



Ricerca e Innovazione per l'Economia Circolare

Ripensare, riciclare, recuperare e
raccogliere le risorse agricole non
valorizzate

Supplemento n. 2 a **SHERWOOD - FORESTE ED ALBERI OGGI** n. 241
Anno 25 n. 4 Luglio - Agosto 2019 - ISSN 1590-7805

Ricerca e Innovazione per l'Economia Circolare

Ripensare, riciclare, recuperare e raccogliere le risorse agricole non valorizzate



Attività di ricerca coordinata dal:
Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l'Analisi dell'Economia Agraria

nell'ambito del Progetto di Ricerca:



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

Pubblicazione a cura di:

Luigi Pari

Forma consigliata di citazione del Volume:

Pari L., (a cura di) 2019 - Ricerca e Innovazione per l'Economia Circolare.
Ripensare, riciclare, recuperare e raccogliere le risorse agricole non valorizzate. 88 pp.
In: Sherwood 241 Supplemento 2

Forma consigliata di citazione del singolo contributo:

Alfano V., Garcia-Galindo D., Suardi A., Pari L. 2019 - Una nuova metodologia per la stima del potenziale di potature. 5-8
In: Ricerca e Innovazione per l'Economia Circolare. Ripensare, riciclare, recuperare e raccogliere le risorse agricole non valorizzate.
Sherwood 241, Supplemento 2

Per informazioni:

Luigi Pari - luigi.pari@crea.gov.it

Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l'Analisi dell'Economia Agraria (CREA)
Centro di ricerca Ingegneria e Trasformazioni agroalimentari
Via della Pascolare 16 - 00016 Monterotondo (RM) Italia
www.crea.gov.it - www.gruppo-panacea.it

Tel. +39-06-90675250 - Fax. +39-06-90625591

Coordinamento editoriale

Silvia Bruschini - Compagnia delle Foreste - Arezzo

Impaginazione e grafica

Maria Cristina Viara - Compagnia delle Foreste - 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

- 2** *Introduzione*
di Luigi Pari
- 5** **Una nuova metodologia per la stima del potenziale di potature**
di Vincenzo Alfano, Daniel Garcia-Galindo, Alessandro Suardi, Luigi Pari
- 9** **Le tecnologie disponibili per la raccolta delle potature**
di Luigi Pari, Alessandro Suardi, Vincenzo Alfano, Simone Bergonzoli, Antonio Scarfone, Daniel Garcia-Galindo
- 19** **Agripellet da potature di vite**
Un cantiere mobile riduce i costi di produzione
di Luigi Pari, Vincenzo Alfano, Antonio Scarfone, Paolo Mattei, Giuseppe Toscano
- 26** **Macchine per la raccolta della pula dei cereali**
Stato dell'arte
di Luigi Pari, Vincenzo Alfano, Simone Bergonzoli, Antonio Scarfone, Alessandro Suardi, Sandu Lazar
- 32** **Raccolta combinata di pula e paglia per la produzione di bioetanolo**
Prime esperienze in Svezia su grano tenero
di Luigi Pari, Antonio Scarfone, Alessandro Suardi, Vincenzo Alfano, Simone Bergonzoli, Paolo Mattei, Sandu Lazar
- 37** **La raccolta dei tutoli del mais con sistema Harcob**
di Luigi Pari, Simone Bergonzoli, Vincenzo Alfano, Alessandro Suardi, Antonio Scarfone, Sandu Lazar
- 41** **Tutoli di mais e pula dei cereali per fini energetici**
Considerazioni preliminari sull'impiego energetico di residui scarsamente utilizzati
di Luigi Pari, Alessandro Suardi, Simone Bergonzoli, Antonio Scarfone, Vincenzo Alfano, Giuseppe Toscano
- 45** **Cantieri per la raccolta della paglia**
Valutazioni economiche in funzione della distanza tra campo e centro di stoccaggio
di Luigi Pari, Vincenzo Alfano, Simone Bergonzoli, Antonio Scarfone, Alessandro Suardi, Sandu Lazar
- 50** **Cantieri per la raccolta degli stocchi di mais**
di Luigi Pari, Simone Bergonzoli, Vincenzo Alfano, Alessandro Suardi, Antonio Scarfone, Sandu Lazar
- 54** **Gestione della paglia di cereali**
Performance ambientali ed economiche
di Luigi Pari, Alessandro Suardi, Nadia Palmieri, Maria Bonaventura Forleo, Giacomo Giannoccaro
- 59** **Residui colturali d'ananas in Costa Rica**
Da problema a risorsa per la produzione di energia pulita e di bio-fertilizzanti
di Luigi Pari, Antonio Scarfone, Attilio Tonolo, Vincenzo Alfano, Simone Bergonzoli, Alessandro Suardi
- 64** **Soluzioni meccaniche per la raccolta dei pappi di cardo**
di Luigi Pari, Vincenzo Alfano, Paolo Mattei, Enrico Santangelo
- 70** **Produttività dell'eucalipto**
Un impianto quinquennale in Italia centrale
di Luigi Pari, Antonio Scarfone, Vincenzo Alfano, Simone Bergonzoli, Alessandro Suardi, Sandu Lazar
- 73** **Impianto di eucalipto a media rotazione**
Sistemi di stoccaggio a confronto
di Luigi Pari, Simone Bergonzoli, Alessandro Suardi, Antonio Scarfone, Vincenzo Alfano, Paolo Mattei, Sandu Lazar
- 77** **Raccolta della canapa da fibra**
Esperienze in Emilia Romagna con prototipo Billeter
di Luigi Pari, Antonio Scarfone, Vincenzo Alfano, Simone Bergonzoli, Alessandro Suardi, Sandu Lazar, Renzo Gobbo, Stefano Vecchi, Alessandro Zatta
- 81** **Meccanizzazione nei Paesi in Via di Sviluppo**
Considerazioni sugli aspetti sociali ed ambientali per operare le scelte più idonee
di Luigi Pari
- 85** **Innovativo sistema GPS**
Uno strumento per lo studio dei tempi di lavoro nel settore delle agroenergie
di Luigi Pari, Vincenzo Alfano, Paolo Mattei, Antonio Scarfone, Simone Bergonzoli, Alessandro Suardi

Introduzione

Ricerca, innovazione e competitività sono il motore dello sviluppo di un paese

La spesa per la ricerca in Italia è diversa rispetto agli altri Paesi europei. L'Italia investe in ricerca circa l'1,2% del PIL, a fronte di un 2% della media europea. Inoltre il finanziamento in Europa ha una prevalenza di investimento privato sul pubblico: 0,8% di pubblico e 1,2% di privato. Diforme invece è il dato italiano dove l'1,2% investito in ricerca è costituito da uno 0,65% di pubblico e solamente un 0,45% di investimento privato.

Occorre chiedersi **perché il privato, in Italia, investa così poco in ricerca**. Le ragioni possono essere ricercate essenzialmente in due aspetti principali. Il primo è che la struttura italiana è costituita da piccole e medie imprese, per le quali investire in ricerca vuol dire, sì pensare al futuro, ma al contempo assumersi anche un elevato tasso di rischio, che spesso non risulta sostenibile specialmente in fase di recessione. Il secondo motivo è che, con la privatizzazione del sistema delle imprese a partecipazione statale, la logica di mercato fondata sul breve termine e sulla liquidità immediata, ha ridimensionato drasticamente gli investimenti in ricerca e sviluppo. Per completare l'analisi, accanto ai limiti oggettivi del sistema industriale italiano occorre citare due fondamentali debolezze del nostro Paese: l'elevatissima frammentazione delle attività di ricerca tra i diversi Enti di Ricerca italiani e la scarsa attenzione e importanza data alla ricerca. Molti ricercatori evidenziano la difficoltà oggettiva a lavorare con o per le imprese a causa della problematicità a pubblicare i dati scientifici spesso coperti dal segreto industriale, con conseguenti implicazioni negative nelle loro valutazioni concorsuali.

La ricerca è, prima di tutto, un'attività dinamica che ha l'obiettivo di costruire un patrimonio crescente di conoscenze e, in una visione meno riduttiva, un'attività con l'obiettivo di dare nuova linfa al sistema produttivo, attraverso il trasferimento di conoscenze e tecnologie, in modo da renderlo più competitivo. **Non è automatico che la ricerca generi innovazione e che quest'ultima, a sua volta, generi maggiore competitività**. Il risultato si può ottenere attivando un meccanismo virtuoso in base al quale ricerca, innovazione e competitività crescano armoniosamente, in equilibrio con i bisogni individuali e collettivi del Paese. Per questo il trasferimento della innovazione attraverso la comunicazione scientifica giuoca un ruolo importantissimo.

La complessità insita nella comunicazione scientifica riguarda sia i contenuti (complessi e standardizzati nel caso di divulgazione diretta alla comunità scientifica; semplificati e facilmente accessibili quando rivolti agli operatori) sia la forma, concretizzandosi quest'ultima nelle soluzioni più diverse come articoli scientifici su riviste specializzate, lavori editoriali divulgativi di tipo tecnico come la presente opera, ma anche siti web, convegni, fiere, incontri con le organizzazioni di filiera o agricole, seminari, corsi di formazione rivolti ai tecnici del settore ecc.

Il **Progetto SUSCACE**, sviluppato per rispondere alla domanda, avanzata dalle proprietà industriali promotrici degli impianti previsti

dai progetti di riconversione del settore bieticolo-saccarifero, ha lo scopo di produrre e rendere disponibili innovazioni tecnologiche relative alla produzione di colture energetiche sia erbacee che arboree e la realizzazione di prototipi e macchine indispensabili, 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).

Esaurita la fase di ricerca e concluse le attività previste dal Progetto, le risultanze sperimentali sono state rese disponibili agli utenti della ricerca (associazioni di categorie, imprenditori agricoli ed agro-industriali, costruttori di macchina agricole) e alla comunità scientifica mediante una intensa attività divulgativa diversificata in funzione della platea cui sono destinate. Nello specifico, per ottemperare alle necessità di trasferimento dei risultati, è stato messo a punto un sistema di diffusione dell'informazione per utilizzare tutti i mezzi disponibili relativamente ad ogni singolo aspetto studiato (Figura 1).

Si parte dall'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 prodotta è stata resa disponibile anche in rete allestendo un sito web dedicato alla diffusione dei dati prodotti dal Progetto (www.gruppo-panacea.it).

Questo prolifico e spesso ridondante approccio di trasferimento dei risultati della ricerca, e delle innovazioni prodotte, è risultato necessario specialmente per **raggiungere gli operatori italiani che non parlano la lingua inglese**.

Difatti, la sola pubblicazione in lingua inglese dei risultati ottenuti da un Progetto di ricerca, permette il trasferimento dei risultati verso gli operatori e ricercatori capaci di leggere e capire la lingua inglese, un aspetto che spesso rappresenta un limite per gli imprenditori agricoli italiani.



Figura 1 - Schema del processo di divulgazione seguita per la diffusione delle conoscenze maturate nel Progetto SUSCACE.

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 è sempre ritenuto doveroso, specialmente se il Progetto di ricerca è finanziato con fondi nazionali, provvedere anche alla pubblicazione in lingua italiana anche se queste vengono solo marginalmente considerate nei sistemi di valutazione curricolare del ricercatore.

Inoltre il metodo di trasferimento dei risultati della ricerca messo a punto per il Progetto Suscace è stato applicato anche per divulgare ai possibili utilizzatori italiani, i risultati ottenuti nei Progetti Europei attinenti alle tematiche del Progetto stesso, in cui il Gruppo di Ricerca è coinvolto.

In questo Speciale difatti si riportano i principali risultati conseguiti nei seguenti Progetti europei:

	<p>Development and implementation of a new and non-existent logistics chain for biomass from pruning. www.europruning.eu</p>
	<p>Brazil EU Cooperation for Development of advanced Lignocellulosic biofuels. www.becoolproject.eu</p>
	<p>Demonstration of innovative integrated biomass logistics centres for the Agro-industry sector in Europe. www.agroinlog-h2020.eu</p>
	<p>Marginal lands for Growing Industrial Crops: Turning a burden into an opportunity. http://magic-h2020.eu</p>
	<p>A thematic network to design the penetration path of non food crops into European agriculture. www.panacea-h2020.eu</p>

Economia circolare

Nell'ambito della strategia Europa 2020, l'UE ritiene che la transizione verso un'economia circolare sia di fondamentale importanza per il raggiungimento di una **maggior efficienza complessiva delle risorse**. Ciò rappresenta uno dei principali volani della competitività delle imprese europee, tenuto conto dell'alta incidenza che le materie prime hanno sui costi complessivi dell'industria manifatturiera; al riguardo si ritiene che, nel vecchio continente, tale incidenza si aggiri mediamente attorno al 40% e che possa raggiungere il 50% se si sommano anche i costi per l'energia e l'acqua.

La produzione nazionale di scarti vegetali e sottoprodotti dell'attività agricola (escluse le colture arboree e le produzioni legnose forestali), ammonta a circa 13,3 milioni di tonnellate di sostanza secca, di cui più di 6 milioni ritenute disponibili per eventuali forme di valorizzazione.

Pertanto la ricerca si sta indirizzando alla individuazione di **nuovi modelli produttivi finalizzati all'ottimizzazione, utilizzo e il riutilizzo delle risorse agricole**. La prospettiva di utilizzare i residui derivati a seguito della raccolta del prodotto primario e i sottoprodotti derivati dalla trasformazione di questi come materie prime per altre attività commerciali è promettente e viene fortemente promossa dalla Unione Europea per comprensibili motivi ambientali ed economici.

L'economia circolare può costituire quindi una opportunità di reddito addizionale per l'azienda agricola valorizzando al meglio i propri sottoprodotti e i prodotti secondari, per essere più competitiva, mantenere l'occupazione e creare posti di lavoro nelle zone rurali. Dato che l'agricoltore necessita delle tecnologie idonee per compiere le operazioni, a costi compatibili con il valore del prodotto ottenuto, la disponibilità di macchine da raccolta e separazione delle diverse frazioni e la conoscenza dei processi di degradazione delle molecole ricercate in post raccolta, e quindi la disponibilità di tecnologie per prevenirle, è uno dei colli di bottiglia che frenano l'attivazione delle nuove filiere della bioeconomia.

In quest'ambito è stato realizzato il presente Speciale, che annualmente divulga agli operatori del settore i maggiori risultati delle attività di ricerca realizzate nell'ambito del Progetto Suscace e dei Progetti Europei attinenti alle tematiche del Progetto stesso.

In particolare vengono riportate le **esperienze sperimentali relative alla messa a punto di sistemi meccanici per la raccolta**, con costi relativi al valore del sottoprodotto ottenuto, per rendere disponibili gli scarti dei processi produttivi agricoli attualmente non utilizzati come le patate, i tutoli di mais, lo stocco di mais, la pula dei cereali, i pappi di cardo ecc., cercando di identificare anche le soluzioni meccaniche per ottenere un prodotto con qualità migliori possibili, resistente alle degradazioni e con basso contenuto di inerti.

Sempre nell'ottica delle valorizzazioni dei co-prodotti, vengono riportate le **esperienze condotte all'estero** relativamente alla raccolta dei residui colturali dell'ananas e l'introduzione dei sistemi meccanici nei Paesi in Via di Sviluppo.

Questo contributo si aggiunge ai precedenti, sempre disponibili sul sito di progetto (www.gruppo-panacea.it) a disposizione degli *stakeholders* italiani per continuare l'intensa attività di divulgazione dei risultati della ricerca condotta nel Progetto Suscace.

LUIGI PARI
 CREA

Centro di ricerca Ingegneria e Trasformazioni agroalimentari

Una nuova metodologia per la stima del potenziale di potature

di VINCENZO ALFANO, DANIEL GARCÍA-GALINDO, ALESSANDRO SUARDI, LUIGI PARI

A corollario di una specifica attività realizzata nell'ambito del progetto EuroPruning, è stata sviluppata una nuova modalità per la stima della disponibilità annuale di residui di potatura in Italia.

PAROLE CHIAVE: potature, biomassa, disponibilità, stima, correlazione, bioenergia.

Negli ultimi anni numerosi studi hanno tentato di fornire delle stime, in Europa ed in Italia, del potenziale di biomassa da residui agricoli, comprese le potature. I risultati sono stati spesso discordanti o non direttamente confrontabili a causa delle diverse finalità, scala territoriale e metodologia applicata.

Come evidenziato dai progetti europei BEE⁽¹⁾ e CEUBIOM⁽²⁾, il cui obiettivo era armonizzare e migliorare la coerenza, l'accuratezza e l'affidabilità delle stime di biomassa, queste utilizzano un'ampia gamma di approcci (stima del potenziale teorico, tecnico, economico o sostenibile), metodologie, ipotesi e set di dati che portano a valutazioni diverse del potenziale (Vis *et al.* 2010).

Per il calcolo, l'uso di **indici di produzione di biomassa** è abbastanza diffuso, solitamente espresso in termini di produzione per ettaro ($t\ ha^{-1}$) o per unità di prodotto principale (kg di potatura per kg di frutta). I primi sono solitamente denominati **Rapporto Residuo Superficie** (Residue to Surface Ratio - RSR) e i secondi **Rapporto Residuo Prodotto** (Residue to Product Ratio - RPR).

Tuttavia, tali indici, come spiegato da GARCÍA-GALINDO *et al.* nel 2007 e nel 2016, rappresentano una media delle condizioni estremamente variabili, registrate empiricamente o ottenute da fonti bibliografiche e, quindi, la loro applicazione fornisce una stima approssimativa e non accurata del potenziale reale.

La quantità di potature dipende, infatti, da diversi fattori, che

sono da un lato direttamente correlati alle caratteristiche della coltura, come specie, varietà ed età, dall'altro, alle pratiche agronomiche, spesso associate alle abitudini e alle condizioni locali, come forma d'allevamento, sesto di impianto, densità, metodi di potatura (tipo e intensità), regime di irrigazione, tipo di suolo e clima.

Per tenere conto di tali fattori, nell'ambito del Progetto EuroPruning⁽³⁾ è stata sviluppata un'attività specifica finalizzata ad esplorare possibili correlazioni con la quantità di potatura e diversi fattori specifici. L'obiettivo è stato quello di ottenere modelli di regressione e, quindi, equazioni matema-



Figura 1 - Potature di olivo in andana.

1) BEE - Biomass Energy Europe (www.eu-bee.eu)

2) CEUBIOM - Classification of European Biomass Potential for Bioenergy Using Terrestrial and Earth Observations (www.ceubiom.org)

3) EuroPruning - Development and implementation of a new and non existent logistics chain for biomass from pruning (www.europruning.eu)

tiche per poter prevedere la quantità di potatura in funzione dei fattori indagati con le migliori correlazioni. L'approccio è simile agli studi condotti da SCARLAT *et al.* nel 2010 e 2011, che hanno testato modelli di regressione per colture erbacee per determinare la paglia totale in relazione alla resa del prodotto principale.

In questo lavoro si presenta l'attività realizzata nell'ambito del Progetto EuroPruning sul sottoinsieme di dati prodotti per l'Italia, con cui sono state elaborate due equazioni matematiche, rispettivamente per vite ed olivo, con cui è stato calcolato il relativo potenziale di potature, poi confrontato con le più recenti stime disponibili in Italia.

MATERIALI E METODI

Costruzione del Database

I potenziali fattori che possono influenzare la produzione di biomassa da potatura, rilevati attraverso la somministrazione di un questionario, un'analisi bibliografica e la consultazione di banche dati agro-meteorologiche, sono stati archiviati in un *database*. Ogni record include la posizione geografica relativa al dato di resa di potatura e le variabili esplicative associate, agronomiche e agro-climatiche.

Il **questionario** è stato somministrato, telefonicamente o tramite intervista diretta, ad agricoltori, agronomi e tecnici di cooperative agricole. Le informazioni richieste sono state: specie e varietà coltivate, sesto di impianto, forma di allevamento, età dell'impianto e di espianto, presenza e tipo di irrigazione, periodo, frequenza, intensità e tipo di potatura (manuale, meccanica), resa e umidità della potatura (misurata o stimata), gestione della potatura (bruciatura in campo, trinciatura e interrimento, legna per uso domestico, ecc.). È stato creato un parametro sintetico di intensificazione, i cui valori possono essere 0, 1 o 2, assegnati in base a due aspetti: al regime di irrigazione e alla forma di allevamento. Il valore 0 è dato alle forme di coltivazione tradizionali (vaso, standard) in condizioni non irrigue.

Il valore 1, per le forme di coltivazione tradizionali, ma con regime irriguo. Il valore 2, invece, viene assegnato quando i sistemi di conduzione sono intensivi (cordone, spalliera, palmetta) e in condizioni irrigue.

Per l'**analisi bibliografica** diversi articoli scientifici e rapporti tecnici sono stati selezionati tra le pubblicazioni italiane, in cui la produzione di potatura è stata misurata direttamente in campo, anche se questo dato non costituiva lo scopo principale del lavoro. Le informazioni raccolte sono state: specie, varietà, resa e umidità della potatura, metodo di misurazione e valutazione (per fila, per parcella, ecc.), anno di misurazione, sistema e frequenza di potatura, efficienza di raccolta (se eseguita meccanicamente), forma d'allevamento, età dell'impianto, densità, irrigazione, produttività, coordinate geografiche del sito sperimentale.

Un set di **parametri climatici, agro-climatici e agro-ecologici** sono stati aggiunti a ciascun record del *database*. Questi parametri sono stati estratti da fonti *online* di libero accesso, come il portale GAEZ, Global Agro-Ecological Zones della FAO (lunghezza del periodo di crescita, produttività primaria netta, ecc.) (IIASA, FAO 2012).

Alcuni *dataset* sono stati ottenuti dal portale del Consorzio per le informazioni spaziali (CGIAR-CSI) quali: indice di aridità globale, evapotraspirazione potenziale globale e indice di vocionalità Ecocrop (CGIAR, 2012). Le classificazioni climatiche sono state estratte dalla Mappa della classificazione climatica di Köppen-Geiger (KOTTEK *et al.* 2006) e dalle Regioni biogeografiche europee dell'AEA (Agenzia Europea dell'Ambiente).

Analisi di correlazione e regressione

Un'analisi di correlazione è stata eseguita tra il dato di produzione di potatura, come variabile dipendente ed il resto dei parametri, come variabili esplicative. Per l'analisi è stato utilizzato il software IBM SPSS Statistics 19. È stata scelta un'analisi non parametrica e il coefficiente di correlazione di Spearman (ρ) per misurare la forza di questa relazione (coefficiente ρ), secondo la seguente classificazione:

- debole $0,1 < \rho < 0,3$;
- moderato $0,3 < \rho < 0,6$;
- forte $0,6 < \rho < 0,9$.

Sono state accettate solo correlazioni di significatività con un livello di confidenza di 0,05.

Dopo l'analisi di correlazione, è stato eseguito uno studio di regressione per le variabili che hanno mostrato le migliori relazioni con il dato di produzione di potatura. L'obiettivo era ottenere un'equazione matematica che potesse prevedere la quantità di potatura in determinate condizioni.

RISULTATI

È stato costruito un *database* con 70 record validi (Tabella 1), che si riferiscono a 28 località. Ogni record include la resa



Figura 2 - Trincia-caricatrice realizzata dalla ditta ONG nel Progetto EuroPruning.

Coltura	Record	Località
Vite	40	10
Olivo	12	10
Pomacee	13	3
Drupacee	2	2
Agrumi	2	2
Nocciolo	1	1
Totale	70	28

Tabella 1 - Numero di record e località analizzate nel *database*.

di potatura, 8 variabili agronomiche, ottenute dalle interviste e dall'analisi bibliografica e 28 variabili agro-climatiche.

La dimensione limitata del database ha consentito un'analisi di correlazione soltanto per la vite e per l'olivo (Tabella 2). In particolare, per la vite si è ottenuto un buon livello di correlazione con l'indice di vocazionalità Ecocrop (calcolato sulla base dei dati climatici di temperatura e pioggia forniti da WordClimate.org - Wclim e dal Community Climate Model - ccm). Nel caso dell'olivo, le correlazioni, sebbene di intensità moderata, non sono risultate significative. L'analisi di regressione, utilizzando un modello lineare e l'indice di vocazionalità Ecocrop come variabile indipendente, ha fornito i risultati mostrati nella Tabella 3 e nella Tabella 4.

Il modello di regressione lineare fornisce un buon adattamento per la vite, con $R^2 = 0,662$ (cioè il modello lineare

Coltura	Parametro	ρ Spearman	(p-value) ⁽¹⁾
Vite	Ecocrop (Wclim)	0,768	(*)
	Ecocrop (ccm)	0,661	(*)
Olivo	Koeppen climate	0,418	n.s.
	Ecocrop (Wclim)	0,395	n.s.

⁽¹⁾Dove riportato, (*) $p < 0,05$ e (**) $p < 0,001$. n.s. non significativo

Tabella 2 - Risultato dell'analisi di correlazione tra produzione di potatura e variabili agro-climatiche.

R	R ²	Standard error
0,814	0,662	0,323
F value	Sig	Durbin-Watson
15,665	0,04	2,45

Regression model

$$Y = B_0 + B_1 \cdot X$$

$$B_0 = 0,534; B_1 = 0,023$$

$$\text{Biomassa} = 0,534 + 0,023 \cdot \text{Ecocrop (Wclim)}$$

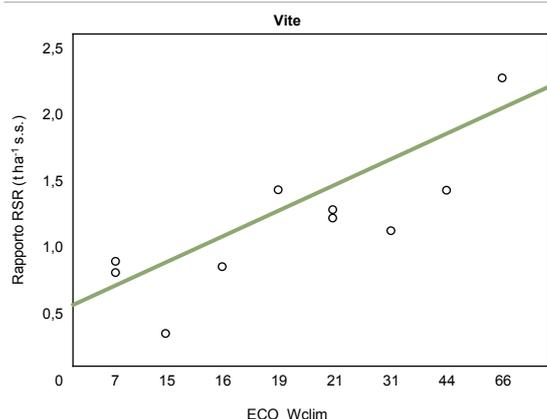


Tabella 3 - Modello di regressione per il potenziale di potature di vite e l'indice di vocazionalità Ecocrop.

Studio	Anno di riferimento	Vite (kt s.s. anno ⁻¹)	Olivo (kt s.s. anno ⁻¹)
COLONNA <i>et al.</i> 2013	2011	1.436,8	2.018,2
ENAMA, 2012	media 2006-2009	1.123,4	1.547,7
EuroPruning	2011	845,5	2.607,3

Tabella 5 - Risultati delle stime EuroPruning del potenziale di potature di vite ed olivo e confronto con le stime più recenti in Italia.

spiega il 66% della variabilità nella quantità di biomassa prodotta), meno per l'olivo, con $R^2 = 0,294$.

Gli errori standard assoluti sono, rispettivamente di 0,323 t ha⁻¹ e 1,26 t ha⁻¹ (cioè l'errore della previsione che si ottiene utilizzando il modello lineare). La fiducia del modello non è pienamente soddisfatta (significatività rispettivamente di 0,04 e 0,06), anche se è abbastanza nel limite da accettare che il risultato sia statisticamente affidabile. Di conseguenza i risultati dell'analisi di regressione dovrebbero essere presi con cautela.

Stima del potenziale per vite ed olivo

Le equazioni così ottenute sono state utilizzate per calcolare a livello provinciale il rapporto RSR. Questo, applicato alla superficie agricola in produzione nel 2011 (dati provinciali ISTAT), ha consentito di stimare, per tutto il territorio nazionale, **un potenziale di biomassa di circa 845 kt s.s. per la vite e circa 2.600 kt s.s. per l'olivo**.

Questi risultati, confrontati con le stime più recenti realizzate in Italia (Tabella 5), mostrano una sottostima del potenziale di potatura di vite rispetto ai dati trovati da Colonna *et al.* nel 2013, ed una sovrastima della disponibilità delle potature di olivo rispetto allo studio ENAMA del 2012. In realtà, oltre a quelli citati, diversi altri studi hanno valutato la disponibilità di biomassa in Italia con risultati spesso molto variabili, poiché, come sottolineato in premessa, sono frutto di diverse ipotesi e metodologie.

R	R ²	Standard error
0,610	0,294	1,26
F value	Sig	Durbin-Watson
4,79	0,06	1,51

Regression model

$$Y = B_0 + B_1 \cdot X$$

$$B_0 = -1,024; B_1 = 0,074$$

$$\text{Biomassa} = -1,024 + 0,074 \cdot \text{Ecocrop (Wclim)}$$

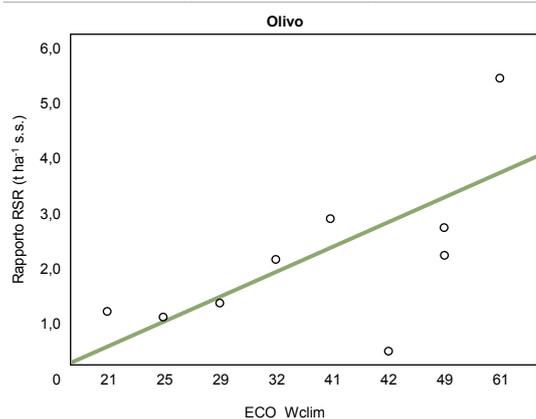


Tabella 4 - Modello di regressione per il potenziale di potature di olivo e l'indice di vocazionalità Ecocrop.

Nello studio realizzato da COLONNA, per esempio, il potenziale è stato calcolato utilizzando la metodologia sviluppata nel 1994 da AIGR e ENEA, basata sul rapporto RPR, residuo-prodotto. La stima su base dati 2011, includeva anche la biomassa di espunto di fine ciclo colturale. Lo studio ENAMA, invece, si basava sul rapporto RSR, residuo-superficie, secondo i valori proposti da DI BLASI *et al.* nel 1997, applicato alla superficie media coltivata dal 2006 al 2009. Pertanto, i risultati ottenuti con la metodologia EuroPruning non devono essere considerati come un fallimento, ma devono essere letti in prospettiva di un futuro affinamento, che si può ottenere con un numero maggiore di osservazioni dirette in campo che potrebbe migliorare la forza delle correlazioni e l'accuratezza della stima.

CONCLUSIONI

La somministrazione dei questionari e l'analisi bibliografica hanno evidenziato un'elevata variabilità e una grande quantità di fattori che influenzano la resa della biomassa di potatura. La dimensione limitata del *database* ha consentito un'analisi di correlazione soltanto per la vite e per l'olivo.

Non sono state trovate buone correlazioni con le variabili di campo, come la densità o la forma di allevamento, ma correlazioni da moderate a buone con le variabili agro-climatiche. Tra queste ultime, **l'indice di vocazionalità Ecocrop ha mostrato la migliore correlazione con la resa in potature**, consentendo di costruire due modelli di regressione, rispettivamente per vite e olivo. Gli indici RSR, residuo-superficie, per l'intero territorio italiano sono stati calcolati in base a queste equazioni e utilizzati per valutare il potenziale di potatura. I risultati non sono pienamente concordanti rispetto alle recenti valutazioni realizzate in Italia, ma l'approccio utilizzato, simile a quello utilizzato per la valutazione dei residui erbacei da parte di altri Autori e riconosciuto dal mondo scientifico, è sicuramente valido, con aspetti da migliorare.

Tra questi, soprattutto la dimensione del campione e l'affidabilità del *database*. Analizzare la bibliografia esistente e somministrare questionari non è stato sufficiente per individuare forti correlazioni. Questo è il motivo per cui in futuro per ottenere stime più attendibili, la metodologia dovrebbe basarsi su un numero maggiore di osservazioni e misure dirette in campo.

Bibliografia

AA.VV., 2012 - Studio conclusivo "Progetto Biomasse ENAMA".

Parte 1 - Biomasse ed energia. Capitolo 2 - Disponibilità delle biomasse, ENAMA - MiPAAF, 2012. Disponibile online:

www.progettobiomasse.it/studio.php

AIGR (Associazione Italiana di Genio Rurale), 1994 - **Potenzialità energetica da biomasse nelle regioni italiane, Rapporto conclusivo, Contratto AIGR - ENEA del 3/12/1992 - Pratica 00073, Aprile 1994**

COLONNA N., MACRI A., REGINA P., 2013 - **I sottoprodotti legnosi ed erbacei del settore agricolo italiano**. In: Proceedings of the Conference "I sottoprodotti agroforestali e industriali a base rinnovabile". Università Politecnica delle Marche, Ancona, Italy, September 26-27, 2013

CGIAR, 2012 - **ECOCROP database. CGIAR Consortium of International Agricultural Research Centers, 2012**. Available at: <http://gisweb.ciat.cgiar.org/ClimateChange/EcoCropFB>

DI BLASI C., TANZI V., LANZETTA M., 1997 - **A study on the production of agricultural residues in Italy**. Biomass Bioenergy 1997, 12, 321-331

IIASA/FAO, 2012 - **Global Agro-Ecological Zones (GAEZ v3.0)**. IIASA (Laxenburg, Austria) and FAO, 2012. www.gaez.iiasa.ac.at

KOTTEK M., GRIESER J., BECK C., RUDOLF B., RUBEL F., 2006 - **World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated**. Meteorol Z 2006, 15, 259-263.

GARCIA-GALINDO D., PASCUAL J., ASIN J., GARCIA-MARTIN A., 2007 - **Variability and confidence interval in the estimation of agricultural residual biomass at a municipality level in Teruel province (Spain)**. Proceedings of the 15th European Biomass Conference and Exhibition, Berlin, May 2007.

GARCIA-GALINDO D., CAY VILLA-CEBALLOS F., VILA-VILLARROEL L., PUEYO E., SEBASTIAN F., 2016 - **Seeking for ratios and correlations from field data for improving biomass assessments for agricultural pruning in Europe. Method and results**. Proceedings of the 24th European Biomass Conference and Exhibition, Amsterdam, The Netherlands, June 6-9, 2016

SCARLAT N., MARTINOV M., DALLEMAND J.F., 2010 - **Assessment of the availability of agricultural crop residues in the European Union: potential and limitations for bioenergy use**. Waste Management 2010, 30, 1889-97

SCARLAT N., BLUJDEA V., DALLEMAND J.F., 2011 - **Assessment of the availability of agricultural and forest residues for bioenergy production in Romania**. Biomass Bioenergy 2011, 35, 1995-2005

Vis M.W., *et al.* 2010 **Harmonization of biomass resource assessments. Volume I. Best Practices and Methods Handbook**, Bee Project. Tech. Rep. 2010.

KEYWORDS: pruning, biomass, availability, assessment, correlation, bioenergy.

Abstract: A new methodology for the assessment of pruning biomass availability. This work, developed under EuroPruning Project, is aimed to look at relations between pruning biomass production and several factors, related both to crop species and management. The aim is to find out mathematical relations that allow to improve the biomass potential assessment. This is generally calculated using biomass production ratios. These ratios are variable due to the influence of several aspects. On the one hand crop characteristics, such as specie, variety and age, and, on the other crop management, often associated to local habits and conditions, such as tree form, planting pattern, density, pruning methods, irrigation and climate. This work has been produced by gathering data from literature review and surveying. The sub-set of Italian records in the EuroPruning database consists of 70 records. Each record contains the biomass production ratio and 8 agronomic variables. Additionally, a set of 6 climatic and agro-climatic groups of variables (in total 28 variables) have been added to each record. Moderate to good correlations have been found specially with few climatic factors. As a result, two regression models are proposed for the evaluation respectively of the vineyard and olive tree pruning biomass ratios for Italy and applied to assess pruning biomass potential.

Questo lavoro è stato realizzato nell'ambito del progetto Europeo "EuroPruning" (grant agreement No. 312078). Il progetto EuroPruning è stato finanziato dal VII Programma Quadro per la ricerca e lo sviluppo tecnologico.



Le tecnologie disponibili per la raccolta delle patate

di LUIGI PARI, ALESSANDRO SUARDI, VINCENZO ALFANO, SIMONE BERGONZOLI, ANTONIO SCARFONE, DANIEL GARCÍA-GALINDO

Normative sempre più attente sulla gestione della potatura nella maggior parte dei paesi europei, hanno portato a un rinnovato interesse per le attrezzature che ne permettono il recupero. Questo studio fornisce un'ampia panoramica delle tecnologie disponibili per la potatura, dalle attrezzature più di base fino all'approccio più integrato.

PAROLE CHIAVE: patate, raccolta, macchine agricole.

