estimating *Arundo donax* ramet recruitment using degree-day based equations**. Aquatic Botany, 85: 282-288.

KEYWORDS: Giant reed, hot-dry environments, agamic propagation, rhizomes, stem cuttings.

Abstract: *Giant reed (Arundo donax L.), a biomass for energy crop: the agamic propagation in the South of Italy.*

Giant reed (*Arundo donax L.*), a perennial, rhizomatous, C3 grass of the *Poaceae* family has been studied as an energy biomass crop for bio-thermo-electric chain for the Mediterranean environment, thanks to high biomass accumulation and adaptation to a wide range of environments. The species does not set fruit because the pollen results unfruitful, therefore, requires the development of an efficient agamic propagation method. The research carried out in Sicily in the last years has shown that giant reed can be propagated both by means of rhizomes and stem cuttings. In the short term, rhizomes ensure a more effective plant establishment and a higher yield compared to stem cuttings; however the use of rhizomes is more expensive than the use of stem cuttings. Different rhizome sizes and different stem cuttings (basal, median, apical) were investigated: within both cases several differences were shown in the plant establishment rate and yield during the first growing period. This difference became less evident in the subsequent years. The choice of rhizome or stem cuttings depends above all on planting time and soil water availability. Autumn planting is suitable to save water but requires stem cuttings, while in spring planting time, in rainfed condition, only rhizome can be used. Irrigation carried out in the year of establishment during the spring-summer period of cultivation has a positive impact on yield also in the second year even if the irrigation is no more supplied.

Canna comune nel Nord Italia

Influenza delle tecniche di propagazione sulle prestazioni della coltura

di MARIO DI CANDILO
ENRICO CEOTTO

Al fine di mettere a punto tecniche d'impianto della canna comune (*Arundo donax* L.) economicamente sostenibili e tecnicamente efficienti è stata valutata l'influenza di differenti metodi di propagazione agamica (talee di culmo diversamente interrato, piantine micro-propagate, rizomi) sull'insediamento della coltura, in termini di regolarità di emergenza e sviluppo dei culmi, e sulla produzione di biomassa.

PAROLE CHIAVE: *Arundo donax*, sterilità florale, propagazione agamica, biomassa lignocellulosica, produzione.

La canna comune è una pianta erbacea rizomatosa, considerata particolarmente idonea per la produzione di biomassa lignocellulosica ad uso energetico nei paesi del Sud Europa (LUNNAN 1997; FOTI e COSENTINO 2001; SHATALOV e PEREIRA 2002; DI CANDILO *et al.* 2008). Di fatto, questa specie presenta numerose caratteristiche favorevoli, quali:

- ciclo perennante, grazie al quale non richiede costi energetici annuali per la lavorazione del terreno e per la semina;
- presenta un elevato tasso di crescita giornaliero, mantenuto per un lungo periodo nel corso della stagione vegetativa;
- l'impianto ha una lunga durata, oltre 20 anni (ONOFRY 1940);
- ha limitate esigenze nutrizionali: in virtù di un efficiente uso dei nutrienti, che vengono traslocati alternativamente dai rizomi alla parte aerea, e vicever-



Foto 1 - L'infiorescenza dell'*Arundo donax* è una pannocchia piumosa, fusiforme, di colore variabile dal verde pallido al violaceo (a). I semi (cariossidi) sono sterili, piccoli, molto leggeri e di colore scuro (b).

sa, all'inizio e alla fine della stagione vegetativa (BELL e GARY 1997);

- è molto tollerante sia al freddo invernale, sia agli stress idrici estivi (LEWANDOSWIKI *et al.* 2003);
- non è suscettibile a popolazioni di insetti e funghi patogeni, perciò non richiede trattamenti antiparassitari;
- in ragione del suo rapido accrescimento e della intensa copertura fogliare, è molto competitiva nei confronti delle erbe infestanti, pertanto non richiede applicazioni di diserbanti;
- sebbene abbia predilezione per i terreni sciolti, si adatta a crescere su qualunque tipo di terreno, compresi quelli salini (PECK 1998) e/o inquinati da sostanze organiche e metalli pesanti (KOS *et al.* 2003; MIRZA *et al.* 2010). La coltura di questa specie si distingue inoltre per la sua capacità di accumulare rilevanti quantitativi di carbonio nel terreno (CEOTTO e DI CANDILO 2011).

MARIO DI CANDILO, CRA-CIN - Cento di Ricerca per le Colture Industriali, Bologna mario.dicandilo@entecra.it - ENRICO CEOTTO, CRA-CIN

La canna comune è una specie a propagazione agamica obbligata. La sterilità della pianta è dovuta al fallimento dello sviluppo delle mega e microspore nel fiore (BHANWRA *et al.* 1982; MARIANI *et al.* 2010). Nelle regioni del Nord Italia la fioritura (Foto 1a) avviene ad ottobre inoltrato e normalmente non conduce alla formazione di semi, verosimilmente a causa delle basse temperature di quel periodo. Per contro, nelle regioni dell'Italia meridionale, dove l'estate si attarda fino ad ottobre inoltrato, la fioritura della canna conduce alla produzione di semi, che tuttavia non sono germinabili (Foto 1b).

Alcuni Autori hanno messo in evidenza che la **sterilità fiorale è una caratteristica molto favorevole per le piante destinate a produrre biomassa** ad uso energetico (RAGAUSKAS *et al.* 2006). Infatti, mentre le piante che producono granella dedicano molta energia, sotto forma di assimilati, alla formazione ed al riempimento dei loro organi riproduttivi, le piante da biomassa nelle quali la fioritura avviene molto tardivamente a fine stagione, ovvero eliminata del tutto, possono invece destinare tutti i loro assimilati alla produzione di foglie e culmi. Esempi di questa seconda strategia sono la canna comune ed il miscanto. Secondo JOHNSON *et al.* (2007) il vantaggio della sterilità fiorale è duplice: da un lato tutti i carboidrati e le proteine vengono impiegati per produrre nuove foglie e fusti; dall'altro lato l'assenza di semi evita che la pianta possa comportarsi come una infestante negli appezzamenti vicini. D'altro canto, la sterilità fiorale rappresenta la maggiore criticità dell'*Arundo*, in quanto limita fortemente la propagazione della specie, che può avvenire solo agamicamente, per rizomi, piantine micro-propagate, o talee di culmo (GEOTTO e DI CANDILO 2010).

L'utilizzo dei **rizomi**, come metodo d'impianto del canneto, dà ottimi risultati dal punto di vista tecnico, ma risulta molto oneroso a causa del notevole impiego di manodopera necessaria per l'espianto dei rizomi stessi, per pulirli dal terreno, per sezionarli e reimpiantarli. Oltretutto, tale metodo richiede l'espianto distruttivo di un'ampia superficie di piante madri, non sempre disponibili. L'impiego delle **piantine micro-propagate**, anche se un po' meno oneroso dei rizomi, comporta un costo d'impianto ancora elevato (non meno di 4.500 € ha⁻¹ solo per l'acquisto delle piante). D'altra parte, la tecnica basata sull'impiego di **talee di culmo** è ancora in fase di studio e messa a punto, dato che spesso ha lasciato a desiderare per uniformità di emergenza. Lo scopo del presente lavoro è stato quello di valutare gli effetti di differenti tecniche di propagazione agamica sull'insediamento della coltura e sulla sua produttività.

MATERIALI E METODI

La prova sperimentale è stata avviata nel 2009 presso l'Azienda sperimentale Ca' Rossa del CRA-CIN, ad Anzola dell'Emilia (BO), nella bassa Pianura Padana (Latitudine 44°32'N, Longitudine 11°80'E, quota 38 m slm). Il terreno è franco-limoso, classificato come Udifluventic Haplustepts fine silty, mixed mesic (SOIL SURVEY STAFF 2003). La piovosità media annua nella località è di circa 600 mm.

L'impianto della coltura è stato realizzato mettendo a confronto le seguenti 10 tesi:

i-ii) **talee di culmo** di un metro di lunghezza, prelevate



Foto 2 - Culmo di *Arundo* al secondo anno di vita, con ramificazioni laterali (a); veduta delle operazioni di posa e interrimento delle talee nei solchi (b).

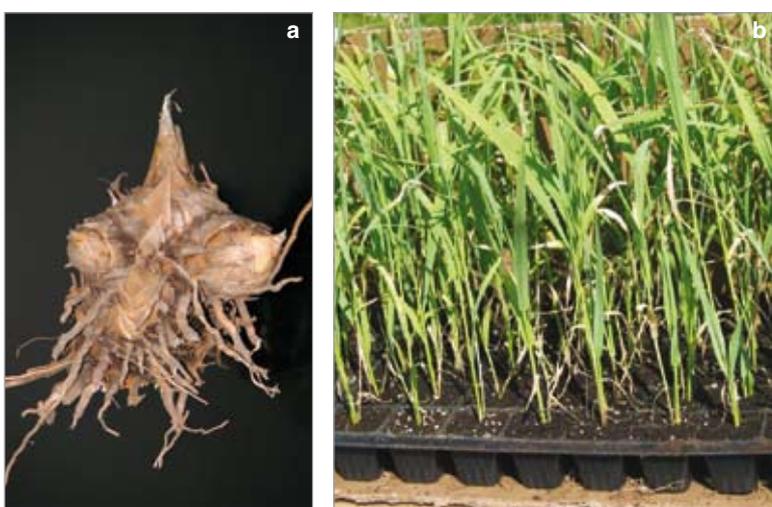


Foto 3 - Rizoma di *Arundo* con tre gemme differenziate (a) e piantine micro-propagate pronte per il trapianto (b).

- all'inizio di giugno da culmi del secondo anno, interrate orizzontalmente **in fila continua singola e doppia**, rispettivamente indicate come TCS e TCD;
- iii-iv-v) **talee mediane di culmo con uno, due e tre nodi**, interrate verticalmente, rispettivamente indicate come TM1, TM2 e TM3;
- vi-vii-viii) **talee apicali di culmo con uno, due e tre nodi**, interrate verticalmente, rispettivamente indicate come TA1, TA2 e TA3;
- ix) **piantine micro-propagate**, indicate come PM;
- x) **rizomi con tre gemme** pronte, indicati come T (testimone).

Il terreno destinato alla prova è stato approntato eseguendo l'aratura a fine estate, la frangizollatura in autunno, previa concimazione fosfatica (60 kg ha⁻¹ di P₂O₅) ed una erpicatura in primavera.

Per i rizomi, le piantine micro-propagate e le talee di culmo, trapiantate verticalmente, è stata adottata una densità pari a 1,6 per m², con distanze di 0,80 m fra le file e 0,80 m sulla fila. Le talee di culmo interrate orizzontalmente, come già accennato, sono state disposte in file continue, singole e doppie, all'interno di solchi profondi 0,15 m circa, distanziati di 0,80 m. Tutte le talee di cul-

RISULTATI E DISCUSSIONE



Foto 4 - Confronto fra parcelle allestite con talee di culmo piantate verticalmente (a) e orizzontalmente in doppia fila (b); la prima evidenzia un attecchimento irregolare dei propagugli, con colonizzazione degli spazi vuoti da parte delle infestanti

Tesi*	Culmi m ⁻² (n.)	Altezza culmi (cm)	Diametro culmi (mm)	Biomassa fresca (t ha ⁻¹)	Umidità (%)
TCS	9,4 bc	111,0 b	8,7 b	9,6 b	62,0 ab
TCD	17,3 a	123,3 b	8,3 b	16,2 b	61,7 ab
TM1	6,5 c	137,7 b	10,3 b	8,1 b	60,8 ac
TM2	7,7 bc	116,3 b	9,3 b	7,4 b	61,4 ab
TM3	4,9 c	106,3 b	9,7 b	5,0 b	62,0 ab
TA1	5,8 c	127,0 b	11,0 b	7,0 b	62,5 a
TA2	7,3 bc	132,0 b	9,7 b	7,7 b	62,2 ab
TA3	8,3 bc	116,7 b	8,7 b	9,9 b	63,9 a
PM	17,4 a	154,7 b	9,0 b	17,3 b	56,6 bc
T	11,6 b	295,7 a	16,0 a	38,3 a	55,7 c
Medie	9,6	142,1	10,1	12,7	60,8

Tabella 1 - Caratteristiche biometriche dei culmi, resa in prodotto fresco e relativa umidità riscontrate al termine del primo anno del canneto (2009). I valori non aventi alcuna lettera in comune differiscono significativamente per $P < 0,05$ (test di Tukey).

mo sono state prelevate il 9 Giugno da culmi al secondo anno, muniti di ramificazioni laterali (Foto 2), ed interrate lo stesso giorno. I rizomi sono stati espianati all'inizio di Aprile, opportunamente sezionati e reimpiantati il 10 Aprile (Foto 3a), mentre le piantine micro-propagate (Foto 3b) sono state trapiantate il 5 Giugno.

Le tesi a confronto sono state distribuite in campo secondo uno schema a blocco randomizzato, con tre ripetizioni e parcelle di 16 m². Subito dopo l'interramento dei propagugli e, successivamente, con un turno di circa 10 giorni sono stati eseguiti 7 interventi irrigui, per un volume stagionale di 245 mm, al fine di favorire la radicazione e l'insediamento della coltura. In copertura sono stati somministrati 60 kg ha⁻¹ di azoto, sotto forma di urea. Le infestanti sono state rimosse manualmente.

Dal secondo anno la coltura viene condotta senza irrigazione e senza diserbo, mentre la concimazione consiste in un apporto annuo di 100 kg ha⁻¹ di N.

Le raccolte della biomassa, alla fine del primo e del secondo anno, sono state eseguite in Dicembre, provvedendo a rilevare per ciascuna parcella i seguenti caratteri:

- numero di culmi presenti;
- distribuzione spaziale dei culmi;
- altezza e diametro basale dei culmi;
- produzione di biomassa fresca;
- contenuto di umidità della biomassa alla raccolta;
- resa areica in sostanza secca.

Primo anno (2009)

In Tabella 1 sono riportate le caratteristiche biometriche dei culmi, la resa in prodotto fresco e l'umidità di quest'ultimo rilevate al termine del primo anno di vita del canneto.

Riguardo alla **densità d'investimento**, i valori più elevati (17 culmi m⁻², circa), sono stati rilevati nelle parcelle allestite con le piantine micro-propagate e con le talee di culmo interrate orizzontalmente in doppia fila. Densità significativamente inferiori sono state riscontrate per tutte le tesi rappresentate dalle talee di culmo piantate verticalmente (5-8 culmi m⁻²). Il testimone, derivato dai rizomi, ha evidenziato una densità intermedia rispetto ai due gruppi precedenti. Considerato che un canneto ha una durata non inferiore a 15-20 anni e che la densità dei culmi cresce sensibilmente nel secondo anno di vita della coltivazione, **un investimento iniziale di 5-8 culmi m⁻² potrebbe essere ritenuto già sufficiente**, a condizione però che gli stessi abbiano una regolare distribuzione spaziale. In realtà, come si può osservare in Figura 1, le tesi allo studio si sono sensibilmente differenziate al riguardo. Di fatto, la propagazione per rizomi, come atteso, ha dato luogo ad una coltivazione altamente uniforme in tutte le parcelle; ottimo anche il risultato fornito dalle talee di culmo interrate orizzontalmente in fila doppia; le piantine micro-propagate, pur avendo fatto rilevare una elevata densità di culmi m⁻² (grazie ad uno spiccato accostamento), hanno presentato una distribuzione irregolare di questi ultimi in due casi su tre. Le altre tesi, ed in particolare le talee di culmo piantate verticalmente, hanno dato luogo ad emergenze irregolari, con conseguente presenza di aree delle parcelle non coperte dalla coltura. Tale effetto, oltre ad indurre minore produttività di biomassa, ha provocato competizione da parte delle infestanti che hanno teso a colonizzare i vuoti lasciati dalla coltivazione (Foto 4).

I culmi ottenuti da rizomi si sono differenziati nettamente da quelli delle altre tesi per maggiore **vigoria e accrescimento**, mostrati sin dalla fase iniziale della coltivazione. Pertanto, alla fine della prima stagione di crescita i culmi del testimone hanno raggiunto un'altezza di 3 m circa, e un diametro basale di 16 mm, contro valori medi di 125 cm di altezza e 9,4 mm di diametro delle altre tesi (Tabella 1). Differenze significative sono emerse anche per il numero di nodi culmo⁻¹, sensibilmente più elevato per il testimone (+72%, in media: dati non riportati).

La migliore *performance* della tecnica di propagazione per rizomi, in termini di prontezza di attecchimento, emergenza e sviluppo dei culmi nel primo anno di vita del canneto, è stata indotta, molto verosimilmente, dalle sostanze nutritive di riserva presenti in abbondante quantità nei rizomi e solo in piccola parte negli altri propagugli testati.

Come conseguenza degli effetti sulla densità d'investimento e sulla dimensione dei culmi, le tecniche di propagazione si sono differenziate rilevantemente anche per influenza sulla **produzione di biomassa** (Tabella 1). Di fatto, la coltivazione derivata da rizomi ha fornito 38,3 t ha⁻¹ di prodotto fresco, contro una media di 9,8 t ha⁻¹ delle altre tesi. Va anche evidenziato che al momento dello sfalcio la biomassa del testimone presentava una maggiore lignificazione, come peraltro evidenziato dal minore contenuto di umidità (Tabella 1). La resa in

sostanza secca del controllo (17 t ha⁻¹) ha superato di circa due volte quella delle piante micro-propagate, di 3 volte quella delle talee di culmo interrate orizzontalmente in doppia fila, e di circa 6 volte la resa media delle altre tesi indagate (Grafico 1).

