



Valorizzazione delle risorse agricole nell'ottica del concetto di bioeconomia

Progetti di ricerca SUSCACE e FAESI

Supplemento n. 3 a **SHERWOOD - FORESTE ED ALBERI OGGI** n. 203
Anno 20 n. 4 Giugno 2014 - ISSN 1590-7805

**VALORIZZAZIONE DELLE RISORSE
AGRICOLE NELL'OTTICA
DEL CONCETTO DI BIOECONOMIA
Progetti di ricerca SUSCACE e FAESI**

Supplemento n. 3 a **SHERWOOD - FORESTE ED ALBERI OGGI** n. 203
Anno 20 n. 4 Giugno 2014 - ISSN 1590-7805

Valorizzazione delle risorse agricole nell'ottica del concetto di bioeconomia Progetti di ricerca SUSCACE e FAESI



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) 2014 - Valorizzazione delle risorse agricole nell'ottica del concetto di bioeconomia.
Progetti di ricerca SUSCACE e FAESI. 100 pp. In: Sherwood 203, Supplemento 3.

Forma consigliata di citazione del singolo contributo:

Santangelo E., Civitaresse V., Pari L., 2014 - Il modello CRA-ING per la divulgazione. Produzione di innovazioni tecnologiche e comunicazione dei risultati nell'ambito delle agroenergie. 91-95. In: Valorizzazione delle risorse agricole nell'ottica del concetto di bioeconomia. Progetti di ricerca SUSCACE e FAESI. Sherwood 203, Supplemento 3.

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. +39-06-90675250 - 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)

Finito di stampare nel mese di Maggio 2014

- 4** *Il trasferimento dell'innovazione tecnologica agli utenti della ricerca*
di L. Pari
- 8** **Cippatura comparativa di porzioni basali e cimali di pioppo**
di V. Civitarese, R. Fanigliulo, D. Pochi, R. Spinelli, L. Pari
- 11** **Colture arboree a ciclo medio. Benefici offerti dallo stoccaggio in andana.**
di V. Civitarese, L. Pari, F. Gallucci, E. Santangelo, A. Del Giudice, M. Barontini, A. Suardi, A. Acampora
- 15** **Stoccaggio del cippato di pioppo a lungo termine. Analisi fisico-chimica del prodotto finale.**
di M. Barontini, A. Scarfone, R. Spinelli, F. Gallucci, E. Santangelo, A. Acampora, V. Civitarese, R. Jirjis, L. Pari
- 21** **Il diserbo sulla fila del pioppo SRC. Valutazione di sensori di rilevamento delle talee.**
di A. Assirelli, P. Liberati, E. Santangelo, A. Del Giudice, L. Pari
- 28** **La produzione di rizomi di canna in vivaio. Sviluppo di una "sezionatrice" per la raccolta in pieno campo**
di L. Pari, A. Acampora, S. Croce, E. Santangelo, A. Assirelli
- 33** **Produzione di "pezzotti" di canna comune. Valutazione di un nuovo prototipo.**
di A. Assirelli, E. Santangelo, A. Acampora, A. Del Giudice, V. Civitarese, L. Pari
- 37** **L'impiego dei residui fluviali di canna comune. Analisi dell'efficienza di due trinciatrici.**
di A. Del Giudice, A. Assirelli, L. Pari, E. Santangelo
- 43** **Innovazione meccanica per la raccolta del cardo in ambiente arido.**
di L. Pari, F. Gallucci, V. Civitarese, A. Acampora, E. Sanzone, V. Alfano, A. Assirelli
- 47** **Stoccaggio della canna comune. Confronto tra cumuli all'aperto ed in bins ad aerazione forzata.**
di M. Barontini, A. Scarfone, S. Figorilli, F. Gallucci, A. Assirelli, E. Santangelo, L. Pari
- 52** **Lo stoccaggio del sorgo zuccherino. Influenza della lunghezza dello stelo sulle perdite di zucchero.**
di A. Assirelli, S. Amaducci, A. Suardi, A. Del Giudice, A. Scarfone, E. Santangelo, L. Pari
- 58** **I residui di potatura per fini energetici. Valutazione del potenziale per lo sviluppo di una filiera sostenibile.**
di L. Pari, V. Alfano, S. Croce, E. Sanzone, A. Suardi
- 65** **Claas Jaguar in raccolta di differenti specie arboree allevate a ciclo breve**
di V. Civitarese, L. Pari, A. Suardi, A. Acampora, A. Assirelli, A. Scarfone
- 69** **Le ceppaie come fonte alternativa di biomassa da combustione**
di L. Pari, F. Gallucci, G. Picchi, R. Spinelli, A. Scarfone, M. Barontini
- 72** ***Jatropha curcas* L. Review dei sistemi di raccolta esistenti.**
di L. Pari, A. Suardi, A. Scarfone, E. Santangelo
- 77** **Il legno derivante dalla potatura di *Jatropha curcas* L. Una risorsa da valorizzare.**
di L. Pari, A. Suardi, F. Gallucci, R. Bellacima, F. Blesi
- 83** **Colture energetiche a confronto. Analisi ambientale di colza, canna comune e pioppo.**
di L. Pari, A. Suardi, R. Picchio, D. Coaloa
- 91** **Il modello CRA-ING per la divulgazione. Produzione di innovazioni tecnologiche e comunicazione dei risultati nell'ambito delle agroenergie.**
di E. Santangelo, V. Civitarese, L. Pari

Gli articoli sono scaricabili in formato .pdf dai siti

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

Questa pubblicazione sarà inoltre scaricabile gratuitamente tramite la App di Sherwood.

Il trasferimento dei risultati e delle innovazioni prodotte dalla ricerca e della sperimentazione agraria è una delle principali priorità che le politiche europee hanno individuato per il periodo 2014-2020 in favore dello sviluppo rurale.

Questa azione coinvolge non solo chi genera conoscenza ed innovazione tecnologica (Università, Centri di ricerca) ma specialmente chi ne è preposto alla diffusione e gli utilizzatori della stessa.

In questo ambito, le Associazioni di categoria, le imprese agricole ed agroindustriali, le PMI del settore primario del nostro Paese assumono un ruolo importante per acquisire le nuove conoscenze applicabili alle diverse filiere produttive.

Difatti i bandi Cluster promossi dal MIUR ed il Programma Horizon 2020 promosso dalla Unione Europea sono stati elaborati con questo approccio.

I bandi Cluster hanno promosso, con un finanziamento di 266 milioni di euro (170 come contributo alla spesa e 96 in credito agevolato), l'attivazione di 8 Cluster progettuali a cui afferiscono trenta progetti che coinvolgono in *partnership* pubblico 456 soggetti, di cui 112 tra enti pubblici di ricerca, università e 344 imprese: 140 di taglia grande e 204 PMI. Questa stretta collaborazione pubblico-privata e tra generatori e utilizzatori di conoscenze è la chiave di volta che dovrebbe evitare che le ricerche condotte rimangano inutilizzate. Da questa nuova impostazione della ricerca ci si attende ulteriori investimenti pubblici e privati, finalizzati allo sviluppo e all'impiego di capitale umano qualificato (a cominciare dai dottori di ricerca) in modo da far crescere la qualità dei prodotti della ricerca e il loro impatto sull'impresa, sul mercato e sullo sviluppo dei territori.

Horizon 2020 è il nuovo programma dedicato alla ricerca e al trasferimento tecnologico che la Commissione Europea ha promosso e dotato di un finanziamento di 70,2 miliardi per favorire la crescita economica e aumentare la competitività dell'Europa. Le innovazioni concettuali e metodologiche del nuovo Programma Quadro per la Ricerca Horizon (2014-2020), fondate sulla necessità di uso e di valutazione dell'impatto dei risultati della ricerca, rappresentano un cambiamento decisivo nella

condivisione dello sviluppo interdisciplinare e multi-attoriale tra ricerca e impresa in una logica di compartecipazione tra enti pubblici e privati.

Con Horizon 2020 il sistema di finanziamenti ha decretato la fine delle logiche che prevedevano in due tempi successivi lo sviluppo delle conoscenze e il loro eventuale successivo trasferimento agli utilizzatori delle stesse (impresa).

Finora il tasso di successo italiano nell'accesso ai bandi di ricerca finanziati dalla UE è stato circa dell'8% contro una partecipazione italiana del 14% al bilancio UE. In pratica abbiamo finanziato – si stima con almeno 2,5 miliardi negli ultimi anni – la ricerca svolta da altri Paesi.

Il trasferimento dell'innovazione tecnologica agli utenti della ricerca

Da quanto esposto si evince quanto sia importante rimettere in discussione il modo di fare ricerca italiano, aggregare competenze scientifiche e abilità nella realizzazione delle buone idee, prevedere partenariati Europei ed Internazionali pubblico-privati tra i diversi attori interessati che includano un deciso impegno per la diffusione e la valorizzazione dei risultati, non solo attraverso la pubblicazione scientifica.

Si considera che la modalità tradizionale di pubblicazione dei risultati scientifici, risulti ora essere fondamentalmente lontana e comunque non sufficiente per realizzare l'attività di condivisione multidisciplinare della innovazione scientifica e tecnologica che è il punto cardine del trasferimento delle conoscenze.

Con lo scopo di affrontare in modo sistematico ed efficace la disseminazione e la divulgazione delle innovazioni tecnologiche sviluppate e delle conoscenze scientifiche acquisite attraverso lo sviluppo di Progetti di Ricerca quali il SUSCACE ed il FAESI, il CRA ING ha adottato un metodo già descritto nel lavoro "L'integrazione degli strumenti di divulgazione scientifica. La disseminazione dei risultati nel caso dei progetti FAESI e SUSCACE" pubblicato sul suppl. n. 2 della Rivista Sherwood n. 192/2013 e ripreso nel lavoro: "Il modello CRA-ING per la divulgazione. Produzione di innovazioni tecnologiche e comunicazione dei risultati nell'ambito delle agroenergie" su questa stessa pubblicazione.

Lo scopo è quello di superare la difficoltà nel trasformare i risultati della ricerca in innovazioni di processi e di prodotti innovativi capaci di rispondere con sollecitudine ai bisogni dell'impresa agricola ed agroindustriale condividendo fin dall'impostazione della ricerca gli obiettivi con gli utenti della stessa (o conducendola su espressa loro richiesta) e utilizzando tutti i metodi oggi disponibili per permettere quell'effetto leva che ci si deve attendere dalle attività di ricerca, ovverosia la moltiplicazione dei possibili ritorni per la società attraverso un mutuo intendimento culturale tra ricerca pubblica e PMI.

Questo Speciale raccoglie le azioni di ricerca sviluppate con questa ottica nel 2013 nell'ambito dei Progetti di ricerca prima citati, azioni indicateci dalle imprese interessate e sviluppate condividendone con esse l'impostazione per poter ottenere risultati applicabili.

Ai lettori più attenti non sfuggirà il cambiamento di indirizzo delle attività di ricerca rispetto ai precedenti Speciali relativo a quello stretto intendimento culturale con la società a cui prima si accennava.

Si stanno esplorando, difatti, possibilità innovative di sviluppo basate sull'efficienza di sistema e sul rispetto ambientale; i modelli produttivi ricercati, basati sui concetti di efficienza e supportati da analisi LCA, cercano di andare oltre il mero sfruttamento delle risorse vegetali inseguendo le opportunità che si possono cogliere mettendo al centro l'uso efficiente delle risorse e l'azzeramento degli scarti in una visione sistemica delle potenzialità del settore produttivo. Lo scopo è quello di non ragionare sul singolo prodotto ma sul territorio, così da valorizzare le sue potenzialità produttive, anche in condizioni di limitata disponibilità di acqua, per le bioraffinerie, recuperando anche quelli che prima erano scarti e che possono essere valorizzati come altre materie prime.

Il tema è quello dello sviluppo basato sui sistemi integrati e sul concetto di *cascading*, ricercando tecnologie per permettere l'uso armonioso delle risorse cercando di contribuire ad evitare l'esposizione delle future generazioni a rischi ambientali significativi e alla scarsità ecologica.

Vengono quindi affrontati i temi dello stoccaggio delle biomasse, arboree ed erbacee, in un'ottica di contenimento delle perdite di prodotto e dell'impatto ambientale generabile da fermentazioni incontrollate, così come i temi della valorizzazione dei diversi prodotti ottenibili da un'unica coltura, quale il *Cynara*



cardunculus o la *Jatropha curcas* o il recupero delle biomasse non meglio utilizzate quali i residui fluviali, le potature e le ceppaie di fine ciclo degli impianti arborei. Chiudono questo Speciale due lavori inerenti la valutazione dell'impatto ambientale delle colture energetiche attraverso LCA e LCC e la descrizione del modello messo a punto per la condivisione delle esperienze e delle conoscenze maturate, nell'ottica di contribuire ad indirizzare la ricerca pubblica verso un sistema in cui sia considerato anche l'impatto sociale delle attività di ricerca condotte.

LUIGI PARI
Coordinatore Progetti di Ricerca SUSCACE e FAESI

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. E. Ceotto

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. E. Ceotto
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



Cippatura comparativa di porzioni basali e cimali di pioppo

di VINCENZO CIVITARESE,
ROBERTO FANIGLIULO, DANIELE POCHI,
RAFFAELE SPINELLI, LUIGI PARI

In questo studio sono state valutate le performance e i principali parametri funzionali di una cippatrice a tamburo Pezzolato.

PAROLE CHIAVE: biomassa, energia, pioppo, cippatura.

La biomassa legnosa prima di essere convertita in energia deve essere ridotta in un materiale di forma e dimensioni variabili utilizzando cippatrici mobili o a punto fisso. Attualmente è disponibile sul mercato un'ampia gamma di cippatrici forestali, la cui efficienza deve essere valutata, oltre che per le caratteristiche costruttive e funzionali, anche per la capacità

di conseguire bassi consumi di combustibile in operazioni considerate gravose (SPINELLI *et al.* 2012). Il costo della cippatura contribuisce con una quota importante sull'intero costo globale di approvvigionamento (PAPWORTH e ERICKSON 1966) e delle emissioni (MAKKI e VIRTANEN 2003), lungo tutta la filiera legno-energia.

Il pioppo è una delle specie legnose più utilizzate in Italia, non soltanto per le rotazioni brevi e medie ma anche per le turnazioni classiche (SPINELLI *et al.* 2011).

In quest'ultima tipologia di piantagioni la parte basale delle piante viene generalmente impiegata in contesti abbastanza remunerativi (SPINELLI *et al.* 2008), come l'industria dei segati, recuperando i cimali per la produzione di cippato ad uso energetico.

Rispetto ai cimali, tuttavia, la cippatura della parte basale del fusto è in grado di garantire una maggiore efficienza produttiva della macchina e una migliore qualità del cippato prodotto. Decisioni definitive possono essere prese, quindi, solo dopo aver valutato una serie di parametri specifici.

L'obiettivo del lavoro era quello di valutare l'efficienza produttiva, le richieste di potenza, i consumi di combustibile e la qualità del prodotto ottenuto nel corso di una prova comparativa di cippatura di parti basali e cimali di pioppo.



Foto 1 - Cantiere di cippatura.

VINCENZO CIVITARESE, CRA-ING vincenzo.civitarese@entecra.it - ROBERTO FANIGLIULO, CRA-ING - DANIELE POCHI, CRA-ING - RAFFAELE SPINELLI, CNR-IVALSA
LUIGI PARI, CRA-ING.

MATERIALI E METODI

Ai fini della prova è stata utilizzata una cippatrice a tamburo Pezzolato, modello PHT 700/600, equipaggiata con un rullo di alimentazione motorizzato e un nastro trasportatore. Il tamburo, del diametro di 660 mm e lunghezza di 700 mm, durante la cippatura ha operato con coltelli nuovi.

La cippatrice è stata azionata da un trattore con potenza nominale di 231 kW (Foto 1). La presa di potenza è stata regolata a 1.000 giri/min, corrispondenti ad un regime di rotazione del motore di 1.974 giri/min. Le prove sono state condotte nel 2012 presso la sede del CRA-ING di Monterotondo (Roma). La macchina è stata alternativamente alimentata con parti basali e cimali di pioppo ibrido "Neva" (Euramericana x *Populus*, Guiner) di diciotto anni di età. Le parti basali sono state definite come la porzione di albero con diametro \geq a 200 mm, mentre i cimali erano rappresentati dalle porzioni con diametro $<$ 200 mm. Durante la prova il materiale veniva introdotto sul nastro trasportatore di alimentazione, tramite un braccio caricatore semovente azionato da un operatore professionista.

Sono stati cippati 60 tronchi, 30 basali e 30 cimali, divisi in gruppi da 10 unità. Prima della cippatura è stato calcolato il volume di ogni singolo tronco. Il regime di rotazione e la coppia motrice trasmessa dal motore sono stati misurati da un torsio-tachimetro installato sulla p.d.p. del trattore (Foto 2). I segnali provenienti dal sensore, con campo di misura di 3 kNm ed una frequenza di acquisizione di 10 dati al secondo, sono stati ricevuti da un sistema di acquisizione dati ad alta velocità in radiofrequenza, installato su un laboratorio mobile posizionato nelle vicinanze dell'accoppiamento trattore-operatrice (FANIGLIULO *et al.* 2004). In tal modo è stato possibile controllare in tempo reale i valori di coppia, regime e potenza impegnata. Il consumo di combustibile è stato misurato per ogni ripetizione, riempiendo il serbatoio del trattore e pesando, con una bilancia di precisione, la tanica del carburante prima e dopo il rabbocco. La differenza tra le due pesate ha fornito la



Foto 2 - Torsio-tachimetro installato sulla p.d.p. del trattore.

		Basali	Cimali
Dimensione tronchi	m ³	0,64	0,25
Torsiom. media	DaNm	179,5	67,9
Torsiom. max	DaNm	225,8	123,5
Potenza media	kW	176,2	72,1
Potenza max	kW	211,6	128,8
Produttività	m ³ ora ⁻¹	71,8	29,9
Consumo	l m ⁻³	0,613	0,720

Tabella 1 - Valori registrati nella prova sperimentale.

quantità di combustibile consumato dal trattore nel corso della cippatura (l m⁻³). Precedentemente è stato anche determinato il consumo di combustibile della macchina al minimo regime di rotazione dell'organo di cippatura.

Il consumo effettivo di combustibile è stato determinato sulle curve caratteristiche del motore del trattore piuttosto che sul tempo effettivo di lavoro della macchina, dato che nel caso della cippatura dei cimali il sistema di scarico della macchina continuava ad emettere piccole quantità di trinciato anche dopo la fase di cippatura (prodotto residuale del sistema di scarico). Per tale motivo sono stati stimati dei valori di soglia della potenza alla p.d.p. del trattore e della coppia motrice, rispettivamente 12,5 kW e 11,7 daNm. Nella determinazione del tempo effettivo di cippatura, utilizzato per il calcolo dei parametri di produttività della cippatrice, sono stati quindi considerati tutti i valori superiori a tali soglie. La velocità di alimentazione di ciascun tronco nella macchina è stata ottenuta dividendo la lunghezza del materiale introdotto per il tempo effettivo di trinciatura.

La composizione granulometrica del prodotto trinciato è stata valutata seguendo le specifiche tecniche CEN/TS 15149-1, prelevando tre campioni da 1 kg da ciascun blocco da 10 unità. Altri cinque campioni per ciascun blocco sono stati utilizzati per la determinazione del contenuto di umidità, secondo la normativa europea EN 14774-2.

RISULTATI

Il volume medio dei tronchi lavorati è risultato pari a 0,64 m³ per i basali e 0,25 m³ per i cimali (Tabella 1), con un contenuto di umidità pari rispettivamente al 52% e al 49%. I valori medi di coppia motrice e di potenza erogata alla p.d.p. del trattore sono stati circa 2,5 volte superiori nella cippatura dei basali rispetto ai cimali. Nella cippatura dei tronchi basali sono state registrate variazioni tra il 60% e l'80% dei picchi di coppia e di potenza alla p.d.p., risultando superiori del 25%, rispetto ai valori medi totali (basali più cimali).

Nella cippatura dei cimali, invece, i valori di picco sono stati l'80% superiori a quelli medi, indicando una variabilità molto più ampia nelle caratteristiche del materiale.

La produttività oraria della cippatrice è risultata pari a 72 e 30 m³ h⁻¹ di legno fresco, rispettivamente con parti basali e cimali, corrispondenti a 25 e 11 t di sostanza secca per ora.

La dimensione del prodotto in entrata è risultata la variabile che ha maggiormente influenzato la produttività della macchina. Lo stesso parametro ha influenzato il consumo specifico di combustibile, i cui valori medi sono stati pari a 0,61 e 0,72 l m⁻³, rispettivamente per le parti basali e i cimali. La velocità media di alimentazione della macchina è stata di 0,37 m s⁻¹ per le parti basali e di 0,41 m s⁻¹ per i cimali.

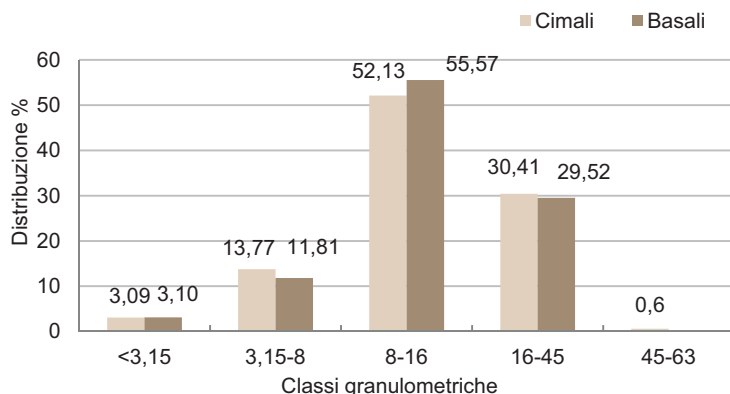


Grafico 1 - Distribuzione granulometrica del cippato prodotto trinciando porzioni basali e cimali di pioppo.

Una velocità di avanzamento costante è necessaria per ottenere dimensioni più uniformi del prodotto cippato.

Per quanto riguarda la distribuzione granulometrica del legno, i cimali hanno prodotto un materiale di dimensioni inferiori rispetto alle parti basali (Grafico 1) ma, in entrambi i casi oltre l'80% del prodotto era compreso nelle classi 8-45 mm (caratteristiche commerciali P45).

La quantità di particelle fini era compresa, per entrambe le tesi, entro la soglia del 5% previsto dall'attuale standard qualitativo europeo (CEN TS 14961).

CONCLUSIONI

La relazione tra produttività della macchina e taglia del prodotto lavorato è ad oggi ben conosciuta ed interessa diverse attività produttive. La cippatura di porzioni di albero di grandi dimensioni si traduce inevitabilmente in una maggiore produttività della macchina ed in un minore consumo di combustibile. Oltre alla taglia occorre considerare anche la forma, che può facilitare od ostacolare la regolare alimentazione dell'organo trinciante.

La cippatura delle parti basali ha richiesto più coppia e potenza rispetto ai cimali (rispettivamente 75% e 33% della potenza disponibile del trattore). In quest'ultimo caso, tuttavia, è stato inserito un solo cimale alla volta e questo potrebbe spiegare la ridotta produttività oraria di tale tesi e soprattutto l'elevato consumo specifico di carburante nonostante la bassa richiesta di potenza.

La cippatura dei cimali, infatti, ha determinato minori consumi per unità di tempo ma consumi più elevati per unità di prodotto. Per ovviare a tale inconveniente, gli operatori professionisti normalmente introducono **più cimali alla volta**, nel tentativo di compensare la pezzatura più piccola e mantenere livelli di produttività accettabili.

Tutto ciò può giustificare lo sviluppo di cippatrici specializzate o dotate di ingranaggio opzionale, che può aumentare l'efficienza produttiva quando si debba lavorare con carichi particolarmente elevati di legno. Tamburi di taglio più larghi e rulli laterali possono agevolare l'introduzione nella macchina di cimali, particolarmente ricchi di branche laterali, in modo da compensare l'effetto dovuto alla loro taglia ridotta. Tali caratteristiche sono tipiche delle cosiddette **cippatrici a spazzola**, che sono particolarmente adatte per gestire le cime degli alberi ed i residui di coltivazione.

Bibliografia

FANIGLIULO R., POCHI D., VOLPI C., SANTORO G., 2004 - **A mobile system to evaluate the performances of agricultural machinery under field conditions.** Rivista di Ingegneria Agraria, 2004, 4 (2):89-95.

MAKKI H., VIRTANEN Y., 2003 - **Selected emissions and efficiencies of energy systems based on logging and sawmill residues.** Biomass & Bioenergy 2003, 24 (4): 321-327.

PAPWORTH R., ERICKSON J., 1966 - **Power requirements for producing wood chips.** Forest Products Journal, 1966, 16 (10): 31-36.

SPINELLI R., HARTSOUGH B., MOORE P., 2008 - **Recovering sawlogs from pulpwood-size plantation cottonwood.** Forest Products Journal, 2008, 58 (4):80-84.

SPINELLI R., MAGAGNOTTI N., PICCHI G., LOMBARDINI C., NATI C., 2011 - **Upsized harvesting technology for coping with the new trends in short-rotation coppice.** Applied Engineering in Agriculture, 2011, 27 (4):1-7.

Spinelli R., Cavallo E., Facello A., 2012 - **A new comminution device for high-quality chip production.** Fuel Processing Technology, 2012, 93 (1): 69-74.

KEYWORDS: biomass, energy, poplar, chipping.

Abstract: Comparative chipping of basal and top portions of poplar

A commercial drum chipper was fed alternately and piecewise with poplar stems and poplar tops, in order to determine the effect of piece size and tree part on machine performance. Chipping stems required most of the available power (231 kW) delivered by the tractor, whereas chipping tops took about half that much. However, productivity was twice as high with stems, compared to tops (i.e. 25 and 11 t h⁻¹ of oven dry wood, respectively). As a consequence, specific fuel consumption per unit product was 15% lower with stems, compared to tops. Productivity and fuel consumption were strongly related to piece size, but tree part had its own additional effect, independent from size and possibly related to form. When chipping tops it is advisable to feed more pieces at a time, in order to partly compensate for the effect of piece size. Operators expecting to chip primarily small-size materials may acquire special chipper versions with wider drums and additional side rollers, for smoother mass feeding.

Colture arboree a ciclo medio

Benefici offerti dallo stoccaggio in andana

di VINCENZO CIVITARESE, LUIGI PARI, FRANCESCO GALLUCCI, ENRICO SANTANGELO,
ANGELO DEL GIUDICE, MAURIZIO BARONTINI, ALESSANDRO SUARDI, ANDREA ACAMPORA

Nel presente lavoro vengono analizzate le perdite di umidità e di sostanza secca delle piante andanate nell'interfila, secondo la metodologia di raccolta e cippatura in due fasi distinte.

PAROLE CHIAVE: SRF, andane, stoccaggio, pioppo.

I cantieri per la raccolta del pioppo allevato a SRF possono essere suddivisi in due categorie principali: raccolta e cippatura in un unico passaggio oppure abbattimento e cippatura in due fasi distinte (SPINELLI *et al.* 2009; PARI *et al.* 2013c).

Per quanto concerne le piantagioni a ciclo medio (*Medium Rotation Forestry-MRF*) è possibile effettuare la sola raccolta in due fasi. A tal proposito il CRA ING aveva sviluppato, nel biennio 2012-2013, due nuovi prototipi in grado di effettuare, analogamente a quanto avviene per le SRF, il taglio, l'andanatura e la cippatura delle piante stoccate nell'interfila (PARI *et al.* 2013a, b).

Il cantiere in due fasi consente di posticipare le operazioni di raccolta e cippatura della biomassa andanata a fine maggio-primi di giugno. Durante il periodo di permanenza in campo il prodotto è sottoposto ad un naturale processo di disidratazione (PARI *et al.* 2009).

Indicazioni interessanti sulla perdita di umidità delle piante stoccate in andana erano già state fornite, per le piantagioni biennali, in un precedente contributo (PARI *et al.* 2010). **Le dimensioni delle piante, tuttavia, influenzano il comportamento della biomassa durante il periodo di stoccaggio.** Per tale ragione si è proceduto col monitorare le perdite di umidità e di sostanza secca anche in piantagioni a ciclo medio, considerando, in questo studio, quattro diverse epoche di taglio e quattro differenti periodi di stoccaggio.

CRA-ING di Monterotondo (RM), utilizzando una parcella di pioppo allevato a ciclo medio (Tabella 1). Le piante avevano un diametro medio e un'altezza media pari rispettivamente a 100 mm ($\pm 16,96$) e 10,46 m ($\pm 1,76$).

I rilievi dendrometrici sono stati effettuati su un campione casuale di 30 piante secondo le linee guida proposte dalla Aberdeen University (MITCHEL *et al.* 1997).



MATERIALI E METODI

Descrizione della piantagione

Lo studio è stato condotto, nel 2013, presso la sede

VINCENZO CIVITARESE, CRA-ING vincenzo.civitarese@entecra.it - LUIGI PARI, CRA-ING - FRANCESCO GALLUCCI, CRA-ING - ENRICO SANTANGELO, CRA-ING
ANGELO DEL GIUDICE, CRA-ING - MAURIZIO BARONTINI, CRA-ING - ALESSANDRO SUARDI, CRA-ING - ANDREA ACAMPORA, CRA-ING.

Località	Monterotondo (RM)
Diametro a 10 cm dal suolo (mm)	100 ($\pm 16,96$)
Altezza (m)	10,46 ($\pm 1,76$)
Superficie (ha)	0,50
Quota (m s.l.m.)	23
Densità (p ha⁻¹)	7.140
Distanza tra le file (cm)	280
Distanza sulla fila (cm)	50
Clone	AF2
Date di abbattimento	4/12/12; 18/01/13; 04/02/13; 18/03/13
Conclusione stoccaggio	10 Giugno

Tabella 1 - Descrizione della piantagione.

Valutazione del processo di disidratazione

Il protocollo sperimentale prevedeva la valutazione dell'andamento del contenuto di umidità delle piante dalla data di abbattimento fino al termine della sperimentazione (10 Giugno). Sono state considerate 4 diverse epoche di taglio: 4 Dicembre 2012 (**tesi 1**), 18 Gennaio 2013 (**tesi 2**), 4 Febbraio 2013 (**tesi 3**) e 18 Marzo 2013 (**tesi 4**).

Il taglio e l'andanatura sono stati effettuati con una motosega, simulando il lavoro svolto da una abbattente andanatrice. Le piante sono state posizionate in quattro andane distinte, una per ciascuna data di abbattimento.

I singoli campionamenti, effettuati con cadenza di 15 giorni a partire dall'abbattimento, prevedevano il prelievo di 5 fusti per tesi. Complessivamente sono stati effettuati 13 campionamenti per la tesi 1 (65 piante), 10 campionamenti per la tesi 2 (50 piante), 9 campionamenti per la tesi 3 (45 piante) e 6 campionamenti per la tesi 4 (30 piante). Da ciascun campione sono stati prelevati e trasportati in laboratorio sottocampioni provenienti dalla parte basale, mediana e apicale del fusto. Il contenuto di umidità è stato valutato secondo la Normativa Europea EN 14774-2. Al fine di tener conto dell'influenza diretta e indiretta dell'esposizione al sole, della circolazione dell'aria e dell'umidità del suolo, le piante sono state prelevate da ogni andana in maniera casuale a diverse altezze da terra.

I parametri climatici (temperatura e precipitazione) sono stati registrati da una centralina meteo localizzata in prossimità del sito.

Valutazione della perdita di sostanza secca

Per la valutazione della perdita di sostanza secca sono state individuate e misurate 20 piante, 5 per ciascuna data di abbattimento. Il materiale, pesato subito dopo il taglio e a fine sperimentazione, è stato rapportato al relativo contenuto di umidità al fine di calcolarne il peso secco. Il contenuto di umidità iniziale è stato calcolato sulla base dei valori medi rilevati su altri campioni abbattuti nella medesima data, in modo da non alterare l'integrità strutturale dei campioni stessi. L'umidità finale, invece, è stata ottenuta essiccando direttamente i campioni giunti a fine sperimentazione.

RISULTATI

Disidratazione del prodotto andanato

Per quanto concerne il contenuto di umidità delle piante al momento del taglio, l'analisi della varianza non ha rilevato l'esistenza di differenze statisticamente significative tra le 4 tesi. L'epoca di taglio sembrerebbe, quindi, non influenzare il contenuto di umidità iniziale, risultato poco superiore al 56% (Tabella 2).

La data di abbattimento e la durata dello stoccaggio, diversamente, hanno influito sensibilmente sul tasso di disidratazione e sul livello di umidità finale. Valori di umidità inferiori al 50% sono stati raggiunti a distanza di 51, 78, 96 e 105 giorni rispettivamente per gli abbattimenti di Marzo (tesi 4), Febbraio (tesi 3), Gennaio (tesi 2) e Dicembre (tesi 1).

Gli abbattimenti più tardivi, potendo beneficiare fin da subito di un progressivo innalzamento delle temperature, si caratterizzavano per un tasso di disidratazione più elevato, ma una maggiore permanenza in campo consentiva di raggiungere valori inferiori di umidità finale. Al 10 di Giugno, infatti, le piante abbattute a Dicembre avevano un contenuto di umidità del 36,76% (186 giorni di stoccaggio), mentre quelle abbattute a Gennaio, Febbraio e Marzo si presentavano con contenuti di umidità pari, rispettivamente, al 41,35% (145 giorni di stoccaggio), 43,22% (126 giorni di stoccaggio) e 45,14% (83 giorni di stoccaggio).

L'esperienza condotta nel 2009 aveva evidenziato la possibilità di raggiungere valori prossimi al 35% dopo circa 105 giorni di stoccaggio in andana (PARI *et al.* 2010b). I risultati ottenuti, tuttavia, devono essere messi in relazione con le dimensioni medie delle piante e con l'andamento climatico relativo al periodo di osservazione. Il 2013, rispetto

Data prelievo	TESI 1		TESI 2		TESI 3		TESI 4	
	N° prel.	Cont. umid. %	N° prel.	Cont. umid. %	N° prel.	Cont. umid. %	N° prel.	Cont. umid. %
03/12/2012	1	56,50						
18/12/2012	2	54,99						
02/01/2013	3	53,58						
18/01/2013	4	53,30	1	56,41				
04/02/2013	5	52,22	2	55,95	1	56,72		
18/02/2013	6	52,35	3	55,61	2	57,19		
04/03/2013	7	51,82	4	52,09	3	56,37		
18/03/2013	8	48,84	5	53,19	4	54,09	1	56,69
08/04/2013	9	47,14	6	50,82	5	54,08	2	56,92
23/04/2013	10	46,22	7	48,10	6	46,96	3	52,21
09/05/2013	11	43,21	8	46,15	7	45,55	4	48,70
24/05/2013	12	44,54	9	46,35	8	45,23	5	45,76
10/06/2013	13	36,76	10	41,35	9	43,22	6	45,14

Tabella 2 - Valori medi del contenuto di umidità registrati durante il periodo di stoccaggio.

ai 6 anni precedenti, può essere considerato un anno particolarmente piovoso. Sono stati registrati, infatti, maggiori precipitazioni nei mesi di Gennaio, Febbraio, Marzo e Giugno (Grafico 1) e un maggior numero di giorni piovosi nei mesi di Gennaio, Marzo, Maggio e Giugno (Grafico 2). Ciò potrebbe aver rallentato il processo di disidratazione delle piante stoccate nell'interfila.

Nel Grafico 3 vengono proposte 4 linee di tendenza frutto delle interpolazioni dei dati registrati nel corso della sperimentazione. Le equazioni riportate in figura ($R^2 > 0,80$) possono essere utilizzate per calcolare, per ciascuna epoca di taglio, il numero di giorni di stoccaggio necessari affinché le piante raggiungano un determinato contenuto di umidità.

Perdita di sostanza secca

Per quanto concerne lo studio sulla perdita di sostanza secca, il t test non ha evidenziato differenze statisticamente significative ($p > 0,05$) tra i valori registrati prima e dopo il periodo di stoccaggio (Grafico 4). Ciò può essere imputato al fatto che la presenza della corteccia, relativamente ad un periodo di permanenza in campo limitato a 5-6 mesi, continua ad esplicare la sua funzione protettiva limitando i processi degradativi a carico delle componenti lignocellulosiche.

CONCLUSIONI

Ciascuna tipologia di cantiere offre una serie di vantaggi sul piano logistico, gestionale ed economico. La metodologia di raccolta in due fasi consente di posticipare il conferimento del prodotto, fornendo un cippato caratterizzato da un contenuto di umidità inferiore rispetto alla raccolta e cippatura in un unico passaggio.

Durante lo stoccaggio in andana, inoltre, la biomassa non incorre in perdite di sostanza secca, contrariamente a quanto si registra nello stoccaggio del cippato fresco (BARONTINI *et al.* 2013).

L'epoca di taglio, la durata dello stoccaggio e l'andamento climatico sono tutte variabili in grado di influenzare sensibilmente il processo di disidratazione. Di tali fattori si dovrà tener conto nel caso di specifiche richieste da parte degli impianti di conversione energetica, in modo da programmare le operazioni di cippatura in funzione di determinati livelli di umidità.

Bibliografia

BARONTINI M., SCARFONE A., SANTANGELO E., GALLUCCI F., SPINELLI R., PARI L. 2013 - **The CRA-ING experience on storage of poplar wood chips**. Proceedings of the 21th 339 European Biomass Conference and Exhibition. Copenhagen, Denmark 2013.

EN 14774-2. 2009 - **Solid biofuels-determination of moisture content-oven dry method-part 2**, simplified method.

MITCHELL C.P., KOFMAN P.D., ANGUS-HANKIN C.M. 1997 - **Guidelines for conducting harvesting trials in short rotation forestry**. Forestry research paper, vol 1:1-50. Aberdeen University Ed.

PARI L., CMTARESE V., DEL GIUDICE A. 2009 - **Cantiere innovativo di raccolta di pioppo a turno breve**. Agroenergie dall'impianto alla raccolta, supplemento n. 1 al numero 29 dell'Informatore Agrario.

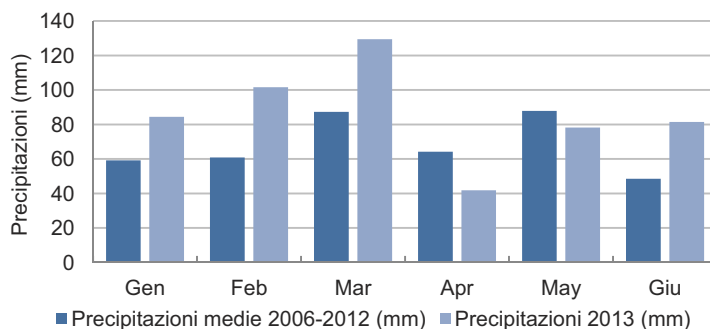


Grafico 1 - Andamento pluviometrico del primo semestre del 2013 e media delle precipitazioni relative al medesimo semestre per gli anni 2006-2012.

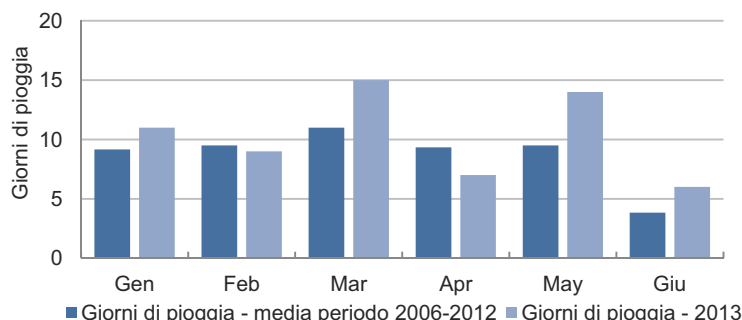


Grafico 2 - Numero di giorni piovosi registrati nel primo semestre del 2013 e nei 6 anni precedenti.

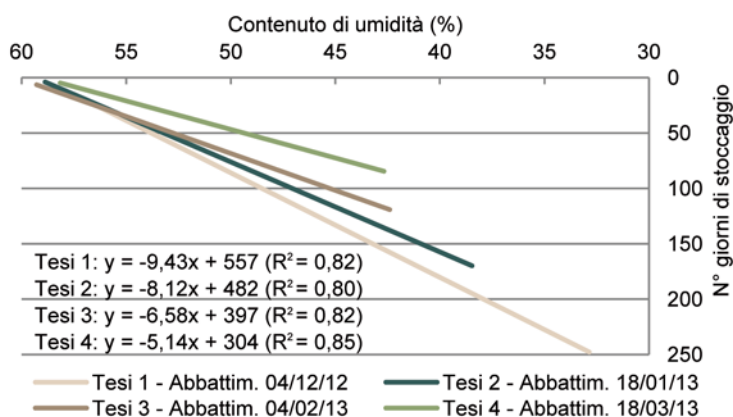


Grafico 3 - Curve di disidratazione delle andane in funzione dell'epoca di taglio.

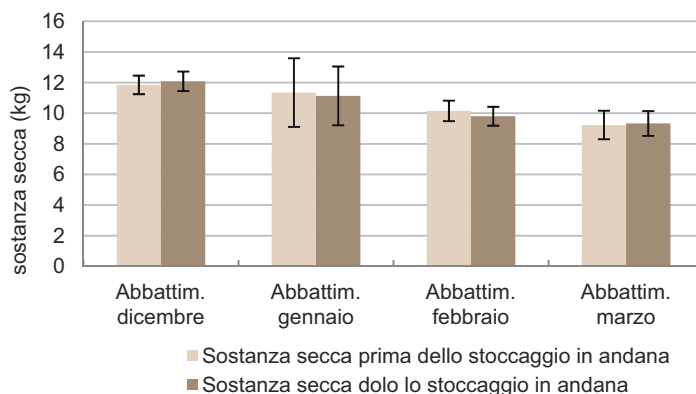


Grafico 4 - Sostanza secca della biomassa andanata al momento dell'abbattimento e dopo il periodo di stoccaggio. Le barre verticali rappresentano l'errore standard.

PARI L., CIVITARESE V., DEL GIUDICE A. 2010 - **Qualità del cippato. Umidità e pezzatura in funzione della metodologia di raccolta.** Innovazioni tecnologiche per le agroenergie. Sinergie tra ricerca e impresa. Sherwood n. 168, suppl. 2: 14-18.

PARI L., CIVITARESE V., DEL GIUDICE A., SANTANGELO E. 2013a - **Abbattitrice andanatrice e cippatrice semovente. Un cantiere innovativo per pioppo quinquennale.** In: Biomasse lignocelulosiche per uso energetico - Ultimi risultati dell'attività di ricerca del CRA-ING. Sherwood 192, suppl. n. 2: 6-9

PARI L., CIVITARESE V., DEL GIUDICE A., ASSIRELLI A., SPINELLI R., SANTANGELO E. 2013b - **Prove di raccolta del pioppo quinquennale. Risultati preliminari in un cantiere innovativo.** In: Biomasse lignocelulosiche per uso energetico - Ultimi risultati dell'attività di ricerca del CRA-ING. Sherwood 192, suppl. n. 2: 10-12

PARI L., CIVITARESE V., DEL GIUDICE A., ASSIRELLI A., SPINELLI R., SANTANGELO E. 2013c - **Influence of chipping device and storage method on the quality of SRC poplar biomass.** Biomass and bioenergy 51: 169-176.

SPINELLI R., NATI C., MAGAGNOTTI N. 2009 - **Using modified foragers to harvest short-rotation poplar plantations.** Biomass Bioenerg 33 (5):817-21.

KEYWORDS: SRF, windrow, storage, poplar.

Abstract: *Medium rotation forestry. Benefits of the storage in windrow.*

The two phases harvesting methodology allows to manage and schedule the chipping operations as in function of moisture content of the stored biomass. In this study we evaluated the loss of moisture and dry matter, of medium rotation forestry plantations, considering four different times of cut. The results obtained have shown the possibility to reach, during the first days of June, humidity levels between 36 and 45% by felling down the plants between December and mid March. During the entire monitoring period, substantial dry matter losses were not recorded.

Stoccaggio del cippato di pioppo a lungo termine

Analisi fisico-chimica del prodotto finale

MAURIZIO BARONTINI, ANTONIO SCARFONE, RAFFAELE SPINELLI,
FRANCESCO GALLUCCI, ENRICO SANTANGELO, ANDREA ACAMPORA,
VINCENZO CIVITARESE, RAIDA JIRJIS, LUIGI PARI

È stata valutata l'influenza dello stoccaggio in cumuli su cippato ottenuto da due diverse parti di pioppo per destinazione energetica: fusti e chiome. Mentre i fusti trovano impiego nell'industria del legno, le chiome rappresentano un materiale di scarto che potrebbe trovare un'opportuna valorizzazione energetica a beneficio della redditività della coltura.

PAROLE CHIAVE: cippato, potere calorifico, analisi elementare, stoccaggio, ceneri, pioppo, contenuto idrico.

La notevole versatilità d'uso che caratterizza il pioppo è associata a cicli di crescita relativamente brevi rispetto a quelli della maggior parte di altre specie arboree da legno (ULRICH *et al.* 2004). Nelle piantagioni tradizionali, la parte legnosa di maggior pregio è data dal fusto, che dopo la separazione dalla chioma, è destinato alla produzione di impiallacciati, tavole, e materiale macinato per la produzione della polpa di cellulosa. Le caratteristiche fisiche della parte apicale della pianta, rendono questa inadatta all'impiego industriale, risultando di basso valore aggiunto e in molti casi, rappresentando uno scarto che richiede costi aggiuntivi per lo smaltimento (MANFREDI 2011).

In ambito bioenergetico lo scarto derivante dalla lavorazione dei pioppeti tradizionali potrebbe rappresentare una buona opportunità produttiva. La direttiva europea 2009/28/CE stabilisce nuovi e ambiziosi obiettivi per tutti gli stati membri, con lo scopo di aumentare, entro il 2020, la quota di energie rinnovabili al 20 % del totale prodotto (EU 2009). In questo contesto, l'individuazione di nuove fonti di energia rinnovabili è stata considerata in questi ultimi anni una priorità.

Un aspetto fondamentale per la valorizzazione energetica dei residui dagli impianti di arboricoltura è lo stoc-

caggio del prodotto, in quanto **le scelte logistiche con cui viene gestita la fase post-raccolta influenzano in maniera determinante la qualità della biomassa finale.** La conservazione della biomassa consente di disporre del "biocombustibile" legnoso per tutto l'anno. Inoltre, le trasformazioni che avvengono nel prodotto riducono il suo tenore di umidità, che, in funzione di quanto prescritto dalla tecnologia di combustione cui il materiale sarà destinato, dovrà raggiungere valori dell'ordine del 30-35%.



Foto 1 - Allestimento dei cumuli di cippato.

MAURIZIO BARONTINI, CRA-ING - ANTONIO SCARFONE, CRA-ING - RAFFAELE SPINELLI, CNR MALSA - FRANCESCO GALLUCCI, CRA-ING francesco.gallucci@entecra.it
ENRICO SANTANGELO, CRA-ING - ANDREA ACAMPORA, CRA-ING - VINCENZO CIVITARESE, CRA-ING - RAIDA JIRJIS, Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Energy and Technology - LUIGI PARI, CRA-ING.

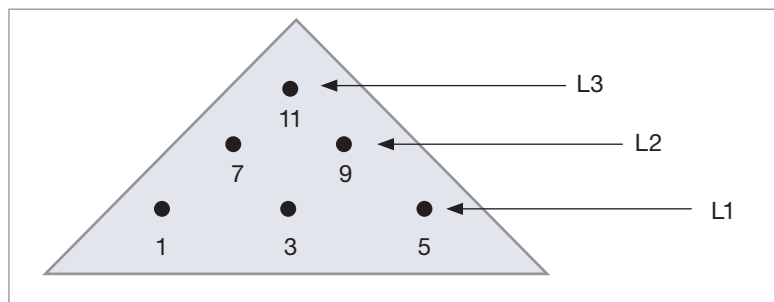


Figura 1 - Schema del cumulo in cui sono stati riportati i punti di inserimento delle sonde e dei sacchetti.



Foto 2 - Posizionamento dei sacchetti contenenti i sottocampioni di cippato.

La biomassa legnosa appena raccolta viene generalmente sottoposta ad operazioni di cippatura e quindi successivamente stoccata. In questa forma, **le scaglie, durante la conservazione, sono estremamente vulnerabili alla degradazione microbica con conseguenti perdite** (anche elevate) di sostanza secca, riduzione del valore energetico e rischio di auto-combustione.

In considerazione di ciò l'Unità di ricerca per l'ingegneria agraria del Consiglio per la ricerca e la sperimentazione in agricoltura (CRA-ING), nell'ambito del progetto SUSFACE, ha avviato un'attività sperimentale mirata alla valutazione della conservazione differenziata del cippato proveniente dal tronco rispetto a quello ottenuto da cimale, studiando sia le differenti risposte nel tempo che la qualità del biofuel prodotto.

MATERIALI E METODI

L'attività di stoccaggio è stata condotta presso il centro di Ricerca del CRA-ING di Monterotondo (Roma) (42° 10' 19" latitudine N, 12° 62' 66" E di longitudine). La sperimentazione è stata effettuata nel periodo marzo-settembre 2012 ed ha comparato l'andamento dei principali parametri fisico-chimici in cumuli di **cippato di tronco (porzione delle piante con diametro superiore di 20 cm) o di cimale (porzione delle piante con diametro minore di 20 cm)**. La soglia di 20 cm è stata scelta in quanto corrisponde al punto medio di diramazione degli alberi studiati. Tronchi e cimale, completamente defogliati, sono stati

cippati separatamente mediante la cippatrice a tamburo Pezzolato PH 700/660 (www.pezzolato.it) operando su un impianto di pioppo di 18 anni. L'impianto oggetto delle prove era costituito dal clone *Populus x americana* "Neva" avente un sesto d'impianto di 6x5 m. Il terreno su cui sono stati impiantati gli alberi era franco-limoso.

Allestimento dei cumuli e parametri studiati

Il prodotto cippato è stato utilizzato per l'allestimento di 3 cumuli per ogni trattamento (cippato da basale e cippato da cimale, 6 cumuli totali). Per evitare il trasferimento dell'umidità del terreno al materiale legnoso, i cumuli sono stati allestiti su un telo impermeabile. I 6 cumuli avevano le seguenti dimensioni: lunghezza 10 m, larghezza 8 m, altezza 4 m, per un volume medio di 107 m³ (Foto 1).

All'interno dei cumuli sono stati individuati sei punti di controllo inseriti su tre livelli, rispettivamente a 1,0, 2,5 e 3,5 m dal suolo (L1, L2 e L3) per l'analisi dei diversi parametri studiati (Figura 1).

In ciascun punto di campionamento è stata inserita una termocoppia (modello PT 100) per il monitoraggio in continuo dello sviluppo di calore all'interno dei sei cumuli.

Intorno ad ogni termocoppia sono stati alloggiati 4 sacchetti in rete di plastica, riempiti con cippato fresco. Ogni sacchetto è stato sottoposto alla pesatura e alla determinazione del contenuto idrico all'inizio e alla fine dell'attività (Foto 2).

Durante l'intero periodo di stoccaggio i dati climatici (precipitazioni, temperatura esterna e umidità dell'aria) sono stati registrati usando una centralina meteo "SIAP-MICROS DA9000" certificata dal SIAN (Sistema Informativo Nazionale per l'Agricoltura), ubicata a circa 800 m dal sito di prova.

Le caratteristiche qualitative del cippato sono state valutate all'inizio ed al termine del periodo di stoccaggio in conformità alle normative europee del settore: UNI EN 14774-2 (contenuto idrico), UNI EN 14775 (ceneri), UNI EN 14918 (potere calorifico inferiore e superiore), UNI EN 15104 e 15289 (analisi elementare). Le analisi iniziali sono state condotte su 24 campioni di cippato (12 per ogni trattamento) prelevati in maniera casuale durante l'allestimento dei cumuli ed aventi un peso di circa 500 g ciascuno. Le analisi finali sono state eseguite utilizzando il cippato conservato nei sacchetti raccolti dai vari punti di campionamento. Su tali campioni è stata inoltre determinata la perdita di sostanza secca secondo la seguente formula (JIRJIS *et al.* 1990):

$$\text{Perdita S.S.} = \left[1 - \left(\frac{\text{peso secco finale}}{\text{peso secco iniziale}} \right) \right] \times 100$$

dove:

Perdita S.S.: perdita di sostanza secca [%];

Peso secco finale: peso del cippato seccato in stufa dopo lo stoccaggio [kg];

Peso secco iniziale: peso del cippato seccato in stufa prima dello stoccaggio [kg].

Le perdite di sostanza secca, essendo un parametro critico e non facilmente stimabile, oltre che con la metodolo-

gia appena descritta, sono state valutate anche confrontando il peso secco totale dei cumuli all'inizio e alla fine dell'attività. Tutto il cippato utilizzato per la formazione di ogni cumulo è stato pesato al momento della raccolta direttamente sul camion mediante una pesa aziendale certificata. Lo stesso procedimento è stato adottato alla fine dello stoccaggio, ricaricando sul camion il materiale di ogni cumulo e procedendo a nuova pesatura. I valori ottenuti, sono stati normalizzati in funzione del contenuto idrico ed è stata calcolata la perdita di sostanza secca secondo la formula sopraindicata. I risultati sono stati quindi confrontati con quelli ottenuti dal procedimento con i sottocampioni nei sacchetti di rete plastica per un riscontro del metodo.

Anche la densità apparente è stata determinata prima e dopo lo stoccaggio (UNI EN 15103). In questo caso, un cilindro di acciaio di volume noto è stato riempito con cippato fatto cadere liberamente da un'altezza di circa 20 cm e quindi pesato. Il rapporto tra il peso netto del cippato all'interno del cilindro e il volume di quest'ultimo rappresentano la densità del legno, espressa in kg m^{-3} . Infine, è stata valutata la distribuzione granulometrica del cippato, utilizzando un setaccio meccanico, conformemente alla norma UNI EN 14961.

RISULTATI

Condizioni meteorologiche

Durante il periodo di conservazione la temperatura media giornaliera è oscillata tra i 9 e i 30°C, mentre le precipitazioni totali sono ammontate a 259 mm. Gli eventi piovosi si sono concentrati nei primi due mesi e nell'ultimo mese di stoccaggio (Grafico 1).

Monitoraggio della temperatura interna ai cumuli

Le temperature interne ai cumuli (indice dello sviluppo di calore generato dalle fermentazioni microbiche) monitorate a tre diversi livelli di altezza, pur raggiungendo un valore finale simile (intorno ai 30°C) hanno mostrato un andamento diverso in funzione della provenienza della porzione di pianta (Grafici 2 e 3).

All'inizio dello stoccaggio, **la temperatura all'interno dei cumuli di cippato formato dal legno di tronchi** (Grafico 2) **si è distribuita in un range piuttosto ampio** (20-50°C), facendo registrare valori relativamente elevati solo negli strati più alti, mentre nei livelli inferiori non si è discostata eccessivamente dalla temperatura ambiente.

Differentemente, **nei cumuli formati da cippato di cimale** (Grafico 3) **si è registrato nella prima settimana**

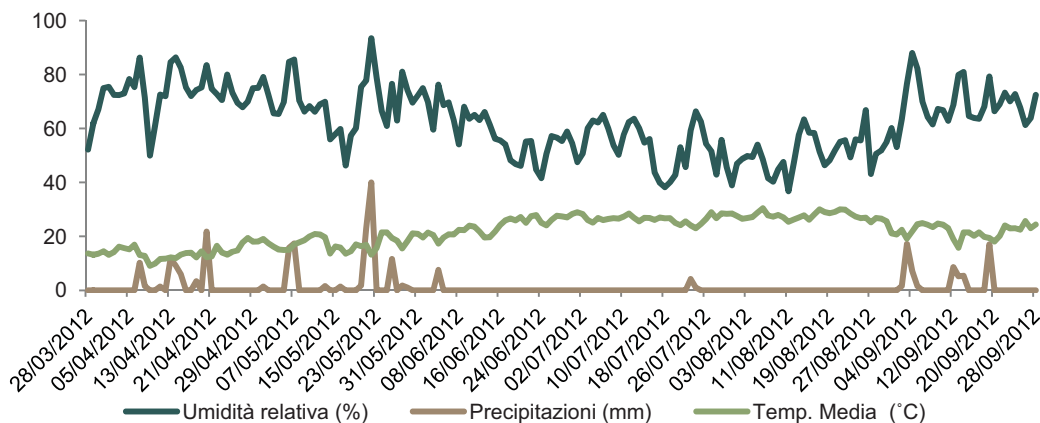


Grafico 1 - Andamento dei principali parametri meteorologici (umidità dell'aria, precipitazioni e temperatura ambiente) rilevati su base giornaliera durante il periodo di stoccaggio.