La potatura da colture arboree poliennali in Europa potrebbe rappresentare un'importante fonte di biomassa per uso energetico e industriale che ammonta a circa 13 milioni di tonnellate di legno all'anno (DANIEL *et al.* 2016). Tuttavia, l'uso razionale di questa fonte di biomassa è ostacolato da varie barriere legate alle fasi di raccolta delle patate e allo sviluppo di una catena logistica sostenibile per la produzione di energia (DYJAKON *et al.* 2014). I rami e i germogli delle colture poliennali che annualmente vengono prodotti come scarto delle attività agricole sono ad oggi considerati più un problema che un'opportunità. Per tale motivo, la maggior parte delle volte questi non sono utilizzati o sono smaltiti in modo scorretto, come la combustione diretta in campo che risulta impattante sia per l'ambiente che per la salute umana, e può risultare potenzialmente pericolosa e causa di incendi (SPINELLI *et al.* 2010a).

La formulazione di normative più severe in materia di smaltimento delle patate nella maggior parte dei paesi europei ha portato ad un rinnovato interesse sulla raccolta di questa risorsa inutilizzata. La raccolta è una fase fondamentale che influenza la qualità del prodotto, il tipo di catena logistica e la sostenibilità economica della filiera di potatura. Per questo motivo molti costruttori di macchine hanno sviluppato attrezzature dedicate per la loro raccolta (PARI *et al.* 2001a, 2011, SPINELLI *et al.* 2010b, 2012a, 2014a; MAGAGNOTTI *et al.* 2013, GARCÍA-GALINDO *et al.* 2016).

Queste attrezzature sono già disponibili sul mercato e molti produttori offrono diversi modelli, specifici per le varie logiche di raccolta. Il presente lavoro ha lo scopo di fornire una panoramica delle tecnologie esistenti, e delle possibili logiche per la raccolta delle patate.

RACCOLTA E QUALITÀ DEL PRODOTTO FINALE

La qualità della biomassa legnosa è influenzata dalle tecniche utilizzate lungo tutta la filiera. Oltre agli aspetti legati alle caratteristiche fisiche e chimiche della biomassa, la raccolta, la cippatura e lo stoccaggio hanno una forte influenza su altri importanti parametri quali la presenza di contaminanti (suolo, pietre), la dimensione delle particelle e la massa volumica del prodotto sminuzzato.



Figura 1 - Operazione di andatura delle patate di olivo in collina tramite girarami.

LUIGI PARI, CREA luigi.pari@crea.gov.it - ALESSANDRO SUARDI, CREA alessandro.suardi@crea.gov.it - VINCENZO ALFANO, CREA vincenzo.alfano@crea.gov.it - SIMONE BERGONZOLI, CREA simone.bergonzoli@crea.gov.it - ANTONIO SCARFONE, CREA antonio.scarfone@crea.gov.it - DANIEL GARCÍA-GALINDO, CIRCE daniel.garcia@fcirce.es

Le perdite di biomassa e la contaminazione sono direttamente correlate alla regolazione del dispositivo di raccolta da terra delle potature (sistema *pick-up* della macchina operatrice). I sistemi di raccolta che lavorano molto vicini al suolo contribuiscono a ridurre le perdite di biomassa, ma aumentano l'ingresso di particelle di terreno a scapito della qualità del prodotto finale (ACAMPORA *et al.* 2013a). Infatti, come osservato da MONTI *et al.* (2008), il quantitativo di ceneri del materiale tritato è normalmente superiore a quello del legno raccolto direttamente dagli alberi (potato). Oltre che problemi legati allo smaltimento, le ceneri sono anche responsabili della riduzione del potere calorifico della biomassa nonché di una serie di gravi problemi nelle centrali come corrosioni e incrostazioni (MONTI *et al.* 2008).

Le perdite di biomassa possono essere anche dovute alla larghezza di lavoro della macchina e alla mancanza di andatura del prodotto. Come testato da ACAMPORA *et al.* (2013a), in presenza di andane con larghezze superiori alla larghezza di lavoro della macchina, si possono registrare elevate perdite di biomassa. Questo risulta più evidente quando si è in presenza di elevate quantità di residui, come nel caso degli oliveti, quando cioè la formazione di andane strette può risultare difficoltosa. Le perdite possono anche aumentare quando l'altezza del sistema di raccolta da terra (*pick-up*) viene alzata eccessivamente per evitare la contaminazione del suolo (ACAMPORA *et al.* 2013a).

La forma, la dimensione, il numero e il tipo degli elementi di cippatura e le impostazioni della macchina possono influenzare notevolmente la qualità del combustibile legnoso prodotto (SPINELLI *et al.* 2013, CIVITARESE *et al.* 2015a, DEL GIUDICE *et al.* 2017). In fase di stoccaggio un cippato troppo fine può comportare problemi anche gravi quali elevate perdite di sostanza secca, riduzione del contenuto energetico, fino all'autocombustione del combustibile (BARONTINI *et al.* 2014). Quindi la distribuzione granulometrica del cippato di legno è un parametro importante perché influenza direttamente la sua massa volumica, il comportamento in fase di stoccaggio, e indirettamente i costi di trasporto. Può inoltre creare problemi in fase di alimentazione del combustibile in caldaia. Alcune trinciatrici possono produrre un tritato di legno con caratteristiche non uniformi, e con un'elevata percentuale di scaglie di legno sovradimensionate o sottodimensionate, e qualsiasi tentativo di ridurre la classe granulometrica potrebbe provocare un aumento indesiderato dell'altra, anche quando si utilizzassero dispositivi di raffinazione specifici (NATI *et al.* 2010, SPINELLI *et al.* 2012a, ACAMPORA *et al.* 2013a). Oltre alla dimensione e all'omogeneità, la qualità del taglio delle schegge di legno prodotte può variare tra macchine operatrici. I trinciatori più comunemente utilizzati producono schegge di legno che solitamente presentano bordi sfrangiati. Altre macchine cippatrici riescono invece a produrre un materiale più omogeneo e con bordi meglio definiti. Questa differenza ha implicazioni importanti durante lo stoccaggio perché un prodotto trinciato risulta più soggetto a fenomeni fermentativi e degradativi della biomassa. Tutti i tipi di cambiamenti biologici e chimici nei combustibili legnosi durante lo stoccaggio e l'essiccazione comportano cambiamenti nelle proprietà dei combustibili. Tuttavia, anche l'uso di cip-

atrici può portare ad un prodotto di minore qualità nel caso di una mancata manutenzione dei coltelli. Ciò è stato osservato da (NATI *et al.* 2010) che ha evidenziato come una scarsa manutenzione dei coltelli comporta una ridotta qualità del cippato e della produttività della macchine operatrici NATI *et al.* (2010). Quando i coltelli non sono affilati, la cippatrice tende a rompere il legno piuttosto che tagliarlo, producendo così più polvere e particelle di legno sovradimensionate. Per questo un importante obiettivo è quello di ottenere un prodotto quanto più omogeneo riducendo al minimo la variabilità dimensionale delle parcelle (MONTI *et al.* 2008, DEL GIUDICE *et al.* 2017).

GESTIONE DELLE POTATURE

La fase di potatura produce rami, germogli e gemme che vengono lasciati sul campo. In diverse zone d'Europa, i pezzi di legno più grandi (diametri superiori ai 50 mm (SPINELLI *et al.* 2010b)) vengono di solito tagliati tramite motoseghe e raccolti manualmente o tramite l'ausilio di rimorchi per essere infine utilizzati per autoconsumo o venduti in mercati locali come legna da ardere. Al contrario, in assenza di catene di approvvigionamento della biomassa da potatura ben organizzate, in Europa non esiste un vero e proprio mercato dei residui di dimensioni inferiori (< 50 mm). I piccoli rami e i germogli che rimangono a terra non vengono quindi raccolti, cippati e utilizzati per la produzione di energia (tranne in rari casi), ma vengono smaltiti dagli agricoltori in due modi:

- ammassati e mandati in discarica o bruciati a bordo campo;
- trinciati e lasciati sul campo o interrati superficialmente.

La fase di rimozione dei rami è generalmente effettuata da un trattore dotato di forca o dispositivo analogo che spinge il potato lungo le file fino al bordo del campo.

La potatura può essere trinciata e lasciata sul terreno. Le trinciatrici a martello vengono solitamente utilizzate per smiuzzare la dendromassa in piccoli pezzi per lo più sbrati. Queste macchine sono montate posteriormente sull'attacco a tre punti del trattore e vengono alimentate dalla presa di forza dello stesso.

In rari casi, le potature di piccolo diametro possono essere recuperate anche a fini energetici utilizzando apposite macchine che cippano, trinciano o imballano la dendromassa, in modo che possa essere poi trasportata, stoccata e bruciata in impianti di trasformazione, principalmente per la produzione di calore.

Tecnologie disponibili per la raccolta delle potature

La raccolta delle potature richiede generalmente uno o due passaggi (ROMANSKI *et al.* 2014). Se durante la fase di potatura i rami e i germogli non vengono accumulati in andane al centro delle file, prima della raccolta risulterà importante utilizzare dei sistemi che permettano di convogliare il materiale legnoso al fine di ridurre al minimo le perdite. I ranghinatori sono macchine trainate munite di bracci rotanti su cui sono montati un numero variabile di denti in acciaio che indirizzano la potatura verso il centro della fila, facilitando così la suc-

cessiva fase di raccolta o movimentazione della biomassa. Questo tipo di attrezzature possono funzionare ad alta velocità (5-7 km h⁻¹) ma richiede un doppio passaggio per fila (Figura 1). Altre soluzioni possono prevedere sistemi convogliatori montati direttamente sul trattore collegato alla cippatrice (o trinciatrice) consentendo la raccolta della biomassa in un'unica passata. Questi solitamente sono montati nella parte anteriore del trattore e presentano spazzole rotanti (una per lato) azionate da motori idraulici, con larghezza di lavoro regolabile.

Alcune macchine operatrici sono equipaggiate con due spazzole convogliatrici idrauliche montate lateralmente alla bocca di alimentazione per aumentare la capacità di raccolta. A seguito dell'esperienza acquisita nelle varie prove di raccolta delle potature portate avanti dal CREA, quest'ultimo sistema sembra più adatto per compattare delle andane precedentemente formate agevolando l'entrata del materiale all'interno della bocca di alimentazione della macchina (limitando così le perdite di prodotto), piuttosto che crearne di nuove.

In sintesi, la raccolta delle potature necessita di una prima fase di andanatura che può avvenire separatamente o contestualmente alla raccolta. La raccolta può essere effettuata tramite trinciatrici, cippatrici o imballatrici.

Su un totale di 75 modelli commerciali presenti sul mercato, 60 sono degli adattamenti di trinciatrici convenzionali, con diversi gradi di innovazione e integrazione. Rispetto alle macchine trinciatrici, le cippatrici non hanno invece raggiunto uno sviluppo e una penetrazione sufficiente del mercato, anche se permettono di ottenere un prodotto di maggiore qualità.

Tra le macchine in commercio utilizzate in Europa, circa il 78% dei modelli è costruito in Italia e Spagna (86% se si include la Francia). Questo è facilmente spiegabile dato che in Europa, Spagna, Italia e Francia da sole coprirebbero una superficie destinata alle colture legnose poliennali di oltre 7 milioni di ettari (ROMAŃSKI *et al.* 2014).

Trinciatrici

La trinciatura è una tecnologia assodata e ampiamente impiegata, e il numero di trinciatrici commerciali disponibili sono in aumento. Le trinciatrici scompongono i rami in pezzi minuti attraverso l'azione di martelli o coltelli montati su un albero orizzontale rotante azionato dalla presa di forza del trattore (Figura 2).

Nel corso degli anni, i costruttori di macchine hanno modificato le trinciatrici utilizzate per l'incorporazione della potatura nel terreno, in raccogliatrici capaci di scaricare il prodotto in rimorchi o in cassoni integrati alla macchina (SPINELLI *et al.* 2012b; MAGAGNOTTI *et al.* 2013). L'innovazione generale rispetto alle trinciatrici convenzionali consiste nell'applicazione di un sistema *pick-up* per la raccolta delle potature da terra, e del sistema di convogliamento o stoccaggio temporaneo del materiale trinciato (cassoni, big bag o rimorchio). Da un punto di vista meccanico, le macchine disponibili in commercio presentano delle caratteristiche e dei principi di funzionamento molto simili, che possono variare in termini di numero e forma degli elementi trincianti, nonché i sistemi di

scarico o l'uso di rimorchi o contenitori del prodotto trinciato e la loro capienza (MAGAGNOTTI *et al.* 2013; PARI *et al.* 2016a). Le trinciatrici sono generalmente azionate dalla presa di forza del trattore e possono essere montate sia anteriormente che posteriormente alla trattrice (a seconda del modello). In genere, la maggior parte dei modelli è montata sul retro del trattore il quale passa sopra le potature lasciate in andana sul terreno prima che queste siano trinciate dalla macchina operatrice.

Pertanto, in caso di potature voluminose e con diametri elevati, si potrebbe prevedere l'impiego di protezioni supplementari da applicare sotto il trattore al fine di evitare possibili danni agli impianti elettrici o idraulici. In commercio esistono anche trinciatrici che si montano nella parte posteriore di trattori dotati di guida retroversa, e che lavorando in retromarcia non incorrono nei problemi già citati.

I trinciatori generalmente possono essere trainati da trattori di potenza compresa tra i 50 ed i 70 kW, sebbene trattori con potenze maggiori (150-200 kW) sono stati utilizzati per raccogliere potature di piante pluriennali tramite trinciatrici forestali riadattate.

In genere il costo delle trinciatrici risulta relativamente accessibile (10.000 - 20.000 €) e quindi sono comunemente utilizzate dagli agricoltori e dai contoterzisti (SPINELLI *et al.* 2010c, 2012b; ACAMPORA *et al.* 2013b).

Le trinciatrici sono state ampiamente sperimentate per la raccolta delle potature di oliveti e vigneti nell'area del mediterraneo (RECCHIA *et al.* 2009; SPINELLI *et al.* 2010c, 2012b, 2012c; ACAMPORA *et al.* 2013b; MAGAGNOTTI *et al.* 2013; BARONTINI *et al.* 2014), ma un certo numero di prove sperimentali sono state condotte anche su frutteti e actinidieti (SPINELLI *et al.* 2012b; MAGAGNOTTI *et al.* 2013). La variabilità dei parametri tecnici (larghezza di lavoro, velocità di raccolta, volume del cassone) e delle condizioni dei campi e caratteristiche delle potature (specie, sesto d'impianto, forma di allevamento, quantità e diametri delle potature) influenzano le *performance* e i costi unitari. Sebbene negli ultimi anni



Figura 2 - Raccolta delle potature di olivo tramite trinciatrice dotata di sistema di convogliamento del prodotto nel cassone della macchina.

si siano ottenuti notevoli aumenti di produttività, il costo di raccolta, compresa l'estrazione del prodotto fresco, può ancora variare tra 11 e 60 € t⁻¹, indipendentemente dalla specie (MAGAGNOTTI *et al.* 2013).

Nonostante il principio di funzionamento simile, la qualità del prodotto in termini di distribuzione granulometrica, può variare notevolmente a seconda della trinciatrice utilizzata (PARI *et al.* 2001b, SPINELLI *et al.* 2012c, ACAMPORA *et al.* 2013b). In genere, il prodotto che si ottiene risulta più simile a un trinciato di legno di bassa qualità, fatto di pezzi di rami rotti e sfibrati.

Dal confronto del prodotto ottenuto da undici trinciatrici testate in vigneto, SPINELLI *et al.* (2012c) ha riscontrato una percentuale estremamente elevata di particelle sovradimensionate e/o molto fini. L'aggiunta di dispositivi di raffinazione, come vagli o contro-coltelli, ha ridotto le particelle sovradimensionate, ma ha aumentato quelle più fini. Lo squilibrio tra particelle grandi e particelle fini è stato osservato anche da ACAMPORA *et al.* (2013b) nella raccolta della potatura di olivi, con sei modelli di trinciatrici commerciali messe a confronto. L'impiego di questo prodotto in impianti di trasformazione convenzionali può causare dei problemi di intasamento in fase di alimentazione dell'impianto. Pertanto, un uso industriale, piuttosto che domestico, sembra essere il più adatto per questo tipo di combustibile (SPINELLI *et al.* 2012c, ACAMPORA *et al.* 2013b).

Cippatrici

In una filiera legno-energia, le macchine commerciali più utilizzate per lo sminuzzamento del materiale legnoso sono le cippatrici a dischi o a tamburo (SPINELLI *et al.* 2013). In entrambi i casi la biomassa è costretta a passare attraverso un sistema di lame (posizionate sul disco o sul tamburo) e una contro-lama.

Per la potatura, le cippatrici, a differenza delle trinciatrici, sono un'opzione relativamente nuova. Per sminuzzare la potatura vengono utilizzati diversi coltelli variabili in numeri e forme. Questi coltelli sono normalmente più vulnerabili agli inerti che possono comprometterne l'affilatura (ad esempio sporcizia, pietre, fili di ferro) influenzando negativamente la qualità del prodotto finale, le prestazioni e i costi di manu-

tenzione della macchina operatrice (NATI *et al.* 2010). Anche se non sempre risulta possibile impedire che ciò avvenga, il sistema pick-up di raccolta da terra gioca un ruolo fondamentale per evitare che pietre e sporcizia vadano accidentalmente nel sistema di cippatura durante la sminuzzatura dei rami.

Le cippatrici sono state ampiamente utilizzate nella silvicoltura e nella coltivazione di specie legnose dedicate alla produzione di energia (SPINELLI *et al.* 2005, 2013, NATI *et al.* 2010, ASSIRELLI *et al.* 2013). Queste lavorano il legno con lame affilate che permettono di tagliare la biomassa in pezzi omogenei (CIVITARESE *et al.* 2015b). I tagli sono puliti ed il fenomeno della sfibratura delle particelle legnose risulta poco evidente. Il tipo di materiale ottenuto può essere movimentato e stoccato più facilmente rispetto al materiale tradizionalmente prodotto dalle trinciatrici (BARONTINI *et al.* 2014). Come combustibile, il cippato di legno causa meno problemi in fase di alimentazione di impianti a biomassa (sistemi di trasporto a coclee, stoccaggio nei silos, o nelle tramogge). La produzione di cippato di potatura risulta in genere alquanto complessa, in primo luogo perché la forma irregolare e il diametro variabile dei rami rende difficile ottenere un prodotto di dimensioni uniformi. I produttori di macchine hanno cercato di progettare sistemi di cippatura che garantiscano la produzione di cippati quanto più omogenei attraverso un taglio netto del legno e un utilizzo minimo della potenza del trattore (PARI *et al.* 2015). Questo dovrebbe migliorare le caratteristiche del cippato (evitando bordi sfrangiati) e garantire una più uniforme distribuzione granulometrica, come osservato da PARI *et al.* (2016b) durante i test di raccolta delle potature con la macchina della ditta ONG s.n.c. (Figura 3).

Le macchine operatrici per la raccolta delle potature basate su sistemi di cippatura, producono cippati di dimensioni più regolari, più simili ai cippati forestali, rispetto a quelli prodotti dalle trinciatrici. L'evoluzione di queste tecnologie è quindi necessaria per promuovere la potatura agricola all'interno del mercato della biomassa anche nell'ottica di un utilizzo domestico.

Imballatrici

I residui di potatura possono essere anche imballati. Sebbene comporti una fase successiva di cippatura, l'imballatura facilita la conservazione del materiale perché, a differenza del cippato, le balle possono essere conservate anche per mesi (SPINELLI *et al.* 2011). Infatti, come osservato da GARCÍA-GALINDO *et al.* (2016), dopo sei mesi di stoccaggio delle balle e del cippato di legno di potatura in cumuli, da un confronto, il materiale imballato risultava di qualità migliore rispetto al materiale cippato. In particolare, dallo stoccaggio effettuato in Germania di balle di potatura di melo impilate e di balle di tralci di vite effettuato in Spagna, si sono potute osservare variazioni percentuali della sostanza secca dopo sei mesi rispettivamente del $-2,4\% \pm 0,64$ e $0,0\% \pm 0,84$, mentre il materiale cippato in cumuli ha evidenziato una diminuzione della sostanza secca compresa tra $-3,1\%$ e $-7,8\%$. Per essere utilizzate come combustibile, dopo lo stoccaggio le balle possono essere bruciate direttamente in



Figura 3 - Operazione di cippatura delle potature di olivo tramite cippatrice dotata di sistema di raccolta del prodotto in big-bag.

caldaie circolari o cubiche di varie gamme di potenza, oppure trinciate da appositi trinciatori fissi o mobili prima di essere trasportate in caldaia. Questo processo può essere effettuato da trinciatrici fisse all'impianto o tramite l'utilizzo di carri miscelatori direttamente in campo (CAVALAGLIO *et al.* 2007). Le imballatrici sono ad oggi state utilizzate principalmente per la raccolta della potatura di vite (BISAGLIA *et al.* 2011, SPINELLI *et al.* 2014b), dove il diametro ridotto dei tralci risulta più facile da imballare. Infatti, la pressatura di rami lunghi e spessi può essere difficile e rappresenta il vero limite di questa tecnologia che, da esperienze del CREA, ad oggi ha mostrato i migliori risultati in vigneti ed actinidieti. Tuttavia, è stata documentata anche la raccolta delle potature di altri frutteti (PARI *et al.* 2001a, 2001c, GARCÍA-GALINDO *et al.* 2016). Come già accennato, le imballatrici sono essenzialmente un adattamento di quelle utilizzate per la raccolta della paglia, o sono progettate specificamente per la pressatura dei residui di potatura, che spesso presentano forme non standard. La dimensione (altezza e larghezza) è un requisito importante affinché le macchine siano in grado di muoversi in vari sestri d'impianto. Sul mercato sono disponibili diverse mini-rotoimballatrici progettate per il foraggio ma adattabili anche per raccogliere le potature (Figura 4). Queste svolgono la stessa funzione delle rotoballe standard, ma producono balle di dimensioni ridotte (balle da circa 30 kg) e le caratteristiche dei rami da imballare devono attenersi entro certi diametri e lunghezze.

Alcune rotoballe di dimensioni standard (1.200 mm x 1.200 mm) sono state testate sulle potature, ma potrebbero essere migliorate inserendo ad esempio un sistema di frantumazione dei rami a livello pick-up prima che questi entrino nella camera di compressione. Una macchina simile con dimensioni standard di tipo forestale è stata sviluppata dal Gruppo Anderson (modello WB-55) (SPINELLI 2011, SAVOIE *et al.* 2013). Il sistema è stato testato su salice (SAVOIE *et al.* 2013) ed eucalipto (GUERRA *et al.* 2017) con una produttività media di raccolta di 7,7 (salice) e 8,9 (eucalipto) t h⁻¹.

La macchina taglia i ricacci di cedui a breve rotazione (SRC), e li frantuma parzialmente fornendo una sorta di trinciatura grossolana (GUERRA *et al.* 2017). Una balla di questo tipo è composta di frammenti di dimensioni irregolari che facilitano la pressatura e riducono il rischio di attacco microbico in fase di stoccaggio. Tuttavia, la macchina è stata concepita per la raccolta delle colture energetiche a breve rotazione (SRC) e residui forestali, ma non esistono esperienze di letteratura relative alla raccolta delle potature.

Le balle di grandi dimensioni sono efficienti in termini di raccolta delle potature ma, come già accennato, queste necessitano di una successiva trinciatura prima di essere utilizzate come combustibile in impianto (PARI *et al.* 2001c; ROMANSKI *et al.* 2014). Un'alternativa è stata proposta da CAVALAGLIO *et al.* (2007) utilizzando un carro miscelatore, comunemente usato per l'alimentazione del bestiame con un costo comparabile a quello di una cippatrice di piccole-medie dimensioni. Altre macchine sono state sviluppate per lavorare in spazi ristretti e/o terreni scoscesi come nei vigneti di collina o nella viticoltura di montagna. L'utilizzo di sistemi di raccolta delle potature tramite mini-rotoimballatrici testato da SPINELLI *et al.*

(2014b), si era dimostrato più costoso rispetto all'utilizzo di un sistema trattore e cippatrice convenzionale, ma comunque inferiore al costo di smaltimento in discarica o bruciatura in campo (SPINELLI *et al.* 2014b). Al fine di limitare i costi di raccolta, SPINELLI *et al.* (2014b) suggeriva di concentrare i residui di potatura in file alternate al fine di raddoppiare la densità del prodotto riducendo così il numero di passate. Sebbene questa raccomandazione si riferisse specificamente ai vigneti di montagna (SPINELLI *et al.* 2014b), il concetto potrebbe essere considerato come una regola generale per ridurre i costi di raccolta.

Le esperienze di potatura di oliveti e di pescheti hanno, in alcuni casi, confermato le problematiche legate alla movimentazione delle macchine in spazi ristretti (PARI *et al.* 2001a), evidenziando anche nuove problematiche legate alla variabilità del materiale di potatura in termini di lunghezza, diametro e flessibilità dei rami. La rotoimballatrice sviluppata dall'istituto polacco PIMR (mod. PRB 1.75) (GARCÍA-GALINDO *et al.* 2016), trainata da un trattore di 40 kW di potenza minima, è stata progettata per andanare e pressare potature con caratteristiche diverse, e in diverse condizioni di terreno. Questa comprende un sistema pick-up in cui l'altezza da terra è controllata da una ruota folle o da slitte antiaffondamento. Il pick-up è stato sviluppato per raccogliere il materiale anche in terreni sassosi.

Nel caso delle imballatrici, la manovrabilità in campi con diversi sestri d'impianto, la velocità di raccolta, e la perdita di biomassa, sono aspetti critici sia per i produttori che per i ricercatori. La raccolta delle balle presenta alcuni vantaggi soprattutto quando è richiesto uno stoccaggio prolungato e una migliore conservazione della biomassa. Tuttavia la logistica della raccolta, il trasporto e la trinciatura delle balle all'impianto, richiedono di essere ulteriormente ottimizzate attraverso un'efficace organizzazione di tutti gli attori che costituiscono la filiera.

Potatura e raccolta contemporanea

La potatura è un'operazione indispensabile, generalmente effettuata manualmente, volta a migliorare la resa e la qualità dei frutti. Anche se inizialmente rappresentava una pratica



Figura 4 - Mini-rotoimballatrice Mountain press MP550 della ditta Caeb (Fonte: www.agrirosso.com).

applicata ai soli vigneti (PARI *et al.* 2017), negli ultimi anni la potatura meccanica si sta applicando anche in altre colture. Più costruttori di macchine hanno sviluppato sistemi di potatura meccanica che potrebbero essere adattati per una raccolta integrata della biomassa prodotta. Non si tratta necessariamente di una procedura complessa, ma piuttosto di convogliare efficacemente i rami tagliati direttamente in un contenitore. Le possibili caratteristiche sarebbero:

- potatura integrata con la raccolta e trinciatura/cippatura compiute da una stessa macchina semovente. Il macchinario taglia i rami che vengono quindi trasportati in un sistema di cippatura. Il prodotto trinciato potrebbe quindi essere convogliato verso il contenitore della semovente o scaricato direttamente su un rimorchio;
- potatura meccanizzata integrata con la trinciatura/cippatura delle potature effettuata da macchina operatrice. Sebbene per il momento tale macchina non esista in Europa, si tratta di una soluzione più semplice rispetto all'opzione semovente.

Attualmente nel mercato esiste solo una macchina semovente sviluppata per la raccolta delle potature di olivo, in grado di effettuare la potatura ed il recupero del materiale in una sola passata (SPINELLI *et al.* 2011). Questa integra una barra di taglio laterale a dischi multipli con alcuni elementi più tipici di un trinciatore.

La macchina con il nome commerciale di Speedy-cut prodotta da Favaretto è stata testata in un oliveto dove ha ottenuto una produttività compresa tra 0,33 e 1,03 t h⁻¹ (SPINELLI *et al.* 2011). La soluzione risulta sicuramente interessante e adatta per futuri sviluppi soprattutto negli oliveti dove viene effettuata la potatura completamente meccanizzata.

Cippatura delle potature con macchine a punto fisso

Cippatrici o trinciatrici a punto fisso, possono essere montate su un autocarro e alimentate con la potatura accatastata precedentemente da un trattore con forza, attraverso un braccio meccanico, o manualmente da un operatore. Molte aziende producono cippatrici stazionarie e sul mercato sono disponibili vari tipi di macchine (Figura 5). La maggior parte di



Figura 5 - Cantiere di raccolta e cippatura delle potature di olivo con cippatrice forestale a punto fisso.

queste sono state sviluppate per un utilizzo forestale. Questo tipo di attrezzatura e di gestione delle potature, non sono state analizzate dal presente lavoro che si è invece concentrato sulle raccogliatrici mobili.

Tuttavia, secondo la valutazione dei sistemi di raccolta dei residui di biomassa effettuata da (VELÁZQUEZ-MARTÍ *et al.* 2012), questo metodo risulterebbe più efficiente rispetto alle raccogliatrici mobili. Di contro, va comunque sottolineato che la manipolazione delle potature effettuata con un trattore dotato di forza, potrebbe favorire l'incorporazione di terra e pietre nei residui che verranno trinciati o cippati con problemi in parte accennati in precedenza (tra cui danneggiamento degli elementi di taglio, aumento del contenuto in ceneri del prodotto ecc.).

Tuttavia, il sistema basato sull'accumulo delle potature e loro successiva trinciatura dovrebbe essere considerato una buona alternativa alle cippatrici o trinciatrici mobili nel caso in cui fosse previsto lo sviluppo di una nuova filiera, e laddove lo spazio necessario per stoccare i residui in campo non fosse un fattore limitante.

UNA SCELTA COMPLESSA

Le tecnologie introdotte nel presente lavoro sono già disponibili sul mercato, ma il volume d'affari delle raccogliatrici delle potature in Europa risulta ancora molto basso e interessa un segmento molto ridotto del mercato.

Gli impianti colturali dove si possono raccogliere le potature possono variare notevolmente. Questo ha necessariamente comportato uno sforzo maggiore da parte dei costruttori al fine di ottimizzare ed adattare le attrezzature e la combinazione delle macchine, per produrre un combustibile di buona qualità. Ad esempio, le caratteristiche delle potature, quali la quantità, la lunghezza e il diametro medio, o la forma del campo, possono far sì che il rendimento della raccolta vari molto in termini di tempo, consumo di combustibile e qualità del prodotto ottenuto. Molte macchine sono trinciatrici dotate di una tramoggia di dimensioni medio-piccole o di un grande contenitore. Alcuni modelli sono stati sviluppati per scaricare il prodotto in un big-bag appeso al telaio della macchina, o in un rimorchio che può essere trainato da un secondo trattore (posteriormente o lateralmente alla direzione d'avanzamento dell'operatrice). Un modello permette di eseguire la potatura e la raccolta dei residui legnosi in un unico passaggio, ed è adatto agli impianti completamente meccanizzati. Alcune macchine sviluppate per il settore forestale permettono di processare potature con grandi diametri.

I residui di potatura dei vigneti sono i più comunemente raccolti, tuttavia in molti casi le condizioni di raccolta risultano difficili il che significa che non è possibile utilizzare attrezzature convenzionali per raccogliere le potature in condizioni di spazi ridotti o pendenze elevate. Di conseguenza, alcuni produttori hanno sviluppato macchine in grado di lavorare anche in impianti a volte molto stretti (SPINELLI *et al.* 2014a). In generale, quanto più integrata è la macchina, tanto più efficiente è la fase di raccolta e quindi tanto più elevato è il potenziale di risparmio in termini economici e di emissioni di gas serra durante la raccolta.

Pertanto, oltre alle innovazioni in materia di sistemi di raccolta da terra del prodotto, sistemi alternativi di cippatura e caratteristiche dei contenitori di scarico del materiale processato, la scelta della macchina dovrebbe tener conto anche di altri aspetti. Alcuni di questi riguardano il grado di integrazione della macchina (potatura e trinciatura contemporanea) o le innovazioni funzionali come: la dimensione e la posizione delle ruote (laterali o sotto il corpo della macchina), la manovrabilità in pendenza, il controllo dell'altezza di lavoro, le caratteristiche del sistema di raccolta che eviti l'introduzione di corpi estranei, il sistema più adatto di scarico del prodotto, la protezione da sovraccarico e la prevenzione da intasamento del prodotto processato.

D'altra parte, ci sono altri aspetti da considerare quali le caratteristiche dei campi, il tipo di terreno e di potatura. Tra l'altro la dimensione della macchina dovrebbe tener conto della grandezza degli alberi e del sesto d'impianto, l'altezza dei rami da terra e la manovrabilità in capezzagna. Anche il sistema *pick-up* di raccolta è un elemento importante che influenza l'efficienza e la velocità massima di raccolta delle potature. Oltre alle problematiche legate alle caratteristiche della biomassa residuale durante la raccolta, la potatura stessa è una fase fondamentale per avviare una filiera di produzione di energia economicamente sostenibile. Alcuni studi hanno osservato un miglioramento della produttività e della qualità della frutta, nonché della quantità di biomassa legnosa ottenuta, combinando il metodo di potatura (VELÁZQUEZ-MARTÍ *et al.* 2012).

Così, macchine come la "Speedy-cut", una semovente che effettua la potatura e la trinciatura in una sola passata (SPINELLI *et al.* 2011), potrebbero migliorare ulteriormente il rapporto costi-benefici e l'efficienza delle filiere delle potature (Figura 6).

Laddove sia possibile la sola potatura manuale, l'allineamento delle potature in andana rappresenta una pratica colturale fondamentale per migliorare il rendimento della fase di raccolta e conseguentemente per ridurre i costi. Infatti, l'accumulo di residui di potatura nelle andane aumenta la capacità operativa del cantiere di raccolta, riducendo i tempi accessori ed evitando il numero di passate. Un ulteriore rendimento è possibile ottenerlo nel caso in cui le potature vengono accumulate in file alternate (PICCHI *et al.* 2011).

Inoltre, laddove la potatura meccanica non sia applicabile, l'accumulo della biomassa direttamente nelle andane durante la fase di potatura manuale renderebbe superflua la successiva ranghinatura con conseguente riduzione dei consumi di carburante e delle perdite di residui. Anche in questo caso, l'allineamento manuale della potatura migliorerebbe la qualità del prodotto processato. Infatti, quando le potature sono trascinate in andana dai ranghinatori, risulteranno maggiormente contaminate dalle particelle terrose rispetto all'allineamento manuale al centro della fila, con conseguente aumento del contenuto di ceneri nel prodotto finale.

POSSIBILI PROSPETTIVE FUTURE

Le innovazioni future nelle macchine per la raccolta delle potature dovrebbero concentrarsi principalmente sul miglioramento delle prestazioni (quantità di prodotto processato

per unità di tempo) e della qualità del combustibile legnoso. Le potature raccolte mediante trinciatura in genere producono un materiale di bassa qualità che può creare problemi durante lo stoccaggio della biomassa (elevate perdite di sostanza secca, abbassamento del contenuto energetico, emissioni nell'ambiente), nonché maggiori problemi durante la conversione termochimica e possibili fenomeni di intasamento durante l'alimentazione in caldaia. Pertanto, progettare macchine che producano cippati di legno di più alta qualità è fondamentale per lo sviluppo di una filiera economicamente e ambientalmente sostenibile. Questi obiettivi possono essere raggiunti introducendo innovazioni che permettano di ridurre i costi come ad esempio:

- progettazione di cippatrici modulari;
- imballatrici non-stop;
- sistemi per aumentare la densità energetica del combustibile.

Le macchine modulari per la raccolta delle potature dovrebbero adattarsi alle diverse condizioni del campo e alle diverse logistiche di raccolta. La modularità potrebbe interessare sia il sistema di taglio che di stoccaggio temporaneo del materiale trinciato sulla macchina operatrice. Le caratteristiche principali del sistema di taglio (tipo e numero degli elementi per il taglio, velocità dei rotori del sistema di alimentazione e di avanzamento) dovrebbero essere regolabili in relazione alle caratteristiche delle potature (lunghezza e spessore dei rami, quantità della biomassa, tipo del legno ed età della pianta) in modo da ottenere una distribuzione dimensionale del cippato conforme alle richieste del mercato. La stessa macchina dovrebbe inoltre consentire di scegliere il sistema più idoneo di stoccaggio della biomassa durante la raccolta (big-bag, container o scarico su carro). Attualmente tali macchine non risultano disponibili sul mercato, sebbene esista già un brevetto sull'innovazione (PARI 2010).