Al di là dei dati appena esposti, va tuttavia considerato che le produzioni dell'*Arundo*, così come quelle di altre erbacee perennanti (miscanto, panico), nel primo anno di coltivazione sono quasi sempre molto contenute, se non trascurabili, poiché la coltura nella prima stagione di crescita investe soprattutto nel suo insediamento, subisce la competizione delle infestanti ed è suscettibile agli stress idrici. Pertanto, la produttività dovrebbe assumere peso determinante dal secondo anno di coltivazione in poi. **Nel primo anno è fondamentale avere una coltura uniforme in termini di fittezza e regolarità di presenza dei culmi nello spazio**, caratteri che dovrebbero consentire alla coltivazione di esprimere il suo potenziale produttivo nella lunga durata dell'impianto.

Secondo anno (2010)

In Tabella 2 sono riportate le caratteristiche biometriche dei culmi, la resa in prodotto fresco e l'umidità di quest'ultimo rilevate al termine del secondo anno di vita del canneto.

La **densità d'investimento** è stata pressoché doppia rispetto al primo anno (21 contro 10 culmi m⁻²). Le maggiori fittezze sono state rilevate per le tesi "piantine micro-propagate", "talee di culmo interrate orizzontalmente in fila doppia" e "testimone-rizomi", senza differenze di rilievo fra loro (28-31 culmi m⁻²). Al contrario, le tesi rappresentate dalle talee di culmo piantate verticalmente hanno evidenziato fittezze significativamente inferiori rispetto alle precedenti, anche se sensibilmente migliorate rispetto al primo anno.

L'**altezza media** dei culmi è stata di 473 cm, senza differenze significative fra le tesi e con un incremento del 233% rispetto al primo anno (Tabella 2).

Relativamente al **diametro basale** dei culmi il valore tendenzialmente più elevato è stato riscontrato sul testimone (22 mm circa), che tuttavia si è differenziato significativamente solo rispetto alla tesi "piantine micro-propagate" col valore più basso.

La produzione di **biomassa fresca** (Tabella 2) in media ha raggiunto le 62 t ha⁻¹, con un incremento del 389% rispetto al primo anno. Il testimone ha fornito la resa più elevata (99 t ha⁻¹), non dissimile da quelle ottenute dalle

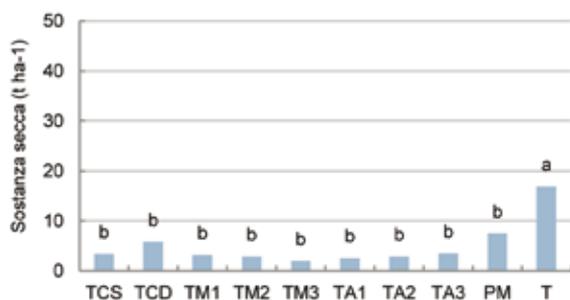


Grafico 1 - Rese in sostanza secca rilevate al termine del primo anno di vita del canneto. Gli istogrammi non aventi alcuna lettera in comune differiscono significativamente per $P \leq 0.05$ (test di Tukey).

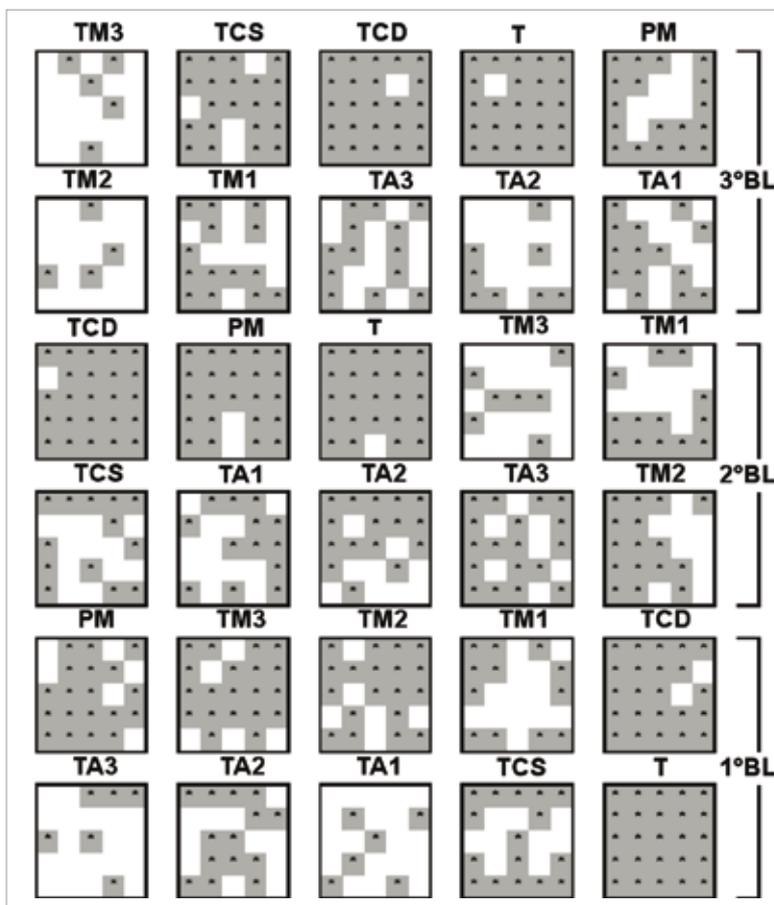


Figura 1 - Distribuzione spaziale dei culmi nelle parcelle: l'*Arundo* è presente nelle aree grigie, ma non in quelle bianche, per mancato attecchimento dei propaguli.

tesi "talee di culmo piantate orizzontalmente in fila doppia; le talee di culmo piantate verticalmente hanno fornito produzioni significativamente più basse rispetto al testimone (-49,7% in media).

La resa media in **sostanza secca** nel secondo anno di vita del canneto ha raggiunto 25,5 t ha⁻¹, pari ad un incremento del 400% rispetto alla produzione del primo anno. Il testimone ha fornito la resa più elevata (40,5 t ha⁻¹), anche se non statisticamente diversa dalle produzioni ottenute con i metodi d'impianto basati sull'impiego di "talee di culmo interrate orizzontalmente" e "piantine micro-propagate". Le altre tesi, come nella prima annata, hanno prodotto significativamente meno del controllo (Grafico 2).

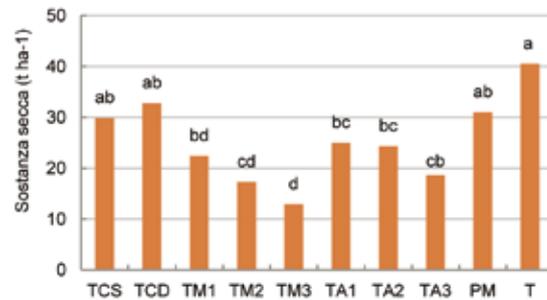


Grafico 2 - Rese in sostanza secca rilevate al termine del secondo anno di vita del canneto. Gli istogrammi non aventi alcuna lettera in comune differiscono significativamente per $P \leq 0.05$ (test di Tukey).



Foto 5 - Le immagini evidenziano la regolarità della coltivazione derivata da talee di culmo interrate orizzontalmente in doppia fila allo stadio iniziale (a) e alla levata (b).

Tesi*	Culmi m ⁻² (n.)	Altezza culmi (cm)	Diametro culmi (mm)	Biomassa fresca (t ha ⁻¹)	Umidità (%)
TCS	22,7 ab	463,3 a	20,3 ac	70,1 bc	42,4 a
TCD	29,3 a	439,7 a	19,2 ac	82,0 ab	40,0 a
TM1	18,0 bc	475,7 a	20,0 ac	53,2 ce	42,0 a
TM2	17,3 bc	488,7 a	20,0 ac	43,8 de	39,7 a
TM3	13,0 c	468,7 a	20,0 ac	31,4 e	41,3 a
TA1	16,3 bc	467,7 a	19,7 ac	61,0 bd	41,0 a
TA2	17,0 bc	482,7 a	20,7 ab	61,6 bd	39,6 a
TA3	16,7 bc	482,0 a	20,7 ab	47,5 ce	39,3 a
PM	31,3 a	480,0 a	18,3 c	71,6 bc	43,3 a
T	27,7 a	478,0 a	21,7 a	98,8 a	41,0 a
Medie	20,9	472,6	20,1	62,1	41,0

Tabella 2 - Caratteristiche biometriche dei culmi, resa in prodotto fresco e relativa umidità riscontrate al termine del secondo anno del canneto (2010). I valori non aventi alcuna lettera in comune differiscono significativamente per $P \leq 0,05$ (test di Tukey).

CONCLUSIONI

La tecnica d'impianto basata sull'impiego di talee di culmo interrate orizzontalmente in fila doppia ha dato luogo ad un ottimo insediamento della coltura, addirittura migliore del testimone (rizomi) se si considera l'uniformità di emergenza e la fittezza dei culmi già al primo anno di vita del canneto (Foto 5). Al contrario, il vigore vegetativo e la produttività della coltura derivata da tale tecnica nell'anno d'impianto sono risultati sensibilmente inferiori al controllo, così come riscontrato anche per il metodo basato sull'impiego delle piante micro-propagate e per le altre tipologie di talee di culmo. Nel secondo anno le colture derivate da talee di culmo interrate orizzontalmente (in fila singola e doppia) e da piantine micro-propagate hanno ridotto rilevantemente lo svantaggio produttivo nei confronti del testimone, grazie alla formazione dei primi rizomi e al supporto delle sostanze nutritive ivi contenute. Nel terzo anno di vita del canneto, a seguito dell'ulteriore formazione ed accrescimento dei rizomi nelle colture derivate da talee di culmo, interrate orizzontalmente, e da piantine micro-propagate, le differenze produttive nei confronti della coltura derivata da rizomi molto verosimilmente scompariranno del tutto. In considerazione di quanto sopra evidenziato la tecnica di propagazione dell'*Arundo* mediante **talee di culmo interrate orizzontalmente in fila doppia si configura come una valida alternativa all'impiego dei rizomi e delle piantine micro-propagate**. Oltretutto tale metodo, a differenza della tecnica ba-

sata sull'impiego dei rizomi, non comporta l'espianto dei cespi; perciò, a seconda delle esigenze, i culmi prodotti dal vivaio possono essere destinati all'impianto di nuove coltivazioni o alla conversione in energia termo-elettrica (combustione), o in bioetanolo di seconda generazione (attraverso idrolisi della cellulosa e successiva fermentazione degli zuccheri (HAMELINCK *et al.* 2005). Ovviamente, va considerato che per il buon esito della tecnica in discorso, limitatamente **al primo anno, è necessario mantenere il terreno sufficientemente umido dal trapianto delle talee fino alla piena emergenza dei culmi**, e pertanto richiede la disponibilità di acqua e, possibilmente, di un impianto irriguo dedicato.

La necessità di dover ricorrere all'irrigazione, sebbene solo al primo anno di coltivazione, contrasta con il modello di pianta ideale, poiché tale pratica implica il consumo di un discreto volume di acqua ed un costo energetico in termini di energia fossile, per la realizzazione degli interventi irrigui. Va comunque considerato che tale costo andrebbe spalmato su un numero di anni piuttosto elevato (non meno di 20) e pertanto sarebbe da considerare come un investimento a lungo termine. D'altro canto, la coltivazione della canna comune, dal secondo anno in poi, si contraddistingue proprio per la sua elevata compatibilità ambientale, dato che: è in grado di attingere acqua dagli strati profondi del terreno; non richiede la lavorazione del terreno; non necessita di alcun intervento di diserbo chimico, né di difesa contro patogeni ed insetti.

In termini economici, l'impiego delle talee di culmo dovrebbe essere meno oneroso rispetto ai rizomi e alle piante micro-propagate, a condizione che vengano meccanizzate le operazioni di raccolta e sezionamento dei culmi, nonché l'interramento delle talee.

Bibliografia

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 Science Academy, 48: 152.

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., DI CANDILO M., 2011 - **Medium-term effect of perennial energy crops on soil organic carbon storage**. Italian Journal of Agronomy 6:e33: 14-19.

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, Multi-functional Agriculture, Agriculture as a Resource for Energy and Environmental Preservation. Italian Journal of Agronomy, Vol. 3, No. 3 suppl.: 481-482.

FOTI S., COSENTINO, S.L., 2001 - **Colture erbacee annuali e poliennali da energia**. Rivista di Agronomia 35: 200-215.

HAMELINCK C.N., VAN HOOIJDONK G., FAAJ A.P.C., 2005 - **Ethanol from lignocellulosic biomass techno-economic**

performance in short-, middle- and long-term. Biomass and Bioenergy, 28: 384-410.

JOHNSON J.M.F., COLEMAN M.D., GESCH R., JARADAT A., REICOSKY D.M.R., WILHELM W.W., 2007 - **Biomass-bioenergy crops in the United States: a changing paradigm.** Am J Plant Sci Biotechnol. 1(1):1-28.

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.

LEWANDOSWIKI 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.

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.

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.

ONOFRI A., 1940 - **La canna comune (*Arundo donax* L.).** Cremonese Libraio Editore Rome.

PECK, G. G., 1998 - **Hydroponic growth characteristics of *Arundo donax* L. under salt stress.** Arundo and Salt Cedar: The Deadly Duo, A Workshop on Combating the Threat from Arundo and Salt Cedar. C. E. Bell. Ontario, CA, University

of California Cooperative Extension, Imperial County: 71-72 (http://teamarundo.org/ecology_impacts/Proc98/proc98_index.html).

RAGAUSKAS A.J., WILLIAMS C.K., DAVISON B.H., BRITOVSEK G., CAIRNEY J., ECKERT C.A., FREDERICK W.J.J., HALLET J.P., LEAK D.J., LIOTTA C.L., MIELENZ J.R., MURPHY R., TEMPLER R., 2006 - **The path forward for biofuels and biomaterials.** Science 311: 484-489.

SHATALOV A.A., PEREIRA H., 2002 - **Influence of stem morphology on pulp and paper properties of *Arundo donax* L.** Ind. Crops and Prod. 15: 77-83.

SOIL SURVEY STAFF, 2003 - **Keys to Soil Taxonomy.** 9th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.

KEYWORDS: energy crops, giant reed, agamic propagation, stem cuttings, micropropagated plants, yield.

Abstract: *Influence of propagation techniques of giant reed (*Arundo donax* L.) on crop performances in Northern Italy*

Aiming to define convenient propagation techniques of giant reed, alternative to rhizom propagation which is too expensive, in the years 2009-2010, in Anzola dell'Emilia (BO), have been compared several methods of agamic propagation based on stem cuttings buried vertically and horizontally, micro-propagated plants, and rhizoms. Our results indicate that the method based on shoot cutting buried horizontally in coupled rows is viable to obtain a satisfactory crop establishment, in terms of rapidity and uniformity of new emitted stems. In order to obtain good results, however, it is necessary to assure a adequate soil water content during the period from shoot cuttings burial until the complete emissions of the new stems. The lower productivity, compared to rhizoms propagation, observed in the first two years is of relatively low importance if one consider the long duration of the giant reed stand.

Coltura *in vitro*

Un utile contributo alla propagazione su larga scala di *Arundo donax* e *Saccharum spontaneum*

di VALERIA CAVALLARO, CRISTINA PATANÈ
SIMONA TRINGALI, ALESSANDRA PELLEGRINO

Le ricerche condotte nell'ambito del progetto FAESI hanno prodotto significativi miglioramenti della propagazione *in vitro* di *Arundo donax* L. e *Saccharum spontaneum* L. subsp. *aegyptiacum* (Willd.) Hackel, tecnica che potrebbe consentire il superamento di molti degli inconvenienti legati alla moltiplicazione per via vegetativa.

PAROLE CHIAVE: Specie da biomassa, coltura *in vitro*, *Arundo donax* L. e *Saccharum spontaneum* L. subsp. *aegyptiacum* (Willd.) Hackel.

Le ricerche condotte all'interno del progetto FAESI hanno riguardato due specie ritenute promettenti ai fini della produzione di biomassa: la canna comune (*Arundo donax* L.) e il *Saccharum spontaneum* L. subsp. *aegyptiacum* (Willd.) Hackel.

CANNA COMUNE

La canna comune è una *Poacea* perenne, di statura elevata, a ciclo fotosintetico C-3; i culmi si sviluppano da grossi rizomi durante la primavera e l'estate. La specie è originaria dell'Asia, ma diffusamente presente allo stato spontaneo in tutto il bacino del Mediterraneo. In tempi recenti è stata indicata come una delle più promettenti specie per la produzione di bioenergia nelle regioni dell'Europa meridionale, grazie alla sua poliannualità ed alta produttività in biomassa (COSENTINO *et al.* 2006), al facile adattamento alle più differenti condizioni ambientali, alla capacità di produrre anche in condizioni di limitati *input* energetici (ridotti apporti idrici e di nutrienti ecc.) (CHRISTOU *et al.* 2001).

Inoltre, grazie al suo robusto apparato radicale ed alla copertura del suolo assicurata durante tutto l'anno dai suoi steli robusti può anche contribuire a contrastare i fenomeni di erosione del terreno.