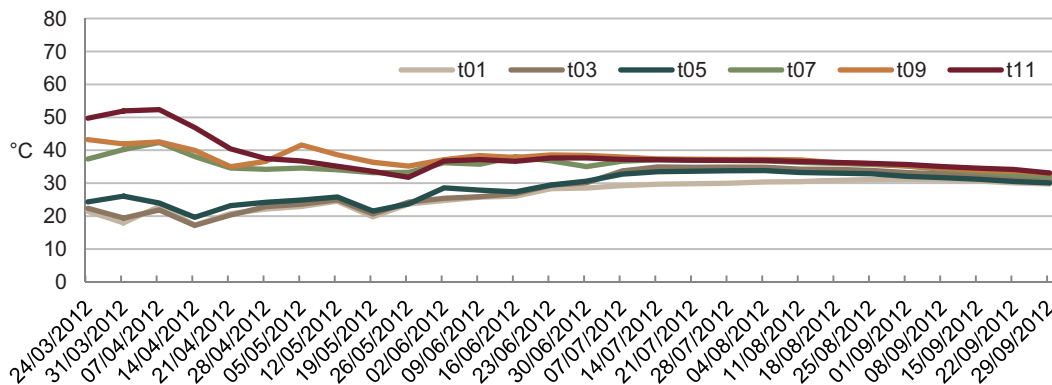


Grafico 2 - Andamento medio delle temperature all'interno dei cumuli di cippato ottenuti dalle porzioni basali. t01-t03-t05 = sonde strato L1; t07-t09 = sonde strato L2; t11 = sonda strato L3.

Cippato	Contenuto idrico (%)			
	T ₀	T ₆		
		L1	L2	L3
Basale	47,7 ± 2,7	35,9 ± 5,8	33,6 ± 4,9	31,6 ± 6,6
Cimale	54,2 ± 1,5	28,3 ± 3,5	30,3 ± 1,4	33,7 ± 2,3

Tabella 1 - Percentuale di umidità (± dev. St.) sul fresco del cippato ottenuto da tronco o da cimale all'inizio (T₀) e dopo sei mesi (T₆), quest'ultima distinta per livello di monitoraggio.

di stoccaggio un repentino aumento di temperatura in tutta la biomassa con un valore massimo prossimo ai 70°C. Nel corso del tempo la temperatura è diminuita equilibrandosi, intorno al quarto mese, con quella ambientale.

Caratteristiche fisiche del cippato

La distribuzione granulometrica delle scaglie di legno non differiva significativamente tra il cippato di basale o di cimale (Grafico 4). La classe dimensionale più rappresentata era quella compresa tra 8 e 16 mm che, sia per il cimale sia per il basale, costituiva oltre il 50 %. Complessivamente, per entrambi i tipi di cippato, più del 96% delle scaglie erano comprese tra i 3,15 e i 45 mm. Tali risultati indicano che per entrambe le parti legnose analizzate si è utilizzato un prodotto con differenze non rilevanti in

termini di pezzatura e quindi con uguali caratteristiche di permeabilità all'aria ed umidità.

Per quanto riguarda il contenuto di umidità dei cumuli, tutti i campioni testati hanno mostrato dopo sei mesi di stoccaggio una netta diminuzione (Tabella 1). **La perdita di umidità è risultata però maggiore nel cumulo derivante da cimale** in quanto è passata da un valore del 54,4% al tempo zero ad un valore medio di 30,8% al termine dello stoccaggio, con una diminuzione netta di 23,4 punti percentuali. Tale perdita è stata di 14 punti nel cippato ottenuto da tronco, variando dal 47,7 iniziale al 33,7 % (valore medio) del rilevamento finale. È interessante notare come le differenze più ampie in termini di umidità relative ai tre livelli del cumulo oggetto di monitoraggio si siano riscontrate nella zona più vicina al suolo (L1) e come tali differenze si riducano avvicinandosi alla sommità del cumulo. In particolare, ad 1 m dal terreno (L1) vi sono ben 7,6 punti percentuali tra i due tipi di cippato, con il cimale che ha fatto registrare un valore inferiore al 30%.

Relativamente alla densità apparente, al momento dell'allestimento dei cumuli il cippato proveniente dal legno cimale presentava un peso maggiore per unità di volume in confronto a quello del tronco (Grafico 5). Al termine del periodo di stoccaggio, la massa volumica dei due prodotti

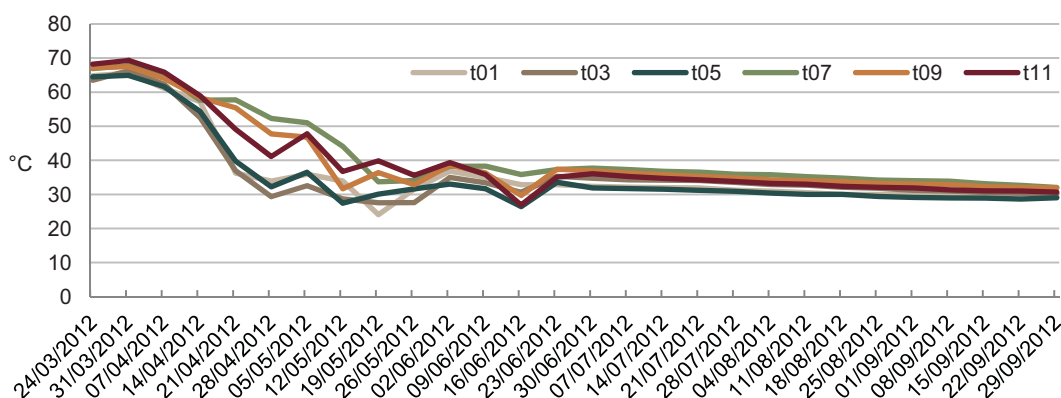


Grafico 3 - Andamento medio delle temperature all'interno dei cumuli di cippato di cimale. t01-t03-t05 = sonde strato L1; t07-t09 = sonde strato L2; t11= sonda strato L3.

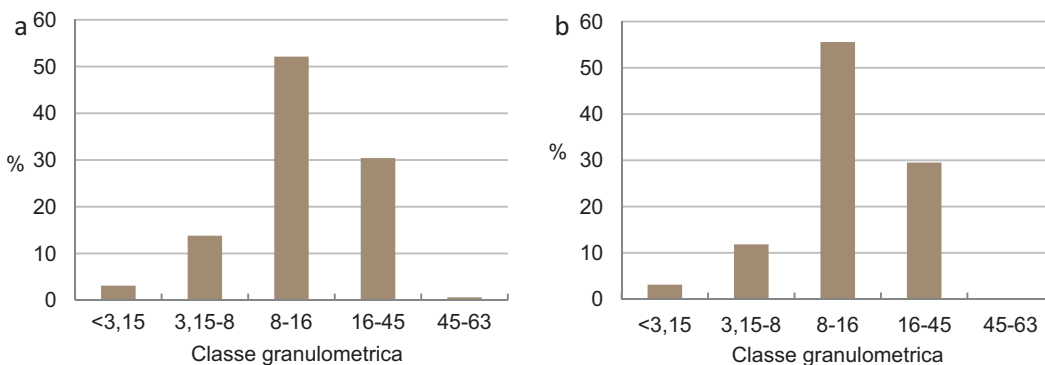


Grafico 4 - Distribuzione granulometrica del cippato proveniente da legno basale (a) e da quello proveniente da legno cimale (b).

ha subito un aumento a causa del compattamento, ma in percentuale diversa. Nel cippato basale il peso a parità di volume ha subito un aumento del 24,7%, mentre il cippato di legno apicale ha subito un incremento del 17,9%.

Entrambe le metodologie adottate per la quantificazione della sostanza secca residua post stoccaggio (Tabella 2) hanno evidenziato delle **perdite superiori al 20% nel cippato di tronco rispetto a quelle osservate nel legno dei cimali (inferiore o pari al 10%)**. La sovrapposibilità dei due sistemi di valutazione (analisi del peso dei campioni conservati in sacchetti all'interno dei cumuli o peso totale del singolo cumulo) in relazione alla stima delle perdite di sostanza secca è risultata limitata al livello 1 per il basale e al livello 3 per il cimale, evidenziando che i valori stimati pesando i cumuli sono, in media, più alti.

Caratteristiche chimiche ed energetiche del combustibile

Nella Tabella 3 sono mostrati i principali parametri relativi alle caratteristiche chimiche ed energetiche dei due tipi di cippato prodotto con riferimento all'inizio e alla fine delle prove di stoccaggio, mentre nella Tabella 4 vengono riportati i medesimi parametri suddivisi nei tre livelli dei cumuli a fine periodo di stoccaggio.

Dopo sei mesi, è stato osservato un lieve aumento sia del contenuto in ceneri che del potere calorifico per entrambi i tipi di legno, rimanendo praticamente invariati tutti gli altri parametri. Per quanto riguarda le caratteristiche chimiche, l'unica differenza significativa tra i trattamenti a confronto è costituita dal contenuto in azoto, risultando circa il 33% più elevato nel cippato di cimale.

DISCUSSIONE

Il trend di temperatura all'interno dei cumuli di cippato durante tutto il processo di stoccaggio può essere considerato come un indicatore della degradazione del legno. È noto che tali degradazioni sono esotermiche, generano, cioè, calore all'interno dei cumuli e determinano un aumento di temperatura.

L'immediato aumento di temperatura a valori superiori ai 70°C nei cumuli di cimale potrebbe essere dovuta a fattori fisiologici abbinati al **più elevato contenuto di azoto rispetto ai livelli presenti nella porzione basale**. L'azoto, infatti, viene utilizzato da alcuni microrganismi termofili per la formazione di enzimi e zuccheri liberi; quest'ultimi a loro volta fungono da substrato di partenza per i processi di fermentazione.

Confermando i dati pubblicati da MANZONE *et al.* (2013), la temperatura interna ha impiegato circa 150 giorni per equilibrarsi con quella ambientale. Il differente sviluppo di calore nei cumuli ha influenzato l'andamento dell'evapotraspirazione dell'acqua, giustificando il diverso contenuto di umidità a fine stoccaggio. Infatti, anche se il cippato composto dal legno di cimale risulta avere un maggiore contenuto idrico al momento del taglio, tali valori risultano invertiti nelle analisi effettuate a fine stoccaggio.

Le perdite di sostanza secca registrate, hanno mostrato valori maggiori nei cumuli di legno basale rispetto a quelli

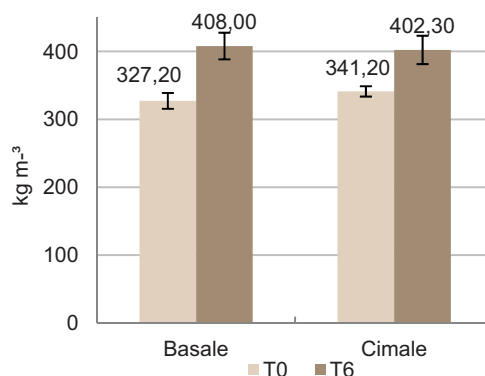


Grafico 5 - Densità apparente (kg m⁻³ ± Dev. St.) misurata all'inizio (T0) e alla fine (T6) del periodo di stoccaggio.

costituiti da legno di cimale. Probabilmente, la temperatura interna moderata e il maggiore contenuto idrico, hanno favorito le condizioni per la crescita di muffe e funghi imputati alla degradazione del legno. I valori della perdita di sostanza secca ottenuta attraverso la pesatura dei campioni all'interno dei sacchetti sono stati sistematicamente inferiori rispetto a quelli ottenuti attraverso la pesa dell'intero cumulo. Questo può essere spiegato in base alla geometria del cumulo, e in generale con la difficoltà di rappresentare omogeneamente una grande massa di campione attraverso l'utilizzo di piccoli sottocampioni.

Poiché la distribuzione granulometrica ha mostrato un pattern molto simile per i due trattamenti, i valori maggiori di

Cippato	Campioni interni ai cumuli				Peso dei cumuli			
	Livello			Media	Cumuli			Media
	1	2	3		A	B	C	
Basale	24	21	9	21,6	26	26	28	26,6
Cimale	4	7	9	6,6	11	10	9	10,0

Tabella 2 - Perdite di sostanza secca (%) determinate mediante pesatura dei campioni conservati in sacchetti all'interno dei cumuli o con pesata diretta dei cumuli.

Parametri	Unità di misura	Cippato			
		Basale		Cimale	
		T ₀	T ₆	T ₀	T ₆
Ceneri	% s.s.	3,02 ± 0,30	3,20 ± 0,73	2,91 ± 0,70	3,09 ± 0,54
Azoto	%	0,21	0,15	0,32	0,20
Carbonio	%	47,20	47,81	47,70	46,88
Idrogeno	%	5,96	6,16	5,90	6,07
Zolfo	%	0,03	0,03	0,03	0,03
Potere calorifico	-				
Superiore	MJ kg ⁻¹ (anidro)	15,61 ± 0,64	17,69 ± 0,34	16,28 ± 0,29	17,18 ± 0,25
Inferiore	MJ kg ⁻¹ (anidro)	14,34 ± 0,57	16,35 ± 0,33	15,02 ± 0,31	15,87 ± 0,26

Tabella 3 - Analisi chimiche del legno all'inizio (T₀) e dopo sei mesi (T₆) di stoccaggio.

Materiale	Livello	Parametri						
		Ceneri (%)	N (%)	C (%)	H (%)	S (%)	PCS (MJ kg ⁻¹)	PCI (MJ kg ⁻¹)
Basale	1	3,70 ± 0,60	0,20	47,2	6,0	0,030	17,08 ± 0,20	15,74 ± 0,22
	2	2,50 ± 0,23	0,10	47,5	6,1	0,020	17,27 ± 0,27	15,98 ± 0,25
	3	3,00 ± 0,40	0,16	47,9	6,3	0,030	17,32 ± 0,33	16,04 ± 0,30
Cimale	1	3,20 ± 0,30	0,21	47,7	6,2	0,030	17,83 ± 0,28	16,49 ± 0,28
	2	3,00 ± 0,80	0,20	45,2	5,9	0,030	17,61 ± 0,42	16,27 ± 0,41
	3	2,70 ± 0,10	0,20	47,8	6,2	0,030	17,43 ± 0,13	16,10 ± 0,08

Tabella 4 - Analisi chimiche del legno dopo sei mesi (T₆) di stoccaggio suddivisi nei 3 livelli di campionamento.

densità apparente del cippato di legno di cimale registrati all'inizio della prova vanno imputati ai valori di umidità superiori rispetto a quelli riscontrati nel tronco. Dopo lo stoccaggio la maggiore densità apparente del cippato proveniente dalla porzione basale non può essere giustificata da differenze contenute di umidità. Piuttosto la causa va ricercata in altri fattori, quali una maggiore esposizione dei tronchi ad attacchi di microrganismi che hanno causato una ulteriore frammentazione delle scaglie: con la riduzione delle dimensioni si è ottenuto un maggior compattamento ed un aumento di peso per unità di volume.

Le analisi chimiche effettuate all'inizio e alla fine del periodo di stoccaggio non rilevano grosse differenze tra i due tipi di cippato, ma mostrano come la conservazione ne abbia migliorato il potere calorifico riferito all'unità di peso.

CONCLUSIONI

I cimali degli alberi rappresentano generalmente un residuo da smaltire e quindi un costo aggiuntivo da sostenere. La semplicità e l'economicità del sistema di stoccaggio (cumuli scoperti poggiati su teli di plastica), nonché le caratteristiche fisico-chimiche del prodotto ne suggeriscono la valorizzazione come combustibile per il mercato di energia da biomassa.

Dal punto di vista pratico, i risultati dello studio indicano che è consigliabile stoccare il legno proveniente dai tronchi di pino ed eventualmente cipparli soltanto poco prima dell'utilizzo, mentre il legno proveniente dai cimali può essere cippato immediatamente e stoccato per periodi medio/lunghi senza grossi problemi.

Bibliografia

EUROPEAN UNION, 2009 - **Directive 2009/28/EC of the European parliament and the council official**. Official Journal of the European Union, Bruxelles, Belgium.

JIRJIS R, THEANDER O., 1990 - **The effect of seasonal storage on the chemical composition of forest residue chips**. Scandinavian Journal of Forest Research; 5(3): 437-448.

MANFREDI S., 2011 - **Bilancio di ciclo di vita energetico ed ambientale di una filiera aziendale di cippato da short rotation forestry: applicazione**. Master degree thesis Università degli studi di Parma; Italy.

MANZONE M, BALSARIA P, SPINELLI R., 2013 - **Small-scale storage techniques for fuel chips from short rotation forestry**. Fuel; (109), 687-692.

ULRICH W, BUSZKO J, CZARNECKI A., 2004 - **The contribution of poplar plantation to regional diversity of ground beetles (Coleoptera: Carabidae) in agricultural landscapes**. Ann. Zool. Fennici; 41: 501-512.

UNI EN 14774-2: 2010 - **Solid biofuels, Determination of moisture content - Oven dry method**, Part 2: Total moisture – Simplified method.

UNI EN 14775: 2010 - **Solid biofuels - Determination of ash content**.

UNI EN 14918: 2010 - **Solid biofuels, Determination of calorific value**.

UNI EN 14961-1, 2010 - **Solid biofuels - Fuel specification and classes** - Part 1.

UNI EN 15103, 2010 - **Solid biofuels - Determination of bulk density**.

UNI EN 15104: 2011 - **Solid biofuels - Determination of total content of carbon, hydrogen and nitrogen**- Instrumental method.

UNI EN 15289: 2011. **Solid biofuels - Determination of total content of sulfur and chlorine**.

KEYWORDS: wood chips, heating value, elemental analysis, storage, ash, poplar, moisture content.

Abstract: Long term storage of poplar chips

Italian poplar plantations cover about the 1.3 % of the national forest surface. Poplar cultivation for wood/timber production has a productive cycle of about 10-15 years. Generally, wood industry separates the stem from the crown in order to use the first part of the tree to produce material of different kind such as veneer, pallets, panels, etc. On the other hand, crowns usually represent waste material to be disposed of, causing economic and time losses. In fact, the revenues related to this material do not always overcome the costs for handling, management and transformation. The aim of this work was to evaluate the storage effects on wood chips produced from two different parts of poplar trees (*Populus x canadensis* M.): stems and crowns. The separation has allowed monitoring the storage behavior of the two chip kinds in an independent way, evaluating which type of product would respond better to the storage effects. Upon felling, plants were divided in stems and crowns, chipped, and stored in open air piles keeping separated the material of different origin. The effect of storage on fuel quality was evaluated through chemical and physical analysis according to standards UNI EN. Results showed that chips from crown material had better storage properties and exhibited lower decay than chips from stem wood.

Il diserbo sulla fila del pioppo SRC

Valutazione di sensori di rilevamento delle talee

ALBERTO ASSIRELLI, PAOLO LIBERATI, ENRICO SANTANGELO,
ANGELO DEL GIUDICE, LUIGI PARI

Nell'ambito del controllo meccanico delle infestanti sulla fila, è stato progettato e valutato un sistema di rilevamento delle talee di pioppo che utilizza sistemi di controllo remoto. Obiettivo nel medio periodo è la realizzazione di un modulo sulle più comuni macchine operatrici.

PAROLE CHIAVE: diserbo meccanico, agricoltura di precisione, SRC, fresatura.

L'effetto competitivo (acqua, nutrienti, esposizione alla luce) esercitato dalla presenza delle infestanti sulle comuni colture agricole è noto e ben documentato (OERKE 2006; SLAUGHTER *et al.* 2008) e, allo scopo di salvaguardare le rese, ha determinato negli anni una forte dipendenza dal diserbo chimico, determinando effetti negativi sia a livello ecologico sia in relazione alla salute umana. Gli interventi legislativi elaborati dall'Unione Europea in materia (Direttiva 91/414/CEE sui pesticidi; Strategia tematica per l'uso sostenibile dei pesticidi, EC 2010) mirano al ritiro di circa il 20% di principi attivi tra cui diversi erbicidi attualmente utilizzati per il controllo delle infestanti su cereali, carota, cipolla, colza (HILLOCKS 2012).

Lo sviluppo di soluzioni non chimiche per il controllo delle infestanti alternative oltre ad essere un imperativo va visto come un'opportunità per la sostenibilità dell'agricoltura e per settori, come quello dell'agricoltura biologica che, a livello europeo, interessa più di 7,5 milioni di ettari (WILLER 2010). L'approccio più studiato è sicuramente quello meccanico già ampiamente adottato nel caso in cui si voglia intervenire per la rimozione delle malerbe tra le file. Più complesso è, invece, il controllo delle infestanti sulla fila, un aspetto questo che ha visto negli ultimi anni un fiorire di studi stimolante sia per la produzione agricola convenzionale che biologica, dove la rimozione delle piante che crescono

sulla fila è un'operazione impegnativa che può richiedere, a seconda delle colture, da 24 a 300 h ha⁻¹ di intervento manuale (VAN DER WEIDE *et al.* 2008; KURSTJENS 2007).

Per il contenimento delle infestanti sulla fila sono stati proposti macchinari diversi mutuati a partire dagli erpici a denti o da estirpatori (VAN DER WEIDE *et al.* 2008).

La loro efficienza dipende dal tipo di coltura, dalle specie



Foto 1 - Disposizione della piastra di rilevamento.

ALBERTO ASSIRELLI, CRA-ING, alberto.assirelli@entecra.it - PAOLO LIBERATI, Università di Bologna DISTAL - ENRICO SANTANGELO, CRA-ING
ANGELO DEL GIUDICE, CRA-ING - LUIGI PARI, CRA-ING.

infestanti e dalla loro fase di sviluppo, in quanto hanno una bassa capacità di discernere tra infestanti e piante coltivate con conseguente possibile danno alle colture. A tal fine, sono stati studiati i sistemi automatici in grado di effettuare il diserbo (evitando le piante coltivate) seguendo due possibili approcci: **l'individuazione delle colture oppure il riconoscimento delle infestanti**. Nella prima si sfrutta la maggiore uniformità e conoscenza delle piante coltivate, in modo da distinguerle dalle specie infestanti (LEE *et al.* 2010). Tale riconoscimento può prevedere l'interruzione di sistemi luminosi (VAN DER WEIDE *et al.* 2008) o di un fascio laser (CORDILL e GRIFT 2011), oppure l'uso di sistemi di *row guidance* i quali impiegano sensori per la visione artificiale o sistemi di posizionamento globale GPS (SLAUGHTER *et al.* 2008). Questi ultimi richiedono, però, un minimo di disponibilità tecnologica quali un sistema GPS o DGPS, campi con bassa quantità di interferenze radio, l'accessibilità ad una rete satellitare (SLAUGHTER *et al.* 2008).

I sistemi imperniati sull'identificazione delle infestanti si basano principalmente sul riconoscimento delle caratteristiche morfologiche (forma della foglia o della pianta) oppure su tecniche di riflettanza spettrale. La loro applicazione è stata riportata in diversi lavori in cui vengono evidenziate le buone potenzialità dei sistemi, soprattutto quando utilizzati in condizioni ideali. Tuttavia, la specificità della combinazione sito-coltura-infestante, la mancanza di metodi robusti per la risoluzione delle immagini, i danni fogliari e altri "difetti" visivi (presenti quando si lavora sulla forma geometrica degli elementi verdi), influenzano la necessità di raggiungere un compromesso tra una crescente sensibilità e il rischio di errata classificazione tra piante infestanti e coltura (SLAUGHTER *et al.* 2008; LEE *et al.* 2010).

Lo sviluppo commerciale di sistemi di controllo robotici è ancora in una fase embrionale e le prime tecnologie di visione artificiale si stanno rendendo disponibili gradualmente (SWAIN *et al.* 2011). La loro adozione viene, comunque, frenata dalla **complessità del livello di integrazione richiesta e dalla limitata maneggevolezza dei sistemi**, spesso non perfettamente adattabili alle condizioni reali (SLAUGHTER *et al.* 2008).

Il controllo delle malerbe nel pioppo

I cedui a turno breve (*Short Rotation Coppice*, SRC) costituiscono una risorsa importante per la produzione industriale di carta e cellulosa e negli ultimi anni sono stati impiegati per l'ottenimento di biomassa da utilizzare come combustibile in alternativa alle fonti fossili.

Subito dopo l'impianto, la crescita delle piante risulta piuttosto lenta e, quindi, **le talee sono esposte alla competizione delle infestanti che può causare perdite di rendimento notevoli. Le malerbe competono con il pioppo per le risorse disponibili al di sopra e al di sotto del terreno**, sia deprivando le talee delle riserve azotate e riducendo il contenuto di umidità del suolo, sia intercettando la luce a seguito del maggiore sviluppo della chioma (KABBA *et al.* 2011). BUHLER *et al.* (1998), in una piantagione sottoposta a diserbo chimico

e meccanico hanno osservato un incremento dell'altezza delle piante pari al doppio di quella registrata in un sito dove non era stato effettuato alcun controllo. I dati hanno trovato conferma nel lavoro di OTTO *et al.* (2009), che hanno registrato rendimenti maggiori del clone AF2 di pioppo nei trattamenti privi di infestanti a confronto con tesi in cui la competizione delle malerbe era massima o in appezzamenti dove la prolungata presenza di infestanti causava l'appassimento delle talee a seguito del forte ombreggiamento. Al fine di limitare la perdita di rendimento a valori accettabili, l'impianto necessiterebbe di un periodo di assenza di infestanti (periodo critico di controllo delle infestanti) di 54 giorni durante il primo anno e 67 giorni nel ciclo biennale (OTTO *et al.* 2009).

Da quanto riportato è evidente come **l'eliminazione delle infestanti sulla fila assuma nel pioppo un'importanza fondamentale nei primi anni di crescita**. Poiché al momento le tecniche di controllo sono costose, c'è la necessità di **sviluppare sistemi a basso costo facilmente utilizzabili da agricoltori e contoterzisti**. A tale scopo, è stato progettato un sistema di rilevamento delle talee di pioppo che adotta un approccio leggermente diverso rispetto ai sistemi descritti. Tenuto conto che la resistenza meccanica delle talee è insufficiente per tollerare e resistere alla spinta dei tradizionali tastatori meccanici, si è ritenuto utile procedere al rilevamento delle talee utilizzando **sistemi di controllo remoto in cui qualsiasi altra pianta vicina alla talea venga classificata come infestante**. La (apparente) semplicità strutturale del sistema di rivelazione ne permetterà l'applicazione sulle più comuni macchine operatrici.

Obiettivo dello studio è stato quello di analizzare le performance del sistema di rilevamento e valutarne l'efficienza nel discriminare tra talee di pioppo e infestanti.

MATERIALI E METODI

Il sensore fotoelettrico

Il sensore fotoelettrico (ML100, prodotto da Pepperl+ Fuchs) è stato scelto sia per le sue caratteristiche tecniche che per il suo costo contenuto. Esso è costituito da un modulo trasmettitore (fonte di luce) e da un ricevitore (una fotocellula) disposti in un unico alloggiamento. Quando il fascio di luce (con un angolo di divergenza di circa 2°) colpisce un ostacolo, parte della luce viene diffusa indietro e rilevato dalla fotocellula. L'uscita elettrica del sensore è di tipo PNP.

Il sensore ha una distanza nominale massima rilevabile di 1,0 m, con un regolatore di sensibilità utile per rilevare ostacoli indesiderati sulla distanza di interesse. Per rendere il sensore non sensibile alla luce ambientale, il fascio di luce, generato da un LED, è stato modulato.

La curva di risposta caratteristica (Figura 1) del sensore è dipendente dal colore del *target*. Con un *target* bianco la distanza massima rilevabile è 1,0 m, mentre con un *target* grigio la distanza è ridotta della metà. Anche l'ampiezza della risposta è ridotta.

Il suo livello di "Ingress Protection" è IP67, indicante sia la tenuta alla polvere (6=nessun ingresso alla polvere; protezione completa dal contatto) sia la possibilità di essere

immerso per 1 m in acqua (fino a 30 min), assicurando, quindi, un'adeguata protezione nelle difficili condizioni di lavoro in cui potrebbe essere utilizzato (presenza di polveri, umidità, resistenza meccanica alle collisioni). Nei test preliminari è stato accertato che il sensore è capace di rilevare un'asta avente un diametro di 1,5 cm ad una distanza di 65 e 80 cm rispettivamente da aste verdi o marroni (dati non riportati).

Il sensore capacitivo

Il sensore capacitivo è stato progettato e sviluppato per essere utilizzato specificatamente su talee di pioppo. Esso è costituito da una piastra di alluminio (0,19 x 0,07 m), che rappresenta una delle due armature di un condensatore piano parallelo. L'altra armatura è costituita, nel caso specifico, dalla talea di pioppo (Figura 2). La dimensione della piastra è stata determinata empiricamente dopo aver effettuato dei test su talee di pioppo simili a quelle da rilevare in campo. L'area della piastra ($1,33 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$) garantisce un'ideale capacitanza in presenza di una talea, rendendo non-critica la misurazione della capacitanza. La forma rettangolare è stata scelta al fine di consentire la misura nel senso della dimensione maggiore durante l'avanzamento del sensore lungo la fila.

Per valutare il condensatore di rilevazione (C_s) è stato preferito un metodo di frequenza (BENTLEY 2005): in questo modo si sottrae alla frequenza di un oscillatore fisso (con frequenza f_f , determinata dal condensatore C_f) quella prodotta da un secondo oscillatore variabile (f_v) che include C_s nel suo circuito, in modo tale che la differenza di frequenza tra i due oscillatori ($\Delta f = f_f - f_v$) sia dipendente dal valore C_s . Il circuito oscillatore variabile (semplificato in Figura 2) ha una frequenza di base uguale a quella del fisso e dichiarata dal condensatore C_f . In questo modo, quando $C_s = 0.0 \text{ F}$ (la piastra di rilevamento è lontana dalle talee o da qualsiasi altro oggetto, $d = \infty$), $\Delta f = 0$. Nel caso in cui la piastra sia abbastanza vicino ai pioppi tanto da determinare un valore di capacitanza C_s , allora $\Delta f = f(d) > 0$: la frequenza di oscillazione è data dalla somma di C_s e C_f .

Per un condensatore piano parallelo la capacità elettrica è data da (BENTLEY 2005):

$$C_s = \epsilon A / d$$

dove:

C_s = capacità elettrica (F)

ϵ = permittività assoluta dell'aria (F/m)

A = area della superficie della piastra (m^2)

d = distanza tra le armature (m)

Ciò significa che se "d" diminuisce (Figura 2), aumenta in corrispondenza C_s e, di conseguenza, la capacità totale ($C_f + C_s$), che contribuisce a determinare la frequenza di oscillazione, incrementa anch'essa.

Il sistema di rilevamento è completato da un *controller* utilizzato per misurare direttamente la larghezza di impulso della deviazione di frequenza.

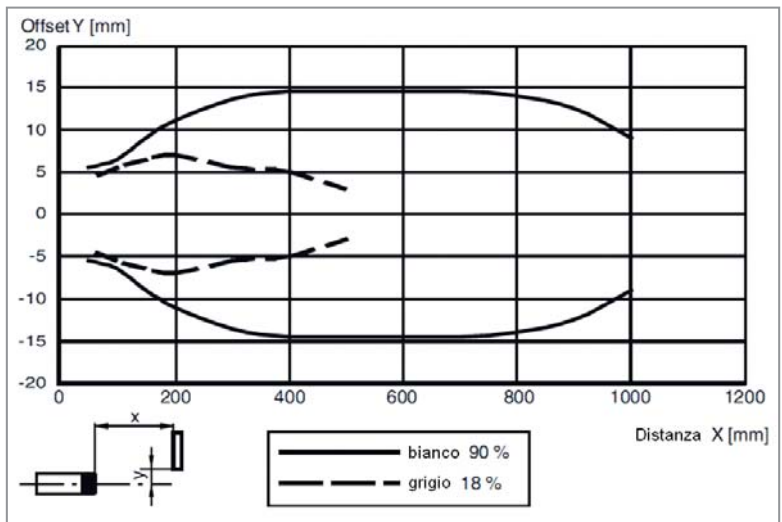


Figura 1 - Curva di risposta del sensore fotoelettrico in funzione del colore del bersaglio (www.pepperl-fuchs.it/italy/it/classid_47.htm?view=productdetails&prodid=41652).

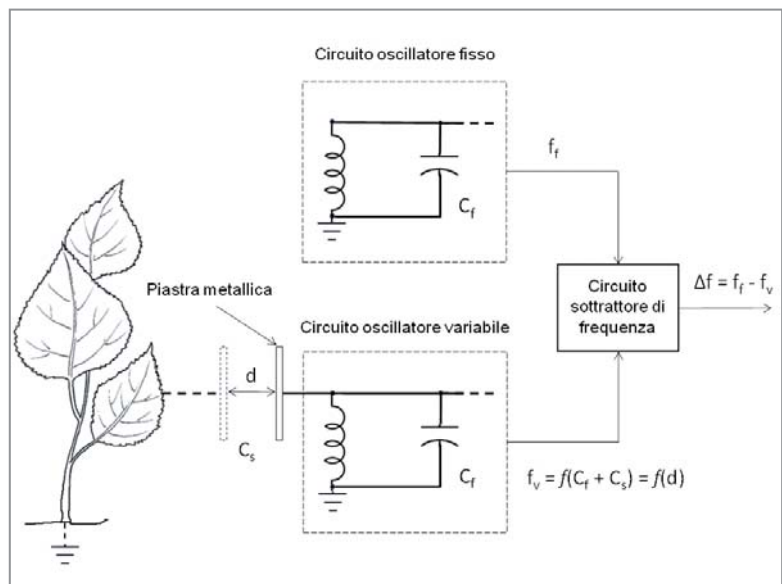


Figura 2 - Schema di funzionamento del sensore capacitivo.

Nella struttura assemblata per la prova, la piastra di rilevamento è stata posizionata con l'asse maggiore parallelo alla fila, e perpendicolare al terreno (Foto 1). L'altezza dal suolo è stata fissata a 30 cm.

La struttura di prova

Allo scopo di migliorare il rilevamento delle talee, alla luce di alcune positive esperienze precedenti (CORDILL e GRIFF 2011) i sensori (compresa la piastra di rilevamento) sono stati posti su un carrello montato su monorotaia lunga 4 m, posizionata sul terreno in direzione parallela alla fila dei pioppi, sulla quale veniva effettuato l'avanzamento del carrello.

Per definire la posizione esatta delle talee rispetto al rilevamento indicato dai sensori, sono state fissate nel terreno, in corrispondenza di ciascuna talea, delle aste di riferimento: in questo modo, l'azionamento di una leva di un microinterruttore montato sul carrello segnalava l'asta



Foto 2 - Disposizione della struttura di prova lungo la fila. Nella figura vengono messi in evidenza i sensori e le aste di riferimento posizionate in corrispondenza delle talee di pioppo. μ SW = leva del microinterruttore.

(e, quindi, la talea) durante la corsa del carrello sulla monorotaia (Foto 2).

La piastra di rilevamento del sensore capacitivo è stata sistemata con il suo asse maggiore parallelo alla fila e l'asse minore perpendicolare al suolo. L'altezza dal suolo del carrello è stata fissata a 30 cm. Tale valore è stato scelto considerando che l'apparato andrebbe utilizzato con talee di pioppo giovani, più alte delle malerbe, in modo da rilevare solo i nuovi germogli.

Caratterizzazione dell'impianto

Lo studio è stato condotto nel Giugno 2012 ad Argelato (BO) su un impianto di pioppo allevato come SRC avente un'estensione di 11 ha al primo anno di vegetazione. Le piante erano disposte a rettangolo, con una distanza di 3 m tra le file e 0,50 m tra le piante sulla fila, per una densità finale di 6.666 piante ha^{-1} .

Allo scopo di caratterizzare l'impianto dal punto di vista del grado di copertura dalle malerbe, all'interno dell'appezzamento sono state individuate tre zone con diverso

Indice	Spazio occupato dalle infestanti sulla fila (%)
0	0%
1	< 25%
3	25-50%
5	50-75%
7	> 75%

Tabella 1 - Indice di infestazione.

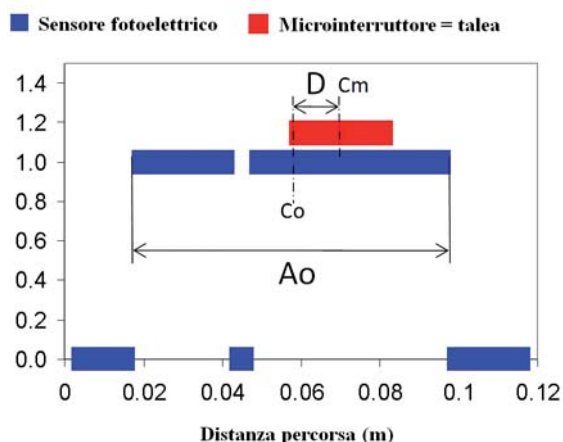


Figura 3 - Parametri calcolati per la valutazione della qualità del rilevamento delle talee da parte del sensore fotoelettrico.

livello di infestazione nello spazio intra-fila:

- **alta infestazione (H)**, dove tra due piante limitrofe la fila era quasi totalmente occupata dalle malerbe;
- **infestazione media (M)**, nei casi in cui l'infestazione non era continua, ma erano presenti alcuni spazi aperti tra due pioppi contigui sulla stessa fila;
- **bassa infestazione (L)**, con la distanza intra-fila praticamente priva di erbacce.

Per ogni area a diverso grado di infestazione sono stati scelti a *random* tre *transect* (considerati come repliche) di otto pioppi (strisce di 4 m di lunghezza) dove sono stati misurati, per ogni pianta: altezza, numero di polloni, diametro e ampiezza delle piante a 30 cm dal suolo, distanza tra due pioppi adiacenti (distanza intra-fila). L'ampiezza veniva intesa come la copertura sulla fila determinata dalla presenza dei rami o delle foglie: tale presenza aumenta la superficie occupata da ciascun pioppo sul piano verticale in corrispondenza dell'altezza di lettura dell'unità di rilevamento (30 cm dal suolo). In tal modo potrebbe venire a costituirsi un **effetto vegetazione** in grado di interferire con la visione dei sensori riducendo lo spazio disponibile per il riconoscimento di due pioppi contigui.

Per ogni *transect* sono stati, infine, registrati il numero di infestanti presenti tra pioppi adiacenti, l'altezza e l'ampiezza (*sensu* pioppo, come descritto in precedenza) delle infestanti. Ad ogni distanza intra-fila è stato assegnato un "indice di infestazione" valutando visivamente la percentuale di copertura secondo il criterio mostrato in Tabella 1.

Valutazione del sistema di rilevamento

Per la prova è stato considerato un disegno a *split-plot* in cui il fattore principale era la distanza della monorotaia dalla fila (5, 10 e 15 cm) ed il fattore secondario la velocità di avanzamento del modulo (5 e 10 $km\ h^{-1}$).

Tenendo conto del carattere fortemente innovativo del sistema, si è ritenuto opportuno, in questa prima fase, valutarne la funzionalità in aree in cui il livello di copertura dello spazio tra piante sulla fila fosse prossimo allo zero (assenza di piante infestanti). Sono state, quindi, individuati tre *transect* (repliche) di otto pioppi (strisce di 4 m di lunghezza) in cui sono state effettuate le misurazioni relative alle distanze della monorotaia e alle velocità di avanzamento del sistema.

Relativamente al sensore fotoelettrico, la sua capacità di rilevare le talee è stata valutata considerando la **deviazione del segnale dalla posizione di riferimento**, in relazione al segnale inviato dal microinterruttore. In particolare, mediante un opportuno algoritmo è stato identificato il centro di ogni rilevazione (Figura 3), sia per il microinterruttore (C_m) che per il sensore fotoelettrico (C_o). Per entrambi, in presenza di un segnale di zero (assenza di ostacoli) per un intervallo inferiore a 0,01 m, la rilevazione è stata considerata appartenere allo stesso ostacolo.

Una volta determinati i centri del segnale di rilevamento del sensore fotoelettrico (C_o) e del micro-interruttore (C_m), è stata calcolata la differenza tra i due centri (D):

$$D = C_o - C_m$$

Minore è il valore di D, migliore è la qualità della rilevazione delle talee.

Un secondo parametro di qualità della rilevazione delle talee è rappresentato dall'ampiezza complessiva del segnale di rivelazione (A_0). Anche in questo caso, al diminuire del valore di A_0 aumenta la qualità dell'identificazione delle talee.

L'analisi statistica dei dati è stata effettuata utilizzando il software MSTAT-C (MICHIGAN STATE UNIVERSITY 1993).

RISULTATI E DISCUSSIONE

Caratterizzazione dell'impianto

La piantagione analizzata si presentava con un buon grado di crescita, senza fallanze, con una spaziatura abbastanza costante tra le piante. Le talee erano ben radicate e con regolare sviluppo in termini di superficie fogliare (Tabella 2). Il controllo delle infestanti nell'interfila era stato effettuato meccanicamente e non c'era presenza di malerbe. Sulla fila, invece, il grado di infestazione e copertura si differenziava in maniera evidente. Lo sviluppo in ampiezza, cioè la copertura fogliare sulla fila dovuta allo sviluppo dei pioppi, veniva fortemente influenzato dal livello di infestazione: dove la presenza delle infestanti era quasi assente (L) la copertura fogliare si espandeva per oltre 30 cm, riducendosi, viceversa, a circa 20 cm quando lo spazio sulla fila era occupato prevalentemente dalle malerbe (H). Ciò mette in evidenza come la presenza di infestanti influenza lo sviluppo fogliare delle talee di pioppo. L'altezza della pianta e il diametro alla base, invece, non hanno mostrato una specifica relazione con l'intensità di infestazione lungo la fila.

Le specie predominanti erano dicotiledoni, appartenenti quasi esclusivamente alle specie *Chenopodium album* L. e *Convolvulus arvensis* L. Le due specie presentavano sviluppi completamente diversi, essendo la prima una pianta erbacea (ma con fusto che può parzialmente lignificare) eretta e dalla crescita vigorosa, mentre la seconda ha un fusto strisciante che, in caso di mancato controllo, può produrre un'azione di soffocamento. Le diverse caratteristiche delle due specie sono riportate in Tabella 3, dove i valori massimi di altezza e ampiezza delle piante infestanti sono ascrivibili al *Chenopodium* mentre i minimi, relativi soprattutto all'altezza, appartengono al convulvulo. Un aspetto che va sottolineato è la presenza, lungo la fila tra un pioppo ed il successivo, di un numero medio di infestanti piuttosto ridotto, ma, anche nei casi in cui si fosse trattato di una pianta singola, con uno sviluppo notevole.

La localizzazione delle piante

Il confronto tra i segnali prodotti dal sensore fotoelettrico e da quello capacitivo è riportato in Figura 4. La figura mostra la risposta dei sensori durante una corsa del carrello sulla monorotaia disposta ad una distanza di 0,25 m dal filare di pioppo. Rispetto alla posizione delle talee (segnalata dal microinterruttore e riportata dalle barrette rosse in figura), la risposta del sensore capacitivo appare essere spostata rispetto al centro di rilevazione della pianta. Ciò

Carattere	Livello di infestazione ⁽¹⁾			Media
	H	M	L	
Distanza sulla fila (cm)	52,3	52,6	51,7	52,2
Altezza delle piante (cm)	131,0	137,5	126,6	131,7
Diametro a 30 cm (mm)	10,9	11,9	11,1	11,3
Ampiezza delle piante (cm)	20,4 B	30,8 A	33,7 A	28,3
Numero di germogli per pianta (n)	1,7	1,4	1,4	1,5
Indice di infestazione	5,2 A	3,6 B	0,1 C	3,5

⁽¹⁾ I valori medi sulla stessa riga, seguiti da lettere differenti, indicano differenze statisticamente significative per $P < 0,01$.

Tabella 2 - Caratteristiche morfologiche e indice di infestazione rilevati nella piantagione oggetto di studio.

	Livello di infestazione		
	H	M	L
Numero di infestanti (n)	1,2	0,9	0,2
Indice di infestazione	5,2	3,6	0,1
Altezza infestanti (cm)			
<i>min</i>	5,0	2,0	4,0
<i>med</i>	60,8	36,0	12,0
<i>max</i>	170,0	97,0	27,0
Ampiezza infestanti (cm)			
<i>min</i>	5,0	2,0	4,0
<i>med</i>	57,5	53,3	41,5
<i>max</i>	83,0	80,0	50,0

Tabella 3 - Caratteristiche morfologiche della flora infestante osservata nell'impianto oggetto di studio.

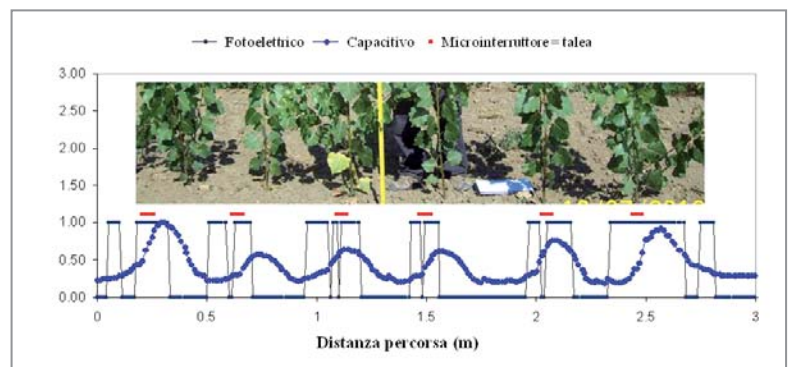


Figura 4 - Confronto dei segnali rilevati per i sensori fotoelettrico e capacitivo in funzione della localizzazione delle talee effettuata con il microinterruttore.

è dovuto probabilmente all'orientamento orizzontale della piastra del sensore, poiché man mano che si avvicina alla talea, la sua capacità elettrica (capacitanza) aumenta progressivamente e tocca il massimo quando il centro della piastra di rilevamento raggiunge approssimativamente il centro del 'corpo' della pianta (foglie incluse). Per ridurre questo sfasamento (ritardo di risposta), potrebbe essere utile una rotazione di 90° della piastra in modo tale da incrementare più rapidamente la sua capacità quando si approssima alla talea. Tale verifica sarà oggetto dei prossimi studi.

Al contrario, **il sensore fotoelettrico appare in grado di rilevare molto più correttamente la presenza delle piante**, nonostante lo sviluppo fogliare delle stesse. L'analisi statistica effettuata sui parametri qualitativi relativi al segnale di rilevazione hanno messo in evidenza che per i due centri di rilevazione, quello del microinterruttore (C_m) e quello del sensore fotoelettrico

Fonte di variazione ⁽¹⁾	C _m	C ₀	A	D
Velocità	***	***	ns	ns
Distanza	ns	ns	ns	ns
Velocità x distanza	ns	ns	ns	ns

⁽¹⁾ ns = non significativo; *** significativo per P<0,01.

Tabella 4 - Tabella di significatività relativa all'analisi dei parametri qualitativi registrati per il sensore fotoelettrico.

Parametro	Velocità di avanzamento del carrello (km h ⁻¹)	Distanza rotaia-fila di pioppi (cm)			Media ⁽¹⁾
		5	10	15	
C _m	5	1,30	1,31	1,31	1,31 B
	10	1,42	1,39	1,42	1,41 A
	Media	1,36	1,35	1,36	
C ₀	5	1,31	1,22	1,31	1,28 B
	10	1,41	1,38	1,43	1,41 A
	Media	1,36	1,31	1,37	
D	5	0,01	-0,08	0,00	-0,02
	10	-0,01	-0,01	0,02	0,01
	Media	0,00	-0,05	0,10	
A	5	0,18	0,15	0,15	0,16
	10	0,19	0,18	0,19	0,19
	Media	0,18	0,17	0,17	

⁽¹⁾ I valori medi seguiti da lettere differenti indicano differenze statisticamente significative per P<0,01.

Tabella 5 - Valori medi delle variabili qualitative considerate per la valutazione delle performance del sensore fotoelettrico distinguendo le velocità e le distanze saggiate.

(C₀), la velocità di avanzamento del carrello determina una differenza statisticamente significativa (Tabella 4); l'abbassamento della velocità determina una corrispondente riduzione dei valori di C_m e C₀. Tale differenza (anche se non statisticamente significativa) è risultata abbastanza evidente anche per l'ampiezza complessiva del segnale di rilevazione. La distanza dei sensori dalla fila del pioppo non appare, invece, influenzare la qualità del segnale.

CONCLUSIONI

Il diserbo costituisce uno dei punti critici per la coltivazione del pioppo nei cedui a turno brevissimo ed elevata densità utilizzati per la produzione di biomassa. La maggiore criticità riguarda senza dubbio il controllo delle malerbe sulla fila, dove il ridotto spazio disponibile impedisce interventi di natura meccanica permettendo solo interventi chimici.

I primi approcci verso sistemi che utilizzino un controllo remoto per poter utilizzare interventi meccanici nella lotta alle malerbe in questa coltivazione, appaiono incoraggianti. In particolare **l'impiego di una combinazione di sensori fotoelettrici e capacitivi appare in grado di discernere la presenza delle piante di pioppo in aree con ridotta infestazione di malerbe.**

Complessivamente, le prime indicazioni sembrerebbero evidenziare come l'adozione di un sistema di rilevamento simile richieda di **operare a basse velocità**, ma indipendentemente dalla distanza rispetto alla fila, un aspetto questo particolarmente interessante in quanto, considerato che si prevede di utilizzare il sistema su una operatrice transigente nell'interfilare, la rilevazione delle piante di pioppo può avvenire a distanza di sicurezza in modo tale da evitare eventuali danneggiamenti per urti accidentali.

Inoltre, la disposizione spaziale dei sensori (soprattutto quella del capacitivo) appaiono avere un'influenza particolarmente importante sull'efficienza del sistema.

La modifica ed il miglioramento degli aspetti costruttivi, l'analisi delle *performance* con livelli di infestazione superiori (finalizzata a individuare i limiti di rilevamento) e lo studio dell'applicabilità a diversi sistemi meccanici ritraibili costituiscono gli obiettivi di medio-lungo periodo che si prevede di affrontare nella prosecuzione dell'attività di ricerca.

Bibliografia

BENTLEY J.P., 2005 - **Principles of Measurement Systems**. 4th Edition. Pearson Education Limited. 528 pp.

BUHLER D.D., NETZER D.A., RIEMENSCHNEIDER D.E., HARTZLER R.G., 1998 - **Weed management in short rotation poplar and herbaceous perennial crops grown for biofuel production**. Biomass and Bioenergy, 14(4):385-394.

CORDILL C., GRIFT T.E., 2011 - **Design and testing of an intra-row mechanical weeding machine for corn**. Biosystems Engineering, 110: 247-252.

HILLOCKS R.J., 2012 - **Farming with fewer pesticides: EU pesticide review and resulting challenges for UK agriculture**. Crop Protection, 31(1): 85-93.

KABBA B.S., KNIGHT J.D., VAN REES K.C.J., 2011 - **Modeling nitrogen uptake for hybrid poplar with and without weed competition**. Forest Ecology and Management, 262(2):131-138.

KURSTJENS D.A.G., 2007 - **Precise tillage systems for enhanced non-chemical weed management**. Soil and Tillage Research, 97(2):293-305.

LEE W.S., ALCHANATISB V., YANG C., HIRAFUJI M., MOSHOUE D., LIF C., 2010 - **Sensing technologies for precision specialty crop production**. Computers and Electronics in Agriculture, 74: 2-33

MICHIGAN STATE UNIVERSITY, 1993 - **MSTAT-C. A Microcomputer program for design and analysis of agronomic research experiments**. Michigan State University. East Lansing, MI. USA.

OERKE E.-C., 2006 - **Crop losses to pests**. The Journal of Agricultural Science, 144: 31-43.

OTTO S., LODDO D., ZANIN G., 2009 - **Weed-poplar competition dynamics and yield loss in Italian short-rotation forestry**. Weed Research, 50(2):153-162.

SLAUGHTER D.C., GILES D.K., DOWNEY D., 2008 - **Autonomous robotic weed control systems: A review**. Computers and Electronics in Agriculture, 61: 63-78.

SWAIN K.C., NØRREMARK M., JØRGENSEN R.N., MIDTIBY H.S., GREEN O., 2011 - **Weed identification using an automated active shape matching (AASM) technique**. Biosystems Engineering, 110(4):450-457.

VAN DER WEIDE R.Y., BLEEKER P.O., ACHTEN V.T.J.M., LOTZ L.A.P., FOGELBERG F., MELANDER B., 2008 - **Innovation in mechanical weed control in crop rows**. Weed Research, 48: 215-224.

WILLER H., 2010 - **Organic Farming in Europe – An Overview**. 136-140. In Willer, Helga and Lukas Kilcher (Eds.) The world of organic agriculture. Statistics and emerging trends 2010. IFO-AM, Bonn and FiBL, Frick

KEYWORDS: weed control, precision agriculture, SRC, hoeing.

Abstract: *The intra-row weeding of poplar. Evaluation of sensors for cuttings detection.*

While the mechanical weeding in the inter-row is current practice, the removal within the row is a challenging issue. Automatic systems have been studied based on crop detection or weed recognition, but these techniques are expensive and with variable reliability.

During the first year, the poplar growth in the short rotation coppice (SRC) is rather slow and, hence, in order to avoid remarkable yield losses, the control of intra-row weeds assumes a fundamental importance. Within the Italian project SUSCACE, a simplified detection system, consisting of a photoelectric (PS) and a capacitive sensor (CS) has been designed and tested in order to assess the degree of accuracy of the poplar cuttings detection along the row.

A one-year old poplar stand sited in Central Italy was used for the study. The distance between the rows was 3 m with

a spacing of 0.50 m between the cuttings within the row. The testing apparatus consisted of a small platform moving along a monorail four meter long. This was placed parallel to the planted row and its detection capacity appraised at three distances (0.15, 0.20, and 0.25 m) from the row and two speeds (1.0 and 1.5 km h⁻¹), values routinely adopted during mechanical weeding.

The first clues seem to show how the adoption of a similar detection system requires to operate at low speed, regardless of the distance from the row. This is particularly interesting since, bearing in mind that the system will be used on a machine working in the inter-row, the detection of poplar cuttings can take place at a safe distance in order to avoid possible damages due to accidental impacts.

La produzione di rizomi di canna in vivaio

Sviluppo di una “sezionatrice” per la raccolta in pieno campo

LUIGI PARI, ANDREA ACAMPORA, SARA CROCE,
ENRICO SANTANGELO, ALBERTO ASSIRELLI

Studio dell'estrazione meccanizzata di rizomi di *Arundo donax* per poter consentire il sezionamento, la raccolta e l'immediato confezionamento, al fine di ridurre i costi per la produzione di materiale di propagazione.

PAROLE CHIAVE: rizomi, raccolta, fresaceppi, germinazione, energia.