Per quanto riguarda l'imballatura, le capacità di raccolta



Figura 6 - Operazione di potatura e cippatura simultanea con macchina operatrice semovente "Speedy-cut" (Fonte: <https://bit.ly/2vajjgd>).

sono condizionate dal tempo necessario per scaricare la balla in campo. Per le presse da foraggio e da paglia sono sviluppati nuovi prodotti che garantiscono un'imbballatura senza interruzioni (non-stop round baling). Aziende come Vermeer (www.vermeer.com), Lely (www.lely.com), Vicon (<http://ien.vicon.eu>) e Kverneland (<http://ien.kverneland-group.com>) hanno già messo in commercio imballatrici di questo tipo.

È ipotizzabile che, in un prossimo futuro, la stessa tecnologia possa essere applicata anche alla raccolta delle patate.

Uno dei punti deboli della filiera delle patate è il trasporto economicamente sostenibile della biomassa legnosa alla centrale di trasformazione. Pertanto, la produzione in campo di pellet o bricchette aumenterebbe la densità energetica del combustibile, riducendo così i costi di trasporto.

La prima pellettizzatrice semovente per il recupero dei residui dei cereali è stata sviluppata da Krone (mod. Premos 5000). Il prototipo, durante la raccolta della paglia ad una umidità del 13-18%, produce direttamente pellet in campo con una densità di 600-700 kg m⁻³. Sebbene la macchina risulti molto interessante e applicabile ai residui dei cereali, a causa dell'elevato contenuto di umidità della patatura fresca, al momento non sono disponibili macchine capaci di effettuare la pellettizzazione diretta in campo dei residui di patatura.

Tra i costruttori italiani, la Nazzareno Costruzioni Srl ha sviluppato un impianto di pellettizzazione montato su autocarro, partendo da legno residuale di patatura essiccato all'aperto, producendo agripellets con una produttività di 400-500 kg h⁻¹ (TOSCANO 2013). Non appena il contenuto di umidità della biomassa scende dal 40-45% al 18-20%, questa può essere pellettizzata direttamente a bordo campo. Non essendoci la necessità di un processo di essiccazione artificiale del legno (che è comune nella produzione industriale di pellet) si avrebbe così un'importante ricaduta nello sviluppo di una filiera sostenibile dell'agripellet (TOSCANO 2013). Produrre agripellets direttamente nell'azienda agricola, semplificherebbe la catena logistica (senza bisogno di impianti specifici di pellettizzazione esterni all'azienda) e ridurrebbe i costi di produzione. Ulteriori studi risulteranno comunque necessari al fine di stabilire i parametri qualitativi del pellet prodotto dalle patate, che ad oggi ha sollevato alcune riserve (GARCIA-MARAVÉ *et al.* 2015, BARBANERA *et al.* 2016).

Rispetto ai valori limite della norma EN ISO 17225, i pellet da tralci di vite e rami d'olivo possono avere un alto contenuto di ceneri e un basso potere calorifico (MIRANDA *et al.* 2015). Una via percorribile per sfruttare i residui di patatura per la produzione di pellet potrebbe essere quella di miscelare i residui con altre biomasse legnose per ottenere una pellettizzazione ideale (GARCIA-MARAVÉ *et al.* 2015, BARBANERA *et al.* 2016).

Un'interessante soluzione per aumentare il livello del contenuto energetico del cippato o trinciato di legno, potrebbe derivare da macchine compattatrici tipo l'Orkel MP2000 per l'imbballaggio dei rifiuti urbani o dei prodotti per l'insilamento e la macinazione. MANZONE (2015) ha testato il sistema su cumuli di cippato di robinia che presentava un tenore di umidità superiore a quello necessario per la pellettizzazione (45-55%). Sebbene risulti di un certo interesse per la logistica

dei residui agroforestali, ad oggi l'imbballaggio del prodotto è ancora economicamente non sostenibile (MANZONE 2015).

ALCUNI ESEMPI DI SUCCESSO IN ITALIA

In Italia sono già disponibili diversi esempi di successo di filiere delle patate per la produzione di energia.

Fiusis s.r.l. (Calimera, LE) ad esempio è una centrale di cogenerazione da 1 MWe che utilizza le patate di olivo conferitegli da aziende di nove Comuni della zona. La consolidata logistica di raccolta di Fiusis prevede l'utilizzo di tre raccogliatrici Facma (modello Comby) in aziende olivicole con un massimo di 400 piante. Per le aziende con un maggior numero di olivi, le patate vengono accatastate per poi essere trinciate con un cippatore a punto fisso, con una capacità produttiva di 10 t h⁻¹. In entrambi i casi la raccolta delle patate viene effettuata dopo un periodo di 25-30 giorni di essiccazione in campo attendendo la caduta delle foglie.

Lungarotti Società Agricola a.r.l. (Torgiano, PG, Umbria) è un altro esempio interessante e di successo di azienda italiana che integra la produzione di vino con quella di energia utilizzando la patatura dei vigneti. L'azienda utilizza imballatrici che producono balle di 1,1 m di larghezza e 1 m di diametro. Le balle vengono quindi triturate da un carro miscelatore, comunemente usato per l'alimentazione animale, che ha un costo comparabile a quello di una cippatrice di piccole-medie dimensioni, ma ha la capacità di gestire balle di grandi dimensioni alla pari di una cippatrice più costosa di dimensioni maggiori. La biomassa tritata viene quindi bruciata in caldaia e il vapore prodotto viene utilizzato per il lavaggio e la sterilizzazione della linea di imbottigliamento, mentre l'acqua calda viene impiegata per riscaldare le varie aree della cantina (fermentazione malolattica in barrique, magazzino, uffici). In questo modo l'azienda è in grado di risparmiare evitando l'emissione di 200 Mg di CO₂ all'anno raggiungendo quasi il 70% di autosufficienza di energia termica.

Si tratta di un processo facilmente replicabile in altre aziende sebbene, l'eccessiva frammentazione delle aziende vitivinicole italiane rende difficile il raggiungimento di questo obiettivo.

CONCLUSIONI

La fase di raccolta ha un ruolo centrale nel garantire la redditività del recupero e dell'utilizzo della patatura. Non esiste un tipo specifico di macchinario o di soluzione e le macchine attualmente utilizzate non sempre sono in grado di soddisfare tutte le condizioni di campo. La scelta della migliore tecnologia dovrebbe essere fatta caso per caso perché la sostenibilità economica di una filiera per il recupero delle patate dipende da come vengono gestiti i costi dei residui e da come vengono ridistribuiti i benefici tra i proprietari dei campi, le imprese di raccolta e gli utilizzatori di biomassa. Tuttavia, la raccolta è solo una componente a monte di una più complessa catena logistica, un processo che comprende anche il trasporto, lo stoccaggio, la movimentazione e il pretrattamento. Nella logistica e nella gestione delle filiere, l'ottimizzazione è una questione chiave, al fine di ridurre i costi di trasporto e le emissioni di anidride carbonica

generate lungo tutto il processo. Ciò comporta la necessità di un'analisi attenta di fattori quali la quantità di potatura potenzialmente disponibile, la selezione del miglior metodo di raccolta, l'ubicazione strategica degli impianti energetici, il metodo di trasporto e uno studio attento dei percorsi, nonché il pretrattamento più adeguato. Anche la tracciabilità potrebbe essere aggiunta a questo elenco, che attualmente risulta un elemento fondamentale per il settore alimentare, ma che risulta ancora poco applicata nella catena della biomassa.

Bibliografia

ACAMPORA A., CROCE S., ASSIRELLI A., DEL GIUDICE A., SPINELLI R., SUARDI A. *et al.*, 2013a - **Product contamination and harvesting losses from mechanized recovery of olive tree pruning residues for energy use.** *Renewable Energy.*, (53): 350-353.

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

ASSIRELLI A., CIVITARESE V., FANIGLIULO R., PARI L., POCHI D., SANTANGELO E. *et al.*, 2013 - **Effect of piece size and tree part on chipper performance.** *Biomass and Bioenergy.*, (54): 77–82.

BARBANERA M., LASCARO E., STANZIONE V., ESPOSITO A., ALTIERI R., BUFACCHI M., 2016 - **Characterization of pellets from mixing olive pomace and olive tree pruning.** *Renewable Energy.*, (88): 185-191.

BARONTINI M., SCARFONE A., SPINELLI R., GALLUCCI F., SANTANGELO E., ACAMPORA A. *et al.*, 2014 - **Storage dynamics and fuel quality of poplar chips.** *Biomass and Bioenergy.*, (62): 17-25.

BISAGLIA C., CUTINI M., ROMANO E., 2011 - **Esame di una filiera per il recupero energetico da residui di potatura in vigneto.** Convegno di Medio Termine dell'Associazione Italiana di Ingegneria Agraria Belgirate, 22-24 settembre 2011 memoria.,: 1-6.

CAVALAGLIO G., COTANA S., 2007 - **Recovery of vineyards pruning residues in an agro-energetic chain.** 15th European Biomass Conference & Exhibition, 7-11 May 2007, Berlin, Germany., May: 1631-1636.

CIVITARESE V., DEL GIUDICE A., SUARDI A., SANTANGELO E., PARI L., 2015a - **Study on the effect of a new rotor designed for chipping short rotation woody crops.** *Croatian Journal of Forest Engineering.*, 1(36): 101-108.

CIVITARESE V., DEL GIUDICE A., SUARDI A., SANTANGELO E., PARI L., 2015b - **Study on the effect of a new rotor designed for chipping short rotation woody crops.** *Croatian Journal of Forest Engineering.*, 1(36).

DANIEL G. G., EVA L., MEP G. P., 2016 - **Europruning project: Summary of final results. 24th European Biomass Conference and Exhibition.** Amsterdam, pp. 6-9.

DEL GIUDICE A., ASSIRELLI A., GALLUCCI F., BELLACIMA R., PARI L., SANTANGELO E., 2017 - **Production of energy feedstock from the riparian vegetation of *Arundo donax* (L.): Suitability of the chopping systems.** *Ecological Engineering.*, (102): 459-467.

DYJAKON A., DEN BOER J., BUKOWSKI P., 2014 - **Europruning-a new direction for energy production from biomass.** *Agricultural Engineering.*, (18).

GARCIA-GALINDO D., GOMEZ-PALMERO M., GERMIER S., PARI L., AFANO V., DYJAKON A. *et al.*, 2016 - **Agricultural pruning as biomass resource: generation, potentials and current fates. An approach to its state in Europe.** Proceedings of the 24th European Biomass Conference and Exhibition (EUBCE), pp. 6-9.

GARCIA-GALINDO D., LÓPEZ E., GÓMEZ M., SEBASTIÁN F., GEBRESENET G., JIRJIS R. *et al.*, 2016 - **Europruning project: Summary of final results.** European Biomass Conference and Exhibition Proceedings., Vol. 2016.

GARCIA-MARAVAR A., RODRIGUEZ M. L., SERRANO-BERNARDO F., DIAZ L. F., ZAMORANO M., 2015 - **Factors affecting the quality of pellets made from residual biomass of olive trees.** *Fuel processing technology.*, (129): 1-7.

GUERRA S. P. S., OGURI G., DENADAI M. S., ESPERANCINI M. S. T., SPINELLI R., 2017 - **Preliminary trials of the BioBaler working in Brazilian eucalypt plantations.** *Southern Forests: a Journal of Forest Science.*,: 1-5.

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

MANZONE M., 2015 - **Efficiency of a compactor in wood chip volume reduction.** *Biomass and Bioenergy.*, (80): 303-306.

MIRANDA T., MONTERO I., SEPÚLVEDA F. J., ARRANZ J. I., ROJAS C. V., NOGALES S., 2015 - **A review of pellets from different sources.** *Materials.*, 4(8): 1413–1427.

MONTI A., DI VIRGILIO N., VENTURI G., 2008 - **Mineral composition and ash content of six major energy crops.** *Biomass and Bioenergy.*, 3(32): 216-223.

NATI C., SPINELLI R., FABBRI P., 2010 - **Wood chips size distribution in relation to blade wear and screen use.** *Biomass and Bioenergy.*, 5(34): 583-587.

PARI L., SISSOT F., 2001a - **Prove di raccolta di cascami di vite e pesco con imballatrice Arbor RS 170.** *L'Informatore Agrario.*, (12): 87-91.

PARI L., SISSOT F., 2001b - **Prove di trinciatura e raccolta dei cascami di potatura in campo.** *L'Informatore Agrario.*, (45): 1-5.

PARI L., SISSOT F., 2001c - **La rotoimballatura delle potature di pesco e olivo.** *L'Informatore Agrario.*, (42): 85-87.

PARI L., 2010 - Patent n. 001372039 - **Macchina agricola per la raccolta, cippatura, carico su carro oppure imballatura dei residui colturali arborei e/o erbacei.**

PARI L., CROCE S., ACAMPORA A., ASSIRELLI A., 2011 - **D - Prove comparative di soluzioni commerciali per la raccolta delle potature di olivo. Lo sviluppo delle colture energetiche in Italia.** Il contributo dei progetti di ricerca Suscace e Faesi.,: 885-895.

PARI L., SUARDI A., DEL GIUDICE A., SCARFONE A., SANTANGELO E., 2015 - **Development of a new prototype of pruning harvester with helicoidal knife.** 23rd European Biomass Conference and Exhibition, 1-4 June 2015, Vienna, Austria., : 47-48.

PARI L., SCARFONE A., DEL GIUDICE A., SANTANGELO E., SUARDI A., 2016a - **Effect of different knives on particle size distribution of peach pruning.** European Biomass Conference and Exhibition Proceedings., Vol. 2016.

PARI L., SUARDI A., SCARFONE A., ACAMPORA A., FRACKOWIAK P., ADAMCZYK F. *et al.*, 2016b - **Harvesting of almond (*Prunus dulcis*, Mill.) pruning in Spain using a new chipper prototype.** 24th European Biomass Conference and Exhibition, 6-9 June 2016, Amsterdam., November 2011: 6-9.

PARI L., SUARDI A., SANTANGELO E., GARCÍA-GALINDO D., SCARFONE A., ALFANO V., 2017 - **Current and innovative technologies for pruning harvesting: A review.** *Biomass and Bioenergy.*, (107): 398-410.

PICCHI G., SPINELLI R., 2011 - **Industrial Harvester for Biomass Procurement of Olive Trees Residues.** 19th European Biomass Conference and Exhibition, Berlin, Germany., June: 430-431.

RECCHIA L., DAOU M., RIMEDIOTTI M., CINI E., VIERI M., 2009 - **New shredding machine for recycling pruning residuals.** *Biomass and Bioenergy.*, 1(33): 149-154.

ROMAŃSKI L., DYJAKON A., ADAMCZYK F., FRĄCKOWIAK P., 2014 - **Problems With Deriving the Fruit Tree Pruned Biomass.** *Agricultural Engineering.*, (3): 157-167.

SAVOIE P., HÉBERT P. L., ROBERT F. S., SIDDEES D., 2013 - **Harvest of short-rotation woody crops in plantations with a biobaler.** *Energy and Power Engineering.*, 02(5): 39.

SPINELLI R., HARTSOUGH B. R., MAGAGNOTTI N., 2005 - **Testing mobile chippers for chip size distribution.** *International Journal of Forest Engineering.*, 2(16): 29-35.

SPINELLI R., MAGAGNOTTI N., NATI C., 2010a - **Harvesting vineyard pruning residues for energy use.** *Biosystems Engineering.*, 3(105): 316-322.

SPINELLI R., PICCHI G., 2010b - **Industrial harvesting of olive tree pruning residue for energy biomass.** *Bioresource Technology.*, 2(101): 730-735.

SPINELLI R., PICCHI G., 2010c - **Industrial harvesting of olive tree pruning residue for energy biomass.** *Bioresource Technology.*, 2(101): 730-735.

SPINELLI R., MAGAGNOTTI N., NATI C., CANTINI C., SANI G., PICCHI G. *et al.*, 2011 - **Integrating olive grove maintenance and energy biomass recovery with a single-pass pruning and harvesting machine.** *Biomass and Bioenergy.*, 2(35): 808-813.

SPINELLI R., 2011 - **Supply of wood biomass for energy purpose: global trends and perspectives.** *Proceedings of the 22nd Annual Meeting of the Club of Bologna:* 1-16.

SPINELLI R., NATI C., PARI L., MESCALCHIN E., MAGAGNOTTI N., 2012a - **Production and quality of biomass fuels from mechanized collection and processing of vineyard pruning residues.** *Applied Energy.*, 1(89): 374-379.

SPINELLI R., MAGAGNOTTI N., NATI C., PARI L., VANNESTE J. L., 2012b - **Recovering kiwifruit pruning residues for biomass production.** *Transactions of the ASABE.*, 1(55): 1-8.

SPINELLI R., NATI C., PARI L., MESCALCHIN E., MAGAGNOTTI N., 2012c - **Production and quality of biomass fuels from mechanized collection and processing of vineyard pruning residues.** *Applied Energy.*, 1(89): 374-379.

SPINELLI R., CAVALLO E., ELIASSON L., FACELLO A., 2013 - **Comparing the efficiency of drum and disc chippers.** *Silva Fennica.*, 2(47): 1-11.

SPINELLI R., LOMBARDINI C., PARI L., SADAUSKIENE L., 2014a - **An alternative to field burning of pruning residues in mountain vineyards.** *Ecological Engineering.*, (70): 212-216.

SPINELLI R., LOMBARDINI C., PARI L., SADAUSKIENE L., 2014b - **An alternative to field burning of pruning residues in mountain vineyards.** *Ecological Engineering.*, (70): 212-216.

TOSCANO G., 2013 - **Agripellet quale soluzione per il riutilizzo energetico dei sottoprodotti agricoli (Agripellet as a solution for the energy reuse of agricultural by-products).** *I sottoprodotti agroforestali e industriali a base rinnovabile, Vol. 2 - La valorizzazione dei sottoprodotti nell'ambito agro-zootecnico, industriale ed energetico.* CTI, Milan. Ancona, pp. 75-84.

VELÁZQUEZ-MARTÍ B., FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ E., CALLEJÓN-FERRE Á. J., ESTORNELL-CREMADES J., 2012 - **Mechanized methods for harvesting residual biomass from Mediterranean fruit tree cultivations.** *Scientia Agricola.*, 3(69): 180-188.

KEYWORDS: pruning, harvesting, chipper, shredder, baler

Abstract: Pruning harvesting technologies and logistics. Pruning is an important agricultural phase to ensure efficient management and good production from tree crops. The woody biomass that remains on the ground has to be disposed of and very often this process involves additional costs or is done in an environmentally unfriendly way. However, due to more strict regulations for the handling of the pruning in most European countries led to a renewed interest in pruning recovery. Many machine manufacturers invested in the development of dedicated implements for collecting pruning residue. Equipment able to facilitate the harvest and processing of agricultural pruning are already available in the market and many machinery builders propose different models to be adapt to various harvesting logistic chains. The purpose of this study is to provide a thorough overview of technologies available to harvest pruning, from the more basic equipment until the most integrated approach.

L'articolo è stato realizzato nell'ambito del progetto SUSCACE finanziato dal MiPAAFT con D.M. 2419 del 20/02/2008



Agripellet da potature di vite

Un cantiere mobile riduce i costi di produzione

di LUIGI PARI, VINCENZO ALFANO, ANTONIO SCARFONE, PAOLO MATTEI, GIUSEPPE TOSCANO

Il cantiere mobile è stato testato a valle della raccolta delle potature di vite effettuata con una trincia-caricatrice specificamente progettata per la filiera. Si evidenziano le caratteristiche qualitative del pellet prodotto e la convenienza economica che si ottiene abbattendo i costi di trasporto della materia prima.

PAROLE CHIAVE: Agripellet, biomassa, bioenergia, potature.

La bioenergia ha un ruolo primario nel raggiungimento degli obiettivi fissati nei Piani di Azione Nazionali per le Energie Rinnovabili (PAN), coprendo quasi il 54,5% del consumo finale di energia in Europa (SCARLAT *et al.* 2015). Tuttavia, il ricorso alle fonti tradizionali per la produzione di bioenergia, ovvero le colture dedicate, non solo è sempre più limitato per il dualismo con la destinazione alimentare delle colture stesse e dei terreni ad esse destinati, ma non sarebbe comunque sufficiente per rispondere ai nuovi obiettivi del quadro UE 2030 per le politiche climatiche ed energetiche (European Parliament 2014, STELTE *et al.* 2012). A questo, si aggiunge la crescente domanda di risorse per soddisfare il recente sviluppo della bioeconomia, che richiede biomassa per le finalità più disparate, quali la produzione di bio-materiali, biochemicals, oltre che la stessa bioenergia.

In questo quadro, un'alternativa alle colture dedicate, che andrebbero coltivate su terreni marginali o poco produttivi, è data dalla valorizzazione dei residui e sottoprodotti del settore agro-forestale e agroindustriale (DUCA *et al.* 2016).

Tra i residui agricoli, le potature sono un'importante risorsa di biomassa per la grande disponibilità. In Italia, una grande quantità di potatura deriva dai vigneti (sono coltivati 725.000 ha secondo i dati ISTAT del 2017), una fonte di biomassa che ha già attirato l'interesse del mondo scientifico sia per la disponibilità (MOTOLA *et al.* 2009), sia per le caratteristiche del biocombustibile (PICCHI *et al.* 2013). Ad oggi tuttavia, tale risorsa è sfruttata soltanto in minima parte in assenza di una filiera consolidata (GARCIA-GALINDO *et al.* 2016), limitata per una serie di ostacoli legati principalmente alla convenienza economica. Tra questi, la bassa

densità volumica ed energetica associata alla dispersione sul territorio e la scarsa idoneità per l'utilizzo diretto in impianti di piccole dimensioni.

Il processo di densificazione, attraverso la produzione di pellet, potrebbe rappresentare un modo per superare questi ostacoli, fornendo prodotti ad alta densità energetica, più facili da gestire e adatti per i sistemi di riscaldamento domestici. Nel 2013, PICCHI *et al.* hanno dimostrato che la potatura dei vigneti è adatta alla produzione di pellet e alla combustione nelle caldaie di piccole dimensioni. Del resto,



Figura 1 - Impianto mobile per la produzione di pellet sviluppato da Costruzioni Nazzareno.

LUIGI PARI, CREA luigi.pari@crea.gov.it - VINCENZO ALFANO, CREA vincenzo.alfano@crea.gov.it - ANTONIO SCARFONE, CREA antonio.scarfone@crea.gov.it - PAOLO MATTEI, CREA paolo.mattei@crea.gov.it - GIUSEPPE TOSCANO, UNIVPM g.toscano@univpm.it

anche la norma ISO 17225-1: 2014 classifica la potatura del vigneto come biomassa legnosa con il codice 1.1.7, ovvero "Segregated wood from gardens, parks, roadside maintenance, vineyards, fruit orchards and driftwood from freshwater" e, secondo la norma ISO 17225-6: 2014, tale biomassa potrebbe essere utilizzata per produrre pellet definito come non legnoso, che comunemente prende il nome di agripellet.

In tale ottica, in questo lavoro è stato valutato **un sistema di pellettizzazione mobile prodotto dalla ditta Costruzioni Nazzareno per la produzione di agripellet direttamente in campo con abbattimento dei costi legati al trasporto della materia prima**. Il cantiere mobile si inserisce a valle della raccolta delle potature con trincia-caricatrice prodotta dalla stessa ditta specificamente per la filiera dell'agripellet, già analizzata nello Sherwood 219, Supplemento 2 del 2016 (PARI *et al.* 2016).

L'obiettivo di questo lavoro è dimostrare la validità del sistema attraverso la **valutazione delle prestazioni dell'impianto**, la **qualità dell'agripellet prodotto** e la **valutazione economica** del processo di produzione. A tal proposito, il confronto economico con il pellet commerciale non è finalizzato a confrontare una filiera locale rispetto ad una industriale, ma a disporre di parametri di riferimento per quantificare il valore economico di un nuovo prodotto. Ciò è stato fatto per enfatizzare la sostenibilità economica della filiera corta in assenza di un mercato dell'agripellet.

MATERIALI E METODI

La pellettizzazione è avvenuta a distanza di otto mesi dalla raccolta delle potature con trincia-caricatrice Marev Alba Costruzioni Nazzareno (PARI *et al.* 2016), **dopo un periodo di stoccaggio in cumulo all'aperto**. È stato utilizzato l'impianto mobile sviluppato dalla ditta Costruzioni Nazzareno (Figura 1). Il test è stato svolto presso lo stabilimento della ditta costruttrice a Breda del Piave (Veneto), dove il materiale è stato trasferito dopo lo stoccaggio. Prima della pellettatura, è stato rilevato il contenuto di umidità secondo la norma tecnica UNI EN 18134-1: 2015 per verificare che fosse inferiore al 20% per consentire tale trattamento di densificazione (WHITTAKER e SHIELD 2017).

Gli elementi principali dell'impianto sono il mulino raffinatoro, un serbatoio tampone di 3 m³ per l'accumulo del materiale

macinato e il sistema di pellettizzazione vero e proprio. I tre elementi sono collegati per mezzo di tubi di diametro adeguato attraverso i quali il materiale viene mosso da un sistema pneumatico. Tutti gli elementi sono montati su un rimorchio per il trasporto su strada al fine di processare il materiale direttamente in campo o presso le strutture aziendali attigue. Il caricamento della biomassa nella tramoggia può essere eseguito manualmente o meccanicamente (benna, pala meccanica). Da qui, il materiale viene trasferito al mulino di raffinazione dove viene polverizzato fino a ottenere particelle di dimensione adatte per la successiva densificazione. Un elettroventilatore spinge il materiale all'interno del serbatoio tampone dotato di un filtro per ridurre le emissioni di polvere, dove viene agitato da un volano. Successivamente, il materiale viene trasportato alla pressa del sistema di pellettizzazione. Il pellettizzatore ha un estrusore del diametro di 6 mm, mentre il mulino ha una griglia di 1 mm. Sia il mulino che il sistema di pellettizzazione sono azionati rispettivamente da un motore elettrico da 35 kW.

Prestazioni dell'impianto

La produttività oraria è stata valutata pesando il pellet prodotto in un minuto e ripetendo la misura 20 volte in modo casuale durante il test. Inoltre, per convalidare il risultato, è stata pesata la quantità di pellet prodotta in 30 minuti consecutivi. Per valutare la potenza elettrica assorbita dal carico, è stata utilizzata una pinza amperometrica per misurare la corrente di linea. Il display della pinza è stato registrato durante l'intero test. Il filmato è stato successivamente analizzato con il *software* MPlayer, un lettore multimediale gratuito, per acquisire automaticamente le schermate, e quindi le misure, ogni 10 secondi, al fine di trasferire su un foglio di calcolo e mediare i valori ottenuti durante l'intera prova.

Caratterizzazione della biomassa

Le caratteristiche qualitative dei campioni di biomassa prelevati prima e dopo la raccolta delle potature, già analizzate da PARI *et al.* (2016) sono state confrontate con le analisi chimico fisiche eseguite dopo lo stoccaggio sul cippato secco e dopo la pellettatura (sul pellet). Presso il laboratorio biomasse dell'Università Politecnica delle Marche sono stati analizzati i principali parametri di qualità del combustibile riportati in Tabella 1.

Parametro	Standard
Umidità	ISO 18134-1:2015
Ceneri	ISO 18122:2015
Durabilità meccanica	UNI EN 15210-1
Bulk density	UNI EN 15103
Potere calorifico	UNI EN 14918
Azoto	ISO 16948:2015
Zolfo e Cloro	ISO 16994:2015
Elementi minori (Pb, Cr, Cu, Mn, Ni, As, Cd, Hg, Zn)	ISO 16968:2015
Fusibilità delle ceneri	UNI CEN/TS 15370

Tabella 1 - Parametri analizzati sulla biomassa secondo gli standard di riferimento.



Valutazione economica

Scenari economici

Sono stati valutati complessivamente tre scenari (Tabella 2). Tra questi, due possibili filiere di produzione di pellet di potatura, corrispondenti allo **Scenario A** stoccaggio e pellettizzazione direttamente presso il sito aziendale e **Scenario B** stoccaggio e pellettizzazione in un sito di lavorazione centralizzato.

Il primo scenario è ipotizzabile in presenza di aziende di grandi dimensioni, con una disponibilità sufficiente di biomassa e infrastrutture adeguate (depositi, macchinari per la movimentazione delle biomasse, disponibilità di energia elettrica). Al contrario, il secondo scenario si verifica quando è necessario uno stoccaggio intermedio per raccogliere le potature provenienti da diverse aziende più piccole in un sito centralizzato. In questo secondo scenario, **oltre al costo di produzione del pellet, sono stati calcolati anche i costi di trasporto** e valutata la distanza limite campi - sito centralizzato per cui viene garantita la convenienza economica. In alternativa alla produzione di pellet, infine, è stato considerato un terzo scenario, che prevede l'utilizzo del cippato tal quale in un impianto a biomassa (**Scenario C**); anche in questo caso, il costo di trasporto e la distanza limite sono stati valutati come per lo Scenario B.

Riassumendo, per quanto riguarda la ripartizione dei costi, lo Scenario A include il costo per la raccolta delle potature e per la pellettizzazione, lo Scenario B include i costi di raccolta, di trasporto del cippato al sito centralizzato e di produzione del pellet, mentre lo Scenario C include solo i costi di raccolta e di trasporto del cippato all'impianto a biomasse.

Per stimare la redditività delle tre filiere è stato utilizzato un prezzo di mercato di riferimento per il pellet e per il cippato. Facendo riferimento al listino prezzi dei biocombustibili solidi della Camera di Commercio di Milano, riferito a Febbraio 2015 (FIPER 2015), il prezzo di riferimento per il pellet è stato di 210 € t⁻¹ (riferito all'acquisto di un

camion a pieno carico di pellet A2 in sacchi da 15 kg, IVA esclusa, senza trasporto), mentre, il prezzo di riferimento del cippato è stato 50 € t⁻¹ (per l'acquisto di un camion a pieno carico, IVA esclusa, senza trasporto e riferito alla biomassa ottenuta da operazioni di manutenzione forestale).

Stima dei costi

La stima dei costi è stata condotta utilizzando la metodologia proposta da CRPA nel 2005, con le ipotesi mostrate nella Tabella 3 (costi di raccolta), Tabella 4 (costi di trasporto) e Tabella 5 (costi di pellettizzazione). Per quanto riguarda i sistemi di raccolta e di pellettizzazione, i costi relativi alla proprietà, sono stati calcolati in base alle indicazioni fornite direttamente dai proprietari (costo d'acquisto, vita utile, valore di recupero), mentre i costi operativi sono stati calcolati in base a dati misurati direttamente durante le prove sperimentali: consumo di carburante (l h⁻¹), capacità operativa (ha h⁻¹) e produttività oraria (t h⁻¹) del sistema di raccolta (PARI *et al.* 2016) e produttività e consumi energetici del sistema di pellettizzazione.

Per i costi di trasporto sono stati considerati un trattore di media potenza (100 kW) e un rimorchio di 40 m³, usualmente impiegati per le comuni pratiche agricole (Tabella 4). Il costo unitario (€ t⁻¹ km⁻¹) è stato stimato considerando il costo orario del sistema di trasporto (desunto dai costi di esercizio), la densità apparente del cippato misurata in campo, la capacità di carico del rimorchio e una velocità di marcia di 40 km h⁻¹. L'equazione utilizzata è la seguente:

$$\frac{\text{Costo orario (€ h}^{-1}\text{)}}{\text{Capacità di carico (t)}} \times \frac{\text{Distanza (km)}}{\text{Velocità (km h}^{-1}\text{)}}$$

Per determinare la distanza limite per il trasporto del cippato che continui a garantire la convenienza economica, è stato considerato, **con un approccio conservativo, una riduzione del prezzo di riferimento del pellet del 10%**, a causa della minore qualità della biomassa di potatura

Scenario	Raccolta	Essiccazione in campo	Trasporto	Essiccazione	Pellettizzazione
A	Raccolta	Essiccazione in campo	-	-	Pellettizzazione in campo
B	Raccolta	-	Trasporto al centro di stoccaggio e trasformazione centralizzato	Essiccazione	Pellettizzazione al sito intermedio
C	Raccolta		Trasporto all'impianto a biomasse per l'utilizzo diretto		

Tabella 2 - Scenari economici: possibili filiere di produzione di pellet di potatura e uso diretto del cippato.

	Unità	Trattrice	Trincia-caricatrice MAREV Alba 150
Potenza	kW	50	-
Acquisto	€	28.000	24.000
Vita utile	anni	15	8
Valore di recupero	%	25	10
Tasso di interesse	%	4	4
Assicurazione	%	0,25	0,25
Salario	€ h ⁻¹	12	-
Costo del carburante	€ t ⁻¹	0,86	-
Consumo carburante	l h ⁻¹	3,64	-
Fattore di riparazione	%	40	40
Fattore di manutenzione	%	10	5

Tabella 3 - Costi relativi alla raccolta.

	Unità	Trattrice	Rimorchio
Potenza	kW	100	-
Capacità di carico	m ³	-	40,0
Acquisto	€	78.000	25.000
Vita utile	anno	10	15
Valore di recupero	%	20	10
Utilizzo annuo	h	800	250
Tasso di interesse	%	4	4
Assicurazione	%	0,25	0,25
Salario	€ h ⁻¹	12	-
Consumo di combustibile	€ h ⁻¹	14,0	-
Fattore di riparazione	%	40	15
Fattore di manutenzione	%	10	5

Tabella 4 - Costi relativi al trasporto.

	Unità	Mulino	Pelletizzatore
Potenza installata	kW	35	35
Acquisto	€	10.0000	60.000
Vita utile	anno	8	15
Valore di recupero	%	20	10
Tasso di interesse	%	4	4
Prezzo elettricità	€ kW h ⁻¹	0,17	0,17
Salario	€ h ⁻¹	12	12
Fattore di riparazione	%	50	20
Fattore di manutenzione	%	10	5

Tabella 5 - Costi relativi alla pellettizzazione.

	Unità	Alla raccolta	Dopo lo stoccaggio
Densità apparente	(kg m ⁻³)	151,3 ± 8,3	112,9 ± 7,4
Umidità	(%)	39,9 ± 0,85	19,0 ± 0,72

Tabella 6 - Densità apparente e contenuto di umidità del materiale cippato prima e dopo lo stoccaggio.

Parametro	Unità	Pellet	Potatura	Valori tipici per SRF (1.1.1.3) - ISO 17225-1
Umidità	w-% ss	6,9±0,1	39,9±0,8	Non definito
Ceneri	w-% ss	4,2±0,2	3,9±0,3	0,5 - 4,0
Durabilità meccanica	%	98,3±0,1	---	Non definito
Densità apparente	kg m ⁻³	732,2±9,3	---	Non definito
Potere calorifico inferiore	MJ kg ⁻¹ ss	17,8±0,1	18,0±0,1	17,6 - 19,0
Azoto	w-% ss	0,59±0,03	0,68±0,5	0,2 - 1,4
Cloro	w-% ss	0,05±0,01	0,05±0,01	0,01 - 0,18
Zolfo	w-% ss	0,03±0,01	0,03±0,01	0,01 - 0,11
Arsenico	mg kg ⁻¹ ss	0,12±0,01	0,18±0,03	< 0,4
Cadmio	mg kg ⁻¹ ss	0,15±0,02	0,07±0,01	0,2 - 5
Rame	mg kg ⁻¹ ss	17,2±1,1	12,8±2,5	2,0 - 4,0
Cromo	mg kg ⁻¹ ss	3,2±0,5	2,3±0,4	0,3 - 5
Mercurio	mg kg ⁻¹ ss	< 0,1	< 0,1	< 0,03
Lead	mg kg ⁻¹ ss	0,6±0,1	0,5±0,1	0,1 - 2
Nickel	mg kg ⁻¹ ss	0,9±0,1	1,2±0,1	0,2 - 3
Zinco	mg kg ⁻¹ ss	35±6	27±4	6 - 100
Fusibilità delle ceneri	°C	1376±12	1392±17	Non definito

ss: sostanza secca.

Tabella 7 - Risultati delle analisi per il pellet e per la potatura e valori di riferimento tipici per il pellet di prodotto da SRF forniti dalla norma ISO 17225-1.

rispetto a quella forestale (189 € t⁻¹ invece di 210 € t⁻¹) e un margine di profitto minimo di 30 € t⁻¹ per il prodotto venduto.