A causa della sterilità che la caratterizza, la canna comune, al di fuori del suo areale di origine non produce seme (BOOSE e HOLT 1999) e, pertanto, la propagazione può avvenire quasi esclusivamente per via asessuata attraverso porzioni di culmo o più frequentemente di rizoma. Questi metodi, sebbene assicurino ottimi risultati dal punto di vista dell'insediamento della coltura, risultano particolarmente

onerosi per quanto riguarda le operazioni di prelievo e d'impianto e potrebbero costituire una limitazione alla estensione in tempi brevi della coltivazione della specie su larga scala in quanto il numero di rizomi prodotto annualmente per pianta è limitato (MARTON 2002). Al momento sono in fase di sperimentazione metodi alternativi di propagazione per parti di culmo che necessitano però di ulteriori conferme sperimentali prima di essere incorporati nella pratica agricola.



Foto 1 - Germogli secondari di *Arundo* nel substrato con gelrite.

VALERIA CAVALLARO, CNR-ISAFoM - Istituto per i Sistemi Agricoli e Forestali del Mediterraneo, Catania valeria.cavallaro@cnr.it
CRISTINA PATANÈ, CNR-ISAFoM - SIMONA TRINGALI, CNR-ISAFoM - ALESSANDRA PELLEGRINO, CNR-ISAFoM



Foto 2 - Germogli secondari di Arundo a immersione temporanea nel substrato RITA®.

Gli inconvenienti legati alla moltiplicazione per via vegetativa potrebbero essere superati facendo ricorso alla propagazione *in vitro* tramite micropropagazione.

Quest'ultima tecnica consiste nella propagazione vegetativa *in vitro* di genotipi selezionati. A tal fine partendo da un espianto, viene indotta, in condizioni di sterilità, la rapida proliferazione di germogli in un mezzo di coltura idoneo, composto di sali minerali, vitamine, zuccheri e ormoni. I tassi di moltiplicazione ottenuti con questa tecnica sono per alcune colture fino a mille volte più alti di quelli ottenuti con i metodi di propagazione tradizionali.

Gli anglosassoni definiscono la micropropagazione "true-to-type" (letteralmente: fedele alla tipologia); in effetti, al pari di tutte le altre tecniche di propagazione agamica e mancando il passaggio attraverso la fase di callo, garantisce in genere un **alto grado d'identità genetica**.

Per tutti questi motivi, questa tecnica è ormai considerata in Italia e all'estero di *routine* per la propagazione commerciale di diverse specie da frutto (LAMBARDI e PREVATI 2011), ornamentali da fiore (orchidee, gerbere, rose, lillium ecc.) e da foglia (Rout *et al.*, 2006). La fase di rapida proliferazione dei germogli costituisce il momento più cruciale del processo pertanto il successo di un protocollo di propagazione *in vitro* dipende in larga parte dalla quantità e dalla qualità dei germogli ottenuti durante questa fase.

Poiché l'esame della bibliografia specialistica, non aveva evidenziato alcun lavoro riguardante la coltura *in vitro* della specie in parola, in un precedente lavoro è stata messa a punto la tecnica di micropropagazione (CAVALLARO *et al.* 2011) ed è stata evidenziata la particolare adattabilità della canna comune alla coltura *in vitro*.

L'obiettivo finale dell'attività di ricerca svolta all'interno del progetto FAESI è stato quello di **migliorare l'efficienza del processo non solo aumentando gli indici di moltiplicazione, ma anche riducendo i costi di produzione**. A tal fine è stata studiata la possibilità della coltivazione in mezzo liquido (in un sistema ad immersione temporanea o in fase stazionaria) o in mezzo solido nel quale l'agar, il gelificante più comunemente usato, veniva sostituito con la gelrite.

Metodologia

Le ricerche sulla canna comune sono state effettuate nel laboratorio dell'Istituto per i Sistemi Agricoli e Forestali del Mediterraneo (ISAFoM) del CNR. Il materiale genetico utilizzato, clone Fondachello, è stato raccolto nel mese

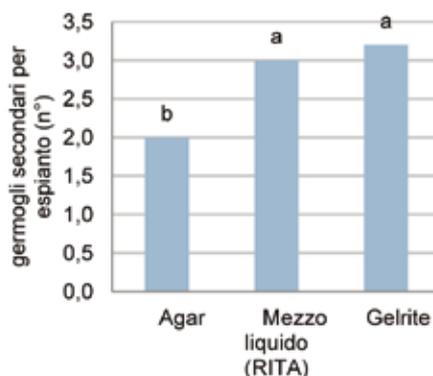


Grafico 1 - Numero di germogli secondari per espianto in relazione al sistema culturale utilizzato. Lettere diverse al di sopra di ogni istogramma indicano differenze significative per $P \leq 0,05$.

di Marzo 2009 nel campo sperimentale dell'Università degli Studi di Catania (Piana di Catania, 10 m s.l.m.). Al fine di avviare la coltivazione *in vitro*, gemme dormienti situate sui nodi della parte mediana del fusto sono stati escissi e disinfettati come descritto da CAVALLARO *et al.* (2011). Dopo 20 giorni dall'impianto, i germogli sviluppati sono stati accuratamente escissi dal nodo e trasferiti nel mezzo di moltiplicazione. La ricerca è stata articolata in due prove.

Nella **I prova** sono stati studiati gli effetti sulla proliferazione dei germogli *in vitro* di tre differenti sistemi di coltura (Foto 1 e 2):

- un mezzo solidificato con 7 g l⁻¹ agar (Lickson);
- un mezzo solidificato con 2 g l⁻¹ gelrite (Duchefa);
- un mezzo liquido nel quale le piante sono mantenute in immersione temporanea col sistema (RITA®) con un tempo di immersione di 10 min ogni sei ore.

Il mezzo base comprendeva macro e micro nutrienti di MURASHIGE e SKOOG (MS 1962), vitamine di MOREL (MOREL e WETMORE 1951), 100 mg l⁻¹ di mioinositolo, 30 g di saccarosio, 3 mg l⁻¹ 6-benzylaminopurina (BA), 1 mg l⁻¹ di acido indol-3-acido acetico-IAA, 0,05 mg l⁻¹ di acido gibberellico (Ag₃) e 8 g l⁻¹ agar.

Dopo due sottocolture, è stato rilevato il numero di germogli con crescita normale.

Nella **II prova** a confronto con i mezzi di coltura che avevano fornito i migliori risultati nella prima (mezzo solidificato con gelrite e mezzo liquido nel quale le piante erano mantenute in immersione temporanea) è stata studiata la proliferazione in un mezzo liquido mantenuto in uno stato stazionario. La composizione del mezzo base era identica a quella dell'esperimento precedente fatta eccezione per il contenuto in BA che è stato aumentato a 4 mg l⁻¹. Al fine di evitare le contaminazioni batteriche e la conseguente perdita di plantule nel mezzo liquido ogni due cicli di moltiplicazione venivano aggiunti al substrato di moltiplicazione [0,15% (v/v)] di Plant Preservative Mixture (PPM) (Micropoli® Cesano Boscone-Milano, Italia).

Ogni 30 giorni a partire dalla data di inizio di ogni ciclo di moltiplicazione, veniva rilevato il numero di germogli normali per espianto.

Risultati e conclusioni

L'uso della gelrite al posto dell'agar, ha comportato l'aumentare del tasso di proliferazione dei germogli (3,2 ger



Foto 3 - Plantule di *Saccharum spontaneum* L. in fase di moltiplicazione.

mogli per espianto contro i 2,0 registrati nell'agar) e una riduzione dei costi del processo, poiché questo gelificante viene impiegato in quantitativi più bassi ed è meno costoso dell'agar (Grafico 1). Con la seconda prova è stato ottenuto un significativo aumento del numero di germogli secondari per espianto (in media 5,0) rispetto alla prima e non sono state osservate differenze significative nel numero di germogli ottenuti in relazione alla coltura su mezzo solido o liquido sia se mantenuto in fase stazionaria che in un sistema a semi-immersione. I risultati ottenuti ci hanno permesso di ottenere significativi miglioramenti dell'efficienza del processo di micropropagazione di *A. donax* L. attraverso l'innalzamento del numero di germogli prodotti per ogni ciclo di moltiplicazione (diminuendo quindi il numero di manipolazioni necessarie per l'ottenimento di un numero elevato di plantule) e la messa a punto della coltivazione su mezzo liquido. L'adozione nella coltura *in vitro* su larga scala in quest'ultimo mezzo rappresenta infatti un'alternativa economicamente più conveniente del substrato solidificato con agar o gelrite e permette inoltre una migliore utilizzazione delle sostanze nutritive (dati non presentati) e quindi l'ottenimento di un numero più elevato di piante con la stessa soluzione nutritiva. Il tasso di moltiplicazione mensile ottenuto per espianto sembra indicare la possibilità reale di produrre in circa 6 mesi un numero di piantine (circa 1.200) notevolmente più elevato di quello ottenuto con i metodi convenzionali di propagazione.

SACCHARUM SPONTANEUM

Il *Saccharum spontaneum* L. subsp. *aegyptiacum* (Willd.) Hackel è una specie affine al genere *Miscanthus*, presente allo stato spontaneo nel territorio dell'Isola che, alla luce delle prime ricerche, appare assai promettente per la produzione di biomassa. Il genere *Saccharum* comprende sei specie: *S. spontaneum*, *S. officinarum*, *S. robustum*, *S. edule*, *S. barberi*, *S. sinense*. La prima (*S. spontaneum* L.), rinvenibile nella regione mediterranea, è descritta come specie dotata di elevato polimorfismo, rustica, resistente alle fitopatie, altamente vigorosa, con un elevato contenuto di fibra, ma che non accumula zuccheri. Popolamenti di *S. spontaneum* L. subsp. *aegyptiacum* (Willd.) Hackel, sono

rinvenibili in alcuni areali della Sicilia in prossimità delle coste e nelle isole minori (Eolie) (PIGNATTI, 1982).

Nell'ambito del progetto FAESI sono state condotte una serie di ricerche riguardanti la messa a punto del processo di micropropagazione in *Saccharum spontaneum* L. subsp. *aegyptiacum* (Willd.) Hackel al fine di pervenire ad una rapida propagazione di questa specie superando le limitazioni imposte dalla propagazione esclusivamente vegetativa della stessa.

Metodologia

Il materiale genetico utilizzato, è stato prelevato presso il campo sperimentale dell'Università degli Studi di Catania (Piana di Catania, 10 m s.l.m.). Considerata la scarsità di contributi in letteratura riguardanti la specie in esame, le prime prove hanno riguardato la **scelta dell'organo della pianta da utilizzare come espianto**, la **tecnica di sterilizzazione** dello stesso, la **composizione del substrato** di coltura.

Tra tutti i metodi di sterilizzazione saggiati, solo quello che prevedeva l'immersione per 5 min in cloruro di mercurio e successivamente in ipoclorito di sodio ha garantito l'ottenimento del maggior numero di espianti esenti da inquinamento (100%, contro lo 0% registrato negli altri trattamenti).

L'impiego di cloruro di mercurio nella prima fase del processo di disinfezione ha mostrato, anche in questa specie, una maggiore efficacia rispetto all'etanolo nella rimozione dei patogeni inquinanti la coltura *in vitro*.

Risultati e conclusioni

L'inizializzazione della coltura *in vitro* è stata effettuata a partire da segmenti nodali o da apici vegetativi. Gli **apici vegetativi non sono risultati idonei** alla fase di inizializzazione della coltura *in vitro* poiché si è osservato il totale imbrunimento degli stessi e la conseguente morte di tutti gli espianti subito dopo la messa in coltura. Solo i **segmenti nodali con gemma dormiente si sono dimostrati in grado di differenziare il germoglio**. Il numero di segmenti nodali che ha differenziato germogli non ha mostrato significative variazioni in rapporto all'epoca di prelievo ed è stato pari al 50%.

Nel corso delle prove, sono emerse notevoli difficoltà connesse con la successiva fase di rapida moltiplicazione dei germogli, fase cruciale per la messa a punto di un protocollo commerciale di propagazione *in vitro*. Infatti, subito dopo l'escissione della gemma dal nodo effettuata per permettere una rapida proliferazione sul mezzo di coltura, si manifestava un progressivo aumento del rilascio di polifenoli e la successiva morte del germoglio. Il verificarsi dell'imbrunimento del substrato di moltiplicazione o degli stessi germogli, dovuto al rilascio momentaneo (in risposta al taglio) o prolungato di polifenoli, è un problema comune a molte specie e può compromettere in maniera seria il processo di micropropagazione. Al fine di pervenire a una **riduzione del fenomeno dell'imbrunimento conseguente al taglio**, sono stati valutati gli effetti dei seguenti trattamenti:

- 1) aggiunta di 2 g l⁻¹ di carbone attivo al substrato nutritivo base contenente macro e microelementi di MURASHIGE e SKOOG (MS), vitamine di MOREL (1951), 100 mg l⁻¹ mioinositolo, 30 g l⁻¹ saccarosio, 1 mg l⁻¹ 6-benzylaminopurina (BA), 0,05 mg l⁻¹ acido gibberellico (Ag₃);

- 2) dimezzamento dei macro e microelementi di MS nel substrato nutritivo di base;
- 3) dimezzamento dei macro e microelementi di MS nel substrato nutritivo di base ed eliminazione di tutti gli ormoni con la sola eccezione del BA (0,5 mg l⁻¹).

Se si osservava un rapido imbrunimento del germoglio e del substrato le piantine venivano prontamente trapiantate. Ogni 30 giorni a partire dal trapianto, veniva rilevato il numero di germogli secondari che, presentando uno sviluppo normale, potevano essere trapiantati ed essere alla base di un nuovo ciclo di moltiplicazione.

I primi risultati ottenuti hanno dimostrato che: tutti e tre i substrati saggiati hanno permesso di ridurre i processi di imbrunimento legati al rilascio di polifenoli nel substrato dopo l'escissione dal nodo; nel substrato che conteneva carbone attivo (trattamento 1) non si osservava nessuna proliferazione dei germogli, mentre nei substrati nei quali il contenuto di sostanze nutritive era stato dimezzato (**trattamenti 2 e 3**) è stato osservato un **significativo rallentamento dei fenomeni di imbrunimento, la comparsa di almeno un germoglio secondario nel primo ciclo e la differenziazione di 2-3 germogli** per espianto nei cicli di moltiplicazione successivi (Foto 3).

Successivi aggiustamenti dei substrati più efficaci potrebbero comportare ulteriori miglioramenti di questa importante fase della coltura *in vitro*. Sono ancora in corso le prove volte alla valutazione degli effetti dell'allevamento dei germogli su substrato liquido a immersione temporanea o in fase stazionaria. Il substrato liquido infatti, oltre che favorire una migliore distribuzione delle sostanze nutritive, può esercitare un'azione di dilavamento e di allontanamento delle sostanze responsabili del processo di ossidazione.

Anche su questa specie, il superamento degli ostacoli incontrati durante le prime fasi del processo di propagazione *in vitro*, potrebbe consentire in tempi brevi di poter completare il protocollo di micropropagazione.

Bibliografia

BOOSE A.B., HOLT J. S., 1999 - **Environmental effects on asexual reproduction in *Arundo donax***. *Weed Research*, 39: 117-127.

CAVALLARO V., TRINGALI S.; PATANÉ C., 2011- **Large-scale *in vitro* propagation of giant reed (*Arundo donax* L.), a promising biomass species L.** *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, 86 (5): 452-456.

CHRISTOU M., MARDIKIS M., KYRITSIS S., COSENTINO S., JODICE R., VECCHIET M., GOSSE G. 2001- **Screening of *Arundo donax* L. populations in South Europe**. In: *Proceedings of the 1st World Conference on Biomass for Energy and Industry, Sevilla, Spain, 2000*. James & James (Science Publishers) Ltd., London, UK. Volume 2 : 2048-2051.

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 Crop and Products*, 23: 212-222.

LAMBARDI M., PREVIATI A., 2011 - **Indagine sulla micro-propagazione in Italia tra ricerca e produzione**. 2° Convegno Nazionale sulla Micropropagazione Sanremo (IM), 7-9 Novembre 2011.

MARTON L., 2002 - **United States Patent Application: 0020166149**.

MOREL G., WETMORE R.H., 1951- **Fern callus tissue culture**. *American Journal of Botany*, 38:141-143.

MURASHIGE T., SKOOG F., 1962 - **A revised medium for rapid growth and bioassay with tobacco tissue cultures**. *Physiologia Plantarum*, 15: 473-497.

PIGNATTI S., 1982- **Flora d'Italia**. Edagricole, Bologna.

ROUT G.R., MAHAPATRA A., JAIN S.M., 2006 - **Tissue culture of ornamental pot plant: a critical review on present scenario and future prospects**. *Biotechnology Advances*, 24: 531-560.

KEYWORDS: biomass species, *in vitro* culture, *Arundo donax* L., *Saccharum spontaneum* L. subsp. *aegyptiacum* (Willd.) Hackel

Abstract: *In vitro* culture. A contribution to large scale propagation of *Arundo donax* and *Saccharum spontaneum*.