L'*Arundo donax* è una pianta erbacea perenne originaria dell'Est asiatico e successivamente diffusa in tutto il bacino del Mediterraneo in virtù dell'elevato grado di adattabilità alle diverse condizioni ecologiche. Considerando le sue elevate capacità produttive, la rusticità della pianta e le sue ridotte esigenze di *input* colturali l'*Arundo* si caratterizza per bilanci energetici molto positivi (MANTINEO *et al.* 2009). In condizioni ottimali di crescita è possibile ottenere una produzione di sostanza secca mediamente intorno alle 40 t ha⁻¹, con punte che arrivano anche alle

50 t ha⁻¹ (ANGELINI *et al.* 2009).

Nella filiera agroenergetica, la canna comune può essere usata per la produzione di elettricità e di calore per mezzo di combustione diretta, oppure per la produzione di biocarburanti di seconda generazione e di biogas. L'introduzione della specie negli ordinamenti colturali, per fini energetici, presuppone **l'individuazione di una appropriata tecnica di moltiplicazione** in quanto al di fuori del suo areale di origine, l'*Arundo* non fruttifica a causa della sterilità del polline. La fase di impianto della coltura rappresenta la criticità maggiore della filiera relativamente alla reperibilità del materiale di propagazione e ai costi di moltiplicazione. Di norma la canna si riproduce per via vegetativa attraverso rizomi o talee di culmo. La propagazione per rizomi è la tecnica più impiegata e permette di ottenere ottimi risultati dal punto di vista tecnico. Per la mancanza di una efficiente meccanizzazione (PARI *et al.* 2009), **la propagazione mediante rizoma è una tecnica che risulta molto onerosa per gli elevati costi delle operazioni di espianto, sezionatura dei cespi, conservazione, movimentazione e messa a dimora dei rizomi.** Comunemente il materiale di propagazione della canna viene ottenuto raccogliendo manualmente la ceppaia (costituita dalla massa nodosa di rizomi) prodotta dalla pianta; quest'ultima viene ulteriormente sezionata al fine di ottenere dei rizomi adatti all'impianto.



Foto 1 - Fresaceppi modificata

LUIGI PARI, CRA ING, luigi.pari@entecra.it - ANDREA ACAMPORA, CRA ING - SARA CROCE, CRA ING - ENRICO SANTANGELO, CRA ING - ALBERTO ASSIRELLI, CRA ING.

La meccanizzazione della fase di raccolta dei rizomi permetterebbe di superare uno dei principali problemi legati alla moltiplicazione tramite rizomi della canna, abbassando i costi che tale pratica richiede. Nell'ambito del progetto SUSCACE (<http://ing.entecra.it/biomasse>) nel Marzo del 2011, sono state eseguite alcune prove di sezionatura meccanica in vivaio allo scopo di verificarne l'applicabilità e favorire la riduzione della manodopera. Gli aspetti oggetto di verifica hanno riguardato le capacità di lavoro e la caratterizzazione del prodotto ottenuto. Relativamente a quest'ultimo aspetto si è cercato di valutare l'omogeneità del prodotto raccolto e la sua energia germinativa intesa come capacità delle sezioni di generare una nuova pianta sviluppata.

MATERIALI E METODI

Allevamento in vivaio

Lo studio è stato condotto a Savigliano (CN), presso i campi sperimentali dell'azienda Franco Alasia Vivai. Le prove sono state effettuate su un appezzamento di vivaio di 1.200 m² (20 m x 60 m) le cui caratteristiche fisico-chimiche sono riportate in Tabella 1. Il vivaio è stato realizzato nella primavera del 2009 con rizomi di cloni locali interrati a 15 cm di profondità, con un'interfila di 1 m e piante distanziate sulla fila 0,5 m. La scelta di operare su un vivaio biennale è derivata dalla necessità di avere la maggiore continuità possibile fra i cespi. Durante il periodo vegetativo non sono stati effettuati interventi di irrigazione né di concimazione al terreno. Prima dell'esecuzione delle prove è stata valutata la produttività teorica di rizomi del vivaio prelevando manualmente tutti i cespi presenti in 6 aree di saggio di 1 m².

Cantiere di lavoro

Le prove di estrazione meccanizzata dei rizomi si sono svolte nel mese di Marzo 2011, subito dopo la rimozione della parte aerea, e sono state effettuate per mezzo di una **fresaceppi modificata** (Foto 1). Tale macchina è caratterizzata da un fronte di lavoro pari a 104 cm, giudicato sufficiente per il trattamento di un singolo filare di piante. La fresaceppi era composta da un rotore principale ad asse orizzontale formato da un albero di 160 mm di diametro con quattro supporti radiali a distanze rispettivamente di 16 cm dai bordi e 24 cm centrali. Sui supporti erano montate, tramite imbullonatura, 6 zappette in modo alterno (tre per lato) per un totale di 24 zappette. Per l'esecuzione delle prove il CRA-ING ha progettato e realizzato, in sostituzione di quelle originali, zappette di conformazione a "L" di altezza pari a 24 cm e parte terminale pari a 12 cm, in modo da coprire completamente la distanza fra i supporti. La forma a "L" è quella che permette di mantenere una più regolare profondità di estrazione. Gli elementi, realizzati in acciaio, avevano uno spessore di 10 mm. La sostituzione delle zappette di serie con quelle realizzate per la prova ha comportato la modifica di alcuni aspetti funzionali dell'operatrice. Di conseguenza, prima dell'esecuzione delle prove sono state effettuate alcune simulazioni di lavoro anche con tratrici diverse per individuare idonei parametri di lavoro quali regime, giri, PTO (presa di potenza) e profondità di lavoro (Tabella 2). Dopo una prima fase di messa a punto del

cantiere sono stati individuate tre velocità di avanzamento e diversi regimi giri PTO relativi a tre settaggi scelti in funzione delle **lunghezze di taglio teoriche comprese tra 4,4 e 6,4 cm** (Tabella 3). Il disegno sperimentale ha previsto la suddivisione dell'area di prova in tre zone (una per ogni settaggio oggetto di studio), ognuna lunga 20 m e con larghezza corrispondente all'interfila del vivaio. All'interno delle tre tesi, sono state individuate quattro parcelle lunghe 5 m, considerate repliche del singolo settaggio.

Valutazione materiale ottenuto

Successivamente al passaggio della macchina modificata si è proceduto alla raccolta di tutti i rizomi presenti nelle 12 parcelle. Questi sono stati immediatamente chiusi in sacchi in modo da evitarne la disidratazione. I rizomi raccolti sono stati pesati, misurati e quindi suddivisi secondo tre classi dimensionali: piccoli (<5 cm), medi (5-10 cm) e grandi (>10 cm).

Capacità germinativa

Per ogni tesi e per ognuna delle classi dimensionali individuate è stato scelto un campione di 16 rizomi, per un totale di 144 rizomi, al fine di valutare la capacità germinativa. Il disegno sperimentale utilizzato è stato il blocco randomizzato con quattro repliche, ognuna delle quali costituita da quattro rizomi: per ogni tesi sono stati considerati dunque 48 rizomi suddivisi per le tre classi dimensionali. Ogni replica era costituita da un vaso di diametro 20 cm riempito con una miscela di 50% torba e 50% sabbia. I vasi sono stati mantenuti in una serra. Dopo 15 e 30 giorni dalla messa a dimora dei

Sabbia (%)	44
Limo (%)	18
Argilla (%)	37
Ph	7,6
Materia organica (%)	3,9
C/N	10,7
Mg/K	15,05
Carboidrati totali (g kg⁻¹)	0,1
Calcio attivo (g kg⁻¹)	0,1
Capacità scambio cationico (meq 100g⁻¹)	26,7

Tabella 1 - Caratteristiche fisico-chimiche del suolo.

Descrizione	Unità di misura	Valore
Regime di rotazione pdp	g min ⁻¹	540
Regime di rotazione rotore	g min ⁻¹	216
Rapporto di trasmissione (τ) pdp/rotore		1: 2,5
Profondità di lavoro originaria	cm	11
Profondità di lavoro modificata	cm	16

Tabella 2 - Principali caratteristiche della fresaceppi modificata.

	Cambio (gamma/rapporto)	Motore (rpm)	PTO (rpm)	Velocità (Km h ⁻¹)	Distanza di taglio teorica (cm)
Tesi 1	1-1	1.889	198	1,55	4,4
Tesi 2	1-2	1.850	194	1,75	5
Tesi 3	1-3	1.621	170	1,95	6,4

Tabella 3 - Lunghezza di taglio teoricamente ottenibile in base alle caratteristiche della macchina e alle effettive velocità di lavoro riscontrate.

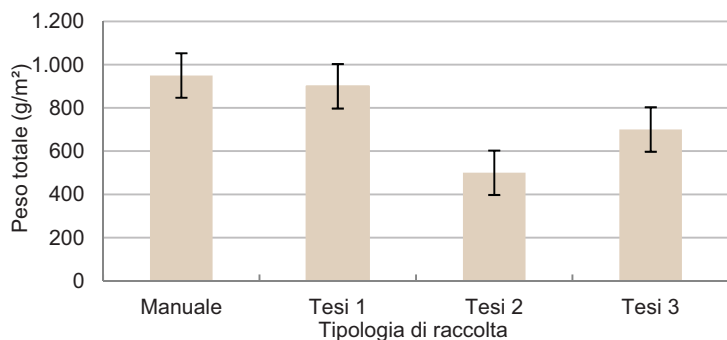


Grafico 1 - Peso medio dei rizomi prodotti dall'impianto, raccolti a mano o sezionati dalla fresaceppi utilizzando tre diverse impostazioni.

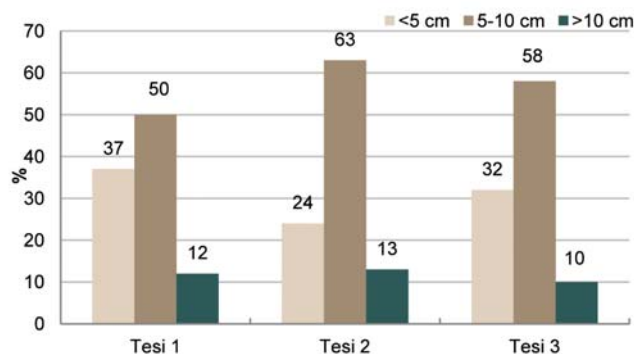


Grafico 2 - Distribuzione percentuale delle 3 classi di rizomi prodotti in funzione delle singole tesi di regolazione della fresaceppi.

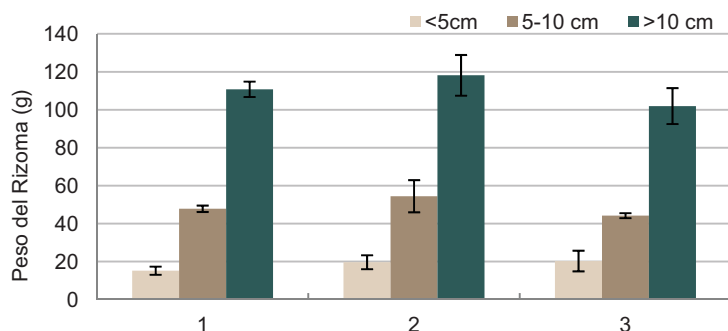


Grafico 3 - Peso medio dei rizomi raccolti in funzione della classe dimensionale

	Tesi 1	Tesi 2	Tesi 3
Numero rizomi	276	149	224
Peso medio (g±dev.st.)	68±52,1	61,3±52,6	61,6±46,2
Peso totale (kg)	18,38	9,02	13,82
Lunghezza media (mm±dev.st.)	95,5±43,9	91±59,5	92,2±38,6

Tabella 4 - Caratteristiche dei rizomi prelevati nelle tre tesi sperimentali.

Classe	Tesi			Media classe*
	1	2	3	
<5cm	1,6±0,5	0,9±0,3	1,1±0,1	1,2±0,2 C
5-10 cm	6,8±1,3	4,6±1,1	6,5±0,9	6,0±0,6 A
>10 cm	5,0±0,8	1,8±0,2	3,6±0,6	3,5±0,5 B
Media tesi	13,5±2,3	7,3±1,3	11,2±1,3	
Rizomi >5 cm (%)	87,8	87,1	90,2	88,7

* I valori seguiti da lettere diverse sono statisticamente differenti secondo il test di Duncan per $P < 0,01$

Tabella 5 - Numero medio (±E.S.) di rizomi raccolti per le tre impostazioni della fresaceppi modificata.

rizomi si è proceduto alla rilevazione dei germinati e al 30° giorno è stato valutato anche il numero di germogli emessi.

RISULTATI E DISCUSSIONI

Produttività

Durante le prove le velocità di lavoro rilevate variavano tra 1,55 e 1,95 km h⁻¹ (Tabella 3).

Il moto rotatorio dell'organo di lavoro e il diverso peso specifico fra zolle e rizomi consentiva **una prima evidente separazione fra terreno e rizomi, con questi ultimi (sezionati) portati in superficie e depositati entro i primi centimetri di terreno frantumato.**

In base ai dati ottenuti in seguito al prelievo manuale delle ceppaie (che richiedono un'ulteriore fase di lavorazione per la produzione dei rizomi) nelle sei aree campione, la resa in rizomi è risultata pari a 960 g m⁻² (Grafico 1). **Utilizzando la fresaceppi, ciò che viene ottenuto è il rizoma sezionato a terra che dovrà essere raccolto per la successiva fase di insacchettamento.** Nel caso delle tre tesi studiate, si è ottenuta una produzione di rizomi sezionati che, nel caso della tesi 1, era di poco inferiore rispetto alla quantità ottenuta dalla raccolta manuale dei cespi.

I rizomi prelevati manualmente dal terreno a seguito del passaggio della macchina sono stati complessivamente 649, ripartiti successivamente nelle tre tesi sperimentali. Di questi, 8 rizomi sono stati scartati in quanto affetti da marciume. Il peso medio dei rizomi raccolti era di 63,3 g, mentre la lunghezza media era di 93 mm (Tabella 4).

Da un primo esame dei rizomi raccolti si è potuto riscontrare che **la classe intermedia (tra 5 e 10 cm di lunghezza) era quella maggiormente rappresentata nei tre settaggi analizzati** (Grafico 2). Il risultato appare piuttosto interessante soprattutto per le regolazioni 2 e 3, scelte al fine di ottenere rizomi o parti di rizomi di lunghezza teorica pari a 5 e 6,4 cm, dimostrando, quindi, che le modalità di sezionatura meccanica può essere preventivamente definita.

Dal punto di vista del numero di rizomi ottenuti per unità di area, l'analisi statistica ha confermato la differenziazione dimensionale del materiale di propagazione (Tabella 5). Indipendentemente dalla tesi, la zappatrice ha prodotto un numero di rizomi preferenzialmente compresi tra 5 e 10 cm di lunghezza. Benché il comportamento sia risultato simile per le tre tesi (la differenza tra i gruppi non è risultata statisticamente significativa), la tesi 1 ha fatto ottenere il più alto numero di rizomi raccolti per m², mentre la 3 ha fatto registrare, come atteso, la più alta percentuale di rizomi (90,2%) di lunghezza superiore ai 5 cm. Complessivamente, senza tenere conto della tesi, il numero di rizomi di lunghezza superiore ai 5 cm è risultato pari all'88,7% del totale dei rizomi raccolti.

La presenza di rizomi con dimensione superiore o inferiore alla classe centrale (quella su cui erano state definite le tesi) può essere giustificata dal fatto che la fresaceppi opera su ceppaie di forma irregolare e, nel momento in cui procede alla sezionatura, oltre a elementi compresi nella classe centrale (5-10 cm) produce (in proporzione

minore) residui di lunghezza inferiore o superiore. Tuttavia, da questo punto di vista i primi risultati appaiono confortanti, in quanto la classe di rizomi prodotti e maggiormente rappresentata risulta essere quella per la quale erano stati programmate le tesi 2 e 3.

Con l'aumentare della lunghezza il peso medio dei rizomi aumenta e tale andamento si conferma per tutte le tesi (Grafico 3). I due caratteri sono correlati (Grafico 4). Tale aspetto riveste una certa importanza in relazione all'ottenimento di rizomi di dimensione idonea ma anche germinabili e in grado di produrre un adeguato numero di germogli. Ciò con l'obiettivo di ottenere materiale utile alla moltiplicazione vegetativa mediante meccanizzazione della sezionatura.

Osservando i coefficienti di determinazione (R^2), nel caso delle tesi 1 e 3 più del 60% dell'incremento di peso può essere spiegato dall'incremento della lunghezza del rizoma, mentre tale valore è risultato più basso per la tesi 2. Questo tipo di informazione assume un particolare interesse nella prospettiva di prevedere la messa a punto di sistemi di selezione automatica dei rizomi, per cui la lunghezza può fungere da parametro utile per la suddivisione in classi di peso uniforme.

Capacità germinativa

Al primo controllo, dopo quindici giorni dalla messa a dimora in vaso, risultavano emersi il 53% dei totali rizomi impiantati. Questo valore era dovuto soprattutto alla ritardata germinabilità dei rizomi appartenenti alla classe <5 cm (33%). Successivamente la percentuale dei rizomi germinati ha subito un consistente incremento arrivando dopo 30 giorni al 71% dei rizomi totali. Il valore più alto è stata rilevato per i campioni appartenenti alla tesi 3 (81% di rizomi germinati). La percentuale di rizomi germinati è risultata direttamente proporzionale alla dimensione. I valori di correlazione tra percentuale di germogliamento e lunghezza dei rizomi (espressa come classe dimensionale) sono risultati, infatti, molto elevati (Grafico 5): al 30° giorno la percentuale di germinazione variava dal 60% della classe dei rizomi piccoli e all'80% dei rizomi grandi. Rizomi più lunghi significano anche presenza di un più alto numero di gemme vitali e, quindi, di germogli prodotti (Tabella 6). Relativamente alle classi dimensionali studiate, si è osservato un progressivo incremento del numero di steli prodotti dal singolo rizoma passando dal valore di 0,9 per rizomi <5 cm, a 1,2 steli per quelli compresi tra 5 e 10 cm fino a 2,5 steli ottenuti da rizomi >10 cm (Tabella 6).

Relativamente alle densità ottimali di impianto di un caneto, ANGELINI *et al.* (2005) hanno osservato che le maggiori rese in sostanza secca si ottengono con investimenti al di sotto delle 20.000 piante ha^{-1} . Questo dato è stato confermato altresì da VECCHIET *et al.* (1996) con studi effettuati nella regione Friuli su impianti da 20.000 a 40.000 piante ha^{-1} , volti a valutare quale fosse l'investimento ideale per un impianto di canna comune. Considerando un sesto di impianto di 1x1 m e la presenza di almeno 2 gemme vitali per rizoma, per avere un impianto con una densità ottimale occorrerebbero 10.000 rizomi ha^{-1} . Facendo ri-

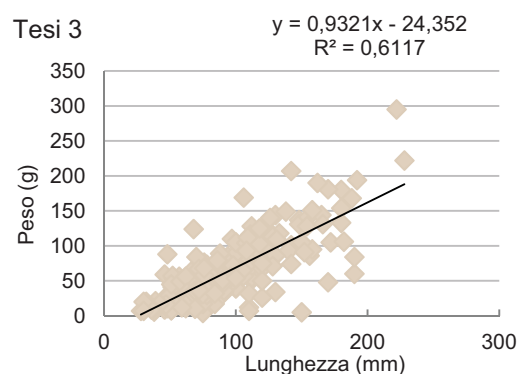
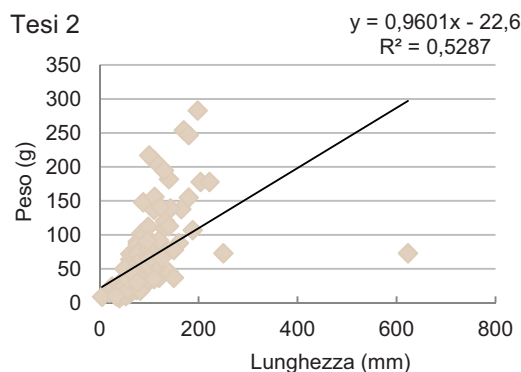
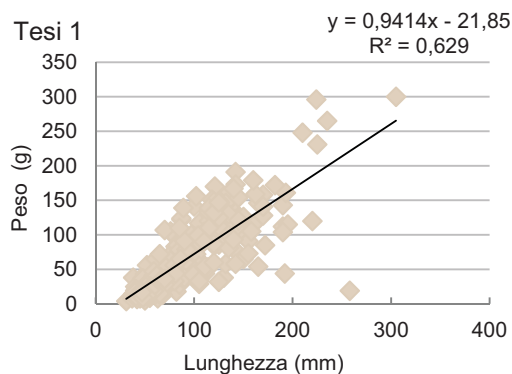


Grafico 4 - Relazione tra lunghezza e peso fresco dei rizomi misurati distinti per i tre settaggi della fresaceppi analizzati.

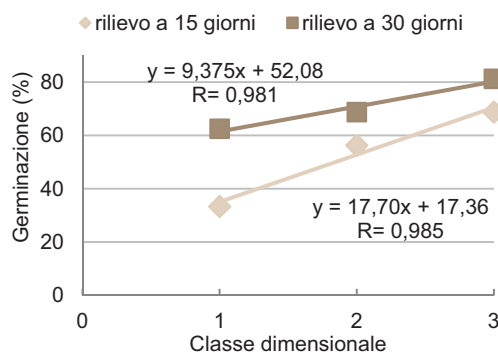


Grafico 5 - Relazione tra classe dimensionale e germinabilità (%) a 15 e 30 giorni dalla semina.

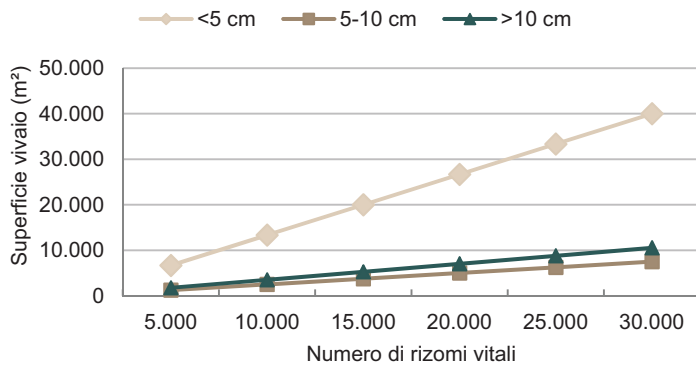


Grafico 6 - Superficie (m²) richiesta per la produzione di quantitativi di rizomi vitali appartenenti alle tre classi dimensionali.

		Tesi 1	Tesi 2	Tesi 3	Totale
<5 cm	n° rizomi invasati	16	16	16	48
	n° steli emersi dai rizomi	9	23	14	46
	n° steli/rizoma	0,6	1,4	0,9	0,9
5-10 cm	n° rizomi invasati	16	16	16	48
	n° steli emersi dai rizomi	24	11	21	56
	n° steli/rizoma	1,5	0,7	1,3	1,2
>10 cm	n° rizomi invasati	16	16	16	48
	n° steli emersi dai rizomi	36	37	45	118
	n° steli/rizoma	2,3	2,3	2,8	2,5

Tabella 6 - Numero di steli emersi dopo 30 giorni da rizomi in vaso distinguendo tesi e classe dimensionale.

ferimento ai dati ottenuti nella presente prova, dal punto di vista della produzione vivaistica per rizomi compresi tra 5 e 10 cm, considerando la resa media di 6,0 rizomi m⁻² (Tabella 5) con una percentuale di germinazione del 66,7% (Grafico 5) per ottenere 10.000 rizomi germinabili è sufficiente un'area di poco meno di 2.500 m² (Grafico 6). Valutazioni simili consentono di pianificare correttamente spazi e tempi nell'ambito dell'attività vivaistica con conseguenti riflessi positivi sui costi di produzione. Inoltre, la possibilità di adottare investimenti più bassi ha degli effetti economici positivi determinati da una riduzione dei costi energetici legati alla fase di trapianto.

CONCLUSIONI

L'uso di una fresaceppi modificata si è rivelata funzionale nella sezionatura dei rizomi di canna a terra che risultano così già pronti per essere raccolti e confezionati per i successivi impianti. Due delle tre classi dimensionali ottenute, cioè quelle relative agli intervalli 5-10 cm e >10 cm, sono risultate idonee per l'ottenimento di rizomi con una buona percentuale di germinazione. Lo studio costituisce un primo tentativo per facilitare la produzione di rizomi in campo ed i risultati ottenuti possono indirizzare verso la messa a punto di un cantiere totalmente meccanizzato per ridurre i costi di produzione di materiale di propagazione.

Un altro risultato interessante è rappresentato dalla capacità di germinazione mostrata dai rizomi ottenuti. Secondo VENTURI e AMADUCCI (1999), i rizomi da utilizzare per l'ottenimento di un buon impianto non dovrebbero avere un peso inferiore ai 500 g. I rizomi di dimensioni maggiori

presentano, infatti, percentuali di germinazione più alte, probabilmente in virtù del fatto che aumenta la carica di gemme presenti e la disponibilità di elementi di riserva. I dati qui riportati mostrano che è possibile ottenere una buona percentuale di germinazione anche con rizomi di dimensioni più contenute e con un peso inferiore ai 500 g e, quindi, facilmente ottenibili con la meccanizzazione della sezionatura.

Da risultati ottenuti, la soluzione proposta si è rivelata interessante per sezionare "cespi" di canna comune e alla luce delle esperienze condotte il perfezionamento di tale metodologia potrebbe consentire **la meccanizzazione dell'estrazione del rizoma sezionato che una volta separato dal terreno può direttamente essere confezionato in sacche (big-bag) per una più agevole movimentazione.**

Bibliografia

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.** European Journal Agronomy, 22: 375-389.

ANGELINI L.G., CECCARINI L., NASSI N., BONARI E., 2009 - **Comparison of *Arundo donax L.* and *Miscanthus x giganteus* in a long-term field experiment in Central Italy: analysis of productive characteristics and energy balance.** Biomass and Bioenergy, 33: 635-643.

MANTINEO M., D'AGOSTA G. M., COPANI V., PATANÉ C., COSENTINO S. L., 2009 - **Biomass yield and Energy balance of three perennial crops for Energy use in the semi-arid Mediterranean environment.** Fields Crops Research, 114: 207-213.

PARI L., CIVITARESE V., SUARDI A., 2009 - **Prototipo per meccanizzare il trapianto di canna comune.** Agroenergie, supplemento a L'Informatore Agrario, n. 29 pag. 19-21.

VECCHIET, M., JODICE, R., SCHENONE, G., 1996 - **Agronomic research on giant reed (*Arundo donax L.*) management system and cultivation of two different provenances.** In: Proceedings of the Ninth European Bioenergy Conference, Copenhagen, 24-27 June, pp. 644-648.

VENTURI G., AMADUCCI M. T., 1999 - **Colture da fibra.** A cura di. Collana Prisca. Edagricole. ISBN 88-206-4288-3.

KEYWORDS: Rhizomes, harvesting, rotary tiller, germination, energy.

Abstract: Development of a stump grinder for the harvesting of *Arundo rhizomes in open field*

Giant reed is a perennial rhizomatous grass that is currently indicated as an alternative crop for bioenergy production. Cultivation of *Arundo donax L.* for energy purposes requires the identification of an appropriate propagation technique, usually carried out with stem cuttings and rhizomes. Both methods are very efficient, but also very expensive as they require demanding and labor-intensive manual work. This study aimed at verifying the viability of a mechanical method for in situ rhizome extraction, using a modified stump grinder. Three different machine settings were tested with the goal of obtaining rhizomes with variable length, ranging between 4.4 and 6.4 cm. The analysis of size distribution of harvested rhizomes (<5 cm, 5-10 cm, >10 cm) has showed as the modification of the hoes and the right machine setting would allow the recovery of almost 90% of rhizomes longer than 5 cm. Rhizomes with different lengths were tested for their rate of survival and shoots production showing worthy results on view of applicability of the system for mechanization of nursery production of giant reed.

Produzione di “pezzotti” di canna comune

Valutazione di un nuovo prototipo

ALBERTO ASSIRELLI, ENRICO SANTANGELO, ANDREA ACAMPORA,
ANGELO DEL GIUDICE, VINCENZO CIVITARESE, LUIGI PARI

Lo sviluppo di nuovi sistemi di raccolta in grado di ottenere un prodotto con caratteristiche tali da agevolare la fase di stoccaggio e pretrattamento, riducendo le perdite di sostanza secca, costituisce un punto cruciale nella valorizzazione della coltura di canna comune.

PAROLE CHIAVE: *Arundo*, raccolta, distribuzione granulometrica.

La canna comune (*Arundo donax* L.) a destinazione energetica viene normalmente raccolta impiegando falciatrici-caricatrici utilizzate in foraggicoltura. Per la raccolta di prodotto fresco i migliori risultati si ottengono con testate per la raccolta dell'insilato di mais con cui si sono registrate capacità operative di poco superiori all'ora per ettaro (ARSIA 2004).

Il trinciato che si ottiene però mostra un alto livello di umidità e un'eccessiva percentuale di frazioni fini (al di sotto del centimetro) presentando notevoli limiti di conservazione e non risultando idoneo ad una sua utilizzazione immediata tramite termovalorizzazione. **I trinciati con caratteristiche eccessivamente fini oltre a limitare la perdita di umidità e creare problemi di conservazione aumentano i rischi di fermentazioni dannose.** Per poter permettere una sufficiente conservazione della biomassa occorre **aumentare le dimensioni del prodotto ottenuto**, in modo da favorire una maggiore circolazione di aria e fuoriuscita di umidità al fine di limitare i fenomeni fermentativi.

A tale scopo, nell'ambito del progetto di ricerca Optima (www.optimafp7.eu)⁽¹⁾ finanziato dalla UE, il Consiglio

⁽¹⁾ Al progetto Optima “Optimization of Perennial Grasses for Biomass Production”, finanziato nell'ambito del VII Programma Quadro, partecipano 21 *partners* di 13 Paesi. Si concluderà nel 2015.

per la ricerca e la sperimentazione in agricoltura, Unità per l'Ingegneria agraria (CRA-ING), in collaborazione con la ditta Spapperi, ha progettato un prototipo di raccogli-trice di canna in grado di ridurre la biomassa in piedi in “pezzotti” di lunghezza variabile. Lo studio è stato condotto per valutare le prestazioni della testata e la tipologia di prodotto ottenuto.



Foto 1 - Prototipo di falciatrice-caricatrice per la produzione di “pezzotti” di canna.

ALBERTO ASSIRELLI, CRA-ING, alberto.assirelli@entecra.it - ENRICO SANTANGELO, CRA-ING - ANDREA ACAMPORA, CRA-ING - ANGELO DEL GIUDICE, CRA-ING - VINCENZO CIVITARESE, CRA-ING - LUIGI PARI, CRA-ING



Foto 2 - Veduta del campo sperimentale derivante da talee di fusto.

MATERIALI E METODI

Il prototipo di pezzatrice

Il prototipo di pezzatrice per la raccolta della canna comune è stato sviluppato con lo scopo di ottenere sezioni di fusto superiori a 1 cm di lunghezza. La macchina (Foto 1) è di tipo semiportato posteriormente da trattore agricola a guida retroversa ed è composta da due parti principali, un sistema di taglio e convogliamento a rotori verticali muniti di lama basale ed un sistema di pezzatura a disco rotante su asse orizzontale munito di due coltelli in posizione radiale. Interposto fra le due componenti descritte è stato inserito un sistema di alimentazione a rulli dentati controrotanti con la funzione di presa ed alimentazione al sistema di pezzatura.

L'**apparato di raccolta** è composto da due rotori verticali a sezione troncoconica dotati di elementi di presa solidali al rotore e disposti su piani paralleli. In posizione basale sono fissati gli elementi di taglio composti da settori di lama fissati perimetralmente alla base fino a coprire l'intera circonferenza. L'**apparato di pezzatura** è composto da un disco fenestrato a due lame radiali sul quale sono state effettuate alcune modifiche strutturali. Per cercare di aumentare la lunghezza di taglio è stata aumentata la distanza di fissaggio tra la lame e il disco stesso aumentando la luce disponibile. Fra i due apparati, quello di taglio e convogliamento e quello di pezzatura, è interposto un sistema di alimentazione a rulli dentati paralleli tenuti sotto carico da un sistema a molle precaricate.

Lo schema funzionale prevede il taglio e convogliamento delle canne verso il sistema di pezzatura che, oltre alla sezionatura dei fusti, provvede anche al trasporto, per via pneumatica, su rimorchio al seguito o in parallelo.

Prima dell'effettuazione della prova, su una piccola superficie (7 x 7 m) distinta da quelle che verranno descritte di seguito, si è proceduto al settaggio iniziale della macchina, regolando la velocità dei rulli di alimentazione (48 e 60 giri min⁻¹) e verificando il tipo di prodotto ottenibile utilizzando o meno gli elementi interponibili nel flusso in uscita con funzione di ulteriore frammentazione. Tali sistemi, opposti al rotore ed interni alla copertura del disco, sono stati spostati in posizione esterna in modo tale da non consentire una frammenta-

zione aggiuntiva del prodotto lavorato. La sperimentazione condotta era volta a valutare la funzionalità della macchina e la pezzatura del prodotto ottenuto. Quest'ultimo è stato valutato facendo lavorare il prototipo in presenza o assenza dei sistemi di contrasto.

Lo studio dei tempi di raccolta è stato effettuato secondo la metodologia ufficiale del *Comité International d'Organisation Scientifique du Travail en Agriculture* (CIOSTA) e le raccomandazioni dell'Associazione Italiana di Ingegneria Agraria (AIIA) 3^a R1, provvedendo a rilevare i tempi necessari alle diverse operazioni durante la raccolta.

Sito di prova e rilievi

La prova è stata effettuata nel Giugno 2013 presso l'Azienda Sperimentale di Anzola (BO) del centro ricerca per le colture industriali (CRA-CIN) su un appezzamento di 420 m² (21 x 20 m) in cui era presente una coltura di canna comune al quinto anno di produzione e derivante da talee di fusto trapiantate a distanza 0,6 x 0,6 m.

Il disegno sperimentale adottato è stato il blocco completamente randomizzato con due repliche per ogni tesi (regolazione della macchina). Ogni parcella elementare aveva dimensione 4 x 4,5 m, per complessivi 18 m².

In un'area di stoccaggio individuata all'interno dell'azienda sono stati preparati due cumuli ognuno formato dal prodotto ottenuto dalle due regolazioni a confronto e dai quali sono stati prelevati i campioni per le misurazioni post-raccolta.

Il giorno antecedente la raccolta si è proceduto alla caratterizzazione della coltura individuando 4 parcelle da 1 m² dalle quali sono state prelevate tutte le piante presenti, misurandone l'altezza, il diametro basale ed il peso complessivo della massa raccolta. Al fine di determinare le perdite in peso dovute alla porzione di stelo non tagliata, su un campione casuale e rappresentativo di 40 piante sono stati tagliati 40 cm della porzione basale. Di tali porzioni (suddivise in 4 repliche da 10) è stato misurato il diametro basale, il diametro a 30 cm, la lunghezza ed il peso.

Una volta ultimata la fase di raccolta sono stati effettuati ulteriori rilievi sia in campo che presso l'area di stoccaggio. In campo sono state individuate, all'interno di ogni parcella principale, 2 sotto-parcelle da 1 m² in cui è stato rilevato il numero di piante presenti e l'altezza di taglio; successivamente è stata delineata, all'interno di ogni parcella principale, una sotto-parcella di 7 m² (1 x 7 m) su cui sono state pesate le perdite di raccolta, espresse come quantitativo di prodotto non tagliato e tagliato ma non raccolto.

Nell'area di stoccaggio sono stati effettuati, sui due cumuli di trinciato corrispondenti al prodotto ottenuto con le due regolazioni, una serie di campionamenti volti a valutare la massa volumica apparente, la distribuzione granulometrica, il contenuto di umidità ed il contenuto in ceneri della biomassa.

La massa volumica apparente è stata stimata secondo le indicazioni della norma UNI EN 15103: 2010. Un cilindro di metallo di volume noto (0,025 m³) riempito con il trinciato è stato pesato utilizzando un dinamometro da campo (D = 1 g). Per ogni cumulo sono state effettuate 8 pesate. Il contenuto degli 8 cilindri è stato raccolto in due sacchi e trasportato in laboratorio per la valutazione della distribuzione granulome-

trica in accordo con la norma UNI EN 14961: 2010.

Per l'analisi dell'umidità della massa fresca, da ogni replica delle tesi sono stati prelevati due campioni di circa 500 g (per un totale di otto campioni). Il trinciato raccolto è stato immediatamente messo in buste non traspiranti sigillate e portato in laboratorio dove l'umidità è stata valutata seguendo le disposizioni della norma UNI EN 14774-2: 2010. Infine, i campioni essiccati sono stati macinati con un mulino a coltelli e utilizzato per il calcolo delle ceneri secondo quanto prescritto dalla normativa (UNI EN 14775: 2010).

RISULTATI

La coltura si presentava in piena vegetazione, con massa verde abbondante e uniforme, piante esenti da attacchi patogeni e/o da parassiti e priva di infestazione da malerbe (Foto 2). Le piante mostravano un buon accrescimento in altezza con peso medio unitario poco inferiore ai 450 g. La densità di culmi per unità di superficie (28,5 culmi m⁻²) era piuttosto elevata e con una presenza significativa di getti prodotti nell'anno aventi un notevole sviluppo (Tabella 1).

Operatività del prototipo

Sono stati effettuati 3 passaggi per la raccolta di ogni parcella. In Tabella 2 sono riportati i tempi rilevati nella prova; il tempo accessorio comprende il tempo per la voltata, il tempo per le manovre ed il tempo per le regolazioni della macchina in campo. Non si sono registrati durante la prova tempi di riposo e tempi morti inevitabili. Va sottolineato che la bassa velocità è relativa all'elevata densità della coltura e all'elevato intreccio delle piante presenti. Il rendimento operativo è risultato essere poco più del 62%, lavorando ad una velocità operativa di 0,30 m s⁻¹ (1,08 km h⁻¹) raggiungendo una capacità operativa di 0,33 ha h⁻¹, ed una produzione oraria operativa pari a 41,14 t h⁻¹ di biomassa.

Risultati produttivi

La resa è risultata in linea con i valori produttivi tipici di una coltura di canna al quinto anno di vegetazione (Tabella 3). Il trinciato ottenuto presentava un contenuto di umidità piuttosto elevato (68,5%).

Va osservato che le perdite dovute all'altezza di taglio (prodotto non trinciato e lasciato in campo e parte di stelo rimasta in campo a seguito della regolazione dell'altezza di taglio) appaiono leggermente in eccesso e che la massa volumica è risultata inferiore a quella ottenibile nel caso in cui si fosse utilizzata una comune falciatrici-caricatrice con testata da mais (PARI *et al.* 2011).

La caratterizzazione dimensionale del prodotto ottenuto è mostrata nel Grafico 1. Il 76-77% del trinciato si colloca nelle classi diametriche comprese tra 3,15 e 12,5 mm senza registrare alcuna differenziazione statistica tra le due tesi a confronto. Da questo punto di vista il posizionamento dei sistemi di contrasto non sembra influenzare la lunghezza del trinciato anche se è possibile apprezzare nelle classi più fini (6,3-12,5 mm e 3,15-6,3 mm) valori percentuali maggiori quando i sistemi di contrasto erano presenti ed una differenza di circa il 2,5% per la frazione 12,5-25

		Media	Err. St.
Densità	n culmi m ⁻²	28,5	3,7
Altezza pianta	m	3,35	0,1
Diametro	cm	1,83	0,0
Peso pianta	g	441	42,4
Numero di nuovi getti	n m ⁻²	6	0,7
Altezza	m	2,56	0,1
Diametro	cm	2,12	0,1

Tabella 1 - Medie (± E.S.) dei cantieri morfologici.

Tempo standard		
Tempo effettivo	%	62,61
Tempo accessorio	%	37,39
<i>Tempo per voltate</i>		
	%	23,59
<i>Tempo per regolazioni</i>		
	%	13,45
Operatività Macchina		
Rendimento operativo	%	62,61
Velocità effettiva	m s ⁻¹	0,48
Velocità operativa	m s ⁻¹	0,30
Capacità di lavoro effettiva	ha h ⁻¹	0,52
Capacità di lavoro operativa	ha h ⁻¹	0,33
Produzione oraria operativa	t h ⁻¹	41,14

Tabella 2 - Tempi rilevati e operatività della macchina.

Parametro		Media
Altezza di taglio	cm	22,4±0,5
Resa (t.q.)	t ha ⁻¹	95,9±11,6
Perdite di produzione (su t.q.) per		
<i>Prodotto non trinciato</i>	t ha ⁻¹	1,93±0,29
<i>Altezza di taglio</i>	t ha ⁻¹	7,60±0,83
Umidità	%	68,5±0,3
Resa in ss	t ha ⁻¹	30,1±3,1
Massa volumica	kg m ⁻³	205,5±2,8

Tabella 3 - Valori medi (± E.S.) dei principali dati produttivi.

mm a favore del posizionamento esterno di tali sistemi. Da sottolineare anche la presenza (anche se con percentuali progressivamente ridotte) di frammenti lunghi da 25 a 75 mm. Il trinciato raccolto nelle prove presentava un contenuto in ceneri pari al 5,9±0,5%, pressoché in linea con quelli riportati per la canna anche da altri autori (NASSI o DI NASSO *et al.* 2010).

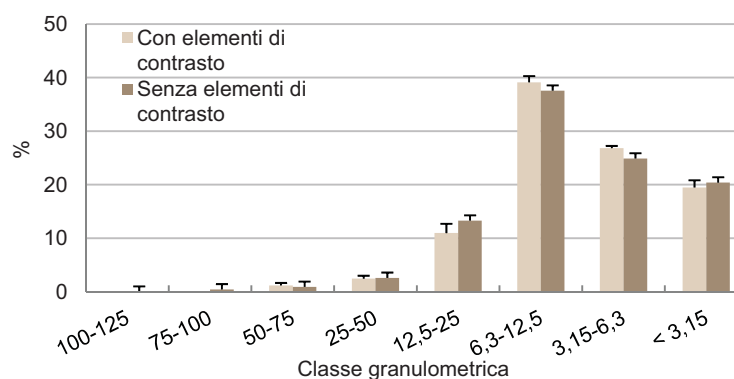


Grafico 1 - Distribuzione delle classi granulometriche di trinciato di canna ottenuto con il prototipo per la produzione di "pezzotti". Le barre verticali rappresentano l'errore standard.

CONCLUSIONI

Lo scopo della prova era quello di aumentare le dimensioni del trinciato di canna in modo da ridurre il rischio di fermentazioni dannose durante lo svolgimento dello stoccaggio. La macchina testata ha consentito di spostare sensibilmente, benché in maniera ancora non soddisfacente, la distribuzione granulometrica verso frazioni di trinciato a maggiore dimensione. Da quanto esposto emerge **come sia possibile, regolando e ridisegnando gli elementi trincianti, ottenere un miglioramento della pezzatura del trinciato di canna** e, quindi, passare da un prodotto non facilmente gestibile tal quale, ad un prodotto logisticamente più apprezzato. Attualmente sono in fase di studio alcuni miglioramenti meccanici volti ad aumentare l'efficienza del prototipo al fine di ottenere un prodotto che presenti una consistente riduzione della frazione fine e ad aumentarne la capacità di lavoro.

Bibliografia

ARSIA, 2004 - **Le colture dedicate ad uso energetico: il progetto Bioenergy Farm**. Quaderno ARSIA 6/2004.

NASSI O DI NASSO N., ANGELINI L.G., BONARI E., 2010 - **Influence of fertilization and harvest time on fuel quality of giant reed (*Arundo donax* L) in central Italy**. European Journal of Agronomy 32: 219-227.

PARI L., SUARDI A., CIVITARESE V., ACAMPORA A., GIANNINI E., 2011 - **Meccanizzazione della raccolta del prodotto trinciato di canna comune (*Arundo donax* L.)**. 709-726. In Luigi Pari (a cura di) Lo sviluppo delle colture energetiche in Italia. Il contributo dei progetti di ricerca SUSCACE e FAESI. Ed. Nuova Cultura. 895 pp.

KEYWORDS: *Arundo*, harvesting, particle size distribution.

Abstract: *A new prototype for the increase of the particle size of chopped Arundo.*

The particle size distribution is one of the main parameter affecting the compliance of a feedstock to the requirements claimed for energy purposes. Giant reed (*Arundo donax* L.), one of the most promising energy crop, is currently harvested using the self-propelled forage harvesters. Often the final product presents a distribution skewed towards the finer particles that can negatively influence the qualitative traits of fuel and on the efficiency of power plants. The Consiglio per la ricerca e sperimentazione in agricoltura, in collaboration with Spapperi Ltd, has designed and developed a prototype for cutting and sectioning the crop of *Arundo* aimed at producing a higher proportion of chips longer than the ones obtainable from a forage harvester. A study has been conducted in order to assess the performance of the machinery and to evaluate the characteristics of the crop harvest. In order to attain a final product with different length, the contrasting system of the blades (positioned on the frame of rotor), were left internally or moved outside for reducing the additional fragmentation of the stems. Such solution did not revealed decisive for differentiating the final product but the results have shown that the lengthening of the particle size may be possible. However, further improvements are needed and these will concern the increase of the effective field capacity and the obtaining of a product with a greater proportion of longer fractions.

L'impiego dei residui fluviali di canna comune

Analisi dell'efficienza di due trinciatrici

ANGELO DEL GIUDICE, ALBERTO ASSIRELLI,
LUIGI PARI, ENRICO SANTANGELO

Esiste un'ampia disponibilità di biomasse residuali che spesso non vengono adeguatamente sfruttate. Fra queste può rientrare la biomassa di *Arundo donax* derivante dalla periodica manutenzione degli alvei fluviali.

PAROLE CHIAVE: biomassa, vegetazione ripariale, alveo, gestione.

La manutenzione degli alvei fluviali rappresenta un'operazione indispensabile, anche se onerosa, per un corretto governo del territorio (MONNI 2011) in quanto la vegetazione che copre le sponde dei corsi d'acqua condiziona non solo gli aspetti ecologici dell'ecosistema fluviale, ma anche quelli idraulici (CALAMINI 2008). **Tale attività può generare notevoli quantitativi di biomassa** (SPINELLI e MAGAGNOTTI 2006; MONNI 2011), alternando provvigioni e composizione specifica molto diverse, così come possono variare notevolmente le prescrizioni selvicolturali cui sono sottoposte (MONNI 2011).

Dall'utilizzazione di questi grandi serbatoi di biomassa, attualmente sfruttati solo in minima parte (SPINELLI 2005), è possibile valorizzare non solo le biomasse provenienti dalle aree golenali popolate da specie arboree, ma si ha l'opportunità di sfruttare anche quelle aree dominate da una vegetazione erbacea monospecifica di *Arundo donax* L.. Il taglio della vegetazione in alveo ha di norma un costo elevato, quasi mai compensato dalla qualità e quantità del materiale estratto (BARONTI *et al.* 2007; SPINELLI e MAGAGNOTTI 2007; SPINELLI 2005). La convergenza di una caratteristica razionale, di una pianificazione adeguata in grado di abbattere i costi di intervento e di una moderna filosofia di gestione può migliorare la remuneratività delle operazioni di manutenzione.

L'orientamento futuro nel settore delle bioenergie prevede

la **graduale riduzione del "peso" delle colture energetiche ed un corrispettivo incremento al 70% nell'utilizzo di biomasse residuali**. Appare, dunque, strategica la scelta di esplorare le possibilità di recupero di residui non ancora utilizzati e di valutare i quantitativi ottenibili. Al fine di sviluppare una strategia d'intervento che consenta la manutenzione dell'alveo nel rispetto dell'ambiente ed allo stesso tempo permetta la raccolta della biomassa da



Foto 1 - Composizione monospecifica di *Arundo donax*.

ANGELO DEL GIUDICE, CRA-ING - ALBERTO ASSIRELLI, CRA-ING, alberto.assirelli@entecra.it - LUIGI PARI, CRA-ING - ENRICO SANTANGELO, CRA-ING.



Foto 2 - *Arundo donax* associato con pioppo.



Figura 1 - Perimetro del comprensorio, con inquadramento nell'ambito regionale (fonte, <http://www.bonificamaremmaetrusca.it/Consorzio/Territorio.htm>)

destinare alla valorizzazione energetica, il Consiglio per la Ricerca e la sperimentazione in Agricoltura, Unità di Ricerca per l'Ingegneria Agraria, nell'ambito del progetto SUSCACE (<http://ing.entecra.it/biomasse/index.php/progetti/suscace>) in collaborazione con il Consorzio di Bonifica della Maremma Etrusca di Tarquinia (VT), ha organizzato una prova di sfalcio su vegetazione erbacea monospecifica di *Arundo donax* in ambiente fluviale.

Il fine della prova in questa fase è stato quello di definire le potenzialità produttive in termini di biomassa erbacea ri-traiabile da tali contesti, valutare l'operatività di un trinciatore forestale a martelli e una trinciatrice a coltelli, analizzare la pezzatura del prodotto ottenuto.

MATERIALI E METODI

Il Consorzio di Bonifica della Maremma Etrusca

Il "Consorzio di Bonifica della Maremma Etrusca" con sede in Tarquinia (VT), opera su una superficie complessiva di 159.746 ettari (Figura 1) mentre il comprensorio attualmente contribuente che beneficia dell'attività consortile risulta di 48.245 ettari.

La difesa del suolo, realizzata attraverso la regolazione dei molti corsi d'acqua naturali che attraversano il comprensorio e che formano la rete scolante, è prioritaria rispetto a tutti gli altri interventi di bonifica. Il contenimento della vegetazione spontanea viene regolarmente effettuato dal Consorzio anche su corsi d'acqua minori e canalizzazioni artificiali, spesso caratterizzati da ampie fasce di vegetazione ripariale a predominanza di *Arundo donax* (80-90%), associata a presenze arboree igrofile quali pioppi, ontani e salici (Foto 1 e 2). L'ampio sviluppo della rete fluviale consortile (Tabella 1) e la diversa articolazione del territorio, vede l'alternarsi di specie

Comune	Corsi d'acqua (km)	Canalizzazioni (km)	Totale (km)
Tarquinia	204,879	-	204,879
Montalto di Castro	100,800	28,125	128,925
Civitavecchia	22,945	-	22,945
Totali	328,62	28,125	356,749

Tabella 1 - Sviluppo della rete fluviale su cui opera il Consorzio di bonifica della Maremma Etrusca.

mesofile isolate, come carpini e pero selvatico, a vegetazione termofila, come leccio, roverella, cerro e sorbo nelle aree più soleggiate, associate ad elementi tipici della macchia mediterranea quali lentisco, fillirea, mirto e ginestra.

La gestione della vegetazione monospecifica di *Arundo donax*, da parte del Consorzio, prevede lo sfalcio periodico della stessa lasciando il materiale trinciato in loco senza recupero della biomassa. Tale pratica può avere ripercussioni negative sul contenimento del rischio idraulico, in quanto se lasciata lungo le sponde la vegetazione sfalcata durante gli eventi di piena può essere trasportata via dal deflusso dell'acqua causando seri problemi negli invasi minori.

Macchine a confronto

La prova sperimentale si è svolta nel Febbraio 2013 nel comprensorio di Tarquinia all'interno dell'azienda "Podere Giulio", Strada Litoranea, km 45, Località Piana di Spille su un'asta d'alveo espressiva delle caratteristiche morfologiche del bacino e di una densa vegetazione monospecifica di *Arundo donax*, sfalcata l'anno precedente. Il cantiere di lavoro era posto all'interno di regioni agricole servite da una densa rete di strade rotabili e piste che permetteva un agevole accesso al sito.

Lo scopo della prova è stato quello di valutare la produttività e confrontare due diversi sistemi di trinciatura. Il primo era rappresentato da un trinciatore forestale idraulico a martelli prodotto dalla ditta Berti, mod. ECF MD/SB 140, abbinato al braccio di un escavatore della ditta Hitachi mod. ZAXIS 210N con sbraccio massimo di 9,9 m e peso operativo da 16 a 20 tonnellate (Foto 3a). Si tratta di una macchina adatta alla trinciatura di erba, arbusti, cespugli e all'abbattimento e trinciatura di rami e alberi fino a 20 cm di diametro. Il rotore di 1.400 mm di lunghezza e 330 mm di diametro monta 24 martelli forgiati a doppio taglio a scomparsa distribuiti lungo quattro assi in modo sfalsato (6 per ogni asse). La trasmissione è idraulica con motore idraulico a pistoni e derivazione laterale a cinghia.

Il secondo sistema era rappresentato da una semovente della ditta Energreen mod. ILF S 1500, dotata di braccio articolato con sbraccio massimo di 12 m, accessoriata con una testata trinciante a coltelli mod. New Speed 150 (Foto 3b).



Foto 3 - Trinciatore forestale a martelli (a) e trinciatore a coltelli (b) a confronto

La testata si presta alla lavorazione di erba, arbusti, sarmen-
ti, canne, legna con diametro massimo di 5 cm. Sul rotore,
di 1.416 mm di lunghezza e diametro di 128,7 mm, sono
posizionati 16 coltelli polivalenti a “Y” disposti a loro volta
su 4 assi, ogni coltello è costituito da 3 elementi taglienti. La
trasmissione, anche in questo caso, è idraulica con motore
idraulico a pistoni e derivazione laterale a cinghia.

La prova ha interessato un’asta d’alveo con sviluppo linea-
re di 140 m ed una larghezza (superficie produttiva relativa
alle due sponde del tratto preso in considerazione) di 11,2
m, corrispondente ad un’area di 0,16 ha. Sul tratto d’alveo
oggetto della prova, sono stati identificati a terra, su una sola
delle due sponde, 4 *transect* (parcelle) di larghezza pari alla
sponda dell’alveo e con una lunghezza di 35 m su cui sono
stati saggiati i trattamenti previsti. Il trinciatore forestale a
martelli, ha operato su 2 *transect* (Figura 2) effettuando sul
primo un singolo intervento di trinciatura (M1) e sul secondo
un intervento di trinciatura seguito da un ulteriore passaggio
per affinare il prodotto lavorato con il primo intervento (M2).
Sugli altri 2 *transect* è stato saggiato il trincia a coltelli adot-
tando le medesime modalità (C1 e C2). Va sottolineato che
con il termine intervento si indica una lavorazione in due fasi.
Nella prima fase l’operatore procedeva alla riduzione dell’al-
tezza delle piante, mentre nella seconda veniva trinciata la
rimanente parte basale. Nel caso dei trattamenti M1 e C1,
le macchine concludevano la loro lavorazione con il primo
intervento, mentre per le tesi M2 e C2, una volta ridotto il
volume con il primo intervento si procedeva ad un secondo
passaggio per l’affinamento del prodotto.

Caratterizzazione del prodotto

All’interno di ognuna delle 4 parcelle sono state identificate in
modo *random* 4 aree campione di superficie unitaria (1 m²) da
cui sono state prelevate le piante presenti rilevando:

- Numero piante

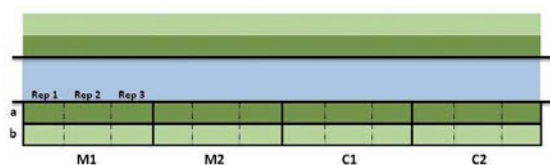


Figura 2 - Metodologia operativa seguita nel corso delle
prove.

- Diametro del fusto a 5 cm da terra
- Altezza delle piante
- Peso delle piante all’interno dell’area campione

Dopo il passaggio delle macchine, 1 o 2 interventi in rela-
zione al trattamento oggetto di studio, le quattro parcelle
sono state suddivise in due metà (Figura 2), una prossimale
(a) e una distale (b) al corso d’acqua, allo scopo di stabilire
le eventuali differenze di umidità tra le piante più lontane e
quelle più vicine al margine dell’alveo. Per ogni metà parcella
sono stati prelevati 3 campioni (repliche) di circa 500 g che
sono stati sigillati in opportuni sacchetti non traspiranti e tra-
sportati in laboratorio dove sono stati lasciati ad essiccare
in stufa a ventilazione forzata ad una temperatura di 105°C
secondo la UNI EN 14774-2:2010.