Utilizzo annuo di macchinari

Per il calcolo dei costi di esercizio delle macchine è stato necessario definire le ore di utilizzo annue, che dipendono da diversi fattori. Infatti, una parte significativa dei costi di esercizio è dovuta all'ammortamento dell'investimento per l'acquisto delle macchine (24.000 € per la trincia-caricatrice e 70.000 € per l'impianto mobile di pellettizzazione), distribuiti nell'arco della vita utile (rispettivamente, 10 e 15 anni) e, quanto più le macchine sono utilizzate durante la vita utile, tanto più basso sarà il costo orario. Tra i fattori che influenzano le ore di utilizzo annuali sono stati identificati:

- disponibilità di potature (t h⁻¹);
- produttività oraria della raccogliitrice, cioè quantità di potatura raccogliibile all'ora (t h⁻¹);
- produttività oraria della pellettizzatrice, ovvero potatura processabile all'ora (t h⁻¹);
- finestra di raccolta dei sarmetti, a sua volta funzione di fattori agronomici e climatici.

Mentre i primi tre fattori sono stati misurati direttamente in campo, il quarto è stato stimato in un'ipotesi minima e massima. Le ore massime di utilizzo annuo della trincia-caricatrice sono state stimate considerando i potenziali giorni lavorativi entro una finestra di raccolta di 90 giorni, con un orario di lavoro di 8 ore al giorno. La finestra di 90 giorni corrisponde al periodo massimo sfruttabile in Italia per raccogliere la potatura di vigneto, cioè tra dicembre (periodo di potatura) e marzo (prima lavorazione primaverile) (Veneto Agricoltura 2004). Da tale intervallo di tempo, sono stati esclusi alcuni giorni di inattività legate alle condizioni meteorologiche avverse (stimando le precipitazioni medie per il periodo gennaio-marzo sulla base dei dati regionali dell'Agenzia regionale per la protezione e la prevenzione ambientale, ARPA del Veneto), giungendo ad un periodo di lavoro effettivo di 50 giorni.

Le ore minime di utilizzo annuale per la raccogliitrice sono state, invece, fissate considerando una soglia al di sotto della quale la raccolta non è più sostenibile in termini economici, poiché il costo orario di raccolta sarebbe superiore rispetto al prezzo che il contoterzista applica per la trincatura (alternativa alla raccolta) delle potature (60 € h⁻¹ (Unione Nazionale Contoterzisti Agromeccanici 2015).

Per quanto riguarda la pellettizzatrice, l'utilizzo annuo è stato stimato in base alla sua capacità di lavoro (t h⁻¹), considerando un tempo di lavoro di 8 ore al giorno e alla disponibilità minima e massima di potatura, funzione dell'operatività della raccogliitrice e del bacino di approvvigionamento.

RISULTATI

Dopo otto mesi di stoccaggio in cumulo scoperto, il **contenuto di umidità del materiale cippato è diminuito di circa il 50%**, passando dal 39,9% al 19,0%. La densità apparente ha mostrato una riduzione da 151,3 a 112,9 kg m⁻³ (Tabella 6).

La Tabella 7 mostra i risultati delle analisi di laboratorio effet-

tuare sui campioni di potatura e pellet e, come riferimento, i valori tipici del pellet ottenuto da Short Rotation Forestry (SRF) così come indicato nella norma ISO 17225-1. **Tutti i parametri analizzati sono conformi ai valori di riferimento, ad eccezione del contenuto di ceneri e del livello di rame.** Rispetto alla potatura tal quale, il contenuto di ceneri e il livello di rame del pellet sono aumentati rispettivamente dello 0,3% (su base secca, dm) e di 4,4 mg kg⁻¹ dm. Dal punto di vista energetico, il pellet ha migliorato la densità energetica, mantenendo un potere calorifico netto simile, aumentando di circa cinque volte la densità apparente e riducendo di tre volte il contenuto di umidità del materiale cippato. La produttività della pellettizzatrice è stata 371,8 ± 27,4 kg h⁻¹. La corrente di fase media è risultata 111,3 ± 15,03 A e la potenza media assorbita dal carico 64,69 ± 8,74 kW.

Analisi economica

Nello Scenario A (raccolta + essiccazione e pellettizzazione in campo), in base alla dimensione del bacino di approvvigionamento, e quindi alla disponibilità di potatura e delle ore di utilizzo dei macchinari, i costi di raccolta sono stati valutati in un intervallo che va da da 16,2 a 30,5 € t⁻¹, mentre per la pellettizzazione i costi variavano da 115,1 a 146,6 € t⁻¹. Pertanto, la raccolta delle potature incide dal 12% al 17% sui costi totali, che variavano da 131,3 a 177,1 € t⁻¹ (Tabella 8).

Confrontando questi risultati con il prezzo di mercato di riferimento del pellet commerciale A2, deprezzato del 10% (189 € t⁻¹), il margine di profitto passa da 11,9 a 57,7 € t⁻¹. Pertanto, per la palletizzazione in campo, il margine di profitto minimo di 30 € t⁻¹ sarà raggiunto con un bacino di approvvigionamento di circa 150 ha. A questo proposito, come mostrato nella Figura 2, il costo totale e la redditività sono direttamente correlati alla dimensione del bacino di approvvigionamento.

Nello Scenario B (stoccaggio e pellettizzazione in un sito centralizzato), i costi di trasporto sono stati valutati in 0,53 € per km e per tonnellata di biomassa trasportata, come mostrato nella Figura 3.

Ipotizzando il pieno sfruttamento della raccogliatrice nella finestra di raccolta di tre mesi (16,2 € t⁻¹ per la raccolta, 115,1 € t⁻¹ per la pellettizzazione), il costo totale compreso il trasporto raggiunge il valore soglia di 159 € t⁻¹ (garantendo un margine di profitto minimo di 30 € t⁻¹) a 52,4 km (Figura 4).

Nello Scenario C (uso diretto del cippato in un impianto dedicato), considerando un prezzo di mercato del cippato di 50 € t⁻¹, un margine di profitto superiore a 30 € t⁻¹ può essere raggiunto solo se il trasporto è escluso (vendita in azienda) o se il cippato viene trasportato entro una distanza di soli 7,2 km (il costo di raccolta + trasporto è di 20 € t⁻¹) (Figura 4).

Questi risultati possono variare in base al margine di profitto atteso e in base alla dimensione del bacino di approvvigionamento (disponibilità di biomassa). Infatti, una volta fissato un margine di profitto, la distanza di convenienza in entrambi gli Scenari B e C (in cui è previsto il trasporto della biomassa) diminuisce con la riduzione della dimensione del bacino di

approvvigionamento (Tabella 9). In caso di sfruttamento massimo, con un bacino di approvvigionamento di 350 ha, il margine di profitto scende al di sotto di 15 € t⁻¹ per una distanza di trasporto pari a 80,8 km (Scenario B) e 35,6 km (Scenario C) o diventa 0 € a 109 km (Scenario B) e 64 km (Scenario C).

Bacino (ha)	Disponibilità potature (t)	Costo raccolta (€ h ⁻¹)	Costo raccolta (€ t ⁻¹)	Costo Produzione pellet (€ h ⁻¹)	Costo produzione pellet (€ t ⁻¹)	Costo totale (€ t ⁻¹)
350	805	32,2	16,2	42,8	115,1	131,3
300	690	34,2	17,2	43,6	117,2	134,4
250	575	36,8	18,5	44,7	120,2	138,7
200	460	40,8	20,5	46,3	124,6	145,1
150	345	47,4	23,8	49,0	131,9	155,7
100	230	60,7	30,5	54,5	146,6	177,1

Tabella 8 - Costi di raccolta e di pellettizzazione in base alle ore annuali di utilizzo dei macchinari e del bacino di approvvigionamento necessario (Scenario A).

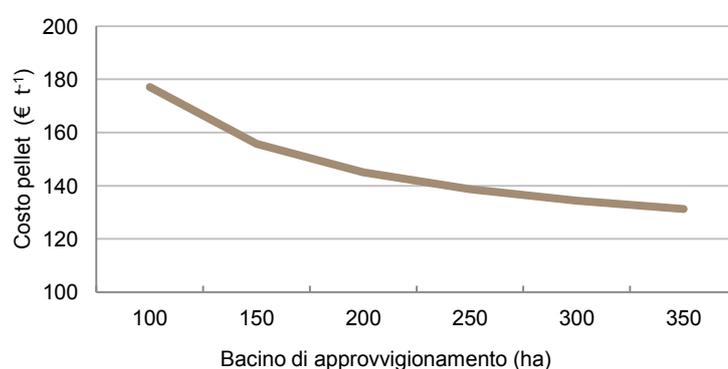


Figura 2 - Costo totale della produzione di pellet in base al bacino di approvvigionamento.

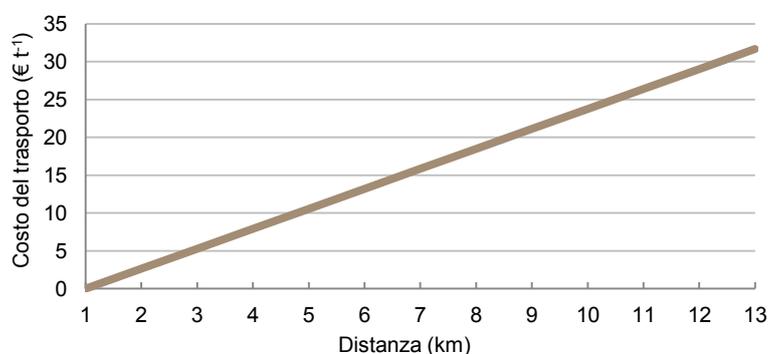


Figura 3 - Costo del trasporto (€ t⁻¹) in base alla distanza (km).

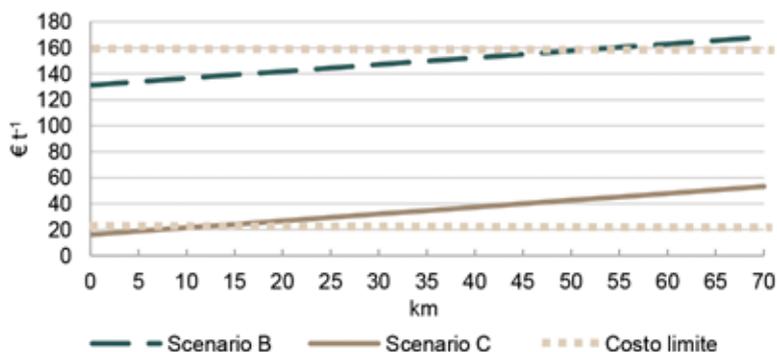


Figura 4 - Andamento del costo di produzione del pellet incluso il trasporto nello Scenario B (linea tratteggiata) e Scenario C (linea continua). Gli incroci con la linea punteggiata indicano la soglia di convenienza con riferimento a un margine di profitto minimo di 30 € t⁻¹.

Margine di profitto (€ t ⁻¹)	Scenario / Distanza limite (km)	Bacino di approvvigionamento (ha)					
		350	300	250	200	150	100
30	B	52,4	46,6	38,5	26,4	6,3	nr
	C	7,20	5,30	2,84	nr	nr	nr
15	B	80,8	75,0	67,0	54,8	34,7	nr
	C	35,6	33,7	31,3	27,5	21,2	8,52
0	B	109,2	103,4	95,3	83,2	63,1	22,6
	C	64,0	62,1	59,7	55,9	49,6	36,9

nr: non redditizio

Tabella 9 - Distanza di convenienza per lo Scenario B e per lo Scenario C in base alla dimensione del bacino di approvvigionamento e al margine di profitto atteso.

DISCUSSIONE

Lo stoccaggio in cumulo all'aperto del cippato di vite, grazie all'assenza di sfibrature e alla regolare distribuzione granulometrica, come evidenziato in PARI *et al.* 2019, ha consentito di raggiungere in breve tempo elevate perdite di umidità, con valore inferiore al 20% necessario per la pellettizzazione diretta escludendo l'essiccazione forzata.

La maggior parte dei parametri chimici analizzati in laboratorio sono comparabili con i risultati trovati in precedenti studi (ZANETTI *et al.* 2017, PICCHI *et al.* 2018, MANZONE *et al.* 2016). Le principali differenze si riferiscono ai metalli pesanti, e sono da imputarsi ai diversi sistemi di raccolta e condizioni di stoccaggio.

In particolare, il maggiore contenuto in rame è dovuto sia alle sostanze chimiche applicate alle viti per il controllo dei parassiti che al terreno raccolto dalla raccogliitrice. Quest'ultimo aspetto può anche spiegare il valore più alto rispetto alla potatura di partenza. DUCA *et al.* nel 2016 hanno dimostrato, infatti, che parte del rame presente nella biomassa è attribuibile all'elevata presenza nel suolo.

Per quanto riguarda la valutazione economica, **non esistono studi di riferimento che hanno trattato la produzione di agripellet con tecnologie mobili**. Diversi studi hanno esaminato il costo e la commerciabilità della produzione industriale di agripellet, in particolare prodotto a partire dalla paglia. Nel progetto Pellets for Europe (PASSALACQUA *et al.* 2004) è stato riscontrato un costo totale per il pellet di paglia compreso nell'intervallo 94 e 164 € t⁻¹. Questi risultati sono inferiori rispetto ai nostri risultati, ma sono basati su impianti industriali e si riferiscono a paesi come la Danimarca dove è già esistente un mercato per il pellet di paglia.

JAVIER SÁNCHEZ *et al.* nel 2015 hanno calcolato i costi per l'intera filiera di produzione di pellet per le potature di vite. Per la fase di pellettizzazione, il costo medio era di 56,7 € t⁻¹, un importo inferiore rispetto alle nostre stime, ma ancora riferito a un impianto industriale. D'altra parte, i costi relativi alla raccolta della potatura sono stati calcolati in 19,7 € t⁻¹, confermando i nostri risultati, ma inferiori rispetto agli studi condotti da SPINELLI *et al.* nel 2010, che hanno invece stimato un costo medio di raccolta di 28 € t⁻¹.

Come mostrato, **la redditività della filiera analizzata è direttamente correlata alla dimensione del bacino di approvvigionamento** e, a questo proposito, **le caratteristiche delle aziende agricole italiane limitano la fattibi-**

lità dello Scenario A. Infatti, ad eccezione di alcune grosse realtà, la dimensione media dei vigneti italiani è di circa 2 ha (ISTAT 2013). Ciò implica la necessità di concentrare le potature provenienti da diverse aziende vicine in un sito centralizzato (Scenario B). Mentre nel caso della produzione di agripellet la redditività è garantita fino a 50 km, **l'uso diretto del cippato di potatura (Scenario C) è remunerativo solo quando l'impianto a biomasse è molto vicino ai campi**. Tuttavia, la convenienza per l'agricoltore continua a sussistere fino a una distanza di 64 km, dove il costo di trasporto è paragonabile a quello che avrebbe speso per la trinciatura (di 60 € h⁻¹) che si rende necessaria per liberare il campo da tali residui.

CONCLUSIONI

Sia il cippato di vite che il pellet hanno mostrato parametri di buona qualità, tra cui il contenuto in ceneri, paragonabili a quello della biomassa ottenuta dalla silvicoltura a turno breve. Questi risultati sono imputabili all'efficiente sistema di pickup della raccogliitrice che ha consentito la raccolta di biomassa pulita, priva di terreno o altro materiale inerte. Dal punto di vista economico, il principale vantaggio del sistema mobile consiste nella riduzione dei costi di trasporto della biomassa. Quando la pellettizzazione avviene direttamente in campo, i costi di produzione sono redditizi con un alto margine economico rispetto al prezzo di mercato del pellet. **Il margine di profitto diminuisce gradualmente quando il cippato deve essere trasportato all'esterno dell'azienda** (Scenario B) e quando la distanza di trasporto aumenta. In ogni caso, i risultati ottenuti in questo studio aprono interessanti opportunità economiche e suggeriscono margini di profitto più elevati rispetto alle tradizionali filiere con utilizzo diretto del cippato.

Inoltre, i vantaggi complessivi di una filiera di produzione locale, basata sulla valorizzazione sostenibile dei residui attualmente bruciati in campo, vanno oltre il solo ritorno economico. Ci sono infatti aspetti ambientali e sociali, non facilmente misurabili, che meritano di essere approfonditi in ulteriori studi.

Bibliografia

C.R.P.A. 2005 - **Costo di esercizio delle macchine agricole. Prima e seconda parte**. Opuscoli 5.44 - N. 5/2005 e 5.45 - N. 6/2005 2005.

DUCA D., TOSCANO G., PIZZI A., ROSSINI G., FABRIZI S., LUCESOLI G., SERVILI A., MANCINI V., ROMANAZZI G., MENGARELLI C., 2016 - **Evaluation of the characteristics of vineyard pruning residues for energy applications: effect of different copper-based treatments**. J. Agric. Eng. 2016, 47, 22, doi:10.4081/jae.2016.497.

European Parliament 2014 - **Resolution of 5 February 2014 on a 2030 framework for climate and energy policies**.

FIPER 2015 - **Biomasse legnose: Petrolio verde per il teleriscaldamento**. Ramponi, S. (ITA), Ed.; 2015; ISBN 9788890580727.

GARCÍA-GALINDO D., LÓPEZ E., GÓMEZ M., SEBASTIÁN F., GEBRESENET G., JIRJIS R., KERN J., GERMER S., PARI L., SUARDI A., DYJAKON A., DENBOER J., BUKOWSKI P., HUNKIN S., BUNDEGAARD-JØRGENSEN U., SAGARNA J., LAPENA A., FRACKOWIAK P., ADAMCZYK F., NALDONI D., BISCHOFF W., OLSSON S., KLEINERT L., ABADÍAS J., DEVAL X., POUTRIN, C., 2016 - **Europruning project: Summary of final results**. In European Biomass Conference and Exhibition Proceedings; Vol. 2016.

ISO 17225-1:2014 - **Solid biofuels - Fuel specifications and classes - Part 1: General requirements.** Int. Stand. Organ. 2014.

ISO 17225-6:2014 - **Solid biofuels - Fuel specifications and classes - Part 6: Graded non-woody pellets.** Int. Stand. Organ. 2014.

ISTAT Istat Database. Ist. Naz. di Stat. Online Stat. database 2017.

ISTAT **L'Indagine sulla struttura e produzioni delle aziende agricole.** 2013, 1–11.

JAVIER SÁNCHEZ, MARÍA DOLORES CURT M. S., J. F. - **A proposal for pellet production from residual woody biomass in the island of Majorca (Spain).** *AIMS Energy* 2015, 3 (3), 480–504, doi:0.3934/energy.2015.3.480.

MANZONE M., PARAVIDINO E., BONIFACINO G., BALSARI P., 2016 - **Biomass availability and quality produced by vineyard management during a period of 15 years.** *Renew. Energy* 2016, 99, 465-471, doi:10.1016/j.renene.2016.07.031.

MOTOLA V., COLONNA N., ALFANO V., GAETA M., SASSO S., DE LUCA V., DE ANGELIS C., SODA A., BRACCIO G., 2009 - **Censimento potenziale energetico biomasse, metodo indagine, atlante Biomasse su WEB-GIS.** *Ric. Sist. Elettr.* 2009, RSE/2009/1, 141.

PARI L., ALFANO V., SCARFONE A., TOSCANO G., 2016 - **Recupero di potature di vite per la produzione di agripellet. Valutazione di una trincia-caricatrice specificamente progettata 11-16.** In: *Tecnologie innovative per un utilizzo efficiente dei co-prodotti agricoli. Progetti di ricerca SUSACE e FAESI.* Sherwood 219, Supplemento 2

PASSALACQUA, F.; ZAETTA, C.; JANSSEN, R.; PIGAHT, M.; GRASSI, G.; PASTRE, O.; SANDOVAR, A.; VEGAS, L.; TSOUTSOS, T.; KARAPANAGIOTIS, N.; FJÄLLSTRÖM, T.; NILSSON, S.; ENERGIHuset, E.; BJERG, J.; MOELLEVEJ, G. **Pellets in southern Europe. The state of the art of pellets utilisation in southern Europe.** *New perspectives of pellets from agri-residues.* 2nd World Conf. Biomass Energy, Ind. Clim. Prot. 2004, 5.

PICCHI G., SILVESTRI S., CRISTOFORETTI A., 2013 - **Vineyard residues as a fuel for domestic boilers in Trento Province (Italy): Comparison to wood chips and means of polluting emissions control.** *Fuel* 2013, 113, 43–49, doi:10.1016/j.fuel.2013.05.058.

PICCHI G., LOMBARDINI C., PARI L., SPINELLI R., 2018 - **Physical and chemical characteristics of renewable fuel obtained from pruning residues.** *J. Clean. Prod.* 2018, 171, 457-463, doi:10.1016/j.jclepro.2017.10.025.

SCARLAT N., DALLEMAND J.F., MONFORTI-FERRARIO F., BANJA M., MOTOLA V., 2015 - **Renewable energy policy framework and bioenergy contribution in the European Union - An overview from National Renewable Energy Action Plans and Progress Reports.** *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2015, 51, 969-985, doi:10.1016/j.rser.2015.06.062.

SPINELLI R., MAGAGNOTTI N., NATI C., 2010 - **Harvesting vineyard pruning residues for energy use.** *Biosyst. Eng.* 2010, 105, 316–322, doi:10.1016/j.biosystemseng.2009.11.011.

STELTE W., SANADI A.R., SHANG L., HOLM J.K., AHRENFELDT J., HENRIKSEN U.B., 2012 - **Recent developments in biomass pelletization - a review.** *BioResources* 2012, 7, 4451-4490.

Unione Nazionale Contoterzisti Agromeccanici e Industriali Tariffe per lavori di meccanizzazione agricola 2015.

Veneto Agricoltura Gestione del suolo. In *Guida per il viticoltore;* 2004; p. 94.

WHITTAKER C., SHIELD I., 2017 - **Factors affecting wood, energy grass and straw pellet durability - A review.** *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2017, 71, 1-11.

ZANETTI M., BRANDELET B., MARINI D., SGARBOSSA A., GIORIO C., BADOCCO D., TAPPARO A., GRIGOLATO S., ROGAUME C., ROGAUME Y., CAVALLI R., 2017 - **Vineyard pruning residues pellets for use in domestic appliances: a quality assessment according to the EN ISO 17225.** *J. Agric. Eng.* 2017, 48, 99, doi:10.4081/jae.2017.612.

KEYWORDS: Agripellet; biomass; bioenergy; pruning.

Abstract: A mobile system for agripellet production.

The goal of this work was testing a mobile pelleting system for agripellet production from vineyard pruning. Biomass was characterized before and after pelleting. The productivity and the power consumption of the mobile pelleting system were assessed. Production costs of pellet were estimated for the whole logistic chain considering three scenarios: A) storage and pelleting directly at the farm site; B) storage and pelleting at a centralized location at variable distance from the fields; C) direct use of chips without pelleting. Results indicate that the pellet quality was good comparable with that produced from forestry biomass. From an economic point of view, the in-field pelleting was the most cost-effective solution. When transport to an intermediate storage center is necessary, the profit margin reduces gradually and fade off at an average 50 km distance from the fields. In the case of direct use of chips a profit can be achieved only if transport is excluded (selling at the farm site) or if chips are transported within few kilometres.

Le prove sperimentali sono state condotte nell'ambito del progetto SUSACE finanziato dal MiPAAFT con D.M. 2419 del 20/02/2008.



Macchine per la raccolta della pula dei cereali

Stato dell'arte

di LUIGI PARI, VINCENZO ALFANO, SIMONE BERGONZOLI, ANTONIO SCARFONE, ALESSANDRO SUARDI, SANDU LAZAR

L'interesse per la possibile valorizzazione dei residui di trebbiatura ha spinto negli ultimi anni diverse aziende agro-meccaniche a ideare soluzioni per il loro recupero. Concettualmente, queste prevedono la raccolta della pula e dei residui fini trattenuti dai crivelli, separatamente dalla paglia o insieme ad essa.

PAROLE CHIAVE: residui di trebbiatura, infestanti, paglia, pula

Questo lavoro è stato sviluppato nell'ambito del Progetto H2020 AGROinLOG - *Demonstration of innovative integrated biomass logistics centres (IBLC) for the Agro-industry sector in Europe*⁽¹⁾ mirato a sviluppare Centri integrati per la logistica delle biomasse (IBLC), valorizzando i residui colturali nei cicli produttivi esistenti. Tra i residui presi in considerazione, **la pula di cereali ricopre un ruolo importante per le sue diverse possibili valorizzazioni economiche.**

1) www.agroinlog-h2020.eu/en/home.

Composta dalle glume e dagli scafi che avvolgono i semi, dal rachide e da altri residui fini (Figura 1), **è utilizzabile per l'alimentazione animale o come materia prima a fini energetici** (HUTTON 2008, SAIDUR *et al.* 2011). **L'interesse per la raccolta è anche di carattere agronomico**, per la riduzione del carico di infestanti negli anni successivi e conseguente riduzione dei trattamenti erbicidi (SHIRTLIFFE e ENTZ 2005). In base alla produzione europea annuale di cereali, si stima un potenziale pari a oltre 50 Mt di pula (MCCARTNEY *et al.* 2006, EUROSTAT 2017).

Tuttavia, tale risorsa viene solitamente lasciata in campo durante la trebbiatura. Durante la raccolta, infatti, la pula, insieme agli altri residui fini trattenuti dai crivelli della mietitrebbia (come paglia sminuzzata, semi danneggiati e semi di piante infestanti) viene lasciata cadere a terra e ricoperta dalla paglia proveniente dagli scuotipaglia. Lo strato a contatto diretto con il terreno non può essere raccolto con il pick-up nella successiva operazione di imballatura.

Negli ultimi anni il crescente interesse per la valorizzazione di questi residui sia a scopo energetico (etanolo di 2^a generazione, biogas) che per la zootecnia (foraggio, lettiera), e anche la necessità di ridurre il carico di semi infestanti (nel caso dell'agricoltura biologica), ha spinto diverse aziende agro-meccaniche a sviluppare sistemi per il recupero, che fondamentalmente può avvenire separatamente o insieme alla paglia.

L'indagine realizzata nell'ambito del Progetto mostra le principali tecnologie di raccolta disponibili sul mercato, che prevedono:

- pula scaricata sull'andana di paglia o all'interno di essa



Figura 1 - Pula di grano.

LUIGI PARI, CREA luigi.pari@crea.gov.it - VINCENZO ALFANO, CREA vincenzo.alfano@crea.gov.it - SIMONE BERGONZOLI, CREA simone.bergonzoli@crea.gov.it - ANTONIO SCARFONE, CREA antonio.scarfone@crea.gov.it - ALESSANDRO SUARDI, CREA alessandro.suardi@crea.gov.it - SANDU LAZAR, CREA sandu.lazar@crea.gov.it

per l'imballatura in un secondo momento.

- pula scaricata in un *container* posteriore integrato alla mietitrebbia, su un rimorchio trainato o in una imballatrice no-stop.

Il primo metodo di raccolta può essere preferito quando la biomassa viene utilizzata per la produzione di energia. Infatti, imballando insieme paglia e pula, aumenta la quantità di biomassa totale raccolta per ettaro e la densità delle balle stesse (LUNDIN e RÖNNBÄCK 2010).

Negli altri casi, la raccolta della pula separatamente dalla paglia consente di ottenere un prodotto che può essere valorizzato separatamente.

DISPONIBILITÀ, CARATTERISTICHE E POSSIBILI UTILIZZI DELLA PULA

La pula è costituita dalle glume e dagli scafi che avvolgono le cariossidi del grano. Durante la trebbiatura, la pula insieme agli altri residui fini trattenuti dai crivelli (rachide, reste, paglia sminuzzata, semi danneggiati e semi di infestanti) viene scaricata sul suolo e ricoperta immediatamente dalla paglia proveniente dagli scuotipaglia, formando uno strato a diretto contatto con il suolo che non è raccogliabile con i pick-up della successiva operazione di imballatura.

Tali residui costituiscono circa il 7% del prodotto trebbiato (il 40% è costituito dai semi, il 48% dalla paglia, il 5% dalle stoppie) (Figura 2).

Secondo EUROSTAT, più di 300 tonnellate di grano sono raccolte ogni anno nell'UE28 e considerando un rapporto tra pula e grano in media di 0,17, più di 52 milioni di tonnellate all'anno potrebbero essere disponibili per essere recuperati in Europa. L'interesse deriva per i molteplici impieghi potenziali a cui può essere destinata tale risorsa, sia per la produzione di energia (combustione, biogas, etanolo di seconda generazione) che in zootecnia (alimentazione o lettieria). Inoltre, dal punto di vista agronomico, la raccolta della pula comporta la riduzione dello stock di semi di infestanti nel terreno evitando di ricorrere ai trattamenti erbicidi.

SOLUZIONI MECCANICHE PER IL RECUPERO DELLA PULA

Il crescente interesse verso la valorizzazione di tali residui e anche la necessità di ridurre il carico di semi di specie infestanti resistenti e i successivi trattamenti erbicidi, come nel caso di agricoltura biologica, ha spinto alcune case costruttrici ad ideare sistemi per il recupero della pula.

Attualmente sono disponibili alcune soluzioni commerciali ed altre sono in fase di prototipo. **Concettualmente, esse si basano su due modalità di gestione:**

- **raccolta della pula insieme alla paglia;**
- **raccolta della pula separatamente da essa.**

Nel primo caso, la pula viene scaricata sopra l'andana o al suo interno per essere recuperata, in un secondo momento, da una rotoimballatrice insieme alla paglia, aumentando del 20-25% la biomassa totale raccolta.

Nella raccolta separata, la pula viene inviata ad un sistema di raccolta dedicato, che può essere un carrello trainato da un trattore o dalla stessa mietitrebbia, un *container* integrato nella parte posteriore della mietitrebbia o una imballatrice

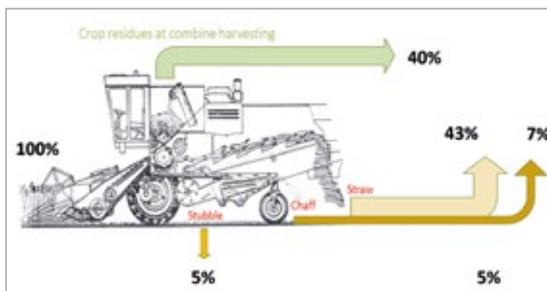


Figura 2 - Rappresentazione schematica del bilancio di massa durante la trebbiatura.



Figura 3 - Sistema andanatore della Thierart specifico per le mietitrebbie New Holland e rappresentazione schematica.

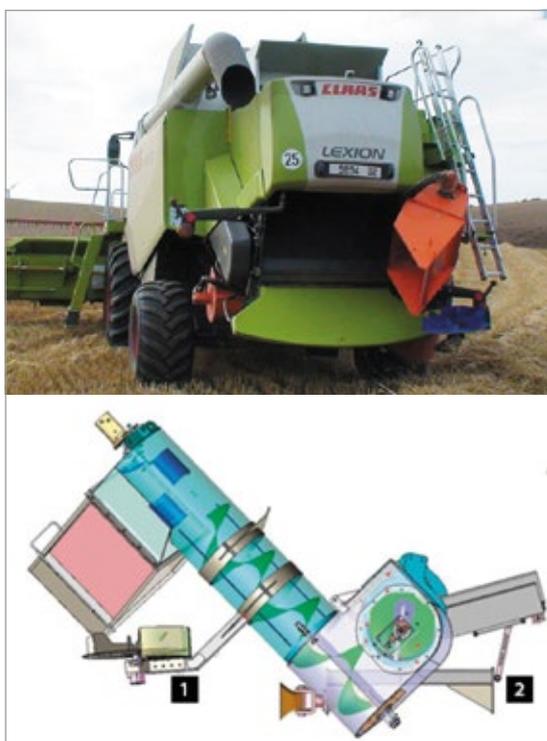


Figura 4 - Sistema andanatore della Thierart montato su mietitrebbia Claas Lexion e rappresentazione schematica.



Figura 5 - Sistema a turbina Thievin con scarico sull'andana.



Figura 6 - Sistema a turbina Thievin con scarico su cassone trainato da un trattore (sopra) o dalla stessa mietitrebbia.

non-stop. Entrambe le modalità gestionali utilizzano diversi sistemi per il trasferimento della pula, come coclee, turbine e nastri trasportatori. La combinazione delle modalità di gestione e dei sistemi di trasferimento, determinano **diverse soluzioni meccaniche riassumibili come segue:**

- Sistemi andanatori;
- Sistemi a turbina;
- Sistemi con nastro trasportatore e carrello trainato ("chaff cart");
- Sistemi con *container* integrati alla mietitrebbia;
- Sistemi di imballatura in continuo;
- Sistemi con spargipula modificati.

SISTEMI ANDANATORI

I sistemi andanatori consistono in kit montati posteriormente alla mietitrebbia che provvedono al prelievo della pula direttamente dai crivelli, al sollevamento dei residui, mediante un sistema di coclee, ed al successivo rilascio sopra l'andana. In questo modo la pula poggia direttamente sullo strato di paglia che forma l'andana, non entra in contatto con il suolo, e può essere successivamente imballata insieme alla paglia. La ditta francese Thierart propone due tipologie di kit basati su tale principio, da abbinare a diversi modelli di mietitrebbia. In quello sviluppato per essere applicato al telaio di mietitrebbie New Holland CR, lo scarico della pula sull'andana di paglia avviene attraverso uno scivolo (Figura 3), negli altri casi, attraverso un boccaporto removibile (Figura 4). In alternativa al recupero della pula, in risposta a particolari esigenze, è possibile intervenire per disperdere uniformemente la pula sul campo per essere poi interrata nelle successive lavorazioni. Nel primo caso, sollevando lo scivolo, il prodotto viene convogliato verso il sistema di ventilazione. Nel secondo caso attivando un deflettore idraulico, tipo spandiconcime, il prodotto viene disperso a ventaglio.

SISTEMI A TURBINA

Nei sistemi a turbina, il convogliamento e trasporto della pula è assicurato da una combinazione di coclee e turbine. La pula insieme agli altri residui fini di trebbiatura (reste, paglia sminuzzata, ecc.), viene convogliata all'interno di una tramoggia dove è alloggiata orizzontalmente una coclea che la trasporta verso una turbina. Questa, azionata da un motore idraulico, ha la funzione di generare un flusso d'aria per l'espulsione del residuo (Figura 5). I sistemi a turbina adottati dalle ditte francesi Thierart e Thievin, risultano molto versatili. Oltre allo scarico del prodotto sopra l'andana, attraverso l'applicazione di un tubo rigido in PVC, il prodotto può essere inviato all'interno di un cassone trainato da un trattore in posizione laterale alla mietitrebbia, mentre la paglia viene andanata sul terreno. Soluzione opzionale ideata dalla partnership tra le ditte francesi Thievin e Agri-structures, prevede lo scarico della pula su un rimorchio trainato dalla stessa operatrice (Figura 6). Anche per i sistemi a turbina è prevista l'opzione per la dispersione della pula sul terreno, qualora non si voglia raccogliere ma integrare nel suolo.

Il sistema, molto semplice, consiste nel rimuovere il tubo in PVC dalla turbina a cui viene applicato un diffusore a forma di "V", la pula proiettata ad alta velocità contro il diffusore viene dispersa in modo uniforme su ambo i lati. La ditta canadese Redekop e quella Australiana Trufab, utilizzano un ciclone all'uscita della turbina per rallentare la velocità del flusso e far cadere la pula direttamente sull'andana, per la sua successiva imballatura.

SISTEMI CON NASTRO TRASPORTATORE E CARRELLO TRAINATO ("CHAFF CART")

I "chaff carts" sono tra le soluzioni più utilizzate nell'ambito del programma australiano contro le infestanti ("Harvest weed seed control" - HWSC). Sono sistemi costituiti da un carro munito di nastro trasportatore trainato dalla mietitrebbia (Figura 7). Il nastro trasportatore, posizionato sotto il

carter della mietitrebbia, raccoglie i residui che fuoriescono dai crivelli superiori, trasportandoli all'interno del carro. È possibile raccogliere tutto il materiale che fuoriesce dalla parte posteriore della mietitrebbia o spargere la paglia e raccogliere semplicemente la pula proveniente dai setacci.

SISTEMI CON CONTAINER INTEGRATI ALLA MIETITREBBIA

Le ditte francesi Thierart e Bionalan producono container dedicati da applicare alle mietitrebbe di diverse case costruttrici e modelli. Il sistema è costituito da un contenitore per la raccolta della sola pula, posizionato dietro la mietitrebbia, mentre la paglia viene scaricata a terra. Il telaio del container può essere completamente metallico o prevedere un telone, più leggero.