Giant Reed (*Arundo donax* L.) is considered, within EU programmes, as a promising crop for energy but also for cellulose production due to its high biomass productivity. *Saccharum spontaneum* L. subsp. *aegyptiacum* (Willd.) Hackel is a spontaneous species in the Sicilian area which seems very promising as a biomass species also for its rusticity and adaptation to the Mediterranean climate. The propagation of these two species is exclusively vegetative. Many problems arising from this type of propagation may be overcome by *in vitro* techniques. As concerns giant reed, in previous trials it resulted particularly suitable to micropropagation, thus making this technique very promising for large-scale multiplication. In this paper, with the final goal of reducing *in vitro* multiplication costs, the influence of four different culture media (agar and gellan-gum solidified medium, liquid medium into a temporary immersion system-RITA[®], liquid medium in a stationary state) on the rate of *in vitro* shoot multiplication was evaluated. Gellan gum and liquid medium, as compared to agar, improved the efficiency of the micropropagation process giving more shoots. Best results (5 shoots per explants) were obtained on a solid (gelled with gelrite) or a liquid medium (in a temporary immersion system or in a stationary state) containing Murashige and Skoog macro and microelements (MS), Morel's vitamins 100 mg l⁻¹ myo-inositol, 4 mg l⁻¹ BA, 1 mg l⁻¹ IAA, 0.05 mg l⁻¹ GA₃, 30 g l⁻¹ saccharose. However, the cultivation into liquid medium under temporary immersion conditions or in a stationary state was comparatively cheaper and easy but also permits a better utilisation of nutrients.

As concerns *Saccharum spontaneum* L., the first stages of micropropagation were assessed. Stem nodes with dormant buds proved to be the most effective to initiate *in vitro* cultures compared to apices. A sterilisation procedure using 5 g l⁻¹ HgCl₂ enabled the production of sterile explants. After the excision of the buds from the node, to undergo the multiplication phase, a consistent phenomenon of tissue browning was observed and removed by halving in the base medium (MS) nutrients.

Specie spontanee lignocellulosiche

Valutazioni in areali del Meridione d'Italia per destinazioni energetiche

di GIORGIO C. TESTA

DANILO SCORDIA

VENERA COPANI

L'ambiente mediterraneo caldo-arido è ricco di specie spontanee lignocellulosiche ad elevata persistenza di potenziale interesse per la produzione di biomassa per energia. Nel territorio siciliano sono state individuate quattro *Poaceae* poliennali che potrebbero essere coltivate in condizioni di *input* colturali ridotti e in ambienti dove non è sostenibile la pratica irrigua.

PAROLE CHIAVE: Specie spontanee del Mediterraneo, *Saccharum spontaneum* L. ssp. *aegyptiacum* (Willd.) Hackel, *Cymbopogon hirtus* (L.) Janchen, *Oryzopsis miliacea* (L.) Asch. e Schweinf., *Sorghum halepense* (L.) Pers.

In Europa le colture erbacee da biomassa per energia (oleaginose, zuccherine-amidacee, lignocellulosiche) trovano spazio soprattutto nelle aree a clima temperato a causa delle loro esigenze termiche e idriche; la coltivazione di queste specie nelle zone mediterranee pone gravi limitazioni soprattutto a causa della ridotta disponibilità idrica di questi ambienti durante la stagione estiva, che coincide con il periodo di massimo sviluppo di molte di loro. Per questi ambienti, la maggior parte dei modelli di riscaldamento globale prevedono, nel prossimo futuro, un'ulteriore riduzione della disponibilità idrica ed un incremento della temperatura dell'aria con conseguente crescita del *deficit* idrico (ROSENZWEIG e TUBIELLO 1997; METZGER *et al.* 2005). Alla luce di ciò, l'individuazione di colture da biomassa

per energia con elevata tolleranza alle alte temperature ed efficienza di utilizzazione dell'acqua potrebbe permettere il superamento di questi limiti.



Foto 1 - Particolare di *S. spontaneum* (Foto DISPA)

Alcune specie erbacee poliennali per la produzione di calore ed elettricità ma anche di bioetanolo di seconda generazione (*Arundo donax* L. e *Cynara cardunculus* var. *silvestris* D.C.) sono considerate tra le più adatte agli ambienti dell'Europa meridionale. Rispetto alle colture agrarie convenzionali, richiedono minori *input* energetici (fertilizzanti, irrigazioni, pesticidi, ecc.) e possono essere coltivate anche in terreni marginali (salini); alcune di queste possono 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

GIORGIO C. TESTA, DISPA - Dipartimento di Scienze delle Produzioni Agrarie e Alimentari, Università degli Studi di Catania gtesta@unict.it
DANILO SCORDIA, DISPA - VENERA COPANI, DISPA

BOX 1 - SPECIE INDIVIDUATE NEL TERRITORIO SICILIANO

***Cymbopogon hirtus* (L.) Janchen**



Famiglia: *Poaceae*
Genere: *Cymbopogon*
Spreng.
Specie: *Cymbopogon hirtus*
(L.) Janchen
Nome volgare: Barboncino
mediterraneo

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. Foglia con lamina stretta di 2-4 mm; ligula breve (1 mm), portante un ciuffo di lunghi peli. 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 violacee arrossate; glume 6 mm, lemna lineare con resta lunga 2 cm circa (PIGNATTI 1982).

***Oryzopsis miliacea* (L.) Asch. et Schweinf**



Famiglia: *Poaceae*
Genere: *Oryzopsis* Michx.
Specie: *Oryzopsis miliacea*
(L.) Asch. et Schweinf
Nome volgare: Miglio

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. I culmi sono lignificati alla base, abbastanza induriti, nodosi con numerosi rami laterali. Nelle zone più calde sono spesso svernanti, e per tutti questi caratteri rappresentano un'interessante convergenza con la struttura bambusoide, caratteristica di molte graminacee tropicali e subtropicali, che rappresentano per l'ambiente mediterraneo una forma insolita, classificabile come fanerofita.

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; spighe uniflore, lungamente peduncolate, glume paglierine 3-3,5 mm, lemna 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**



Famiglia: *Poaceae*
Genere: *Sorghum* Moench
Specie: *Sorghum halepense*
(L.) Pers.
Nome volgare: Sorgo selvatico, Sorghetto, Sagginella, Melghetta, Melgastro, Canestrello, Cannecchia

È presente 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. 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; spighe 4-6 mm, appaiate, l'una sessile con un fiore ermafrodita, l'altra pedunculata con un fiore maschile o abortivo; glume pubescenti in basso, lucide, mentre quelle delle spighe peduncolate bruno-rossastre; lemna mutico o con resta di 5-15 cm (PIGNATTI 1982).

***Saccharum spontaneum* (L.) ssp. *aegyptiacum* (Willd.) Hack**



Famiglia: *Poaceae*
Genere: *Saccharum* L.
Specie: *Saccharum spontaneum* L.
Subspecie: *Saccharum spontaneum* (L.) ssp. *aegyptiacum* (Willd.) Hack.
Nome volgare: Canna d'Egitto

La canna d'Egitto è una specie spontanea del bacino del Mediterraneo ed ampiamente diffusa lungo le coste siciliane. È una pianta cespugliosa, perenne, rizomatosa con culmi eretti (2-4 m), robusti, pieni ed internodi solidi, molto simile nell'aspetto esteriore al Miscanto. Possiede foglie pelose sulla guaina, con lamina glabra di colore verdastro tendente al bianco-argento, 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 spighe 4-6 mm avvolte da peli di 10-12 mm; racemi 3-15 cm con rachide fragile ai nodi, glume acuminate, cigliate alla base; spighe 4-6 cm, appaiate (una sessile e l'altra pedunculata), avvolte da peli di 10-12 mm; glume acuminate, cigliate alla base (PIGNATTI 1982).

	N° culmi m ⁻²	Diametro basale (mm)	Altezza culmo (cm)	Culmi (%)	Foglie (%)	Umidità culmi (%)	Umidità foglie (%)	Biomassa fresca (t ha ⁻¹)	Biomassa secca (t ha ⁻¹)
<i>S.spontaneum</i>	21c	10,20a	274a	70a	30b	68,03a	42,68b	27,63a	9,59a
<i>S. halepense</i>	23c	6,40b	156b	80a	20b	32,57c	9,44d	7,75b	2,69b
<i>C. hirtus</i>	133a	2,55c	120c	57b	43a	48,12b	32,37c	7,13b	2,47b
<i>O. miliacea</i>	54b	3,40c	130bc	72a	28b	67,83a	55,35a	8,51b	2,95b

Tabella 1 - Dati biometrici e biomassa delle specie allo studio alla fine del primo ciclo culturale (Febbraio 2011). Lettere differenti indicano significatività per $p \leq 0,05$ secondo il test Student-Newman-Keuls.

(creazione di *habitat* per la fauna selvatica). Ulteriori vantaggi possono derivare dal fatto che queste specie fungono da serbatoi di carbonio (COSENTINO *et al.* 2008) e da sistema di filtraggio per la rimozione di prodotti agrochimici. **Molte altre specie perenni, presenti allo stato spontaneo negli ambienti caldo-aridi mediterranei, presentano queste stesse prerogative e potrebbero essere quindi introdotte in coltura in questi ambienti.**

Il Dipartimento di Scienze delle Produzioni Agrarie e Alimentari (DISPA) dell'Università degli Studi di Catania, nell'ambito della sua attività di ricerca sulle colture energetiche ne ha individuato e raccolto alcune, appartenenti alla famiglia delle *Poaceae*, a carattere perennante (emicriptofite), cespitose o rizomatose, che sembrano presentare le caratteristiche ricercate.

Cespitose:

- *Ampelodesmos mauritanicus* (Poir.) T. & Durand Schinz
- *Oryzopsis miliacea* (L.) Asch. & Schweinf
- *Hypparrhenia hirta* (L.) Stapf (sin. *Cymbopogon hirtus*)
- *Lygeum spartum* L.

Rizomatose:

- *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.
- *Sorghum halepense* (L.) Pers
- *Saccharum spontaneum* L. ssp. *aegyptiacum* (Willd.) Hackel (Foto 1)

Nell'ambito del programma del progetto FAESI (Filiera Agro Energetiche nel Sud Italia) del MiPAF, è stata realizzata una collezione delle suddette specie al fine di caratterizzarle per gli aspetti agronomici e qualitativi ed esprimere un giudizio sulla possibilità di messa a coltura.

Un primo confronto è stato effettuato tra *Oryzopsis miliacea*, *Cymbopogon hirtus*, *Sorghum halepense* e *Saccharum spontaneum*. Le specie, in questa fase, sono state **propagate tutte vegetativamente**, sebbene le prime tre producano seme vitale, mentre per *Saccharum* non ne è stata ancora accertata la vitalità del seme. La propagazione delle prime due specie è stata effettuata per divisione del cespo, quella di sorgo *halepense* e *Saccharum* per tratto di rizoma. Il trapianto degli organi vegetativi è stato effettuato il 2 Dicembre 2009 presso l'azienda didattico sperimentale dell'Università di Catania (contrada Passo Martino) su suolo profondo di origine alluvionale. Le piante sono state poste spaziate (1 pianta m⁻²) in parcelle di 80 m² alla distanza di 100 cm sia sulla fila che tra le file. **La prova è stata condotta in condizioni di disponibilità idrica naturale e senza apporto di elementi nutritivi** dal momento che la dotazione del suolo è risultata sufficiente a soddisfare i fabbisogni di queste specie poco esigenti.

In questa nota si riportano, oltre che i primi risultati della suddetta ricerca, brevi schede descrittive delle specie in collezione (Box 1).

PRIMI RISULTATI DEL CONFRONTO

L'insediamento dei cespi e dei rizomi è avvenuto con successo (100% di sopravvivenza) e l'assenza di irrigazione non ha determinato successive perdite di piante. Il primo ciclo culturale si è concluso a Febbraio 2011, con la raccolta della biomassa epigea. In questa occasione sono stati rilevati alcuni caratteri biometrici su 10 piante per ciascuna specie. La **dimensione del cespo singolo**, rilevata alla sua base è risultata molto diversificata, tra 10,2 mm (*S. spontaneum*) e 2,6 mm (*C. hirtus*); i cespi contenevano nel primo caso 21 culmi e nel secondo 133 culmi (Tabella 1). L'**altezza dei culmi** variava tra 274 cm di *S. spontaneum* a 120 cm di *C. hirtus*. La **ripartizione della biomassa nelle sue componenti principali** (culmi e foglie) ha messo in evidenza la bassa percentuale di foglie in *Sorghum* (20%), *Oryzopsis* e *Saccharum* (28 e 30%, rispettivamente) rispetto a *C. hirtus* (43%); ciò permette di ipotizzare un possibile utilizzo di queste specie per la conversione termo-chimica, in quanto i culmi, generalmente, hanno un contenuto in ceneri e minerali inferiore rispetto alle foglie, ponendo quindi minori problemi all'interno della camera di combustione. L'**umidità dei culmi alla raccolta** è variata tra il 33% del *Sorghum* ed il 68% di *Saccharum* e *Oryzopsis*, valori che indicano la necessità di un'ulteriore riduzione dell'umidità della biomassa prima dell'immissione in caldaia. L'elevata umidità riscontrata in *Saccharum* e *Oryzopsis* li rendono buoni candidati per la produzione di biogas; tuttavia, altri parametri, quali ad esempio il rapporto C/N, dovranno essere rilevati, così come il contenuto di polisaccaridi strutturali (cellulosa, emicellulosa e lignina) potrebbe dare informazioni utili ai fini della produzione di bioetanolo di seconda generazione. Per quanto riguarda il *Saccharum* sono già disponibili risultati di ricerche sperimentali condotte dal DISPA in collaborazione con l' "US Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory (Madison, WI, USA)" (SCORDIA *et al.*, 2010) che evidenziano l'elevata potenzialità di questa specie nei processi di bioconversione.

La **biomassa secca epigea** prodotta da *Sorghum*, *Cymbopogon* e *Oryzopsis* non ha mostrato differenze significative (2,7 t ha⁻¹, nella media delle tre specie) e non si è discostata da quella ottenibile nel corso del primo ciclo produttivo con il trapianto di talee di culmo di *Arundo donax* L. Rese significativamente più elevate sono state ottenute con *Saccharum* (9,6 t ha⁻¹) che quindi già al primo anno è in grado di raggiungere livelli produttivi ragguardevoli. Questi risultati confermano le

ottime *performance* produttive messe in evidenza già in precedenti prove condotte a Catania in cui questa specie è stata confrontata con genotipi diversi di *Miscanthus* spp, (COSENTINO *et al.* 2006).

Come riportato da COSENTINO *et al.* (2011), negli ambienti caldo-aridi mediterranei, il *Saccharum* è in grado di fornire produzioni superiori alle 20 t ha⁻¹ di biomassa secca già a partire dal secondo anno di coltivazione, in condizioni idriche naturali, grazie al suo rapido insediamento, accrescimento, elevata copertura del suolo e capacità di esplorazione degli strati di suolo più profondi.

CONSIDERAZIONI FINALI

Questi primi risultati attestano un'evidente superiorità di *Saccharum spontaneum* rispetto alle altre specie a confronto; i risultati del primo anno, che generalmente è dedicato all'insediamento della coltura, indicano che questa specie è in grado di competere anche con specie quali *Arundo* e *Miscanto*, già affermate e apprezzate per il rapido accrescimento e l'elevata produttività. Un giudizio ragionato sulle specie a minore sviluppo, può essere formulato quando saranno disponibili dati pluriennali sulla qualità della biomassa, l'adattamento alla coltivazione e le destinazioni energetiche più convenienti. La possibilità di propagarle per via gamica le rende comunque particolarmente interessanti sia da un punto di vista agronomico che economico. In ogni caso, come è noto, le specie poliennali vanno valutate oltre che in un arco di tempo ampio, con un approccio olistico, più rispondente all'obiettivo di rendere le colture energetiche un'opportunità per l'agricoltura e contribuire nel contempo ad equilibrare il bilancio energetico dell'agroecosistema.

Bibliografia

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., 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 (2): 81-95.

COSENTINO S.L., COPANI V., SCORDIA D., TESTA G., 2011 - ***Saccharum spontaneum* L. ssp. *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: 160-161.

METZGER M.J., BUNCE R.G.H., JONGMAN R.H.G., MÜCHER C.A., WATKINS J.W., 2005 - **A climatic stratification of the environment of Europe.** *Global Ecol Biogeogr* 14: 549-563.

PIGNATTI S., 1982 - **Flora d'Italia.** Edagricole, Bologna. Vol. I.

ROSENZWEIG C., 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.

KEYWORDS: Wildspread Mediterranean species, *Saccharum spontaneum* L. ssp. *aegyptiacum* (Willd.) Hackel, *Cymbopogon hirtus* (L.) Janchen, *Oryzopsis miliacea* (L.) Asch. e Schweinf., *Sorghum halepense* (L.) Pers.

Abstract: - **Lignocellulosic wild species. Evaluations in southern areas of Italy for energy use**

In Mediterranean area there are few candidate crops as dedicated for biomass production, due to water shortage during spring-summer time. According to the sustainability criteria some native perennial grasses could be included since they are adapted to these environments and can utilize water more efficiently than annual crops even though sometime are more difficult to grow. In the present work a comparison between four native perennial grasses has been carried out using low input levels. *S. spontaneum* showed is great potentiality respect to the other studied grasses in term of aboveground biomass yield.

Biomasse residuali agricole e forestali

Impiego a scopi energetici

di GIOVANNI CARLO DI RENZO

GIUSEPPE ALTIERI

FRANCESCO GENOVESE

Nel presente lavoro vengono esaminate in sintesi le tecnologie attualmente disponibili per la trasformazione delle biomasse agricole e forestali residuali a fini energetici, con riferimento allo stato dell'arte nazionale ed internazionale. Si accenna inoltre alla disponibilità ed utilizzo di biomasse residuali nella Regione Basilicata ed all'ipotesi di progettazione di una piattaforma per la produzione di energia termica ed elettrica.

PAROLE CHIAVE: reflui zootecnici, biomasse residuali, caldaie, cogenerazione, biogas, energia elettrica.