La massa volumica apparente è stata determinata effettuan-
do, per ogni *transect*, 5 pesate del prodotto trinciato. Per le
pesate si è utilizzato un dinamometro da campo (D = 1 g)
ed un cilindro normalizzato avente un volume di 0,025 m³,
secondo quanto stabilito dalla norma Norma Europea UNI
EN 15103:2010.

Per ogni parcella sono stati, infine, prelevati dei campioni di
trinciato, distinguendoli per macchina operatrice e numero
di interventi (C1, C2, M1 ed M2). I campioni posti in sacchi
di materiale traspirante sono stati trasportati in laboratorio e
lasciati asciugare all’aria per favorire la perdita di umidità al
fine di evitare che le particelle aderissero alle pareti dei crivel-
li. La distribuzione granulometrica è stata analizzata secondo
quanto previsto dallo standard UNI CEN/TS 15149-1:2006,
utilizzando un setacciatore di tipo meccanico e crivelli nor-
malizzati in accordo con la Norma ISO 3310-1.

L’analisi statistica dei dati è stata effettuata utilizzando il pro-
gramma M-STATC.

RISULTATI E DISCUSSIONI

Rilievi morfo-produttivi

Nella Tabella 2 sono riassunti i valori medi dei parametri
morfo-produttivi della sponda d’alveo relativa alla prova.
Il dato che sicuramente emerge e risalta rispetto agli altri
è quello della produzione potenziale che ha raggiunto le
83,3 t ha⁻¹ di sostanza fresca corrispondenti a 93,3 t km⁻¹
lineare, dato questo di notevole interesse.

Nelle normali condizioni di coltivazione inserita in ordi-
namenti produttivi, essendo la canna una pianta polien-
nale, il ciclo colturale può prolungarsi per 10-12 anni.

Parametro	
Densità (p m ²)	37,4±2,1
Altezza (cm)	355,6±8,0
Diametro basale (mm)	14,2±0,5
Peso (kg m ²)	8,31±0,8
Umidità (%)	47,9±4,2
Produzione s.f. (ton ha ⁻¹ / ton km ⁻¹)	83,3/93,3
Produzione s.s. (ton ha ⁻¹ / ton km ⁻¹)	43,4/48,6

Tabella 2 - Principali parametri morfo-produttivi medi (±E.S.) rilevati per superficie unitaria.

Fattore	Trattamento	U.R. (%)	P ^a
Trinciatrice	Martelli	48,8	ns
	Coltelli	47,0	
Interventi	1	49,7	***
	2	46,1	
Posizione rispetto all'argine	Distale	45,1	***
	Prossimale	50,7	

^a Le differenze significative tra i livelli dei diversi fattori sono state determinate mediante t-test di Student. Dove riportato: ns differenza non significativa; *** differenza significativa per P<0,01.

Tabella 3 - Contenuto di umidità in relazione ai diversi fattori di studio.

Interventi	Trinciatrice		Media interventi
	Martelli (kg m ⁻³)	Coltelli (kg m ⁻³)	(kg m ⁻³)
1	71,4±2,8 b	85,9±1,9 b	78,7±3,0 B
2	84,4±4,7 b	128,4±4,9 a	106,4±8,16 A
Media macchina	77,9±3,6 B	107,2±7,6 A	

Tabella 4 - Valori di MVA (±E.S.) rilevati per i trattamenti a confronto. Lettere diverse accanto alle medie indicano differenze statisticamente significative per P≤0,05 (lettere minuscole) o P≤0,01 (lettere maiuscole) dopo analisi ANOVA.

Nelle zone dell'Europa meridionale è possibile ottenere una produzione di sostanza secca mediamente pari a 37 t ha⁻¹ (ANGELINI *et al.* 2009). Come è possibile notare, dunque, le rese rilevate nella prova sono simili a quelle riportate in bibliografia per la coltivazione in pieno campo.

Tenendo conto che la superficie controllata dal Consorzio risulta piuttosto estesa e gli interventi effettuati dagli operatori vengono ripetuti con periodicità non sempre regolare, lo sviluppo delle aree monospecifiche di *Arundo* può presentare una certa variabilità. Quindi, le produzioni ottenute nel presente studio non possono essere generalizzabili e rappresentative degli oltre 350 km di rete fluviale, tra corsi d'acqua naturali e canalizzazioni artificiali, che si sviluppa all'interno del comprensorio consortile. Conseguentemente a conferma dei valori di produzione ottenuti, sarebbe auspicabile effettuare una stima dettagliata di quelle che sono le reali potenzialità produttive.

Umidità

Il contenuto medio di umidità delle piante era pari al 47,9%. Valutando i risultati dei fattori considerati (tipo di macchina, numero di interventi e posizione del campione rispetto all'argine) emergono alcune interessanti osservazioni (Tabella 3).

L'impiego di una trinciatrice a coltelli o a martelli non ha nessuna influenza sul parametro considerato in quanto il

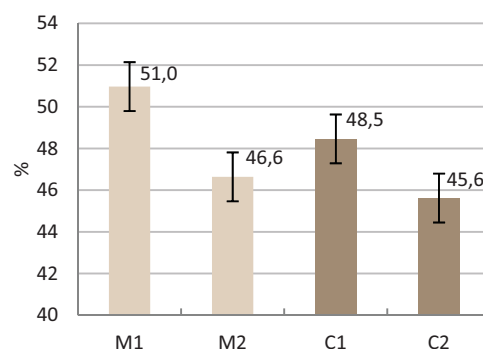


Grafico 1 - Percentuali (± E.S.) di umidità registrate per i campioni di trinciato di canna ottenuti con uno o due interventi di trincia a martelli (M) o a coltelli (C).

risultato finale si differenzia per un valore inferiore ai due punti percentuale (1,8) a favore del trincia a coltelli. Al contrario, l'esecuzione di due interventi, indipendentemente dalla macchina utilizzata, determina una diminuzione del contenuto di umidità di 3,6 punti percentuali. Ciò è probabilmente dovuto al maggiore sminuzzamento della biomassa che causa un aumento della superficie evaporante. Infine, come atteso, ben 5,6 punti percentuali differenziano i campioni di trinciato prelevati da punti più prossimali all'alveo rispetto a quelli distali. Ciò costituisce un aspetto da tenere in considerazione nella successiva fase di essiccazione allo scopo di ottenere un combustibile che raggiunga i livelli di umidità richiesti. Effettuando due interventi delle macchine (M2, C2) si ottiene sempre un prodotto con un contenuto di umidità inferiore (Grafico 1). L'impiego della trincia a martelli può risultare confrontabile con il trinciatore a coltelli solo nel caso vengano effettuati due interventi.

Massa volumica apparente (MVA)

L'azione della trinciatrice a coltelli aumenta enormemente, ed in maniera statisticamente significativa, la massa volumica del trinciato di canna (Tabella 4). Ciò è particolarmente evidente quando vengono effettuati due interventi dove si ottiene un trinciato che presenta un incremento di massa volumica di circa il 50% rispetto a quello ottenuto con un singolo intervento dei coltelli o con due interventi dei martelli. Come per l'umidità anche in questo caso si sottolinea il miglior risultato che si ottiene effettuando due interventi (indipendentemente dalla macchina) e con il trinciatore a coltelli (indipendentemente dal numero di interventi).

Analisi granulometrica

Una buona ripartizione dimensionale rappresenta uno dei parametri chiave qualora il prodotto voglia essere valorizzato. Tenendo conto che l'utilizzazione del prodotto può avvenire attraverso diverse alternative (biogas, combustione, etanolo di II generazione) che richiedono un prodotto con diverse caratteristiche dimensionali, si è provveduto a valutare la pezzatura ottenibile dalle soluzioni meccaniche analizzate per la trinciatura della vegetazione fluviale.

I risultati ottenuti nella prova svolta appaiono molto chiari

relativamente al tipo di lavoro effettuato dai cantieri messi a confronto (Grafico 2). Passando dal cantiere C2 (doppio intervento con i coltelli) al cantiere M1 (un intervento con i martelli) si assiste ad un progressivo aumento della frazione più lunga (classe 75-100), che, per la tesi M1, arriva a costituire poco meno del 54% di tutte le componenti granulometriche. Per contro, il doppio intervento con la trinciatrice a coltelli determina una preponderanza relativa della frazione più fine (<3,15 mm) che raggiunge un valore medio del 36,7%.

È interessante notare come la tesi C1 abbia permesso di ottenere un prodotto più omogeneo, dal punto di vista della granulometria, rispetto agli altri trattamenti, in relazione alle due classi estreme (75-100 mm e <3,15 mm), la prima eccessivamente rappresentata nelle tesi M2 ed M1 e la seconda predominante nella tesi C2.

Limitando l'analisi alla somma delle sole frazioni medie (6,3 a 50 mm), *range* dimensionale più interessante ai fini della commercializzazione, si evidenzia come la percentuale più alta 34,73% si ottenga operando un singolo intervento con il trincia a coltelli (Tabella 5), mentre per il doppio intervento sono stati osservati dei valori poco al di sopra del 32% (32,43%). Nel caso dei martelli invece sia nel singolo che nel doppio intervento le percentuali ottenute risultano nettamente inferiori. Analizzando invece le classi estreme, passando dal trattamento C2 a quello M1 si è avuta una diminuzione della percentuale in peso delle classi fini (<3,15) ed un incremento consistente della percentuale delle porzioni sovra misura.

Operatività cantiere: escavatore con decespugliatrice forestale a mazze

La macchina ha lavorato a punto fisso operando in relazione al raggio di azione dell'operatrice. La superficie è stata lavorata dal piano orizzontale della sponda fino all'argine, per poi spostarsi sulla posizione successiva lungo la sponda. Poiché le condizioni di umidità del terreno non consentivano alla semovente priva di cingoli di operare in modo efficiente, non si è ritenuto opportuno in questa prova rilevare i dati operativi, rimandando la valutazione della testata a coltelli in presenza di condizioni di ridotta umidità del suolo.

Il rendimento operativo è risultato essere pari all'86,45%. Lavorando ad una velocità operativa di 0,55 m s⁻¹ (1,98 km h⁻¹), è stata registrata una capacità operativa di 0,07 ha h⁻¹ ed una produzione oraria operativa pari a 6,70 t h⁻¹ di biomassa (Tabella 6).

CONCLUSIONI

Con la valorizzazione della biomassa presente, la pulizia dei fiumi, necessaria per evitare occlusioni in caso di piena, non sarebbe più un costo e verrebbe, quindi, effettuata regolarmente con indubbi benefici ambientali. Una gestione oculata degli alvei fluviali, oltre a fornire ingenti quantitativi di biomassa legnosa, potrebbe prevedere una destinazione del prodotto verso le bio-energie, permettendo una rivalutazione generale dell'intervento. **L'utilizzazione della vegetazione ripariale a scopi energetici è un settore**

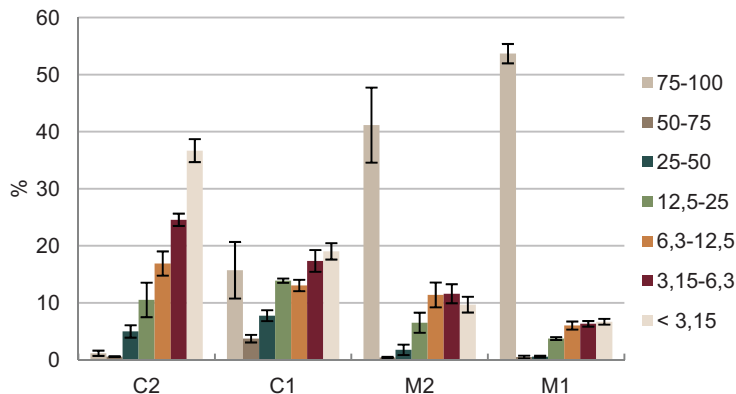


Grafico 2 - Distribuzione percentuale (\pm E.S.) delle classi granulometriche risultanti per i campioni di trinciato di canna ottenuti con uno o due interventi delle trinciatrici a martelli (M) o a coltelli (C).

Lunghezza classe (mm)	Tesi			
	C2	C1	M2	M1
50-100	1,77	19,46	41,60	54,20
6,3-50	32,43	34,73	19,71	10,53
3,15	24,57	17,36	11,61	6,34
<3,15	36,68	19,03	9,69	6,70
Totale	95,44	90,58	82,60	77,63
Sovra misure	4,56	8,89	17,13	22,20
Impurità	0,0	0,54	0,27	0,17
Totale	100,00	100,00	100,00	100,00

Tabella 5 - Distribuzione percentuale (\pm E.S.) delle classi granulometriche principali, per i campioni di trinciato di canna ottenuti con uno o due interventi di trincia a martelli (M) o a coltelli (C).

Rendimento operativo RO	%	86,45
Velocità effettiva VE	m s ⁻¹	0,64
Velocità operativa VO	m s ⁻¹	0,55
Capacità di lavoro effettiva	ha h ⁻¹	0,09
Capacità di lavoro operativa	ha h ⁻¹	0,07
Produzione oraria operativa	t h ⁻¹	6,70

Tabella 6 - Operatività della trinciatrice a martelli abbinata all'escavatore.

dalle enormi potenzialità che sta suscitando particolare interesse, soprattutto in virtù del fatto che non va a sottrarre superficie alle colture alimentari recuperando allo stesso tempo un materiale residuo.

Spesso le autorità di bonifica coinvolte nella gestione di un comprensorio utilizzano macchine idonee per la rimozione dei residui ma, probabilmente, inadeguate in caso di produzione di biomassa da destinare alle bio-energie. Il presente studio ha consentito di valutare sia le notevoli potenzialità produttive, in termini di biomassa erbacea ottenibile dalla gestione della vegetazione ripariale monospecifica di *Arundo*, sia la caratterizzazione del prodotto ottenibile da diversi sistemi di trinciatura. Dai risultati ottenuti è possibile affermare che **il doppio intervento delle macchine valutate (trinciatrice a coltelli o a martelli) indipendentemente dagli organi di taglio, consente di ottenere un prodotto migliore in termini di umidità e massa volumica.** A questa prima fase di studio dovrà seguire la progettazione di macchine per la raccolta del prodotto durante la trinciatura.

La destinazione energetica della biomassa ripariale è an-

cora in una fase di studio che passerà per un adattamento delle linee di meccanizzazione esistenti per poi approdare ad una definizione di adeguate linee di meccanizzazione, che consentano di trinciare e raccogliere la biomassa. In prospettiva, si potrebbero ipotizzare almeno due approcci. Una prima linea di meccanizzazione può prevedere simultaneamente il taglio e la raccolta della biomassa, aspirando il materiale trinciato e veicolando automaticamente il trinciato in un cassone integrato alla macchina oppure su di un rimorchio trainato. Una seconda linea di meccanizzazione potrebbe essere sviluppata attraverso l'utilizzo di trinciasarmenti innovativi dotati di nastro trasportatore, attrezzature in grado di asportare la vegetazione trinciata dal piano inclinato della sponda o dell'argine fino al piano orizzontale, per essere raccolto successivamente da un carro auto caricante.

In considerazione del valore aggiunto che può avere l'utilizzazione della vegetazione fluviale sia dal punto di vista della protezione del territorio, sia in relazione all'approvvigionamento di biomassa *no-food* per scopi energetici da superfici non produttive, la definizione di filiere di recupero del materiale ripariale (in particolare di canna comune) costituirà, nei prossimi anni, una stimolante area di studio. A tale proposito va sottolineato che, sebbene in questo lavoro siano state valutate le dimensioni del prodotto in relazione all'utilizzazione in caldaia, la biomassa di *Arundo* può trovare valido impiego sia per la produzione di etanolo di II generazione sia in impianti a biogas.

Ringraziamenti

Si ringrazia il direttore del Consorzio di Bonifica della Maremma Etrusca di Tarquinia l'Ing. Sergio Pisarri per la disponibilità mostrata. Un ringraziamento particolare al geom. Roberto Fanucci per la collaborazione e l'assistenza fornita durante lo svolgimento delle prove.

Bibliografia

ANGELINI L.G., CECCARINI L., NASSI N., BONARI E., 2009 - **Comparison of *Arundo donax* L. and *Miscanthus x giganteus* in a long-term field experiment in Central Italy: analysis of productive characteristics and energy balance.** Biomass and Bioenergy, 33: 635–643.

BARONTI F., BIANCHI L., CALAMINI G., GUARNIERI L., MALTONI A., PACI M., PRETI F., SALBITANO F., TANI A., 2007 - **Biomassa e gestione**

della vegetazione di sponda: Il caso del torrente Ripopolo. L'Italia Forestale e Montana n°5/6.

CALAMINI G., 2008 - **Il ruolo della selvicoltura nella vegetazione ripariale.** In atti del terzo Congresso Nazionale di Selvicoltura per il miglioramento e la conservazione dei boschi Italiani. 16-19 Ottobre Taormina (Messina), vol.1: 470-474.

MONNI M., 2011 - **Bioenergia di qualità dalla gestione degli alvei fluviali.** Mondo Macchina n°1/2011: 62-68.

SPINELLI R., 2005 - **Biomassa legnosa e manutenzione degli alvei fluviali.** Alberi e territorio, n°5/6: 18-22.

SPINELLI R., MAGAGNOTTI N., 2006 - **Raccolta di biomassa dalla manutenzione degli alvei.** Alberi e Territorio n°7/8.

SPINELLI R., MAGAGNOTTI N., 2007 - **Manutenzione degli alvei fluviali, ambiente e biomassa.** Alberi e territorio, n°1/2: 47-51.

UNI CEN/TS 15149-1:2006. **Solid biofuels - Methods for the determination of particle size distribution - Part 1: Oscillating screen method using sieve apertures of 3,15 mm and above.**

UNI EN 14774-2:2010. **Solid biofuels - Determination of moisture content- Oven dry method - Part 2: Total moisture – Simplified method.**

UNI EN 15103:2010. **Solid biofuels - Determination of bulk density.**

KEYWORDS: biomass, riparian vegetation, riverbed, management.

Abstract: *The use of fluvial residues of Arundo. Field efficiency of two mulchers.*

The riparian vegetation is a valuable biomass that can be advantageously exploited for energy use. This could represent an added value improving the economic sustainability of activities ecologically fundamental but unprofitable. Moreover, the recent European policies on the progressive replacement of fossil fuels with renewable sources needs to produce non-food energy crops using marginal lands or lands not devoted to agricultural production in order to avoid the subtraction of soil to traditional crops and the increase in the prices of food crops.

Objective of the present study was the comparison of two machineries for the chopping of the spontaneous plants of giant reed (*Arundo donax* L.) growing alongside the river banks and the analysis of the product obtained in order to evaluate its suitability for the use in biorefinery.

Although the current interest in biomass potential productivity from riparian habitats is greater than in the past, very few studies have analyzed the potential chain that could involve the use of riparian biomass for energy purposes. This study has allowed to acquire precious indications about the identification of the mechanization lines suitable for the handling of riparian vegetation of *Arundo* and to make a first evaluation of the characteristics of the product aimed at its energy use.

Innovazione meccanica per la raccolta del cardo in ambiente arido

LUIGI PARI, FRANCESCO GALLUCCI, VINCENZO CIVITARESE, ANDREA ACAMPORA,
EMANUELE SANZONE, VINCENZO ALFANO, ALBERTO ASSIRELLI

Al fine di valutare le migliori soluzioni tecniche per la raccolta del seme di cardo è stata condotta una prova comparativa equipaggiando una mietitrebbia New Holland CS540 con testata da cardo CRA-ING e testata da frumento, quest'ultima utilizzata sia in configurazione tradizionale che modificata.

PAROLE CHIAVE: cardo, testate di raccolta, qualità del lavoro.

Le colture dedicate per la produzione di biomassa a scopo energetico sono oggetto di un crescente interesse. La strategia europea sulla bioeconomia (Risoluzione del Parlamento europeo del 2 Luglio 2013), che prevede l'utilizzo gerarchico ed efficiente delle biomasse attraverso la valorizzazione delle diverse frazioni, costituisce il riferimento verso cui indirizzare le future azioni di ricerca.

Tra le specie perenni che si prestano meglio alle condizioni xerothermiche dell'Europa meridionale troviamo il *Cynara cardunculus* L. o "cardo" di origine mediterranea (RACCUJA *et al.* 2004a; 2004b), coltura polivalente che può essere utilizzata come materia prima per la produzione di biocombustibili solidi (frazione lignocellulosica epigea e residui di trebbiatura) e liquidi (seme oleaginoso) o nell'industria cartaria (FERNANDEZ *et al.* 2006) per la produzione di pasta di cellulosa di elevata qualità, utilizzando principalmente i pappi presenti nei capolini (GOMINHO *et al.* 2009).

Dai semi di cardo è possibile ottenere sia biodiesel che olio per usi alimentari (CURT *et al.* 2002; FERNANDEZ e CURT 2004), in quanto la loro composizione in acidi grassi insaturi è simile a quella dell'olio di girasole. L'olio estratto può essere successivamente trasformato in biopolimeri e le farine di estrazione destinate all'industria mangimistica. Altro aspetto importante di questa coltura è legato alla presenza di composti come l'inulina nelle radici (RACCUJA e MELLILLI

2004) e altri importanti principi attivi farmacologici, quali cinarina e silimarina (CURT *et al.* 2005) contenuti nelle foglie, che svolgono essenzialmente un'azione protettiva a livello epatico.

Ricerche condotte nel bacino del mediterraneo hanno fatto osservare produzioni interessanti: 20 t ha⁻¹ di biomassa epigea (dopo il primo anno di impianto) e circa 1 t ha⁻¹ in semi (RACCUJA e MELLILLI 2007).



Foto 1 - Particolare piastre metalliche del dispositivo di modifica della testata da frumento.

LUIGI PARI, CRA-ING, luigi.pari@entecra.it - FRANCESCO GALLUCCI, CRA-ING - VINCENZO CIVITARESE, CRA-ING - ANDREA ACAMPORA, CRA-ING
EMANUELE SANZONE, CRA-ING - VINCENZO ALFANO, CRA-ING - ALBERTO ASSIRELLI, CRA-ING.



Foto 2 - La testata da cardo CRA-ING.

Per la raccolta del seme, che deve essere effettuata tra agosto e metà settembre (in ambiente mediterraneo), le mietitrebbiatrici vengono generalmente abbinate a testate commerciali impiegate nella raccolta di altre colture da granello. Le aziende agricole e i conto terzi, infatti, tendono ad impiegare al meglio le dotazioni aziendali ma, come spesso accade, l'utilizzo di sistemi di raccolta non specifici può risultare non soddisfacente e causare considerevoli perdite di prodotto in campo, con conseguenze dirette per la redditività della coltura.

Il CRA-ING, nell'ottica di favorire la valorizzazione dei sottoprodotti, ha sviluppato un prototipo di testata da cardo in grado di effettuare, in un unico passaggio, non soltanto la raccolta del seme ma anche la messa in andana della biomassa lignocellulosica, che potrà essere così raccolta e imballata direttamente in una fase successiva (PARI *et al.* 2008; 2009).

Al fine di valutare le migliori soluzioni tecniche oggi disponibili per la raccolta del seme di cardo, è stata condotta una prova comparativa rilevando le prestazioni operative e la qualità del lavoro svolto da una mietitrebbia New Holland CS540. La macchina operatrice è stata equipaggiata con testata da cardo CRA-ING e testata da frumento, quest'ultima utilizzata sia in configurazione tradizionale che modificata.

MATERIALI E METODI

Rilievi colturali

La prova di raccolta è stata effettuata su una piantagione di cardo (cv. *Attilis* D.C.) di circa un ettaro, localizzata su un terreno marginale a giacitura pianeggiante. L'impianto, al secondo anno di vegetazione, si presentava con un sesto di impianto di 0,60 x 0,80 m e una densità teorica di 20.833 piante ha⁻¹. I rilievi morfo-biometrici sono stati effettuati su 5 *plot* di 20 m², rappresentativi dell'intero appezzamento, rilevando la densità effettiva, l'altezza e il diametro delle piante a 100 mm dal suolo, l'altezza della prima ramificazione, il diametro e il numero di capolini per ettaro.

Rilievo dei tempi di lavoro

Le prestazioni della mietitrebbia New Holland CS540 sono

state valutate in termini di velocità e capacità di lavoro effettiva, considerando due differenti testate di raccolta e tre differenti configurazioni: testata da frumento tradizionale, testata da frumento modificata e testata da cardo CRA-ING. I tempi sono stati rilevati all'interno di 12 transetti di 40 m lineari (4 per ciascuna tesi), seguendo la metodologia ufficiale della *Commission Internationale de l'Organisation Scientifique du Travail en Agriculture* (CIOSTA).

Descrizione delle testate di raccolta

La **testata da frumento**, della larghezza di 6.100 mm e del peso di 1.700 kg, risulta costituita da una barra falciante, da un aspo abbattitore con dita retrattili e da un convogliatore a coclea.

Allo scopo di ridurre le perdite di raccolta dovute al ribaltamento anteriore dei capolini, la testata da frumento è stata utilizzata anche in configurazione modificata, applicando, in corrispondenza della lama di taglio, un dispositivo costituito da 21 piastre metalliche (24,6 cm di larghezza alla base) distanziate fra loro di 5,6 cm (Foto 1).

La **testata da cardo CRA-ING**, della larghezza di 4.940 mm e del peso di 3.342 kg, presenta sistemi di raccolta differenziata per tipologia di prodotto, granello nella parte superiore e biomassa in quella inferiore (Foto 2).

Superiormente è presente un gruppo di mungitura a rulli controrotanti che provvede a ridurre la lunghezza dello stelo prima della recisione del capolino. Inferiormente, una lama alternata ed una coclea convogliatrice provvedono a recidere a terra gli steli e a convogliarli in una andana centrale, entro la carreggiata della mietitrebbiatrice.

Nella zona intermedia fra i due sistemi, in corrispondenza di ogni gruppo di mungitura, sono interposti dei frantumatori rotanti su asse verticale con lo scopo di ridurre le dimensioni degli steli e prevenire ingolfamenti durante la fase di alimentazione della coclea convogliatrice. I residui della trebbiatura dei capolini vengono infine rilasciati sull'andana, mentre i semi vengono raccolti dalla mietitrebbiatrice.

Qualità del lavoro svolto

La qualità del lavoro svolto dalle testate di raccolta è stata valutata in termini di perdite di prodotto in campo. Tali perdite sono state desunte raccogliendo e pesando tutti i capolini non trebbiati contenuti all'interno di 12 *plot* da 24 m² (4 per ciascuna tesi), per una superficie complessiva di 288 m².

Classificazione e caratteristiche qualitative del prodotto

Il seme prodotto è stato raccolto e trasportato in laboratorio, dove sono stati valutati i principali parametri di riferimento: percentuale di semi danneggiati, presenza di impurità, peso di 1.000 semi, massa volumica apparente (EN 15103:2010) e umidità (EN 14774-1:2009). Quest'ultima è stata valutata essiccando 4 campioni da 300 g in stufa termoventilata a 105°C. La massa volumica apparente, invece, è stata calcolata pesando con bilancia di precisione (d=0,01 g) il seme contenuto all'interno di 4 cilindri volumetrici normalizzati.

In Tabella 1 vengono riportate le regolazioni impostate sulla mietitrebbia, invariate per tutta la durata della prova.

RISULTATI

Caratteristiche dell'impianto

L'impianto, al momento della raccolta, evidenzia una densità effettiva di 12.700 piante ha⁻¹, valore, questo, sensibilmente inferiore a quello teorico (20.833 piante ha⁻¹).

Le piante si presentavano con un diametro medio e un'altezza media pari rispettivamente a 35,2 mm e 2,32 m, con una altezza di inserzione della ramificazione principale di 1,56 m.

Sono stati rilevati, mediamente, 10,1 capolini per pianta, del diametro medio di 53,7 mm, per un totale di 128.270 capolini ha⁻¹ (Tabella 2).

Prestazioni della operatrice

Nel corso della prova sono state rilevate le capacità di lavoro effettive, variabili in funzione della testata di raccolta utilizzata. Le prestazioni più elevate sono state raggiunte impiegando la testata da frumento: 1,67 ha h⁻¹ per la configurazione tradizionale e 1,74 ha h⁻¹ per quella modificata. Le prestazioni più basse sono state rilevate, invece, con la testata da cardo CRA-ING: 1,27 ha h⁻¹ (Tabella 3).

Poiché la mietitrebbia ha operato la raccolta a velocità costante, pari mediamente a 2,84 km h⁻¹ (dev. st. ±0,08), le minori prestazioni registrate con la testata CRA-ING sono da imputare esclusivamente alla minore larghezza di lavoro della stessa (1,16 m in meno della testata da frumento).

Qualità del lavoro svolto

L'utilizzo della testata da frumento in configurazione tradizionale ha determinato il più alto livello di perdite, 0,858 t di capolini non trebbiati per ettaro. Le modifiche apportate a tale testata hanno consentito di ridurre le perdite del 59,2% (0,35 t di capolini non trebbiati per ettaro), ma i **risultati migliori sono stati ottenuti utilizzando la testata da cardo CRA-ING**. In quest'ultimo caso, infatti, i capolini non trebbiati sono risultati pari a 0,12 t ha⁻¹, con una riduzione delle perdite dell'86% rispetto alla testata da frumento convenzionale (Tabella 4).

Classificazione e caratteristiche qualitative del prodotto

La massa volumica apparente del seme è risultata pari a 627 kg m⁻³, con un contenuto medio di umidità del 9,2%. Il peso di 1.000 semi si attesta, invece, su un valore di 38,2 g. Gli esami di laboratorio hanno inoltre evidenziato una limitata percentuale di semi danneggiati (1,5%) e una bassa percentuale di impurità quali semi estranei e residui inerti (4,1% del totale raccolto).

CONCLUSIONI

Il crescente interesse del mondo agricolo verso la coltivazione del cardo può essere messo in relazione con le

Velocità di rotazione battitore	giri min ⁻¹	280-300
Apertura massima della griglia	cm	5,4
Velocità di rotazione ventilatore	giri min ⁻¹	760
Apertura del crivello superiore	mm	11
Apertura del crivello inferiore	mm	6

Tabella 1 - Regolazioni impostate nella mietitrebbia.

Giacitura		pianeggiante
Superficie	ha	1,1
Distanza sulla fila	m	0,60
Distanza tra le file	m	0,80
Densità teorica	piante ha ⁻¹	20.833
Densità effettiva	piante ha ⁻¹	12.700
Età dell'impianto	anni	2
Età delle piante	anni	2
Altezza	m	2,32
Ø a 10 cm	mm	35,2
Altezza ramificazione principale	m	1,56
Fusti per pianta	n°	1,8
Piante allettate	%	0
Capolini per pianta	n°	10,06
Capolini per ettaro	n°	128.270
Diametro dei capolini	mm	53,7

Tabella 2 - Descrizione dell'impianto di cardo: caratteristiche morfologiche e biometriche.

Testate	Velocità effettiva di avanzamento (m s ⁻¹)	Capacità di lavoro effettiva (ha h ⁻¹)
da frumento tradizionale	0,77	1,67
da frumento modificata	0,81	1,74
da cardo CRA ING	0,79	1,27

Tabella 3 - Velocità effettiva avanzamento (m s⁻¹) e capacità di lavoro effettiva (ha h⁻¹) della mietitrebbia in relazione alle testate di raccolta.

Testate	Capolini non trebbiati (t ha ⁻¹)	Riduzione perdite (%)
da frumento tradizionale	0,858	0,0
da frumento modificata	0,350	59,2
da cardo CRA ING	0,120	86,0

Tabella 4 - Perdite di raccolta espresse come capolini caduti a terra e quindi non trebbiati in relazione alle testate di raccolta adottate.

buone rese ad ettaro, con l'adattabilità ai terreni marginali e con la possibilità di ottenere più prodotti valorizzabili diversamente.

La raccolta è una delle fasi più complesse del ciclo produttivo e l'impiego di una meccanizzazione efficiente consente di massimizzare i profitti. La prova sperimentale condotta ha messo in luce l'efficienza delle scelte meccaniche adottate nella progettazione della testata CRA-ING. Qualora questa non fosse disponibile, l'utilizzo della testata da frumento modificata può essere presa in considerazione, tenendo ovviamente conto dell'aumento delle perdite di raccolta. Non è proponibile, invece, l'utilizzo della testata non modificata per le eccessive perdite di prodotto riscontrate.

L'utilizzo della testata CRA-ING, inoltre, agevola la raccolta e l'imballatura della frazione lignocellulosi-

ca effettuando contemporaneamente anche lo sfalcio e l'andatura delle piante. L'utilizzo delle testate tradizionali richiederebbe, diversamente, il passaggio di altre macchine (falciatrice e ranghinatore), con un aumento dei costi complessivi del cantiere.

Bibliografia

CURT, M.D., SANCHEZ, G., FERNANDEZ, J., 2005 - **Cynara cardunculus a source of silymarin**. In: BIANCO, V.V., CALABRESE, N., RUBATZKY, V. (Eds.), Proceedings of the 4th International Congress on Artichoke, 17–21 October 2000, Valenzano, Italy. Acta Hort. 681, 461–467.

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

EN 14774-1:2009 - **Solid biofuels. Determination of moisture content - Oven dry method**.

EN 15103:2010 - **Solid biofuels. Determination of bulk density**.

Fernandez, J.; Curt, M.D., Aguado, P.L., 2006 - **Industrial applications of Cynara cardunculus L. for energy and other uses**. Ind. Crop. Prod. 24, 222-229.

FERNÁNDEZ J, CURT M.D., 2004 - **Low-cost biodiesel from Cynara cardunculus**. In: Second world conference and exhibition on biomass for energy, industry and climate protection. Rome, Italy, May 2004.

GOMINHO, J., LOURENÇO, A., CURT, M., FERNANDEZ, J., PEREIRA, H. 2009 - **Characterization of hairs and pappi from Cynara cardunculus capitula and their suitability for paper production**. Ind. Crops Prod. 29, 116-125.

PARI, L., FEDRIZZI, M., GALLUCCI, F., 2008 - **Cynara cardunculus exploitation for energy applications: Development of a combine head for threshing and concurrent residues collecting and utilization**. 16th European Biomass Conference & Exhibition, 2-6 June 2008, Valencia, Spain

PARI L., CIVITARESE V., ASSIRELLI A., DEL GIUDICE A., 2009 - **Il prototipo che abbatte i costi della raccolta del cardo**. Agroenergie dall'impianto alla raccolta, supplemento n. 1 al numero 29 dell'Informatore Agrario.

RACCUJA, S.A., MELILLI, M.G., 2007 - **Biomass and grain oil yields in Cynara cardunculus L. Genotypes grown in a Mediterranean environment**. Field Crop. Res. 101, 187-197.

RACCUJA S.A., MELILLI M.G., 2004 - **Cynara cardunculus L., a potential source of inulin in Mediterranean environment: screening of genetic variability**. Austr J Agr Res. 55:693–698.

RACCUJA, S.A., CAVALLARO, V., MELILLI, M.G., 2004a - **Intraspecific variability in Cynara cardunculus L. var. sylvestris Lam. Sicilian populations: seed germination under salt and moisture stresses**. J. Arid Environ., 56, 107-116.

RACCUJA, S.A.; MAINOLFI, A.; MANDOLINO, G.; MELILLI, M.G., 2004b - **Genetic diversity in Cynara cardunculus revealed by AFLP markers: Comparison between cultivars and wild types from Sicily**. Plant Breeding 123, 280-284.

KEYWORDS: *Cynara cardunculus*, harvest heads, work quality.

Abstract: Innovation for mechanical harvest of cardoon in arid environment

A study has been conducted in order to evaluate the best mechanical solution for the harvesting of cardoon (*Cynara cardunculus* L.) seed. Employing a self-propelled forage harvester (New Holland CS540), a comparison (in terms of performance and quality of the work) was carried out between a dedicated cardoon head designed by CRA-ING for the harvest of separate fractions and a wheat head, used with two settings, traditional and modified. The harvest trials were realized on a cardoon cultivation sowed on a marginal land. The best results were achieved using the modified head for wheat while the outcome of the CRA-ING head was penalized by the working width, lower than the wheat head. Concerning the quality of work, the traditional wheat head showed the highest values of capitula losses. Introducing some modifications, such losses were reduced of 59,2%, but in this case the CRA-ING head showed the lowest losses, saving till 86% of the inflorescences.

The test has evidenced that, compared to the commercial ones, the CRA-ING head, performing simultaneously the cutting and windrowing of the plants, may facilitates the harvesting and baling of the lignocellulosic fraction left on the ground. In the common yards, the traditional heads would require, indeed, the passage of further implements (mower and rotary rake), with an increase of the total costs.

Stoccaggio della canna comune

Confronto tra cumuli all'aperto ed in *bins* ad aerazione forzata

MAURIZIO BARONTINI, ANTONIO SCARFONE, SIMONE FIGORILLI, FRANCESCO GALLUCCI, ALBERTO ASSIRELLI, ENRICO SANTANGELO, LUIGI PARI

La sua elevata versatilità nel campo delle bioenergie rende la canna comune una delle specie erbacee più interessanti. Tuttavia, sin dalle prime ore dopo la raccolta la biomassa viene attaccata dai microrganismi in modo molto repentino con elevate perdite di sostanza secca. Per questo motivo necessita di sistemi di stoccaggio altamente funzionali che permettano la preservazione della qualità della biomassa raccolta.

PAROLE CHIAVE: *Arundo donax*, stoccaggio, perdita di sostanza secca, contenuto di umidità.

La canna comune (*Arundo donax* L.) o canna domestica è una pianta erbacea a ciclo poliennale particolarmente interessante ai fini energetici, sia in combustione (CANDOLLO 2006) che per la produzione di biocarburante (SCORDIA *et al.* 2012). A seconda dell'utilizzo (combustione, biogas o bioetanolo), la materia prima deve rispondere a determinate specifiche qualitative in relazione, ad esempio, al contenuto di umidità o al contenuto zuccherino. A tal riguardo, i periodi per la raccolta dell'*Arundo* sono legati essenzialmente al tipo di utilizzazione a cui il prodotto viene destinato. Nel caso della produzione di energia da combustione, è consigliabile raccogliere il prodotto nel periodo febbraio-marzo quando la canna ha completato il ciclo di lignificazione (maggiore potere calorifico) e possiede sia una minore umidità intrinseca che una minore concentrazione di zuccheri semplici. Se la destinazione è, invece, la produzione di bioetanolo o biogas, la raccolta può essere effettuata in diversi periodi dell'anno quando la canna è ancora in vegetazione. In questi casi, è necessario valutare se la fase di stoccaggio possa essere considerata oppure evitata al fine di preservare le caratteristiche qualitative. Durante tale fase, infatti, la biomassa va incontro a fermentazioni che possono portare a perdite notevoli di sostanza secca.

La bibliografia sullo stoccaggio dell'*Arundo* è limitata alla conservazione in cumulo all'aperto (Picco *et al.* 2004). In considerazione dell'importanza che la coltura potrà assumere in futuro e alla necessità di diversificazione delle filiere, nell'ambito del progetto SUSCACE si è esplorata la possibilità di **sviluppare metodi di stoccaggio che possano contenere l'instaurarsi di fermentazioni ed attacchi microbici**. Obiettivo del lavoro è stato quello comparare i comuni sistemi di stoccaggio all'aperto con **soluzioni innovative come la conservazione in *bins*, con condizio-**



Foto 1 - Disposizione dei cumuli scoperti (tesi 1).

MAURIZIO BARONTINI, CRA-ING - ANTONIO SCARFONE, CRA-ING - SIMONE FIGORILLI, CRA-ING - FRANCESCO GALLUCCI, CRA-ING - ALBERTO ASSIRELLI, CRA-ING - ENRICO SANTANGELO, CRA-ING - LUIGI PARI, CRA-ING, luigi.pari@entecra.it



Foto 2 - Bin forato utilizzato per le prove (tesi 2).



Foto 3 - Bin in cui è stata prevista la ventilazione forzata con dettaglio dell'equipaggiamento dei motori (tesi 3).

namento forzato o meno e di valutare come i sistemi a confronto incidano sulle caratteristiche del prodotto finale.

MATERIALI E METODI

Materiale di partenza

Nel mese di Giugno 2013 presso l'azienda sperimentale "Cà Rossa" del CRA-CIN ad Anzola dell'Emilia si è proceduto alla raccolta, mediante un prototipo di falciatrinciaticaricatrice per la produzione di trinciato a pezzatura maggiore (ASSIRELLI *et al.* 2014), di una coltura di *Arundo* al quinto anno di produzione. Al momento della raccolta è stata eseguita la valutazione dell'umidità in accordo con le specifiche dettate dalla norma UNI EN 14774-2:2010 e l'analisi della pezzatura in conformità alla norma UNI EN 14961: 2010 (ASSIRELLI *et al.* 2014). Per ogni trattamento a confronto, sono stati prelevati 4 campioni di circa 500 g, immediatamente posti in buste non traspiranti, etichettati e portati in laboratorio per l'analisi. I campioni sono stati essiccati in stufa ad una temperatura di 105°C per 24 ore fino a raggiungimento della costanza di peso.

Il prodotto raccolto è stato trasportato presso l'Unità di ricerca per l'Ingegneria Agraria (Monterotondo) dove è stata allestita la prova di stoccaggio in *bins* e in cumuli aperti. La prova è stata effettuata a partire dal 14 giugno.

I sistemi di stoccaggio

Sono state confrontate tre tipologie di conservazione del trinciato di canna comune:

tesi 1, **cumulo scoperto;**

tesi 2, **stoccaggio in contenitore (*bin*);**

tesi 3, **stoccaggio in contenitore condizionato mediante aerazione forzata.**

Le tesi sono state allestite all'aperto e per ognuno dei trattamenti analizzati sono state preparate 3 repliche.

I cumuli (Foto 1), sono stati disposti sopra delle pedane con dimensioni e materiale identico a quello dei *bins*, in modo tale da riprodurre le stesse condizioni della superficie di appog-

Tesi	Peso piattaforma/bin (kg)	Peso biomassa (kg)
1	19,9	99,5
2	39,3	103,7
3	58,4	99,1

Tabella 1 - Peso medio iniziale della biomassa di *Arundo* sottoposta a stoccaggio.

gio. Le pedane erano poste su dei *pallet* in legno che permettevano la movimentazione del cumulo in occasione del monitoraggio del peso. I cumuli scoperti sono stati preparati cercando di uniformarne le dimensioni a quelle dei *bins*.

Le temperature interne sono state monitorate utilizzando due sonde (pt100) posizionate all'altezza di 15 e 30 cm dalla base del cumulo e collegate ad una centralina costruita appositamente, in grado di registrare i valori per 4 minuti con una frequenza di una lettura al secondo e calcolando la media delle 240 letture al quinto minuto. L'andamento dell'umidità nel tempo è stato effettuato mediante campionamenti settimanali. Per ogni rilievo sono stati prelevati da ogni cumulo (e anche dai *bins*) 3 campioni in diverse posizioni (fino ad arrivare a circa 300 g di prodotto) ad una profondità di 15-20 cm. I campioni sono stati trattati ed analizzati secondo le modalità descritte precedentemente (UNI EN 14774-2:2010).

Per la tesi 2 sono stati impiegati *bins* di plastica di dimensioni 100x110x55 cm ai quali erano stati apportati dei fori nelle pareti verticali. Ogni *bin* è stato munito di sonde di temperatura (del tipo utilizzato per la tesi 1) e umidità per il monitoraggio in continuo durante tutta la durata dello stoccaggio (Foto 2).

Per quanto riguarda l'aerazione forzata (tesi 3), i *bins* della tesi 2 sono stati equipaggiati, a due estremità contrapposte, con due motori elettrici della Euro Motors Italia (mod. 800 CF3), aventi ognuno una portata di circa 1500 m³ h⁻¹ ed in cui delle ventole cilindriche immettevano aria dal basso ad una velocità di 27 km h⁻¹ (Foto 3). I suddetti motori sono stati collegati a due *relè* che ne comandavano l'accensione e lo spegnimento ogni 20 minuti nell'arco delle 24 ore.

Allo scopo di valutare la perdita di sostanza secca nel tempo, ogni cumulo o *bins* è stato pesato spostandolo su una bilancia a bascula. I rilievi sono stati effettuati all'inizio dell'attività di stoccaggio (Tabella 1) e successivamente a 10, 15 e 30 giorni. I dati ottenuti sono stati, infine, correlati al grado di umidità registrato secondo le modalità riportate da JURIS *et al.* (1990).

Durante tutta la durata della prova si è provveduto al monitoraggio delle condizioni climatiche esterne (temperatura minime, medie e massime, umidità dell'aria, ventosità e radiazione solare) mediante una centralina SIAP-MICROS DA9000" certificata dalla SIAN (National Informative System for Agriculture).

RISULTATI E DISCUSSIONI

Temperature nella massa stoccata

Al fine di valutare il comportamento di un prodotto raccolto nel periodo estivo, la prova si è iniziata nella metà di Giugno e si è conclusa alla metà del mese Luglio, in un periodo solitamente caldo, ma, nel caso specifico, non secco (Grafico 1) in quanto durante il periodo dello stoccaggio si sono verificate alcune precipitazioni che hanno influenzato il tasso di umidità dell'aria e conseguentemente anche l'andamento di temperature e umidità all'interno dei sistemi studiati.

Il ricorso al condizionamento della massa mediante aerazione forzata aveva lo scopo di favorire l'abbassamento del contenuto di umidità impedendo l'instaurazione di degradazioni microbiche dannose.

Le temperature alla fine del ciclo hanno raggiunto i 30°C nella tesi 1 e 2, mentre nella tesi 3 si sono attestate a livelli leggermente inferiori (Grafico 2). La differenza più evidente, nella tesi 3, risiede nell'andamento delle temperature nei primi 10 giorni in quanto, mediamente, i valori hanno sempre oscillato tra i 10 e i 30°C, mentre negli altri due sistemi le temperature sono partite da valori prossimi

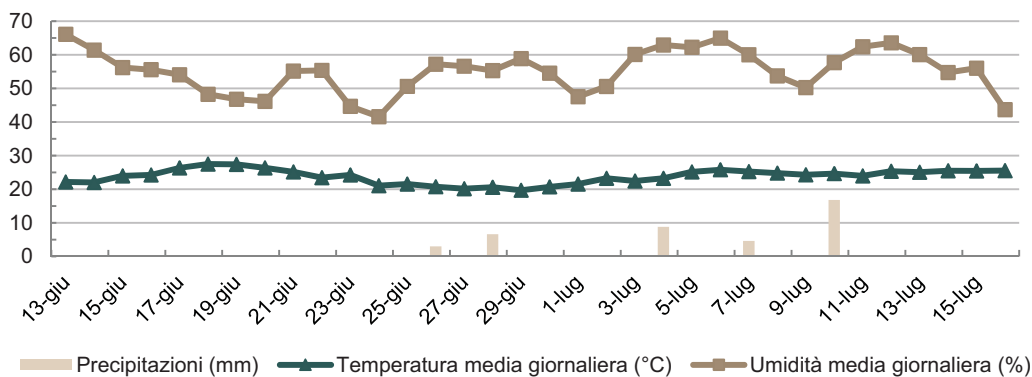


Grafico 1 - Andamento dei valori di temperature, umidità e precipitazioni registrati durante il periodo di stoccaggio.

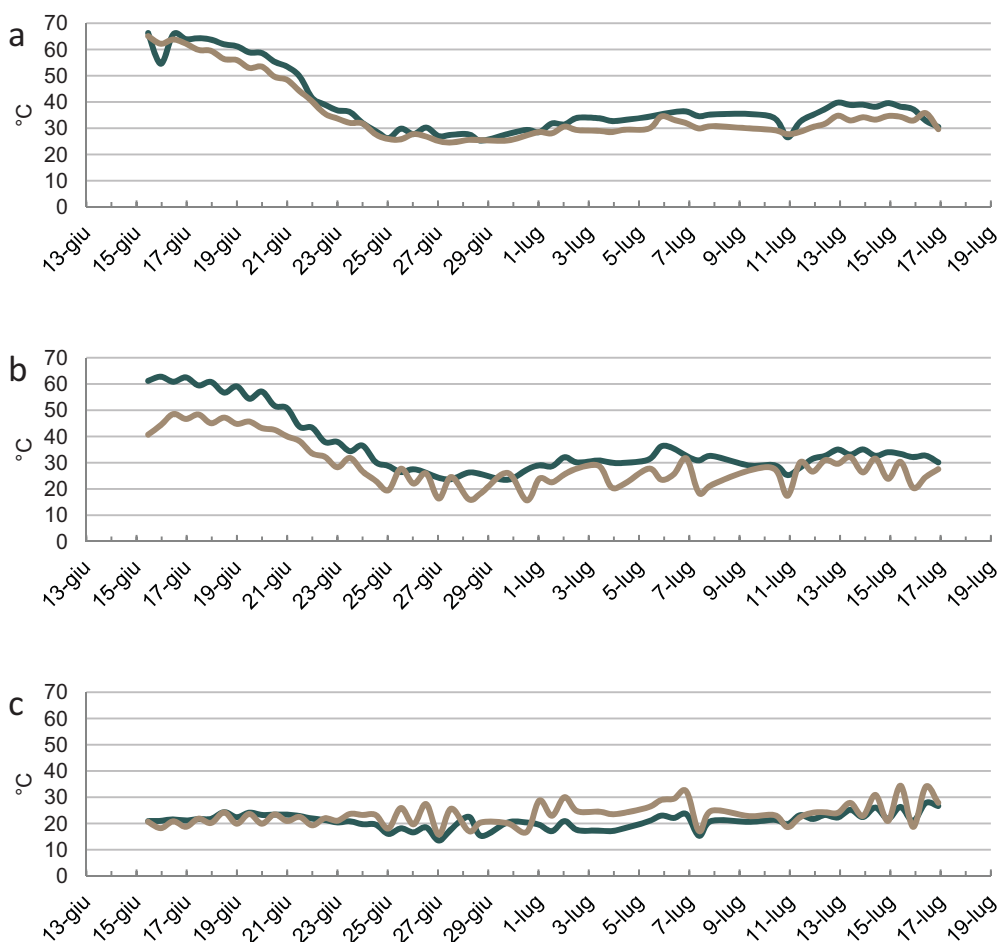


Grafico 2 - Andamento delle temperature medie interne registrate nella tesi 1 (a), nella tesi 2 (b) e nella tesi 3 (c) a 15 (linee marroni) e 30 (linee verdi) cm da terra.

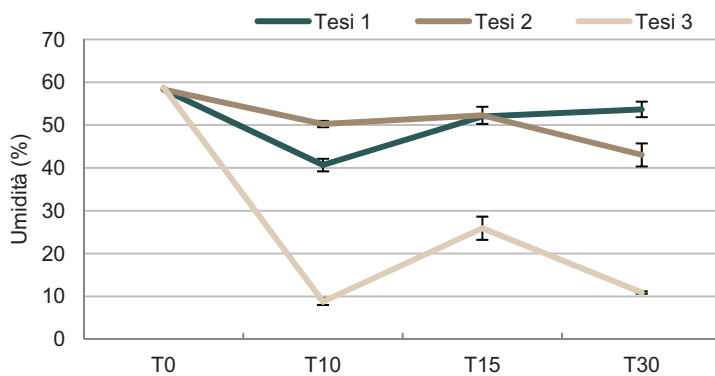


Grafico 3 - Andamento del contenuto di umidità (media \pm E.S.) osservato per i tre sistemi di stoccaggio al tempo 0 (T0) e a 10 (T10), 15 (T15) e 30 (T30) giorni dall'inizio della prova.

o superiori ai 60°C ed hanno impiegato circa 10 giorni per stabilizzarsi.

Una tale situazione ha sicuramente influenzato i processi chimici e microbici instauratesi subito dopo l'inizio dello stoccaggio condizionando la qualità del prodotto finale. A differenza degli altri trattamenti, **le temperature della tesi 3 non hanno mai raggiunto valori particolarmente elevati**, con picchi massimi delle medie poco superiori ai 30°C. Ciò fa ipotizzare che l'immediata evaporazione dell'acqua dovuta alla ventilazione abbia portato in poco tempo il contenuto idrico a valori tali da non soddisfare le esigenze dei microrganismi, inibendo così le possibili fermentazioni a carico della biomassa. D'altra parte, nelle tesi 1 e 2 si è registrato un andamento di temperatura pressoché simile, con un repentino innalzamento dei valori intorno ai 60°C già nelle prime ore e un allineamento dei valori a quelli dell'ambiente esterno dopo 10-15 giorni. In questi casi si può supporre che sin dall'inizio delle operazioni di stoccaggio ci sia stata un'intensa attività fermentativa a carico della biomassa.

Umidità e perdita di sostanza secca

Al momento della raccolta, il contenuto di umidità del trinciato di *Arundo* presentava dei valori medi intorno al 58-59% (Grafico 3). Nelle ore immediatamente successive all'attivazione del sistema condizionante, nella tesi 3 era possibile apprezzare, oltre alla diminuzione delle temperature internamente alla massa stoccata, un più veloce abbassamento del contenuto in acqua rispetto alle altre due tesi. Ciò è evidente dai dati raccolti a 10 e a 30 giorni dall'inizio della prova quando è risultata netta la differenza tra la tesi condizionata e le altre due a confronto. In soli 10 giorni l'umidità all'interno della tesi 3 è

Tesi	Tempo di osservazione		
	T ₁₀	T ₁₅	T ₃₀
1	22,49	42,10	43,63
2	30,74	37,79	42,19
3	4,39	11,58	14,28

Tabella 2 - Perdita di sostanza secca (%) osservata per i tre sistemi di stoccaggio a 10 (T10), 15 (T15) e 30 (T30) giorni dall'inizio della prova.

scesa di 50 punti percentuali, mentre negli altri due si è avuto un decremento significativo, ma limitato a 8 (*bins* non condizionati) e 16 (cumuli aperti) punti percentuali. A distanza di un mese il contenuto di umidità nella tesi 3 è rimasto più o meno costante rispetto alla prima lettura, evidenziando in tal modo che **sono sufficienti 10 giorni per raggiungere un plateau stabile**. L'umidità si è ridotta anche negli altri trattamenti, con un decremento maggiore per il trinciato della tesi 2 rispetto a quello della tesi 1. I valori osservati per entrambi al termine della prova (53,68% e 43,04% rispettivamente per la tesi 1 e la tesi 2) sono risultati, comunque, molto più alti rispetto al 10,9% ottenuto per la tesi 3.

Va, tuttavia, evidenziato il rialzo del contenuto di umidità osservato per il prelievo intermedio (15 giorni). Ciò va imputato all'andamento climatico verificatosi tra fine giugno e metà luglio, periodo in cui sono caduti circa 25 mm di pioggia. L'incremento maggiore del contenuto di umidità è stato fatto registrare dal trinciato della tesi 3, che, passando da una media di 8,79% a 10 giorni ad un valore del 25,12% al quindicesimo giorno, si è quasi triplicato. Tale incremento è risultato più contenuto per la tesi 1 (27,9% di incremento, variando dal 40,68% a 10 giorni al 52,03% del 15° giorno) ed ancor più ridotto per la tesi 2 (6,03%, essendo passati dal 50,25% al 53,28%, rispettivamente al 10° e al 15° giorno). L'andamento osservato è spiegabile dal fatto che il materiale ormai secco presente della tesi 3 costituiva un substrato idoneo a subire una reidratazione piuttosto che non il trinciato presente nella tesi 1 o 2, che aveva un tenore di umidità superiore.

Al ristabilirsi delle condizioni ideali, però, nei 15 giorni successivi, la presenza della ventilazione ha permesso, relativamente alla tesi 3, di ritornare agevolmente ai livelli di umidità registrati al decimo giorno, mentre nella tesi 2 si è osservato un graduale decremento (con un valore finale comunque 4 volte maggiore rispetto ai *bins* ventilati) e nella tesi 1 la ventilazione naturale determinata dai parametri ambientali non ha permesso ulteriori diminuzioni, ma, anzi, in contenuto di umidità è leggermente aumentato.