Durante la raccolta, la pula cade in una tramoggia all'uscita della mietitrebbia e poi viene trasferita, mediante due coclee verticali, nel container dedicato. Una volta riempito, i residui vengono scaricati a bordo campo per essere raccolti in un secondo momento da una imballatrice (Figura 8).

SISTEMI DI IMBALLATURA IN CONTINUO

Questi sistemi consentono di trebbiare ed imballare i residui in una sola passata, evitando il contatto con il terreno. Thierart offre un'opzione interessante che permette, simultaneamente alla trebbiatura, l'imballatura in continuo della sola pula. Si tratta di un sistema modulare, trainato dalla mietitrebbia, costituito da una rotoimballatrice convenzionale collegata a un serbatoio di accumulo di 2 m³ e un sistema di alimentazione dedicato (Figura 9).

La ditta francese Perard ha sviluppato un sistema di pressatura per la pula, chiamato VMP. Collegato lateralmente alla mietitrebbia, il VMP espelle la pula compressa sotto forma di cilindri 20 volte più densi. Il sistema, ancora in fase prototipale, è alimentato da un motore diesel dedicato (Figura 10). Hillco Technologies, ha sviluppato un sistema di imballatura in continuo in cui tutti i residui di trebbiatura sono raccolti allo scarico ed inviati verso una rotopressa John Deere trainata dalla mietitrebbia (Figura 11).

In maniera simile, l'australiana Glenvar commercializza un sistema di imballatura no-stop di tutti i residui di trebbiatura in un unico passaggio, utilizzando una pressa per balle prismatiche di grandi dimensioni collegata direttamente all'asse posteriore della mietitrebbia.

I residui di trebbiatura sono trasferiti tramite un nastro trasportatore all'imballatrice, alimentata dal circuito idraulico della mietitrebbia.

SISTEMI CON SPARGIPULA MODIFICATI

Il produttore svedese Rekordverken, ha sviluppato un sistema, denominato "Combi", che consente la gestione della paglia e della pula insieme o separatamente, attraverso la dispersione in campo o il recupero dei due prodotti. Infatti, lo spargipula può essere regolato per lanciare alternativamente la pula sui lati della mietitrebbia o verso il trinciapaglia. Quindi, attivando o disattivando il trinciapaglia, è possibile ottenere complessivamente quattro combinazioni come segue:



Figura 7 - Chaff Cart della Springfield.



Figura 8 - Container dedicati per la raccolta della pula prodotti da Bionalan.



Figura 9 - Sistema modulare per la pressatura in continuo della pula durante la trebbiatura.



Figura 10 - Sistema VMP Perard.



Figura 11 - Imballatrice no-stop John Deere della Hillco Technologies.

Costruttore	Sito internet consultato
Bionalan	www.bionalan.fr/nos-produits/recuperateur-de-menue-paille
Glenvar	www.glenvarbaledirect.com.au
Hillco	www.hillcotechnologies.com/sprb-systems.html
Perard	www.perard.fr
Redekop	www.strawchopper.com/
Rekordverken	www.rekordverken.se/
Springfield	www.springfieldgrenfell.com.au/chaff-carts
Thierart	www.menuepaille.fr
Thievin	www.remorques-agricoles.fr/turbopaille-recuperateur-menues-pailles
Trufab	www.trufab.com.au/chaff-carts.html

Tabella 1 - Elenco Costruttori oggetto dell'indagine.

Sistema	Pro	Contro
Andanatore	- prestazioni della mietitrebbia inalterate - adattabilità a tutti i modelli di mietitrebbie - costo contenuto	- valorizzazione della pula principalmente a scopo energetico - possibili perdite di pula in condizioni di pioggia
Turbina / scarico sull'andana	- prestazioni della mietitrebbia inalterate - adattabilità a tutti i modelli di mietitrebbie - costo contenuto	- valorizzazione della pula principalmente a scopo energetico - necessitano adattamenti idraulici - possibili perdite di pula in condizioni di pioggia
Turbina / scarico su rimorchio	- la raccolta separata permette più opzioni di impiego	- peggiore manovrabilità - rischio di intasamento (tubi) in condizioni umide - usura dei tubi in PVC
Chaff cart con nastro trasportatore	- minor consumo energetico rispetto ai sistemi con coclee e turbine	- possibile perdita di pula in condizioni ventose (l'obiettivo è la raccolta dei semi delle infestanti)
Container dedicati	- adattabilità a tutti i modelli di mietitrebbie - elevata raccolta dei semi di infestanti - autonomia (scarico a bordo campo)	- costi elevati - sporgenza e peso sull'asse posteriore - rischio di sporcizia sotto i cumuli
Raccolta e imballatura simultanea	- tempi complessivi di lavoro	- costi elevati
Spargipula modificati	- prestazioni della mietitrebbia inalterate - costi di manutenzione contenuti - elementi originali del produttore - sistema facilmente attivabile/ disattivabile - costo contenuto	- nessuna raccolta separata - possibile perdita di pula

Tabella 2 - Pro e contro delle tecnologie analizzate.

- trinciapaglia disattivato/spargipula in modalità "immissione": scarico della paglia nell'andana per la successiva pressatura insieme alla pula, che viene lanciata dallo spargipula nel flusso di paglia;
- trinciapaglia disattivato/spargipula in modalità "spargimento": la paglia viene andanata, ma la pula viene distribuita sull'intera larghezza di lavoro della mietitrebbia anziché essere mescolata al flusso di paglia;
- trinciapaglia attivato/spargipula in modalità "immissione": paglia e pula vanno insieme all'interno del trinciapaglia e vengono distribuiti su tutta la larghezza di lavoro della macchina;
- trinciapaglia attivato/spargipula in modalità "spargimento": la paglia viene sminuzzata e sparsa, mentre la pula viene distribuita separatamente su tutta la larghezza della macchina.

La prima combinazione ha l'obiettivo di massimizzare la quantità di materiale da imballare, e viene utilizzata quando il prodotto è destinato alla produzione di energia (etanolo di 2° generazione). La seconda è scelta per raccogliere paglia meno polverosa da utilizzare come materiale da lettiera (paglia senza pula). La terza opzione di distribuzione consente di tritare tutti i residui insieme, distribuendo la materia

organica in maniera omogenea. L'ultima opzione garantisce la gestione separata dei due residui ed evita il sovraccarico del trinciapaglia.

CONCLUSIONI

La ricerca, sebbene accurata, ha rilevato l'esistenza di un numero limitato di produttori che offrono soluzioni meccaniche per il recupero della pula (Tabella 1).

In generale, le soluzioni che prevedono lo scarico sopra l'andana (sistema andanatore o a turbina) o al suo interno (spargipula modificato), hanno un costo di investimento limitato, sono facilmente adattabili a tutti i tipi di mietitrebbie e non influenzano le prestazioni di raccolta (tempi di lavoro). D'altra parte, la raccolta della pula insieme alla paglia offre meno opzioni per il suo sfruttamento, limitato principalmente alla produzione di energia. Inoltre, qualora il prodotto venisse utilizzato come lettiera, il carico di erbe infestanti ritornerebbe in campo assieme al letame.

Al contrario, la raccolta separata consente l'allontanamento del carico di erbe infestanti e una maggiore gamma di possibili destinazioni per paglia e pula e la valorizzazione economica della sola pula. Quest'ultima infatti ha un mercato interessante nell'allevamento degli avicoli su lettiera, o

in miscela come foraggio per bovini adulti. Tuttavia, i sistemi che utilizzano rimorchi per il recupero della pula (sistemi a turbina con rimorchio e chaff cart) e i sistemi di raccolta in continuo, hanno un costo d'acquisto più elevato e sono caratterizzati da tempi di raccolta maggiori per la minore manovrabilità della mietitrebbia. Un'analisi dettagliata dei pro e contro di ciascuna tecnologia è presentata nella Tabella 2.

Bibliografia

EC, Eurostat Database, 2017 - Eur. Comm. Online Stat. Database. <http://ec.europa.eu/eurostat/data/database>.

HUTTON G., 2008 - **Increasing cow/calf profitability using chaff and chaff/straw feedstuffs**. Alberta Agriculture and Forestry, Alberta Agri-facts. Agdex 420/50-2.

LUNDIN G., RÖNNBÄCK M., 2010 - **Simultaneous harvest of straw and chaff for energy purposes - Influence of bale density, yield, field drying process and combustion characteristics**. Uppsala, JTI - Swedish. Institute of Agricultural and Environmental Engineering.

McCARTNEY D.H., BLOCK H.C., DUBESKI P.L., OHAMA A.J., 2006 - **Review: The composition and availability of straw and chaff from small grain cereals for beef cattle in western Canada**. Can. J. Anim. Sci. 86 (2006) 443-455. doi:10.4141/A05-092.

SAIDUR R., ABDELAZIZ E.A., DEMIRBAS A., HOSSAIN M.S., MEKHILEF S., 2011 - **A review on biomass as a fuel for boilers**, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 15 (2011) 2262-2289.

SHIRTLIFFE S.J., ENTZ M.H., 2005 - **Chaff collection reduces seed dispersal of wild oat (*Avena fatua*) by a combine harvester**, *Weed Sci.* 53 (2005) 465-470.

KEYWORDS: threshing residues, weed seeds, straw, chaff

Abstract: Mechanical harvesting of cereal chaff. State of the art. Cereal chaff is made up of glumes, seed husk and rachis. It is valuable for animal feed or litter, or as feedstock for energy purposes. During cereal threshing, it is commonly left on the ground together with other thinner part of the cereal stems, whole or cracked kernels and weed seeds. Due to its value, many machineries builders has recently developed several systems for its recovery. The study represents a detailed survey of the harvesting technologies available at present in the market.

L'articolo è stato realizzato nell'ambito del progetto Europeo "AGROinLOG" (grant agreement No. 727961). Il progetto AGROinLOG è finanziato dal programma EU H2020.



Raccolta combinata di pula e paglia per la produzione di bioetanolo

Prime esperienze in Svezia su grano tenero

di LUIGI PARI, ANTONIO SCARFONE, ALESSANDRO SUARDI, VINCENZO ALFANO, SIMONE BERGONZOLI, PAOLO MATTEI, SANDU LAZAR

L'utilizzo dei residui agricoli a scopo energetico ha acquisito negli ultimi anni un grande interesse nell'ottica di una politica comunitaria focalizzata sulla *green economy*. Il presente lavoro mostra i risultati di test meccanici per la raccolta combinata di pula e paglia di grano tenero svolti in Svezia nel 2017.

PAROLE CHIAVE: residui, bioenergia, pula, paglia.

L'avvento della bioeconomia e delle soluzioni "green" ha portato in Italia ad un incremento della domanda di biomassa e ad una competizione sulle destinazioni d'uso della stessa, passando da scopi quasi prettamente alimentari, ad utilizzi nei settori della chimica verde e delle agro-energie (SCARLAT *et al.* 2015). Ciò sta portando, e non solo in Italia, ad una riduzione delle superfici agricole coltivabili destinate a produzioni alimentari, con conseguenze negative sulle produzioni agroalimentari Europee. Per porre un freno a questa

tendenza, l'Unione Europe ha recentemente promosso una politica basata sull'utilizzo di residui agricoli e forestali, scoraggiando la produzione da piantagioni dedicate non alimentari (Directive 2009/28/EC; EU 2015/1513). In questo scenario risulta quindi fondamentale la ricerca di fonti di biomassa alternative e l'individuazione di soluzioni idonee al loro approvvigionamento (PAIANO e LAGIOIA 2016).

Tra i residui agricoli, il recupero della pula dei cereali, cioè l'involucro che avvolge e protegge il seme durante l'accrescimento all'interno della spiga, ha guadagnato interesse negli ultimi anni per via dei quantitativi disponibili e delle proprietà chimico-fisiche che rendono questo prodotto idoneo sia come biomassa energetica che come alimento per gli animali da allevamento (HUTTON 2008, SAIDUR 2011). Inoltre, dal punto di vista agronomico, la raccolta della pula durante la trebbiatura riduce la redistribuzione delle sementi di specie infestanti nel terreno, evitando o riducendo drasticamente i trattamenti erbicidi negli anni successivi (SHIRTLIFFE e ENTZ 2005).

La produzione di pula di grano è di circa 1-1,5 t ha⁻¹, e secondo le stime attuali in Europa dai cereali autunno-vernini si potrebbero raccogliere ogni anno oltre 50 milioni di tonnellate di pula (McCARTNEY *et al.* 2006); tuttavia, tale risorsa viene generalmente lasciata a terra dopo la trebbiatura. Pertanto, nella maggior parte dei casi, la pula e gli altri residui fini (paglia corta o i semi di piante infestanti) vengono lasciati dai crivelli sotto la paglia rilasciata dagli squotipaglia. Essendo il materiale di piccole dimensioni non viene quindi



Figura 1 - Esecuzione dei plot, il campo era stato precedentemente delimitato effettuando 1 passata di mietitrebbia.

LUIGI PARI, CREA luigi.pari@crea.gov.it - ANTONIO SCARFONE, CREA antonio.scarfone@crea.gov.it - ALESSANDRO SUARDI, CREA alessandro.suardi@crea.gov.it - VINCENZO ALFANO, CREA vincenzo.alfano@crea.gov.it - SIMONE BERGONZOLI, CREA simone.bergonzoli@crea.gov.it - PAOLO MATTEI, CREA paolo.mattei@crea.gov.it - SANDU LAZAR, CREA sandu.lazar@crea.gov.it

raccolto dalle imballatrici. Tuttavia, il crescente interesse per lo sfruttamento di questi residui associato anche alla necessità di ridurre il carico di semi di piante infestanti resistenti (nel caso dell'agricoltura biologica), ha spinto l'UE a supportare istituti di ricerca e costruttori all'individuazione e allo sviluppo di sistemi per il recupero della pula, separatamente o congiuntamente alla paglia. A tale proposito, nell'ambito del progetto H2020 AGROinLOG, finanziato dall'Unione Europea (<http://agroinlog-h2020.eu/en/home/>), il Centro di Ricerca per l'Ingegneria e le Trasformazioni agroalimentari del CREA, in collaborazione con il Research Institute of Sweden (RISE), ha effettuato dei test per valutare l'efficienza di una sistema meccanico per il recupero della pula mediante incorporazione nelle paglie da destinare alla produzione di bioetanolo nel paese Scandinavo.

MATERIALI E METODI

Operazioni pre-raccolta

L'attività è stata svolta l'ultima settimana di Agosto 2017 nella provincia di Uppsala (Svezia) in un campo di grano tenero varietà Julius, coltivato su una terreno pianeggiante di circa 8 ha. Dal campo sono stati delimitati manualmente 3 ha, per mezzo di aste graduate, andando a formare un rettangolo di forma regolare, all'interno del quale sono state considerate le diverse tesi previste dalle prove sperimentali ed i campionamenti necessari. Come prima operazione pre-raccolta, sono stati raccolti campioni di piante per rilevare i seguenti parametri della coltura:

- quantità di seme per ha;
- quantità di paglia per ha;
- quantità di pula per ha;

La collezione dei campioni è avvenuta prelevando le piante presenti in 12 aree del campo (*plot*) di 1 m² ciascuna, per un totale di 12 m² campionati in maniera casuale all'interno dei 3 ha oggetto di studio (Figura 1). Le piante sono state recise alla base usando un falchetto, legate con spago in modo da formare 12 fasci separati e trasportate a bordo campo, in un'area di prima caratterizzazione dove spighe e fusti sono stati separati manualmente. Le spighe sono state sigillate all'interno di 12 buste (1 per *plot*) per poter essere spedite e caratterizzate in Italia. La paglia invece è stata trasportata nei laboratori di RISE, dove è stata disposta in 12 sacchi di stoffa ed essicata in stufa a 105 °C per circa 5 ore, in modo da riportare tutti i valori in sostanza secca. Le spighe giunte in Italia in sacchetti sigillati precedentemente pesati, sono state trebbiate utilizzando una trebbiatrice da laboratorio modello CICCORIA *plot* 2375, che ha permesso di separare il seme dalla pula. Il materiale è stato essiccato in stufa a 105 °C per circa 5 ore e successivamente pesato in modo da quantificare le rese ad ettaro delle varie frazioni.

Test di raccolta

Per lo svolgimento dei test è stata utilizzata una mietitrebbia ibrida modello Fendt 9490 X con testata di raccolta AGCO Power Flow dalla larghezza di lavoro di 9,2 m (Figura 2). La mietitrebbia posteriormente è equipaggiata dalla casa costruttrice con un sistema per la trinciatura e spargimento

della paglia (trinciapaglia), che generalmente è mantenuto attivo dagli agricoltori per la redistribuzione del materiale organico al suolo. In questa macchina, sempre nella parte posteriore, è stato montato anche un sistema per il reindirizzamento del residuo di trebbiatura all'interno del trincia paglia, questo per evitare accumuli di sostanza organica e di infestanti in determinati punti del campo l'anno successivo. Il sistema, costruito dall'azienda Rekordverken e denominato "Combi", è formato da due ventole controrotanti azionate idraulicamente che lanciano il residuo di trebbiatura all'interno della bocca di alimentazione del trinciapaglia tramite due bocche di uscita opportunamente orientate. Questo andando a mescolare con la paglia in ingresso, viene amalgamato e sparso posteriormente con un sistema centrifugo. Comunque, il sistema di trinciatura della paglia può essere anche bypassato mantenendo chiusa la bocca di alimentazione con una saracinasca; in questo caso la paglia cadrà a terra formando la tradizionale andana. Anche il sistema di recupero della pula può essere escluso chiudendo le bocche di reindirizzamento del materiale, in tal caso il prodotto verrà sparso ai lati della macchina. Pertanto le configurazioni ottenibili sfruttando il sistema Combi ed il trinciapaglia sono le seguenti:

- **trinciapaglia disattivato/sistema Combi attivato:** scarico della paglia in andana e mescolamento della pula al flusso di paglia in caduta con successiva possibilità di imballare paglia e pula insieme;
- **trinciapaglia disattivato/sistema Combi disattivato:** la paglia viene andanata ma il residuo di trebbiatura viene sparso lateralmente alla mietitrebbia perchè le bocche di uscite del Combi sono chiuse;
- **trinciapaglia attivato/sistema Combi attivato:** paglia e pula vanno a finire all'interno del sistema di trinciatura della paglia e vengono sparsi posteriormente da propulsori centrifughi per tutta la larghezza di lavoro della testata;
- **trincia-paglia attivato/sistema Combi disattivato:** la paglia viene trinciata ma la pula non viene lanciata all'interno della camera di trinciatura perchè le bocche di uscite del Combi sono chiuse, quindi questa è sparsa lateralmente alla mietitrebbia.

Le configurazioni sono di seguito mostrate in modo schematico in Figura 3. In questa prova, avendo come obiettivo la



Figura 2 - Mietitrebbia Fendt 9490X al lavoro.

raccolta di tutta la biomassa per la produzione di bioetanolo, la bocca di alimentazione del trinciapaglia è stata chiusa, mentre il sistema Combi è stato testato in modalità attiva e disattiva, quindi in modalità A e B. Il test in modalità A è quindi servito per valutare l'efficacia del sistema di recupero della pula basato sul re-indirizzamento della stessa nel flusso di paglia e di conseguenza per comprendere che quantità di pula può essere raccolta con l'imballatura. Quest'ultima è stata effettuata con trattore New Holland T6.175 abbinato ad imballatrice New Holland roll baler 125 Combi. La valutazione è avvenuta pesando le balle ottenute nelle unità sperimentali in cui si è adottato il sistema in modalità A e confrontandole con quelle ottenute nelle unità sperimentali in cui si è adottato il sistema in modalità B. Infatti, le prove con il sistema in modalità B sono servite come test di controllo in quanto la pula non è stata reindirizzata nel flusso di paglia. I test sono stati replicati 3 volte per il sistema A e 3 volte per il sistema B utilizzando porzioni di campo di circa mezzo ha ciascuna seguendo uno schema a blocchi randomizzati (Figura 4). In questo modo è stato possibile avere un dato medio di cui ne è stata valutata la significatività statistica. Durante le prove sono stati acquisiti i tempi di raccolta per valutare le prestazioni separatamente nelle 6 unità sperimentali, sia della mietitrebbia che dell'imballatrice secondo la metodologia ufficiale della Commission Internationale de l'Organisation Scientifique du Travail en Agriculture (C.I.O.S.T.A.) e le raccomandazioni dell'Associazione Italiana di Genio Rurale (A.I.G.R.) 3A R1, provvedendo a registrare su un apposito *software* sviluppato in ambiente Visual Basic i tempi necessari alle diverse operazioni durante la raccolta e ad eseguire le successive elaborazioni. Parametri come la velocità operative e consumi sono

stati registrati direttamente acquisendo i dati dal computer di bordo della mietitrebbia in ognuna delle 6 unità sperimentali.

Misurazioni post-raccolta

Le misurazioni post imballaggio hanno riguardato lo studio delle perdite di raccolta, cioè della biomassa rimasta in campo dopo il passaggio dell'imballatrice. A tale proposito, considerando che le perdite sono riferibili a due fattori, cioè all'altezza di taglio della mietitrebbia (stoppie) e alla capacità di imballatura della macchina, sono stati effettuati due studi separati per comprendere le perdite causate da ciascun fattore. Per quantificare le perdite dovute all'altezza di taglio è stato necessario quantificare l'altezza di taglio media ed il peso secco della stoppia. Per l'altezza di taglio sono state effettuate 100 misurazioni in campo, partendo dal livello del suolo fino all'apice della singola stoppia misurata. Mentre per il calcolo del peso secco delle stoppie è stato svolto uno studio di ripartizione della biomassa lungo il fusto; nello specifico, 10 campioni (repliche) da 10 fusti ciascuno, prelevati in maniera casuale da paglia già essiccata e pesata in precedenza, sono stati divisi in sezioni da 10 cm e pesati con bilancia di precisione. In questo modo è stato ottenuto un dato di peso di biomassa medio per ogni sezione da 10 cm di fusto, andando dalla parte basale a quella apicale. Conoscendo quindi l'altezza di taglio e la ripartizione (in peso) della biomassa lungo il fusto per sezioni da 10 cm, è stato possibile ottenere il valore di biomassa a ettaro che è stata lasciata in campo per via dell'altezza di taglio. Va specificato che tali perdite sono definibili come perdite fisiologiche, in quanto il taglio della barra della mietitrebbia è sempre effettuato ad una certa distanza da suolo per via delle asperità del terreno e per evitare inceppamenti o rotture della barra stessa. Le perdite invece dovute all'imballatrice sono state valutate attraverso due metodologie (Figura 5):

- perdite di biomassa ottenute calcolando la differenza tra i residui effettivamente disponibili (cioè ammontare di paglia e pula valutata e quantificata con i *plot*) con quelli effettivamente imballati per unità di superficie;
- perdite di biomassa valutate aspirando e pesando il materiale lasciato a terra dopo l'imballatura. Lo studio è stato fatto su transetti di 9,2 m x 0,5 m, in modo da raccogliere il prodotto lasciato a terra per tutta la larghezza operativa della barra di taglio (9,2 m)

Analisi statistica

L'analisi della varianza (ANOVA) è stata utilizzata per valutare l'esistenza di differenze statisticamente significative tra i seguenti fattori sperimentali:

- prestazioni della mietitrebbia tra sistema A vs. B;
- quantità di biomassa imballata ad ettaro ottenuta utilizzando il Sistema Combi in modalità A e B;
- comparazione delle due metodologie (1 e 2) utilizzate per lo studio delle perdite di raccolta.

RISULTATI E DISCUSSIONI

Riguardo la caratterizzazione pre-raccolta, l'analisi quantitativa sulle diverse porzioni di pianta, eseguita sui campioni prelevati dai plot, ha evidenziato che la biomassa totale per

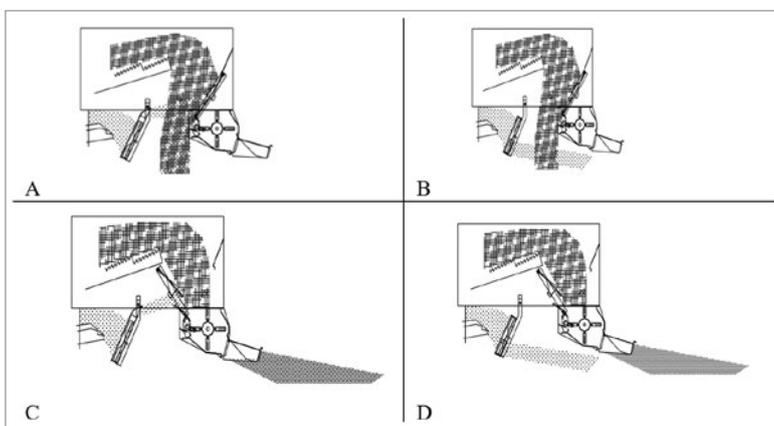


Figura 3 - Possibili combinazioni adottabili con il sistema Combi su mietitrebbia (A,B,C,D).

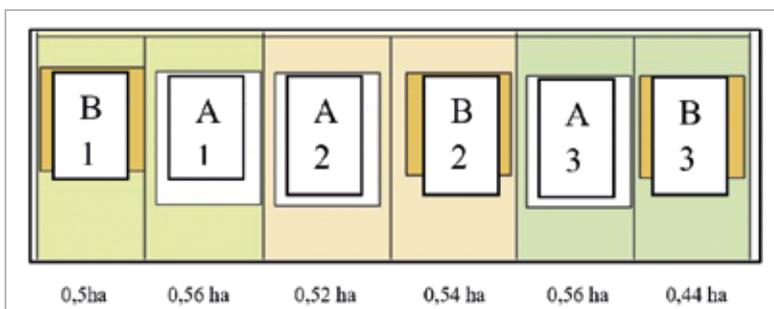


Figura 4 - Schema a blocchi randomizzati.



Figura 5 - A sinistra pesata delle roto-balle (metodologia 1); a destra con aspirazione del materiale presente all'interno di transetto (metodologia 2).

Mietitrebbia: FENDT 9490X

Plot	Capacità effettiva ha h ⁻¹	Capacità operativa ha h ⁻¹	Rendimento operativo %	Cosumo combustibile l h ⁻¹
A1	4,7	2,9	62%	10
B1	4,5	2,7	61%	
B2	5,6	3,3	59%	10,6
A2	5,7	3,4	59%	10
B3	5,8	3,2	56%	9,7
A3	4,7	3,0	65%	

Tabella 1 - Prestazioni della mietitrebbia.

ettaro era uguale a 13,5 t, di cui il 50,7% costituita da seme (6,8 t ha⁻¹), il 36,8 % da paglia (5 t ha⁻¹) e il 12,5% da pula (1,7 t ha⁻¹). Quest'ultime comprensive anche del rachide, che rappresentava circa il 7% della pula.

Relativamente alle valutazioni sulla macchina in raccolta, queste hanno mostrato buone capacità operative della mietitrebbia, con assenza di differenze statisticamente significative tra le prestazioni registrate nelle unità sperimentali A e B. Nelle Tabelle 1 e 2 sono mostrate le prestazioni della mietitrebbia e del cantiere di imballatura.

Nel caso del cantiere per l'imballaggio del prodotto è stato evidenziato un rendimento operative basso, dovuto principalmente ai ripetuti ingolfamenti della macchina. Si ritiene che questo dato sia dovuto al fatto che l'imballatrice operava su un prodotto ottenuto da mietitrebbia ibrida, che presenta caratteristiche diverse rispetto a quello prodotto da mietitrebbia tradizionale. Difatti il sistema ibrido, esercitando un'azione più energica sulla paglia, rilascia un prodotto con dimensioni minori, che possono portare a maggiori difficoltà per essere sollevato dal *pick up* dell'imballatrice.

Tale problematica è stata evidenziata anche dallo studio delle perdite. Per quel che riguarda le perdite fisiologiche, cioè quelle dovute all'altezza di taglio, lo studio ha rivelato che su un'altezza di taglio media di 16,2 cm, circa il 29% della paglia disponibile è rimasta in campo. Considerando quindi l'ammontare di paglia disponibile pari a 5 t ha⁻¹, circa

Trattore New Holland T6.175 abbinato a rotopressa New Holland roll baler 125 Combi

Plot	Capacità effettiva ha h ⁻¹	Capacità operativa ha h ⁻¹	Rendimento operativo %	Produttività oraria l h ⁻¹
A1	4,4	1,5	35%	4,01
B1	4,4	2,0	45%	5,69
B2	3,8	1,1	29%	3,29
A2	3,8	1,8	49%	4,27
B3	3,9	2,1	53%	5,17
A3	3,2	1,4	44%	3,23

Tabella 2 - Prestazioni della trattore New Holland T6.175 abbinata a rotopressa New Holland 125 Combi.

1,45 t ha⁻¹ sono rimaste in campo come stoppie di grano. In Figura 6 sono mostrate le percentuali di sostanza secca lungo il fusto. Questo primo studio implica che la paglia disponibile (sostanza secca), escludendo le perdite fisiologiche, era di 3,55 t ha⁻¹. Quindi nelle unità sperimentali A, l'ammontare di biomassa potenzialmente imballabile era stato pari a 5,25 t ha⁻¹ (3,55 t ha⁻¹ di paglia e 1,7 t ha⁻¹ di residuo di trebbiatura), mentre nelle unità sperimentali di B dove il residuo non è stato incorporato alla paglia in uscita, l'ammontare di biomassa imballabile era pari alle sole 3,55 t ha⁻¹ della paglia.

Il peso delle rotoballe raccolte ha evidenziato che l'ammontare di biomassa raccolta nelle unità sperimentali A è stato pari a 2,77 t ha⁻¹ (52,7% del disponibile) mentre quello raccolto nelle unità sperimentali di B è stato pari a 2,43 t ha⁻¹. L'analisi statistica ha rivelato l'esistenza di differenze statisticamente significative tra le quantità raccolte in A e quelle raccolte in B, pertanto il sistema ha permesso effettivamente di raccogliere più materiale. È pur vero che nelle unità sperimentali di B il prodotto imballato era costituito da sola paglia, pertanto, in proporzione il materiale raccolto dall'imballatrice sarebbe maggiore (circa 68% del materiale disponibile). Le perdite in entrambe i sistemi rimangono alte e ciò sottolinea la problematica già evidenziata, relativa alla raccolta della paglia derivante da mietitrebbie ibride. Lo studio ha potuto comunque dimostrare che il sistema

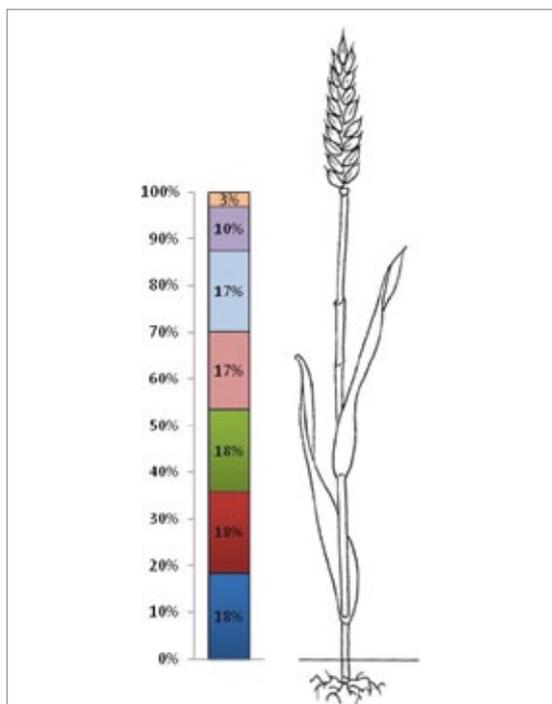


Figura 6 - Ripartizione percentuale della biomassa lungo il fusto studiata su sezioni di 10 cm; partendo dal basso, i differenti colori indicano le differenti sezioni.

Combi permette effettivamente di raccogliere circa 340 kg di biomassa ad ettaro in più. Lo studio delle perdite effettuato con metodologia 2 solo nelle unità sperimentali A (dove si è testata la raccolta combinata) ha confermato quanto individuato con la metodologia 1, mostrando perdite di biomassa pari a 2,33 t ha⁻¹, rispetto alle 5,25 t ha⁻¹ disponibili. L'analisi statistica ha mostrato l'assenza di differenze tra i due metodi utilizzati, confermando quindi la validità di utilizzo per entrambi.

CONCLUSIONI

Lo studio ha rivelato che il sistema Combi in modalità attiva (A) ha permesso di recuperare il 14% di materiale in più rispetto alla modalità disattivata (B), ma le perdite generali del sistema ammontano a circa il 50%. I problemi principali riscontrati sono imputabili principalmente all'uso di una mietitrebbia ibrida, che producendo una paglia molto corta, rende difficoltosa la seguente fase di imballatura. La validità del sistema quindi dovrà essere verificata per mezzo di altri test, da portare a termine con mietitrebbia tradizionale.

Bibliografia

SCARLAT N., DALLEMAND J.F., MONFORT-FERRARIO F., NITA V., 2015 - **The role of biomass and bioenergy in a future bioeconomy: Policies and facts**, *Environ. Dev.* 15 (2015) 3–34. doi:10.1016/j.envdev.2015.03.006.IEA

European Parliament, Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009, *Off. J. Eur. Union.* 140 (2009) 16–62. doi:10.3000/17252555.L_2009.140.eng.

EU 2015/1513, ILUC Directive, *Off. J. Eur. Union.* (2015) 20-30. doi:http://eurlex.europa.eu/pri/en/oj/dat/2003/l_285/l_28520031101en00330037.pdf.

PAIANO A., LAGIOIA G., 2016 - **Energy potential from residual biomass towards meeting the EU renewable energy and climate targets**. *The Italian case*, *Energy Policy.* 91 (2016) 161-173. doi:10.1016/j.enpol.2015.12.039.

HUTTON G., 2008 - **Increasing cow/calf profitability using chaff and chaff/straw feedstuffs**. *Alberta Agriculture and Forestry, Alberta Agri-facts.* Agdex 420/50-2.

SAIDUR R., ABDELAZIZ E.A., DEMIRBAS A., HOSSAIN M.S., MEKHILEF S., 2011 - **A review on biomass as a fuel for boilers**, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 15 (2011) 2262-2289. doi:10.1016/j.rser.2011.02.015.

SHIRTLIFFE S.J., ENTZ M.H., 2005 - **Chaff collection reduces seed dispersal of wild oat (*Avena fatua*) by a combine harvester**. *Weed Sci.* 53 (2005) 465-470. doi:10.1614/WS-03-109R2.

MCCARTNEY D.H., BLOCK H.C., DUBESKI P.L., OHAMA A.J., 2006 - **Review: The composition and availability of straw and chaff from small grain cereals for beef cattle in western Canada**. *Can. J. Anim. Sci.* 86 (2006) 443-455. doi:10.4141/A05-092.

KEYWORDS: residues, bio-energy, chaff, straw.

Abstract: Combined harvest of wheat straw and chaff to produce bioethanol: first testing in Sweden. The bio-economic framework of European Union opens up some interesting options to promote the valorization of feedstock until now considered as waste. It is the case of agricultural residues, namely residual biomasses deriving from common agricultural practices that are generally chopped in the field or disposed in different ways. The grain chaff is one of these products obtained from threshing or dehulling of different cereals such as wheat, rye, barley, oats, rice. The use of chaff as source of fuel is considered an interesting bio-energy option, but its recovery is not easy and the identification of efficient collection systems will be necessary to start a real energy chain. The present work is intended as an attempt to this challenge and represents a primary experience as part of the European project AGROinLog (<http://agroinlog-h2020.eu/en/home/>). A harvest test was performed in Sweden on the Julius wheat variety to assess the possibility to harvest chaff together with straw in bales for bio-ethanol production. Results displayed significant differences between the harvest settings adopted, but in any case high losses due mainly to the dimension of the straw produced by the combine used for the test.

Le prove sperimentali sono state condotte nell'ambito del progetto Europeo "AGROinLOG" (grant agreement No. 727961). Il progetto AGROinLOG è finanziato dal programma EU H2020.



La raccolta dei tutoli del mais con sistema Harcob

di LUIGI PARI, SIMONE BERGONZOLI, VINCENZO ALFANO, ALESSANDRO SUARDI, ANTONIO SCARFONE, SANDU LAZAR

In questo contributo sono state valutate le prestazioni e la qualità del lavoro di una mietitrebbiatrice equipaggiata con il sistema Harcob per la raccolta del tutolo del mais. Il sistema consiste in un dispositivo per separare il tutolo di mais dagli altri residui (foglie, stelo, culmo, ecc.) e raccogliermo in una tramoggia supplementare.

PAROLE CHIAVE: residui agricoli, tutolo del mais, raccolta meccanizzata.