Il termine biomasse 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 a quelle forestali e agroindustriali (McKENDRY 2002; KLASS 1998).

Le principali **fonti di biomasse a fini energetici** rinvenienti dal settore agricolo possono essere così classificate:

- biomasse di origine forestale e residui delle industrie di prima trasformazione del legno: residui provenienti dalle utilizzazioni forestali, residui della lavorazione del legno non trattato, potature del verde urbano, residui dell'industria connessa alla selvicoltura;
- biomasse di origine agricola e

residui delle industrie agro-alimentari: produzioni lenose (salice, pioppo, robinia, eucalipto), o erbacee (sorgo, canna), da coltivazioni dedicate, produzioni di piante oleaginose (girasole, colza), produzione di piante zuccherine (barbabietola da zucchero), residui delle potature, residui delle industrie alimentari (sansa e siero di caseificazione).

Secondo stime elaborate da ITABIA, utilizzando regolarmente il potenziale di biomasse proveniente da materie prime non alimentari derivanti da foreste, colture specifiche, residui agro-zootecnici ed agroindustriali, **l'Italia potrebbe risparmiare annualmente dai 10 ai 12 milioni di tonnellate di petrolio, riducendo le emissioni di anidride carbonica di 30 milioni di tonnellate all'anno**; inoltre, a



Raccolta di residui della potatura di ulivi per una successiva conversione in energia termica.

GIOVANNI CARLO DI RENZO DITEC - Dipartimento Tecnico Economico per la Gestione del Territorio Agricolo Forestale- Università degli Studi della Basilicata. Potenza - GIUSEPPE ALTIERI DITEC, giuseppe.altieri@unibas.it - FRANCESCO GENOVESE DITEC

parità di energia prodotta, le biomasse potrebbero creare dieci volte più posti di lavoro rispetto alle fonti tradizionali. Le risorse agro-energetiche in Basilicata derivano dalle operazioni colturali e/o di manutenzione di boschi, frutteti e seminativi per quanto riguarda i materiali lignocellulosici, tuttavia una rilevante disponibilità di biomasse per la conversione energetica deriva dal liquame/letame degli allevamenti zootecnici e dagli scarti di produzione dell'industria alimentare. Allo stato attuale l'utilizzazione delle biomasse residue risulta molto limitata rispetto alle potenzialità; tuttavia la domanda potrebbe essere incrementata abbinando anche la richiesta da parte di piccoli impianti di cogenerazione di livello aziendale, cooperativo o comprensoriale che sono in fase di sviluppo.

A causa della grande varietà delle biomasse (cui corrisponde la varietà delle caratteristiche chimico-fisiche), non esiste un'unica tecnologia per utilizzare l'energia tecnicamente disponibile.

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 (ROSCHE e KALTSCHMITT 1999; COMBS 2002).

PRODUZIONE DI ENERGIA TERMICA

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:

- **legna** in ciocchi o tronchetti, 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%;
- **cippato**, un combustibile derivato dalla sminuzzatura di legno spesso 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;
- **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.

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).

Attualmente, a livello commerciale, si possono distinguere diverse tipologie di caldaia, distinte per alcuni aspetti costruttivi e per la potenza termica prodotta. Le caldaie di piccola taglia (0,1-0,5 MW) sono generalmente alimentate a cippato, *pellet* e residui vari di legno e sono in grado



Allevamento bovino della Basilicata: dal recupero dei liquami e dei reflui zootecnici è possibile la conversione in energia termica ed elettrica.

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; RENTIZELAS *et al.* 2009) utilizzando un ciclo Rankine con espansione del fluido in una turbina accoppiata ad un generatore elettrico (DUMIA *et al.* 2004).

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.

PRODUZIONE DI BIOGAS

La produzione di biogas avviene per digestione anaerobica e può essere mesofila o termofila, in relazione alle temperature alle quali viene condotto il processo.

Ovviamente il tipo di processo determina differenze in termini di costi ed efficienza, infatti nel **processo termofilo** (temperatura di circa 55-60°C) a fronte di elevati costi di gestione si ottiene una più alta efficienza del biogas prodotto. Nel **processo mesofilo** (35-40°C) i costi di gestione sono invece più bassi, ma peggiore è anche l'efficienza nella produzione di biogas.

Si rileva la disponibilità inoltre di impianti di cogenerazione, cioè in grado di generare sia energia termica che elettrica a partire dal biogas generato.

Gli impianti attualmente disponibili sul mercato si suddividono in base al grado di complessità tecnologica e vanno dagli impianti più semplici a quelli più evoluti.

Gli impianti più semplici sono costituiti da una vasca di raccolta dei liquami (spesso preesistente in azienda) e da una copertura cosiddetta gasometrica, avente lo scopo di raccogliere il gas sviluppatosi dalla fermentazione anaerobica. Nelle condizioni più economiche la fermentazione avviene a freddo, quindi con rendimenti variabili in relazione alla temperatura registrata durante l'anno, mentre con sistemi riscaldati si ottengono rendimenti più elevati per tempi di ritenzione più ridotti (20 giorni vs. 60 giorni dei sistemi a freddo).

Gli impianti per la produzione di biogas (per liquami zootecnici) si possono classificare in impianti a miscelazione completa, *plug-flow*, *up-flow* ed impianti per biomasse superdense.

Progettazione di una piattaforma per la produzione di energia termica ed elettrica in Basilicata

Allo scopo di utilizzare meglio le biomasse residuali di origine agroforestale e le quantità di reflui e liquami provenienti dalle aziende zootecniche presenti in una zona a vocazione agroalimentare e zootecnica della Basilicata (denominata Val D'Agri), nell'ambito del Programma di Ricerca Ministeriale FAESI (Filiera Agro Energetiche del Sud Italia) è stata compiuta un'indagine conoscitiva relativa alle potenzialità di approvvigionamento di queste biomasse residuali (compresi i sottoprodotti della lavorazione del latte) ed una successiva progettazione di una piattaforma per la produzione di energia termica ed elettrica, mediante la produzione di biogas.

Configurazione dell'impianto per la produzione di energia termica

L'impianto è progettato per essere alimentato con biomasse vegetali e residuali. Il combustibile agroforestale dell'impianto è costituito da legno "vergine" (in forma di cippato) sottoposto a preliminare essiccazione, proveniente dalla coltivazione del bosco, da patate, o da filiere agricole e di recupero che producono residui vegetali non trattati se non meccanicamente. A tal riguardo in Tabella 1 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.

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 frigoriferie) 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 è dotato di tutti i sistemi di prevenzione e controllo delle emissioni previsti dalle normative vigenti:

- **linea di trattamento fumi**, dimensionata per garantire il rispetto dei limiti fissati dalle attuali normative di legge, con monitoraggio in continuo delle emissioni gassose;
- **trattamento di depurazione delle acque** prodotte nell'impianto, incluse quelle di prima pioggia;
- **raccolta ed evacuazione delle ceneri** di combustione, destinate al riutilizzo per il compostaggio.

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, costituendo una scorta strategica di legname. La capacità complessiva di stoccaggio di residui di potatura, che costituisce la scorta strategica di combustibile, è 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:

- **piazzale stoccaggio biomasse**: area coperta, con un volume utile di stoccaggio tale da assicurare l'autonomia di funzionamento della centrale. 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 rotazione 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;
- **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;

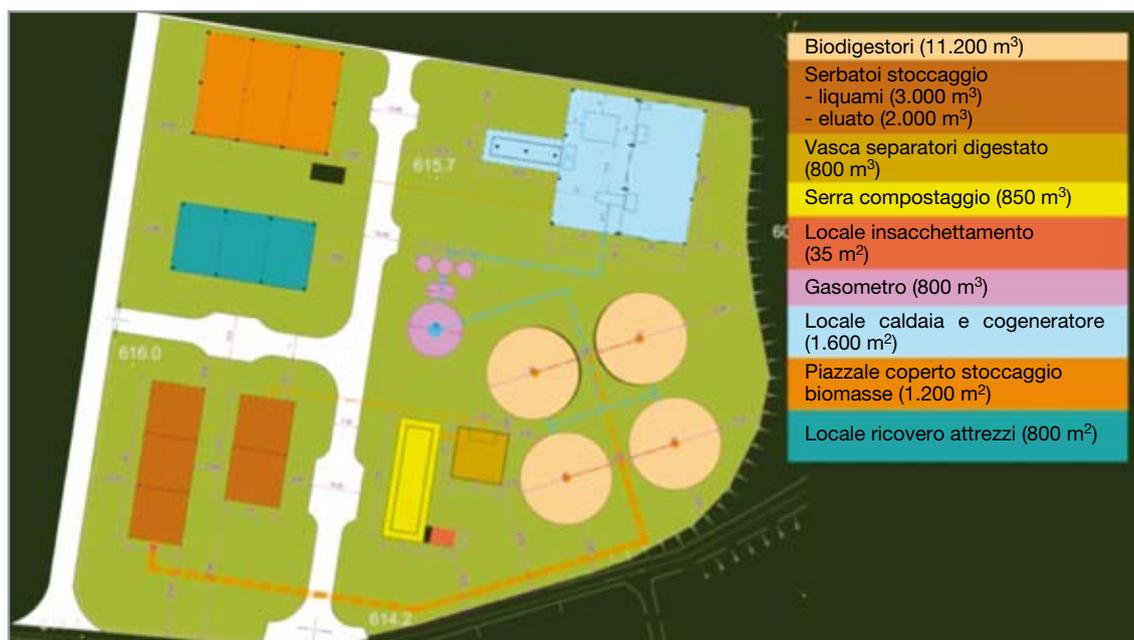


Figura 1 - Elaborazione grafica in pianta dei componenti della piattaforma ipotizzata; sono visibili: il piazzale per il ricovero delle biomasse, il locale caldaia e cogeneratore, i quattro biodigestori di uguale capacità, la serra di compostaggio ed il gasometro.

	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
Totale	1.341,50	1.156,47	757,86	505,24	698,86	459,78	1.030,16	735,83

Tabella 1 - Produzione potenziale di biomassa residuale (proveniente dalla coltivazione di cereali, e da vigneti, uliveti e frutteti) riferita al comprensorio della Val D'Agri (Basilicata).

Tipologia refluo	Portata (m ³ 24h ⁻¹)	S.T. (%)	(S.V./S.T.) (%)	Resa biogas (N m ³ t ⁻¹ S.V.)	Produzione Biogas (N m ³ 24h ⁻¹)
Letame bovino	75	18,0	75,0	400	4050,0
Liquame bovino	120	8,5	76,5	325	2536,0
Liquame suino	19	6,1	72,5	425	357,1
Siero di latte	7,1	5,4	86,0	670	220,9
Totale					7164,0

Tabella 2 - Quantitativi medi giornalieri di reflui zootecnici e di siero di latte potenzialmente disponibili, relative proprietà chimico - fisiche (% solidi totali, rapporto tra solidi volatili e solidi totali, resa in biogas), e produzione giornaliera teorica di biogas.

- **vasca di alimentazione caldaia**, equipaggiata con un sistema di raccolta del cippato che alimenta la tramoggia di carico della 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.

Configurazione dell'impianto per la produzione di energia elettrica

Il territorio oggetto di studio ha compreso i comuni di Grumento Nova, Marsico Nuovo, Marsicovetere, Moliterno, Paterno, Sarconi, Tramutola e Viggiano, per una superficie totale pari a 369,78 km² ed una popolazione di 21.537 unità (dati ISTAT 2009).

L'indagine preliminare ha interessato **24 aziende** zootecniche:

- 2 allevamenti di bovini da carne
- 19 allevamenti di bovini da latte
- 2 allevamenti suini da carne
- 1 centro parentale suini

Le aziende sono state scelte secondo criteri di numero capi allevati, dotazione strutturale (vasche liquame e platee per letame) tale da rendere efficienti e veloci le operazioni di carico e facilità di accesso (distanza dalla viabilità principale, tipologia e dimensione strada di accesso, disponibilità di spazio per la manovra degli automezzi, ecc.).

L'indagine condotta permette di avere un quadro esauritivo del quantitativo di reflui zootecnici e siero di latte (Tabella 2) che dalle aziende zootecniche e dai caseifici possono essere trasportate alla piattaforma agro energetica per la produzione di biogas, da utilizzare per la gene-

razione di energia elettrica e calore.

Considerando i quantitativi giornalieri di reflui zootecnici e di siero di latte ed in relazione alle proprietà chimico-fisiche (umidità %, contenuto in solidi totali e frazione di solidi volatili) si perviene alla definizione dei quantitativi totali di biogas giornalieri che il digestore può produrre (Tabella 2).

Il materiale, precedentemente stoccato in una vasca di accumulo, viene omogeneizzato e miscelato ed inviato al digestore. Ipotizzando l'impiego di 4 digestori per un volume complessivo di 11.200 m³, si ottiene un tempo di ritenzione pari a 51 giorni circa.

Il biogas 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%. Successivamente, quindi, il biogas è convogliato in un cogeneratore per la generazione di energia termica ed energia elettrica, che viene in parte ceduta alla rete elettrica di distribuzione e in parte utilizzata per autoconsumo. L'energia termica può essere usata per riscaldare il digestore regolando il processo di produzione del biogas, riscaldare eventuali serre, oppure essere immessa nella rete di telerscaldamento.

Il biogas prodotto, invece, viene inviato al cogeneratore, dopo aver subito una desolfurazione in un apposito impianto. Il digestato finale viene separato nelle due frazioni solida e liquida (mediante un rotovaglio o un decanter); la frazione solida alimenta il letto di compostaggio, mentre la frazione liquida viene in parte utilizzata per scopi di servizio (fino al 50% del liquido derivato dalla produzione di biogas può essere utilizzato direttamente sul compost) e la restante frazione ulteriormente depurata in vasche biologiche. Con le quantità di biogas prodotto, può essere potenzialmente ottenuta una potenza termica complessiva pari a 1592 kW, che, ipotizzando un rendimento termodinamico dell'85%, risulta essere effettivamente di 1.353 kW.

Considerando un rendimento elettrico del 39% ed un rendimento termico del 45% **possono essere prodotti rispettivamente 528 kW di potenza elettrica e 609 kW di potenza termica**. Ragionando in termini di energia, ipotizzando che un 10% dell'energia termica ed un

30% di quella elettrica vengono spese per autoconsumo, la restante parte costituisce la frazione vendibile.

Una visione in pianta degli elementi presenti all'interno della piattaforma proposta è riportata nella Figura 1.

Il ciclo di trasformazione ipotizzato si chiude con la produzione ed insacchettamento di *compost*. La frazione solida del digestato in uscita dall'impianto di biogas viene mescolata a componenti strutturali e viene impiegato un *compost mixer* (diffusore) per la omogeneizzazione della biomassa e per l'immissione di acqua durante la maturazione.

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.

CONCLUSIONI

Dagli studi effettuati nell'ambito del Programma di Ricerca FAESI, del quale si riportano qui dei risultati sintetici, si è pervenuti alla ipotesi progettuale di una piattaforma per la produzione di energia termica ed elettrica dal recupero di biomasse residuali locali.

Attualmente è noto che la combustione rappresenta il metodo più comune di conversione della biomassa, e sono disponibili caldaie di piccola taglia (0,1-0,5 MW), che ben si prestano nell'ottica di un utilizzo nella piccola azienda agricola.

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). Allo stesso tempo, però, la disponibilità di reflui zootecnici e di sottoprodotti della lavorazione del latte (siero) rende possibile la conversione in biogas, mediante un processo di digestione anaerobica, e la generazione contemporanea, mediante impianti di cogenerazione, di energia elettrica e calore.

Con riferimento all'ipotesi di realizzazione di una piattaforma per la produzione di energia da biomasse residuali, dall'analisi effettuata risulta che per quanto riguarda la produzione di energia termica per combustione, è di fondamentale importanza la corretta organizzazione della logistica del processo e l'approvvigionamento di quantità ottimali di materia prima.

Pertanto, la presenza nell'area deputata ad ospitare la piattaforma, di un centro di raccolta e stoccaggio potrebbe rendere più agevole il coordinamento delle operazioni di raccolta e la migliore valorizzazione dei diversi residui agroforestali.

Per quanto riguarda l'impianto di digestione anaerobica dei reflui zootecnici e la produzione di biogas, la corretta collocazione della piattaforma proposta rispetto alle

aziende zootecniche conferenti la materia prima (si ipotizza come ideale un raggio di 25 km dalle aziende) appare fondamentale per garantire l'approvvigionamento dei reflui e una gestione sostenibile della struttura.

Indubbi vantaggi si ottengono dalla considerazione del fatto che 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. Inoltre, il processo di digestione anaerobica stabilizza le deiezioni di partenza e riduce le emissioni di cattivi odori. La produzione di *compost* chiude il ciclo e restituisce un ammendante di elevata qualità.

Bibliografia

COMBS J., 2002 - **Biomass energy: an industry waiting for growth**. Renewable Energy World, Review issue 2002-03.

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".

MCKENDRY P., 2002. - **Energy production from biomass (part 1): overview of biomass**. Bioresource Technology, 83, 37-46.

KLASS D.L., 1998. - **Biomass for renewable energy, fuels, and chemicals**. Academic Press, San Diego, California.

RENTIZELAS A., KARELLAS S., KAKARAS E., TATSIPOULOS I., 2009. - **Comparative techno-economic analysis of ORC and gasification for bioenergy applications**. Energy conversion and management, 50, 3, 674-681.