L'abbassamento rapido del contenuto di umidità ha avuto ricadute altamente positive sulla perdita di sostanza secca (Tabella 2). Quest'ultima è risultata, infatti, particolarmente contenuta nel trinciato della tesi 3 dove aveva raggiunto un valore del 14,28% dopo un mese, con un divario considerevole rispetto al comportamento nel bin non ventilato e al cumulo in pien'aria dove si sono registrati rispettivamente valori del 42,2% e 43,6%.

CONCLUSIONI

Il presente lavoro ha messo in evidenza che **la perdita di sostanza secca del trinciato di canna ottenuto da piante in piena vegetazione può essere modificata dalle modalità con cui viene conservato nel post-raccolta e dal tempo necessario prima della sua utilizzazione**. La conservazione in contenitore provvisto di un sistema di condizionamento per la rimozione dell'umidità consente di ottenere un materiale asciutto e con perdite ridotte di sostanza secca nell'arco di 10 giorni. In

assenza di aerazione o ricorrendo allo stoccaggio in cumuli aperti (la soluzione meno costosa) la riduzione dell'umidità è risultata più lenta e con una maggiore perdita di sostanza secca. Da questo punto di vista la relazione tra contenuto di umidità della biomassa e tecnologia di trasformazione del prodotto è abbastanza ben definita, in quanto la conversione termica richiede materiali a basso contenuto di umidità, mentre la bio-conversione può utilizzare materiali con elevate percentuali di umidità. Con i valori di perdita di sostanza secca ottenuti, non essendo proponibile la conservazione del materiale umido in queste condizioni, dovrà essere valutata, per soddisfare le esigenze di approvvigionamento degli impianti a biogas/bioetanolo, la possibilità di effettuare più raccolte durante l'arco dell'anno oppure di insilare il prodotto.

Bibliografia

ASSIRELLI L., SANTANGELO E., ACAMPORA A., DEL GIUDICE A., CIVITARESE V., PARI L., 2014 - **Produzione di "pezzotti" di canna comune. Valutazione di un nuovo prototipo.** 33-36
In: Valorizzazione delle risorse agricole nell'ottica del concetto di bioeconomia. Progetti di ricerca SUSCACE e FAESI. Sherwood 203, Supplemento 3.

CANDOLO G., 2006 - **Energia dalle biomasse vegetali: le opportunità per le aziende agricole.** Economia e politica agraria-agronomica (4): 26-35

JIRJIS R, THEANDER O., 1990 - **The effect of seasonal storage on the chemical composition of forest residue chips.** Scandinavian Journal of Forest Research; 5(3): 437-448.

PICCO D., FERRO L., PIN M., VECCHIET A., FURLAN, G. 2004, - **Culture energetiche per il disinquinamento della laguna di Venezia** - Progetto BIOCOLT

SCORDIA D., COSENTINO S., LEE J .W., JEFFRIES T.W., 2012 - **Bioconversion of giant reed (*Arundo donax* L) hemicellulose hydrolysate to ethanol by *Scheffersomyces stipitis* CBS6054.** Biomass Bioenergy (39): 296-305

UNI EN 14774-2: 2010. **Biocombustibili solidi - Determinazione dell'umidità** - Metodo di essiccazione in stufa - Parte 2: Umidità totale - Metodo semplificato.

UNI EN 14961: 2010. **Biocombustibili solidi - Specifiche e classificazione del combustibile** - Parte 1: Requisiti generali

KEYWORDS: *Arundo donax*, storage, dry matter losses, moisture content.

Abstract: *Arundo* storage. A comparison between heaps in open air and bins with forced aeration

The biomass of giant reed (*Arundo donax* L.) may find different applications in energy production. The handling of a variable feedstock (partially dried from resting plants or green from plants actively growing) calls for a identification of the most suitable storage method.

The aim of the study was to investigate alternative storage systems of chopped giant reed comparing the common storage in heap with innovative solutions such as the use of plastic containers (bins), supplied or not with forced air conditioning and assessing how the different systems affect the quality characteristics of the final product.

The remarkable difference among the conditioned bin and the control bin or the open heap was the behavior of temperatures in the first 10 days, when the moisture inside the ventilated bins has fallen about 50 percentage points, while in the other two the decrease observed did not exceed 20%. The rapid lowering of the moisture content in the ventilated bins restricted the dry matter losses to 14.28% after a month, well below the values (higher than 40%) registered for the other treatments.

However, considering the values of dry matter losses, in order to meet the supply needs of biogas/bio-ethanol power plants, it must be assessed the option of multiple harvesting during the year or the ensilage of the product.

Lo stoccaggio del sorgo zuccherino

Influenza della lunghezza dello stelo sulle perdite di zucchero

ALBERTO ASSIRELLI, STEFANO AMADUCCI, ALESSANDRO SUARDI,
ANGELO DEL GIUDICE, ANTONIO SCARFONE, ENRICO SANTANGELO, LUIGI PARI

La lunghezza del periodo di stoccaggio e la dimensione del prodotto stoccato costituiscono due fattori che influenzano le perdite in zuccheri nel sorgo zuccherino. La ricerca ha investigato la variazione in zuccheri che ha luogo in porzioni di culmo di diversa dimensione nel corso di uno stoccaggio a lungo termine.

PAROLE CHIAVE: etanolo, stoccaggio, raccolta, sorgo zuccherino.

L'elevato contenuto in zuccheri e la capacità di accrescersi su terreni poco fertili hanno reso il sorgo zuccherino (*Sorghum bicolor* ssp. *Saccharatum*) una coltura interessante per agricoltori, ricercatori e imprenditori del settore (ZEGADA-LIZARAZU e MONTI 2012), in quanto, a livello industriale, po-

trebbe rappresentare una buona alternativa ad altre colture destinate alla produzione di biocarburanti.

Il contenuto zuccherino (principalmente saccarosio) del fusto succulento varia dal 12 al 25% (HUNTER e ANDERSON 1997). Dati bibliografici indicano un tasso di conversione pari a 1 t di sostanza fresca per la produzione di 32 kg di etanolo, con una richiesta di energia inferiore a quella utilizzata per ottenere la stessa quantità di sostanza fresca in mais, riso o canna da zucchero (PHILIPP *et al.* 2007).

La produzione di etanolo può essere ridotta dalle perdite di zucchero che si verificano durante e dopo la raccolta. Le prime sono imputabili alle perdite di raccolta della macchina e agli stocchi rimasti nel terreno (dopo la raccolta) e sono stimate, considerando l'altezza più bassa di taglio (da 5 a 10 cm) delle trinciatrici semoventi, intorno al 3-8% (BLUDAU 1992a).

Diversi fattori influenzano la presenza e l'entità di perdite di zucchero in post-raccolta: il sistema di raccolta utilizzato, che determina la forma del materiale (trinciato, sezionato, piante intere); le condizioni di conservazione (es. temperatura, umidità); il tempo che intercorre tra raccolta e lo stoccaggio del prodotto; la durata dello stoccaggio. Fatta eccezione per il sistema di raccolta, dove le perdite sono dovute



Foto 1 - Sorgo in fase di raccolta.

ALBERTO ASSIRELLI, CRA ING, alberto.assirelli@entecra.it - STEFANO AMADUCCI, Università Cattolica del Sacro Cuore - ALESSANDRO SUARDI, CRA ING
ANGELO DEL GIUDICE, CRA ING - ANTONIO SCARFONE, CRA ING - ENRICO SANTANGELO, CRA ING - LUIGI PARI, CRA ING.

essenzialmente a fattori meccanici, quelle che si verificano nelle fasi successive della filiera sono dovute principalmente a processi di fermentazione che sono causa di attività microbica, con degradazione dell'amido e degli zuccheri in acido lattico e acidi.

La capacità di mantenere elevato il livello di zuccheri durante la conservazione rimane tutt'oggi un aspetto fondamentale per il successo della coltura, soprattutto in un'ottica di utilizzazione come materia prima per la produzione di bioetanolo. La maggior parte degli studi effettuati hanno riguardato i cambiamenti fisiologici (con particolare riferimento alle componenti dello zucchero), che si verificano dopo la raccolta, ma limitatamente a periodi di monitoraggio variabili dai 4 ai 16 giorni (EILAND *et al.* 1983; BLUDAU 1992b; LINGLE *et al.* 2012). Tuttavia, dato che il periodo di raccolta di questa specie è di circa 30 giorni, è necessario prevedere un periodo di stoccaggio del prodotto per contenere il dimensionamento dell'impianto di estrazione del succo zuccherino e per organizzare il calendario di alimentazione dell'impianto (in caso di maltempo, la raccolta non viene effettuata, ma l'impianto è ugualmente attivo).

Oltre al tempo di conservazione, un altro parametro fondamentale per il contenimento delle perdite in zuccheri è la dimensione del prodotto stoccato. Da questo punto di vista, però, non c'è ancora sufficiente chiarezza su quale sia il tipo di prodotto che permetta di minimizzare le perdite in relazione alla lunghezza del tempo di stoccaggio. BLUDAU (1992b) ha osservato che il calo medio giornaliero del tenore di zuccheri (riferito alla s.s.) variava da 0,17% negli stocchi interi a 5,6% nel materiale trinciato. Per le sezioni di fusto da 25-40 cm è stato calcolato un calo medio giornaliero degli zuccheri del 0,25%. Recentemente, LINGLE *et al.* (2012) hanno rilevato che, durante un intervallo di quattro giorni di stoccaggio, la concentrazione degli zuccheri è rimasta pressoché invariata sia nei fusti interi sia nelle sezioni di 20 e 40 cm. Ciò fa pensare che i microrganismi accedano agli zuccheri di stocchi interi o di porzioni di essi esclusivamente attraverso le estremità tagliate, e, quindi, il numero di tagli per stocco diventa fondamentale per il loro movimento interno e l'utilizzo dei composti zuccherini.

Nell'ambito del progetto Biosea (<http://biosea.dista.unibo.it/>) finanziato dal MIPAAF è stata condotta la presente ricerca il cui scopo è stato quello di monitorare, durante lo stoccaggio a lungo termine, le variazioni di umidità, la distribuzione della sostanza secca e il contenuto in zuccheri nel sorgo zuccherino. L'analisi è stata condotta su culmi di diverse dimensioni, conservati nelle medesime condizioni ambientali, al fine definire i più idonei parametri di raccolta ed analizzare la variazione del contenuto zuccherino in funzione della pezzatura del prodotto e di periodi di stoccaggio prolungati nel tempo.

MATERIALI E METODI

Lo studio è stato condotto nell'estate 2011, presso l'azienda sperimentale Vittorio Tadini a Gariga di Podenzano (118 m s.l.m., 44° 57' Lat. N; 9° 41' Long. E) in Emilia Romagna. Per la prova è stata impiegata la varietà di sorgo zuccherino SS506 (Syngenta), seminando a file distanti 45 cm per ottenere una



Foto 2 - Disposizione delle porzioni di stelo distinte in 4 repliche.

densità finale teorica di 15-20 piante m⁻² (Foto 1).

In copertura sono stati somministrati 100 Kg ha⁻¹ di urea. Il controllo delle infestanti è stato effettuato prima dell'emergenza distribuendo 2 kg ha⁻¹ di Primagram gold (S-Metolachlor 28,9%+Terbutylazine 17,4%) ed operando una sarchiatura meccanica prima della chiusura delle file da parte delle piante. L'apporto idrico è stato limitato ad un'irrigazione di soccorso (restituzione di 35 mm).

Caratteri morfobiometrici e produttivi

Al momento della raccolta (23 Agosto 2011) si è proceduto al rilievo dei principali caratteri morfologici e produttivi: altezza delle piante, investimento unitario, diametro basale del fusto, resa in biomassa fresca e secca. All'interno dell'area sperimentale (180 m²) sono state individuate a random 4 parcelle da 3 m² ognuna. Dopo aver contato e pesato le piante presenti in ogni parcella, è stato prelevato un sottocampione di 4 piante per parcella da utilizzare per le analisi di laboratorio. Queste ultime sono state pesate, frammentate e sigillate in sacchetti di plastica non traspiranti. Per la determinazione del contenuto di umidità i campioni sono stati, infine, essiccati in stufa ventilata a 105°C fino a raggiungimento di un peso costante.

Ripartizione della sostanza secca

La ripartizione della sostanza secca nella pianta è stata va-



Foto 3 - Disposizione degli steli sezionati a metà.

lutata su 10 piante rappresentative dell'area sperimentale. Le lamine fogliari sono state rimosse manualmente, mentre i panicoli sono stati recisi in corrispondenza del peduncolo. In seguito, le componenti di ciascuna pianta (foglie, fusti e panicoli) sono stati pesati separatamente per determinarne il peso fresco. La produzione di sostanza secca è stata determinata utilizzando il metodo descritto in precedenza.

Raccolta e preparazione di fasci

Per la raccolta è stata impiegata una falciatrice con lame a moto alternativo, con una larghezza di lavoro pari a due metri. Le operazioni di raccolta e la preparazione del materiale per lo stoccaggio sono state effettuate quanto più rapidamente possibile allo scopo di ridurre le perdite di zuccheri. Tutte le piante falciate, sono state raccolte manualmente e raggruppate ordinatamente in 20 fasci di 150 piante ciascuno. Ogni fascio è stato pesato e ridotto a 3 m di altezza, rimuovendo la parte apicale e i panicoli. Per le successive operazioni di stoccaggio, i fasci sono stati trasportati sotto copertura in un fabbricato aziendale.

Ripartizione ponderale del fusto e distribuzione degli zuccheri

Per la stima della distribuzione del peso lungo il fusto della pianta, prima dell'inizio dello stoccaggio, da ognuno dei 20 fasci sono stati prelevati 10 fusti (totale 200 fusti), che sono stati pesati e tagliati in 16 porzioni ciascuno. Partendo dalla parte inferiore (0 cm), i tagli sono stati effettuati a 2, 5, 10, 20, 35, 56, 77, 98, 118, 148, 168, 208, 228, 288, 308, 358 cm, con una progressione che tenesse conto della forma volumetrica del fusto al fine di ottenere porzioni di stelo con diametro uniforme. Le porzioni di fusto di pari lunghezza

e di posizione sono state successivamente raggruppate per formare complessivamente 16 gruppi. Ogni gruppo è stato pesato e poi diviso in due sottocampioni, uno utilizzato per calcolare l'incidenza percentuale rispetto al peso totale dei fusti del fascio di riferimento e l'altro per determinare il contenuto in zuccheri delle singole porzioni (cfr. di seguito).

Metodo di stoccaggio

L'influenza dello stoccaggio sul tenore di zucchero è stata studiata dividendo i fasci di steli preparati alla raccolta in 5 porzioni di fusto di diverse dimensioni (trattamenti), ognuno ripetuto 4 volte. Nel primo trattamento il fusto è stato lasciato integro, mentre negli altri sono state considerate sezioni progressivamente più corte: 1/2, 1/4, 1/8 e 1/16 della lunghezza del fusto intero, corrispondenti a porzioni di circa 1,5; 0,75; 0,38 e 0,16 m.

I campioni dei 5 trattamenti sono stati disposti in 5 blocchi (ognuno composto dalle 4 repliche/trattamento), con la base dei fusti (cioè quella di taglio) orientata perpendicolarmente rispetto al piano di appoggio e completamente esposta al fine di favorire sia una disidratazione omogenea sia la perdita di zuccheri a seguito di ossidazione (Foto 2 e 3). In questo modo, durante il campionamento per la valutazione del tenore zuccherino era possibile prelevare un campione di ogni specifica replica di ogni specifica porzione di stelo. Durante lo stoccaggio si è proceduto all'acquisizione delle temperature e dell'umidità atmosferica per il monitoraggio delle condizioni ambientali.

Determinazione del tenore zuccherino

Con periodicità predefinita, sono stati prelevati campioni di fusto dalle colonne appena descritte ed è stato determinato il contenuto in zuccheri. Il campionamento è iniziato il 23 Agosto, giorno della raccolta, ed è proseguito per 7 rilievi successivi durante l'intero periodo di stoccaggio (26/8, 29/8, 1/9, 8/9, 27/9, 17/10, 8/11). Ad ogni prelievo, è stato estratto un campione per ogni trattamento (porzione di stelo) composto dalle 4 repliche del trattamento. Ad esempio, considerando l'organizzazione della prova descritta in precedenza, per il trattamento "fusto intero" ogni campione era composto da 4 piante intere; per il trattamento "1/2", ogni campione era formato da 4 porzioni basali più 4 porzioni apicali.

Ogni campione è stato trinciato in laboratorio e conservato a -20°C fino al momento della determinazione del tenore zuccherino. Prima dell'analisi, i campioni sono stati macinati e, successivamente, il tenore in zuccheri è stato determinato seguendo la metodologia descritta in The Commission of the European Communities (EEC) No. 2676/90: "Community methods for the analysis of wines".

RISULTATI E DISCUSSIONE

Caratteristiche morfologiche e produttive

La biomassa fresca epigea, determinata alla raccolta, è risultata mediamente di 87,0 Mg ha⁻¹ con un contenuto di sostanza secca pari a 23,0 Mg ha⁻¹ (26,5% della sostanza fresca totale), valori in linea con le produzioni normalmente ottenute nel nord Italia.

La distribuzione delle piante in campo è risultata piuttosto omogenea con una densità media di 17,2 piante m⁻², aventi un'altezza media di 391 cm e un diametro basale di 1,7 cm (stimati entrambi su un campione di 200 piante). Il peso medio fresco e secco delle piante era pari rispettivamente a 506,5 e 134,2 g.

Il 90% della biomassa fresca epigea è risultato composto da foglie (18,0%) e fusti (75,1%), mentre i panicoli, anche se poco rappresentati (6,9%), avevano quasi il doppio del contenuto di sostanza secca rispetto alle prime due componenti. Nonostante la sostanza secca dei fusti abbia mostrato il valore più basso (23,7%), rispetto agli altri organi della pianta, essi costituivano gran parte della biomassa fresca e secca raccolta (Tabella 1).

Distribuzione del peso e degli zuccheri nei fusti

Uno dei fattori che influenza le perdite di sostanza secca e di zuccheri alla raccolta è l'altezza di taglio della barra falciante.

Al fine di stimare tali perdite, anche in relazione al quantitativo di zuccheri non raccolto è stata analizzata la distribuzione del peso del fusto e della percentuale di zuccheri in funzione della lunghezza del fusto. Passando dalla parte basale a quella apicale, il peso dello stelo diminuisce ed è possibile stimare la quantità totale di biomassa alla raccolta che può essere persa in relazione all'altezza del taglio (Grafico 1). Ciò trova una giustificazione morfologica nel fatto che la forma dello stelo è assimilabile a un tronco di cono, con il diametro degli internodi che si riduce via via che ci si sposta verso la parte apicale. Analogo risultato è stato osservato per quanto riguarda le variazioni del contenuto di sostanza secca in relazione alle differenti porzioni di fusto allo studio (Grafico 1). La sostanza secca nei fusti cresce in maniera più che proporzionale, raggiungendo valori intorno al 50%, quando si superano 100 cm di altezza. Tale risultato, conferma l'importanza che assume una corretta regolazione dell'altezza di taglio quando si opera su grandi estensioni, allo scopo di evitare ingenti perdite di prodotto alla raccolta.

Anche il tenore zuccherino tende a diminuire a partire dalla base fino all'apice della pianta (Grafico 2). Da un punto di vista fisiologico il contenuto di zucchero a livello degli internodi aumenta al temine della fase di allungamento, nel momento in cui il saccarosio viene immobilizzato a livello cellulare cessando in tal modo il ruolo di "sink" nella competizione per gli elaborati (HOFFMANN-THOMA *et al.* 1996). Poiché gli internodi basali completano in anticipo rispetto agli apicali la fase di allungamento, dispongono di un tempo maggiore per l'accumulo degli zuccheri, mentre gli internodi superiori devono continuare a competere nell'allocatione degli elaborati con il forte richiamo esercitato dal panicolo (LINGLE 1987).

Relativamente alla prova svolta, la concentrazione degli zuccheri varia da poco più di 1 g cm⁻¹ in prossimità della porzione apicale (h max =350 cm) a 17,6 g cm⁻¹ in corrispondenza della porzione basale del fusto (valore medio stimato a 15 cm dal suolo), quantità quest'ultima che rappresenterebbe quella potenzialmente perduta aumentando di un 1 cm l'altezza di taglio.

	U.M.	Foglie	Stelo	Panicolo	Pianta intera
Biomassa fresca					
Peso	g	91,1	380,5	34,9	506,5
Incidenza (su peso fresco pianta intera)	%	18,0	75,1	6,9	100,0
Sostanza secca					
	%	27,9	23,7	53,4	26,5
Biomassa secca					
Peso	g	25,4	90,2	18,6	134,2
Incidenza (su peso fresco pianta intera)	%	5,0	17,8	3,7	26,5
Incidenza singole porzioni	%	18,4	67,5	14,1	100,0

Tabella 1 - Distribuzione della sostanza fresca e secca nelle diverse porzioni della pianta alla raccolta.

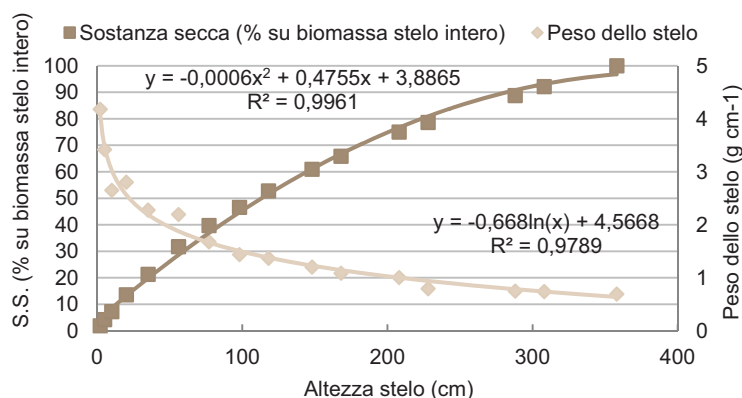


Grafico 1 - Peso dello stelo per unità di lunghezza (g cm⁻¹) e percentuale di sostanza secca in funzione dell'altezza della pianta.

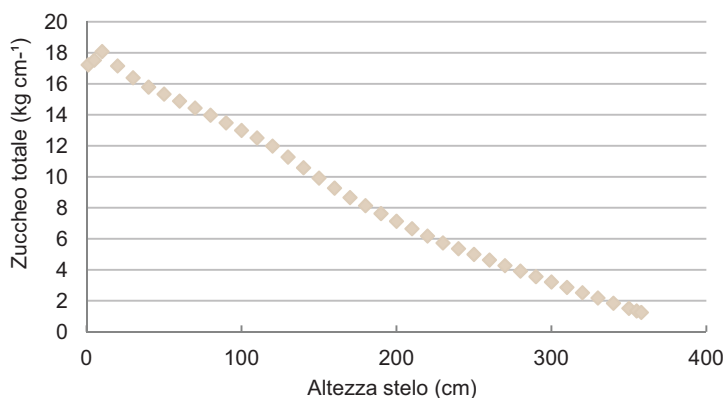


Grafico 2 - Zuccheri totali per unità di lunghezza dello stelo (kg cm⁻¹).

ANDAMENTO DELLA SOSTANZA SECCA E DEGLI ZUCCHERI DURANTE LO STOCCAGGIO

Il contenuto di sostanza secca nello stelo è aumentato costantemente nel corso dei due mesi di stoccaggio per tutte le porzioni oggetto di studio (Grafico 3). A partire dagli inizi di settembre, però, c'è stata una progressiva separazione delle curve in relazione alla dimensione delle porzioni di stelo, fino ad arrivare all'ultima osservazione in cui il contenuto in sostanza secca variava da circa il 40% nello stelo intero al 49,5% osservato per la porzione più ridotta (1/16). Tale andamento è la conseguenza della maggiore superficie esposta all'aria che determina un grado di evaporazio-

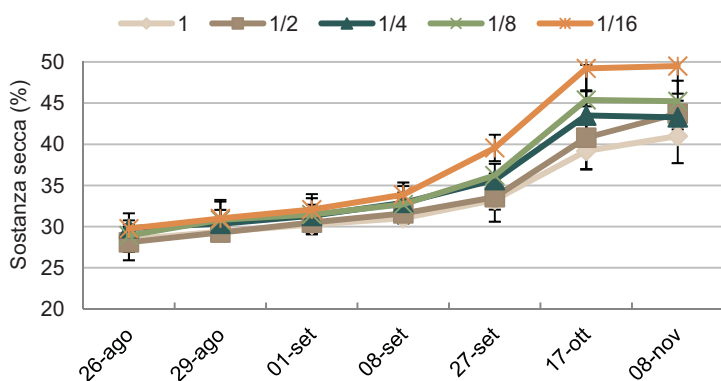


Grafico 3 -Contenuto di sostanza secca (%±E.S.) di sezioni di sorgo zuccherino di diversa lunghezza conservate per tre mesi. Ogni dato costituisce la media di 4 osservazioni.

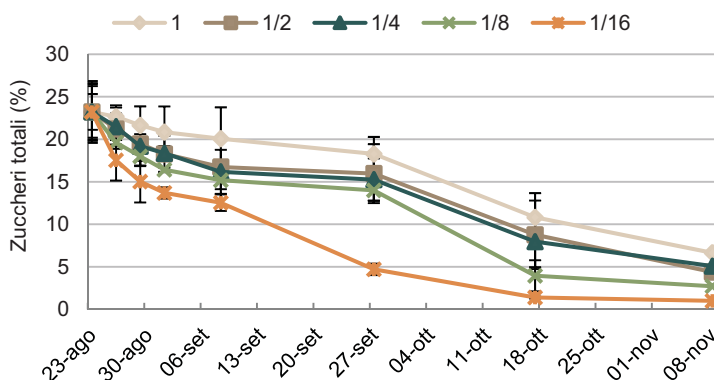


Grafico 4 -Contenuto in zuccheri totali (%±E.S.) di sezioni di sorgo zuccherino di diversa lunghezza conservate per tre mesi. Ogni dato costituisce la media di 4 osservazioni.

ne che è maggiore nei segmenti di stelo tagliati più corti. Le porzioni più corte hanno mostrato il tasso più alto di perdita di zuccheri durante lo stoccaggio (Grafico 4). In generale, il tenore è passato dal 23,2 % misurato alla raccolta ad un valore minimo dell'1% registrato per il trattamento "1/16" alla fine della prova. La differenza più ampia tra stelo intero e porzioni più piccole è stata osservata 55 giorni dopo la raccolta quando il tenore zuccherino era il 18,3 % nella pianta intera e il 4,7 % nei segmenti di 1/16. Nel corso dell'ultimo mese di stoccaggio le differenze tra i trattamenti si sono ridotte progressivamente, fino ad arrivare all'ultimo rilievo dove tali differenze non mostravano significatività statistica.

Secondo LINDLE *et al.* (2012), le perdite sono determinate da microorganismi che hanno accesso agli zuccheri presenti nel fusto attraverso le superfici dello stelo tagliate o spaccate a seguito delle operazioni di raccolta. Nel caso delle piante intere, i microorganismi hanno solo una superficie di taglio da cui accedere ai tessuti vegetali. Il tasso di respirazione è dunque molto elevato appena dopo la raccolta, fase in cui i microorganismi hanno un facile accesso, attraverso le superfici tagliate, agli zuccheri presenti nell'apoplasto a seguito della rottura dei vacuoli. Successivamente alla penetrazione, la diffusione dei microorganismi viene limitata dalle strutture anatomiche del fusto (LINDLE *et al.* 2012).

CONCLUSIONI

Evidenze sperimentali su stoccaggio a lungo termine del sorgo zuccherino non sono presenti in bibliografia e, quindi, i risultati del presente lavoro sono innovativi e non facilmente confrontabili con la letteratura disponibile. L'attività svolta ha permesso l'acquisizione di importanti conoscenze relativamente alla distribuzione degli zuccheri nella pianta del sorgo zuccherino e all'andamento delle perdite di zucchero durante lo stoccaggio.

La distribuzione della sostanza secca e dello zucchero lungo lo stelo non è uniforme, ma esiste una sorta di gradiente passando dalla parte basale (più alta concentrazione) a quella apicale. Ciò ha un impatto fondamentale sulla regolazione dell'altezza di taglio, in quanto **uno spostamento di pochi centimetri della barra di taglio determina sostanziali variazioni nella resa e, di conseguenza, nelle perdite di zucchero.** Da questa prima esperienza è emerso che appare opportuno ridurre al minimo l'altezza di taglio.

Lo stoccaggio a lungo termine appare realizzabile ed è possibile valutare quale sia la lunghezza più idonea della biomassa raccolta in funzione della durata della conservazione. Lo stoccaggio dello stelo intero può essere prolungato fino a due mesi dopo la raccolta in quanto a tale epoca il contenuto in zuccheri rimane ancora intorno al 10%. Nel caso di porzioni più ridotte (1/2, 1/4 o 1/8 dello stelo intero) è consigliabile non superare i 30 giorni, intervallo entro il quale lo zucchero rimane su valori tra il 14 ed il 16%. La macchine per la raccolta disponibili ed utilizzate per il sorgo zuccherino operano un taglio che permette di ricavare porzioni di fusto che sono circa 1/16 della pianta intera. In questo caso, allo scopo di ottenere della materia prima che abbia un contenuto zuccherino superiore al 10%, lo stoccaggio non dovrebbe eccedere i 20 giorni. Le raccogliatrici attualmente in commercio derivano da quelle per la raccolta della canna da zucchero e sono concepite per il sezionamento di steli in *billet* da 30 cm, con relative perdite. Alla luce dei dati ottenuti, parrebbe necessario sviluppare una macchina per la raccolta della pianta intera, eventualmente defogliata. Con tale prospettiva andrebbero considerati gli aspetti meccanici e funzionali atti ridurre al minimo i danni dello stelo, direttamente responsabili delle perdite di zuccheri durante lo stoccaggio. Una soluzione proponibile potrebbe prevedere una macchina in grado di effettuare il taglio della pianta intera, la raccolta di fasci di piante possibilmente defogliate, l'adozione di un sistema di trasporto non aggressivo. La produzione di fasci di dimensioni adeguate potrebbe consentire l'uso dei mezzi di movimentazione già disponibili in azienda, quali carrelli elevatori e caricatori frontali, per l'ottimizzazione della logistica.

Bibliografia

BLUDAU D.A., 1992a - **Selected aspects for an evaluation of sweet sorghum as a raw material for energy and industry.** 412-416. In G. Grassi, A. Collina, H Zibetta (a cura di) Biomass for Energy, Industry and Environment: 6th Conference on Biomass for energy and industry. Elsevier Science Publisher Ltd. 1512 pp.

BLUDAU, D. A., 1992b - **Storage of sweet sorghum after harvest.** 393-397. In G. Grassi, A. Collina, H Zibetta (a cura di) Biomass for Energy, Industry and Environment: 6th Conference on Biomass for energy and industry. Elsevier Science Publisher Ltd. 1512 pp.

EILAND B.R., CLAYTON J.E., BRYAN W.L., 1983 - **Losses of fermentable sugars in sweet sorghum during storage.** Transactions of the American Society of Agricultural Engineers (ASAE), 1596-1600.

HOFFMANN-THOMA G., HINKEL K., NICOLAY P., WILLENBRINK J., 1996 - **Sucrose accumulation in sweet sorghum stem internodes in relation to growth.** Physiol. Plant. 97: 277-284.

HUNTER E.L., ANDERSON I.C, 1997 - **Sweet sorghum.** Hortic. Rev. 21: 73-104.

LINGLE S.E, 1987 - **Sucrose metabolism in the primary culm of sweet sorghum during development.** Crop Sci, 27: 1214-1219.

LINGLE S.E., TEW T.L., RUKAVINA H., BOYKIN D.L. 2012 - **Post-harvest changes in sweet sorghum I: Brix and Sugars.** Bioenerg. Resour., 5:158-167.

PHILIPP D., MOORE K.J., PEDERSON F. J., GRANT R.J., REDFEARN D.D., MITCHELL R.B., 2007 - **Ensilage performance of sorghum hybrids varying in extractable sugars.** Biomass and Bioenergy, 31: 492-496.

ZEGADA-LIZARAZU W, MONTI A., 2012 - **Are we ready to cultivate sweet sorghum as a bioenergy feedstock? A review on field management practices.** Biomass Bioenergy 40: 1-12.

KEYWORDS: Ethanol, sweet sorghum, storage losses, harvesting.

Abstract: *The storage of sweet sorghum. Influence of the stem length on sugar losses*

The sugar content of Sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in the plant stems varies from 12 to 25% according to the plant type, but sugars are very easy to be lost, especially during harvesting and storage. The former are due to lack of machineries capable to harvest the entire plant, while storage losses are due to fermentation processes. Therefore, the identification of suitable harvesting and storage systems is fundamental to optimize the energetic yield of the crop.

The losses of fermentable sugars follow different patterns and particular attention has been paid to the size of the material. The main objective of the present work is to monitor the time course of dry matter and sugar content in sweet sorghum over a storage period of 75 days. The analysis has been carried out dividing the stems in portions of different length (whole stem, 1/2, 1/4, 1/8, and 1/16 of the whole stalk length) to compare the rate of sugar losses.

The sugar distribution along the stem demonstrated that sugars content tends to decrease going from the base to the top, a helpful information for the choice of cutting height. The sugar loss during storage is highly influenced by the size of the stem portion obtained at harvest. The lower rate of sugar loss was measured on whole stems. The long-term storage appears achievable but its length is strictly related to the size of stalk portion.

I residui di potatura per fini energetici

Valutazione del potenziale per lo sviluppo di una filiera sostenibile

LUIGI PARI, VINCENZO ALFANO, SARA CROCE,
EMANUELE SANZONE, ALESSANDRO SUARDI

Conoscere dove, come si rendono disponibili e quanti sono i residui di potatura effettivamente utilizzabili per produrre energia, rappresenta il punto di partenza per lo sviluppo di una efficiente filiera per lo sfruttamento di tale risorsa. Il CRA-ING cerca le opportune risposte con il Progetto europeo “EUROPRUNING”.

PAROLE CHIAVE: valutazione, disponibilità di potature, potenziale di biomasse, residui, bioenergia.

I recenti orientamenti della strategia energetica europea, recepiti dalla legislazione nazionale, indirizzano sempre più lo sviluppo della bioenergia verso l'**utilizzo preponderante di biomasse residuali, sottoprodotti e**

scarti provenienti dai comparti agroforestali ed agroindustriali, accanto all'utilizzo di biomasse appositamente prodotte nel rispetto di rigorosi criteri di sostenibilità. Tale orientamento è riscontrabile principalmente nel processo di revisione della Direttiva sulle fonti rinnovabili. Questo, infatti, vede la proposta della valutazione anche degli effetti indiretti legati al cambiamento d'uso del suolo (ILUC, *Indirect Land Use Change*) delle colture energetiche, determinando di fatto un freno alla loro diffusione, e della limitazione del contributo agli obiettivi fissati per il 2020 per i biocarburanti ottenuti da colture vegetali, a favore di quelli, così detti di seconda generazione, prodotti da materiale lignocellulosico, ed in primo luogo da scarti. Ulteriore indirizzo dettato in sede UE è quello, all'interno della più generale strategia europea basata sulla bioeconomia, di un **utilizzo gerarchico della biomassa**, che prevede, in cascata, la destinazione energetica soltanto per le frazioni residuali e non utilizzabili per l'ottenimento di prodotti a più elevato valore (Risoluzione del Parlamento europeo, 2012/2295 (INI)). In Italia tale visione rinnovata della bioenergia si è concretizzata con la modifica del sistema incentivante che, a partire dal 2013, premia



Foto 1 - Potature di pesco andanate prima della raccolta.

LUIGI PARI, CRA-ING, luigi.pari@entecra.it - VINCENZO ALFANO, CRA-ING - SARA CROCE, CRA-ING - EMANUELE SANZONE, CRA-ING - ALESSANDRO SUARDI, CRA-ING.

maggiormente gli impianti di piccola taglia ed alimentati con sottoprodotti (DM 6 Luglio 2012). Tra i residui del comparto agricolo, le potature costituiscono, sia in termini qualitativi che quantitativi, un'importante risorsa per un utilizzo a scopo energetico, che tuttavia ancora tutt'oggi risulta sfruttata solo in minima parte per una serie di ostacoli, principalmente, di carattere economico. La frammentazione aziendale e l'estensione contenuta delle superfici su cui insistono le colture arboree rendono, infatti, onerosa la raccolta dei residui di potatura, in assenza di una filiera organizzata.

L'Unità di Ingegneria Agraria (CRA-ING) del Consiglio per la ricerca e la sperimentazione in Agricoltura, è da tempo impegnata in azioni atte allo sviluppo di tale filiera. In particolare si è occupata di eseguire studi di fattibilità e prove in campo volte alla messa a punto della cantieristica adatta per il recupero delle biomasse residue. L'esperienza maturata ha permesso di accedere in tempi più recenti al **Progetto Europruning**⁽¹⁾ (www.europruning.eu), che ha come finalità generale la promozione di una filiera sostenibile finalizzata al recupero e allo sfruttamento energetico del potenziale europeo di potature. Il progetto muove dalla necessità di conoscere dove, con quale frequenza, con quali caratteristiche e in quali quantità si rendono disponibili tali risorse.

Rispondere a tali quesiti, ovvero definire il potenziale di biomasse realmente sfruttabile, è un'operazione molto complessa, per il numero di variabili ed aspetti che entrano in gioco. Nei paragrafi che seguono tale complessità viene evidenziata attraverso l'analisi degli aspetti che influenzano da un lato la produzione di biomassa, dall'altro le opportunità concrete del suo sfruttamento.

(1) Il progetto Europruning "Development and implementation of a new, and non existent, logistic chain on biomass from pruning", finanziato nell'ambito del VII Programma Quadro, vede la partecipazione di 18 partner rappresentanti di 8 Stati (Belgio, Francia, Germania, Italia, Polonia, Spagna and Svezia), ha una durata di 3 anni e si concluderà nel 2016.

FATTORI DI VALUTAZIONE E DIVERSO SIGNIFICATO DI POTENZIALE

Numerosi studi, realizzati nell'ambito di progetti o piani con diverse finalità generali, hanno valutato nel tempo, in Italia ed in Europa, la disponibilità di biomasse residue dal settore agricolo (e, tra queste, le potature) a diversa scala territoriale e con diversi livelli di approfondimento nella metodologia di stima, con risultati non sempre concordanti, anche quando riferiti al medesimo contesto territoriale.

L'inclusione di aspetti e fattori di valutazione di diverso carattere (tecnico, economico ed ambientale, oltre che agronomico), porta infatti alla definizione di una potenziale risorsa che assume sempre connotati diversi (Figura 1). A partire dalla stima del potenziale teorico, ovvero la massima quota di biomassa residuale che si rende disponibile annualmente, sulla base di aspetti puramente agronomici, introducendo ulteriori fattori di valutazione, la quota effettivamente raccogliibile ed utilizzabile per usi energetici, può essere stimata da un punto di vista tecnico, economico ed ambientale, ed arrivare alla **definizione di potenziali di biomassa che rappresentano dei sottoinsiemi di quello teorico** (Bee, Biomass Energy Europe Project 2010).

I fattori che determinano la quantità di biomassa potenzialmente disponibile sono, del resto, a loro volta numerosi e molto variabili. Tra questi, quelli che maggiormente incidono sulla produzione di biomassa, sono oltre alla specie, la *cultivar*, lo stadio di accrescimento, la densità di impianto, le pratiche agronomiche, le condizioni pedoclimatiche, le modalità di potatura; concorre inoltre alla definizione del potenziale teorico la conoscenza degli usi alternativi delle potature e competitivi rispetto a quello energetico, ovvero le destinazioni comuni di tali residui, quali l'utilizzo come combustibile aziendale, generalmente riservato alle potature di pezzatura maggiore, la bruciatura a bordo campo o la trinciatura ed interrimento delle ramaglie.

Le considerazioni sull'efficienza dei sistemi di raccolta delle potature e sull'accessibilità ai campi, condizionata dalla densità di impianto, dalla viabilità, dalla eventuale

Specie, cultivar, stadio di accrescimento, densità di impianto, pratiche agronomiche, condizioni pedoclimatiche, modalità di potatura

Sistemi di raccolta, accessibilità ai campi, viabilità, terrazzamenti

Convenienza alla raccolta, trasformazione, utilizzo

Reintegro sostanza organica, vincoli ambientali, cross-compliance

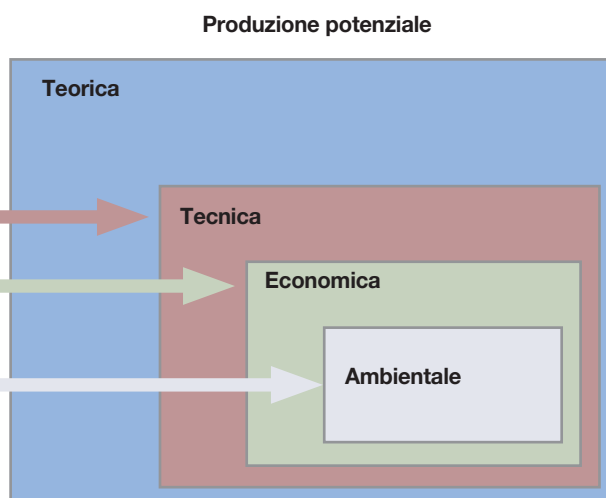


Figura 1 - Rappresentazione schematica del diverso significato di potenziale.

	Censimento Nazionale Biomasse ENEA	Progetto Biomasse ENAMA
Anno/i di riferimento	2006	Media 2006-2009
Scala territoriale	Provinciale	Provinciale
Colture valutate	Olivo, vite, melo, pero, albicocco, ciliegio, pesco, nectarine susino nocciolo mandorlo, agrumi	Olivo, vite, melo, pero, albicocco, ciliegio, pesco, nectarina, susino, nocciolo, mandorlo, kiwi, agrumi
Biomassa valutata	Potature + espianti	Potature
Potenziale complessivo (kt/a s.s.)	4.906,4	3.446,2
	<i>Nord</i> 1.057,9 (22%)	614,4 (18%)
	<i>Centro</i> 645,3 (13%)	535,1 (16%)
	<i>Sud</i> 3.203,3 (65%)	2.204,2 (64%)

Tabella 1 - Disponibilità di potature negli studi realizzati da ENEA ed ENAMA.

presenza di terrazzamenti, consentono di stimare la quota del potenziale teorico raccogliabile da un punto di vista tecnico. L'introduzione di valutazioni di carattere economico sulla convenienza alla raccolta, trasformazione ed utilizzo, legata fundamentalmente alla dispersione dei residui di potatura sul territorio, alla distanza tra le aziende e alla bassa densità energetica di tali sottoprodotti, o il confronto con eventuali utilizzi alternativi più remunerativi, determinano un sottoinsieme ancora più ristretto rispetto a quello teorico, definibile come "potenziale economico". Infine l'inclusione nella stima di aspetti ambientali, quali la valutazione dell'opportunità di reintegro di una quota di sostanza organica al suolo o l'esclusione dalla stima di aree oggetto di vincolo ambientale, restringe ulteriormente la portata del potenziale.

È evidente quindi quanto sia complessa una stima che tenga conto contemporaneamente di tutti questi aspetti, spesso legati a specificità dei diversi contesti territoriali e quindi valutabili soltanto nel caso di stime puntuali, mentre risulta percorribile il ricorso a parametri che mediano la variabilità di tali fattori quando si lavora su scala macro territoriale. Pertanto lo studio approfondito di alcune microaree rappresentative del territorio nazionale ed europeo costituisce la chiave di lettura per la costruzione di un modello trasferibile su scala più ampia.

Recentemente sono stati realizzati due importanti studi su scala nazionale che hanno prodotto una stima aggiornata della disponibilità di biomasse residuali e, tra queste le potature, con un livello di dettaglio provinciale, realizzati nell'ambito del "Censimento del potenziale energetico nazionale delle biomasse" dell'ENEA e del "Progetto Biomasse" dell'ENAMA⁽²⁾. In entrambi gli studi è stata utilizzata la medesima metodologia, basata su quella proposta agli inizi degli anni 90 da AIGR⁽³⁾ ed ENEA quando è stato realizzato il primo studio completo del potenziale energetico delle biomasse residuali in Italia. Elemento chiave di tale metodologia è l'impiego di indici che correlano la quantità di residui alle produzioni primarie delle diverse colture, come rapporto tra sottoprodotto e prodotto principale. **L'utilizzo di appropriati indici, specifici per ciascun contesto territoriale, che prendono in considerazione la variabilità delle condizioni evidenziate precedentemente (specie, cultivar, caratteristiche pedoclimatiche, forme di governo, ecc.),** consentono di stimare la quantità di biomassa residuale disponibile, attraverso la formula seguente:

$$B = S * R * I * (1 - D) * (1 - U)$$

dove: *S* corrisponde alla superficie in produzione (ha);

R rappresenta la produttività (t ha⁻¹);

I dato dlla rapporto potatura/prodotto principale;

D costituisce la destinazione comune del residuo (%);

U è l'umidità del residuo (%).

Fatta eccezione per il kiwi, le colture analizzate dai due studi sono sostanzialmente le stesse (Tabella 1), mentre i relativi dati di superfici e produzioni, desunti dalla banca dati dell'ISTAT, sono riferiti al 2006, nello studio condotto dall'ENEA (MOTOLA *et al.* 2009) e ad una media di quattro anni, dal 2006 al 2009, nel progetto realizzato dell'ENAMA (AA.VV. 2012). L'ordine di grandezza delle due stime è confrontabile, con una marcata prevalenza dei residui di potatura nelle regioni meridionali. ENAMA stima una disponibilità di potature su tutto il territorio nazionale pari a circa 3,5 milioni di tonnellate, che sale nella stima ENEA a 4,9 milioni, valori in entrambi i casi espressi in termini di sostanza secca, avendo applicato specifici tenori di umidità alla raccolta per le diverse tipologie di potatura. Le differenze nei risultati ottenuti sono da attribuirsi alle differenti annate agrarie considerate e al differente utilizzo di parametri e indici di calcolo. Il potenziale calcolato dall'ENEA tiene conto, inoltre, anche della **biomassa di espianto** che si rende disponibile a fine ciclo colturale, che però trova normalmente totale reimpiego come legna da ardere in azienda.

Accanto alle due indagini citate, un'indicazione del potenziale complessivo nazionale più aggiornato è stata presentata nel corso del Convegno "I sottoprodotti agroforestali e industriali a base rinnovabile"⁽⁴⁾, organizzato nell'ambito del progetto "ExtraValore" del MIPAAF. Al 2011 si stima una disponibilità complessiva su tutto il territorio nazionale di circa 6 milioni di tonnellate di residui di potature (COLONNA *et al.* 2013).

Considerata la recente evoluzione del settore delle bioenergie e delle norme che regolano l'approvvigionamento e le caratteristiche delle biomasse, la valutazione di potenziali produttivi quanto più accurata possibile impone come punto di partenza la definizione del quadro delle produzioni legnose attualmente disponibili.

⁽²⁾ Ente Nazionale per la Meccanizzazione Agricola (www.progettobiomasse.it)

⁽³⁾ Associazione Italiana del Genio Rurale, oggi AIIA (Associazione Italiana di ingegneria Agraria)

⁽⁴⁾ Università Politecnica delle Marche. Ancona, 26-27 Settembre 2013.

COLTURE ARBOREE IN ITALIA

Di seguito si riporta la diffusione delle principali colture arboree in Italia (Grafico 1) e le caratteristiche delle potature (epoca e modalità di raccolta, quantità ed utilizzi), al fine di stimare il potenziale realmente utilizzabile sotto un profilo economico ed ambientale rispetto alle modalità di gestione tradizionali.

L'Italia grazie alle favorevoli condizioni pedoclimatiche vanta, assieme alla Spagna, tra i più ampi patrimoni di colture permanenti d'Europa, tra oliveti, vigneti e frutteti.

Con circa **un milione di ettari di oliveti** (fonte FAO-STAT, anno 2011), è seconda alla Spagna (circa 2,5 Mha), ed è seguita dalla Grecia (850 kha). **I vigneti italiani, estesi su una superficie di circa 700 kha**, sono di poco inferiori alle superfici presenti in Francia (760 kha) ed in Spagna (960 kha). Gli agrumeti, pari a circa 160 kha, sono tra i più estesi di Europa, secondi solo a quelli presenti in Spagna, che coprono una superficie quasi due volte maggiore (310 kha). Per quanto riguarda gli alberi da frutta in guscio (mandorle e nocchie), l'Italia con una superficie di 140 kha segue la Spagna (550 kha) ma primeggia in Europa con i suoi 70 kha di nocchie (14 kha in Spagna). **Nel complesso gli altri fruttiferi italiani coprono la superficie più estesa in Europa con circa 280 kha**, seguita dalla Polonia (270 kha, di cui circa 180 kha di mele), e dalla Spagna (214 kha).

Analizzando nel dettaglio i dati sul patrimonio arboreo italiano (fonte ISTAT, anno 2011), olivo e vite occupano sicuramente le superfici più estese e caratterizzano, di fatto, il paesaggio di vaste aree del nostro Paese, con prevalenza nelle Regioni centro-meridionali. In particolare, oltre il 32% degli oliveti è presente nella sola regione Puglia, dove annualmente si producono ingenti quantità di potature. I frutteti e gli agrumeti coprono superfici complessive minori, ma concentrate in alcune aree, del Nord i primi del Sud i secondi.

Al 2011, le coltivazioni di olivo si estendono su una superficie di 1.156,2 kha, con una produzione primaria di 3,45 Mt. Le Regioni in cui è maggiormente diffusa tale coltura sono nell'ordine: Puglia (375 kha), Calabria (182 kha), Sicilia (161 kha), Toscana (92 kha), Lazio (86 kha) e Campania (72 kha). Le province con le superfici maggiori sono quelle pugliesi (Bari, 99 kha; Lecce, 90 kha; Brindisi, 63 kha; Foggia, 53 kha).

Le coltivazioni di vite nel 2011 hanno raggiunto in Italia una superficie complessiva di 725,3 kha, con una produzione di uva di circa 7,5 Mt. Le superfici più estese si trovano in Sicilia e in Puglia (in entrambe circa 127 kha), in Veneto (79 kha), Toscana (58 kha), Emilia Romagna (56 kha), Piemonte (53kha). A livello provinciale le maggiori estensioni si registrano nella provincia di Trapani (51kha), Taranto (34kha), Agrigento (32 kha), Treviso (32 kha).

Gli agrumeti (161,6 kha in Italia) sono presenti prevalentemente nelle regioni meridionali ed in particolare in Sicilia (88 kha) ed in Calabria (43 kha), con una distribuzione prevalentemente nelle provincie di Catania (34kha), Siracusa (23 kha), Reggio Calabria (19 kha), Cosenza (15 kha).

Più della metà dei mandorleti italiani (74,6 kha) si trovano

in Sicilia (46,2 kha), a cui seguono quelli presenti in Puglia (24,5). Dei circa 67 kha di nocchie, le maggiori concentrazioni di superficie investita si riscontrano in Campania (22,5 kha), Lazio (18,9 kha) e Sicilia (13,2 kha).

Gli altri fruttiferi sono particolarmente diffusi in Emilia Romagna (57,7 kha), Campania (35 kha), Trentino (27,8 kha) e in Puglia (24,7 kha). Tra questi si evidenzia la diffusione del pesco nella provincia di Caserta (11,6 kha) e in quella di Forlì (4,2 kha). I mele sono concentrati prevalentemente nelle provincie autonome di Trento e Bolzano (27,4 kha). Sempre in Emilia Romagna troviamo diffuse le seguenti colture: pero (21,9 kha), nettarina (11,9 kha).

Tra le colture minori, figura il ciliegio diffuso in gran parte in Puglia (17,8 kha), l'actinidia nel Lazio (7,9 kha), l'albicocco ed il susino in Campania ed in Emilia che occupano rispettivamente una superficie di 9,0 e di 6,7 kha.

CARATTERISTICHE DELLE POTATURE

Concentrazioni percentuali così elevate di colture arboree in zone per lo più ristrette rappresentano una condizione ottimale per il loro sfruttamento energetico. Tuttavia, tali residui sono spesso semplicemente smaltiti in campo, bruciati o interrati, con conseguenze negative per l'ambiente e per lo stato fitosanitario del terreno. Per valorizzare al meglio questi prodotti, sarebbe, invece, opportuno sviluppare una adeguata filiera agroenergetica che potrebbe offrire una concreta opportunità economica per gli agricoltori. Affinché ciò sia davvero realizzabile è essenziale che i costi di raccolta non eccedano il limitato valore del prodotto stesso. La meccanizzazione gioca un ruolo fondamentale e deve essere in grado di rispondere alle molteplici condizioni che caratterizzano gli areali di produzione delle diverse colture. Infatti, quantità, epoca, tecniche di potatura e modalità di gestione dei residui delle principali colture arboree si differenziano sensibilmente da regione a regione in relazione dell'elevata variabilità delle forme di governo, dei sistemi di impianto e delle pratiche agronomiche ed ambientali. Da un punto di vista agronomico, la potatura dei fruttiferi, in genere, produce frasche, o sarmenti nella vite, e rami di pezzatura maggiore, in quantità variabili in relazione alla varietà e alla forma di governo. La legna più spesso viene raccolta a mano ed utilizzata all'interno dell'azienda o venduta come combustibile per il riscaldamento. Le operazioni meccaniche, invece, prevedono la loro raccolta secondo due possibili schemi:

- imballatura, stoccaggio e successiva cippatura;
- cippatura diretta in campo.

Nel primo caso, in funzione della densità di impianto, possono essere utilizzate piccole imballatrici parallelepipedo o rotoimballatrici. Nel secondo caso, si utilizzano trinciacaricatrici (semoventi o applicate ad un trattore), che convogliano il materiale cippato in grandi sacchi di tela, in cassoni integrati alla macchina o su rimorchi agricoli.