Negli ultimi anni, il concetto di bioeconomia è diventato un tema fondamentale in Europa e alcuni programmi di ricerca si sono focalizzati su come valorizzare il potenziale di alcune risorse di biomassa che attualmente sono sottoutilizzate o inutilizzate.

Tra queste risorse non sfruttate, i tutoli di mais hanno suscitato un grande interesse per la loro abbondanza, il loro basso costo e per le caratteristiche valorizzabili in diversi possibili mercati (JANSEN e LÜBBERSTEDT 2011). Secondo EUROSTAT, ogni anno nell'UE28 si coltivano più di 9 milioni di ettari di mais da granella. Considerando una resa media di 1 t/ha di tutolo, si potrebbero raccogliere in Europa più di 9 Mt di tutolo di mais all'anno (POLLEX e ZENG 2012, KHAWAJA e JANSSEN 2015). Le sue interessanti proprietà consentono una vasta gamma di applicazioni quali:

- biomassa a scopi energetici;
- materiale assorbente per lettiera animale o substrato per la coltivazione idroponica;
- adsorbente per la produzione di carbone attivo per il trattamento delle acque;
- materiale abrasivo per il trattamento delle superfici di metallo o legno.

D'altro canto, il declino della fertilità del suolo è un problema fondamentale in Europa e deve essere valutato quando si considera la raccolta dei residui agricoli nei campi coltivati che storicamente venivano interrati. La raccolta dei residui colturali deve essere equilibrata rispetto al suo impatto ambientale, al mantenimento dei livelli dei nutrienti e di materia organica del suolo e al mantenimento dei livelli di produttività (WILHELM *et al.* 2004). Se si considera il ruolo dei residui colturali nel mantenimento della fertilità del suolo, la raccolta dei soli tutoli di mais (che rappresentano il 15-20% del totale

dei residui del mais) offre vantaggi rispetto alla raccolta della totalità degli stocchi. I tutoli, infatti hanno concentrazioni più basse dei diversi nutrienti (N, P, K, S e Ca) rispetto alle altre frazioni degli stocchi.

La valorizzazione e la trasformazione dei tutoli in una materia prima sostenibile ed economica dipende in larga misura dalla tecnologia di raccolta. Attualmente, i tutoli di mais sono raramente utilizzati e vengono normalmente lasciati sul terreno non raccolti o raccolti insieme agli stocchi (SHINNERS *et al.* 2007).



Figura 1 - Vista del sistema Harcob.

LUIGI PARI, CREA luigi.pari@crea.gov.it - SIMONE BERGONZOLI, CREA simone.bergonzoli@crea.gov.it - VINCENZO ALFANO, CREA vincenzo.alfano@crea.gov.it - ALESSANDRO SUARDI, CREA alessandro.suardi@crea.gov.it - ANTONIO SCARFONE, CREA antonio.scarfone@crea.gov.it - SANDU LAZAR, CREA sandu.lazar@crea.gov.it

I metodi utilizzati attualmente consentono la raccolta delle spighe del mais, ma la sfida consiste ancora nel separare le spighe dai tutoli (e potenzialmente dagli stocchi) senza rallentare l'operazione di raccolta (JOHNSON *et al.* 2010).

La raccolta di tutoli in un solo passaggio richiede meno attrezzature, manodopera e passaggi sul campo rispetto ad altri metodi, e ancor meno se non è richiesto un carro sul quale scaricare il prodotto raccolto. Un ulteriore vantaggio consiste nel fatto che i tutoli sono raccolti direttamente dalla mietitrebbia e la materia prima prodotta è priva di contaminanti come terra o pietre, il che potrebbe presentare dei problemi per la produzione di bioenergia (ZYCH 2008).

Nell'ambito del progetto europeo BeCool, le tecnologie disponibili per la raccolta dei residui agricoli sono state sottoposte a valutazione scientifica con il fine di aumentarne l'efficienza di raccolta e limitarne le perdite.

In questo ambito è stata valutata la tecnologia sviluppata dall'azienda Agricinque GRUPPO-RACCA sita a Marene (CN), presso l'azienda agricola Giletta sita a Revello (CN) durante la raccolta contemporanea del seme di mais e dei tutoli.

L'obiettivo di questi test era quello di determinare i parametri di funzionamento della macchina e la qualità ed efficacia del suo lavoro, al fine di valutare le prestazioni dell'innovativo sistema di raccolta (Harcob) per la raccolta del tutolo di mais (Figura 1).

MATERIALI E METODI

Il test è stato eseguito durante la raccolta utilizzando una mietitrebbia assiale Case modello Axial Flow 7140, equipaggiata con il sistema per la raccolta del tutolo di mais. Il sistema sviluppato, applicabile ad alcune mietitrebbie commerciali disponibili sul mercato consiste in un dispositivo per separare il tutolo di mais dagli altri residui (foglie, stelo, culmo, ecc.) e raccogliero in una tramoggia supplementare. La separazione del tutolo dagli altri residui avviene per mezzo di coclee, crivelli e sistemi di ventilazione posizionati all'interno del complesso trebbiante che permettono di convogliare i tutoli in una tramoggia applicata nella parte posteriore della

mietitrebbia. Prima di essere raccolti nella tramoggia i tutoli vengono tritati, con la possibilità di modificare le dimensioni del prodotto. All'interno della tramoggia un sistema di continua miscelazione garantito da una serie di coclee permette di evitare bloccaggi durante lo scarico. Inoltre, la capacità del cassone (9 m³) è tale da non richiedere svuotamenti più frequenti di quelli necessari per la granella. La potenza e il movimento degli organi del sistema di separazione e raccolta tutoli (dispositivo di sminuzzamento, coclee, sistemi pneumatici) derivano dal motore di serie della mietitrebbiatrice attraverso trasmissioni a cinghie e un impianto idraulico indipendente.

Lo scarico dei tutoli richiede circa 3 minuti così come lo scarico della granella (Figura 2), pertanto lo scarico delle due biomasse, nonostante avvenga per mezzo di due diversi tubi di scarico, avviene in contemporanea. Per quanto riguarda il consumo supplementare legato al recupero dei tutoli, la raccolta combinata di granella e tutoli può significare un assorbimento di potenza del 5% superiore rispetto a quello necessario per la sola raccolta della granella.

La mietitrebbia può essere utilizzata anche senza utilizzare il sistema Harcob scollegando manualmente la cinghia di trasmissione principale.

L'adattamento per adesso può essere montato solo sui modelli di mietitrebbia assiale CASE IH: 6088-7088, 6130-7130 e 6140-7140.

Lo studio è stato condotto nel settembre 2017 presso l'azienda agricola "Giletta", situata a Revello (44.709920 N e 7.435711 E), in provincia di Cuneo. L'azienda è orientata alla produzione di latte e dispone di un impianto a biogas da 250 kWe alimentata da letame e deiezioni e dai residui di mais (tutoli e stocchi). Le prove di raccolta sono state effettuate su tre diversi campi (A, B e C) seminati con il mais nell'Aprile 2017 con la varietà tardiva DKC6530, classe FAO 600.

Il mais è stato preceduto in tutti e tre i campi da colture foragere. All'interno di ogni campo sono state individuate delle aree di forma rettangolare, di circa 2 ha ciascuna, dove sono state eseguite le prove sperimentali. Tutti e tre i campi erano di giacitura pianeggiante. Per studiare le caratteristiche



Figura 2 - Vista del sistema di scarico della granella e dei tutoli di mais.

della coltura, prima di iniziare i lavori sono stati selezionati dieci *plot* di campionamento (repliche) di 1 m² all'interno di ciascun campo sperimentale. Tutte le piante di ciascun *plot* sono state raccolte a mano mediante taglio a livello del suolo e sono state registrate le seguenti caratteristiche biometriche e produttive: numero di piante, diametro del fusto a livello del suolo, altezza della pianta e la quantità di biomassa totale di ciascun *plot*. Tutte le spighe di ciascun *plot* sono state pesate separatamente per studiare le frazioni di biomassa del mais e il rapporto tra le spighe e la biomassa totale. In ogni campo sperimentale sono stati prelevati a caso quattro campioni di tutoli, di granella e di biomassa fogliare, pesati e confezionati sottovuoto per misurarne il contenuto di umidità. Il contenuto di umidità (MC %) delle diverse biomasse è stato determinato secondo la norma ISO 14774-2:2009. La massa volumica del tutolo di mais è stata valutata prelevando 10 campioni di tutolo scelti casualmente dalla biomassa scaricata dalla macchina ed è stata misurata secondo la norma ISO 17828:2015.

La superficie (m²) di ogni campo sperimentale è stata misurata dopo la fase di raccolta. Lo studio delle prestazioni della macchina è stato effettuato durante la raccolta della granella e del tutolo di mais. Tutte le operazioni sono state analizzate secondo la metodologia del CIOSTA (Comité International d'Organisation Scientifique du Travail en Agriculture) e le raccomandazioni della Società Italiana di Ingegneria Agraria (A.I.I.A.) 3A R1. Maggiori indicazioni relativamente a questi metodi si trova in (BODRIA *et al.* 2006).

Oltre alla velocità di avanzamento (m s⁻¹), sulla base di questi parametri di lavoro sono stati calcolati il rendimento operativo (%), la capacità operativa (ha h⁻¹) e la produttività oraria (t h⁻¹).

Per valutare la resa (t ha⁻¹) della granella di mais e dei tutoli

per ogni campo, i rimorchi con la granella e i tutoli sono stati pesati separatamente nella pesa aziendale.

Le perdite di tutoli (%) sono state stimate su cinque *plot* per ogni campo sperimentale. Tutti i residui di tutoli ancora presenti nelle parcelle, dopo l'operazione di raccolta, sono stati raccolti manualmente e pesati con bilancia portatile. La percentuale delle perdite è stata quindi stimata come rapporto tra il peso dei tutoli residui e la somma della resa dei tutoli e del peso dei tutoli residui, per ciascun campo sperimentale. La somma della resa colturale e delle perdite rappresenta la biomassa potenzialmente raccogliabile.

RISULTATI E DISCUSSIONI

I risultati del campionamento pre-raccolta sono descritti nella Tabella 1. I valori sono relativi alla media di dieci repliche di ogni *plot* (1 m²) per ciascun campo, i valori medi sono relativi alla media dei tre campi.

Il valore medio del diametro del fusto era di 2,3 cm con un valore massimo di 3,3 cm. L'altezza della pianta ha mostrato una grande variabilità tra i 155 e i 420 cm con un valore medio di 325,8 cm. Il peso medio della biomassa totale del *plot* di campionamento è stato di 5,0 kg, con una grande variabilità compresa tra 2,75 e 7,55 kg. Il peso medio delle pannocchie è stato di 2,2 kg, con valori minimi e massimi rispettivamente di 0,45 e 3,05 kg. I risultati dello studio sui tempi di lavoro sono riportati nella Tabella 2.

Considerando la quantità totale di biomassa misurata nei *plot* di campionamento (1 m²), la quantità di biomassa per ettaro era in media di 50 t, la quantità di spighe era di 22 t e il rapporto spiga/biomassa era del 42,6%.

Il valore medio della capacità operativa era di 2,1 ha h⁻¹, mentre i valori registrati nelle repliche variavano da 1,7 a 2,2 ha h⁻¹, mostrando una bassa variabilità. Il valore medio della

	Diametro basale (cm)	Altezza della pianta (cm)	Biomassa totale (kg)	Peso delle spighe (kg)	Rapporto spiga/biomassa (%)
CAMPO A	2,2±0,4	290,7±34,4	4,3±1,1	1,8±0,8	41,8
CAMPO B	2,5±0,4	332,6±20,2	5,2±0,6	2,3±0,7	44,2
CAMPO C	2,3±0,7	352,3±42,1	5,5±1,1	2,3±0,8	41,8
Media	2,3±1,5	325,8±31,9	5,0±0,6	2,2±0,2	42,6

Tabella 1 - Caratteristiche della coltura nel *plot* di campionamento (1 m²).

	Velocità di avanzamento (m s ⁻¹)	Rendimento operativo (%)	Capacità operativa (ha h ⁻¹)	Produttività oraria in granella (t h ⁻¹)	Resa di granella (t ha ⁻¹)	Produttività oraria in tutoli (t h ⁻¹)	Resa dei tutoli (t ha ⁻¹)	Perdite di tutoli (%)
CAMPO A	1,03	65,6	2,2	31,4	14,1	4,7	2,1	18
CAMPO B	1,00	67,8	2,2	29,4	13,2	4,6	2,1	18
CAMPO C	0,90	65,7	1,7	23,0	13,5	3,1	1,8	14
Media	0,97±0,06	66,4±1,2	2,1±0,3	27,9±4,4	13,6±0,5	4,1±0,9	2±0,2	16,7±2,3

Tabella 2 - Prestazioni della mietitrebbiatrice.

	Foglie MC (%)	Granella MC (%)	Tutoli MC (%)	Massa volumica tutoli (kg m ⁻³)
CAMPO A	70,0±1,1	26,0±2,3	53,5±3,1	316,6±44,6
CAMPO B	68,3±2,7	28,1±3,5	56,6±5,8	
CAMPO C	68,5±2,1	19,6±1,0	37,2±2,7	
Media	68,93±0,92	24,57±4,42	49,10±10,42	

Tabella 3 - Contenuto in umidità (MC) e massa volumica della biomassa.

resa di granella e di tutoli è stato rispettivamente di 13,6 e 2 t ha⁻¹. Le perdite di tutoli sono state mediamente 16,7%, con valori compresi tra il 14 e il 18%. Nel campo C sono stati registrati i valori più bassi di velocità di avanzamento (0,90 m s⁻¹), capacità operativa (1,7 ha h⁻¹) e produttività oraria di granella e tutoli 23,0 e 3,1 t h⁻¹ rispettivamente, ciò è attribuibile alla maggiore quantità di biomassa totale registrata nello stesso campo (55 t ha⁻¹) che ha causato la riduzione della velocità di avanzamento della macchina durante la raccolta.

Il valore medio del contenuto di umidità delle foglie è stato del 68,93%, con valori compresi tra il 68,3% e il 70,0%.

I valori di umidità della granella hanno mostrato una grande variabilità con un valore massimo di 28,1 e un valore minimo di 19,6, una grande variabilità è stata evidenziata anche nel contenuto di umidità del tutolo dove i valori variavano tra 37,2 e 56,6 e un valore medio di 49,10%. Il campo C ha registrato i valori più bassi del tenore di umidità della granella e dei tutoli, rispettivamente 24,57 e 49,10%. La massa volumica dei tutoli raccolti è risultata di 316,6 kg m⁻³ (Tabella 3).

CONCLUSIONI

Dalle prove condotte è stato messo in luce che il sistema Harcob, ha raccolto in media 2 t ha⁻¹ di tutoli, con una produttività oraria di 4,1 t h⁻¹. Le perdite di tutoli sono il 16,7% del raccogliabile.

Il sistema Harcob ha operato senza alcun problema, non influenzando sui tempi di raccolta della raccogliitrice, difatti anche il sistema di scarico, realizzato con un innovativo sistema a coclea, ha richiesto circa 3 minuti, permettendo lo scarico contemporaneo di tutoli e granella di mais.

Il tutolo di mais, una volta raccolto, considerando il contenuto di umidità (49,1%) è una biomassa appropriata per alimentare una centrale a biogas. Qualora invece sia utilizzato per la produzione di mangimi o per l'utilizzo come lettiera animale, deve essere essiccato.

Il corretto funzionamento del sistema Harcob, unica esperienza conosciuta in Europa, ha mostrato la concreta possibilità di valorizzare una risorsa importante che attualmente viene lasciata in campo, senza influire sui tempi di raccolta della granella di mais.

Bibliografia

BODRIA L., PELLIZZI G., PICCAROLO P., 2006 - **Meccanica agraria vol. II: la meccanizzazione**. Il Sole24Ore, Bologna, Italy.

ISO 14774-2:2009 - **Solid biofuels** - Methods for the determination of moisture content - oven dry method.

ISO 17828:2015 - **Solid biofuels** - Determination of bulk density, (2015) 8.

JANSEN C., LÜBBERSTEDT T., 2011 - **Turning maize cobs into a valuable feedstock**. Bioenerg Res.

JOHNSON J.M., WILHELM W.W., KARLEN D.L., ARCHER D.W., WIENHOLD B.J., LIGHTLE D.T., LAIRD D.A., BAKER J.M., OCHSNER T.E., NOVAK J.M., HALVORSON A.D., ARRIAGA F.J., BARBOUR N.W., 2010 - **Nutrient removal as a function of corn stover cutting height and cob harvest**. BioEnergy Res 3:342-352.

KHAWAJA C., JANSSEN C., 2015 - **D4.3a of the SUCELLOG project - Summary of the current situation of Tschiggerl Agrar GmbH and feasibility study**. SUCELLOG project, Triggering the creation of biomass logistic centres by the agro-industry.

POLLEX A., ZENG T., 2012 - **Initiators Handbook MIXBIOPELLES**.

SHINNERS K.J., BINVERSIE B.N., MUCK R.E., WEIMER P.J., 2007 - **Comparison of wet and dry corn stover harvest and storage**. Biomass Bioe 31:211-221.

WILHELM W.W., JOHNSON J.M.F., HATFIELD J.L., VOORHEES W.B., LINDEN D.R., 2004 - **Crop and Soil Productivity Response to Corn Residue Removal: A Literature Review**. Agronomy Journal. Agron. J. (96):1-17.

ZYCH D., 2008 - **The viability of corn cobs as a bioenergy feedstock**. West Central Research and Outreach Centre, Morris, MN. Univ. of Minnesota, Minneapolis. p. 1-25

KEYWORDS: agricultural residues, harvesting, maize.

Abstract: Maize cob harvesting using the Harcob system.

The maize cob is still an untapped biomass, is rarely used being normally left on the soil. Maize cobs, are considered to have a very limited nutritional value for the soil therefore removing all of them will not have negative impact on the soil. The harvesting of this untapped biomass will not affect food security as it is using the agricultural residues creating no competition with food. The objective of the paper was to determine the operating parameters of the harvesting machine and the quality and effectiveness of its work in order to assess the performances of the innovative Harcob system to collect the maize cob. The test was performed during maize grain harvesting in September 2017 using a commercial combine harvester machine equipped with the Harcob system. It was possible to harvest 2 t ha⁻¹ of cob, with a material capacity of 4,1 t h⁻¹. The cob losses were lower than 20%, highlighting the right functioning of the system, even more considering the unloading system that is performed by an innovative auger system that ensures no blocking problems and requires around 3 minutes, allowing the discharging of maize cob and grain at the same time.

Ringraziamenti

Si ringraziano l'azienda Agricinque GRUPPO-RACCA, sita a Marene (CN), costruttrice del sistema innovativo HARCOCB, e l'azienda agricola Giletta, sita a Revello (CN), per la disponibilità e assistenza durante i test sperimentali.

Le prove sperimentali sono state condotte nell'ambito del progetto Europeo "BeCool" (grant agreement No. 744821). Il progetto BeCool è finanziato dal programma EU H2020.



Tutoli di mais e pula dei cereali per fini energetici

Considerazioni preliminari sull'impiego energetico di residui scarsamente utilizzati

di LUIGI PARI, ALESSANDRO SUARDI, SIMONE BERGONZOLI, ANTONIO SCARFONE, VINCENZO ALFANO, GIUSEPPE TOSCANO

In questo studio si è investigato l'utilizzo dei tutoli di mais e della pula dei cereali come combustibile per caldaie industriali per la produzione di calore e/o elettricità.

PAROLE CHIAVE: residui agricoli, tutolo del mais, raccolta meccanizzata.

Attualmente, circa il 4% del consumo totale di energia primaria dell'Unione Europea è fornito dalle biomasse, ed entro il 2010 si stima che questa quota raggiungerà il 13% del totale. Ciò fa della biomassa la più importante fonte di energia rinnovabile, fornendo due terzi dell'energia totale prodotta da fonti rinnovabili (WIESENTHAL *et al.* 2006). Per mantenere le aspettative di crescita, l'uso della biomassa dovrà approssimativamente raddoppiare nei prossimi anni e, nel breve-medio periodo, i residui agricoli potrebbero fornire una notevole quantità di materiale ligno-cellulosico attualmente non sfruttato, che potrebbe contribuire al raggiungimento degli obiettivi stabiliti.

Annualmente, dalle produzioni agricole, una quantità significativa di residui rimangono parzialmente in campo dopo la raccolta dei prodotti principali. A seguito dell'elevata produttività e dei molteplici impieghi per scopi alimentari, chimici e zootecnici, il mais e i cereali rappresentano due delle colture più diffuse al mondo. Tra i loro sottoprodotti spesso inutilizzati, troviamo i tutoli, per quanto riguarda il mais, e la pula dei cereali. Il tutolo (Figura 1) è la parte della spiga del mais (*Zea mays* ssp.) dove sono fissate le cariossidi, e la pula (Figura 2) è un sottoprodotto derivante dalla lavorazione dei cereali, costituita dall'insieme delle brattee (o glumelle) che racchiudono i chicchi, semi di erbe infestanti, e pezzi di paglia ottenuti durante il processo di trebbiatura. In Europa, questi due residui da soli generano una quantità di biomassa potenziale pari a 9,6 Mt (i tutoli) e 54,8 Mt (la pula). Tuttavia, in Italia normalmente la pula dei cereali e i tutoli del mais vengono lasciati a terra non venendo rac-

colti (fatta eccezione per la lolla del riso che, a seguito del processo di sbramatura, viene utilizzata in diversi settori, e come combustibile all'interno delle stesse riserie). In alcune



Figura 1 - Tutoli di mais.

LUIGI PARI, CREA luigi.pari@crea.gov.it - ALESSANDRO SUARDI, CREA alessandro.suardi@crea.gov.it - SIMONE BERGONZOLI, CREA simone.bergonzoli@crea.gov.it - ANTONIO SCARFONE, CREA antonio.scarfone@crea.gov.it - VINCENZO ALFANO, CREA vincenzo.alfano@crea.gov.it - GIUSEPPE TOSCANO, UNIVPM g.toscano@staff.univpm.it

regioni europee (es. Spagna) o extraeuropee (es. Cile), c'è una grande disponibilità di residui di cereali, ma non esiste un mercato capace di assorbirli e valorizzarli, e il loro smaltimento avviene molto spesso tramite bruciatura in campo con conseguenze negative sul riscaldamento globale, la salute umana, l'ossidazione fotochimica, l'acidificazione e l'eutrofizzazione (PALMIERI 2017). C'è inoltre da considerare il dibattito ancora aperto sull'utilizzo dei sottoprodotti ed il declino della fertilità del suolo. La rimozione dei residui colturali dovrebbe essere bilanciata al fine di limitare i fenomeni di erosione, favorendo il buon mantenimento dei livelli di nutrienti e di sostanza organica del suolo, e assicurando buoni livelli di produttività (WILHELM *et al.* 2004).

È importante comunque evidenziare che, se si considera il ruolo dei residui colturali nel mantenimento della produttività del suolo, la raccolta dei soli tutoli di mais (che rappresentano il 15-20% dei residui totali lasciati in un campo di mais dopo la raccolta del seme) non porterebbe ad un depauperamento significativo dei nutrienti del suolo, in quanto la quantità di azoto, fosforo e potassio in essi contenuti, risultano relativamente bassi. Stesso si può dire per la pula che rappresenta una frazione dei residui dei cereali che può variare dai 400 kg a 2 Mg per ettaro e che, la sua rimozione ridurrebbe anche la diffusione dei semi delle erbe infestanti, influenzando positivamente, in modo indiretto, anche sul numero dei trattamenti erbicidi necessari per la coltura successiva.

La mancanza di sistemi adeguati di raccolta spesso rappresenta il principale limite allo sfruttamento dei sottoprodotti agricoli, ma sia nel caso dei tutoli che della pula, esistono sul mercato tecnologie di raccolta già testate e funzionanti (PARI *et al.* 20018a e b). In alcuni paesi europei, esistono già delle filiere di questi sottoprodotti che vengono impiegati in diversi ambiti: come lettieri per gli animali, come substrato nelle coltivazioni idroponiche, per la produzione di carbone attivo adsorbente per il trattamento delle acque, e nel campo dell'edilizia. Anche la combustione per la produzione di energia può rappresentare un valido modo di sfruttamento

funzionale dei sottoprodotti, soprattutto in zone dove non esistono mercati capaci di valorizzarli ed il loro smaltimento avviene in maniera non sostenibile.

Per questa ragione, l'utilizzazione dei tutoli e della pula come combustibile in grandi centrali a biomassa per la produzione di energia, possono permettere di smaltire residui inutilizzati in maniera efficiente, in condizioni controllate (rischio di incendi azzerato) ed emissioni ridotte di gas serra, riducendo la dipendenza dai combustibili fossili. In fase di combustione la biomassa infatti emette nell'atmosfera la stessa quantità di anidride carbonica assorbita durante la fase di crescita della pianta (PATEL 2012).

Tuttavia, la conoscenza delle proprietà e delle caratteristiche chimico-fisiche del combustibile, è fondamentale per la progettazione ed il buon funzionamento delle caldaie. Le caldaie possono essere di vario tipo, ed ognuna ha un design caratteristico ed è progettata per bruciare specifiche tipologie di combustibili. Il potere calorifico, l'umidità, il contenuto totale di ceneri ed il loro punto di fusione, sono tutti parametri chiave considerati in fase di progettazione dell'impianto ed implementazione della filiera. I processi chimici che si sviluppano durante la fase di combustione delle biomasse possono variare notevolmente, e alcuni tipi di materiali presentano caratteristiche tali da risultare problematici in fase di combustione.

Lo scopo di questo studio preliminare è stato quello di investigare il potenziale utilizzo dei tutoli di mais e della pula dei cereali come combustibile per caldaie industriali per la produzione di calore e/o elettricità, in aree dove, sebbene ci sia disponibilità di materiale, questi sottoprodotti non hanno mercato e non vengono per questo utilizzati, o addirittura vengono smaltiti in maniera non sostenibile.

MATERIALI E METODI

Lo studio ha previsto un'analisi preliminare delle caratteristiche fisiche e chimiche della pula di cereali e dei tutoli di mais al fine di verificare il loro potenziale utilizzo in caldaie industriali. Per fare questo, si è proceduto con il campionamento randomizzato di cinque campioni di pula raccolti presso dei campi prova in Francia (La Rochelle), e cinque campioni di tutoli di mais presso campi di mais vicino a Marene (CN - Italia), nell'ambito del progetto Europeo AGROinLOG (<http://agroinlog-h2020.eu/en/home>).

Le analisi relative al contenuto di umidità, il potere calorifico, il quantitativo di ceneri e il loro punto di fusione (AMP), nonché la concentrazione di azoto (N), cloro (Cl) e zolfo (S), sono state effettuate secondo gli standard EN ISO dal Gruppo Biomasse del D3A, Dipartimento dell'Università Politecnica delle Marche di Ancona.

RISULTATI E DISCUSSIONI

Il contenuto di umidità delle biomasse residuali può variare a seconda del momento della raccolta e dal processo di separazione degli stessi dal prodotto principale (WERTHER *et al.* 2007). Nel caso della pula dei cereali, il processo di essiccazione avviene in modo naturale in campo e il contenuto di acqua nei residui alla raccolta risulta molto basso (Tabella 1). Nel caso dei tutoli, il contenuto di umidità risulta invece



Figura 2 - Pula di cereali.

Biomassa	Umidità %w/w		Ceneri %w/w		Potere Calorifico Inferiore MJ/kgdb	
	Media	Dev.St.	Media	Dev.St.	Media	Dev.St.
Tutoli di mais	40,80	0,18	2,02	0,01	17,64	0,04
Pula di grano	10,12	0,03	9,75	0,14	16,27	0,03

Tabella 1 - Confronto tra tutolo di mais e pula di cereali. Potere calorifico inferiore, umidità e contenuto di ceneri.

Biomassa	Azoto		Cloro %w/w		Zolfo	
	Media	Dev.St.	Media	Dev.St.	Media	Dev.St.
Tutoli di mais	0,75	0,01	0,27	0,01	0,02	0,00
Pula di grano	0,73	0,04	0,04	0,00	0,04	0,01

Tabella 2 - Tutolo di mais e pula di cereali a confronto. Contenuti di cloro, zolfo e azoto.

superiore essendo circa il 40% del peso del tutolo fresco. I materiali che presentano valori di umidità superiori al 40% rientrano nel gruppo delle biomasse con alto contenuto di umidità (PATEL 2012). Per questa ragione il tutolo del mais può considerarsi al limite.

Quanto più è alto il contenuto di acqua nella biomassa, tanto minore risulta essere l'efficienza del combustibile. Maggiore contenuto d'acqua nel combustibile comporta anche la necessità di un maggiore volume della caldaia, con conseguente aumento dei costi dell'impianto. Inoltre, maggiore contenuto di acqua comporta anche maggiori costi di trasporto. Gli effetti dell'umidità hanno un impatto negativo anche sui costi di manutenzione delle caldaie (es. condensa acida, incrostazioni, nonché a fenomeni di *fouling* e *sludging*) con abbassamento della temperatura interna della caldaia. Se il combustibile contiene zolfo e cloro, aumenta anche il rischio di corrosione degli scambiatori di calore, del ventilatore del sistema di tiraggio dell'aria, dei condotti e della canna fumaria (PATEL 2012).

Il rilascio di metalli alcalini, cloro e zolfo nella fase gassosa può anche portare alla formazione di quantità significative di aerosol (particelle inferiori al micron) con emissioni relativamente elevate di HCl e SO₂ (PATEL 2012).

I residui dei cereali sono risultati essere tra i tipi di biomassa più corrosivi a causa dei contenuti di cloro e zolfo (Patel 2012). Tuttavia, i nostri risultati hanno mostrato che, a differenza della paglia di grano, la pula risulta avere una bassa percentuale di questi due elementi (Tabella 2). D'altra parte, i tutoli di mais hanno evidenziato un'elevata quantità di cloro. Il contenuto di azoto (N) nelle biomasse indirizzate alla combustione è normalmente piuttosto basso con un valore inferiore all'1% mentre è particolarmente elevato nei cereali, dove può raggiungere il 5% (TODARO *et al.* 2007). Nella pula e nei tutoli, il contenuto di azoto è risultato essere mediamente pari a 0,74%. L'elevato contenuto di ceneri, materiale inorganico che rimane dopo la combustione, è una caratteristica che influisce negativamente sul contenuto energetico della biomassa. Dai risultati si è visto che questo valore varia da un residuo all'altro (GIORDANO 1980). L'aumento della quantità di cenere influisce negativamente sul potere calorifico perché rappresenta la frazione di biomassa che rimane incombusta (DEMIRBAŞ 1997) e influisce anche sulle prestazioni della caldaia e sui costi di gestione in quanto un alto

contenuto di cenere significa più materiale da smaltire come rifiuto speciale (CICCARESE 2000).

Per la combustione di residui agricoli ad alto contenuto di ceneri, come il tutolo di mais, occorre prendere in considerazione l'inserimento di un efficiente dispositivo di rimozione delle ceneri dai fumi di scarico per eliminare o ridurre l'inquinamento da particolato. In questo modo si potrebbero ridurre i problemi di accensione e di combustione (SAIDUR *et al.* 2011).

Un problema particolare delle ceneri, che si verifica normalmente durante la combustione di alcuni residui agricoli, è la bassa temperatura di fusione delle ceneri. Ciò è dovuto alla presenza, in alcuni residui, di quantità elevate di ossido di potassio (K₂O). I problemi attribuiti alle basse temperature di fusione delle ceneri di questi residui sono le incrostazioni, i fenomeni di *fouling*, la corrosione delle superfici degli scambiatori di calore e la formazione di agglomerati nel letto di combustione nelle caldaie a letto fluido (WERTHER *et al.* 2007). Questi fenomeni possono ridurre significativamente l'efficienza degli scambiatori di calore. Test su biomasse erbacee come la *Phalaris arundinacea*, L. (Saggina spagnola) hanno mostrato una temperatura di fusione di oltre i 1.200°C fino a circa 1.250°C mentre per le biomasse legnose, come betulla e pioppo, da 1.400°C fino a circa 1.500°C (BUMANE *et al.* 2017). In un recente studio (PARI *et al.* 2015), il punto di fusione delle ceneri di *Arundo donax*, L. è risultato di 896°C.

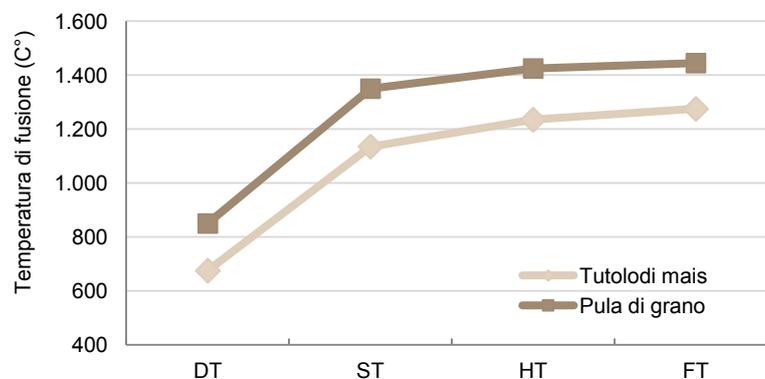


Figura 3 - Analisi della fusione delle ceneri della pula di grano e del tutolo di mais. DT= temperatura di deformazione iniziale; ST= temperatura di rammollimento; HT= temperatura emisferica; FT= temperatura di fusione.

Le analisi hanno evidenziato un basso contenuto di ceneri nel tutolo, e un alto contenuto di ceneri nella pula (Tabella 1). Di contro, i tutoli hanno mostrato un più basso punto di fusione delle ceneri rispetto alla pula (Figura 3).

I risultati delle analisi hanno mostrato che il tutolo di mais e la pula di cereali, se presi separatamente non rientrano propriamente nelle specifiche tecniche della combustione diretta. Tuttavia, le miscele dei due potrebbero compensare i problemi attesi generabili dall'uso delle singole biomasse, consentendo di ottenere un nuovo combustibile che soddisfi le specifiche indicate dallo standard EN-ISO 17225-6 (Biocombustibili solidi - Specifiche e classi del combustibile - Parte 6: Pellet non legnosi classificati), con conseguenti effetti positivi sia economici che ambientali.

Studi futuri sono comunque necessari per investigare il comportamento delle miscele di tutoli e pula in percentuali diverse, al fine di ottenere un biocarburante con caratteristiche migliori rispetto ai singoli prodotti presi separatamente.

CONCLUSIONI

L'obiettivo del lavoro è stato quello di indagare sul potenziale utilizzo dei tutoli di mais e della pula dei cereali per alimentare caldaie industriali per la produzione di energia, in aree dove questi sottoprodotti sono disponibili ma non esistono mercati alternativi, ovvero i metodi di smaltimento utilizzati non rispettano criteri di sostenibilità ambientale.

Dall'analisi si può ipotizzare che l'uso della pula e dei tutoli per produrre energia potrebbero portare benefici ambientali (attraverso la riduzione dell'uso di fertilizzanti azotati legati ad un ridotto apporto al terreno di biomassa con alto rapporto C/N) nonché la riduzione delle emissioni di CO₂ dovuta ad un ridotto utilizzo di combustibili fossili, evitando nel contempo la combustione dei residui in campo. Infine, la creazione di nuove filiere apporterebbe anche benefici di tipo economico. Saranno comunque necessari ulteriori studi che analizzino il comportamento, in fase di combustione, di miscele di pula e tutoli al fine di ottenere nuovi combustibili con caratteristiche migliori rispetto ai singoli residui che, se presi separatamente, hanno dimostrato di non rientrare propriamente nelle specifiche tecniche indicate dallo standard EN-ISO 17225-6 per i biocombustibili solidi.

Bibliografia

- BŪMANE S., POIŠA L., ADAMOVIČS A., PLATAČE R., ČUBARS E., 2017 - **Melting Temperature Behavior of Different Energy Crop Ashes**, *Environ. Technol. Resour. Proc. Int. Sci. Pract. Conf.* 1 (2017) 51. doi:10.17770/etr2017vol1.2642.
- CENTIS 15370-1:2006 - **Solid biofuels - Method for the determination of ash melting behaviour - Part 1: Characteristic temperatures method**. (2006) 11.
- CICCARESE L., 2000 - **Effetto della cenere di legna sul substrato d'allevamento e sullo sviluppo in semenzali di douglasia e ornello (Effect of wood ash on growing medium and development in douglas and manna seedlings)**. *Sherwood - Foreste ed Alberi Oggi*. 53 (2000) 39-46.
- DEMIRBAŞ A., 1997 - **Calculation of higher heating values of biomass fuels**. *Fuel*. 76 (1997) 431-434.
- GIORDANO G., 1980 - **Il legno. Caratteristiche e lavorazioni fondamentali (The wood. Fundamental characteristics and workings)**. Edizioni U, Torino, 1980.