ROSCH C., M. KALTSCHMITT, 1999. - **Energy from biomass – do non-technical barriers prevent an increased use?** Biomass & Bioenergy, 16: 347-356.

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.

KEYWORDS: zootechnical sewage, cogeneration, biogas, electricity generation, boilers.

Abstract: Recovery of forest and agricultural residual biomass to produce energy

Biomass use both for electric and thermal energy production in higher power plants has spread in recent times, due to the presence of several positive aspects. A large amount of residual biomass is available, due to residual product from pruning, forest maintenance and food chain. 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). The present paper resumes the state of the art of the available technologies for residual biomasses conversion to thermal and electrical power.

Moreover data about the biomass availability in Basilicata (South Italy) region and a study about a project for both biomass collection and energy conversion are shown.

Raccolta dei sarmenti di vite e olivo

Analisi di diversi cantieri sperimentali

di PAOLA D'ANTONIO
CARMEN D'ANTONIO
CARMELA EVANGELISTA
VITO DODDATO

Nel presente lavoro sono illustrati i risultati, dal punto di vista tecnico-economico, di 4 differenti cantieri di raccolta dei sarmenti di vite e di 2 cantieri di raccolta di sarmenti di olivo siti in un'area nel Nord Est della Basilicata al confine con la provincia di Foggia.

PAROLE CHIAVE: biomasse residue, sarmenti, imballatura, trinciatura.

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).

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 CO₂, si può considerare quasi neutro (ROMAN e TURNBULL 1997).



Foto 1 - Potature di olivo disposte in andana prima della raccolta (Foto CRA - ING).

Per ottenere trasformazioni energetiche con elevate efficienze e per un utilizzo sostenibile delle biomasse, è necessario però considerare impianti con tecnologie moderne e soprattutto **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, si vogliono analizzare diverse possibilità di raccolta dei residui di potatura in un comprensorio ad elevata vocazione viticola e olivicola (Foto 1).

PAOLA D'ANTONIO, DITEC - Dipartimento Tecnico Economico per la Gestione del Territorio Agricolo Forestale - Università degli Studi della Basilicata. Potenza dantonio@unibas.it - CARMEN D'ANTONIO, DITEC - CARMELA EVANGELISTA, DITEC - VITO DODDATO DITEC



Foto 2 - Imballatrice Ripartrak (a), Trinciaticaricatrice Berti (b).

MATERIALI E METODI

Le prove sperimentali di raccolta delle biomasse residue hanno interessato i sarmenti di vite ed olivo, 2 colture particolarmente diffuse sul territorio lucano, con il preciso scopo di fornire indicazioni tecniche agli agricoltori sulla possibilità e fattibilità dello sfruttamento a fini energetici dei sarmenti il cui smaltimento mette in seria difficoltà gli agricoltori e i bilanci aziendali.

Le prove sperimentali di raccolta dei **residui di potatura della vite** hanno previsto il confronto di quattro differenti cantieri (Tabella 1) al fine di valutare la tecnologia più idonea fra 4 macchine (Foto 2 e 3), attualmente

disponibili sul mercato, in termini tecnici ed economici. Prima delle prove, inoltre, è stata calcolata la **biomassa fresca prodotta dal vigneto** e dai dati raccolti ed è emerso che la produttività di sarmenti nel presente vigneto è stata pari a 2,7 t ha⁻¹.

Relativamente ai **residui di olivo** sono stati raccolti utilizzando due diversi cantieri utilizzando 2 delle macchine precedentemente testate nella raccolta dei sarmenti di vite, il primo costituito dall'imballatrice leggera della Caeb, il secondo dalla trinciaticaricatrice della Berti ed entrambi sono stati allestiti in un uliveto di 28 filari a varietà Ogliarola e Coratina.

	Operazione	Macchine testate
Cantiere 1	Raccolta con rastrello	Trattrice Landini 63 kW + Rastrello artigianale
	Imballatura e Carico	Trattrice New Holland TL 66 kW + Imballatrice parallelepipeda Ripartrak Magnum 1500-1600.
Cantiere 2	Trinciatura e Carico	Trattrice Landini 85 63 kW + Trinciaticaricatrice Berti/C Trattrice New Holland TL 66 kW + Carrello
Cantiere 3	Imballatura	Trattrice New Holland DT5586 63 kW + Imballatrice Caeb MP400/S 1230
	Recupero balle nel filare + Carico Balle	Trattrice Same Dorado 90 63 kW + Cesto Trattrice New Holland TL 66 kW + Carrello
Cantiere 4	Imballatura	Trattrice New Holland DT5586 63 kW + Imballatrice Leggera Caeb MP400/S 1230
	Carico Balle	Trattrice New Holland TL 66 kW + Carrello.

Tabella 1 - Descrizione di 4 cantieri 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		
Berti	Trinciatura e carico	3,5	1,09	0,99	-	62,89	-	63,00	-
Caeb	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		
Caeb 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		

Tabella 2 - Dati tecnico-operativi dei quattro cantieri analizzati per la raccolta dei sarmenti di vite.



Foto 3 - Rotoimballatrice Caeb (a), Rotoimballatrice Caeb con accumulatore (b).

RISULTATI

Dall'analisi dei dati raccolti in campo, è stato possibile valutare la **capacità operativa** dei cantieri testati e il **costo di produzione delle balle e del trinciato** di vite e di olivo.

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 2 sono riportati la descrizione e i principali parametri tecnico-operativi ed economici rilevati per la vite.

Dall'analisi del Cantiere 2 dove è stata utilizzata la trinciaticaricatrice Berti, 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 ha fatto registrare una perdita di materiale rispetto alla produzione raccogliabile di circa il 40%. Infatti, è stata registrata una bassa produzione ed un conseguente costo elevato del trinciato pari a 63,00 € t⁻¹.

L'imballatrice leggera Caeb testata nei Cantieri 3 e 4 è risultata molto efficace, 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, e 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 balle rimane contenuto e simile a quello calcolato utilizzando la Ripartrak (Cantiere 1). Il costo calcolato per ciascuna balle del peso medio di 26-28 kg è nel Cantiere 3 di 1,08 € balle⁻¹.

Il costo più basso per la realizzazione di una balle lo si è ottenuto da Cantiere 4, dove è stata utilizzata 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 balle, del peso di 26-28 Kg, di 0,92 €.

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 balle) 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 balle, 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.

Relativamente all'olivo, le prove sperimentali sono state finalizzate al confronto di due diverse tipologie di gestione dei sarmenti di olivo attraverso l'imballatura, mediante rotoimballatrice leggera Caeb con accumulatore, e trinciatura, mediante la trinciaticaricatrice Berti (Tabella 3).

Dall'analisi dei dati, risulta una notevole incidenza dei costi di carico delle balle, 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 balle di olivo ad un prezzo di 3,00 €, che, considerando il costo di realizzazione della balle pari a 1,47 €, consente un margine di guadagno pari a 1,53 € per ogni balle.

In merito alle prove sperimentali con trinciaticaricatrice Berti realizzate per l'olivo, i sestri 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.

Cantiere	Operazione	Costo totale (€ h ⁻¹)	Costo unitario balle (€)	Costo (€ t ⁻¹)
Caeb con caricatore	Imballatura	76,31	1,47	43,30
	Carico Balle			
Berti	Trinciatura	67,13	16,55	40,60
	Carico			

Tabella 3 - Dati tecnico-operativi dei 2 cantieri per la raccolta dei sarmenti di olivo.

DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Il confronto fra i diversi cantieri ha messo in evidenza l'**importanza di una scelta razionale delle macchine da utilizzare** in campo e quanto questo si traduca in un'efficacia e in una convenienza economica dell'operazione di raccolta dei sarmenti e di un conseguente margine nello sfruttamento a livello aziendale o nella movimentazione o in ultima analisi vendita di tali sottoprodotti.

Infatti, la prova effettuata con la **trinciaraccogliatrice** 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, tanto da far ritenere più idonea tale macchina a vigneti con filari della lunghezza superiore ai 150 m in modo da sfruttare completamente la macchina.

Nel caso delle **imballatrici** bisogna fare un'attenta osservazione relativamente alle condizioni del vigneto all'interno del quale si opera. L'imballatrice/compattatore parallelepipedo (Ripartrak Magnum) ad esempio, a causa della sua larghezza di lavoro di 2,4 m è risultata troppo larga per il 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, rispetto alle cilindriche.

Le **imballatrici leggere**, inoltre, 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 lucani) 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 balle all'interno del filare, riducendo i costi che passano da 1,08 € per ogni balledda 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 balledda.

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 sestri 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.

Bibliografia

COMBS J., 2002 - **Biomass energy: an industry waiting for growth**, Renewable Energy World, Review issue 2002-03.

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.

ROSCH C., KALTSCHMITT M., 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.

KEYWORDS: residual biomasses, baling machines, pruning

Abstract: Management of pruning of vines and olives using balers

The recovery of residual biomass can be represent an opportunity 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 because of their management. The optimization of a site for supply and collection of residual biomass is needed In order to take advantage of technologies already available transforming a waste in a good energy resource. 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.

Bilanci economici delle colture energetiche

di DOMENICO COALOA

Le coltivazioni per uso energetico, ormai praticate su larga scala, rappresentano una alternativa interessante in agricoltura ma devono essere valutate attentamente le potenzialità produttive e la redditività in base ai modelli colturali adottati e nell'ambito dei distretti energetici di riferimento.

PAROLE CHIAVE: colture energetiche, arboricoltura, biomassa per energia, economia, bilanci colturali.

Le energie da fonti rinnovabili stanno avendo anche in Italia una certa diffusione grazie alle politiche di incentivazione e rappresentano buone prospettive per il raggiungimento dell'obiettivo previsto dal Piano di azione nazionale per le energie rinnovabili (17% al 2020 di rinnovabili sul consumo lordo). Tuttavia si assiste a uno sviluppo disordinato e privo di programmazione territoriale a causa anche di **difficoltà di coordinazione da parte delle regioni nel regolare gli investimenti a livello locale**. Le bioenergie, biomasse e biogas, sono le fonti che hanno dimostrato il maggiore potenziale di sviluppo in questi anni diventando le più importanti dopo l'idroelettrico (DONATI 2011). Le filiere agroenergetiche per la produzione di biodiesel da esterificazione di oli vegetali e bioetanolo da fermentazione di cereali o da biomasse stanno riscuotendo ampie convergenze, le biomasse da colture dedicate dopo un avvio decisamente positivo hanno subito negli ultimi 3-4 anni una sensibile frenata.

L'uso dei terreni agricoli per la produzione di biomassa a fini energetici ha preso

consistenza a partire dai primi anni duemila con gli aiuti economici introdotti dalla PAC per favorire l'imboschimento nei terreni agricoli. Si stima che circa 7.000 ha di cedui a breve rotazione siano stati costituiti nell'ultimo decennio, in precedenza erano già state sperimentate produzioni di biomasse lignocellulosiche con l'arboricoltura a corta rotazione in diverse località soprattutto di pianura dell'Italia settentrionale e della Toscana per testare la potenzialità produttiva di diverse specie arboree per l'uso energetico. Allo sviluppo del settore delle produzioni di biomasse hanno influito positivamente la misura h (2.8) del PSR Regione Lombardia (Reg. 1257/99) e la L.R. 14/2003 introdotta dal

la Regione Veneto. La produzione di biomassa legnosa destinata ad usi energetici prevedeva di erogare un contributo per le spese di realizzazione della piantagione, e di aiuto annuale per mancato reddito per l'intera durata della piantagione nel caso di ciclo medio lungo.

Nel periodo più recente, con i programmi di riconversione della filiera bieticolo-saccarifera verso le filiere agroener-



Fase di raccolta della coltura di pioppo per uso energetico.

DOMENICO COALOA, CRA-PLF - Unità di Ricerca per le Produzioni Legnose fuori Foresta, Casale Monferrato (AL) domenico.coaloe@entecra.it

	2009		2010	
	produzione	superficie raccolta	produzione	superficie raccolta
	t s.s. ha ⁻¹ anno ⁻¹	ha	t s.s. ha ⁻¹ anno ⁻¹	ha
pioppo	9,56	5,30	8,55	37,55
robinia	8,75	0,50	8,10	2,50
canna comune	8,68	7,30	13,00	5,60
sorgo da fibra	15,00	104,75	14,82	176,77
girasole*	2,82	779,36	2,46	692,43
colza*	1,88	1.090,45	2,40	1519,69
brassica*	1,01	18,60	2,09	18,48

(*) produzione commerciale umidità del 9%

Tabella 1 - Produzioni medie e superfici sottoposte alla raccolta nelle annate agrarie 2009 e 2010 per le colture considerate.

	Costi totali *	Produzioni	Costo produzione	Ricavi	VAN
	€ ha ⁻¹ anno ⁻¹	t s.s. ha ⁻¹ anno ⁻¹	€ t ⁻¹ s.s.	€ ha ⁻¹ anno ⁻¹	€ ha ⁻¹ anno ⁻¹
pioppo	706,30	9,00	78,48	779,10	72,80
robinia	553,10	8,50	65,07	735,80	182,70
eucalitto	657,40	9,00	73,04	779,10	121,70
canna comune	968,80	11,00	88,07	966,50	-2,30
sorgo da fibra	988,27	14,89	66,38	1185,60	197,33
girasole	689,19	2,65	260,22	794,54	105,35
colza	525,72	2,18	240,65	655,39	129,67
brassica carinata	650,96	1,55	420,41	464,52	-186,44

(*) comprende costi interni e costi esterni

saggio interesse 3% per attualizzazione costi e ricavi

Tabella 2 - Costi, ricavi e utili di coltivazione annuali per ogni coltura in riferimento alle produzioni medie ottenute nelle annate agrarie 2009 e 2010.

getiche, sono state investite notevoli superfici agricole con impianti arborei a corta rotazione e con colture erbacee annuali e perenni con l'obiettivo di produrre materia prima per le nuove centrali di produzione di energia elettrica e biocarburanti (Loi 2008).

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 (CRA), è stato possibile raccogliere, con la collaborazione delle aziende agricole coinvolte, informazioni riguardanti la gestione e la coltivazione di specie erbacee e arboree per uso energetico.

I dati di sintesi di seguito esposti riguardano **colture poliennali** (pioppo, robinia, eucalitto e canna comune) e **colture erbacee annuali** (girasole, colza, brassica e sorgo da fibra), la loro distribuzione territoriale, le produzioni e valutazioni sulla redditività. Complessivamente il database è costituito da 389 appezzamenti per complessivi **2.969 ha coltivati in 11 regioni; 312 le aziende agricole coinvolte**. Tra il 2008 e il 2010 sono stati realizzati circa 550 ha di piantagioni; il pioppo (*P. xcanadiensis* AF2 e Monviso) è la specie maggiormente impiegata, seguono in misura minore robinia (*R. pseudoacacia*), eucalitto (*E. camaldulensis* e *gonphocephalus*) (Facciotto *et al.* 2010) e canna comune (*Arundo donax*). Nello stesso periodo erano coltivati girasole, colza, brassica carinata e sorgo da fibra per circa 2.400 ha.

I **costi di coltivazione** sono stati elaborati per ogni appezzamento utilizzando i dati relativi alle macchine, alla manodopera e ai prodotti impiegati nel ciclo pro-

duitivo. Per il calcolo del costo delle macchine sono stati utilizzati software (Maso *et al.* 2006) e modelli Excel. I dati relativi ai primi 2-3 anni delle piantagioni derivano dai rilievi diretti in campo, per gli anni successivi sono stati stimati in base ai modelli colturali adottati.

Le piantagioni realizzate nel programma di conversione hanno seguito il **modello colturale** ad elevata densità e breve turno di raccolta (SRF). Nel caso delle piantagioni con cloni di pioppo sono stati adottati in prevalenza densità di 5.700 talee ha⁻¹ con turni di taglio biennali. Per la robinia sono stati adottate densità piuttosto variabili da 2.400 a 6.000 piantine ha⁻¹, mentre nelle piantagioni con eucalitto la densità è stata di circa 3.500 piantine ha⁻¹ (Facciotto *et al.* 2007). Per la canna comune (Ceotto 2006) invece è stata impiegata una quantità di rizomi per ettaro molto elevata (10.000) e adottato un turno di raccolta annuale. Per le colture poliennali è prevista una durata dell'impianto di 10 anni. Per quanto riguarda le colture annuali erbacee i modelli colturali adottati sono quelli già comunemente in uso caratterizzati da semine primaverili con densità relativamente basse per il girasole (6 semi m²), medie per sorgo da fibra (18 semi m²) e semine autunnali con densità molto elevate (75 semi m²) per il colza e la brassica carinata.

MANODOPERA, MECCANIZZAZIONE E PRODOTTI

Per le colture poliennali i **tempi di manodopera** sono compresi tra 6 e 7 h ha⁻¹ anno⁻¹; le attività di impianto e di raccolta assorbono la maggior parte dei tempi complessivi. Il **tempo impiegato dalle macchine** nelle diverse operazioni è compreso tra 5 e 6 h ha⁻¹ anno⁻¹. Per quanto concerne le altre colture a ciclo annuale i tempi di manodopera coincidono con quelli delle macchine e variano da circa 4 h ha⁻¹ per il colza a circa 9 h ha⁻¹ per il sorgo.