Allo stato attuale le macchine presenti in commercio per la raccolta delle potature derivano da comuni macchine agricole destinate ad altre lavorazioni. La scelta di un modello rispetto ad altri dipende non solo dalle caratteristiche del campo di lavoro, ma anche dalla necessità di ottenere un

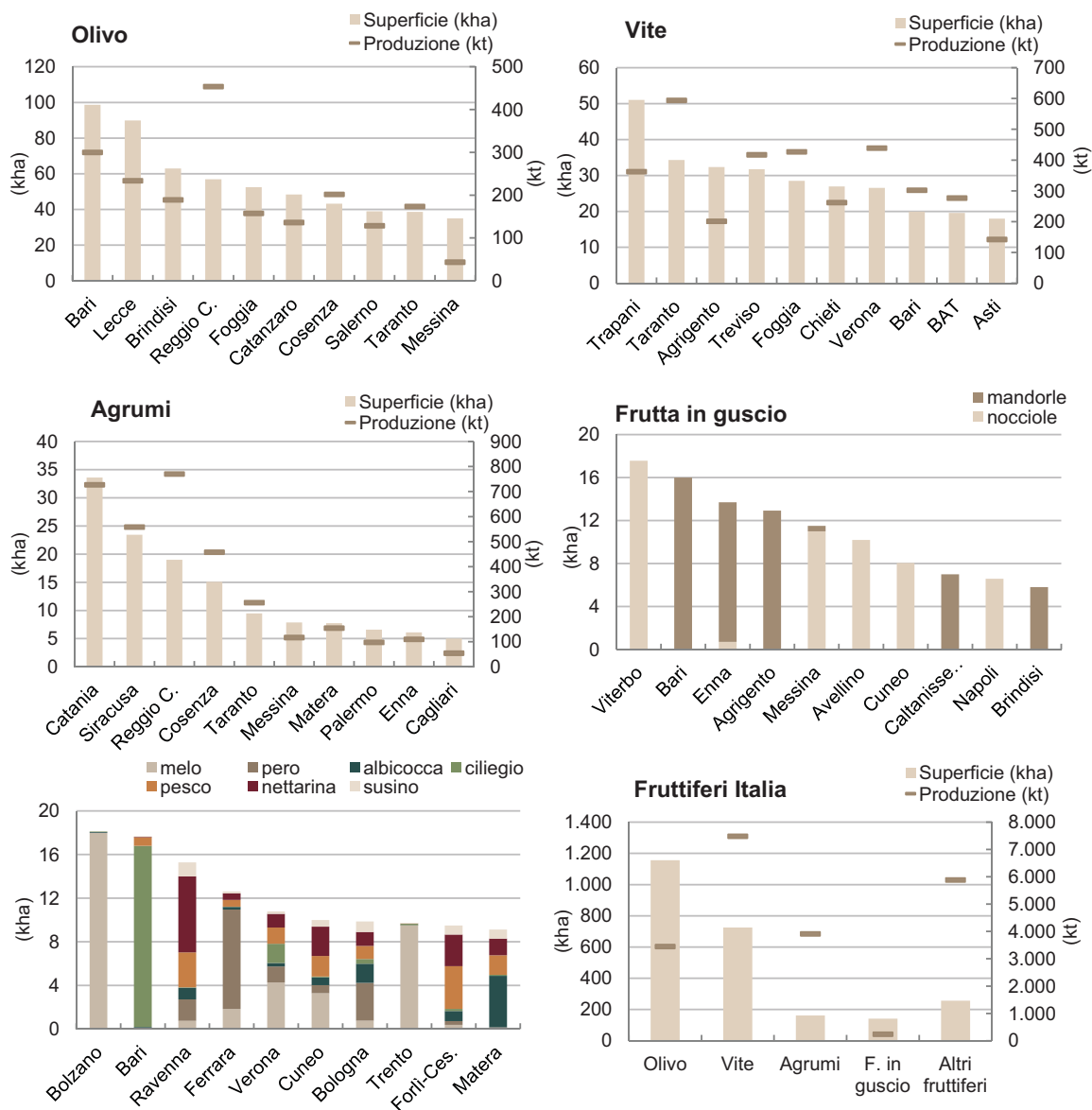


Grafico 1 - Diffusione delle colture arboree in Italia, con dettaglio delle provincie con maggiori estensioni al 2011. Fonte: elaborazione dati ISTAT, 2014.

materiale trinciato più o meno raffinato in base alla destinazione d'uso finale. Negli ultimi anni la tematica della meccanizzazione della raccolta delle potature è stata affrontata in diversi lavori di autori soprattutto italiani che hanno valutato sia i cantieri disponibili che la **qualità del prodotto ottenuto** (SPINELLI *et al.* 2012; MAGAGNOTTI *et al.* 2013). Quest'ultimo aspetto è fondamentale affinché in impianti preposti possa avvenire un corretto recupero energetico dai residui. Ad esempio, in un recente studio condotto dal CRA-ING in un oliveto in Puglia, il cippato prodotto dalle principali macchine commerciali testate è risultato avere caratteristiche idonee alla combustione in impianti di media-grossa taglia (ACAMPORA *et al.* 2013). Tali impianti, destinati alla produzione di energia termica e o elettrica, adottano soluzioni tecnologiche che rendono possibile l'utilizzo di cippato avente granulometria non uniforme, con valori di umidità e contenuto di ceneri non trascurabili, tipici delle biomasse residuali del settore agricolo. Livelli qualitativi più elevati sono richiesti per le installazioni

di taglia ridotta, o in processi di recupero energetico diversi dalla combustione. Gli sviluppi tecnologici degli ultimi anni, comunque, hanno reso disponibili apparecchi termici, anche di piccola taglia, in grado di utilizzare con elevati rendimenti anche le biomasse di potature. Non mancano, infatti, anche in Italia, **esempi di installazioni** al servizio di singole utenze o di minireti di teleriscaldamento, come nel caso di alcuni agriturismi, che si alimentano con i residui di potatura e, tra questi, si segnalano quelli annoverati tra gli esempi di buone pratiche del Progetto Biomasse dell'ENAMA (www.enama.it/it/biomasse_documenti.php casi studio n. 6, 15, 27, 28). Accanto alla qualità, non va trascurata la continuità nel tempo della fornitura di biomassa. Il dimensionamento di una filiera sostenibile deve, infatti, considerare attentamente il potenziale in termini qualitativi, quantitativi ed anche temporali. Una indicazione di massima sull'entità dei residui di potature per unità di superficie, che si rendono disponibili nel corso dell'anno, è riportata in Grafico 2.

In particolare, nel grafico si evidenzia un elevato potenziale cumulativo, composto dal contributo di diversi frutteti (olivo, vite, melo, pero, pesco e albicocco) da gennaio a marzo, con un progressivo decremento all'avvicinarsi della stagione primaverile. Nei mesi di giugno e luglio, invece, prevalgono le potature degli agrumeti e dei ciliegi con le potature di formazione. Durante il periodo estivo fino al tardo autunno non vengono effettuate potature (ad eccezione delle zone del sud Italia a clima mite, dove la potatura dell'olivo può essere eseguita contemporaneamente o subito dopo la raccolta), pertanto, in questo periodo lo stoccaggio, essenziale per portare la biomasse a tenori di umidità idonei alla combustione, esplica anche una funzione tampone nella distribuzione della fornitura durante il corso dell'anno.

PROGETTO EUROPRUNING E STIMA DEL POTENZIALE EUROPEO

L'aggiornamento della stima del potenziale italiano ed europeo dei residui di potatura, rientra tra le attività del Progetto Europruning, all'interno dell'obiettivo più generale di supportare lo sviluppo della fase logistica per l'utilizzazione di tale risorsa quale fonte energetica, attraverso l'ottimizzazione della fase di raccolta, trasporto e stoccaggio in funzione della sostenibilità tecnica, economica ed ambientale. Dal punto di vista metodologico, si vuole superare l'approccio puramente teorico finora utilizzato nelle stime del potenziale, correlando, invece, le produzioni di residui con le condizioni e i fattori che concorrono alla loro produzione, in modo da avere una **mappatura più precisa delle risorse realmente sfruttabili. Tale azione, in particolare, è inserita tra le attività di cui il CRA-ING è il WP leader, finalizzate alla progettazione e lo sviluppo di nuovi prototipi in grado di raccogliere i residui di potatura**, e di operare con condizioni colturali diversificate (specie, sesto d'impianto, cicli colturali, ecc.).

Tra le altre azioni il progetto prevede la valutazione di diverse opzioni di stoccaggio, lo sviluppo e l'integrazione di uno strumento GPS per ottimizzare la fase di trasporto e un nuovo sistema di tracciabilità grazie al quale sarà possibile garantire all'utente finale la qualità della biomassa. È previsto inoltre uno studio approfondito degli impatti ambientali che la rimozione delle potature da terra avrà sul terreno. Il progetto prevede, infine, l'organizzazione di prove sperimentali in campo in differenti zone climatiche Europee. I risultati attesi risulteranno utili per la redazione di un manuale di buone pratiche agricole per la raccolta delle potature a destinazione energetica.

CONCLUSIONI

I residui di potatura rappresentano un'importante risorsa per la produzione di energia rinnovabile. Esistono diversi esempi di impianti alimentati con tale risorsa per la produzione di energia termica o elettrica, ma limitati rispetto alle reali potenzialità. Il parziale sfruttamento di questi residui colturali è dovuto alla mancanza di una filiera organizzata in grado di abbattere i costi legati alla raccolta e stoccaggio del prodotto. Tale risorsa, infatti, è abbondante, ma diffusa sul territorio e presenta caratteristiche variabili in funzione degli ambienti

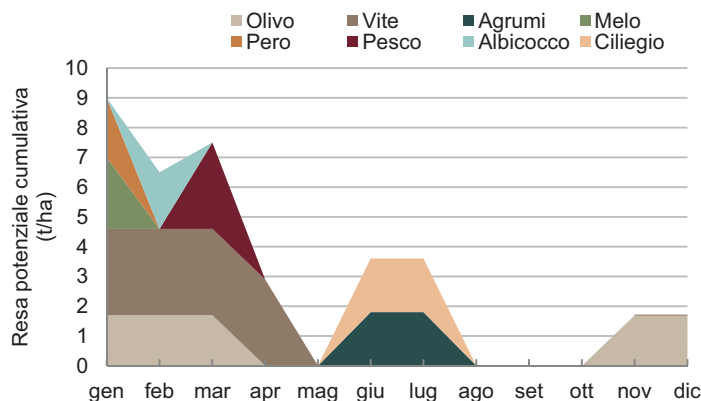


Grafico 2 - Disponibilità dei residui di potatura nell'arco dell'anno in relazione alle diverse colture per unità di superficie.

Fonte: elaborazione su dati di DI BLASI *et al.*, 1997 e GARCIA *et al.*, 2007

di produzione, che richiedono soluzioni specifiche.

Il CRA-ING, assieme agli altri partner del progetto Europruning, è impegnato nel superare i principali ostacoli per una valorizzazione energetica del potatato, attraverso uno studio sulle caratteristiche agronomiche, ambientali e tecniche che ne determinano la disponibilità e, successivamente, allo sviluppo di una raccogliitrice che possa permettere l'ottenimento di un prodotto raccolto con caratteristiche ottimali per essere trasformato energeticamente. Sulla base di questa attività di ricerca, sarà possibile dare indicazioni sulla reale convenienza e sulle modalità di recupero, adottando idonei sistemi logistici e le tecnologie più adatte. La conoscenza degli aspetti agronomici ed ambientali che influenzano i quantitativi di biomassa residuale potenzialmente disponibili e degli aspetti tecnici ed economici che ne determinano la frazione convenientemente utilizzabile è, infatti, alla base del processo di costruzione di una filiera sostenibile per lo sfruttamento dei residui di potatura.

Bibliografia

AA.VV., 2010 - **Methods and data sources for Biomass resource assessments for energy**. Bee, Biomass Energy Europe Project, FP7 GRANT AGREEMENT N°: 213417

AA.VV., 2012 - **Studio conclusivo "Progetto Biomasse ENAMA". Parte 1 - Biomasse ed energia. Capitolo 2 - Disponibilità delle biomasse**. ENAMA - MiPAAF (Pubblicato sul sito www.progettobiomasse.it/it/studio.php)

ACAMPORA A, CROCE S., ASSIRELLI A., DEL GIUDICE A., SPINELLI R., SUARDI A., PARI L., 2013 - **Product contamination and harvesting losses from mechanized recovery of olive tree pruning residues for energy use**. Renewable Energy 53 (2013)

COLONNA N., MACRI A., REGINA P., 2013 - **I sottoprodotti legnosi ed erbacei del settore agricolo italiano**. 35-55. Atti del Convegno "I Sottoprodotti Agroforestali e Industriali a Base Rinnovabile". Ancona, 26-27 Settembre 2013. Volume 1 - I sottoprodotti di interesse del DM 6.7.2012 - Inquadramento, potenzialità e valutazioni. ISBN: 978-88-906186-4-2

DI BLASI C., TANZI V., LANZETTA M., 1997 - **A Study on the Production of Agricultural Residues in Italy**

FAOSTAT, 2011 - Database consultato on-line il 5 settembre 2013

GARCÍA-GALINDO D., PASCUAL J., GARCÍA-MARTÍN A., ASIN J., 2007 - **The effect of the surrounding conditions in the assessment of biomass: case study of agricultural residual biomass in Teruel province (Spain)**

ISTAT, 2011 - Database consultato on-line il 3 gennaio 2014

MAGAGNOTTI N., PARI L., PICCHI G., SPINELLI R., 2013 – **Technology alternatives for tapping the pruning residue resource.** Bioresource technology 128 (2013) 697-702

MOTOLA V., N. COLONNA, V. ALFANO, M. GAETA, S. SASSO, V. DE LUCA, C. DE ANGELIS, A. SODA, G. BRACCIO, 2009 - **Censimento potenziale energetico biomasse, metodo indagine, atlante biomasse su WEB-GIS.** Ricerca Sistema elettrico, RSE/2009/167, ENEA, Roma

Risoluzione del Parlamento europeo del 2 luglio 2013 sull'innovazione per una crescita sostenibile: una bioeconomia per l'Europa (2012/2295(INI))

SPINELLI R., NATI C., PARI L., MASCALCHIN E., MAGAGNOTTI N., 2012 – **Production and quality of biomass fuels from mechanized collection and processing of Vineyard pruning residues.** Applied Energy 89 (2012) 374-379

KEYWORDS: Assessment, pruning availability, biomass potential, residues, bioenergy.

Abstract: *Pruning residues for energy use. The assessment of pruning availability for the development of a sustainable supply chain*

Among the agricultural residues, pruning represent a good source of biomass for energy. Large quantities of lignocellulosic biomass are available from pruning, but currently underexploited mainly due to collecting costs. In fact, such resource is widespread on the territory with scattered fields and small size plantations. Knowing where and when the pruning are available, how many they are and how it is their common use, is the first step to develop and optimize the harvesting, transporting and storing of the pruning biomass, in order to implement a sustainable energy chain. CRA-ING is engaged to address these issues in the framework of the European project "Europruning", where it is involved as leader in pruning biomass assessment task, and it is in charge to update the Italian pruning availability starting from recent Italian surveys. This paper highlights the complexity of the assessment of biomass availability, debating and illustrating the many variables that determine the exploitable potential in technical, economic and environmental terms.

Claas Jaguar in raccolta di differenti specie arboree allevate a ciclo breve

VINCENZO CIVITARESE, LUIGI PARI, ALESSANDRO SUARDI,
ANDREA ACAMPORA, ALBERTO ASSIRELLI, ANTONIO SCARFONE

La Claas Jaguar è una delle operatrici più impiegate nella raccolta delle SRF. Nel presente contributo sono state valutate le prestazioni della macchina durante la raccolta di 5 differenti specie allevate a Short Rotation Forestry.

PAROLE CHIAVE: SRF, raccolta, colture energetiche.

Le biomasse legnose sono una valida alternativa ai combustibili fossili (BROECKX *et al.* 2012) e tra le specie utilizzabili per la costituzione di piantagioni a ciclo breve possiamo annoverare *Salix Alba*, *Fraxinus augustifolia*, *Eucalyptus occidentalis*, *Robinia pseudoacacia* e *Populus nigra* (BISOFFI *et al.* 2000; MARESCHI *et al.* 2005; FACCIOTTO *et al.* 2006a; FACCIOTTO *et al.* 2006b; FACCIOTTO *et al.* 2006c, FACCIOTTO *et al.* 2007).

La raccolta è la fase più importante del processo produttivo e la Claas Jaguar è una delle operatrici più impiegate a tale scopo.

Le prestazioni di una raccogliatrice risultano direttamente correlate con le caratteristiche morfologiche e produttive della coltura ma vi sono anche altri fattori da prendere in considerazione quali la giacitura dell'impianto, la trafficabilità e la portanza del terreno, l'esperienza del personale coinvolto nel cantiere e la tipologia e la potenza dei mezzi impiegati.

Nel 2013, nell'ambito del progetto PON, è stata organizzata una prova comparativa di raccolta di 5 differenti specie allevate a SRF e coltivate nelle medesime condizioni pedoclimatiche. Gli obiettivi erano quelli di valutare le prestazioni della falciatrice-caricatrice Claas Jaguar in funzione di differenti livelli produttivi, operando nelle medesime condizioni

operative e garantendo, di fatto, la completa comparabilità dei risultati ottenuti. Parallelamente alle prestazioni sono stati rilevati tutti i parametri necessari per definire la qualità



Foto 1 - Impianto SRF dell'Azienda sperimentale Improsta.

VINCENZO CIVITARESE, CRA-ING vincenzo.civitarese@entecra.it - LUIGI PARI ING-CRA, ALESSANDRO SUARDI CRA-ING, ANDREA ACAMPORA CRA-ING, ALBERTO ASSIRELLI CRA-ING, ANTONIO SCARFONE CRA-ING.

Tesi	Specie	Diametro		Altezza		N° di polloni
		Fusto principale	Fusti secondari	Fusto principale	Fusti secondari	
1	<i>P. nigra</i>	53,64±9,39	29,26±12,47	5,91±0,56	3,89±1,18	4,50±2,27
2	<i>S. alba</i>	47,63±9,45	29,5±7,86	4,18±0,8	3,05±0,78	3,80±1,48
3	<i>F. oxyphylla</i>	50,83±10,30	26,18±9,56	5,27±0,89	3,24±0,89	3,40±1,26
4	<i>E. occidentalis</i>	60,64±15,68	29,95±15,27	6,46±1,52	3,99±1,29	3,30±1,70
5	<i>R. pseudoacacia</i>	36,40±9,94	33,67±9,29	5,12±1,48	5,6±1,23	1,30±0,48

Tabella 1 - Principali caratteri dendrometrici del popolamento.

del lavoro svolto (altezza di taglio, danneggiamento delle ceppaie e perdite di prodotto in campo).

MATERIALI E METODI

La piantagione sperimentale

La piantagione (Foto 1), localizzata in provincia di Salerno, comprendeva diverse specie e varietà impiantate utilizzando sia talee che semenzali a radice nuda. Il sesto di impianto era 3 x 0,5 m per tutte le specie, con una densità di 6.666 p ha⁻¹. La prova è stata effettuata ad Aprile 2013 operando la raccolta di *Populus nigra* (tesi 1), *Salix alba* (tesi 2), *Fraxinus angustifolia* (tesi 3), *Eucalyptus occidentalis* (tesi 4) e *Robinia pseudoacacia* (tesi 5). Le piante avevano subito una ceduzione precedente nel 2010 e si trovavano al secondo ciclo di taglio triennale (R6F3).

Il cantiere di raccolta

Le macchine impiegate nelle prove sperimentali erano una falciatrinciacaricatrice Claas Jaguar 880 (370 kW di potenza), equipaggiata con testata da biomassa GBE-1 ed una trattrice Massey Ferguson 6497 Dyna-6 (160 kW di potenza) abbinata ad un rimorchio Zaccaria da 40 m³. Durante la raccolta la trinciatura ha operato con 12 coltelli su 24.

Rilievi in campo

La superficie complessivamente raccolta è stata pari a 4.00 ha ma le attività sperimentali (rilievi dendrometrici, rilievo dei tempi di lavoro ecc.) si sono concentrate all'interno di 5 parcelle da 840 m² ciascuna, una per tesi, per una superficie effettiva netta di 4.200 m².

Tale scelta si è resa necessaria al fine di uniformare la diversa estensione superficiale delle specie a confronto e per poter rapportare, con la massima precisione, le prestazioni della raccogliitrice ai differenti quantitativi di biomassa prodotti.

Prima delle operazioni di raccolta sono stati valutati la densità effettiva, il numero di fusti per ceppaia, l'altezza e il diametro dei fusti principali su un campione casuale di 50 piante (10 per tesi). La produttività delle diverse specie è stata determinata pesando tutto il cippato prodotto da ciascuna parcella elementare.

Rilievo dei tempi di lavoro e della qualità del lavoro svolto dall'operatrice

I tempi di lavoro sono stati rilevati all'interno di 25 transect da 40 m lineari ciascuno (5 transect per tesi), collocati lungo le parcelle sperimentali precedentemente individuate.

Le prestazioni della macchina sono state valutate in termini di velocità effettiva di avanzamento (km h⁻¹), capacità di lavoro effettiva (ha h⁻¹) e produzione oraria effettiva (t h⁻¹), al netto

dei tempi morti e di voltata. In questo modo, senza prendere in considerazione gli altri parametri influenti i tempi di raccolta (voltate, tempi morti, lunghezza delle file ecc.), è stato possibile confrontare le prestazioni della macchina in relazione alle sole caratteristiche della coltura.

Le macchine che componevano il cantiere di raccolta sono state utilizzate dai medesimi operatori per l'intera durata delle prove (Foto 2).

La qualità del lavoro svolto è stata valutata in termini di altezza di taglio, danneggiamento delle ceppaie e perdite di prodotto in campo. I rilievi sono stati eseguiti all'interno di 5 transect lineari da 10 m per ciascuna tesi.

Per quanto concerne i danni alle ceppaie sono stati presi in considerazione danni da spacco verticale e sfrangiamento secondo la seguente scala di valutazione: danno lieve (1), danno medio (2), danno grave (3), ceppaia distrutta (4). Le perdite di prodotto sono state invece definite raccogliendo e pesando tutta la biomassa rimasta a terra dopo il passaggio della raccogliitrice.

RISULTATI

Caratteristiche della piantagione

Le piante si presentavano con un fusto principale e un numero variabile di fusti secondari (Tabella 1), da un minimo di 1,30 (±0,48) per la robinia ad un massimo di 4,50 (±2,27) per il pioppo.

L'eucalipto mostrava il maggior grado di sviluppo, con un diametro medio e un'altezza media dei fusti principali pari rispettivamente a 60,64 mm (±15,68) e 6,46 m (±1,52).

Operatività della macchina e produttività delle diverse specie

La falciatrinciacaricatrice ha mostrato **velocità di avanzamento e capacità di lavoro effettive variabili in funzione del quantitativo di biomassa da raccogliere.**

I livelli produttivi osservati nella sperimentazione erano compresi tra 33 e 95 tonnellate di biomassa fresca per ettaro, rispettivamente per il salice e l'eucalipto.

La velocità di lavoro più elevata è stata registrata durante la raccolta del pioppo (4,24 km h⁻¹), con una capacità di lavoro effettiva di 1,02 ha h⁻¹. Prestazioni sensibilmente inferiori sono state riscontrate, invece, durante la raccolta dell'eucalipto. In quest'ultimo caso la velocità effettiva e la capacità di lavoro effettiva sono risultati pari rispettivamente a 1,55 km h⁻¹ e



Foto 2 - Cantiere di raccolta.



Foto 3 - Impianto dopo il passaggio della raccoglitrice.



Foto 4 - Danno da sfrangiamento lieve e spacco di media entità.

0,46 ha h⁻¹ (Tabella 2).

L'elevata produttività dell'eucalipto (0,028 tonnellate per metro lineare) ha imposto di operare con una velocità di lavoro ridotta. Ciò nonostante le prestazioni in termini di produzione oraria è risultata pari a 44 t h⁻¹ per l'alta produttività della specie.

La correlazione esistente tra i livelli di biomassa raccolti e la velocità di avanzamento della raccoglitrice lungo le file è stata valutata attraverso una correlazione lineare (Grafico 1).

La velocità di lavoro risulta superiore ai 3 km h⁻¹ su impianti con produttività inferiore alle 50 t ha⁻¹ mentre si riduce sensibilmente operando su impianti via via più produttivi.

Qualità del lavoro svolto dall'operatrice

Le perdite di prodotto in campo sono risultate piuttosto limitate e sempre inferiori allo 0,50% del totale raccolto, a conferma dell'eccellente funzionalità della testata da biomassa GBE-1 anche in presenza di piante con differenti caratteristiche morfologiche (Foto 3). Le altezze di taglio erano comprese tra 6,3 cm e 10,8 cm, valori questi, in linea con l'altezza ottimale di lavoro della raccoglitrice.

Una maggiore variabilità dei dati concerneva, invece, il danneggiamento delle ceppaie (Tabella 3). Una maggiore tendenza allo sfrangiamento è stata evidenziata per la robinia e il salice (valori superiori al 15%), quest'ultimo soggetto, insieme all'eucalipto, anche ad una maggiore percentuale di danni da spacco verticale (valori superiori al 12%). L'analisi della varianza non ha evidenziato differenze statisticamente significative tra le varie tesi a confronto e non sono state individuate correlazioni significative tra danni rilevati e altezze di taglio o velocità di avanzamento della macchina. La maggior parte dei danni, ad ogni modo, è stato classificato di lieve entità e non in grado di compromettere la vitalità delle ceppaie. Tali danni vengono generalmente prodotti durante le fasi iniziali del taglio (Foto 4).

CONCLUSIONI

Le prestazioni della raccoglitrice sono state analizzate in una piantagione allevata a SRF dove differenti specie sono cresciute con un diverso grado di sviluppo. I dati rilevati hanno messo in evidenza l'esistenza di una correlazione statisticamente significativa tra i livelli produttivi delle diverse specie e la velocità di lavoro della falciatrici-caricatrice. Il modello

proposto, consentendo di **prevedere le prestazioni della macchina in funzione della produttività stimata della piantagione da raccogliere**, fornisce indicazioni utili per programmare e pianificare le attività di raccolta in un dato areale produttivo.

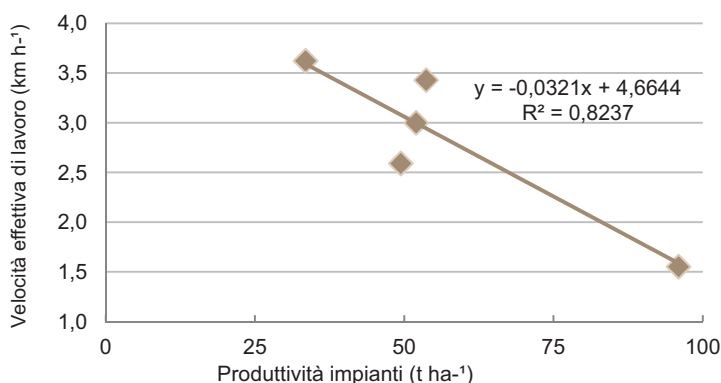


Grafico 1 - Curva stimata con il modello di regressione lineare.

Tesi	Produttività (t ha ⁻¹)	VE (km h ⁻¹)	Capacità di lavoro effettiva (ha h ⁻¹)	Produzione oraria effettiva (t h ⁻¹)
1	53,66	3,43	1,02	54,73
2	33,45	3,62	1,08	36,13
3	51,97	3,00	0,90	46,77
4	95,94	1,55	0,46	44,13
5	49,42	2,59	0,77	38,05

Tabella 2 - Parametri operativi della falciatrici-caricatrice e produttività degli impianti.

Tesi	Specie	Sfrangiamento (%)				Spacco (%)			
		1	2	3	4	1	2	3	4
1	<i>P. nigra</i>	8,86	1,54	-	-	6,96	-	-	-
2	<i>S. alba</i>	15,74	1,11	-	-	12,76	-	-	-
3	<i>F. oxyphylla</i>	11,01	3,46	-	-	2,22	1,11	-	-
4	<i>E. occidentalis</i>	10,61	1,18	-	-	5,89	6,25	-	-
5	<i>R. pseudoacacia</i>	12,31	1,05	2,11	-	5,03	-	-	-

Tabella 3 - Ripartizione percentuale dei danni alle ceppaie.

Bibliografia

BISOFFI S., FACCIOTTO G., 2000 - **I cedui a turno breve (SRF)**. Sherwood, 59:21-23.

BROECKX L.S., VERLINDEN M.S., CEULEMANS R., 2012 - **Establishment and two-year growth of a bio-energy plantation with fast-growing Populus trees in Flanders (Belgium): Effects of genotype and former land use**. Biomass and Bioenergy 42:151-163.

FACCIOTTO G., BERGANTE S., GRAS M.A., LIOIA C., MUGHINI G., MEZZALIRA G., NERVO G., 2006a - **Biomass production for energy purposes in Italy**. In Proceedings of the Great Wall Renewable Energy Forum held in Beijing, China 23-27 October 2006. 5 p.

FACCIOTTO G., BERGANTE S., GRAS M.A., LIOIA C., ROSSO L., MUGHINI G., ZENONE T., NERVO G., 2006b - **Produttività di cloni di pioppo e salice in piantagioni a turno breve**. Forest@, 3(2): 238-252.

FACCIOTTO G., GIORGELLI A., VIETTO L., ALLEGRO G., CASTRO G., PICCO F., 2006c - **Nuovi cloni di pioppo**. Agricoltura, 34(6):71-78.

FACCIOTTO G., BERGANTE S., GRAS M.A., MUGHINI G., NERVO G., 2007 - **Le principali specie per la produzione di biomassa**. L'Informatore Agrario, 63:36-37.

KLASS D.L., 1998 - **Biomass for renewable energy, fuels, and chemicals**, Academic Press, San Diego, California.

MARESCHI L., PARIS P., SABATTI M., NARDIN F., GIOVANARDI R., MANAZZONE S., MUGNOZZA G., 2005 - **Le nuove varietà di pioppo da biomassa garantiscono produttività interessanti**. L'Informatore Agrario, 18:49-53.

KEYWORDS: SRF, harvesting, energy crops.

Abstract: *Harvesting of different short rotation forestry species with Claas Jaguar*

The harvest is one of the most important phases of the productivity process. In this regard, the self propelled chipper Claas Jaguar is considered one the most suitable machine for this purpose.

In 2013 a comparative harvesting trial was organized to test the machine performance in five different Short Rotation woody crops. The highest work speed has been recorded during the poplar harvesting (4.24 km h^{-1}), while lower work speed was recorded during the eucalyptus harvesting test (1.55 km h^{-1}). In terms of woody biomass, eucalyptus was the most productive species among those studied. Hence, if on one hand the eucalyptus required to work at low speed, on the other hand its high yield per linear meter did not affect the performance in terms of hourly productivity.

Le ceppaie come fonte alternativa di biomassa da combustione

LUIGI PARI, FRANCESCO GALLUCCI, GIANNI PICCHI,
RAFFAELE SPINELLI, ANTONIO SCARFONE, MAURIZIO BARONTINI

Nell'ottica del recupero dei residui agricoli per la produzione bioenergetica, le ceppaie residuali potrebbero rappresentare una valida fonte di approvvigionamento. Diventa quindi necessario individuare macchinari idonei al recupero di questi residui e quantificare le loro rese energetiche.

PAROLE CHIAVE: ceppaie, sradicatore, bioenergia, residui.

Nella gestione di piantagioni arboree l'eliminazione delle ceppaie rappresenta l'ultima operazione da effettuare prima di lavorare il terreno e porlo nuovamente a coltura. Oggigiorno esistono diverse tecniche di eliminazione delle ceppaie: queste tecniche si basano principalmente sulla triturazione o sull'estrazione del residuo culturale (SPERANDIO *et al.* 2012). Nel primo caso, l'intera biomassa legnosa derivante dalla radice dell'albero viene tritata e lasciata nel terreno. Nel secondo caso invece **le ceppaie estratte possono essere recuperate, stoccate e cippate per essere successivamente utilizzate come biomassa solida da combustione**, recuperando in parte gli oneri della lavorazione. Attualmente, l'estirpazione delle ceppaie può essere eseguita sia con escavatori che con macchine operatrici specifiche. La ditta "Gottardo sas" ha ideato di recente una macchina per l'espianto delle ceppaie esauste. Tale macchina, denominata sradicatore GOTTARDO SR 500 HT (foto 1), è nata per rispondere all'esigenza specifica del territorio regionale veneto allo scopo di espantare le ceppaie dei vigneti a fine ciclo (PICCHI *et al.* 2012). Sebbene più complicata dal punto di vista operativo, la rimozione del materiale è preferibile in quanto essa permette di ridurre il rischio di diffusione di virus radicali come il mal d'esca (CALZARANO *et al.* 1997) o la

flavescenza dorata (MORONE *et al.* 2001). Nel progettare lo sradicatore, la Gottardo ha cercato di introdurre nella propria macchina un sistema di lavoro che in un unico passaggio riesca ad estrarre e scuotere le ceppaie dalla terra, le depositi lungo la fila per essere successivamente raccolte e pulisce al contempo il terreno dai sassi.



Foto 1 - Sradicatore GOTTARDO SR 500 HT.

LUIGI PARI, CRA-ING - FRANCESCO GALLUCCI, CRA-ING, francesco.gallucci@entecra.it - GIANNI PICCHI, CRA-ING - RAFFAELE SPINELLI, CNR-IVALSA
ANTONIO SCARFONE, CRA-ING - MAURIZIO BARONTINI, CRA-ING.



Foto 2 - Escavatore O&K RH.

Nell'ambito del progetto SUSCACE, nel Maggio del 2013 presso la tenuta Pioppa di Poggio Renatico (FE) sono state condotte delle prove sperimentali con due diverse macchine operatrici usate per l'espianto di ceppaie residuali di pero, lo sradicatore GOTTARDO SR 500 HT e l'escavatore O&K RH. Le prove hanno avuto lo scopo di valutare la qualità del lavoro svolto dalle due macchine, identificando la quantità di terra residuale rimasta addossata alle radici subito dopo l'espianto. Inoltre, le caratteristiche energetiche del materiale sono state studiate al fine di capire le potenziali rese energetiche e i problemi che si potrebbero incontrare durante la combustione nelle centrali a biomassa.

MATERIALI E METODI

La superficie agraria interessata dai test di estrazione è stata di circa 1 ha, divisa in due appezzamenti aventi caratteristiche pedologiche simili, cioè terreni pianeggianti di medio impasto tendenzialmente sabbiosi. Le ceppaie di pero estratte appartenevano a 4 cultivar differenti, rispettivamente conference, decana, william e kaiser. Il sesto d'impianto delle colture era di 1,10 m sulla fila e 3,75 m tra le file, per un totale di 2.424 ceppaie ad ettaro. L'età delle piante al momento del taglio oscillava tra i 23 ed i 26 anni (fine ciclo produttivo). La Gottardo è una macchina portata posteriormente da un trattore di almeno 200 cv e con una pdp di 1.000 rpm. Il mezzo è costituito da due erpici paralleli, distanziati tra loro di un metro e uniti da una lama basale. All'avanzare della trattore questi elementi compiono il taglio delle radici, isolando le ceppaie in una sezione di terreno di larghezza fissa e per una profondità massima di 75 cm. Sulla lama orizzontale si trovano incernierate 3 barre che nella loro corsa poggiano su di un secondo asse orizzontale fuori terra dotato di denti ricurvi. Quest'asse ha una sezione asimmetrica ed è messo in rotazione da due motori idraulici, causando un moto alternativo nelle barre. L'intera struttura che sostiene l'asse può essere basculante per azione di un martinetto idraulico, variando l'inclinazione durante il lavoro.

Le barre inclinate hanno lo scopo di spingere le ceppaie fuori dal terreno agitandole vigorosamente per favorire il distacco della terra adesa prima di essere espulse posteriormente. La macchina presenta anche due dischi dentati per il taglio delle radici laterali superficiali.

In seguito alle operazioni di estrazione, 240 ceppaie campio-



Foto 3 - Ceppaie appena estratta.

ne (60 per ogni varietà) sono state pesate singolarmente "da sporche", cioè con la terra ancora adesa all'apparato radicale (Foto 3). Queste ceppaie sono state scelte casualmente prelevandone 120 (30 per ogni varietà) da quelle estratte con la GOTTARDO e 120 (30 per ogni varietà) da quelle estratte con l'escavatore.

Successivamente, dopo aver segnato ogni ceppaia con un numero e una lettera, queste sono state caricate su un rimorchio e trasportate in un altro sito aziendale, dove sono state pulite e ripesate.

La pulizia delle ceppaie è avvenuta singolarmente con l'aiuto di un'idro-pulitrice aziendale, ottenendo così un prodotto completamente privo di terra.

In concomitanza alle operazioni di pesatura delle 120 ceppaie, sono stati prelevati e trasportati in laboratorio 20 campioni legnosi di circa 0,8-1 kg ciascuno (5 per ogni varietà), al fine di valutarne alcune caratteristiche chimico-fisiche come il potere calorifico superiore e inferiore, il contenuto in ceneri e l'umidità.

Inizialmente, prelevando circa 500 g da ogni campione, è stata calcolata l'umidità secondo la normativa di riferimento UNI EN 14774-2: 2010. Il resto del campione è stato sottoposto ad un'accurata pulizia dalla terra rimanente per calcolarne il quantitativo esatto di ceneri della sola biomassa vergine. A tal fine, ogni campione è stato sottoposto a diversi cicli di lavaggio da 30 minuti ciascuno, in bagnetto ad ultrasuoni tarato a 40 °C. Una volta ottenuto il campione legnoso privo di terra, questo è stato completamente seccato in stufa e quindi ne è stato analizzato il contenuto di ceneri secondo la normativa UNI EN 14775: 2010 mediante un forno a muffola.

Infine, il legno delle diverse cultivar di ceppaie di pero è stato sottoposto allo studio del potere calorifico superiore e inferiore secondo la normativa UNI EN 14918: 2010.

RISULTATI E DISCUSSIONI

A causa delle intense precipitazioni avvenute durante tutto il periodo invernale-primaverile, il terreno nei giorni della prova non si presentava nelle condizioni ideali di espianto. Per tale ragione la terra adesa alle radici è apparsa più elevata rispetto alle condizioni ottimali di lavorazione. Mediamente ogni ceppaia presentava una quantità di legno pari a 5 kg circa (media di 240 campioni puliti senza distinzione per varietà),

per un totale di circa **12 t ha⁻¹ di biomassa**. Distinguendo il calcolo per varietà, la decana ha mostrato una produzione di legno radicale maggiore, con 17 t ha⁻¹, mentre la kaiser ha mostrato delle produzioni di legno radicale inferiori, con circa 8 t ha⁻¹ di legno prodotte.

Nel Grafico 1 sono riportate le percentuali in peso di terra rimasta attaccata alle differenti varietà di ceppaie di pero estratte con le due macchine.

Nei campioni estirpati con la macchina GOTTARDO le percentuali di terreno oscillavano tra il 53 e il 72% rispetto alla massa legnosa, mentre in quelli estirpati dall'escavatore le percentuali andavano dal 57 al 77%.

L'analisi energetica del prodotto privo di terra ha evidenziato che tutte le varietà di ceppaie di pero presentano un elevato contenuto in ceneri, ma denotano comunque un buon potere calorifico paragonabile ai classici prodotti legnosi utilizzati come biomassa per la combustione in caldaia (Tabella 1).

CONCLUSIONI

Queste prime prove hanno messo in luce la considerevole quantità di biomassa legnosa ottenibile per ettaro dalle ceppaie di pero a fine ciclo. Inoltre il lavoro ha evidenziato che la presenza degli organi scuotitori, nelle operatrici sviluppate per l'espianto delle ceppaie, possono diminuire la quantità di terra che rimane adesa dopo l'estrazione. Tuttavia, la differenza minima mostrata dai test sulla qualità del lavoro svolto tra le due macchine, rende necessario eseguire ulteriori prove in terreni non eccessivamente umidi.

I quantitativi di biomassa ottenibili, sebbene presentino un elevato contenuto in ceneri, possono essere considerati una valida fonte energetica locale, qualora si metta a punto un sistema operativo che permetterà di ottenere un prodotto privo di terreno. A tal riguardo è in fase di valutazione la possibilità di migliorare la qualità di tale prodotto, sia dal punto di vista delle caratteristiche energetiche che della pulizia dai detriti, attraverso un **periodo di stoccaggio in campo** intermedio tra le fasi di espianto e di conversione energetica.

Bibliografia

CALZARANO F., DI MARCO S., 1997 - **Il mal dell'esca della vite: stato della ricerca**. Informatore Fitopatologico, XLVII (9), 9-20.

MORONE C., GOTTA P., MARZACHI C., 2001 - **Riconoscimento dei sintomi di inizio stagione della Flavescenza Dorata**. Informatore Agrario, 17: 83-86.

PICCHI G., SPINELLI R., 2012 - **Sradicatore Gottardo all'opera per fare biomassa da espianti**. Informatore Agrario, 40: 27-30

SPERANDIO G., VERANI S., 2012 - **Triturazione delle ceppaie di pioppo: analisi dei tempi e dei costi dell'operazione**. Forest@ 9: 293-300

UNI EN 14774-2: 2010. **Solid biofuels, Determination of moisture content - Oven dry method**, Part 2: Total moisture - Simplified method.

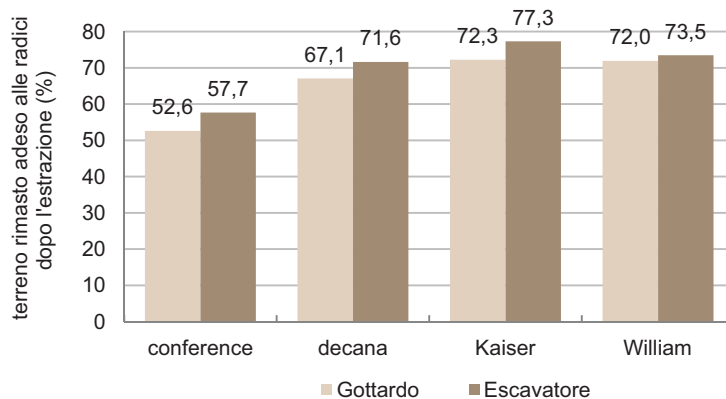


Grafico 1 - Percentuale in peso di terra legata alle ceppaie estratte.

Classificazione	Umidità	Ceneri	PCS	PCI
		(% S.S.)	(Mj Kg ⁻¹)	(Mj Kg ⁻¹)
william	55,00%	7,5	17,94	16,6224
decana	50,70%	7,3	17,42	16,1024
kaiser	54,40%	7,3	17,02	15,7024
conference	50,70%	7,5	16,99	15,6724

Tabella 1 - Analisi chimico-fisiche dei campioni di ceppaie.

UNI EN 14918: 2010. **Solid biofuels, Determination of calorific value**.

UNI EN 14775: 2010. **Solid biofuels - Determination of ash content**.

KEYWORDS: Stumps, stump puller, bio-energy, residues.

Abstract: *Stumps as alternative source of biomass for combustion*

Generally, the stumps removal from an end-of-life orchard is a time consuming work that requires high management costs. Despite these problems, the operation is necessary for restoring suitable soil conditions for arboreal or herbaceous crops.

This study consists of two independent parts: the first part is focused on the comparison of the work performed by a stumps puller prototype and a traditional excavator. The second part of the study deal with the energetic characterization of the extracted roots.

The goal of the work is to show the work quality of mechanization systems for raw material supply, but at the same time it is intended to show the stump energy potential in the agro-energy chain.

The work quality of the machines was evaluated considering the capacity of each machine to produce material as much free of soil as possible after the extraction. The energetic characterization was evaluated with respect to moisture content, gross and net calorific value, chemical composition, and ash content.

Wood/soil ratio was slightly higher in stumps extracted with the stump puller prototype. The energetic characterization revealed high ash content, while the other parameters resulted in line with those of typical energetic broadleaves.

The study highlights also the necessity of outdoor stumps storage because immediately after extraction they still include too much soil and moisture for efficient conversion. Further studies should address the effect of open air storage, so that one can balance reduced soil contamination and moisture content with dry matter losses.

Jatropha curcas L.

Review dei sistemi di raccolta esistenti

LUIGI PARI, ALESSANDRO SUARDI,
ANTONIO SCARFONE, ENRICO SANTANGELO

La *Jatropha curcas* L. ha assunto un grande importanza nel settore delle bioenergie. La raccolta rimane ancora un aspetto critico, ma alcune soluzioni di meccanizzazione sono ad oggi disponibili.

PAROLE CHIAVE: jatropha, meccanizzazione raccolta, biodiesel.

La jatropha (*Jatropha curcas* L.) è un piccolo albero appartenente alla famiglia delle Euphorbiaceae, di origine tropicale la cui specie è attualmente distribuita in Centro e Sud America, Africa, India e Sud Est asiatico (CANO-ASSELEIHY *et al.* 1989). Essendo tossica in tutte le sue parti e non edibile, la pianta viene utilizzata per scopi non alimentari, spesso con funzione di recinto naturale per gli animali all'interno di aziende agricole (HELLER 1996). La sua non commestibilità la rende

idonea per funzioni ecologiche di protezione (controllo dei fenomeni erosivi, miglioramento dei bilanci idrici, difesa della biodiversità, filtraggio dell'aria) senza competere con colture destinate alla produzione alimentare. In tempi recenti la jatropha è stata oggetto di studio nell'ambito di diversi progetti finalizzati alla promozione di fonti energetiche alternative, in quanto, oltre alla capacità di svilupparsi in ambienti marginali e con bassi livelli di *input* produttivi, l'olio può essere facilmente estratto dai semi e convertito in biodiesel (AZAM *et al.* 2005; TIWARI *et al.* 2007). Nel complesso pertanto **la jatropha potrebbe rappresentare un'importante opportunità di crescita economica per quei paesi in via di sviluppo dove la pianta trova le migliori condizioni climatiche per la crescita** (regioni tropicali e subtropicali con limiti di coltivazione 30°N e 35°S).

Attualmente la tecnica agronomica per la coltivazione della jatropha non è ancora ben definita. In particolare, la raccolta risulta uno degli aspetti più complessi legati all'allevamento di questa specie. I frutti (capsule), raccolti in grappoli, sono pronti per la raccolta circa 90 giorni dopo la fioritura quando il loro colore vira dal verde al giallo/marrone (Foto 1). A causa della scalarità di maturazione è possibile trovare sulla stessa pianta infruttescenze in cui sono presenti contemporaneamente frutti con gradazioni variabili dal verde al nero. Nelle regioni semi-aride, come avviene ad esempio in Africa settentrionale, questa fase può protrarsi per due mesi con



Foto 1 - Maturazione scalare dei frutti della jatropha (fonte: <http://parochialsarawakian.files.wordpress.com/2011/10/jatropha.jpg>)

LUIGI PARI, CRA-ING, luigi.pari@entecra.it - ALESSANDRO SUARDI, CRA-ING - ANTONIO SCARFONE, CRA-ING - ENRICO SANTANGELO CRA-ING.



Foto 2 - Scuotitore meccanico della Dotan Technologies per la raccolta selettiva del seme di jatropha (fonte: www.dotantech.com/htmls/page_627.aspx?c0=13285&bsp=13035&bss53=13035)



Foto 3 - Semovente Korvan 9240, sviluppata dalla Oxbo Int. Corp. (fonte: www.oxbocorp.com)

raccolte settimanali. Inoltre, la produzione annua dei frutti per unità di superficie può risultare estremamente variabile (Tabella 1), come sottolineato da uno studio IFAD (2010) che valuta la produttività/pianta variabile da 0 a 850 g di seme secco.

Il Consiglio per la ricerca e la sperimentazione in agricoltura, Unità di ricerca per l'Ingegneria agraria (CRA-ING) partecipa al progetto dimostrativo europeo "JatroMed - Evaluation of the energy crop *Jatropha curcas* as a mean to promote renewable and sustainable energy for the Mediterranean region" (www.jatromed.aau.gr). JatroMed ha una durata di 4 anni e coinvolge 5 Paesi della regione Mediterranea: Grecia (coordinatore di progetto), Italia, Egitto, Marocco e Algeria. L'obiettivo principale è quello di rafforzare e favorire le condizioni naturali e socio-economiche delle aree dell'Africa settentrionale interessate, fornendo al tempo stesso alle popolazioni locali l'opportunità di produrre energia in maniera sostenibile al fine di soddisfare le necessità dei singoli paesi. Scopo del presente lavoro è quello di illustrare i principali sistemi di raccolta per la *Jatropha curcas* L. esistenti o in via di sviluppo, come previsto dagli obiettivi del progetto JatroMed, indicare i principali vantaggi e svantaggi e suggerire le soluzioni ritenute più idonee per il settore agricolo dei paesi in via di sviluppo.

SISTEMI DI RACCOLTA DISPONIBILI

Raccolta manuale

Generalmente i frutti della jatropha vengono raccolti manualmente o attraverso l'ausilio di bastoni per raggiungere quelli situati troppo in alto. L'altezza della pianta può variare tra i 3 ed i 5 m, ma, in condizioni favorevoli e in assenza di competizione, può svilupparsi fino a 8-10 m. Per limitare la crescita si ricorre a sistemi di potatura che tendono a concentrare i centri di accrescimento e la produzione. **Per anni la raccolta manuale è stato l'unico sistema adottato, rimanendo tuttora il più diffuso nei paesi in via di sviluppo.** I dati relativi alla raccolta manuale evidenziano notevoli variazioni di rendimento giornaliero, in funzione delle caratteristiche dell'impianto, della varietà coltivata, della produttività e delle condizioni climatiche. Secondo le esperienze condotte nell'ambito del progetto FACT (OUWENS *et al.* 2007), in piantagioni ben gestite la produzione giornaliera per persona può

raggiungere valori di 40-70 kg, scendendo fino a 20-30 kg in coltivazioni che hanno uno scarso livello di manutenzione. Va sottolineato che nei paesi meno sviluppati la raccolta della jatropha è un'attività demandata alle donne mentre agli uomini sono riservati compiti prettamente tecnici come le pratiche agronomiche, la guida dei trattori e il processamento della produzione (NL Agency 2010).

La raccolta manuale può considerarsi valida per impianti di piccola taglia, permettendo una raccolta estremamente selettiva, ma in un'ottica di sviluppo della piantagione per scopi energetici sarebbe opportuno aumentare l'efficienza, riducendo i tempi di lavoro e la fatica per gli operatori, attraverso l'introduzione di sistemi di raccolta meccanizzata.

Raccolta meccanica

Questa soluzione, che massimizza l'intensità di meccanizzazione, non è applicabile in tutte le condizioni colturali, necessitando di sistemi di allevamento *ad hoc*. L'aspetto tecnico che influenza maggiormente l'impiego di una meccanizzazione spinta della raccolta è il sesto d'impianto. Nei sistemi semi-aridi a bassa intensità produttiva vengono utilizzate distanze d'impianto variabili da 3,0 x 2,0 m a 3,0 x 2,5 m o 3,0 x 3,0 m (BRITTAINE e LUTALADIO 2010). Generalmente in un impianto di elevata densità (circa 1.100 piante ha⁻¹), idoneo alla raccolta meccanizzata, è importante mantenere una distanza tra le piante sufficiente ad evitare la concorrenza di luce e spazio, e un'altezza massima di 2 m. In questo caso dunque sarebbe opportuno prevedere un sesto con almeno 4 m di distanza tra le file, riducendo la spaziatura tra le piante sulla fila a 1,5 m (PARAMATHMA *et al.* 2004).

Molte macchine attualmente utilizzate sono prototipi di cui

Fonte	Resa (t ha ⁻¹)	Note
OPENSHAW 2000	0,4-12,0	
HELLER 1996	0,1-8,0	Poche informazioni sulla varietà, l'età dell'impianto, il tipo di potatura, le condizioni climatiche
TEWARI 2007	2,0-3,0	Resa media in condizioni semi-aride
JONGSCHAAP 2007	7,8	Condizioni ottimali
OUWENS 2007	6,0-7,0	Buone condizioni
ACHTEN 2008	5,0	Buone condizioni del suolo e elevate precipitazioni
WANI <i>et al.</i> 2008	1,0	Resa media in condizioni semi-aride (Andhra Pradesh, India)
GHOKALE 2008	1,25	Nashik (India)

Tabella 1 - Produzioni di seme di jatropha risultati da vari studi (BRITTAINE 2010).



Foto 4 - Modello Joonas, una raccogliitrice della Rakennustempo Oy Ltd. (fonte: www.rakennustempo.fi)

quindi non si dispongono informazioni complete. La Dotan Technologies è un'azienda israeliana che ha sviluppato un modello di scuotitore fornito di una presa che afferra il tronco della pianta sul quale produce su una vibrazione sufficiente a far cadere i frutti maturi in modo selettivo (Foto 2).

Altre aziende hanno sviluppato delle macchine commerciali derivanti da vendemmiatrici scavallatrici oppure da macchine impiegate per la raccolta del caffè, opportunamente modificate, generalmente provviste di sistemi di scuotimento orizzontale. Tra i modelli già utilizzati in campo, la Korvan 9240, sviluppata dalla casa statunitense Oxbo Int. Corp. è una macchina semovente (Foto 3) della larghezza di 3,5 m e con un peso complessivo di 6.000 kg. La Korvan possiede un ampio serbatoio capace di incamerare fino a 500 kg di prodotto, ha una capacità operativa di 0,15 - 0,6 ha h⁻¹, una velocità di lavoro di 1-3 km h⁻¹ e, secondo quanto indicato dalla ditta produttrice, il consumo di carburante può variare tra i 9 e 12 l h⁻¹. La macchina per lavorare necessita di un sesto d'impianto di 3 x 1,5 m e uno spazio per le manovre a bordo campo non inferiore a 6 m. L'altezza del tronco rappresenta un aspetto fondamentale che va controllato curando la potatura di formazione. Al fine di ottenere buone performance della macchina, il tronco (dal suolo all'inizio delle ramificazioni principali) dovrebbe essere alto 50 cm evitando la presenza di tronchi multipli che possono causare una riduzione dell'efficienza di raccolta di circa il 25%. Le piante non devono superare un'altezza di 3 m.

Il modello Joonas della società finlandese Rakennustempo Oy Ltd (Foto 4), è una raccogliitrice già testata in Ghana nel periodo tra il 2008 e il 2010. Secondo quanto indicato dall'azienda, la macchina ha una capacità di lavoro di 0,5-0,8 ha h⁻¹, corrispondente al lavoro di 100-150 operai. Come per la precedente, anche la Joonas necessita di piante con un'altezza del tronco non inferiore a 50 cm al fine di ottenere buone capacità operative e un sesto d'impianto di 3,5 x 1-1,5 m.

La Jatropa Wave Harvester dell'americana BEI (Foto 5) è una raccogliitrice in grado di effettuare, secondo quanto dichiarato dal costruttore, una raccolta selettiva delle capsule mature lasciando i rimanenti frutti sulla pianta per un



Foto 5 - Raccogliitrice BEI Jatropa Wave (fonte: www.beintl.com).

successivo intervento. La capacità operativa indicata è di circa 1 ha h⁻¹ e il consumo medio risulta intorno ai 7,5 l h⁻¹. Il sistema di raccolta impiegato dalla BEI, denominato CSS (*Centipede Scale System*), è stato espressamente studiato per ridurre al minimo i danni alle piante. Anche per la BEI risulta importante operare con sestri d'impianto ben definiti (1,5-2 x 3 m) dove le piante non superino i 2,5 m e gli appezzamenti abbiano uno spazio per le voltate a bordo campo di almeno 7,5 m. Alla macchina è possibile applicare un kit ideato per effettuare una potatura meccanica della jatropa.

Le macchine descritte costituiscono solo un esempio delle soluzioni attualmente disponibili per la piena meccanizzazione della coltura, ma non esauriscono il panorama meccanico che, per la jatropa, è in continua evoluzione. **La sostenibilità della raccolta completamente meccanizzata è condizionata principalmente dalle caratteristiche socio-economiche.** Essa presenta sicuramente dei vantaggi (maggiore efficienza, drastica riduzione della richiesta di intervento manuale, abbattimento di tempi morti con una raccolta continuativa, riduzione dei costi di produzione), ma è applicabile solo in contesti agricoli avanzati. Infatti i costi di queste raccogliatrici si aggirano intorno ai 150.000-200.000 \$ e la loro utilizzazione richiede un'organizzazione aziendale (dimensione dei campi, disponibilità di facilities per lo stoccaggio, presenza di organizzazione logistica) di tipo imprenditoriale. Tale soluzione non è, infatti, proponibile nelle aree sottosviluppate in cui la jatropa può trovare le più idonee condizioni di crescita e per le quali può risultare una potenziale fonte di reddito.

Raccolta agevolata

Un approccio di meccanizzazione intermedia, basata sull'**utilizzo di sistemi di macchine agevolatrici**, può rappresentare un **buon compromesso tra la raccolta manuale e la raccolta completamente meccanizzata**. Tale approccio appare una soluzione valida e proponibile nei sistemi agricoli di paesi in via di sviluppo (ad es. i paesi mediterranei del nord Africa) in cui è auspicabile **mantenere l'occupazione dei nuclei familiari rurali, migliorandone al contempo le condizioni e l'efficienza di lavoro**.