PALMIERI N., FORLEO M.B., GIANNOCCARO G., SUARDI A., 2017 - **Environmental impact of cereal straw management: An on-farm assessment**. *J. Clean. Prod.* 142 (2017). doi:10.1016/j.jclepro.2016.10.173.

PARI L., SCARFONE A., SANTANGELO E., FIGORILLI S., CROGNALE S., PETRUCCIOLI M., SUARDI A., GALLUCCI F., BARONTINI M., 2015 - **Alternative storage systems of *Arundo donax* L. and characterization of the stored biomass**. *Ind. Crops Prod.* 75 (2015).

PARI L., BERGONZOLI S., SUARDI A., ALFANO V., SCARFONE A., LAZAR S., 2018a - **Maize cob harvesting: first assessment of an innovative system**. In: *Proc. 26th Eur. Biomass Conf. Exhib., Copenhagen*, 2018: p. In press.

PARI L., ALFANO V., SCARFONE A., BERGONZOLI S., SUARDI A., 2018b - **Best available technologies to harvest cereal chaff**. In: *Proc. 26th Eur. Biomass Conf. Exhib., Copenhagen*, 2018: p. In press.

PATEL B., 2012 - **Biomass Characterization and its Use as Solid Fuel for Combustion**. *Iran. J. Energy Environ.* 3 (2012) 123-128.

SAIDUR R., ABDELAZIZ E.A., DEMIRBAS A., HOSSAIN M.S., MEKHILEF S., 2011 - **A review on biomass as a fuel for boilers**, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 15 (2011) 2262-2289.

TODARO L., SCOPA A., AS D.F., SPARTIUM L., RUBUS W., ONOPORDUM L., FOR L.Q., 2007 - **Caratterizzazione energetica di specie arboree e arbustive di aree collinari e montane della Basilicata (Energy characterisation of tree and shrub species in hilly and mountainous areas of Basilicata region)**. *Forest@*. 4 42-50.

WERTHER J., SAENGER M., HARTGE E.U., OGADA T., SIAGI Z., 2007 - **Combustion of agricultural residues**, *Prog. Energy Combust. Sci.* 26 (2000) 1-27.

WIESENTHAL T., MOURELATOU A., PETERSEN J.E., TAYLOR P., 2006 - **How much bioenergy can Europe produce without harming the environment?**. *EEA*. No. 7 (2006).

WILHELM W.W., JOHNSON J.M.F., HATFIELD J.L., VOORHEES W.B., LINDEN D.R., 2004 - **Crop and soil productivity response to corn residue removal**. *Agron. J.* 96 (2004) 1-17.

KEYWORDS: cereal chaff, maize cob, agricultural residues, characteristics, combustion.

Abstract: Maize cobs and cereal chaff for energy production. Preliminary considerations on their use as fuels in the boiler. Many EU projects affirm that there is significant potential to expand the share of energy & material production from biomass in a 2020-2030 timeframe in a sustainable way and without entering into conflict with food and feed security. Furthermore, all studies agree about the necessity to unlock the potential of underutilized agricultural resources to reach the planned European bio-economy goals. Agricultural residues like maize cob and grain chaff with an annual European availability of 9,6 Mt and 54.8 Mt respectively, represent an interesting underutilized amount of potential biomass for energy production. Moreover, the harvesting logistics of cob and chaff grain are supported by equipment already available in the market. Cob and chaff are used in different industrial fields but few studies have analyzed the potential as feedstock for industrial boilers to produce energy, separately or in combination with other biomass types. This is a preliminary study to investigate the physical and chemical characteristics of chaff grain and maize cob in order to verify their potential use in industrial boilers for the production of heat and electricity. Moisture and ash contents, ash melting point, heating value, and concentrations of C, H, N, S of cob and chaff were analyzed in order to evaluate the potential behavior as solid biofuel either as direct utilization or by mixing them with other biomass types.

Le prove sperimentali sono state condotte nell'ambito del progetto Europeo "AGROinLOG" (grant agreement No. 727961). Il progetto AGROinLOG è finanziato dal programma UE H2020.



Cantieri per la raccolta della paglia

Valutazioni economiche in funzione della distanza tra campo e centro di stoccaggio

di LUIGI PARI, VINCENZO ALFANO, SIMONE BERGONZOLI, ANTONIO SCARFONE, ALESSANDRO SUARDI, SANDU LAZAR

Due differenti cantieri per la raccolta della paglia sono stati confrontati, valutando le performance e i costi di tutte le macchine utilizzate: imballatrice con trattrice, trattrice con forca e trattrice con pianale nel primo cantiere, carro autocaricante nel secondo. Lo scopo era quello di individuare la distanza massima tra il campo ed il centro di stoccaggio entro cui risulta economicamente conveniente raccogliere la biomassa sfusa rispetto alla forma imballata.

PAROLE CHIAVE: logistica, carro autocaricante, imballatrice, residui di trebbiatura.

L'attività di ricerca è stata realizzata nell'ambito del Progetto H2020 AGROinLOG - *Demonstration of innovative integrated biomass logistics centres (IBLC) for the Agro-industry sector in Europe*⁽¹⁾. Il Progetto, della durata triennale, è avviato nel 2017, ha lo scopo di dimostrare la fattibilità di "Centri logistici integrati" basati sulla gestione di nuove materie prime, costituite da biomasse residuali, in differenti ambiti del comparto agro-industriale (precisamente, la produzione di foraggi in Spagna, olearia in Grecia e la lavorazione dei cereali in Svezia). L'obiettivo è l'attivazione di nuove linee produttive, complementari a quella principale, per la produzione di *biocommodities* (biocombustibili, biochemicals, bioprodotto) al fine di estendere l'utilizzo annuale di attrezzature, *facilities* e personale (generalmente stagionale), anche ai periodi non convenzionali.

Con riferimento all'azione dimostrativa implementata in Spagna, presso l'industria di lavorazione di foraggi denominata APS, con sede a Saragozza, i residui delle coltivazioni cerealicole, paglie del grano e stocchi del mais, costituiscono il nuovo *input* di biomassa residuale che si vuole introdurre nella gestione aziendale per dare vita ad una nuova filiera produttiva.

A tale scopo, il CREA è stato chiamato a verificare l'efficacia tecnico ed economica dell'utilizzo delle dotazioni meccaniche aziendali normalmente utilizzate per la raccolta dei foraggi (principalmente erba medica), anche per il recupero

dei residui cerealicoli. In particolare, **l'obiettivo è stato quello di valutare la distanza massima tra la piattaforma integrata (IBLC) e i campi**, entro cui risulta economicamente più conveniente raccogliere la biomassa in forma sfusa, con i carri auto-caricanti utilizzati normalmente per la raccolta dei foraggi, piuttosto che in forma imballata.

In questo articolo quindi verranno analizzate le diverse fasi



Figura 1 - Caricamento della paglia imballata sul pianale per il trasporto allo stoccaggio (Cantiere A).

¹⁾ www.agroinlog-h2020.eu/en/home

inerenti la raccolta e la logistica della paglia dei cereali. Questa risorsa, comunemente utilizzata nel settore agricolo come foraggio o lettiera, è sempre più oggetto di attenzione per una potenziale valorizzazione nel settore energetico (nei processi tradizionali di combustione negli impianti di teleriscaldamento o in quelli innovativi di produzione di etanolo di seconda generazione) e come risorsa di biomassa nelle più recenti applicazioni della industria *biobased* (SUN 2010). Tra le fasi produttive **la movimentazione della biomassa incide fortemente sui costi complessivi della filiera e sulla qualità del prodotto**. In particolare per le biomasse residuali, come la paglia, la logistica deve essere attentamente valutata. La paglia, infatti, caratterizzata da una bassa densità volumetrica, necessita un adeguato livello di compattazione per contenere i costi di trasporto e di stoccaggio di ingenti volumi (HAHN e HERRMANN 2009).

In letteratura numerosi studi hanno valutato dal punto di vista tecnico economico la raccolta e la logistica dei residui cerealicoli, valutando diverse tipologie di imballatrici (LOPEZ *et al.* 2010, SANDAK *et al.* 2012), ma per quanto di nostra conoscenza, nessuno ha mai confrontato in maniera diretta sistemi alternativi, come nel presente studio.

L'impostazione metodologica e i risultati ottenuti sono stati discussi con i partner del Progetto AGROinLOG, ottenendo la validazione sia degli *input* e soprattutto dei risultati. Il disegno sperimentale e la metodologia per la valutazione della distanza di convenienza economica, sono state quindi adottate in un secondo momento anche per gli stocchi del mais, quest'ultima attività di ricerca viene presentata separatamente in un altro articolo di questo speciale (PARI *et al.* 2019).

MATERIALI E METODI

Cantieri di raccolta

Le macchine utilizzate nei due cantieri a confronto sono riportate in Tabella 1. **L'imballatura (cantiere A)** è avvenuta con l'utilizzo complessivo di tre trattrici manovrate da altrettanti operatori (Figura 1), mentre **l'auto-caricamento (cantiere B)** ha richiesto una sola trattrice ed un solo operatore.

Rilievi pre-raccolta

La prova è avvenuta agli inizi di Luglio 2017, in raccolta di paglia rilasciata in andana dalla mietitrebbia durante la

raccolta del grano, avvenuta alcuni giorni prima, senza necessità di ranghinatura.

Il campo destinato alla prova si trovava a 15 km dalla piattaforma di stoccaggio della Azienda APS (41°38'16.4"N 0°44'45.6"W). La superficie complessiva di circa 5 ha, pianeggiante e con forma perfettamente rettangolare, è stata divisa in tre blocchi di uguali dimensioni, i cui vertici sono stati georeferenziati. A ciascun blocco è stata assegnata in modo casuale una ripetizione di entrambe le tesi a confronto (imballatura, auto-caricamento). Il bordo del campo non è stato considerato nella prova, eliminando lungo il perimetro una superficie di larghezza pari alla barra di taglio della mietitrebbiatrice.

In ogni ripetizione sono stati selezionati a caso tre *plot*, in cui sono stati raccolti campioni di 500 g di paglia sigillati in sacchetti di plastica per essere analizzati in laboratorio al fine di misurare il contenuto di umidità secondo la metodologia standardizzata (ISO 14774-2:2009).

Studio dei tempi e qualità del lavoro

Per ogni trattamento e ripetizione, le **prestazioni di tutte le macchine coinvolte sono state valutate** attraverso lo studio dei tempi di lavoro e la valutazione dei consumi di carburante. I tempi di lavoro sono stati rilevati in accordo con la metodologia C.I.O.S.T.A. (Commission Internationale de l'Organisation Scientifique du Travail en Agriculture) e le raccomandazioni dell'Associazione Italiana di Ingegneria Agraria (AIIA) (BODRIA *et al.* 2006).

Il consumo di carburante è stato misurato eseguendo il rabbocco del serbatoio delle trattrici fino al livello completo alla fine di ogni unità sperimentale (trattamento x replica) utilizzando un cilindro graduato per definire il volume di combustibile consumato. Allo scopo di valutare la qualità del lavoro svolto, successivamente al passaggio delle macchine si è provveduto a determinare le perdite di raccolta pesando la paglia rimasta a terra all'interno di 3 *plot* di 10 m², individuati a caso sulla superficie di ciascuna ripetizione delle due tesi a confronto. La resa in paglia è stata misurata pesando tutta la biomassa raccolta, in forma sfusa o imballata, utilizzando la pesa aziendale. Inoltre, 10 balle ottenute durante ogni ripetizione sono state pesate singolarmente, direttamente in campo con dinamometro digitale da 1.000 kg, per la determinazione della densità apparente (*bulk density*),

Fase operativa	Cantiere A			Cantiere B
	Raccolta	Movimentazione	Trasporto	"Tutto in uno"
Motrice	Trattrice New Holland T6050	Trattrice John Deere 6420	Trattrice John Deere 6420	Trattrice New Holland T6050
Operatrice	Imballatrice New Holland BB940	Forca	Pianale	Carro auto caricante Elefant P31L
				

Tabella 1 - Cantieri a confronto.

RISULTATI

rapportando il peso al volume corrispondente misurato. La densità apparente della paglia raccolta dal carro autocaricante è stata misurata utilizzando un cilindro in acciaio di volume interno noto secondo la norma UNI EN ISO 15103:2010 (ISO 17828:2015).

Analisi economica

Costi di esercizio

Il costo orario delle macchine è stato calcolato utilizzando la metodologia proposta dal CRPA nel 2005 (CRPA 2005), analizzando i principali parametri tecnici ed economici: prezzo di acquisto, valore residuo, vita utile, interessi sul capitale investito, costi di riparazione, manutenzione e consumi. Ove possibile, queste informazioni sono state ottenute mediante interviste con i proprietari delle macchine, registrate direttamente durante le prove sul campo o integrate con i valori standard forniti dalla metodologia CRPA (Tabella 2).

Costi di trasporto

Per il cantiere A, i costi unitari di trasporto, per tonnellata di biomassa e chilometro percorso, sono stati calcolati considerando i costi orari del sistema di trasporto (trattrice più pianale) desunti dal conto economico, la capacità di carico e la velocità di trasporto media. Quest'ultima è stata valutata come media di tre misurazioni del tempo impiegato dal campo al centro di stoccaggio e ritorno rispetto alla strada percorsa. La formula utilizzata è la seguente:

$$\frac{\text{Costo orario (€ h}^{-1}\text{)}}{\text{Capacità di carico (t)}} \times \frac{\text{Distanza (km)}}{\text{Velocità (km h}^{-1}\text{)}}$$

Per il cantiere B, invece, i costi unitari di trasporto sono stati ottenuti parametrizzando la capacità operativa del carro autocaricante in funzione della distanza campo-stoccaggio, cioè sommando ai tempi operativi registrati durante la raccolta, anche il tempo per il trasporto allo stoccaggio in funzione della distanza, dal momento che il carro, una volta pieno, per poter continuare la raccolta deve prima essere scaricato. La formula utilizzata è la seguente:

$$\frac{\text{Costo orario (€ h}^{-1}\text{)}}{\text{Capacità di lavoro parametrizzata (ha h}^{-1}\text{)}} \times \frac{1}{\text{Resa (t ha}^{-1}\text{)}}$$

Studio dei tempi e qualità del lavoro

Per quanto riguarda le prestazioni dei due cantieri durante la raccolta, escludendo il trasporto dal campo al centro di stoccaggio, il cantiere A ha fatto registrare una capacità operativa di 4,67 ha h⁻¹ per l'operazione di imballatura e 5,17 ha h⁻¹ per la fase di movimentazione e caricamento delle balle sul pianale (Tabella 3). Il cantiere B, invece, ha mostrato complessivamente una capacità operativa di 4,65 ha h⁻¹, ed è pertanto risultato apparentemente più produttivo del cantiere A.

Tuttavia, mentre **l'imballatrice può lavorare indipendentemente dalle fasi di caricamento e trasporto**, che generalmente avvengono anche a distanza di uno o più giorni successivi all'imballatura, il **carro autocaricante una volta pieno, deve interrompere l'operazione di raccolta per essere scaricato**. Pertanto, includendo anche i tempi di trasporto dal campo allo stoccaggio e ritorno, la capacità operativa del carro autocaricante si riduce drasticamente con la distanza stessa e questo aspetto ha un'incidenza rilevante ai fini della scelta tra i due cantieri (Figura 2). Non sono state registrate differenze statisticamente significative per la quantità di biomassa raccolta con i due sistemi, pari in media a 2,35 t ha⁻¹, tuttavia, il cantiere A ha fatto registrare perdite, dovute ad inefficienza del pick up della imballatura.

Parametri	Fonte
Acquisto (€)	Intervista
Vita utile (anni)	Intervista
Valore residuo (%)	Intervista
Utilizzo annuo (h y ⁻¹)	Intervista
Tasso di interesse (%)	Intervista
Assicurazione (%)	Intervista
Manodopera (€ h ⁻¹)	Intervista
Consumi di carburante (l h ⁻¹)	Misurato
Capacità di lavoro (ha h ⁻¹)	Misurato
Produttività oraria (t h ⁻¹)	Misurato
Fattore di riparazione (%)	Tabelle CRPA
Fattore di manutenzione (%)	Tabelle CRPA

Tabella 2 - Fonti utilizzate per l'analisi economica.

	Unità	Cantiere A		Cantiere B
		Imballatura	Caricamento	"Tutto in uno"
Capacità operativa	(ha h ⁻¹)	4,67±0,23	5,17±0,47	4,65±0,68
Produttività oraria	(t h ⁻¹)	11,18±1,15	12,44±2,18	10,76±1,75
Biomassa raccolta	(t ha ⁻¹)	2,39±0,2	-	2,32±0,07
Perdite di raccolta	(%)	1,19±0,42	-	0,88±0,18

Tabella 3 - Prestazioni del cantiere A e del cantiere B, escluso il trasporto al centro di stoccaggio.

	Biomassa imballata	Biomassa sfusa
Contenuto di umidità (w.b.) (%)	6,76 ±1,87	4,17 ±0,52
Densità apparente (kg m ⁻³)	145,75 ±6,63	18,56 ±6,46

Tabella 4 - Umidità e densità apparente della biomassa, imballata e sfusa.

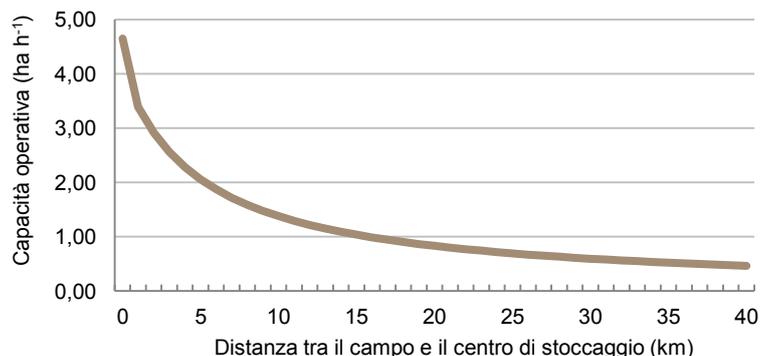


Figura 2 - Variazione della capacità operativa del carro autocaricante in funzione della distanza campo-centro di stoccaggio.

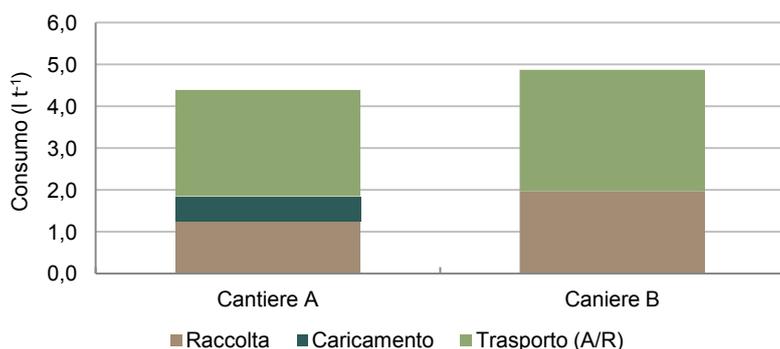


Figura 3 - Consumi unitari di carburante durante le diverse fasi dei due cantieri a confronto.

		Cantiere A				Cantiere B
		Imballatura	Caricamento	Trasporto	Totale	"Tutto in uno"
Acquisto	€	152.000	72.000	82.000	306.000	150.000
Costi fissi	€ h ⁻¹	37,7	8,6	13,7	60,0	13,7
Costi variabili	€ h ⁻¹	36,7	20,6	26,5	83,8	35,5
Costi totali	€ h ⁻¹	74,4	29,2	40,2	143,8	49,1
Costi unitari	€ t ⁻¹	6,6	2,3	3,2	12,2	5,2

Tabella 5 - Analisi economica.

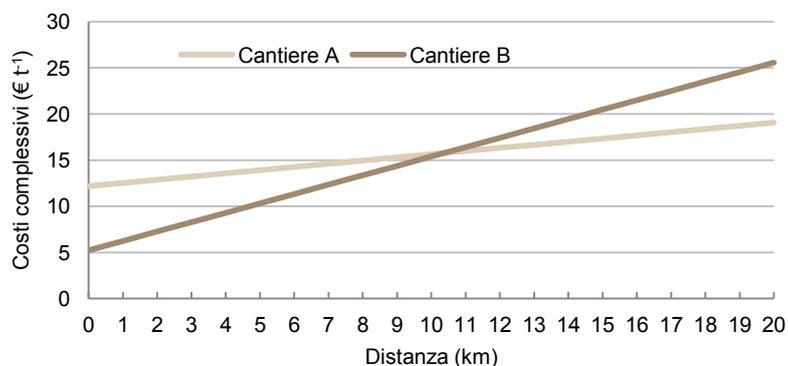


Figura 4 - Andamento dei costi complessivi (raccolta e trasporto) per tonnellata di biomassa in funzione della distanza dal centro di stoccaggio dei cantieri a confronto

latrice, pari a circa 1,20%, leggermente maggiori rispetto a quelle del carro-autocaricante (circa 0,9%) (Tabella 3).

La principale differenza tra i due cantieri è stata, invece, chiaramente, riscontrata nella densità della biomassa raccolta nelle due forme, circa otto volte maggiore quando imballata, aspetto che ha un'importanza cruciale sui costi di movimentazione e trasporto (Tabella 4).

I consumi unitari di carburante sono risultati dello stesso ordine di grandezza per la fase di campo, dove le operazioni di imballatura, movimentazione e caricamento delle balle per il primo cantiere, ha determinato complessivamente consumi simili a quelli del carro autocaricante (circa 2 litri per tonnellata di biomassa raccolta) che, invece, per la fase di trasporto ha presentato consumi (2,9 litri per tonnellata di biomassa trasportata) leggermente superiori alla trattrice con pianale del primo cantiere (2,5 l t⁻¹) (Figura 3).

Valutazione economica

L'analisi economica ha evidenziato la **maggiore onerosità del cantiere A non solo per l'investimento iniziale, ma anche per i costi di esercizio** (Tabella 5). Il costo di acquisto di tutte le macchine del cantiere A, infatti, è circa il doppio rispetto al cantiere B. Passando al conto economico, i costi orari del primo diventano quasi il triplo, con una differenza più marcata nei costi fissi. Questi incidono per il 42% per il cantiere A e per il 28% nel cantiere B.

Anche i costi per tonnellata di biomassa raccolta sono circa 2,4 volte superiori nel caso di imballatura. Tuttavia, se si rapportano questi costi alla distanza dal centro di stoccaggio e si tiene conto della necessità del carro autocaricante di percorrerla più volte, come evidenziato poc'anzi, il costo per chilometro per unità di biomassa trasportata dal carro autocaricante (ottenuta parametrizzando la capacità operativa in funzione della distanza) è circa tre volte superiore. Nella Figura 4, si evidenzia questo risultato e, come **la distanza di 10 km costituisce il limite superato il quale l'utilizzo del cantiere A risulta meno costoso del cantiere B.**

CONCLUSIONI

Se si considera la sola fase di campo, escluso il trasporto, i consumi dei due cantieri sono dello stesso ordine di grandezza. Analizzando i tempi di lavoro, il cantiere B è risultato apparentemente più produttivo del cantiere A, per il quale l'operazione di caricamento delle balle sul pianale rappresenta la fase limitante, con una capacità operativa meno performante.

Anche dal punto di vista economico, il cantiere B, sembra preferibile al cantiere A, che presenta un investimento iniziale complessivo doppio e costi di esercizio tre volte superiori. Tuttavia, **analizzando anche la fase di trasporto, vanno evidenziati due aspetti "in favore" del cantiere A. Da un lato, la capacità operativa del carro autocaricante si riduce drasticamente con la distanza dal centro di stoccaggio e, dall'altro, l'imballatura, incrementando la densità volumetrica della biomassa di circa otto volte, rende possibile contenere i costi di trasporto.**

I due aspetti concorrono a determinare una maggiore economicità del cantiere A, che si evidenzia a partire da una

distanza superiore a 10 km circa.

Le indicazioni ottenute sono un utile elemento per l'azienda che potrà operare valutazioni strategiche nella scelta del parco macchine e nell'utilizzo in relazione al proprio bacino di approvvigionamento.

Bibliografia

BODRIA, L., PELLIZZI, G., PICCAROLO, P., 2006 - **Meccanica agraria vol. II: la meccanizzazione**. Il Sole24Ore, Bologna, Italy.

CRPA 2005 - **Costo di esercizio delle macchine agricole. Prima e seconda parte**. Opuscolo CRPA 5.44 - n. 5/2005 e Opuscolo CRPA 5.45 - n. 6/2005

HAHN J., HERRMANN A., 2009 - **Agricultural mechanization and automation - Vol. II Baling, Transportation, and Storage of Straw**.

ISO 14774-2:2009., 2009 - **Solid biofuels - Methods for the determination of moisture content - oven dry method**.

ISO 17828:2015, 2015 - **Solid biofuels - Determination of bulk density**, 8.

LOPEZ R.M., MATURANA B.C., HETZ H.E., 2010 - **Economic evaluation of collection, Transport and utilization of straw in the swath of wheat stubble**. In: AMA, Agric. Mech. Asia, Africa Lat. Am., 2010: pp. 52-58.

PARI L., BERGONZOLI S., ALFANO V., SUARDI A., SCARFONE A., LAZAR S., 2019 - **La raccolta dei tutoli del mais con sistema Harcob**. 37-40 In: Ricerca e Innovazione per l'Economia Circolare. Ripensare, riciclare, recuperare e raccogliere le risorse agricole non valorizzate. Sherwood 241, Supplemento 2.

SANDAK, J. KARAMPINIS E. GRAMMELIS P. ZETHRAEUS B. ANDRIJEVSKAJA J. KASK Ü. KASK L. HOYNE S. PHELAN P. CASINI L. PICCHI G. SANDAK A., 2012 - **The Bioenergy System Planners Handbook - BISYPLAN**. In: Bioenergy Syst. Planners Handb. - BISYPLAN, 2012. doi:10.5071/20thEUBCE2012-5AV.3.52.

SUN R.C., 2010 - **Cereal Straw as a Resource for Sustainable Biomaterials and Biofuels**. 2010. doi:10.1016/C2009-0-06759-2.

KEYWORDS: Logistics, forage hauling, baler, threshing residues.

Abstract: Assessment of straw harvesting and transport costs. This work has been developed in the frame of H2020 AGROinLOG Project, aimed at demonstrating the technical, environmental and economic feasibility of Integrated Biomass Logistics Centres (IBLC). The goal is to give support to the agroindustries selected in the Project to extend the utilization of their equipment used for regular activity to new business chain based on the valorisation of agricultural residues. The purpose of this work is to evaluate the cost for harvesting and transport wheat straw by means of equipment used regularly for forage harvesting versus the total costs of baling system.

Le prove sperimentali sono state condotte nell'ambito del progetto Europeo "AGROinLOG" (grant agreement No. 727961). Il progetto AGROinLOG è finanziato dal programma EU H2020.



Cantieri per la raccolta degli stocchi di mais

di LUIGI PARI, SIMONE BERGONZOLI, VINCENZO ALFANO, ALESSANDRO SUARDI, ANTONIO SCARFONE, SANDU LAZAR

Due cantieri per la raccolta degli stocchi di mais sono stati confrontati, valutando le performance e i costi delle macchine utilizzate. L'obiettivo consiste nell'individuare quale sia la distanza massima dal centro logistico oltre la quale è più conveniente, dal punto di vista economico, raccogliere la biomassa in balle anziché utilizzare un carro autocaricante.

PAROLE CHIAVE: logistica, carro autocaricante, imballatrice, stocchi di mais.

La nuova Direttiva dell'Unione Europea sulla promozione dell'uso di energia da fonti rinnovabili (EU Commission 2009), prevede di raggiungere entro il 2020, come obiettivo vincolante, il 17% di energia rinnovabile nel consumo energetico totale in Italia. Il ruolo della biomassa viene evidenziato in tutti paesi europei. Secondo le proiezioni italiane, nei prossimi 10 anni l'energia termica da rinnovabili del nostro

paese sarà affidata principalmente alle biomasse (quasi il 58%) e la quantità di energia elettrica attesa al 2020 dal segmento delle biomasse quadruplicherà rispetto al 2005. Per raggiungere quest'importante percentuale, bisogna considerare l'utilizzo sostenibile di tutte le risorse disponibili. Esistono diverse fonti possibili di biomasse per la produzione di energia:

- producendo colture energetiche in terreni marginali (SRF e colture erbacee);
- raccogliendo i residui vegetali delle colture agricole che solitamente sono lasciati in campo dopo il raccolto non esistendo un mercato per tale prodotto.

In questo modo, i diversi residui derivanti dalla produzione delle colture agrarie potrebbero contribuire al raggiungimento degli obiettivi in materia di energie rinnovabili, senza influenzare la produzione e la disponibilità dei prodotti alimentari (SCARLAT *et al.* 2010). L'effetto della rimozione dei residui dal terreno dipende dalla coltura, dalle pratiche agricole (rotazione delle colture, lavorazione del terreno, fertilizzazione) e dalle condizioni del sito (tipo di suolo, fertilità del suolo, materia organica del suolo, carbonio del suolo, umidità, topografia e pendenza, rischio di erosione, ecc) (WILHELM *et al.* 2004, LAL 2005). La disponibilità reale di residui a scopo energetico dipende quindi dalla quantità che può essere sottratta al terreno, considerando quanto riportato sopra, e dalle sue caratteristiche per il fine energetico in questione.

Una delle potenziali risorse di biomassa è costituita dagli stocchi di mais, per il loro alto contenuto di cellulosa e la



Figura 1 - Stocchi di mais prima della raccolta.

LUIGI PARI, CREA luigi.pari@crea.gov.it - SIMONE BERGONZOLI, CREA simone.bergonzoli@crea.gov.it - VINCENZO ALFANO, CREA vincenzo.alfano@crea.gov.it - ALESSANDRO SUARDI, CREA alessandro.suardi@crea.gov.it - ANTONIO SCARFONE, CREA antonio.scarfone@crea.gov.it - SANDU LAZAR, CREA sandu.lazar@crea.gov.it

loro abbondanza (BLANCO-CANQUI e LAL 2007). Gli stocchi consistono nella parte della pianta di mais che viene lasciata sulla superficie del terreno dopo il raccolto (Figura 1), composta da steli, foglie e tutoli. In Italia, gli usi più frequenti sono come lettiera per animali o alimentazione per impianti di biogas, però in molti casi questa risorsa non viene raccolta. In questi casi, gli stocchi possono fornire una risorsa per la produzione di energia.

La raccolta degli stocchi di mais avviene di norma con l'ausilio di attrezzature per il foraggio; l'obiettivo di questo studio è stato quello di valutare l'efficienza di due diversi cantieri per la raccolta del foraggio operanti su stocchi di mais (imballatrice e carro autocaricante), e quello di valutare a quale distanza massima dal centro logistico sia conveniente, dal punto di vista economico, raccogliere la biomassa in balle anziché utilizzare un carro autocaricante (Figura 2).

MATERIALI E METODI

Il disegno sperimentale e la metodologia per la valutazione delle prestazioni, dei costi associati e della distanza di convenienza economica dei due cantieri a confronto, sono state le stesse applicate per la paglia del frumento presentato in questo speciale, a cui si rimanda (PARI *et al.* 2019).

Di seguito si riportano brevemente i due cantieri di raccolta confrontati:

Cantiere A: l'imballatrice provvede alla raccolta e compattazione del prodotto in andana ed al rilascio delle balle sul terreno, successivamente la biomassa in balle viene caricata su un rimorchio, trasportata e scaricata al centro di stoccaggio.

Cantiere B: il carro autocaricante provvede alla raccolta del prodotto in andana, al suo parziale sminuzzamento, e caricamento sfuso sul carro. Una volta pieno il carro si sposta al centro aziendale per lo scaricamento al centro di stoccaggio, per poi ritornare in campo.

Il campo utilizzato per le prove sperimentali si trovava a 10,2 km dalla piattaforma di stoccaggio della azienda Agroindustrial Pascual Sanz (41°38'16.4"N 0°44'45.6"W), sita nella città di Saragozza in Spagna.

RISULTATI E DISCUSSIONI

Come si può vedere in Tabella 1, le differenze in termini di capacità operativa, produttività oraria e biomassa raccolta non hanno evidenziato differenze statisticamente significative. Per quanto riguarda le prestazioni dei due cantieri durante la raccolta, escludendo il trasporto dal campo al centro di stoccaggio, il cantiere A ha fatto registrare una capacità operativa di 2,27 ha h⁻¹ per l'operazione di imballatura e 2,37 ha h⁻¹ per la fase di movimentazione e caricamento delle balle sul pianale (Tabella 1).

Il cantiere B, invece, ha mostrato complessivamente una capacità operativa di 1,48 ha h⁻¹, ed è pertanto risultato apparentemente più produttivo del cantiere A.

Tale risultato conferma che, considerando solo la fase di raccolta della biomassa, non ci sono differenze nelle prestazioni dei due cantieri. Inoltre, neanche i valori delle perdite di biomassa evidenziano differenze statisticamente significative

tra i due cantieri durante la raccolta.

Per quanto riguarda il consumo di carburante, la fase di raccolta ha mostrato valori più elevati utilizzando il carro autocaricante rispetto all'imballatura (1,4 e 0,97 l t⁻¹ rispettivamente) come si può vedere nella Figura 3. Tuttavia, considerando l'intero cantiere logistico (non solo la raccolta ma anche le operazioni di caricamento e trasporto (andata e ritorno) presso il centro logistico distante 10,2 km), non



Figura 2 - Raccolta degli stocchi con carro autocaricante.

	Unità	Cantiere A		Cantiere B
		Imballatura	Caricamento	Carro autocaricante
Capacità operativa	(ha h ⁻¹)	2,27 ±0,23	2,37±0,61	1,48±0,22
Produttività oraria	(t h ⁻¹)	15,86 ±4,7	16,21±2,13	10,81±0,49
Biomassa raccolta	(t ha ⁻¹)	6,9 ±1,32	-	7,4±1,19
Perdite di raccolta	(%)	12,86 ±4,30	-	14,68±4,68

Tabella 1 - Prestazioni del cantiere A e del cantiere B, escluso il trasporto al centro di stoccaggio.

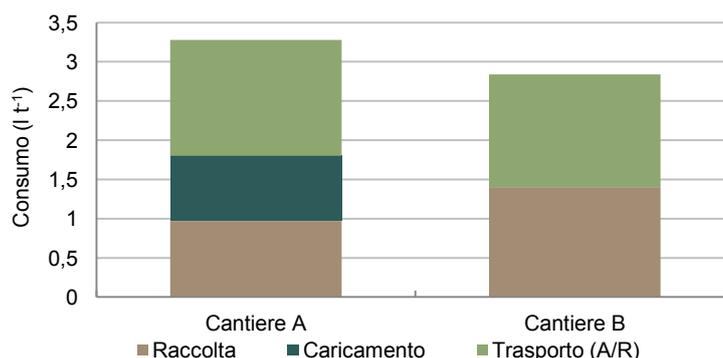


Figura 3 - Consumi di carburante durante le diverse fasi dei due cantieri (A: imballatura; B: carro autocaricante).

	Imballata	Sfusa
Contenuto di umidità (w-% ar)	13,3±0,6	9,4±1,2
Densità apparente (kg m ⁻³)	151,36±5,53	89,33±2,31
Ceneri (w-% db)	5,6±0,38	5,1±0,10

Tabella 2 - Caratteristiche della biomassa imballata e sfusa.

		Cantiere A				Cantiere B
		Raccolta	Caricamento	Trasporto	Totale	"Tutto in uno"
Acquisto	€	152.000	72.000	82.000	306.000	150.000
Costi fissi	€ h ⁻¹	37,7	8,6	13,7	60,0	13,7
Costi variabili	€ h ⁻¹	37,0	23,4	24,0	84,4	32,0
Costi totali	€ h ⁻¹	74,7	32,0	37,7	144,4	45,7
Costi unitari	€ t ⁻¹	6,7	2,6	3,0	12,3	4,2

Tabella 2 - Analisi economica dei due cantieri.



Figura 4 - Raccolta degli stocchi con imballatrice prismatica.