Il **consumo di carburanti** per l'impiego delle macchine risulta significativamente più elevato per le colture annuali rispetto alle poliennali. Il sorgo ha richiesto fino a 250 kg ha⁻¹ di gasolio, decisamente inferiori le necessità per girasole e colza rispettivamente di 150 e 110 kg ha⁻¹. Per le colture arboree sono stimati tra 85 e 90 kg di gasolio per ettaro e per ogni anno; i maggiori consumi sono da attribuire alle macchine falciatrici semoventi (PARI 2007), dotate di elevate potenze (400-600 HP), impiegate per la raccolta.

Le **quantità di fertilizzanti** impiegati per ciascuna coltura sono espressi in unità di azoto (N), di fosforo (P₂O₅) e di potassio (K₂O). Per, girasole, colza, sorgo da fibra e canna comune si registrano apporti tra 90 e 100 kg ha⁻¹ anno⁻¹ di azoto, tra 40 e 70 kg ha⁻¹ anno⁻¹ di fosforo e potassio complessivamente.

Per le arboree, gli apporti di concimi minerali a base di fosforo (P₂O₅) e potassio (K₂O) in preimpianto e di azoto (N) in copertura (ogni due anni), per unità di superficie e per anno, sono molto contenute rispetto alle normali esigenze richieste per le colture agrarie. Nel caso del pioppo, le quantità di azoto, fosforo e potassio sono rispettivamente di 80, 39 e 32 kg ha⁻¹ anno⁻¹. È da rilevare inoltre che le superfici trattate con queste quantità di fertilizzanti minerali sono appena il 50% di quelle coltivate. Nelle piantagioni di robinia ed eucalitto sono state distribuite insignificanti dosi di azoto e quantità di

fosforo e potassio come nel caso del pioppo.

L'impiego di **erbicidi per il contenimento delle infestanti** interessa la quasi totalità delle superfici e delle specie coltivate. Nel caso del pioppo sono impiegati $3,6 \text{ kg ha}^{-1}$, per il sorgo da fibra sono stati impiegati circa $4,6 \text{ kg ha}^{-1}$ di erbicida, nelle altre colture l'uso di erbicidi non ha superato 3 kg ha^{-1} .

In considerazione dell'impiego dei fattori della produzione sopra considerati è stato possibile calcolare mediante coefficienti di conversione (MONARCA *et al.* 2009) il loro contenuto energetico. In sintesi **l'energia spesa per la produzione rispetto a quella prodotta**, in biomassa per le piantagioni e in olio per le colture oleaginose, risulta di circa 6% per pioppo, robinia, eucalipto e canna comune, 9% per il sorgo, il 42% per girasole e colza, fino al 50% per brassica carinata.

PRODUZIONI

La Tabella 1 riporta i dati relativi alle produzioni medie annuali rilevate per le annate agrarie 2009 e 2010. Nell'ambito delle piantagioni il pioppo alla prima ceduzione biennale ha prodotto mediamente circa 9 t di sostanza secca per anno. Le basse produzioni rilevate rispetto ai livelli produttivi riportati da altri autori (BRUN e MOSSO 2007) sono da imputare a minore intensità colturale adottata in assenza di irrigazione.

La robinia ha prodotto quantità di poco inferiori (6%) rispetto al pioppo, la canna comune invece ha ottenuto fino a $13 \text{ t s.s. ha}^{-1}$ con raccolta annuale. Il sorgo da fibra ha raggiunto produzioni di circa $15 \text{ t s.s. ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$ mediante trinciatura integrale della pianta o mediante fienagione e pressatura. Colza e brassica hanno aumentato notevolmente le produzioni nel 2010 rispetto all'annata precedente (Tabella 1) con oltre 2 t ha^{-1} di prodotto commerciale, con massimi livelli produttivi che hanno superato 4 t ha^{-1} . Nel caso del girasole le medie produttive si sono assestate intorno a $2,5 \text{ t ha}^{-1}$ con valori massimi di oltre 4 t ha^{-1} .

COSTO DI PRODUZIONE E BILANCIO COLTURALE

Le elaborazioni delle componenti di costo degli interventi colturali (costo macchine, manodopera, prodotti) hanno consentito di calcolare i costi di impianto, di coltivazione e di raccolta per ogni coltura e per tutte le superfici interessate.

Per quanto riguarda la **realizzazione delle piantagioni**, fase in cui sono concentrati i maggiori costi, è da segnalare il costo elevato dell'impianto della canna comune rispetto alle altre colture, imputabile alle maggiori spese del materiale di impianto costituito da rizomi la cui preparazione implica notevole impegno in termini di meccanizzazione e manodopera. Il costo minore si nota invece per l'eucalipto in quanto il modello colturale adottato implica bassa densità di impianto. Oltre alle operazioni per la costituzione dell'impianto si attuano altri interventi meccanici o manuali per l'eliminazione delle infestanti, per la fertilizzazione o irrigazione se necessaria. Questi interventi costituiscono **costi di coltivazione** che incidono più o meno marcatamente sui costi totali a seconda della loro frequenza nel corso del turno.

Per quanto riguarda il calcolo dei costi complessivi sono stati considerati sia i costi esterni che i costi interni per tutta la durata decennale delle piantagioni ipotizzando gli



Coltura di colza per uso energetico nel momento della fioritura.



Pioppo al primo e secondo anno di crescita.

interventi e i costi rilevati nei primi anni e le quantità di biomassa prodotte con le prime ceduzioni effettuate. Le produzioni per gli anni successivi sono state considerate costanti ma si può ritenere che in realtà possano incrementare rispetto al primo taglio.

Al fine di comparare e omogeneizzare i risultati economici delle diverse colture a ciclo poliennale (decennale) con quelle annuali sono stati riportati nella Tabella 2 i costi totali, comprensivi dei costi interni ed esterni attualizzati al saggio del 3%, i ricavi e il valore attuale netto (VAN) riferiti per anno.

In sintesi i costi di produzione per impianti di durata decennale con ceduzioni biennali per il pioppo possono variare da 70 a $80 \text{ € t}^{-1} \text{ s.s.}$, per la robinia in media $65 \text{ € t}^{-1} \text{ s.s.}$. Nel caso dell'eucalipto, per il quale non si dispongono ancora sufficienti dati, si può ipotizzare un costo di produzione che si colloca tra quelli del pioppo e la robinia (Tabella 2). Il maggior costo di produzione è risultato per la canna comune che risente degli alti costi totali per l'impianto (oltre 50%) e di bassi livelli produttivi rispetto a quelli attesi (COALOA e GRIGNETTI 2011d).

Per esempio 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 t di sostanza



Coltura di eucalipto.

secca per anno ottenute con 5 ceduzioni in 10 anni (90 t s.s. ha⁻¹), in assenza di irrigazione, trasporto del cippato presso centro aziendale. Se al quantitativo prodotto si attribuisce il prezzo di mercato della biomassa lignocellulosa di 50 € t⁻¹ al 50% di contenuto idrico, equivalente a 100 € t⁻¹ s.s., si ottiene un valore attuale netto (VAN) pari a 73 € ha⁻¹ anno⁻¹. 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).

Bilanci maggiormente positivi risultano per robinia e per eucalipto, negativo per la canna.

Per girasole, colza e brassica si sono ottenuti costi medi di produzione rispettivamente di 260, 241 e 420 € t⁻¹ di prodotto commerciale (w=9%) raccolto. Se si considerano prezzi di mercato intorno alle 300 € t⁻¹ si può valutare un risultato economico positivo nella coltivazione del girasole e del colza, negativo per la brassica (Tabella 2). Per il sorgo da fibra il costo di produzione per tonnellata di sostanza secca è risultato pari a circa 66 € t⁻¹ s.s. (50 € t⁻¹ w=25%); poiché non esiste attualmente un prezzo di riferimento del mercato per questo particolare materiale non è possibile effettuare un bilancio complessivo. Tuttavia si può ipotizzare di attribuire a tale prodotto il prezzo della paglia di grano pressata, in questo caso il bilancio tra costi e ricavi risulta mediamente positivo per circa 197 € ha⁻¹, fino a 400 € ha⁻¹ per le varietà più produttive (COALOA e GRIGNETTI 2011b e c)

CONCLUSIONI

Dal punto di vista produttivo non esiste attualmente un monitoraggio globale sulle effettive disponibilità delle biomasse raccolte, poiché i casi di veri distretti energetici concepiti per ottimizzare le risorse territoriali locali e costituire filiere complete sono ancora in fase di sviluppo.

Inoltre le effettive superfici a SRF attualmente produttive non sono facilmente stimabili in quanto se da una parte si dispongono i dati di quelle realizzate nella maggior parte con incentivi pubblici dall'altra **non si conoscono le superfici delle piantagioni che sono state nel frattempo abbandonate** per i mancati obiettivi produttivi sperati o per il completamento del loro ciclo.

Le più recenti esigenze di produzione energetica da fonti rinnovabili sono entrate in competizione con quelle più

tradizionali dell'industria di trasformazione per la produzione di mobili e imballaggi in legno che utilizza in modo rilevante gli scarti della lavorazione del legno ma anche i residui delle utilizzazioni forestali. Nel conflitto fra le due logiche di impiego della materia prima legnosa, la produzione di pannelli da un lato e la produzione di energia delle centrali a biomasse dall'altro, sono in gioco sia da una parte che dall'altra notevoli **quantità di legno, che il nostro Paese importa in grande misura dall'estero.**

Il mercato del legno e in particolare delle biomasse risulta in questi anni molto confuso e poco trasparente alla ricerca di una certa stabilità che possa conciliare diverse esigenze dei settori di trasformazione. Nello specifico settore delle biomasse i prezzi del cippato da piantagioni dedicate o da scarti dell'abbattimento dei boschi e dei pioppeti raggiunge mediamente 45-50 € t⁻¹ idoneo alla combustione (contenuto idrico 40%) in grandi centrali. Con la vendita in piedi, nel caso di piantagioni cedue a breve rotazione, si possono spuntare quotazioni di 15-18 € t⁻¹.

La sostenibilità economica delle piantagioni per uso energetico, senza un adeguato aiuto economico diretto almeno nella fase iniziale di realizzazione dell'impianto, non risulta compatibile con il livello attuale dei prezzi di mercato della biomassa. Le decine di migliaia di ettari di piantagioni cedue a turno breve che erano state programmate per affrontare le nuove esigenze di materia prima per la produzione di energia non potranno essere realizzate se non avranno un sostegno finanziario e una garanzia da parte del mercato con contratti di filiera a lungo periodo con i centri di consumo che possono attuare prezzi adeguati per rendere la coltivazione economicamente sostenibile (COALOA e GRIGNETTI 2010, 2011a).

Tali contratti devono prevedere impegni del coltivatore e del collettore per una durata di 10-12 anni, e in base a particolari condizioni di fornitura, si possono ottenere prezzi anche superiori a 80 € t⁻¹ (contenuto idrico 40%) per la biomassa prodotta in filiera corta. I valori dei terreni agricoli in continua crescita, in presenza di colture agrarie maggiormente remunerative che implicano minori rischi di impresa, rappresentano attualmente fattori concorrenziali di forte impatto sulle colture da biomassa che necessitano di programmazione poliennale.

I valori dei terreni agricoli in continua crescita, in presenza di colture agrarie maggiormente remunerative che implicano minori rischi di impresa, rappresentano attualmente fattori concorrenziali di forte impatto sulle colture da biomassa che necessitano di programmazione poliennale.

Bibliografia

BRUN F., MOSSO A., 2007 - **Profitability comparison between short rotation forestry and agricultural crops in Piemonte region, Italy.** In 15th European Biomass Conference and Exhibition, Berlin.

CEOTTO E., 2006. - **La canna comune, una pianta adatta per ottenere energia.** Agricoltura, 6: 80-82.

COALOA D., GRIGNETTI A. 2010 - **Arboricoltura a fini energetici: nuova opportunità per l'agricoltore?'** Sherwood - Foreste ed Alberi Oggi, 169: 29-33.

COALOA, D.; GRIGNETTI, A. 2011a - **Valutazioni economiche: pioppo, robinia, eucalipto.** In: Lo sviluppo delle colture energetiche in Italia. Il contributo dei progetti di ricerca SUSCACE e FAESI: 251-269

COALOA, D.; GRIGNETTI, A. 2011b - **Valutazioni economiche: colza, girasole e Brassica carinata.** In: Lo sviluppo delle colture energetiche in Italia. Il contributo dei progetti di ricerca SUSCACE e FAESI: 441-452

COALOA, D.; GRIGNETTI, A. 2011c - **Valutazioni economiche: sorgo.** In: Lo sviluppo delle colture energetiche in Italia. Il contributo dei progetti di ricerca SUSCACE e FAESI: 579-589

COALOA, D.; GRIGNETTI, A. 2011d - **Valutazioni economiche: Arundo donax L.**, In: Lo sviluppo delle colture energetiche in Italia. Il contributo dei progetti di ricerca SUSCACE e FAESI: 741-748

DONATI M., 2011 – **“Politiche da rivedere per le rinnovabili”**. L'Informatore Agrario, 39: 34-36.

FACCIOTTO G., BERGANTE S., MUGHINI G., GRAS M.L.A., NERVO G., 2007 - **Tecnica e modelli culturali per cedui a breve rotazione**. L'Informatore Agrario, 63: 38-42.

FACCIOTTO G., BERGANTE S., MUGHINI G., GRAS M.L.A., 2010 - **Presentazione del Sottoprogetto 2.3 di RISELV.ITALIA: biomasse legnose ad uso energetico ed industriale. La Produttività delle specie**. In: Atti del Convegno 'Arboricoltura e biomasse legnose'. Portogruaro (VE), 29 novembre 2007:11-28.

LOI A., 2008 – **Come procede la riconversione degli zuccherifici**. L'Informatore Agrario, 44: 40-43.

MASO D., PETTENELLA D., 2006 - **Valutazione degli investimenti in arboricoltura da legno**. SHERWOOD - Foreste ed Alberi Oggi, 128: 43-45.

MONARCA D., BIONDI P., PANARO V.N., CATANTONI A., BATOLI S., CECCHINI M. 2009 - **Analisi delle richieste di energia per la coltivazione**

delle colture ortive. IX Convegno Nazionale dell'Associazione di Ingegneria Agraria, pag. 10

PARI L., 2007 - **Short rotation di qualità, decisivi raccolta e stoccaggio**. L'Informatore Agrario, 63: 43-45.

TORQUATI B., 2003.- **Economia gestionale dell'impresa agraria**. Edagricole, Bologna.,365 pp.

KEYWORDS: Energy crops, biomass for Energy, cultivation costs

Abstract: Energy crop budgets

Crops for energy, now practiced on a large scale, represent an interesting alternative in agriculture but must be assessed carefully the productive potential and profitability based on cultivation models adopted and in the context of reference energy districts. With the acquisition of data from farms involved in the program were obtained in the first processing, statistical and economic for pluriannual and annual crops for energy, consistency, geographical distribution, production and cultivation costs. The productions were assessed and the current profitability of different crops and considered future prospects.

Sostenibilità ambientale delle colture da energia

di ENRICO CEOTTO
MARIO DI CANDILO

La colture da energia si trovano al centro di un animato dibattito scientifico. In questo articolo vengono discussi gli aspetti ambientali controversi della colture da energia, e proposta una strategia per una più efficiente utilizzazione dei terreni agricoli destinati a produrre energia.

PAROLE CHIAVE: uso del suolo, bilancio dei gas serra, colture perenni, servizi ambientali.

La sostenibilità implica uno sfruttamento delle risorse ambientali operato in modo tale da soddisfare le attuali necessità dell'umanità senza che sia compromessa la possibilità delle generazioni future di sopperire alle proprie (PAYNE 2010). L'attuale dipendenza delle nostre società dal petrolio e dal gas naturale non è affatto sostenibile: secondo alcune stime, le riserve mondiali di energia fossile sono destinate ad esaurirsi in un periodo compreso tra pochi decenni ed alcuni secoli, a seconda dei ritmi di consumo e di estrazione, sui quali sussistono notevoli incertezze (GOLDEMBERG 2007). Detta prospettiva, unitamente alle preoccupazioni indotte dai recenti cambiamenti climatici, hanno spinto molte nazioni ad intraprendere attive politiche di sostegno alla utilizzazione delle biomasse per produrre elettricità, calore e combustibili per autotrazione (KOH e GHAZOU 2008). Tuttavia, nella letteratura scientifica **è in corso un acceso dibattito sulla sostenibilità ambientale di una ampia diffusione delle colture da energia.**

Infatti, alcuni ricercatori, ma sicuramente non tutti, ritengono che le colture

ad uso energetico abbiano un effetto positivo sulla mitigazione delle emissioni nette di CO₂ in atmosfera. Altri scienziati, invece, hanno evidenziato una serie di effetti indesiderati legati alla diffusione delle colture da energia. I punti critici delle colture ad uso energetico vengono di seguito sintetizzati e discussi.

BILANCIO NEUTRO DELLA CO₂?

Inizialmente si riteneva che l'energia generata dalle biomasse vegetali avesse con un bilancio dell'anidride carbonica (CO₂) vicino alla neutralità, poiché la CO₂ emessa in atmosfera con la combustione delle biomasse è la medesima catturata dalle piante con la fotosintesi. In questo modo si eviterebbe l'emissione del carbonio accumulato nelle fonti fossili di energia nel corso di milioni di anni (SIMS *et al.* 2006). Studi successivi hanno evidenziato che questa semplice ed ottimistica assunzione iniziale è in realtà semplicistica. Un progressivo approfondimento delle analisi dei sistemi ambientali ha indicato che il bilancio complessivo delle emissioni di



Un giusto equilibrio tra produzioni di biomasse per uso energetico e produzioni alimentari costituisce la più importante sfida per l'agricoltura del futuro.