Il metodo comprende un numeroso gruppo di dispositivi,

con diverse forme e funzioni, solitamente utilizzato in tutta la regione del mediterraneo per la raccolta delle olive o di altra frutta a guscio. Tali attrezzi provocano la caduta di frutta attraverso **lo scuotimento dei rami o la percussione diretta dei frutti**. Possono essere alimentati da un motore elettrico, da un sistema pneumatico, o motori a benzina. Oltre al limitato impegno economico richiesto per l'acquisto e la manutenzione, risultano anche agevoli da utilizzare consentendo delle prestazioni superiori rispetto alla raccolta manuale. Nel caso della jatropha **non esistono attualmente in commercio agevolatori capaci di raccogliere i frutti della pianta in modo selettivo** e anche le evidenze bibliografiche risultano piuttosto scarse. Due recenti studi (RAMU *et al.* 2011; HONG 2011) hanno analizzato i parametri fisici coinvolti nell'abbattimento selettivo dei frutti maturi utilizzando sistemi di scuotimento dei rami fruttiferi, giungendo alla conclusione che la selettività è funzione di due grandezze: l'ampiezza di scuotimento (mm) e la frequenza (Hz). Essendo la pianta della jatropha estremamente elastica (0,332 GPa) e con un legno dalla bassa densità (0,34 g cm⁻³), la frequenza è dipendente in maniera inversa dall'ampiezza di scuotimento, in quanto maggiore è l'ampiezza impiegata, minore è la frequenza necessaria per far cadere le capsule mature (RAMU *et al.* 2011). La vibrazione può essere inoltre applicata in ogni parte del ramo fruttifero senza condizionare il risultato finale, mentre **lo stato di maturazione, la lunghezza del picciolo, il diametro del ramo fruttifero e la posizione del frutto all'interno del grappolo influenzano in modo rilevante l'energia necessaria per far cadere i frutti e quindi i range di frequenza e ampiezza da utilizzare**.

Sebbene, nel caso della jatropha, la determinazione di frequenza e ampiezza idonee risulti complessa, RAMU (2011) ha osservato che un *range* di ampiezze comprese tra i 2,5 cm e 5,5 cm in combinazione a frequenze variabili da 1,4 a 6,5 Hz consentiva la caduta dei frutti maturi. Valori di frequenza superiori portavano alla caduta anche dei verdi, con danni alla pianta e defogliazione. In uno studio simile, HONG (2011), utilizzando un'ampiezza di 6,43 cm e una frequenza di 2,2 Hz ha ottenuto il 74% di abbattimento dei frutti marroni maturi, il 68% dei gialli maturi e il solo 3% dei verdi immaturi.

Prove preliminari di raccolta su jatropha (var. Mali) effettuate in Marocco dal CRA-ING nell'ambito del progetto JatroMed, hanno evidenziato come la differenza di FDF W⁻¹ (rapporto tra la forza di distacco del frutto e il suo peso) esistente tra frutti gialli maturi (1,17 N kg⁻¹) e verdi non maturi (2,54 N kg⁻¹) sia molto più ridotta rispetto a quella osservata in altre piante da frutto (POLAT *et al.* 2007a e b; SESSIZ *et al.* 2006). La conoscenza del rapporto FDF W⁻¹ è fondamentale per la progettazione di un dispositivo per la raccolta mediante scuotimento e, nel caso specifico, la ridotta differenza tra capsule verdi e gialle, è un'indicazione sulla difficoltà di individuazione dei corretti valori di frequenza ed ampiezza in relazione alla selettività rispetto al grado di maturazione. Una raccolta di tutti i frutti maturi tramite scuotimento, comprenderà quasi sempre una certa quota di frutti verdi immaturi che presenteranno un valore di FDF W⁻¹ simile a quelli maturi.

Il CRA-ING ha già effettuato *test* preliminari di raccolta dei



Foto 6 - Abbacchiatore elettrico modificato dal CRA-ING, utilizzato nei test preliminari di raccolta agevolata.

frutti di jatropha utilizzando abbacchiatori elettrici modificati in scuotitori (Foto 6). Dai primi risultati è emerso che l'impiego di alte frequenze non possono compensare bassi valori di ampiezza. Futuri studi si concentreranno sulla valutazione di abbacchiatori idonei alla percussione diretta dei frutti, studiando la forma e i materiali più appropriati per i rastrelli, nonché la velocità di movimento degli stessi.

Al fine di definire una filiera completa, dalla raccolta al conferimento del prodotto, dovrà essere programmata anche l'agevolazione della movimentazione del materiale utilizzando piccoli rimorchi per il temporaneo stoccaggio e spostamento del prodotto raccolto.

DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Le potenzialità economiche della coltivazione della jatropha come coltura energetica sono particolarmente interessanti, soprattutto per i paesi in via di sviluppo. Affinché la coltura si affermi è necessario agire sia dal lato del miglioramento genetico della specie (individuazione ed introduzione di caratteri che favoriscano la contemporaneità di maturazione) sia sull'ottimizzazione della tecnica colturale, con particolare riferimento alla raccolta delle capsule.

L'attenzione verso questa coltura ha favorito lo sviluppo di sistemi di raccolta meccanici sempre più automatizzati, migliorando così l'efficienza del lavoro, le condizioni operative degli addetti alla raccolta ed i costi di produzione. Tuttavia, tenendo conto dei tratti distintivi della specie, adattata ai climi dei paesi in via di sviluppo della fascia tropicale e subtropicale dove potrebbe risultare una potenziale fonte di reddito, la meccanizzazione spinta è un aspetto critico. Infatti, nelle aree rurali e povere, investire sulla raccolta meccanica e sulla manutenzione dei macchinari può risultare insostenibile. Inoltre, una delle principali forme di retribuzione economica per le popolazioni rurali è data dal lavoro manuale. Di conseguenza, l'introduzione di macchine tecnologicamente avanzate può essere in alcuni casi molto rischiosa, sia dal punto di vista dell'efficienza nel lungo periodo (rischio di rotture e mancate riparazioni), sia dal punto di vista sociale, in quanto questa ridurrebbe la disponibilità di lavoro, creando disoccupazione ed instabilità. Per questo motivo, l'approccio scelto dal CRA-ING (raccolta con agevolatori) può essere considerato un buon

compromesso tra la raccolta completamente meccanizzata e l'esclusivo intervento manuale. È un tentativo di **promuovere una meccanizzazione sostenibile adatta al contesto sociale dei paesi in via di sviluppo favorendo il coinvolgimento concreto delle popolazioni locali**. Date le caratteristiche morfologiche e fisiologiche della pianta, il compito appare complesso, ma, ricorrendo ad un corretto approccio razionale e scientifico, risolvibile, con un auspicato miglioramento dei sistemi attualmente impiegati.

Note

Il riferimento a costruttori e modelli di macchine specifici ha lo scopo di aiutare il lettore a valutare correttamente il panorama attuale. Ciò non implica alcun sostegno a favore di costruttori e/o modelli specifici e l'esclusione di macchine simili prodotte da altre aziende.

Bibliografia

- ACHTEN, W.M.J., VERSCHOT, L., FRANKEN, Y.J., MATHIJS, E., SINGH, V.P., AERTS, R., MUYS, B., 2008 - **Jatropha biodiesel production and use**. Biomass and Bioenergy 32:1063-1084.
- AZAM M.M., WARIS A., NAHAR N.M. - **Prospects and potential of fatty acid methyl esters of some non-traditional seed oils for use as biodiesel in India**. Biomass and Bioenergy 2005; 29:293-302.
- BRITTAINE, R. AND LUTALADIO, N., 2010 - **Jatropha: A Smallholder Bioenergy Crop The Potential for Pro-Poor Development - Integrated Crop Management**. IFAD, FAO (Eds.), Vol. 8. ISBN 978-92-5-106438-2.
- CANO-ASSELEIH L.M., PLUMBLY R.A., HYLANDS P.J., 1989 - **Purification and partial characterization of the hemagglutination from seeds of *Jatropha curcas***. Journal of Food Biochemistry; 13:1-20.
- FACT. 2007 - **Position Paper on *Jatropha curcas* L. State of the art, small and large scale project development**. Fuels from Agriculture in Communal Technology (available at <http://www.fact-fuels.org>).
- GHOKALE, D., 2008 - **Jatropha: Experience of Agro-Forestry and Wasteland Development Foundation, Nashik, India**. In: International Consultation on Pro-poor Jatropha Development. 10-11 April 2008, Rome, IFAD (available at <http://www.ifad.org/events/jatropha/>).
- HELLER J., 1996 - **Jatropha curcas L. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops**. Gatersleben, Germany/Rome, Italy: Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research/International Plant Genetic Resources Institute.
- HONG, S., 2011 - **Study of a harvesting mechanization method for *Jatropha curcas* L. using nonlinear optimization**. pp 140. University of California, Davis. Tesi.
- IFAD, FAO. 2010 - **Jatropha: A Smallholder Bioenergy Crop The Potential for Pro-Poor Development - Integrated Crop Management Vol. 8**. ISBN 978-92-5-106438-2.
- JONGSCHAAP, R. E. E., CORRÉ, W. J., BINDRABAN, P. S., BRANDENBURG, W. A. 2007 - **Claims and Facts on *Jatropha curcas* L.**
- NL AGENCY, 2010 - **Jatropha Assessment. Agronomy, socio-economic issues, and ecology**. 157 pp. NL Energy and Climate Change. The Netherlands.
- OPENSHAW, K. 2000 - **A review of *Jatropha curcas*: an oil plant of unfulfilled promise**. Biomass and Bioenergy. 19:1-15.
- OUWENS K. D., FRANCIS G., FRANKEN Y. J., RIJSSENBEEK W., RIEDACKER A., FOIDL N., JONGSCHAAP R., BINDRABAN P., 2007 - **Position paper on *Jatropha curcas***. State of the Art, small and Large Scale project development. Agronomy and genetics, 26-28.
- PARAMATHMA M., PARTHIBAN K.T., NEELAKANTAN K.S., 2004 - **Jatropha curcas**. Forest College & Research Institute, Tamil Nadu Agricultural University, Coimbatore. 48p.
- POLAT R., GÜNER M., DURSUN E., ERDOGAN D., GEZER I., BILIM H.I.C., 2007a - **Mechanical harvesting of almond with inertia type limb shaker**. Asian Journal of Plant Science, 6(3): 528-532.
- POLAT R., GEZER I., GÜNER M., DURSUN E., ERDOGAN D., BILIM H.I.C., 2007b - **Mechanical harvesting of pistachio nuts**. Journal of food engineering, 79: 1131-1135.
- RAMLIM R H, GHANI M N A, RAZALI M H, WAHAB F I A, NGAH N. 2011 - **Determination of vibration properties of *Jatropha curcas* for mechanical harvesting operations**. Songklanakarin J. Sci. Technol. 34 (1), 9-15
- SESSIZ A., ÖZCAN M.T., 2006 - **Olive removal with pneumatic branch shaker and abscission chemical**. Journal of food engineering, 76: 148-153.
- TIWARI AK, KUMAR A, RAHEMAN H. - **Biodiesel production from *Jatropha (Jatropha curcas)* with high free fatty acids: an optimized process**. Biomass and Bioenergy 2007;31:569-75.
- TEWARI, D. N. 2007 - **Jatropha and biodiesel**. 1st ed. New Delhi: Ocean Books Ltd Jongschaap, R.E.E., Corré, W.J., Bindraban, P.S. & Brandenburg, W.A.. Claims and Facts on *Jatropha curcas* L. Wageningen, Plant Research International.
- WANI S., SREEDEVI T. K., MARIMUTHU, S., 2008 - **Pro-poor biodiesel initiative for rehabilitating degraded drylands**. In: International Consultation on Pro-poor Jatropha Development. 10-11 April, Rome, IFAD (available at www.ifad.org/events/jatropha/).

KEYWORDS: jatropha, harvest mechanization, biodiesel.

Abstract: *Jatropha curcas* L.: an overview of the harvesting methods

Physic nut (*Jatropha curcas* L.) is an oleaginous crop belonging to the Euphorbiaceae family, native to Central America and part of South America. In the last decade more and more attention was given to this species because of its properties and uses. In particular *Jatropha* can be employed as feedstock for biodiesel production since its seeds contain till 40% in oil. However, the harvesting of this plant presents several problems, because fruits are in bunches and do not ripen simultaneously. The identification of mechanical solution that allow to facilitate harvesting are still limited. This work aims at presenting an overview of the harvesting methods for *Jatropha*, showing their performance. The second focus of this paper is the logistic of the *Jatropha* harvesting, which has been described and schematized for each harvesting method identified.

The research leads to the identification of three harvesting methodologies according to the level of mechanization applied: manual picking, semi-mechanical harvesting, and mechanical harvesting. Mechanical harvesting carried out with modified grape harvesters resulted very productive, but very costly as initial investment. The semi-mechanical harvesting method was achieved with shaker tools employed to facilitate the fruit detachment. This system resulted much cheaper than the fully mechanized one and quite flexible for small and medium scale applications, but it still requires adjustments for improving the productive performance.

Il legno derivante dalle potature di *Jatropha curcas* L.

Una risorsa da valorizzare

LUIGI PARI, ALESSANDRO SUARDI, FRANCESCO GALLUCCI,
RAFFAELLA BELLACIMA, FEDERICO BLESÌ

La jatropha è una pianta multifunzionale utilizzata anche per la produzione di bio-diesel. Tra i sottoprodotti generati dalla sua coltivazione, il legno ottenibile dagli interventi di potatura rappresenta una risorsa ancora poco sfruttata.

PAROLE CHIAVE: *Jatropha curcas*, L.; legno di potatura; caratteristiche chimico-fisiche; punto di fusione delle ceneri.

La biomassa contribuisce in maniera sempre maggiore alla quota di energia primaria globale consumata e la sua importanza è destinata ad aumentare nei futuri scenari energetici mondiali (VASUDEVAN *et al.* 2005). Il grande interesse verso le biomasse, ed in particolar modo nei confronti dei biocombustibili, è dovuto in gran parte alla richiesta globale di riduzione della dipendenza dai combustibili fossili e dalle emissioni di CO₂. In aggiunta anche ragioni geopolitiche e socio-economiche sono state responsabili del crescente sviluppo di queste fonti energetiche (VERRASTRO e LADISLAW 2007). Inoltre, è ben noto che attualmente non esistono alternative tecnicamente praticabili ai biocarburanti liquidi, come fonti di energia rinnovabili per il trasporto, soprattutto quello pesante (es. trasporto merci, trasporto aereo).

La crescente attenzione verso questi temi ha portato anche allo sviluppo di politiche che aprono alla possibilità di utilizzare i biocarburanti provenienti da paesi in via di sviluppo, per soddisfare gli obiettivi prefissati durante i Summit internazionali per la riduzione delle emissioni di CO₂ globali (es. l'UNFCCC *Clean Development Mechanism*). Questi sviluppi hanno portato la comunità scientifica a interrogarsi sulla reale sostenibilità dei biocarburanti per il trasporto, rispetto ai convenzionali combustibili fossili. Diversi studi hanno infatti evidenziato le criticità e i rischi economici (es. protezionismi,

sussidi, incremento dei prezzi agricoli), sociali (es. sicurezza alimentare, condizioni di lavoro) e ambientali (es. consumo delle risorse idriche, perdita della biodiversità, emissioni climateranti), che queste nuove fonti energetiche comporterebbero (STEPHENS *et al.* 2001; UN-ENERGY 2007; FARGIONE *et al.* 2008; FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS 2008, MITCHELL 2008). Alcune materie prime



Foto 1 - Piantazione di jatropha nei pressi di Essaouira, Morocco.

LUIGI PARI, CRA-ING, luigi.pari@entecra.it - ALESSANDRO SUARDI, CRA-ING - FRANCESCO GALLUCCI, CRA-ING - RAFFAELLA BELLACIMA, CRA-ING - Federico Blesi, CRA-ING.

per la produzione dei biocarburanti sono state criticate nel dibattito "Food vs Fuel", laddove colture tradizionalmente alimentari venivano impiegate per la produzione di biocarburanti liquidi (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS 2008).

In questo dibattito ancora aperto, la *Jatropha curcas* L., qualora venisse coltivata in terreni marginali, rappresenta un'eccezione (Foto 1). La *Jatropha* infatti è un piccolo albero tropicale della famiglia delle Euphorbiaceae che produce frutti contenenti semi oleosi. L'olio ottenibile da questi ultimi non è adatto per il consumo umano o animale (MAKKAR *et al.* 2008). L'estrazione dell'olio è possibile attraverso tecnologie semplici, e può successivamente essere impiegato tal quale in motori Diesel di vecchia concezione o convertito in biodiesel (SRICHAROENCHAIKUL *et al.* 2007) ma può essere impiegato anche per la produzione del sapone (OPENSHAW 2000). La pianta tollera bene la siccità e si adatta a crescere anche in terreni degradati o marginali, normalmente con un basso valore naturalistico e inadatti per la produzione alimentare. La capacità di produrre contemporaneamente biodiesel, bonificare i terreni dagli inquinanti e dall'erosione, e potenzialmente migliorare lo sviluppo socio-economico di aree rurali disagiate (FRANCIS *et al.* 2005) hanno portato negli anni grande popolarità alla *Jatropha*, e ne hanno permesso una diffusione in grande scala nei paesi tropicali e sub-tropicali che rientrano nel suo areale di sviluppo.

La *Jatropha* è considerata per questo una pianta multifunzionale dalla quale è possibile ricavare interessanti sottoprodotti. Il pannello proteico ottenuto durante l'estrazione dell'olio, può essere impiegato come fertilizzante (KARAJ e MÜLLER 2011) o, dopo un trattamento che ne elimini la tossicità, può essere usato per l'alimentazione animale (MAKKAR *et al.* 2008). Diverse parti della pianta hanno una valenza medicinale; nella corteccia è presente tannino e i fiori possono essere impollinati dalle api e potenzialmente produrre il miele (OPENSHAW 2000). Come osservato da OPENSHAW, (2000) più attenzione dovrebbe essere data allo sfruttamento completo dei prodotti e servizi che la pianta ha da offrire. Tra questi il legno ottenibile dalle potature rappresenta un residuo non ancora adeguatamente studiato e che potrebbe rivelarsi una risorsa importante.

In bibliografia infatti non sono disponibili molte informazioni riguardo alla valorizzazione del legno. Alcuni autori (KUMAR e SHARMA 2008, BERGE 2006) hanno indicato il legno di *Jatropha* non adatto come combustibile né tal quale perché con bassa densità e caratterizzato da una combustione troppo rapida, né sottoforma di carbonella perché economicamente non conveniente. Sebbene questi studi ne mettono in discussione un eventuale utilizzo per produrre energia, la potatura rappresenta una pratica comune della coltivazione della *Jatropha*, finalizzata a migliorarne la gestione, promuovendo lo sviluppo di ramificazioni laterali e i centri di crescita per aumentarne la produttività.

Considerando che in un ettaro possono essere impiantati fino a 2.500 alberi (GOUR 2006), la quantità di legno che può essere prodotta su un periodo di 6 anni ammonta ad oltre 20 t ha⁻¹ (SOTOLONGO *et al.* 2009). In aggiunta, è pratica comune capitozzare la pianta all'altezza di 45 cm ogni

10 anni per permetterne poi la ricrescita. Questa pratica mette a disposizione una notevole quantità di legno potenzialmente utilizzabile, di circa 80_{ts} ha⁻¹ ogni 10 anni. (JINGURA *et al.* 2012).

Nel presente lavoro si è cercato di fare maggiore chiarezza sulle potenzialità legate all'impiego del legno di potatura di *Jatropha*, partendo dall'analisi delle sue caratteristiche fisico-chimiche. I campioni di legno di *Jatropha* sono stati prelevati nel Novembre 2013, dai campi sperimentali del "Centre de Developpement de la Region de Tensift" (CDRT), situati nei pressi della città di Essaouira (Marocco), nell'ambito del progetto Jatromed⁽¹⁾ (www.jatromed.aua.gr). Si sono quindi individuate le criticità della biomassa e proposte azioni che potrebbero far rivalutare una risorsa attualmente non sfruttata.

MATERIALI E METODI

Le analisi sono state eseguite presso il laboratorio per la caratterizzazione chimico fisica della biomassa del CRA-ING di Monterotondo (Roma) su un totale di 40 campioni prelevati in modo randomizzato da 20 piante di due anni di età, della varietà Mali, costituiti da branche primarie intere di diametro medio di 2,5 cm nella parte basale e 0,8 cm nella parte apicale. Le piante di *Jatropha* in presenza di stress idrici o termici tendono a perdere le foglie per poi ricrearle durante l'inizio della stagione calda; in questo studio sono stati caratterizzati rami aventi ancora le foglie, le quali sono state analizzate a parte.

I rami raccolti sono stati tagliati in tre parti: zona basale, intermedia e apicale, e per ognuna sono state valutate:

- contenuto di umidità;
- potere calorifico superiore (PCS);
- contenuto in ceneri;
- fusibilità delle ceneri;
- analisi elementare.

Contenuto di umidità

Il contenuto di umidità dei campioni è stato determinato in accordo alla normativa UNI EN 14774-2. I campioni pesati, sono stati messi in stufa alla temperatura di 105±2°C e lasciati per 24 ore, fino a completo essiccamento del materiale.

Potere calorifico superiore

La determinazione del potere calorifico è stata effettuata con calorimetro "PARR 6400" in base alla normativa UNI EN 14918, su campioni di pezzatura massima pari ad 1 mm secondo quanto previsto dalla normativa.

⁽¹⁾ Jatromed – "Evaluation of the energy crop *Jatropha curcas* as a mean to promote renewable and sustainable energy for the Mediterranean region" - è un progetto Europeid di quattro anni iniziato nel 2011, finanziato dalla Comunità Europea. I *partners* coinvolti sono cinque paesi che si affacciano sul Mediterraneo: la Grecia (Coordinatore del progetto - AUA), l'Italia (CRA-ING), l'Egitto (MuCSAT), il Marocco (CDRT) e l'Algeria (CDER). Otto genotipi di *Jatropha curcas*, L. provenienti da diverse parti del mondo sono stati impiantati in zone rurali degradate, dei paesi *partners* del progetto. La finalità ultima di Jatromed sarà quella di diffondere la coltura della *Jatropha*, al fine di migliorare le condizioni socio-economiche ed ambientali delle comunità rurali nordafricane, attraverso la produzione sostenibile di energia.

Contenuto di ceneri

La determinazione del contenuto di ceneri è stata effettuata in base alle linee guida della normativa UNI EN 14775, su campioni di pezzatura massima pari ad 1 mm secondo quanto previsto dalla normativa. I crogioli contenenti il campione sono stati scaldati in forno innalzando la temperatura di 7,5°C al minuto fino a 250°C e lasciati a tale temperatura per 1 ora. Poi è stata aumentata la temperatura di 10°C al minuto fino a 550°C per 120 minuti.

Fusibilità delle ceneri

La fusibilità delle ceneri è stata valutata in accordo alla normativa UNI CEN/TS 15370-1 con fornace "SHV 1550".

Il campione di cenere dalla pezzatura di massimo 0,075 mm è stato compresso in uno stampo in modo da formare pastiglie cilindriche di 3-5 mm di altezza e uguale diametro.

La fornace è in grado di raggiungere la temperatura di 1.600°C ed è dotata di videocamera che misura le temperature di deformazione delle ceneri (di inizio, deformazione, emisferica e fluida) in accordo con le vigenti normative.

Analisi elementare

La determinazione del contenuto totale di carbonio, idrogeno, azoto e zolfo è stata effettuata con analizzatore elementare "COSTECH" in base alla normativa UNI EN 15104.

I campioni della pezzatura di massimo 1 mm sono stati pesati con una accuratezza dell'ordine di 10-6 g in microbilancia "Mettler Toledo". Il contenuto di ossigeno è stato determinato per differenza.

RISULTATI E DISCUSSIONI

L'umidità del legno può variare in funzione delle caratteristiche del tipo di legno, del periodo di taglio, del tempo di stoccaggio e delle condizioni climatiche. L'umidità influenza tutte le caratteristiche fisiche, meccaniche, tecnologiche ed incide negativamente sia sulla pulizia delle caldaie sia sulla resa energetica (*condense acide, fouling, sludging* ecc.). Essa infatti diminuisce il potere calorifico della biomassa, a causa dell'energia termica dispersa per far evaporare l'acqua, che viene stimata in 2,4 MJ Kg⁻¹. Nel caso del legno di *jatropha* il contenuto di umidità è risultato estremamente alto (Tabella 1).

Per ridurre il contenuto di umidità nella biomassa destinata alla conversione termochimica, si potrebbe effettuare una raccolta in due tempi delle potature, che preveda l'essiccazione in campo delle piante tagliate fino al raggiungimento dell'umidità necessaria per lo stoccaggio o successivo trattamento. Negli areali di diffusione della *jatropha* (tropicali e sub-tropicali), i residui di potatura potrebbero essere lasciati in andana, per essere poi raccolti ad essiccazione avvenuta, e in concomitanza con la raccolta dei frutti.

Il potere calorifico superiore rappresenta la quantità di energia termica sviluppata dalla combustione di un kg di sostanza secca (a pressione atmosferica considerando nel prodotto della combustione l'acqua allo stato liquido a 15°C) (TODARO *et al.* 2006). Nel caso della *jatropha* il PCS ha un valore più basso rispetto a quello di specie arboree normalmente utilizzate per produrre energia (Tabella 1). Nelle

biomasse legnose i valori del potere calorifico non variano molto e sono compresi tra 18 e 19 MJ Kg⁻¹. Ciò che incide maggiormente ad innalzare tale valore è la componente di lignina che rispetto agli altri composti del legno ha un potere calorifico più elevato (lignina 26,5 MJ Kg⁻¹, cellulosa 17,5 MJ Kg⁻¹ ed emicellulosa 16 MJ Kg⁻¹). Anche la presenza di resine e di sostanze minerali contenute nelle cellule vegetali possono influire sul potere calorifico. Dalle analisi risulta come il PCS medio delle foglie sia più elevato rispetto ai rami. Tale risultato può essere spiegato dal fatto che nelle foglie è presente un maggiore contenuto di estrattivi rispetto al legno (SENELWA e SIMS 1999).

La resa energetica di una biomassa può essere condizionata negativamente anche dalla presenza di un alto contenuto di ceneri (GIORDANO 1980). Il contenuto di cenere rappresenta il materiale inorganico che rimane dopo la combustione del campione. I dati ottenuti dall'analisi della combustione dei rami di *jatropha* (Tabella 1) hanno mostrato un contenuto in ceneri medio dell'8,4%. Anche questo parametro risulta maggiore rispetto ai valori ottenibili dalle biomasse legnose normalmente impiegate per la produzione di energia (0,7-1,4%) (SENELWA e SIMS 1999) ma compatibile con quello di colture erbacee o residui utilizzati per lo stesso scopo (2,2-8,2%) (MANTINEO *et al.* 2009). Le foglie di *jatropha* hanno prodotto un elevato quantitativo di cenere (valore medio di 12,3%).

L'aumento della quantità di cenere influenza negativamente il potere calorifico poiché rappresenta quella frazione del legno che rimane incombusta (DEMIRBAS 1997) e inoltre influisce sulle prestazioni in caldaia. Infine incide anche sui costi di gestione dell'impianto poiché a un elevato contenuto di cenere corrisponderà più materiale da smaltire come rifiuto speciale (CICCARESE 2000). Va però considerato che la cenere contiene importanti quantitativi di potassio e fosforo che potrebbero essere riutilizzati come fertilizzante per restituire al terreno i sali che sono stati sottratti dalla pianta nel momento della crescita; esistono infatti già dei progetti sperimentali per il suo riutilizzo.

Durante il processo di combustione, la cenere subisce delle modificazioni chimico-fisiche che portano ad una deformazione, fino ad arrivare ad una completa fusione delle particelle che la costituiscono. La valutazione della temperatura di fusibilità delle ceneri, risulta un parametro molto importante da indagare, in quanto combustibili con basse temperature di fusione, aumentano i rischi per l'impianto come la formazioni di scorie, incrostazioni, corrosioni della caldaia e depositi di cenere fusa a livello degli scambiatori di calore. I problemi dovuti ai depositi sulla caldaia si distinguono in

Sezioni della pianta analizzate	Umidità (%)	PCS (MJ Kg ⁻¹)	Contenuto di ceneri (%)
Ramo			
zona basale	73,4	16,3	7,8
zona intermedia	77,4	16,0	8,2
zona apicale	84,6	16,4	9,2
Foglie			
zona basale	74,0	18,0	12,8
zona intermedia	78,6	18,1	12,2
zona apicale	75,8	18,1	11,8

Tabella 1 - Variazione del contenuto di umidità nelle varie parti della pianta analizzate.



Foto 2 - Profilo del provino di cenere del legno di jatropha a 1.600°C.

slagging e *fouling*. Il primo indica particelle di cenere fusa che si accumulano alle pareti della caldaia, mentre il *fouling* indica vapori inorganici che si condensano sulle superfici più fredde dell'impianto. Sono entrambi correlati alla facilità della cenere di fondere a basse temperature. La temperatura di fusione delle ceneri è influenzata dalla sua composizione; elementi quali calcio e magnesio aumentano la temperatura di fusione, mentre potassio e sodio la abbassano.

Elevate temperature di fusibilità delle ceneri di biomassa legnosa sono quindi indispensabili per aumentare la resa dell'impianto e ridurre i costi di manutenzione. Le temperature di fusione delle ceneri osservate per i campioni di jatropha, sono risultate superiori a 1.600°C, sia per i rami che per le foglie, aspetto che rende il legno di jatropha adatto per essere utilizzato in caldaia, preservando gli impianti dai fenomeni di *slagging* e *fouling* già indicati (Foto 2).

È stata inoltre effettuata un'analisi elementare (CHNS) per conoscere la composizione di carbonio, idrogeno, azoto e zolfo contenuti nel legno (Tabella 2).

Carbonio, idrogeno e ossigeno sono i costituenti principali delle biomasse legnose e le loro relative concentrazioni variano col tipo di legno. Il carbonio (C) è il componente che contribuisce maggiormente all'innalzamento del potere calorifico ed è correlato alla presenza di cellulosa, emicellulosa e lignina, quest'ultima come già detto, ha un PCS maggiore

	C	H	N	S**	O*
Ramo					
zona basale	47,32	17,04	2,42	-	33,22
zona intermedia	47,08	17,47	2,28	-	33,17
zona apicale	40,35	10,56	1,26	-	47,83
Foglie					
zona basale	39,52	10,64	3,59	-	46,25
zona intermedia	43,13	12,02	4,13	-	40,72
zona apicale	42,18	9,56	3,57	-	44,69

* Valore determinato per differenza.

** < 500 ppm

Tabella 2 - Contenuto % di carbonio, idrogeno, azoto e zolfo.

rispetto alle prime due componenti (TODARO *et al.* 2006). Il contenuto medio di carbonio dei rami e delle foglie di jatropha sono risultati rispettivamente pari al 45% e 42%. I valori tipici per le biomasse sono compresi tra il 44% ed il 50% (AIEL e ARSIA 2009). Anche il contenuto di idrogeno (H) è correlabile alla resa energetica infatti sia C che H, durante la combustione, formano CO₂ ed H₂O con reazioni esotermiche che determinano l'innalzamento del potere calorifico. Il contenuto di azoto (N) nei biocombustibili è abbastanza basso con valori normalmente inferiori all'1%, mentre risulta particolarmente elevato nei cereali e nelle oleaginose dove può raggiungere il 5% (TODARO *et al.* 2006). Per quanto riguarda i campioni di jatropha il contenuto in azoto riscontrato nei rami è intorno al 2%, mentre nelle foglie il valore sale fino al 3,7%, probabilmente per una maggiore concentrazione di proteine (MIRICH 1988). Durante la combustione l'azoto è convertito in N₂ gassoso ed in piccola parte si ossida generando NO_x; le emissioni di questi ultimi rappresentano il principale problema di contaminazione ambientale dovuto alla combustione della biomassa legnosa. Infine la presenza di zolfo (S) può portare alla formazione degli SO_x con dannosi effetti corrosivi sull'impianto, nonché emissioni nocive nell'ambiente. Nei campioni di jatropha analizzati non sono state riscontrate tracce di zolfo per valori superiori ai 500 ppm (limite di sensibilità dello strumento).

Dai risultati fin qui ottenuti si può evidenziare che l'umidità alla raccolta, il modesto potere calorifico e l'elevato contenuto in ceneri, sembrerebbero supportare le considerazioni già riportate da BERGE nel 2006 secondo cui il legno di jatropha non sarebbe adatto come combustibile tal quale, ne tantomeno sottoforma di carbonella perché il processo di trasformazione risulterebbe antieconomico.

Sebbene una logistica finalizzata alla riduzione del contenuto di umidità (raccolta del prodotto in due tempi) e al reimpiego delle ceneri come fertilizzante potrebbe in ogni modo risolvere le problematiche legate a questi due parametri. Infine, per aumentare la quantità di energia per unità di volume, si potrebbe prevedere la concentrazione energetica del materiale tramite pellettizzazione, anche attraverso l'impiego di cantieri mobili di pellettizzazione già proposti da TOSCANO (2013) per il riutilizzo energetico dei sottoprodotti agricoli (agri-pellet). Tramite la pellettizzazione si può ottenere un aumento della massa volumica del prodotto pellettizzato, fino anche a 10-15 volte rispetto alla matrice di partenza, migliorando significativamente la movimentazione della biomassa, la resa energetica e i costi (TOSCANO 2013). I costi di trasporto si abbassano anche come conseguenza del minor contenuto di umidità del pellet (8%-13%). Infine, la combustione del residuo pellettizzato sarà nettamente superiore da un punto di vista energetico e ambientale, rispetto alla biomassa originale. Il potere calorifico del pellet di legno può variare tra 17,6 MJ kg⁻¹ e 20,8 MJ kg⁻¹ e nel caso di pellet di legni tropicali il PCS medio è di 19,9 MJ kg⁻¹ (TELMO e LOUSADA 2011). Infine, l'elevata temperatura di fusibilità delle ceneri risultanti dalla combustione, rappresenta una caratteristica tecnica di grande importanza anche per l'impiego in impianti per la produzione di energia di medie e grandi dimensioni.

CONCLUSIONI

Secondo le analisi chimico-fisiche effettuate sui residui di potatura (legno e foglie) della *Jatropha curcas*, L., si ritiene che questi potrebbero rappresentare una risorsa impiegabile per la produzione di energia. La biomassa legnosa residuale analizzata presenta caratteristiche simili a quella di colture erbacee già sfruttate come combustibili. Attuando adeguati accorgimenti tecnico-logistici si potrebbero migliorarne le caratteristiche: prima tra tutte l'abbassamento del contenuto di umidità, attraverso una raccolta in due tempi del prodotto, mentre le ceneri generate in fase di combustione potrebbero essere reimpiegate come fertilizzante.

Attraverso un processo di pellettizzazione si potrebbe aumentare il potere calorifico del legno di *Jatropha* riducendo anche i costi legati allo stoccaggio. Inoltre, l'elevata temperatura di fusibilità delle ceneri del legno della pianta, rappresenta una caratteristica tecnica di grande importanza, che potrebbe permettere di migliorare le proprietà di un agri-pellet ottenuto da residui agricoli di diversa natura, caratterizzati da temperature di fusibilità delle ceneri più basse.

Futuri studi dovrebbero valutare la sostenibilità economica dell'intera filiera e la potenziale vendita del prodotto nei mercati occidentali dove la richiesta di pellet è in continuo aumento. A causa del più alto contenuto in azoto presente nella biomassa rispetto ad altre colture energetiche, saranno necessari ulteriori approfondimenti per verificare la quantità di NO_x generati durante la fase di combustione.

Bibliografia

AIEL, ARSIA, 2009 - **Legna e Cippato: produzione, requisiti qualitativi, compravendita, manuale pratico**. Progetto Europeo Biomass Trade Centres.

BENGE M., 2006 - **Assessment of the potential of *Jatropha curcas*, (biodiesel tree) for energy production and other uses in developing countries**. Download, [Http://www.echotech.org](http://www.echotech.org).

CICCARÈ L., 2000 - **Effetto della cenere di legna sul substrato d'allevamento e sullo sviluppo in semenzali di douglasia e ornello**. *Sherwood* 53 (2): 39-46.

DEMIRBAS A., 1997 - **Calculations of higher heating values of biomass fuel**. *Biomass & Bioenergy*, *Fuel* 76 (5): 431-434.

FARGIONE J., HILL J., TILMAN D., POLASKY S., HAWTHORNE P., 2008 - **Land clearing and the biofuel carbon debt**. *Science* (319) 1235-1238.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2008 - **The state of food and agriculture Biofuels: prospects, risks and opportunities**. FAO, Rome, Italy. <http://tinyurl.com/dk2o62>.

FRANCIS G., EDINGER R., BECKER K., 2005 - **A concept for simultaneous wasteland reclamation, fuel production, and socio-economic development in degraded areas in India: Need, potential and perspectives of *Jatropha* plantations**. *Natural Resources Forum* (29):12-24.

GIORDANO G., 1980 - **Il legno. Caratteristiche e lavorazioni fondamentali**. Vol. 1. Edizioni Utet. Torino.

GOUR V.K., 2006 - **Production practices including post harvest management of *Jatropha curcas***. *Biodiesel Conference Towards Energy Independence – Focus on *Jatropha**. Rashtrapati Nilayam, Bolaram, Hyderabad; 9-10 June, pp. 223-251.

JINGURA R. M., MUSADEMBA D., MATENGAIFA R., 2012 - **An evaluation of utility of *Jatropha curcas* L. as a source of multiple energy carriers**. *International Journal of Engineering, Science and Technology*, vol. 2 (7): 115-122.

KARAJ S., MÜLLER J., 2011 - **Optimizing mechanical oil extraction of *Jatropha curcas* L. seeds with respect to press capacity, oil recovery and energy efficiency**. *Industrial Crops and Products*, 34(1):1010-1016.

KUMAR A., SHARMA S., 2008 - **An evaluation of multipurpose oil seed crop for industrial**. *Industrial crop and products*.28 (1) 1-10.

MAKKAR, H. P., FRANCIS, G., BECKER, K., 2008 - **Protein concentrate from *Jatropha curcas* screw-pressed seed cake and toxic and antinutritional factors in protein concentrate**. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88 (9):1542-1548.

MANTINEO M., D'AGOSTA G.M., COPANI V., PATANÉ 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.

MITCHELL D., 2008 - **A note on rising food Prices**. The World Bank, Washington, United States of America. <http://tinyurl.com/d64faj>.

OPENSHAW K., 2000 - **A review of *Jatropha curcas*: an oil plant of unfulfilled promise**. *Biomass and Bioenergy* (19): 1-15.

SENELWA K., SIMS R.E.H., 1999 - **Fuel characteristics of short rotation forest biomass**. *Biomass and Bioenergy* (17): 127–140.

SOTOLONGO J.A., BEATÓN P., DIAZ A., DE OCA S.M., DEL VALLE Y., PAVÓN S.G., ZANZI R., 2009 - ***Jatropha curcas* L. as a source for the production of biodiesel: A Cuban experience**. Download <http://hem.fyristorg.com/zanzi/paper/W2257.pdf>.

SRICHAROENCHAikul V., MARUKATAT C., ATONG D., 2007 - **Fuel production from physic nut (*Jatropha Curcas* L.) waste by fixed-bed pyrolysis process**. *Thailand journal*, (3):23-25.

STEPHENS W., HESS T., KNOX J., 2001 - **Review of the effects of energy crops on hydrology**. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, London, United Kingdom. <http://tinyurl.com/c3swc8>.

TELMO C., LOUSADA J., 2011 - **Heating values of wood pellets from different species**. *Biomass and Bioenergy* (35): 2634–2639.

TODARO L., SCOPA A., DE FRANCHI A.S., 2006 - **Caratterizzazione energetica di specie arboree e arbustive di aree collinari e montane della Basilicata**. *Forest@* 4 (1): 42-50.

TOSCANO G., 2013. **Agripellet quale soluzione per il riutilizzo energetico dei sottoprodotti agricoli**. Volume 2 - La valorizzazione dei sottoprodotti nell'ambito agro-zootecnico, industriale ed energetico, 75. Convegno "I Sottoprodotti Agroforestali e Industriali a Base Rinnovabile", Progetto Extravalore del MIPAAF, Ancona, 26-27 Settembre 2013. ISBN: 978-88-906186-5-9.

UN-ENERGY. 2007 - **Sustainable bioenergy: A framework for decision makers**. United Nations, New York, United States of America. <http://tinyurl.com/djlqc8>.

VASUDEVAN P., SATYAWATI S., ASHWANI K., 2005 - **Liquid fuel from biomass: An overview.** Journal of Scientific and Industrial Research 64 (11): 822.

VERRASTRO F., LADISLAW S., 2007 - **Providing energy security in an interdependent world.** The Washington Quarterly 30 95-104.

VIDRICH V., 1988 - **Il legno ed i suoi impieghi chimici.** Eda-Gricole. Bologna.

KEYWORDS: *Jatropha curcas*, L.; wood pruning; chemical-physical characteristics; ash melting point.

Abstract: *Wood pruning of Jatropha curcas L.: a resource to be valorized*

Jatropha is a multipurpose energy crop usually cultivated in tropical and sub-tropical climate. The oil is commonly used as biodiesel but few studies have reported information about the utilization of the wood to produce energy. Usually there are about 2,500 *Jatropha* trees per hectare with a production of about 3 t ha⁻¹ y⁻¹ of woody biomass of pruning. In addition *Jatropha* trees are commonly cut down to a height of 45 cm ones every 10 years, with a production of 80 t ha⁻¹ of dry matter woody biomass. The use of this biomass should be better studied. *Jatropha* woody biomass was collected in an experimental field in Morocco within the JatroMed project. Chemical and physical characteristics of the *Jatropha* woody biomass have been carried out in the laboratory of the CRA-ING institute: Water and ash content as well as the heating value and the concentrations of C, H, N, S have been analyzed. All the measurements were conducted according to standards UNI EN ISO. The research focused on the evaluation of the potential use of *Jatropha* pruning for energy production, and it represents a resource of critical data, useful for future studies and potential business ventures. Moisture, ash content and ash melting point permitted to evaluate the potential utilization of *Jatropha* biomass woody in boiler. The elemental analysis and the heating value allowed to determine the wood characterization and the energetic performance of the wood. The chemical and physical characterization of the *Jatropha* woody biomass from pruning has permitted to clarify the potentialities and the limits of this resource to produce energy.

Colture energetiche a confronto

Analisi ambientale di colza, canna comune e pioppo

LUIGI PARI, ALESSANDRO SUARDI,
RODOLFO PICCHIO, DOMENICO COALOA

In questo contributo si riportano i risultati di una valutazione d'impatto ambientale condotta utilizzando la metodologia del *Life Cycle Assessment* (LCA) delle fasi agricole di tre colture energetiche: colza (*Brassica napus*, L.), canna comune (*Arundo donax*, L.) e pioppo (*Populus* spp.). Lo scopo è stato quello di determinare quale delle tre genera il minor carico ambientale in sostituzione della barbabietola da zucchero.

PAROLE CHIAVE: *Life Cycle Assessment*, colture energetiche, sostenibilità ambientale.

Negli ultimi anni, le politiche comunitarie e nazionali, hanno dato all'agricoltura un ruolo di "serbatoio" di fonti rinnovabili di energia. Le agroenergie possono rappresentare a livello nazionale un'importante fonte di approvvigionamento energetico, ma d'altra parte emergono preoccupazioni per gli impatti che questa polifunzionalità dell'agricoltura può generare sulla disponibilità alimentare, sugli usi del suolo e sull'economia dei territori rurali (FRASCARELLI 2011). Aspetti legati alla sostenibilità delle nuove filiere (sia in termini di produzione che di uso) sono temi oramai noti, e i potenziali impatti ambientali, la sicurezza alimentare e il rischio connesso all'aumento dei prezzi dei prodotti agricoli sono diventati argomenti cruciali capaci di limitare o impedire lo sviluppo del mercato (CHIARAMONTI e RECCHIA 2010). Questo potenzialmente anche a discapito di realtà territoriali adatte per una conversione del terreno finalizzata alla produzione di biomassa per energia. Diverse ricerche hanno dimostrato che i biocombustibili possono comportare un significativo miglioramento ambientale se confrontati con quelli di origine fossile (PUNTER *et al.* 2004), e che il loro impiego porterà una sostanziale riduzione delle emissioni dei gas responsabili dell'effetto serra, dell'eutrofizzazione, dell'inquinamento dell'aria, dell'acidificazione, dei danni alla salute umana e all'assottigliamento dello strato di ozono (REINHARDT *et al.* 2004).

I benefici apportati sono influenzati da molti fattori (EUCAR 2008; TILMAN *et al.* 2006) e alcuni studi hanno evidenziato al contrario gli effetti negativi sull'ambiente che gli stessi hanno rispetto alla loro controparte fossile (BEKUNDA *et al.* 2009; HAZELL e WOOD 2008; LARSON 2006; ZAH *et al.* 2007).

Stime puntuali ed accurate circa i reali benefici ambien-



LUIGI PARI, CRA-ING, luigi.pari@entecra.it - ALESSANDRO SUARDI, CRA-ING - RODOLFO PICCHIO, UNITUS - DOMENICO COALOA, CRA- PLF.

Regione	Colza			Canna comune			Pioppo		
	Superficie per regione (%)	Superficie media per regione (ha)	Pianura (%)	Superficie per regione (%)	Superficie media per regione (ha)	Pianura (%)	Superficie per regione (%)	Superficie media per regione (ha)	Pianura (%)
Abruzzo	0,3	9,0	0,4	-	-	-	-	-	-
Basilicata	9,4	42,6	0,8	-	-	-	-	-	-
Emilia Romagna	61,3	10,7	59,4	34,6	0,9	28,6	79,5	4,7	76,9
Friuli V.G.	0,3	3,6	0,1	-	-	-	-	-	-
Lombardia	3,9	15,5	2,8	-	-	-	-	-	-
Marche	0,5	1,0	1,2	-	-	-	-	-	-
Puglia	21,2	16,2	9,6	-	-	-	-	-	-
Toscana	0,3	0,9	0,4	16,7	1,3	14,3	10,9	6,0	7,7
Umbria	0,3	0,8	1,6	25,6	2,0	0,2	4,4	2,4	7,7
Veneto	2,5	7,7	3,6	-	-	-	-	-	-
Lazio	-	-	-	16,7	1,3	14,3	5,2	23,0	1,1
Sardegna	-	-	-	6,4	0,5	14,3	-	-	-

Tabella 1 - Distribuzione e dimensioni del campione utilizzato.

tali apportati dai biocarburanti, specialmente per quelle macro categorie d'impatto meno conosciute come, gli effetti sulla salute umana e sulla qualità degli ecosistemi (HALLEUX *et al.* 2008; JUNGBLUTH *et al.* 2007), risultano ancora insufficienti e dovrebbero essere portate avanti (EEA 2008). Per quanto riguarda la realtà italiana, a seguito dell'applicazione della riforma OCM zucchero, che ha portato alla chiusura di oltre il 50% degli zuccherifici nazionali, le proprietà industriali hanno presentato piani di riconversione della filiera bieticolo-saccarifera verso diverse filiere agro-energetiche. Nell'ottica di un cambiamento di destinazione d'uso del suolo, di primaria importanza risulta la valutazione dell'impatto ambientale che l'introduzione di nuove colture in ampie superfici territoriali, potrebbe generare. Infatti la fase di coltivazione risulta avere una significativa incidenza sull'intera catena produttiva (GASOL *et al.* 2009; GASOL *et al.* 2007) ed è responsabile del 7% del totale delle emissioni di gas serra prodotti in Italia, posizionandosi al secondo posto dopo il settore energia (82,8%) e prima dei processi industriali (6,1%) (CÓNDOR 2011).

Lo scopo di questo studio è di confrontare, sotto il profilo della sostenibilità ambientale, l'impatto derivante dalla fase di coltivazione di tre colture energetiche: colza (*Brassica napus*, L.), canna comune (*Arundo donax*, L.) e pioppo (*Populus* spp.), al fine di poter determinare quale genera il minor carico ambientale in sostituzione della barbabietola da zucchero (*Beta vulgaris*, L.).

MATERIALI E METODI

Le informazioni riguardanti la gestione e la coltivazione di specie erbacee e arboree per uso energetico, tra cui la colza, la canna comune e il pioppo fanno riferimento al biennio 2009-2010, e sono state raccolte nell'ambito dell'attività del progetto SUSCACE (Supporto Scientifico alla Conversione Agricola verso le Colture Energetiche) finanziato dal MIPAAF (Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali).

Per ogni appezzamento colturale sono state acquisite informazioni relative alla superficie (produzione, colture in rotazione, ecc.), alle principali caratteristiche dell'im-

pianto (data, densità, distanza sulle/tra le file, ecc.), e ai fattori produttivi impiegati nella fase di coltivazione (unità di manodopera, potenza delle macchine, fertilizzanti, diserbanti, insetticidi, ecc.).

I dati acquisiti circa la coltivazione della colza fanno riferimento a 2.751 ha coltivati in 251 appezzamenti, distribuiti in 10 regioni italiane, ma con una forte concentrazione del campione delle unità in Emilia Romagna (Tabella 1). Si tratta prevalentemente di coltivazioni praticate in zone di pianura.

La canna comune è una graminacea rizomatosa perenne, a ciclo fotosintetico C3. La specie, originaria del Medio Oriente, è oramai naturalizzata in tutto il bacino del Mediterraneo, in areali caratterizzati da un clima caldo-temperato. I dati acquisiti circa la sua coltivazione fanno riferimento a 7,8 ha coltivati in 7 appezzamenti, distribuiti in 5 regioni italiane (Umbria, Lazio, Toscana, Sardegna ed Emilia R.) (Tabella 1).

Il pioppo infine rappresenta la principale pianta arborea utilizzata sui terreni agricoli del Centro-Nord Italia nei cedui a corta rotazione (SRC, SRF), caratterizzati da un'elevata densità di impianto, ripetute ceduzioni in periodi molto brevi, da 1 fino a 4 anni, e tecniche di coltivazione intensive. Nel presente studio i dati acquisiti circa la coltivazione del pioppo fanno riferimento a 440 ha coltivati in 91 appezzamenti, distribuiti in 4 regioni italiane. Come per la coltura del colza, in Emilia Romagna sono concentrate la maggior parte delle unità campionarie (Tabella 1). Tutte e tre le colture sono state praticate prevalentemente in zone di pianura.

Determinazione dell'azienda tipo

Dal set di dati originari sono stati selezionati i parametri ritenuti più informativi relativamente alla definizione del modello colturale, giungendo a selezionare le seguenti variabili: superficie coltivata; produttività per ettaro; giacitura; quantità di fertilizzanti applicati per ettaro; quantità di diserbante per ettaro; quantità di insetticida per ettaro; kWh utilizzati per ettaro; coltura in precessione. Successivamente per ogni tipologia di coltivazione, colza, canna comune e pioppo sono state individuate delle variabili di

Coltura analizzata	Coltura precedente	Superficie (ha)	Varietà	Densità impianto (p ha ⁻¹)	Produzione (t ha ⁻¹)	N (kg ha ⁻¹)	Erbicida (l ha ⁻¹)	Energia (kWh ha ⁻¹)
Colza	frumento	9	PR W 14	740.000	2,4	67,0	2,20	606,1
Canna comune	frumento	0,5	-	10.000	41,9	125,5	0,45	305,5
Pioppo	-	0,9	AF2	5.700	16,4	34,2	2,02	179,0

Tabella 2 - Aziende tipo individuate attraverso l'analisi statistica.

	Fonte	LHV (MJ kg ⁻¹)	Yield (kg ha ⁻¹)	Output (GJ ha ⁻¹)
Colza	JODICE 2007; FRANCESCATO 2009	26,8	2.400	64,32
Canna comune	ENAMA 2010	16,0	41.900	670,40
Pioppo	PICCHIO 2012	18,5	16.400	303,40

Tabella 3 - Produzioni registrate ed energia equivalente.

gruppo scelte in termini di validità sia tecnica che statistica. Sulla base di queste, attraverso un'analisi della varianza è stato possibile determinare dal punto di vista tecnico e statistico, la tipologia aziendale media, che è stata successivamente confrontata con i dati campionari al fine di inquadrare il caso concreto più vicino ai parametri statisticamente individuati (Tabella 2).

Impatto ambientale

Per tali appezzamenti rappresentativi è stata quindi condotta una valutazione d'impatto ambientale utilizzando la metodologia del Life Cycle Assessment (LCA), secondo le norme UNI EN ISO 14040: 2006 e UNI EN ISO 14044: 2006. Si è adottato il software SimaPro 7.3.3 (Prè Consultants, Amersfoort, NL) per modellizzare e analizzare i differenti scenari. In accordo con le procedure *standard*, l'analisi è stata convenzionalmente divisa in quattro fasi:

- Definizione degli scopi e dei confini del sistema,
- Analisi di inventario,
- Valutazione dell'impatto ambientale,
- Interpretazione e azioni migliorative (UNI EN ISO 14044: 2006).

Definizione degli scopi e dei confini del sistema

Lo scopo principale dello studio è stato quello di comparare l'impatto ambientale generato dalla produzione di 1 GJ di energia equivalente prodotta sottoforma di biomassa (olio dal colza e biomassa lignocellulosica dalla canna comune e dal pioppo). I confini del sistema, ovvero le unità di processo che sono state incluse nello studio LCA, comprendono gli *input* utilizzati e gli *output* generati dalle fasi agricole delle tre colture studiate, tralasciando i successivi processi di trasformazione e i trasporti.

Analisi di inventario

Per la redazione dell'inventario sono stati utilizzati dati primari ottenuti direttamente presso le aziende agricole tramite la compilazione di questionari. Per alcuni dati non facilmente reperibili si è fatto ricorso alla banca dati del codice SimaPro 7.3.3, dataset Ecoinvent 3 (dati secondari).

I dati primari sono relativi alle caratteristiche tecniche dei trattori e delle attrezzature agricole utilizzate, il consumo di carburante e di olio del motore, la quantità e tipologia

dei diserbanti e dei fertilizzanti impiegati. I dati secondari sono invece riferiti alle emissioni generate dalle macchine nelle varie fasi agricole (emissioni del motore), le emissioni generate dall'abrasione dei pneumatici sul suolo e le emissioni indirette dovute ai materiali impiegati per la costruzione delle macchine. La quota di emissioni legate alla produzione delle macchine agricole utilizzate è stata calcolata come indicato da MONTI *et al.* 2009. Nel caso delle colture poliennali, gli *input* e le emissioni generate il primo anno di impianto e l'ultimo di espanto, nonché gli *input* e le emissioni generate durante gli anni di raccolta, sono stati suddivisi per gli anni di durata del ciclo colturale al fine di determinare un anno medio su cui studiare l'impatto ambientale medio annuo. Per l'analisi ambientale della canna sono stati considerati dei tagli annuali mentre per il pioppo sono stati considerati dei tagli biennali, in un ciclo colturale di 10 anni per entrambe le colture.

Le emissioni causate dai fertilizzanti azotati distribuiti nel terreno (NH₃ e N₂O in aria e NO₃ in acqua) sono state stimate attraverso l'applicazione dei modelli proposti da BRENTROP (BRENTROP *et al.* 2000).

Le emissioni legate alla concimazione fosfatica sono state calcolate in accordo con il modello proposto da NEMECEK, 2007.

Nelle fasi di diserbo e dei trattamenti antiparassitari, sono stati considerati gli impatti relativi alle fasi produttive dei principi attivi contenuti nei diserbanti e nei pesticidi utilizzati in ogni azienda studiata. Tramite il modello proposto da HAUSCHILD (2000) si sono inoltre stimate e quantificate le frazioni di principio attivo diffuse nei principali comparti ambientali: aria, acqua (profonda e superficiale) e suolo.

La produzione di olio e biomassa lignocellulosica ottenuta (t ha⁻¹) è stata trasformata in energia equivalente (GJ ha⁻¹) essendo noti i poteri calorifici (PCI e PCS) (Tabella 3).