ENRICO CEOTTO, CRA-CIN - Centro di Ricerca per le Colture Industriali, Bologna enrico.ceotto@entecra.it - MARIO DI CANDILO, CRA-CIN

gas serra delle colture ad uso energetico è un enigma di difficile soluzione.

In primo luogo, è opportuno considerare che **la coltivazione delle colture da energia richiede input agronomici** sotto forma di fertilizzanti e pesticidi di sintesi, irrigazioni, operazioni colturali e di raccolta, che implicano delle emissioni di CO₂ da fonte fossile. Sebbene l'assimilazione netta di CO₂ di una coltura che cresce senza limitazioni da parte di acqua e di nutrienti sia normalmente molto superiore alle emissioni di CO₂ necessarie a sostenere la sua crescita, i problemi non finiscono qui. Alcuni autori, (CRUTZEN *et al.* 2008), hanno messo in guardia dal fatto che **le emissioni in atmosfera di protossido di azoto (N₂O) derivanti alle fertilizzazioni azotate** necessarie alle produzioni delle maggiori superfici coltivate, **potrebbero annullare qualunque beneficio delle colture da energia**. Secondo le stime di detti autori, infatti, una percentuale del 3-5% dell'azoto applicato alle colture, viene rilasciato in atmosfera, prima o poi, sotto forma di protossido di azoto (N₂O), un potente gas serra con un potenziale di riscaldamento globale (GWP) pari a 296 CO₂ equivalenti. Ne consegue che, paradossalmente, le emissioni complessive di gas serra potrebbero annullare il vantaggio rappresentato dalla combustione dei biocarburanti in sostituzione delle fonti fossili. Le perdite di N₂O possono avvenire sia direttamente dai sistemi agricoli, sia dagli agro-ecosistemi acquatici dove prima o poi l'azoto non utilizzato dalle colture va a defluire. La circolazione dell'azoto reattivo di origine antropica nell'atmosfera, idrosfera e biosfera ha una serie di conseguenze negative, che sono amplificate nel corso del passaggio nel suo ciclo biogeochimico. Questa potenzialità pericolosità dell'azoto reattivo è stata efficacemente descritta da GALLOWAY *et al.* (2003), che hanno introdotto il concetto di **nitrogen cascade o reazione a catena dell'azoto**: "lo stesso atomo di azoto reattivo può causare effetti multipli sull'atmosfera, negli ecosistemi terrestri, negli ecosistemi acquatici di acqua dolce e marini, e sulla salute umana. Questa sequenza può essere indicata come *nitrogen cascade*".

Sulla base di quanto esposto, le colture da energia, per essere sostenibili, devono ricevere limitate fertilizzazioni azotate.

LA COMPETIZIONE PER LE TERRE FERTILI: CIBO CONTRO ENERGIA

Le superfici coltivabili sono una risorsa limitata e vulnerabile nel nostro pianeta. Inoltre, la conversione della energia solare in energia chimica operata dalle piante è un processo a bassa efficienza. Nelle migliori condizioni produttive, le colture riescono a convertire soltanto il 2% della energia ricevuta dal sole in energia chimica sotto forma di biomassa. Questo significa che il soddisfacimento, anche parziale, delle esigenze energetiche richiede enormi estensioni di terreno. Nel caso del Brasile, per produrre il 10% del suo intero consumo di carburante è sufficiente impiegare soltanto il 3% della sua superficie agricola. Nel caso degli USA, invece, per raggiungere l'obiettivo del 10% dei consumi si dovrebbe utilizzare a scopi energetici ben il 30% della superficie coltivata. Nel caso dell'Unione Europea, caratterizzata da una maggiore densità di popolazione, **il raggiungimento della soglia del 10% dei consumi richiederebbe l'utilizzazione del 72% della superficie agricola** (PEARCE 2006).



Le colture perenni da energia possono svolgere importanti servizi ambientali, in particolare l'accumulo di carbonio organico nel suolo.

Attualmente possiamo contare in media su una superficie di terre coltivate pro-capite di circa 0,45 ettari a livello planetario. Ma allora la domanda cruciale è: quale frazione di questa superficie può essere destinata a produrre energia? Peraltro, la crescente domanda di energia non è l'unica pressione che viene esercitata sulle terre arabili. Secondo alcune stime, la domanda globale di cibo è destinata a raddoppiare entro il 2050 (KONING *et al.* 2008). Ciò è dovuto alla tendenza in atto nel cambiamento di dieta, ed in particolare ad un crescente aumento del consumo di carne nei paesi in via di sviluppo.

L'incremento sia delle aree coltivate con colture da energia, sia della domanda di alimenti ed in particolare di carne, conduce ad un effetto indesiderato e perverso a livello mondiale: vaste aree occupate da foreste e praterie vengono convertite alla coltivazione. Questo implica una progressiva ossidazione del carbonio presente nei suoli naturali, con emissioni di CO₂ che superano largamente il beneficio della riduzione delle emissioni derivante dall'uso delle colture da energia (RIGHIELATO e SPRACKLEN 2007). SEARCHINGER *et al.* (2008) hanno evidenziato che molti studi condotti fino al 2008 hanno omesso di considerare gli effetti sulle emissioni globali derivanti dalla circostanza che un aumento del prezzo dei cereali, derivante da un aumento della domanda di biocarburanti, determina un aumento delle superfici coltivate a spese delle foreste, in specie nei paesi tropicali. FARGIONE *et al.* (2008), per supportare dette argomentazioni, hanno introdotto il **concetto di "debito di carbonio" derivante dalla conversione delle foreste in terreni coltivati**, definito come la quantità di CO₂ che si libera con la conversione delle foreste in terreno arabile. Secondo stime effettuate da questi autori, il risparmio di emissioni conseguibile con la produzione di etanolo ottenuto dal mais richiede ben 168 anni per ripagare il debito di carbonio derivante dall'abbattimento delle foreste.

La questione dell'uso indiretto del suolo è tornata recentemente di viva attualità. A metà settembre, un gruppo di 19 scienziati appartenenti al Comitato Scientifico dell'Agenzia Europea dell'Ambiente (EEA) ha accusato l'Unione Europea di sovrastimare la riduzione delle emissioni di gas serra derivanti dall'uso dei biocarburanti, in ragione di



Rizomi di canna comune. Nelle piante perenni l'azoto viene trasferito alternativamente dagli organi sotterranei alla biomassa aerea, realizzando una elevata efficienza dell'uso dell'azoto.

un "serio errore di conteggio" (VAN RENSSSEN 2011). Infatti, secondo il comitato scientifico, quando le colture da energia vanno a sostituire delle foreste, che avrebbero altrimenti immobilizzato ingenti quantità di carbonio nel suolo e nella biomassa vivente, il cambiamento di uso del suolo determina un sostanziale incremento di CO₂ in atmosfera. Le conseguenze di questo errore di conteggio, secondo questi scienziati, sono potenzialmente immense.

L'IMPATTO SULLE RISORSE IDRICHE

Analogamente alle superfici coltivabili, **l'acqua per uso irriguo è una risorsa limitata e vulnerabile**, che sta diventando progressivamente più scarsa in molti paesi del mondo a causa della crescente competizione con gli usi civili ed industriali. Quando le colture irrigue vengono impiegate per uso energetico, come nel caso del mais per etanolo e biogas, si verifica un impatto sulle risorse idriche (PAYNE 2010). Molti ricercatori sono convinti che l'acqua irrigua, in quanto risorsa limitata, debba essere destinata unicamente alle colture alimentari, e che **le colture ad uso energetico dovrebbero essere coltivate senza l'ausilio dell'irrigazione**. Inoltre, produrre energia con colture annuali che ricevono elevati *input* agronomici, in particolare fertilizzazioni azotate e diserbanti, influenza anche la qualità, oltre che la quantità di acqua disponibile per le colture alimentari.

COLTURE A DUPLICE ATTITUDINE

Sfortunatamente, le colture da energia sono in competizione per i terreni fertili con l'obiettivo primario dell'agricoltura, che consiste nel produrre cibo per l'umanità. Una possibile strategia per evitare l'inconveniente dell'uso indiretto del suolo consiste nell'**utilizzare la stessa coltura per ottenere sia granella ad uso alimentare, sia biomassa ad uso energetico**. I cereali, ed il frumento in particolare, possono essere considerati come colture a duplice attitudine. Poiché circa metà della biomassa prodotta aerea prodotta dai cereali non ha valore nutrizionale per l'uomo, le paglie rappresentano una fonte strategica di energia. A causa del basso contenuto di azoto, circa 0,5% sulla sostanza secca, e del basso contenuto di umidità alla raccolta,

la paglia è una biomassa adatta ad essere utilizzata ai fini energetici. Gli **stocchi di mais** sono anch'essi utilizzabili sebbene vengano raccolti con un contenuto di umidità normalmente superiore. L'uso delle paglie per ottenere energia sicuramente non minaccia la sicurezza alimentare, né determina un uso indiretto del suolo, a condizione che la fertilità del suolo venga mantenuta nel lungo periodo (CEOTTO 2008). Tuttavia, le paglie costituiscono una preziosa fonte di carbonio, utile per il mantenimento del contenuto di sostanza organica del suolo. Ed allora la domanda cruciale è: quale frazione dei residui colturali prodotti può essere rimossa dal terreno senza provocare diminuzione del contenuto di sostanza organica o incrementare l'erosione del suolo? Secondo esperienze condotte in Canada, una frazione variabile tra il 26 ed il 40% dei residui colturali prodotti può essere asportata senza che ciò influenzi negativamente il contenuto di sostanza organica del suolo nel lungo periodo (LANFOND *et al.* 2009). Secondo altri autori, invece, l'asportazione dei residui colturali dei cereali dovrebbe essere assolutamente evitata, e le colture da energia dovrebbero piuttosto essere coltivate in aree specificamente individuate a tale scopo (LAL e PIMENTEL 2007).

SERVIZI AMBIENTALI DELLE COLTURE PERENNI

A differenza delle colture da granella utilizzate a scopi energetici, le colture perenni, sia erbacee che legnose, svolgono alcuni servizi ambientali che meritano attenta considerazione. Il più importante servizio ambientale è il **sequestro di carbonio nel suolo**. CEOTTO e DI CANDILO (2011) hanno stimato incrementi medi annui di carbonio organico del suolo da 1.150 a 1.950 kg C ha⁻¹ per colture perenni da energia, nei primi sette anni dalla conversione da terreno arato nella bassa Pianura Padana. Accanto al carbonio accumulato nel suolo, è importante considerare il carbonio immobilizzato negli organi epigei delle colture, radici, rizomi e fusti. Si tratta di quantità di carbonio di difficile quantificazione, ma non per questo meno importanti sotto il profilo del servizio ambientale offerto da queste colture. Accanto all'accumulo di carbonio, è opportuno considerare il **miglioramento delle caratteristiche del suolo, l'incremento della biodiversità, la creazione di habitat favorevoli per la fauna selvatica** (uccelli, insetti, rettili), la **riduzione delle quantità di prodotti chimici** utilizzati per la coltivazione, la **riduzione dei consumi di carburanti** per le operazioni colturali, la **produzione di nettare e polline per le api**. I vantaggi offerti dalla colture perenni da energia sono molto marcati rispetto alle colture annuali, ma comunque inferiori rispetto a quelli offerti dalla superfici incolte (ROWE *et al.* 2009). Inoltre, le colture perenni da energia fanno un uso molto parsimonioso dell'azoto rispetto alle colture annuali. Ciò è dovuto probabilmente alla circostanza che gli organi sotterranei accumulano e rilasciano alternativamente l'azoto nel corso delle stagioni, e che la raccolta avviene normalmente nel periodo invernale, quando il contenuto di azoto nella biomassa aerea è piuttosto basso (CEOTTO e DI CANDILO 2010). Quindi, le colture perenni da energia offrono sostanziali vantaggi quando l'obiettivo è la riduzione delle quantità di azoto impiegate nella produzione di biomassa ad uso energetico.

PROSPETTIVE FUTURE

Gli aspetti controversi delle bioenergie fin qui evidenziati devono essere tenuti in considerazione, e possono costituire una sfida per un uso più efficiente del territorio. Il problema delle emissioni di gas serra è un problema globale, e come tale deve essere considerato. Per questo motivo, i ricercatori ed i decisori politici dovrebbero, a nostro avviso, agire localmente pensando globalmente. Le superfici che possono essere convenientemente utilizzate per produrre energia, evitando effetti negativi sia sulla produzione di cibo, sia sulle emissioni di gas serra, sono limitate. Pertanto, **è di estrema importanza incrementare la produttività per unità di superficie**. Per ciascuna regione devono essere identificate, ed ove possibile incentivate, le specie che assicurano la più elevata produttività di biomassa. È altresì importante individuare le specie che possono essere coltivate in terreni inadatti alla coltivazione dei cereali. Allo stesso tempo, la sfida richiede di utilizzare le minori quantità possibile di azoto di origine industriale per la produzione di biomasse per uso energetico. Quali sono le specie da energia più parsimoniose ed efficienti nell'uso dell'azoto? Inoltre, come già accennato, le risorse idriche andrebbero riservate alle colture alimentari. Quindi, in ciascun territorio dovrebbero essere privilegiate le specie in grado di produrre biomassa per uso energetico senza l'ausilio dell'irrigazione.

Riteniamo che per ciascun territorio regionale andrebbe individuata e classificata la superficie utilizzabile a produrre biomassa a scopi energetici. In particolare, **potrebbero essere sfruttate a scopi energetici aree inadatte alla coltivazioni delle colture alimentari**: argini di fiumi e canali, aree di golena dei corsi d'acqua che sono periodicamente inondate, aree inquinate, strisce di terreno attigue a strade con alta intensità di circolazione, zone adiacenti a discariche, impianti di incenerimento o impianti industriali che producono sostanze tossiche. Con il termine di aree marginali, si intende generalmente aree che offrono limitate produzioni economiche, ma che spesso offrono servizi ambientali di inestimabile valore in termini di tutela della biodiversità, accumulo del carbonio e difesa dall'erosione, come nel caso dei boschi e dei pascoli. Quindi, potrebbe essere in molti casi controproducente convertire dette aree alla coltivazione di colture energetiche.

In sintesi, la produzione di energia dovrebbe essere vista come un servizio dell'agricoltura, complementare all'obiettivo primario di produrre cibo e foraggi, da realizzare con elevata efficienza produttiva ed un uso parsimonioso dell'azoto di origine industriale e dell'acqua irrigua. Un sistema di incentivi, a nostro avviso necessario per realizzare questi obiettivi, dovrebbe essere basato su solidi criteri scientifici, allo scopo di evitare conseguenze indesiderate sull'ambiente e sulle filiere agroalimentari.

Bibliografia

CEOTTO E., 2008 - **Grasslands for bioenergy production**. *Agronomy for Sustainable Development*, 28, 1: 47-55.

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: 101-122.

CEOTTO E., DI CANDILO M., 2011 - **Medium-term effect of perennial**

bioenergy crops on soil organic carbon storage. *Italian Journal of Agronomy*, vol.6, e33, 14-19.

CRUTZEN P.J., MOSIER A.R., SMITH K.A., WINWARTER W., 2008 - **N₂O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels**. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 8: 389-395.

FARGIONE J., HILL J., TILMAN D., POLASKY S., HAWTHORNE P., 2008 - **Land clearing and the biofuel carbon debt**. *Science*, 319:1235-1238.

GALLOWAY J.N., ABER J.D., ERISMAN J.W., SEITZINGER S.P., HOWARTH R.W., COWLING E.B., COSBY B. J., 2003 - **The Nitrogen Cascade**. *BioScience*, 53, 4: 341-356.

GOLDBERG J., 2007 - **Ethanol for a sustainable energy future**. *Science*, 315: 808-810.

KOH L.P., GHAZOUJ J., 2008 - **Biofuels, biodiversity, and people: Understanding the conflicts and finding opportunities**. *Biological Conservation*, 141: 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: 229-292.

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**. *Agronomy Journal*, 101: 529-537.

LAL R., PIMENTEL D., 2007 - **Biofuels from crop residues**. *Soil & Tillage Research*, 93: 237-238.

PAYNE W.A., 2010 - **Are biofuels antithetic to long-term sustainability of soil and water resources?** *Advances in Agronomy*, 105: 1-46.

PEARCE F., 2006 - **Fuels gold. Are biofuels really the greenhouse-busting answer to our energy woes?** *NewScientist*, 2570: 36-41.

RIGHELATO R., SPRACKLEN D.V., 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 Review*, 13:271-290.

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*, 319:1238-1240.

SIMS R.E., HASTINGS A., SCHALAMANDINGER B., TAYLOR G., SMITH P., 2006 - **Energy crops: current status and future prospects**. *Global Change Biol.*, 12: 2054-2076.

VAN RENSSSEN S., 2011- **Policy Wacht: A biofuel conundrum**. *Nature Climate Change*, 1: 389-390.

KEYWORDS: land use, greenhouse gases balance, perennial crops, ecosystem services.

Abstract: *Environmental sustainability of energy crops*

This article addresses the controversial role of energy crops on the environment. On the basis of international literature, the issues of greenhouse gas emissions, indirect land use change, and irrigation water use are summarized and discussed. The promising ecosystem services of perennial energy crops are highlighted, and a strategy for a more efficient land use is outlined.

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 Culturali 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. ROBERTO BONOFILIO

Finito di stampare nell'Aprile 2012
da Litograf Editor S.r.l.
Città di Castello (PG)