Valutazione dell'impatto ambientale

Ai fini della valutazione degli impatti ambientali di 1 GJ di biomassa prodotta è stato utilizzato il metodo ReCiPe Mid/Endpoint, version 1.08 Dicembre 2012 (Institute of Environmental Sciences, Leiden University; Department of Environmental Science, Radboud Universiteit Nijmegen; Prè Consultants, Amersfoort, NL) che comprende due gruppi di categorie di impatto "midpoint level" e "endpoint level" (GOEDKOOP *et al.* 2009)⁽¹⁾. Questo me-

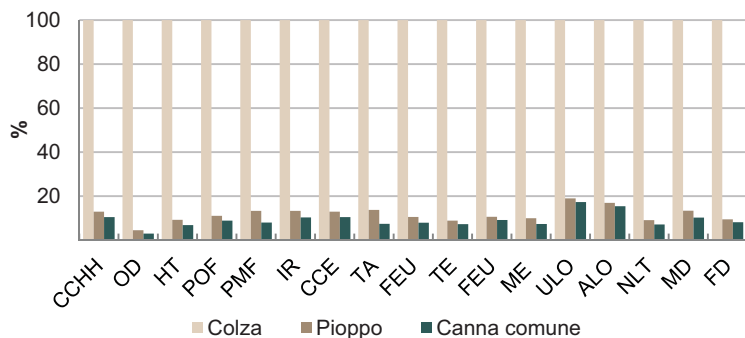


Grafico 1 - Caratterizzazione – Confronto dei livelli di impatto per singola categoria relativi alla fase agricola delle tre colture prese in esame. Valori espressi sull'unità di energia prodotta (GJ). Gli impatti sono espressi come percentuale dello scenario di maggior impatto.

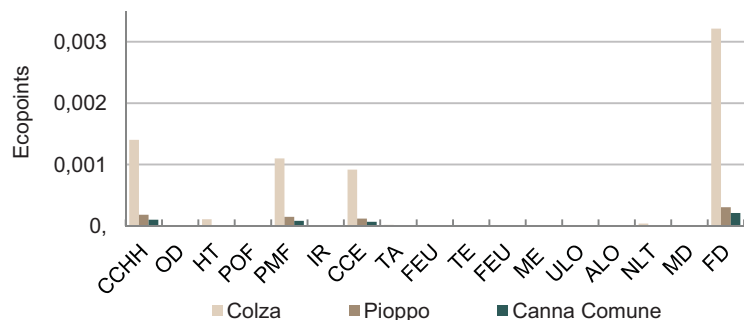


Grafico 2 - Impatti normalizzati dei differenti scenari per ogni categoria a livello "Endpoint" su base energetica (1 GJ) . I dati sono stati normalizzati sulla base delle emissioni medie prodotte da un singolo cittadino dell'Europa occidentale, espressi in ecopunti.

Legenda per Grafici 1, 2, 4, 5, 6	
CCHH	cambiamento climatico sulla salute umana;
OD	assottigliamento dello strato d'ozono;
HT	tossicità umana;
POF	formazione di ossidanti fotochimici;
PMF	formazione di particolato;
IR	emissioni di radiazioni ionizzanti;
CCE	cambiamento climatico sugli ecosistemi;
TA	acidificazione terrestre;
FEU	eutrofizzazione di acqua dolce;
TE	ecotossicità terrestre;
FE	ecotossicità dell'acqua dolce;
ME	ecotossicità dell'acqua marina;
ULO	occupazione di suolo urbano;
ALO	occupazione di suolo agricolo;
NLT	trasformazione del suolo naturale;
MD	esaurimento dei metalli;
FD	esaurimento delle risorse fossili

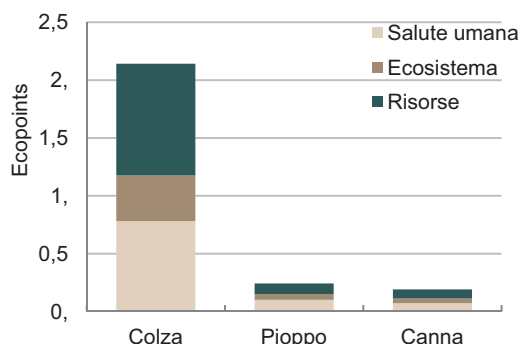


Grafico 3 - Danni ambientali a livello Endpoint (danni alla salute umana, all'ecosistema e al depauperamento delle risorse) generati dalle fasi agricole delle tre colture energetiche studiate, espressi in Ecopunti. Ecopunto= un millesimo del carico ambientale annuo di un cittadino medio dell'Europa occidentale.

todo è stato scelto perché rappresenta la congiunzione di due familiari metodi impiegati per l'LCIA: il metodo "midpoint oriented" CML 2002 e l'"endpoint-oriented" Eco-indicator 99.

Mentre gli indicatori a livello di *midpoint* sono alquanto specifici in relazione agli impatti che rappresentano, gli indicatori a livello di *endpoint* sono di carattere più generico e vanno a rappresentare dei danni stimati dal calcolo degli impatti a livello di *midpoint*.

RISULTATI E DISCUSSIONI

Attraverso l'applicazione della metodologia LCA si è potuto individuare la coltura, i processi agricoli e i metodi di coltivazione, che hanno prodotto i minori danni ambientali.

Per il confronto fra gli scenari considerati si è proceduto alla "caratterizzazione" degli impatti, assegnando in ogni categoria valore 100 allo scenario più impattante, e valori proporzionalmente più bassi agli altri scenari considerati (Grafico 1).

La caratterizzazione ci ha permesso di individuare l'azienda che, su base energetica, per ognuna delle colture studiate, risulta più sostenibile da un punto di vista ambientale. Si è potuto anche capire quali siano i danni maggiori e la loro entità. Dal Grafico 1 si può notare come sulla base delle tecniche di coltivazione utilizzate, la produzione del colza, risulta molto più impattante rispetto alla canna comune. Il merito di questo risultato è dato dalla mole dell'*output* pari a 670,40 GJ ha⁻¹ che permette una notevole riduzione del carico ambientale per GJ prodotto. A seguire troviamo il pioppo che rappresenta la seconda coltura più performante dal punto di vista ambientale. Nonostante la differenza produttiva, il pioppo (303,40 GJ) esprime livelli di impatto praticamente identici alla canna comune, mostrando la differenza massima del 2,52% di impatto relativo alla "Terrestrial acidification". Particolare interesse suscitano queste minime differenze, poiché la scelta fra le due colture poliennali potrebbe, in base ai risultati ottenuti, essere ragionevolmente effettuata indipendentemente dall'impatto ambientale atteso, basandosi su altri indicatori di tipo economico e logistico.

Assumendo come entità geografica interessata l'Europa occidentale (EU-16), conoscendo il quantitativo totale delle emissioni annuali generate dall'attività umana in questo areale si è proceduto con la normalizzazione

⁽¹⁾ Attraverso dei fattori di conversione, le categorie di impatto "midpoint level" confluiscono nelle categorie di danno a livello "endpoint" (Salute umana, Ecosistemi, e Risorse). Per la Salute umana le categorie midpoint che confluiscono sono: l'impatto del cambiamento climatico sulla salute umana, l'assottigliamento dello strato d'ozono, la tossicità umana, la formazione di ossidanti fotochimici, la formazione di particolato e le radiazioni ionizzanti; per gli Ecosistemi: l'impatto del cambiamento climatico sugli Ecosistemi, l'acidificazione terrestre, l'eutrofizzazione di acqua dolce, l'ecotossicità terrestre, l'ecotossicità in acqua dolce, l'ecotossicità marina, l'occupazione di suolo agricolo, l'occupazione di suolo urbano, la trasformazione di suolo naturale; per le Risorse: l'esaurimento dei metalli e l'esaurimento delle risorse fossili.

dei dati standardizzati. Dalla normalizzazione si può osservare come tutte le colture abbiano il più alto carico ambientale nella categoria d'impatto "*Fossil depletion*" (depauperamento delle risorse fossili) (Grafico 2).

A seguire in modo simile troviamo gli impatti ambientali "*Climate Change human health*", "*Particulate matter formation*" e "*Climate change eco system*".

Utilizzando la metodologia Recipe 2008 è stato possibile aggregare tutte le emissioni in 3 macrocategorie e valutare l'impatto globale di ciascun processo mediante l'assegnazione di un punteggio: Ecopunti. L'ecopunto rappresenta un millesimo del carico ambientale annuale di un abitante europeo medio. Va ricordato che gli ecopunti esprimono un danno ambientale, per cui valori più elevati corrispondono a maggiori impatti. Per tutte le colture, come riscontrato in fase di caratterizzazione, si evince come le aziende considerate tecnicamente migliori siano anche quelle meno impattanti. I danni alla salute umana e relativi all'esaurimento delle risorse sono quelli che maggiormente condizionano la sostenibilità ambientale delle colture energetiche come evidenziato anche da altri studi (MONTI *et al.* 2009). La canna comune risulta la coltura più performante per unità di energia prodotta (Grafico 3). La coltura annuale si discosta fortemente dalle poliennali a causa della combinazione di due importanti fattori: la bassa produttività e la breve vita economica. La colza rappresenta la coltura più impattante e con produzioni ad ettaro più basse se confrontata con colture poliennali come lo sono la canna comune ed il pioppo. La bassa produttività implica che gli impatti generati dal processo produttivo si "concentrano" su una limitata quantità di prodotto, tanto da rendere il processo stesso meno performante da un punto di vista ambientale, se comparato con colture che raggiungono risultati produttivi migliori.

Attraverso uno studio specifico delle filiere più sostenibili, si è potuto analizzare nel dettaglio i processi produttivi e individuare le fasi responsabili dei maggiori impatti ambientali (Grafici 4, 5, 6). Dalla caratterizzazione degli impatti generati dalle fasi agricole di colza, canna e pioppo, la fonte di maggiore costo in termini energetico-ambientali è legata alla fase della concimazione, come già osservato in altre studi (BRENTROP *et al.* 2001; McLAUGHLIN *et al.* 2000; TSOUTSOS *et al.* 2010).

Nel caso del colza, le concimazioni di Solfato ammonico (concimazione pre-semina) ed urea (concimazione alla semina) rappresentano il 61,9% degli impatti complessivi. Tra le categorie d'impatto maggiormente influenzate dalle concimazioni, l'*Human toxicity*, *Ionising radiation*, *water eutrophication and ecotoxicity*, *Agricultural and Urban land occupation*, *Natural land transformation*, *Metal depletion* e *Fossil depletion* sono causate soprattutto dalla prima concimazione effettuata con solfato ammonico rispetto alla seconda effettuata con urea. Quest'ultima invece è responsabile soprattutto delle categorie d'impatto *Climate change human health*, *Particulate matter formation*, *Ionising radiation* e *Terrestrial acidification*. Gli impatti generati dalle concimazioni per canna e pioppo sono tutte da imputare all'urea: gli impatti diretti legati ai

processi biogeochimici nel terreno, e indiretti causati dal processo di produzione del fertilizzante. L'esaurimento delle risorse fossili mostra come la produzione dei concimi (soprattutto azotati) necessiti di un'alta quantità di energia per la loro produzione in termini di combustibili fossili. Mentre circa un terzo dell'energia di origine fossile utilizzata nella moderna agricoltura è consumata direttamente nell'azienda, sottoforma di combustibili (diesel) ed elettricità, i rimanenti due terzi sono consumati indirettamente per produrre altri beni che sono utilizzati come input agronomici (HELSEL 1992). Da molte analisi energetiche a livello aziendale, risulta che l'energia attribuita ai fertilizzanti azotati vada dal 30% al 50% di tutta l'energia fossile utilizzata (CONNOR *et al.* 2011). La maggior parte dell'energia richiesta ad oggi dall'industria è utilizzata per la produzione di ammoniaca, il composto da cui deriva ogni fertilizzante azotato. Il 67% dei fertilizzanti azotati utilizzati sono prodotti impiegando il gas naturale come combustibile.

Inoltre, le emissioni di azoto stimate attraverso il modello di dispersione utilizzato nel presente studio, hanno permesso di simulare quella che GALLOWAY *et al.* (2003) definisce "effetto a cascata dell'azoto", e cioè una perdita in aria e acqua di composti biologicamente attivi e reattivi da un punto di vista fotochimico, causa di molteplici effetti nell'atmosfera, negli ecosistemi terrestri, nei sistemi marini e d'acqua dolce, e sulla salute umana. Dall'analisi è risultato che le emissioni generate dal suolo a seguito delle concimazioni, siano una delle cause principali di impatto dei processi agricoli analizzati. Per la colza, la concimazione con l'urea è risultata inoltre più impattante rispetto a quella con solfato ammonico.

La concimazione incide fortemente anche sul fenomeno dell'acidificazione terrestre (Grafici 4, 5 e 6). Le emissioni derivanti dall'uso dei fertilizzanti, soprattutto NH₃, sono parte della causa. Anche BRANDÃO *et al.* (2011), ha evidenziato questo fenomeno, imputando alla colza l'impatto maggiore in termini di acidificazione potenziale (kg SO₂-eq) rispetto a delle colture poliennali come miscanto e SRC di salice.

Anche per quanto riguarda l'impatto del cambiamento climatico sugli ecosistemi, i concimi rappresentano la fonte di maggiore carico ambientale. Parte dell'azoto presente nei fertilizzanti, una volta nel terreno, si perde in atmosfera sottoforma di ossido nitroso (N₂O) attraverso il fenomeno della denitrificazione. L' N₂O è un potente gas con effetto serra 296 volte superiore della CO₂ (MUÑOZ *et al.* 2010), e contribuisce da solo al 5% dell'effetto serra globale (BRENTROP *et al.* 2000).

Anche le emissioni dei motori contengono molte molecole responsabili del fenomeno (CO₂, CH₄, CFC, N₂O ecc.) e per tale motivo le fasi agricole che hanno comportato un maggiore consumo di carburante, e quindi più emissioni, sono state anche quelle con un maggiore impatto in termini di effetto serra potenziale. Infatti si può notare come la raccolta risulti essere una fase critica in termini ambientali, soprattutto per la canna (Grafico 5) ed il pioppo (Grafico 6). Gli ossidanti fotochimici (*Photochemical oxidant formation*) rappresentano dei composti molto reattivi come ad esempio l'ozono. L'alto valore di questo indica-

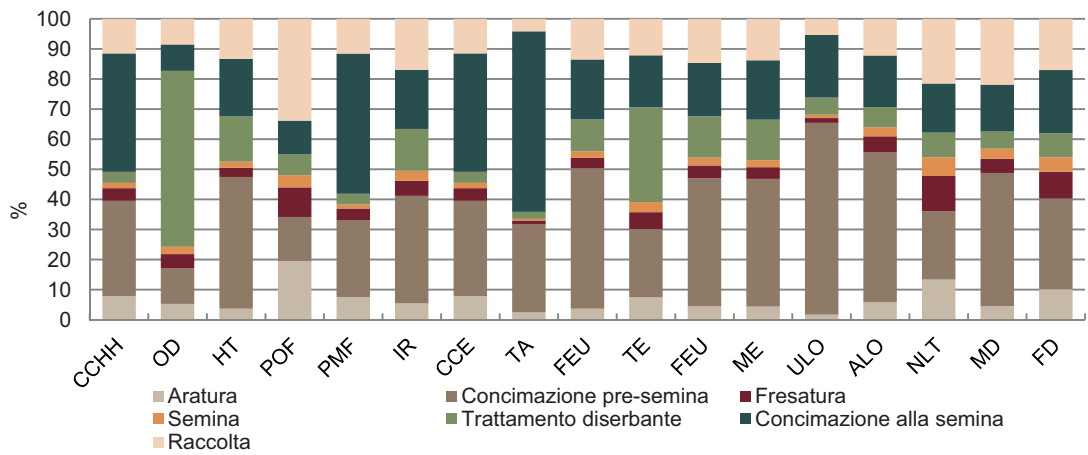


Grafico 4 - Caratterizzazione – Confronto dei livelli di impatto per singola categoria relativi alla fase agricola del colza. Valori espressi sull'unità di energia prodotta (GJ). Gli impatti sono espressi come percentuale dello scenario di maggior impatto.

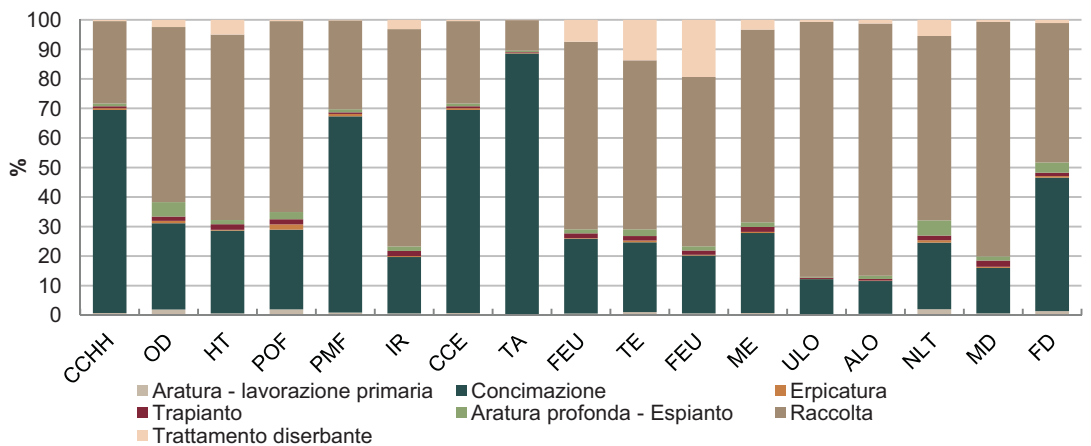


Grafico 5 - Caratterizzazione – Confronto dei livelli di impatto per singola categoria relativi alla fase agricola della canna comune. Valori espressi sull'unità di energia prodotta (GJ). Gli impatti sono espressi come percentuale dello scenario di maggior impatto.

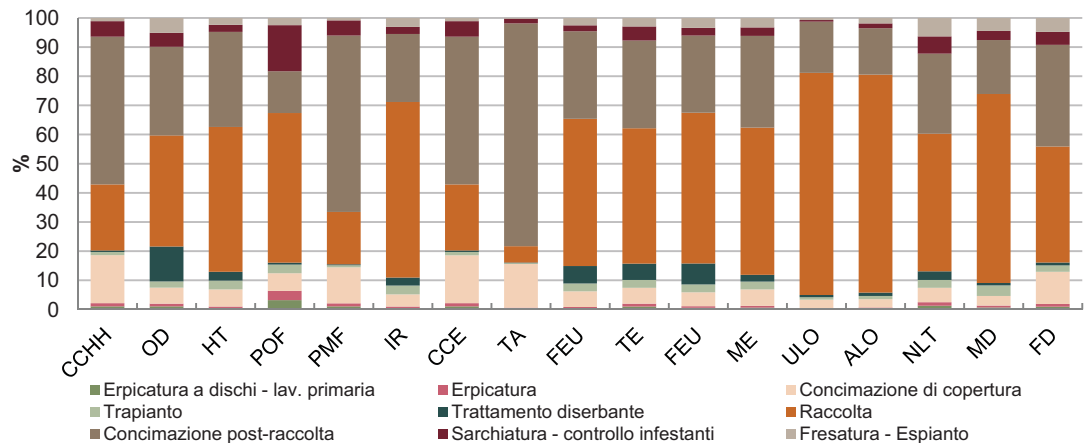


Grafico 6 - Caratterizzazione – Confronto dei livelli di impatto per singola categoria relativi alla fase agricola del pioppo. Valori espressi sull'unità di energia prodotta (GJ). Gli impatti sono espressi come percentuale dello scenario di maggior impatto.

tore è, nel nostro caso, dovuto soprattutto alle emissioni generate dalla combustione di combustibili fossili. In fase di raccolta e delle lavorazioni primarie del terreno si sono avuti i maggiori consumi di carburante che hanno inciso negativamente sulle emissioni. È importante osservare che questo indicatore sarebbe in natura condizionato anche

da ulteriori fattori di origine biogenica che in questo lavoro non sono stati presi in considerazione.

Mentre per colza e pioppo, l'azione negativa dei diserbanti si può principalmente evidenziare nella categoria d'impatto "Ozone depletion", per la canna, l'impatto più rilevante risulta essere il "Freshwater ecotoxicity", a causa dell'elevata

quantità di erbicidi utilizzata in fase di impianto e di espian-
to della coltura.

Nel caso del pioppo, la concimazione (soprattutto per le
emissioni da parte dei concimi nel suolo) e la raccolta
(consumo di carburante ed emissioni in aria dei trattori),
sono le due principali cause di impatto ambientale.

CONCLUSIONI

Lo scopo di questo studio è stato quello di confrontare sot-
to il profilo della sostenibilità ambientale, l'impatto derivante
dalla fase di coltivazione di colza, canna comune e pioppo
al fine di poter determinare quale genera il minor carico am-
bientale in sostituzione della barbabietola da zucchero.

La categoria di impatto più colpita dai processi agrico-
li studiati, in termini di emissioni è il "Fossil depletion"
causato principalmente dalla quantità di combustibili
fossili (gas, oil) utilizzati per la produzione di concime
chimico (urea). Anche le macchine agricole partecipano
all'esaurimento delle risorse fossili, e allo stesso tempo
sono causa di emissioni in atmosfera di gas climalteranti,
soprattutto per quanto riguarda la fase di raccolta. Lo
sfruttamento delle risorse e la salute umana sono le cate-
gorie di danno più colpite. Su base energetica la coltura
più impattante risulta essere il colza, per via della minore
energia netta prodotta per ettaro. Seguono le poliennali
che risultano nettamente meno impattanti. Per questo si
può affermare che lo sfruttamento a scopo energetico
dell'intera biomassa epigea è da preferirsi rispetto all'uti-
lizzo del solo seme. La canna, grazie all'elevata produttività
rappresenta la scelta migliore su base energetica sim-
ilmente al pioppo, e la scelta dovrebbe essere valutata
in funzione di altri parametri economico-logistici.

Sebbene queste considerazioni di carattere generale si-
ano valide, all'atto pratico in Italia il pioppo risulta essere
una coltura legnosa da sempre coltivata per la produzio-
ne di carta e con un forte knowhow. La canna invece è
una coltura in fase di studio e non ancora entrata a far
parte delle rotazioni colturali dell'agricoltura italiana. Per
tale motivo, sulla base del campione di aziende agricole
studiate, il pioppo risulta la coltura energetica più soste-
nibile, dal punto di vista ambientale, per il territorio italia-
no, in sostituzione della barbabietola da zucchero, e negli
areali più adatti alla sua coltivazione.

Ringraziamenti

*Questo studio è stato effettuato con i fondi del progetto
SuSCACE (Supporto Scientifico alla Conversione Agri-
cola verso le Colture Energetiche) finanziato dal MIPAAF
(Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali).*

Bibliografia

BEKUNDA M., PALMB C. A., DE FRAITUREC C., LEADLEYD P.,
MAENEE L., MARTINELLIF L. A., VICTORIAJ R. L., 2009 - **Biofuels
in developing countries.**

BRANDÃO M., MILÀ I CANALS L., CLIFT R., 2011 - **Soil organic
carbon changes in the cultivation of energy crops:
implications for GHG balances and soil quality for use in
LCA.** Biomass and Bioenergy, 35(6), 2323-2336.

BRENTROP F., KÜSTERS J., KUHLMANN H., LAMMEL J., 2001 -
**Application of the Life Cycle Assessment methodology
to agricultural production: an example of sugar beet
production with different forms of nitrogen fertilisers.**
European Journal of Agronomy, 14(3), 221-233.

BRENTROP F., KÜSTERS J., LAMMEL J., KUHLMANN H., 2000 -
**Methods to estimate on-field nitrogen emissions from
crop production as an input to LCA studies in the
agricultural sector.** The International Journal of Life Cycle
Assessment, 5(6), 349-357.

CHIARAMONTI D., RECCHIA L., 2010 - **Is life cycle assessment
(LCA) a suitable method for quantitative CO₂ saving
estimations? The impact of field input on the LCA results
for a pure vegetable oil chain.** Biomass and Bioenergy,
34(5), 787-797. doi: 10.1016/j.biombioe.2010.01.022

CÓNDOR R., 2011 - **Agricoltura: emissioni nazionali
in atmosfera dal 1990 al 2009.** Istituto superiore per la
protezione e la ricerca ambientale (ISPRA). Rapporto ISPRA,
140, 2011.

CONNOR D. J., LOOMIS R. S., CASSMAN K. G., 2011 - **Crop
ecology: productivity and management in agricultural
systems.** Cambridge University Press.

EEA, 2008. **Maximising the environmental benefits of
Europe's bioenergy potential.** EEA Technical report No.
10/2008, Copenhagen.

EUCAR, 2008 - **Well-to-wheels and well to tank analysis of
future automotive fuels and powertrains in the European
context.** http://ies.jrc.ec.europa.eu/uploads/media/WTW_Report_010307.pdf.

FRASCARELLI A., 2011 - **Le energie rinnovabili in agricoltura.
Agriregionieuropa.** Retrieved from www.agriregionieuropa.univpm.it/ website: www.agriregionieuropa.univpm.it/dettart.php?id_articolo=766.

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.

GASOL C. M., GABARRELL X., ANTON A., RIGOLA M., CARRASCO
J., CIRIA P., SOLANO M. L., RIERADEVALL J., 2007 - **Life cycle
assessment of a Brassica carinata bioenergy cropping
system in southern Europe.** Biomass and Bioenergy, 31(8),
543-555.

GASOL C. M., GABARRELL X., ANTON A., RIGOLA M., CARRASCO
J., CIRIA P., RIERADEVALL J., 2009 - **LCA of poplar bioenergy
system compared with Brassica carinata energy crop and
natural gas in regional scenario.** Biomass and Bioenergy,
33(1), 119-129.

GOEDKOOP M., HEIJUNGS R., HUIJBREGTS M., DE SCHRYVER
A., STRUIJS J., VAN ZELM R., 2009 - **ReCiPe 2008: A life
cycle impact assessment method which comprises
harmonised category indicators at the midpoint and the
endpoint level.** VROM-Ruimte en Milieu, Ministerie van
Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer,
www.lcia-recipe.net.

HALLEUX H., LASSAUX S., RENZONI R., GERMAIN A., 2008
- **Comparative life cycle assessment of two biofuels
ethanol from sugar beet and rapeseed methyl ester.** The
International Journal of Life Cycle Assessment, 13(3), 184-190.

HAUSCHILD M., 2000 - **Estimating pesticide emissions for
LCA of agricultural products.** Agricultural data for life cycle
assessments, 70.

HAZELL P., WOOD S. 2008 - **Drivers of change in global
agriculture.** Philosophical Transactions of the Royal Society
B: Biological Sciences, 363(1491), 495-515.

HELSEL Z. R., 1992 - **Energy and alternatives for fertilizer and pesticide use**. Energy in farm production, 6, 177-201.

JUNGBLUTH N., CHUDACOFF M., DAURIAT A., DINKEL F., 2007 - **Life cycle Inventories of Bioenergy**. Zurich, Ecoinvent Centre.

LARSON E. D., 2006 - **A review of life-cycle analysis studies on liquid biofuel systems for the transport sector**. Energy for Sustainable Development, 10(2), 109-126. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0973-0826\(08\)60536-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0973-0826(08)60536-0)

MCLAUGHLIN N., HIBA A., WALL G., KING D., 2000 - **Comparison of energy inputs for inorganic fertilizer and manure based corn production**. Canadian Agricultural Engineering, 42(1), 9-18.

MONTI A., FAZIO S., VENTURI G., 2009 - **Cradle-to-farm gate life cycle assessment in perennial energy crops**. European Journal of Agronomy, 31(2), 77-84.

MUÑOZ C., PAULINO L., MONREAL C., ZAGAL E., 2010 - **Greenhouse Gas (CO₂ AND N₂O) Emissions from Soils: A Review**. Chilean Journal of Agricultural Research, 70(3), 485-497.

NEMECEK T., 2007 - **Life cycle inventories of agricultural production systems** - Ecoinvent report (No. 15. V2. 0). Ecoinvent Center.

PUNTER G., RICKEARD D., LARIVE J. F., EDWARDS R., MORTIMER N., HORNE R., 2004 - **Well-to-Wheel evaluation for production of ethanol from wheat**. Report by the Low CVP fuels working group.

REINHARDT G., QUIRIN M., GARTNER S., PEHNT M., 2004 - **Comparison of well-to-wheel analyses of biofuels for transportation**. Paper presented at the World conference and technology exhibition on biomass for energy, Rome, Italy.

TILMAN D., HILL J., LEHMAN C., 2006 - **Carbon-Negative Biofuels from Low-Input High-Diversity Grassland Biomass**. Science, 314(5805), 1598-1600. doi: 10.1126/science.1133306

TSOUTSOS T., KOULOUMPI V., ZAFIRIS T., FOTEINIS S., 2010 - **Life Cycle Assessment for biodiesel production under Greek climate conditions**. Journal of Cleaner Production, 18(4), 328-335.

UNI EN ISO 14040, 2006 - **Environmental management - life cycle assessment - principles and framework**. International Standard of Organisation, Geneva.

UNI EN ISO 14044, 2006 - **Environmental management - life cycle assessment - requirements and guidelines**. International Standard of Organisation, Geneva.

ZAH R., BÖNI H., GAUCH M., HISCHIER R., LEHMANN M., WÄGER P., 2007 - **Life cycle assessment of energy products: environmental assessment of biofuels**. Empa Technology and Society Lab. Bern, Switzerland. (Report produced under a contract from the Swiss Federal Office for Energy, the Swiss Federal Office for the Environment and the Swiss Federal Office for Agriculture), 19.

KEYWORDS: *Life Cycle Assessment*, energy crops, environmental sustainability.

Abstract: *Evaluation of the environmental impact of biomass production at the farm level: a comparison among three energy crops*

The rapeseed (*Brassica napus* L.), giant reed (*Arundo donax* L.) and poplar (*Populus* ssp.) open-field production systems have been analysed applying life cycle assessment (LCA) research method, and their environmental performance have been compared. The environmental analysis included six farming units, two per crop, which were extracted from a sample of 251 rapeseed farm units (2751 hectares), 7 giant reed farm units (7,8 hectares), and 91 poplar farm units (440 hectares) using a statistical multivariate analysis. The life cycle impact assessment (LCIA) shows that the use of fertilizers is the highest impact for all the energy crops studied. The results of the analysis support that the poplar open-field production systems has the best performance from an environmental perspective for producing biomass for energy in Italy.

Il modello CRA-ING per la divulgazione

Produzione di innovazioni tecnologiche e comunicazione dei risultati nell'ambito delle agroenergie

ENRICO SANTANGELO, VINCENZO CIVITARESE, LUIGI PARI

Il CRA-ING, ed in particolare il gruppo PANACEA, hanno messo a punto nel corso degli anni un modello di comunicazione dei risultati scientifici ottenuti nel corso dell'attività di ricerca e sperimentazione che ha permesso di diffondere le innovazioni tecnologiche prodotte lungo una scala che va dagli *stakeholders*, direttamente interessati agli aspetti pratici, alla comunità scientifica.

PAROLE CHIAVE: divulgazione scientifica.

Il CRA, Ente nazionale di ricerca e sperimentazione con competenza scientifica generale nel settore agricolo, agroindustriale, ittico e forestale, a cui il CRA-ING affrisce, prevede tra i suoi compiti statutari, oltre alla **promozione, lo svolgimento e la valorizzazione dell'attività di ricerca** al fine di favorire uno sviluppo ispirato a criteri di qualità, sostenibilità e multifunzionalità, per la valorizzazione degli spazi rurali e dei sistemi acquedotti ed all'integrazione delle aree marginali e svantaggiate, anche azioni a favore del trasferimento dei risultati ottenuti, il trasferimento tecnologico dei risultati di ricerca svolta dalla propria rete scientifica, la comunicazione delle conoscenze derivanti dalle attività di ricerca istituzionali e il diritto all'informazione dei consumatori (<http://sito.entecra.it/portale/public/documenti/statutocra.pdf>).

Obiettivo che si pone l'Ente è, dunque, ambizioso e, seppure complesso, sicuramente stimolante. La *mission* è quella di formulare soluzioni innovative in risposta a esigenze contingenti maturate nei diversi settori del comparto agricolo, ma al tempo stesso essere un vettore di **nuova conoscenza**, di contribuire al **progresso scientifico** e anticipare e studiare quelli che saranno gli

scenari futuri. La valorizzazione di un simile approccio passa necessariamente attraverso la divulgazione dell'attività di ricerca che, come è facilmente intuibile,



Foto 1 - Stand informativo presso la Fiera EIMA International 2012.

ENRICO SANTANGELO, CRA-ING - VINCENZO CIVITARESE, CRA-ING - LUIGI PARI, CRA-ING, luigi.pari@entecra.it.

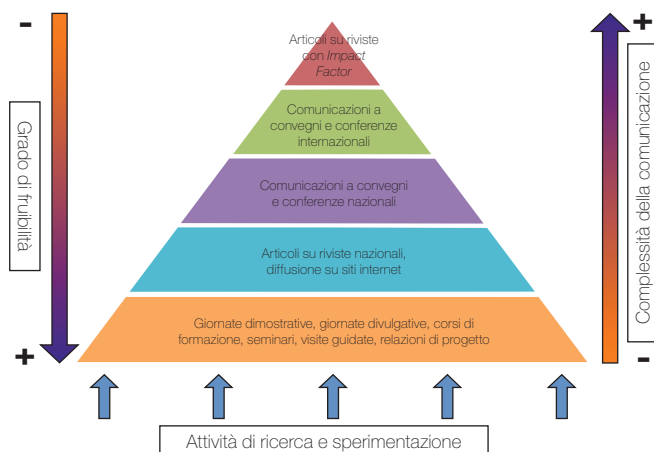


Grafico 1 - Sistemi di divulgazione e loro interazione in relazione alla complessità della comunicazione.

Acronimo	Descrizione	Tipo di coinvolgimento
Progetti nazionali		
BIOSEA	Ottimizzazione delle filiere bioenergetiche esistenti per una Sostenibilità Economica ed Ambientale	Partner
BTT-Bio Termo Test	Ricerca, sperimentazione e certificazione di caldaie, bruciatori e impianti motori per la produzione di energia verde termica e/o elettrica	Coordinamento
EnerbioChem	Filiere agro-industriali integrate a elevata efficienza energetica per la messa a punto di processi di produzione eco-compatibili di energia e bio-chemicals da fonte rinnovabile e per la valorizzazione del territorio	Partner
FAESI	Filiere Agro Energetiche nel Sud Italia	Coordinamento
SUSCACE	Supporto scientifico alla conversione agricola verso le colture energetiche	Coordinamento
BIT3G	Bioraffineria di III generazione integrata nel territorio	Partner
Progetti europei		
Europruning	Development and impementation of a new, and non existent, logistic chain on biomass from pruning	Partner
Fibra	Fibre Crops as a sustainable source of biobased material for industrial products in Europe and China	Partner
JatroMed	Evaluation of the energy crop Jatropha curcas as a mean to promote renewable and sustainable energy for the Mediterranean region	Partner
OPTIMA	Optimization of perennial grasses for biomass production in the mediterranean environment	Partner

Tabella 1 - Principali progetti nazionali ed europei a cui partecipa attualmente il gruppo PANACEA.

richiede anch'essa l'adozione di strategie diversificate in funzione del livello di diffusione delle informazioni, interno alla comunità scientifica oppure orientata verso un pubblico più ampio, vario, spesso direttamente interessato all'applicabilità di quanto divulgato (Foto 1), passando per i vari gradi intercorrenti tra questi due estremi.

La complessità insita nella comunicazione scientifica riguarda sia i contenuti sia la forma, concretizzandosi quest'ultima nelle soluzioni più diverse come articoli scientifici su riviste specializzate, opere editoriali divulgative di tipo tecnico, ma anche siti web, convegni, fiere, incontri con le organizzazioni di filiera o agricole, seminari, corsi di formazione rivolti ai tecnici del settore (SANTANGELO e PARI 2013), tanto da poter abbozzare ed ipotizzare una sorta di "piramide" (Grafico 1) della divulgazione in cui il tasso di fruibilità dell'informazione è in relazione inversa con la complessità della comunicazione, quest'ultima da

porre in relazione ai contenuti (complessi e standardizzati nel caso di divulgazione interna alla comunità scientifica; semplificati e facilmente accessibili quando rivolti agli utilizzatori dell'innovazione) e al target da raggiungere (comunità scientifica, committenti, utilizzatori). Va sottolineato, comunque, che la struttura piramidale è relativa alla numerosità degli "eventi" quantificabili in ogni categoria e non al livello di impegno organizzativo e intellettuale, probabilmente equivalente (o addirittura superiore nel caso di giornate dimostrative, giornate divulgative o corsi di formazione) per ognuna delle tipologie di divulgazione indicate.

IL MODELLO CRA-ING PER LA DIVULGAZIONE

L'evoluzione del settore delle bioenergie, incentivato da politiche di sostegno sia a livello nazionale che europeo, hanno generato una forte domanda di ricerca da parte delle imprese agricole ed agro-industriali, relativa allo **sviluppo di innovazioni tecnologiche nell'ambito della meccanizzazione agricola** per la messa a punto di sistemi logistici (raccolta, movimentazione, trasporto, stoccaggio e pre-trattamento) delle colture energetiche e la messa a punto di sistemi di trasformazione energetica all'interno dell'azienda agricola (biogas, combustione, micro cogenerazione, utilizzo dei biocombustibili nei trattori). L'Unità di ricerca per l'Ingegneria agraria (CRA-ING) è stata coinvolta da questa domanda di innovazioni tecnologiche nel settore delle agroenergie ed ha costituito il Polo agricoltura non alimentare, colture energetiche alternative (PANACEA) per cercare di rispondere alle richieste degli utenti, anche in considerazione della velocità con cui si sta evolvendo il settore (<http://ing.entecra.it/index.php/gruppo-di-lavoro-monterotondo/panacea>).

Il gruppo opera da diversi anni svolgendo attività di ricerca e sperimentazione mirate all'**individuazione di soluzioni idonee per la riduzione dei costi di produzione** e dell'**impatto ambientale** sul territorio della **filiera agroenergetica** attraverso la valutazione dell'efficienza delle macchine agricole nelle diverse fasi produttive, la realizzazione di specifici prototipi e l'ottimizzazione dei cantieri logistici. Nel corso degli anni il gruppo PANACEA ha partecipato a progetti di ricerca a livello nazionale ed europeo (Tabella 1) documentando la propria attività attraverso pubblicazioni su riviste nazionali ed internazionali, partecipazione a convegni e congressi, organizzazione di seminari e corsi di formazione al fine di diffondere i risultati ottenuti nella maniera più estesa e capillare possibile, ad addetti ai lavori e non, utilizzando i diversi sistemi di disseminazione a disposizione.

Dall'esperienza maturata è stato elaborato un approccio integrale all'attività di ricerca e alla successiva diffusione delle conoscenze che è esemplificato nel Grafico 2. Il punto di partenza è una domanda di ricerca proveniente da organi istituzionali (Programmi Quadro europei, bandi MIPAAF, programmi regionali, bandi ENAMA) di solito stimolata da categorie di settore.

A tale proposito, un esempio appropriato è quello relati-

vo al progetto SUSCACE, sviluppato per rispondere alla domanda, avanzata dalle proprietà industriali promotrici degli impianti previsti dai progetti di riconversione del settore bieticolo-saccarifero. Le risposte che il progetto aveva lo scopo di fornire riguardavano lo sviluppo delle innovazioni tecnologiche e la realizzazione di prototipi e macchine al fine di permettere agli agricoltori, che volessero convertire i propri terreni da barbabietola a coltura energetica, il reperimento sul mercato delle specifiche macchine necessarie per lo svolgimento di tutte le operazioni colturali, senza le quali non sarebbe possibile giungere al conferimento della biomassa alle centrali di trasformazione a costi contenuti. Il progetto ha preso in considerazione aspetti agronomici, tecnologici e meccanici di specie arboree a rapida crescita (pioppo, robinia, eucalipto) e di specie erbacee oleaginose (colza, girasole, *Brassica carinata*, soia) ed erbacee ligno-cellulosiche (canna comune, sorgo da fibra, canapa), colture considerate potenzialmente idonee a una destinazione energetica. Nel modello CRA-ING, esaurita la fase di ricerca e concluse le attività previste dai progetti, le risultanze sperimentali vengono rese disponibili ai committenti e, se questi lo consentono (committenti istituzionali), agli utenti della ricerca (associazioni di categorie, imprenditori agricoli ed agro-industriali) e alla comunità scientifica mediante l'attività divulgativa e trasferite agli operatori del settore. Per inciso, la fase di trasferimento rappresenta un punto particolarmente importante per almeno due aspetti:

- 1) può concretizzarsi nella brevettazione dei prototipi sviluppati durante l'attività di ricerca;
- 2) il *feedback* che deriva dal confronto con gli operatori può costituire **una nuova base di partenza per future attività di ricerca**.

Come già ricordato precedentemente, la fase di divulgazione comprende un'insieme di azioni che si diversificano in funzione della platea cui sono destinate. Nello specifico, il gruppo PANACEA ha messo a punto un sistema di diffusione dell'informazione in cui si cerca di utilizzare tutti i mezzi disponibili per ogni singolo aspetto studiato (Grafico 3). Si parte dall'informazione al pubblico e alle scuole (comprese le Università e i centri di ricerca) fornita presso il Centro Dimostrativo sulle Agroenergie, all'organizzazione di giornate divulgative, seminari o corsi di formazione fino ad arrivare alla pubblicazione di articoli su riviste nazionali e internazionali con *Impact Factor*. A partire dal 2008 tutta l'attività scientifica del gruppo è stata resa disponibile anche in rete allestendo due siti web dedicati alle colture energetiche (www.gruppo-panacea.it; <http://ing.entecra.it/biomasse/>). Nel caso in cui non sia possibile operare la divulgazione su più livelli si sceglie la modalità in grado di ottimizzare al meglio le conoscenze acquisite durante l'attività di ricerca.

Case history:

abbattitrice-andanatrice per pioppo biennale

Allo scopo di illustrare meglio il modello CRA-ING per la divulgazione, verrà esemplificato il caso di un'abbattitrice-andanatrice per pioppo biennale sviluppata nell'am-

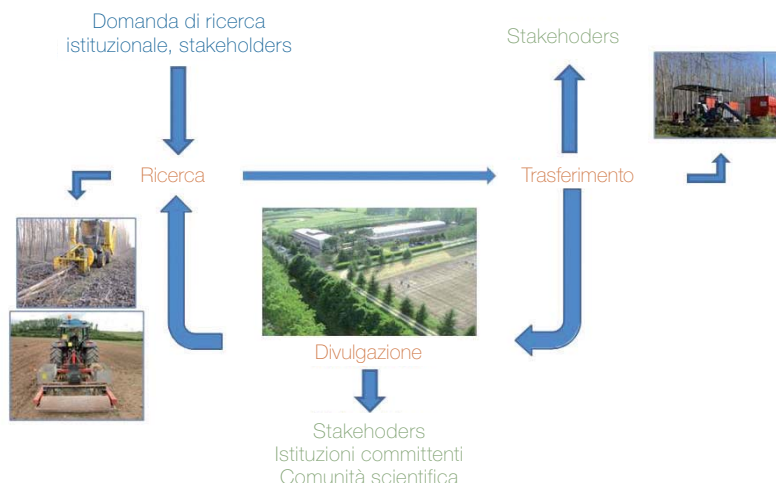


Grafico 2 - Diagramma di flusso riferito all'attività di ricerca e di divulgazione del CRA-ING.



Grafico 3 - Complessità della fase di divulgazione seguita dal CRA-ING per la diffusione delle conoscenze.



Foto 2 - Abbattitrice andanatrice per pioppo a ciclo biennale

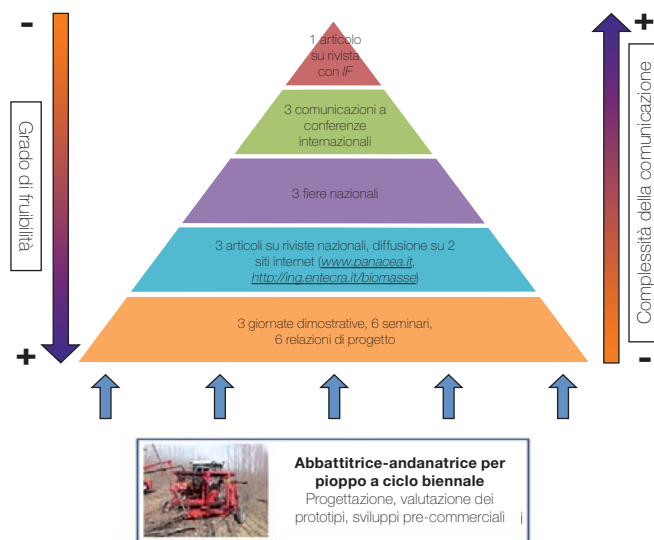


Grafico 4 - Applicazione del modello CRA-ING per la divulgazione al caso dell'abbatitrice-andanatrice per pioppo a ciclo biennale.

bito del progetto Bioenergie del MIPAAF. Nella raccolta del pioppo allevato come *Short Rotation Coppice* (SRC) il cantiere basato su un unico passaggio presenta diversi svantaggi legati al maggior contenuto di umidità del prodotto, al ristretto arco di tempo in cui è possibile operare e ai fenomeni di compattamento dovuto al transito della raccogliatrice. Il CRA-ING ha progettato un prototipo di macchina per l'abbattimento e la contemporanea disposizione in andane dei pioppi tagliati, rinviando la cippatura ad una fase successiva. In questo modo, è possibile aumentare l'intervallo di tempo disponibile per la raccolta, ottenere un prodotto qualitativamente migliore e ridurre i problemi di compattamento. Una volta realizzato, il prototipo (Foto 2) è stato sottoposto a un'intensa attività sperimentale, monitorando i cantieri di raccolta, identificando i punti deboli ed i miglioramenti necessari in base alle caratteristiche colturali su cui la macchina avrebbe dovuto operare. Ciò ha portato ad una versione pre-commerciale della macchina la cui valutazione ha permesso di definire le soluzioni tecniche più idonee per la realizzazione del modello commerciale (PARI *et al.* 2009c).

Le prove hanno interessato un arco di 2 anni durante i quali, oltre alle prestazioni delle varie versioni prototipali, si è proceduto anche a valutazioni tecniche sulla qualità del cippato ottenuto, sul processo di disidratazione del prodotto stoccato nell'interfila e sui benefici ambientali, in termini di riduzione del compattamento, riconducibili all'utilizzo del nuovo cantiere proposto. Le attività svolte ed i risultati ottenuti sono stati oggetto di un'intensa attività divulgativa che ha compreso:

- 3 giornate dimostrative presso: Azienda Agraria Sperimentale Marani - RA (Marzo 2010), Centro per il Collaudo e il Trasferimento dell'innovazione di Cesa - AR (Marzo 2010), comune di San Secondo - PG (Aprile 2010);
- 3 fiere nazionali: Agrilevante- BA (Ottobre 2009), Agroenergie - AR (Novembre 2009), EIMA energy - BO (Novembre 2010);

- 6 seminari in concomitanza con le giornate dimostrative e fiere nazionali;
- 3 articoli su riviste a diffusione nazionale (PARI *et al.* 2009c; PARI *et al.* 2010b; PARI *et al.* 2010c);
- 3 comunicazioni a congressi internazionali (PARI *et al.* 2009a, 2009b; PARI *et al.* 2010a);
- 1 articolo su rivista internazionale con Impact Factor (PARI *et al.* 2013).

Il numero e la tipologia di attività divulgative poste in essere per la macchina descritta possono essere traslate nel modello a "piramide" illustrato precedentemente (Grafico 4) cui il *case history* aderisce abbastanza bene.

In generale, la divulgazione delle acquisizioni che emergono dalle attività di ricerca svolte dal CRA-ING segue il modello illustrato. Ciò non significa, comunque, che il suddetto modello venga seguito in maniera rigida e schematica, ma, considerato come base di partenza, può essere poi modulato in funzione delle necessità e delle richieste contingenti.

CONCLUSIONI

Le strategie di divulgazione possono essere le più varie, così come la scelta di quale prediligere ed ogni gruppo di ricerca definirà il proprio approccio alla comunicazione in funzione dell'area di studio e degli obiettivi finali.

Da quanto riportato nel presente lavoro, il CRA-ING si è dedicato da diversi anni alla definizione di un sistema di diffusione del sapere che comprenda tutti i livelli lungo **una scala che va dagli stakeholders, direttamente interessati agli aspetti pratici, alla comunità scientifica nazionale ed internazionale**. L'approccio descritto è frutto di un'esperienza decennale maturata nel settore e che appare pienamente funzionale all'attività di ricerca svolta a monte e alla necessità di diffondere i risultati della suddetta attività.

Cercare di comunicare le conoscenze scientifiche acquisite durante il lavoro di ricerca costituisce un aspetto fondamentale dell'attività di un ricercatore. Nel caso in cui non si voglia limitare la diffusione delle informazioni solo a un pubblico di "esperti" c'è la necessità di utilizzare strumenti diversificati in funzione del *target* cui esse sono destinate. Ciò richiede, però, **competenza scientifica ed efficacia comunicativa** unita alla capacità di selezionare di volta in volta i mezzi, le strategie e i luoghi più opportuni per indirizzare nella maniera più adeguata e funzionale allo scopo prefisso il flusso delle informazioni (SANTANGELO e PARI 2013).

La scelta oculata del sistema di divulgazione più appropriato ha ripercussioni di rilievo sul trasferimento dell'innovazione e della conoscenza. Per esemplificare, la sola pubblicazione in lingua inglese dei risultati ottenuti da un progetto di ricerca, permette il trasferimento dei risultati essenzialmente verso gli utenti *english speaking* (USA, Canada, Nord Europa, Australia, Nuova Zelanda ecc), dato che gli imprenditori agricoli italiani, non sempre conoscono a sufficienza la lingua straniera. Se il risultato della ricerca è prontamente applicabile e di forte impatto sull'attività produttiva, l'utente straniero che utilizzerà i

dati pubblicati, potrà produrre meglio ed a un minor costo in competizione con il collega italiano a cui l'informazione non è pervenuta. Per questo si ritiene doveroso, specialmente se il progetto di ricerca è finanziato con fondi nazionali, utilizzare il sistema a piramide proposto anche se gli sforzi necessari per implementare molte delle attività divulgative non vengono considerate nei sistemi di valutazione delle attività di ricerca basate sul metodo AN-VUR⁽¹⁾, a discapito della piena valorizzazione del lavoro del ricercatore.

(1) L'Agenzia per la valutazione del sistema Universitario e della ricerca (ANVUR) sovrintende al sistema pubblico nazionale di valutazione della qualità delle Università e degli Enti di ricerca. Essa cura la valutazione esterna della qualità delle attività delle Università e degli Enti di Ricerca destinatari di finanziamenti pubblici e indirizza le attività dei Nuclei di valutazione. Infine, valuta l'efficacia e l'efficienza dei programmi pubblici di finanziamento e di incentivazione alle attività di ricerca e innovazione.

Bibliografia

PARI L., SISSOT F., CIRIELLO G., 2009a - **Developing of a prototype for short rotation forestry tillage**. In: Proceedings of the Conference "Technology and Management to Increase the Efficiency in Sustainable Agricultural System". International Commission of Agricultural and Biological Engineers, Section V, Rosario, Argentina, 1-4 September. <http://journals.sfu.ca/cigrp/index.php/Proc/issue/view/3>

PARI L., CIVITARESE V., SUARDI A., 2009b - **Prototypes for innovative for short rotation forestry harvesting method**. In: Proceedings of the Conference "Technology and Management to Increase the Efficiency in Sustainable Agricultural System". International Commission of Agricultural and Biological Engineers, Section V, Rosario, Argentina, 1-4 September. <http://journals.sfu.ca/cigrp/index.php/Proc/issue/view/3>

PARI L., CIVITARESE 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., CIVITARESE V., DEL GIUDICE A., 2010a - **Comparison of poplar chips quality harvested with different methodologies: direct harvesting-chipping versus**

cutting-whole trees and subsequent drying-chipping. In: Proceedings of the 18th European Biomass Conference and Exhibition. From research to industry and markets, Lyon, France 3-7 May 2010: 1790-1793.

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

PARI L., CIVITARESE V., DEL GIUDICE A., 2010c - **Qualità del cippato. Umidità e pezzatura in funzione della metodologia di raccolta**. In: Innovazioni tecnologiche per le agroenergie. Sinergie tra ricerca e impresa. Sherwood. n. 168, suppl. 2: 14-18.

PARI L., CIVITARESE V., DEL GIUDICE A., ASSIRELLI A., SPINELLI R., SANTANGELO E., 2013 - **Influence of chipping device and storage method on the quality of SRC poplar biomass**. Biomass and Bioenergy, 54: 77-82

SANTANGELO E., PARI L., 2013 - **L'integrazione degli strumenti di divulgazione scientifica. La disseminazione dei risultati nel caso dei progetti Faesi e Suscace**. In: Biomasse lignocellulosiche per uso energetico - Ultimi risultati dell'attività di ricerca del CRA-ING. Sherwood 192, Supplemento 2: 46-51.

KEYWORDS: scientific dissemination.

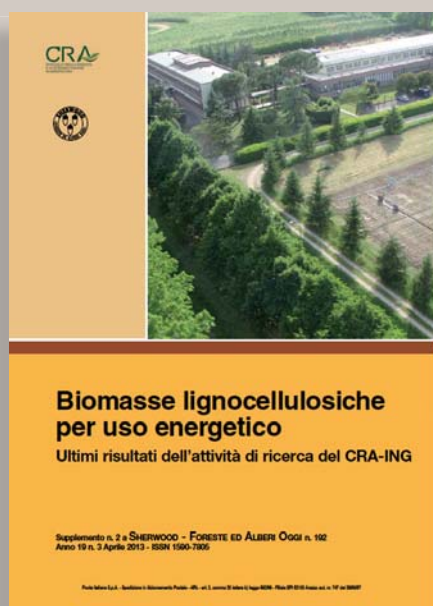
Abstract: *Technological innovations and dissemination of the results in the agroenergy sector: the CRA-ING model*

Try to communicate the scientific knowledge achieved during the research work is an essential goal of a researcher. When the information are not restricted to an audience of "experts", there is the need to use many different channels depending on the target which they are intended. Anyway, this requires scientific competence and effectiveness on communication coupled with the ability to select, from time to time, the means, the strategies and the most appropriate sites to address in a more appropriate and functional to the purpose the flow of information.

The CRA-ING is engaged by several years to the definition of a dissemination system of knowledge that encompasses all levels along a scale ranging from stakeholders (directly interested in the practical aspects) to the national and international scientific community. The approach described is the result of decades of experience gained in this sector and that it seems to be fully functional to both the research carried out upstream and the need to disseminate the results of this activity.

Questa pubblicazione rientra tra le attività di divulgazione che il Consiglio per la Ricerca e sperimentazione in Agricoltura - Unità di ricerca per l'ingegneria agraria (CRA-ING) di Monterotondo sta portando avanti da anni e costituisce il quarto volume di una serie pubblicata con analogo veste grafica e divulgata in differenti modalità sia nella versione cartacea che informatica (in formato .pdf) scaricabile dai siti <http://ing.entecra.it/biomasse> e www.rivistasherwood.it/pubblicazioni-cdf.html

I precedenti volumi sono:



Biomasse lignocellulosiche per uso energetico. Ultimi risultati dell'attività di ricerca del CRA-ING.

Supplemento al numero 192 di Sherwood - Foreste ed Alberi Oggi (anno 19 - n. 3, Aprile 2013)



Progetti di ricerca SUSCACE e FAESI. Recenti acquisizioni scientifiche per le colture energetiche.

Supplemento al numero 183 di Sherwood - Foreste ed Alberi Oggi (anno 18 - n. 4, Maggio 2012)



Innovazioni tecnologiche per le agroenergie. Sinergie tra ricerca e impresa

Supplemento al numero 168 di Sherwood - Foreste ed Alberi Oggi (anno 16 - n. 9, Novembre 2010)

Finito di stampare nel Maggio 2014
da Litograf Editor S.r.l.
Città di Castello (PG)