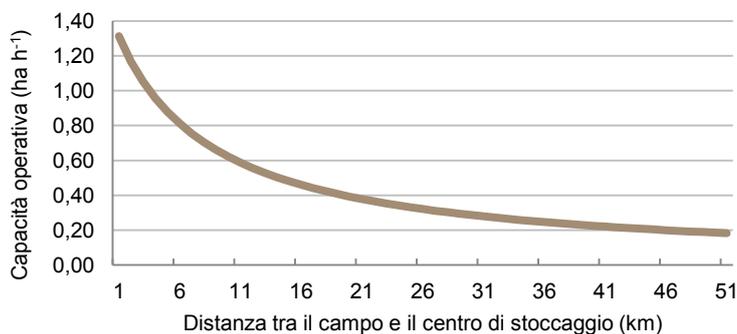


Figura 5 - Variazione della capacità operativa del cantiere B (carro autocaricante) in funzione della distanza campo-centro di stoccaggio.

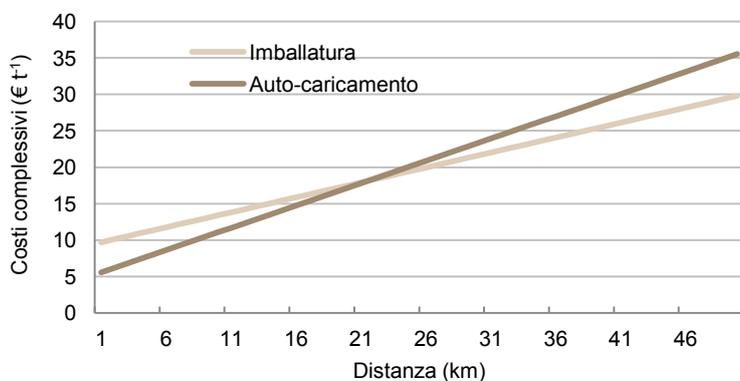


Figura 6 - Andamento dei costi complessivi dei cantieri per tonnellata di stocchi di mais in funzione della distanza dal centro di stoccaggio.

sono state registrate differenze statisticamente significative mostrando valori di 3,28 e 2,84 l t⁻¹ per il cantiere A e B rispettivamente. Anche tale risultato conferma l'inesistenza di differenze tra i due cantieri considerando i consumi di carburante durante tutte le loro fasi.

Per quanto riguarda la qualità della biomassa ottenuta con i due cantieri, i risultati dei due parametri misurati (Tabella 2) evidenziano differenze statisticamente significative.

La densità apparente della biomassa imballata è risultata quasi doppia rispetto a quella raccolta dal carro autocaricante (sfusa). Questo parametro ha chiaramente una enorme influenza negativa sui costi di trasporto e di stoccaggio della biomassa. Il valore di umidità è risultato più elevato per la biomassa imballata rispetto a quella sfusa, anche se tutti e due valori possono permettere uno stoccaggio della biomassa e possono essere utilizzati sia per la combustione che per la produzione di biogas. Il contenuto di ceneri non ha mostrato differenze statisticamente significative evidenziando come il sistema di raccolta non ha influenzato questo parametro qualitativo della biomassa importante per il mantenimento del sistema di produzione di energia.

Fatta eccezione per i parametri di umidità e densità apparente della biomassa, né le prestazioni né i consumi di combustibile dei due cantieri durante la raccolta e il trasporto della biomassa dal campo al centro di stoccaggio, percorrendo una distanza di circa 10,2 km, hanno evidenziato differenze statisticamente significative.

La situazione varia sensibilmente se si considera la variazione di tali risultati al variare della distanza tra il campo e il centro di stoccaggio, **l'uso finale della biomassa e l'analisi economica dei due cantieri**, come si dimostra con i risultati mostrati di seguito.

Da una parte, va evidenziato che mentre l'imballatrice può lavorare indipendentemente dalla fase di trasporto (Figura 4), che generalmente avviene anche a distanza di uno o più giorni dall'imballatura, il carro autocaricante una volta pieno deve interrompere necessariamente l'operazione di raccolta per scaricare la biomassa. Pertanto, includendo anche i tempi di trasporto dal campo al centro di stoccaggio e il conseguente ritorno sia in termini di produttività (t h⁻¹) che di costi di personale e combustibile (€ t⁻¹), la capacità operativa del cantiere B si riduce drasticamente all'aumentare della distanza di trasporto influenzando notevolmente la scelta tra i due cantieri (Figura 5). Invece il cantiere di imballatura è influenzato in maniera minore dalla distanza in quanto l'operazione di trasporto è effettuato da una trattore diversa da quella che guida la macchina operatrice e quindi la produttività del cantiere non diminuisce al crescere della distanza di trasporto.

D'altra parte, l'analisi economica realizzata sui due cantieri, ha evidenziato la maggiore onerosità dell'imballatura non solo per l'investimento iniziale, dovuto al maggior numero di macchinari coinvolti, ma anche per i costi di esercizio più elevati (Tabella 2). Il costo di acquisto di tutte le macchine del primo cantiere, infatti, è circa il doppio rispetto al secondo. Considerando il conto economico, i costi orari totali dell'imballatura sono quasi il triplo di quelli relativi alla raccolta eseguita con il carro, tale differenza è ancora più evidente

per i costi fissi. Inoltre i costi fissi incidono per il 42% sul totale per il cantiere A e per il 28% nel cantiere B. Anche i costi per tonnellata di biomassa raccolta sono circa 2,4 volte superiori nel caso del cantiere A. Tuttavia, se si rapportano questi costi alla distanza dal centro di stoccaggio e si tiene conto della necessità del carro autocaricante di scaricare la biomassa ogni volta che sia pieno, come evidenziato poc'anzi, il costo per chilometro e per unità di biomassa, $\text{€ t}^{-1}\cdot\text{km}^{-1}$, trasportata dal carro autocaricante (ottenuta parametrizzando la capacità operativa in funzione della distanza) è circa tre volte superiore. Nella Figura 6, si evidenzia questo risultato e, come la distanza di 22 km costituisce il limite di convenienza superato il quale l'utilizzo dell'imballatura risulta meno costoso della raccolta con il carro.

CONCLUSIONI

I risultati ottenuti hanno mostrato come considerando solamente la fase di raccolta i cantieri con imballatrice o con carro autocaricante non hanno evidenziato differenze statisticamente significative in termini di prestazioni (tempi di lavoro e consumi). Considerando però l'analisi economica di tutto il cantiere e i costi legati alla fase di trasporto, i risultati variano sensibilmente. Infatti, la capacità operativa del cantiere con carro autocaricante si riduce notevolmente all'aumentare della distanza tra il campo e il centro di stoccaggio mentre la densità apparente della biomassa imballata permette di ridurre il costo del trasporto.

Tale analisi permette di individuare nella distanza di 22 km tra il campo e il centro di stoccaggio il limite di convenienza entro il quale è preferibile utilizzare il cantiere con carro autocaricante rispetto al cantiere con imballatrice.

I risultati dello studio condotto sulla paglia di frumento hanno evidenziato tale convenienza a partire da una distanza di 10 km. Tale differenza con il presente studio è dovuta alla densità apparente della paglia sfusa ($18,56 \text{ kg m}^{-3}$) che risulta essere notevolmente inferiore agli stocchi ($89,33 \text{ kg m}^{-3}$) mentre il valore relativo alle biomasse imballate era pressoché uguale.

È importante evidenziare inoltre che la scelta del cantiere di raccolta deve essere fatta anche in relazione all'organizzazione del centro di stoccaggio, in quanto la biomassa sfusa, avendo una massa volumica inferiore necessita di maggiori spazi. Tale aspetto non è stato oggetto dello studio ma sarà affrontato nelle future ricerche. Infine si sottolinea che prima di prevedere l'utilizzo di tale risorsa come fonte di biomassa, andrebbe valutata la quota di asportazione di tale residuo che garantisca il mantenimento delle proprietà del suolo (NELSON 2002, ERICSSON e NELSON 2006, JOHNSON *et al.* 2006) in relazione alle caratteristiche del suolo stesso.

Bibliografia

- BLANCO-CANQUI H., LAL R., 2007 - **Soil and crop response to harvesting corn residues for biofuel production**. *Geoderma*, 141(3-4), 355-362.
- ERICSSON K., NILSSON L.J., 2006 - **Assessment of the potential biomass supply in Europe using a resource focussed approach**. *Biomass and Bioenergy* 30, 1-15.
- EU Commission, 2009 - **Directive 2009/28/EC of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources**

and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC. Official Journal of the European Union L, 140(5), 16-47.

JOHNSON J.M.F., ALLMARAS R.R., REICOSKY D.C., 2006 - **Estimating source carbon from crop residues, roots and rhizodeposits using the grain-yield database**. *Agronomy Journal* 98, 622-636.

LAL R., 2005 - **World crop residues production and implications of its use as a biofuel**. *Environment International*, 31(4), 575-584.

NELSON R.G., 2002 - **Resource assessment and removal analysis for corn stover and wheat straw in the Eastern and Midwestern United States-rainfall and wind induced soil erosion methodology**. *Biomass and Bioenergy* 22, 349-363.

PARI L., ALFANO V., BERGONZOLI S., SCARFONE A., SUARDI A., LAZAR S., 2019 - **Cantieri per la raccolta della paglia. Valutazione economiche in funzione della distanza tra campo e centro di stoccaggio**. 45-49 In: *Ricerca e Innovazione per l'Economia Circolare*. Ripensare, riciclare, recuperare e raccogliere le risorse agricole non valorizzate. Sherwood 241, Supplemento 2.

SCARLAT N., MARTINOV M., DALLEMAND J. F., 2010 - **Assessment of the availability of agricultural crop residues in the European Union: potential and limitations for bioenergy use**. *Waste management*, 30(10), 1889-1897.

WILHELM W.W., JOHNSON J.M.F., HATFIELD J.L., VOORHEES W.B., LINDEN D.R., 2004 - **Crop and soil productivity response to corn residue removal: a literature review**. *Agronomy Journal* 96, 1-17.

KEYWORDS: agricultural residues, harvesting, biomass, maize stalks.

Abstract: The work has been developed under the AGROinLOG Project, aimed at demonstrating the technical, environmental and economic feasibility of Integrated Biomass Logistics Centres (IBLC) for food and non-food products. The goal of the project is to give support to one of the agroindustries selected in the Project, dehydrating facility, to build an IBLC extending the utilization of their equipment used for regular activity to new business chain based on the valorization of agricultural residues, cereal straw and maize stalks. In particular, the purpose of this work is to evaluate the maximum distance between the fields and the storage centre from which it is more economically convenient to gather the biomass with balers instead of forage hauling equipment, regularly utilized in their activity. To this aim the performance of the machines (working times, yield and material losses) and fuel consumption in each operation (harvesting, loading, transport and unloading) of both yards have been evaluated. With the data collected in field, machine costs analysis was performed.

Ringraziamenti Si ringrazia l'impresa Agroindustrial Pascual Sanz per la sua disponibilità e l'assistenza durante i test sperimentali.

Le prove sperimentali sono state condotte nell'ambito del progetto Europeo "AGROinLOG" (grant agreement No. 727961). Il progetto AGROinLOG è finanziato dal programma EU H2020.



Gestione della paglia di cereali

Performance ambientali ed economiche

di LUIGI PARI, ALESSANDRO SUARDI, NADIA PALMIERI, MARIA BONAVENTURA FORLEO, GIACOMO GIANNOCCARO

In questo lavoro si analizzano le prestazioni ambientali ed economiche di due pratiche di gestione della paglia di grano: l'imbballatura e l'interramento con l'obiettivo di individuare la più efficiente sotto entrambi i punti di vista.

PAROLE CHIAVE: paglia di grano, Rapporto di Eco-efficienza, Attributional Life Cycle Assessment.

La paglia di cereali è un sottoprodotto agricolo considerato un'importante fonte di biomassa per fini energetici, tuttavia il suo utilizzo come combustibile risulta ancora limitato. In generale, la paglia di cereali in azienda viene utilizzata come lettiera e per l'alimentazione degli animali, oppure può essere venduta e/o trinciata e incorporata nel terreno per migliorarne la fertilità (CHERUBINI e ULGIATI 2010, PALMIERI *et al.* 2014a e b).



Nonostante la presenza di un'ampia letteratura sull'argomento (PALMIERI *et al.* 2017), un confronto tra gli impatti ambientali delle diverse pratiche di gestione della paglia in campo è difficile se non impossibile variando i tipi di cereali e la paglia disponibile, le condizioni pedoclimatiche e le tecniche agronomiche applicate. Inoltre, le pratiche agricole sono fortemente sito-specifiche. Pertanto, gli impatti ambientali derivanti dalle coltivazioni agricole e dalle pratiche di gestione dei residui di paglia, dipendono da molteplici fattori che vanno necessariamente contestualizzati.

In questo lavoro, sono state analizzate le prestazioni ambientali ed economiche di due pratiche di gestione della paglia di grano, l'imbballatura e l'interramento, per individuare la più efficiente sotto entrambi i punti di vista. L'analisi ambientale si è maggiormente concentrata sulle emissioni di gas serra della produzione di grano e paglia, mentre i risultati economici sono stati valutati calcolando il valore aggiunto lordo (VAL). Al fine di combinare la valutazione ambientale ed economica è stato impiegato l'indicatore di eco-efficienza per determinare il valore aggiunto netto per kg di gas serra emesso nell'atmosfera.

MATERIALI E METODI

Area studio

Lo studio è stato effettuato in provincia di Foggia (FG) caratterizzata da una superficie agricola di circa 322.000 ha (Istat 2010), di cui il 71% coltivata a seminativi con prevalenza dei cereali autunno-vernini (95% a grano duro). La provincia di

LUIGI PARI, CREA luigi.pari@crea.gov.it - ALESSANDRO SUARDI, CREA alessandro.suardi@crea.gov.it - NADIA PALMIERI, UNIMOL nadia.palmieri@unimol.it - MARIA BONAVENTURA FORLEO, UNIMOL forleo@unimol.it - GIACOMO GIANNOCCARO, UNIBA giacomo.giannoccaro@uniba.it

Foggia produce un terzo della produzione annuale di grano duro Italiano, su una superficie totale di quasi 200.000 ha (Istat 2010). Nell'area di studio, la quantità di paglia non è registrata nelle statistiche ufficiali, per cui non è nota la quantità di residuo di trebbiatura smaltito e il metodo utilizzato. I dati primari di questa analisi sono stati ottenuti attraverso un'indagine effettuata tra gli agricoltori.

Origine dei dati

I dati sono stati ottenuti tramite un'indagine effettuata a coltivatori di cereali di 203 aziende agricole di 24 comuni della provincia di Foggia. In GIANNOCCARO *et al.* (2017) è riportata una descrizione completa del campionamento e della rilevazione. Gli agricoltori che hanno applicato le due pratiche di gestione della paglia in azienda (paglia imballata e venduta e paglia incorporata nel terreno) sono 127 su 200 intervistati. Hanno operato su 2.605 ha con una media di 20,5 ha per azienda. La superficie cerealicola totale campionata è stata di 1.845 ha. La Tabella 1 riporta le rese medie di cereali e paglia, come indicato dagli agricoltori. Il t-test effettuato sui due campioni (con diversa varianza) al fine di verificare la presenza di differenze significative dalla media dei due gruppi è risultato significativo ($t = -4,4543$; $df=125$; $p=0,000$). Le rese medie per coloro che incorporano la paglia nel terreno sono risultate significativamente più elevate.

VALUTAZIONE DI IMPATTO AMBIENTALE

Obiettivi e confine del sistema

Il metodo LCA (Life Cycle Assessment) è stato utilizzato per determinare l'impatto ambientale in termini di gas serra generati dalle due pratiche finali di gestione della paglia.

Il sistema analizzato comprende tutti i processi agricoli del ciclo di vita della paglia secondo le metodiche applicate dal campione oggetto dello studio. I confini del sistema dell'analisi includono tutte le pratiche agronomiche di coltivazione del grano e di gestione della paglia (Figura 1).

In primo luogo, per ogni singola pratica è stata analizzata l'impronta di carbonio; successivamente, è stato calcolato il rapporto di eco-efficienza per individuare la pratica più efficiente dal punto di vista economico ed ambientale.

L'unità funzionale è stata definita come 1 Mg di paglia prodotto con un contenuto di umidità del 15% (MONTELEONE *et al.* 2015). Il metodo di allocazione è una questione cruciale in uno studio LCA perché potrebbe influire in modo rilevante sui risultati (NOTARNICOLA *et al.* 2015), e i prodotti agricoli sono particolarmente sensibili ai metodi di allocazione a causa della diversa quota che i loro coprodotti possono avere. Un'allocazione economica si basa sui prezzi di mercato, mentre un'allocazione di massa fornisce una visione quantitativa dei coprodotti. In questo studio è stato confrontato l'effetto dei metodi di allocazione economica e di massa sui risultati dell'LCA. Seguendo la metodologia indicata da (LI *et al.* 2012), le percentuali di allocazione economica sono state dapprima calcolate utilizzando il prezzo di vendita della paglia secondo quanto dichiarato dagli agricoltori locali (4,21€ Mg⁻¹) (GIANNOCCARO *et al.* 2017) e un prezzo del grano di 270€ Mg⁻¹ definito in base al contratto stipulato con la filie-

ra pugliese. Successivamente, al fine di verificare la sensibilità dei risultati, si è variata l'allocazione economica considerando un prezzo medio della paglia di 42,5€ Mg⁻¹ sulla base di un mercato italiano diverso (www.borsamerchimodena.it). I fattori economici di allocazione sono stati quindi i seguenti: nel primo caso, il mercato locale, le percentuali sono state del 99% per il grano e dell'1% per la paglia; nel secondo caso, la borsa merci di Modena, l'84% per il grano e il 16% per la paglia. Infine, le percentuali di allocazione di massa sono state assegnate per il 47% al grano e per il 53% alla paglia.

Impatto ambientale del ciclo di vita della produzione del grano

I dati utilizzati sono quelli ottenuti da precedenti studi (PALMIERI *et al.* 2017, GIANNOCCARO *et al.* 2017) e da interviste agli agricoltori Foggiani. Il questionario è stato implementato al fine di raccogliere i dati tecnici e le informazioni sulle pratiche agricole utili per lo studio. I dati si riferiscono alle rese di

Pratiche gestione	Campioni	Seme (Mg ha ⁻¹)	Paglia (Mg ha ⁻¹)
Paglia imballata e venduta	86	3,00 [0,49]	2,85 [0,06]
Paglia interrata	41	3,40 [0,9]	3,32 [0,07]
Campione complessivo	127	3,18 [0,65]	3,00 [0,06]

Tabella 1 - Produzione media del campione.

Fonte: indagine diretta ai produttori di frumento (2014/2015).

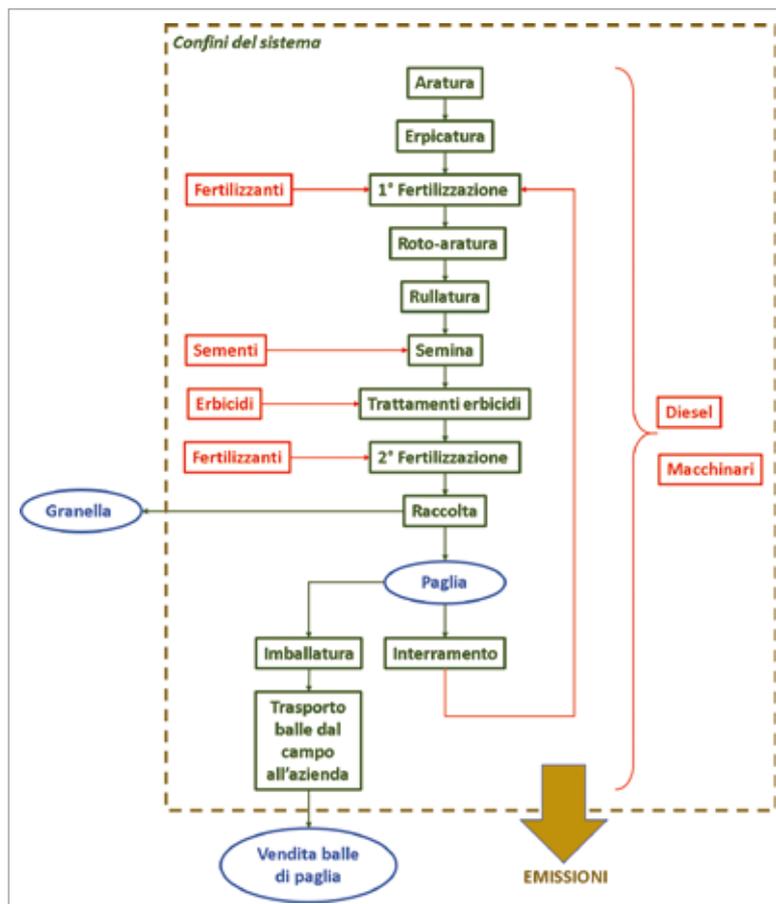


Figura 1 - Confini del sistema del processo produttivo della paglia con gli input ed output considerati nello studio.

grano e paglia, alle caratteristiche tecniche dei trattori e delle macchine agricole, al consumo di gasolio e olio lubrificante, alla tipologia e quantità di erbicidi e fertilizzanti utilizzati. I dati relativi alla produzione, alla manutenzione e allo smaltimento dei trattori, alla produzione di fertilizzanti ed erbicidi provengono dal database Ecoinvent (v 3.0).

Il sistema di coltivazione del grano impiegato, corrisponde alla normale gestione colturale applicata in provincia di Foggia (MONTELEONE *et al.* 2013). Il ciclo colturale adoperato dalle aziende che utilizzano i due diversi approcci di gestione della paglia è molto simile, ad eccezione dell'aratura e della prima concimazione nel caso dell'interramento della paglia. L'interramento permette di ridurre il consumo di urea come fertilizzanti (SILALERTRUKSA e GHEEWALA 2013) perché l'incorporazione della paglia è la principale fonte di nutrienti negli agroecosistemi. Secondo quanto dichiarato dagli agricoltori, per ripristinare l'azoto rimosso con la biomassa, nel caso dell'interramento viene applicata una quantità inferiore di fertilizzante azotato (es. 106,98 Kg ha⁻¹) rispetto ai campi dove la paglia viene imballata (es. 120 Kg ha⁻¹).

Le emissioni generate da fertilizzanti ed erbicidi, e le emissioni di CO₂ dovute ai processi di mineralizzazione e di immobilizzazione del carbonio nel terreno, provengono da uno studio precedente (PALMIERI *et al.* 2017).

Per valutare le emissioni di gas serra di 1 Mg di paglia è stato utilizzato il metodo dell'impronta di carbonio secondo quanto indicato dall'IPCC 2007, considerando un arco temporale di 100 anni.

PERFORMANCE ECONOMICHE ED ECO-EFFICIENZA

L'eco-efficienza è un indice che mette in relazione gli impatti ambientali con le prestazioni economiche (MULLER *et al.* 2015, SALING 2016, WBCSD 2000). L'eco-efficienza dei sistemi agricoli può essere migliorata scegliendo pratiche

agricole che riducono i costi ambientali, economici (WBCSD 2000) mantenendo o aumentando le rese agricole (YRIDOE *et al.* 2013). Maggiore è il valore dell'indicatore di eco-efficienza, maggiore è la prestazione economica per unità di costo ambientale (MULLER *et al.* 2015).

Il rendimento economico di ciascuna pratica di gestione della paglia è stato misurato attraverso il valore aggiunto lordo (VAL) per 1 Mg di paglia di grano, per ciascuna pratica studiata. Il rapporto di eco-efficienza di ciascuna pratica finale di gestione della paglia è stato calcolato dividendo il VAL della pratica per le sue emissioni di gas serra (WBCSD 2000). Il reddito lordo ottenuto dalla paglia imballata è stato ottenuto pro-quota dal reddito lordo del grano più il reddito derivante dalla vendita della paglia. Il reddito lordo della paglia interrata nel suolo è stato riferito solo al VAL del seme di grano (Tabella 2). Le quote attribuibili alla paglia sono state misurate applicando fattori economici di ripartizione sia sul reddito lordo che sui costi variabili e fissi. Come già menzionato, nel primo caso, i fattori economici di ripartizione erano del 99% per il frumento e dell'1% per la paglia; nel secondo caso, erano dell'84% per il frumento e del 16% per la paglia. La pratica dell'incorporazione della paglia nel terreno ha generato un reddito lordo più elevato anche a seguito della maggiore resa. Inoltre, i costi di incorporazione della paglia nel terreno sono stati inferiori a quelli dell'imballatura grazie ad una riduzione del consumo di urea (106,98 Kg ha⁻¹ in caso di interramento contro i 120 Kg ha⁻¹ nell'imballatura) mentre i costi per la pressatura della paglia non sono stati inclusi.

RISULTATI E DISCUSSIONI

L'impronta di carbonio di ogni singola pratica finale di gestione della paglia è stato il primo aspetto analizzato dall'analisi. In una seconda fase è stato calcolato il rapporto di eco-efficienza delle due pratiche finali. Infine, è stata mostrata un'analisi di sensibilità che applica un metodo di allocazione di massa.

L'impronta di carbonio delle pratiche di gestione della paglia di grano

Confrontando l'impronta di carbonio tra le pratiche finali, i risultati hanno mostrato che l'incorporazione nel suolo ha avuto emissioni più elevate (GWP: Global Warming Potential - Riscaldamento globale potenziale) rispetto all'imballatura della paglia per la vendita (Tabella 3). La decomposizione della paglia nel suolo è stata la fonte più rilevante di impatto sulla categoria del riscaldamento globale potenziale, sia nella pratica dell'imballatura (per la restante biomassa non imballata che viene lasciata a terra) che nella pratica dell'interramento della paglia.

Passando dall'incorporazione nel suolo alla pratica di imballatura, l'impronta di carbonio diminuisce del 26% o del 36% (a seconda dei diversi fattori economici di allocazione utilizzati per la paglia), rivelando una migliore performance della pratica di imballatura. Questo risultato è dovuto essenzialmente alla CO₂ stoccata nelle balle, sotto forma di biomassa. In generale, i risultati ambientali sono in linea con altri studi, anche se un confronto diretto dei risultati non è possibile, a causa di approcci e contesti diversi.

Dati economici per pratica di gestione della paglia	Percentuale di allocazione economica della paglia			
	1%		16%	
	Balle di paglia in vendita mercato locale	Paglia interrata	Balle di paglia in vendita borsa di Modena	Paglia interrata
Reddito lordo (€ per 1 Mg)	8,35	9,19	133	147,18
Costi variabili e fissi (escluso il costo del lavoro) (€ per 1 Mg)	4,66	4,47	74,56	71,52
Valore aggiunto lordo (VAL) (€ per 1 Mg)	3,69	4,72	58,44	75,66

Tabella 2 - Dati economici delle due pratiche di gestione della paglia (€ Mg⁻¹ di paglia) e per ogni percentuale di allocazione economica.

Fonte: indagine diretta svolta ai produttori di frumento (anni 2014/2015).

Impronta di carbonio	Percentuale di allocazione economica della paglia			
	1%		16%	
	Balle di paglia in vendita mercato locale	Paglia interrata	Balle di paglia in vendita borsa di Modena	Paglia interrata
GWP (kg CO ₂ eq)	9,00	12,20	124,58	195,33

Tabella 3 - Impronta di carbonio per le due pratiche di gestione della paglia (€ Mg⁻¹ di paglia) e per ogni percentuale dell'allocazione economica.

Concentrandosi sulla pratica dell'imbollatura, NGUYEN *et al.* (2013) hanno dimostrato che la rimozione della paglia provoca impatti importanti sul riscaldamento globale. Per quanto riguarda la pratica dell'interramento, secondo ABRIL *et al.* 2012, l'interramento della paglia nel suolo genera tra 2,5 e 4,5 volte più metano di altre pratiche di gestione della stessa. YAO *et al.* (2013) hanno dimostrato che gli impatti dell'incorporazione della paglia di grano in termini di emissioni di N₂O e CH₄ (10,7 Mg CO₂eq ha⁻¹ yr⁻¹ o 725 kg CO₂eq Mg⁻¹ di granella) erano di solito superiori a quelli che non prevedevano l'interramento dei residui (7,6 Mg CO₂eq ha⁻¹ yr⁻¹ o 545 kg CO₂eq Mg⁻¹ di granella).

Eco-efficienza delle due pratiche

Come accennato in precedenza, i fattori economici di allocazione della paglia sono stati calcolati in primo luogo utilizzando il prezzo di 4,21 € Mg⁻¹ di paglia venduta come dichiarato dagli agricoltori locali; successivamente, è stato considerato un prezzo medio della paglia di 42,5 € Mg⁻¹, sulla base di un diverso mercato italiano. L'eco-efficienza totale (VAL totale/ GWP totale) per 1 Mg di paglia è stata di 0,47 € (0,41 €, con il secondo fattore economico di allocazione) per kg CO₂-eq nel caso di paglia imballata per la vendita e di 0,39 € (0,38 €, con il secondo fattore economico di allocazione) per kg CO₂-eq nel caso di interramento della paglia (Tabella 4). **I risultati hanno dimostrato che, indipendentemente dal livello di prezzo, la paglia imballata ha il miglior rapporto di eco-efficienza per unità di gas serra emessi nell'atmosfera.**

Il rapporto di eco-efficienza è un utile strumento per confrontare processi produttivi o prodotti alternativi (DE SIMONE e POPOFF 2000) unendo un indicatore economico all'impatto ambientale di processi o prodotti (WBCSD 2000).

Al fine di massimizzare il reddito e allo stesso tempo ridurre al minimo l'impatto ambientale, i processi produttivi o i prodotti che hanno il più alto rapporto di eco-efficienza dovrebbero essere preferiti (WBCSD 2000). Più alto sarà l'indice di eco-efficienza, più forte sarà l'attenzione su questa alternativa più efficiente (VAN MIDDELAAR *et al.* 2011). Secondo i risultati dello studio, la paglia imballata per la vendita è la migliore alternativa nelle aziende agricole. In base alle nostre conoscenze, non ci sono studi comparabili rispetto ai quali discutere i risultati attuali.

Analisi di sensitività e metodo di allocazione

Il confronto dei risultati ottenuti con i due metodi di allocazione (Tabella 5) ha mostrato che, indipendentemente dalle pratiche di gestione della paglia utilizzate, gli impatti con il metodo di allocazione economica sono stati inferiori a quelli

con il metodo di allocazione di massa. Questi risultati sono in linea con lo studio (LI *et al.* 2012).

Impiegando fattori di allocazione di massa, la differenza dell'impronta del carbonio riscontrata tra le due diverse pratiche di gestione della paglia non è cambiata in modo significativo rispetto all'allocazione economica. Anche in questo caso, l'impronta di carbonio della paglia imballata per la vendita era migliore di quella della pratica finale di incorporazione della paglia.

CONCLUSIONI

L'impronta di carbonio delle pratiche di gestione della paglia è stata valutata attraverso un'analisi del Ciclo di Vita Attribuzionale. Successivamente, il rapporto di eco-efficienza è stato calcolato in modo da identificare la pratica con la maggiore prestazione economica per unità di costo ambientale. L'impronta di carbonio della paglia incorporata nel terreno come fertilizzante (interramento) è superiore a



	Percentuale di allocazione economica della paglia			
	1%		16%	
	Balle di paglia in vendita mercato locale	Paglia interrata	Balle di paglia in vendita borsa di Modena	Paglia interrata
Valore aggiunto lordo (VAL) (€ per 1 Mg)	3,69	4,72	58,44	75,66
Global Warming Potential (GWP) (kg CO ₂ eq)	9,00	12,20	124,58	195,33
Rapporto di Eco-efficienza	0,41	0,38	0,47	0,39

Tabella 4 - Eco-efficienza di 1 Mg di paglia di grano nelle due pratiche finali: diverse percentuali di allocazione economica.

Impronta del carbonio	Fattori di allocazione economica per la paglia				Fattori di allocazione di massa per la paglia	
	1%		16%		Balle di paglia in vendita	Paglia interrata
	Balle di paglia in vendita mercato locale	Paglia interrata	Balle di paglia in vendita borsa di Modena	Paglia interrata		
Global Warming Potential (GWP) (kg CO ₂ eq)	9,00	12,20	124,58	195,33	412,59	647,03

Tabella 5 - Impatto ambientale prodotto da 1 Mg di paglia di grano, per le due pratiche di gestione studiate: fattori di allocazione a confronto.

quella della pratica di imballatura. L'eco-efficienza totale per 1 Mg di residuo di grano prodotto ha dimostrato che la paglia imballata per la vendita aveva il miglior rapporto di eco-efficienza per unità di gas serra emessi nell'atmosfera, indipendentemente dal prezzo di mercato.

Questi risultati hanno permesso di concludere che la prospettiva di vendere la paglia sul mercato locale delle materie prime per fini energetici è una soluzione migliore dal punto di vista economico e ambientale rispetto all'attuale scenario di incorporazione della paglia.

Questa conclusione richiede ulteriori ricerche sui fattori che influenzano le preferenze degli agricoltori in merito alle pratiche di gestione della paglia e l'individuazione delle politiche necessarie a stimolare gli attori verso scelte e comportamenti ambientalmente ed economicamente più sostenibili.

Bibliografia

ABRIL D.R., NAVARRO E., ABRIL A.J., 2012 - **Study of alternatives of use of rice straw fibers.** In: D'ALMEIDA M.L.O., FOEKEL C.E.B., PARK S.W., MARQUES C.L.C., YASUMURA P.K., MANFREDI V. (Eds.), Proceedings of the 45th ABTCP International Congress and the VII Ibero-American Congress on Pulp and Paper Research. October, 9-11. Sao Paulo, Brazil, pp.1-10.

CHERUBINI F., ULGIATI S., 2010 - **Crop residues as raw materials for bio refinery systems - ALCA case study.** Appl. Energ. 87, 47-57.

DE SIMONE L.D., POPOFF F., 2000 - **Eco-efficiency: the business link to sustainable development.** MIT Press, London, England.

GIANNOCCARO G., DE GENNARO B.C., DE MEIO E., PROSPERI M., 2017 - **Assessing farmers' willingness to supply biomass as energy feedstock: cereal straw in Apulia (Italy).** Energ Econ 61, 179-185.

Istat, 2010 - **VI General Census of Agriculture.** Rome, Italy. <http://en.istat.it/> (accessed 17.03.16).

LI X., MUPONDWA E., PANIGRAHI S., TABIL L., ADAPA P., 2012 - **Life cycle assessment of densified wheat straw pellets in the Canadian prairies.** Int. J. Life Cycle Assess. 17, 420-431.

MONTELEONE M., GAROFALO P., CAMERINO A.R.B., 2013 - **The agronomic management of straw and its energy use in a long-term sustainability perspective.** Proceeding of 21st European Biomass Conference and Exhibition. June, 3-7. Copenhagen, Denmark, pp.113-119.

MONTELEONE M., CAMMERINO A.R.B., GAROFALO P., DELIVAND M.K., 2015 - **Straw-to-soil or straw-to-energy? An optimal trade off in a long term sustainability perspective.** Appl. Energ. 154, 891-899.

MULLER K., HOLMES A., DEURER M., CLOTHIER B.E., 2015 - **Eco-efficiency as a sustainability measure for kiwifruit production in New Zealand.** J. Clean. Prod. 106, 333-342.

NGUYEN T.L.T., HERMANSEN J.E., MOGENSEN L., 2013 - **Environmental performance of crop residues as an energy source for electricity production: The case of wheat straw in Denmark.** Appl. Energ. 104, 633-641.

NOTARNICOLA B., SALOMONE R., PETTI L., RENZULLI P.A., ROMA R., CERUTTI A.K., (Eds.) 2015 - **Life cycle assessment in the agri-food sector case studies, methodological issues and best practices.** Springer International Publishing.

PALMIERI N., FORLEO M.B., SUARDI A., COALOA D., PARI L., 2014a - **Rapeseed for energy production: Environmental impacts and cultivation methods** Biomass and Bioenerg 69:1-11.

PALMIERI N., GIANNOCCARO G., FORLEO M.B., 2014b - **Sustainability of cereal straw production for energy feedstock: An on-farm environmental assessment.** In: HOFFMAN C., BAXTER D., MANIATIS K., GRASSI A., HELM P., (Eds) Papers of the 22nd European

Biomass Conference: Setting the Course for a Biobased Economy. p. 1392-1397, FLORENCE:ETA-FLORENCE, ISBN: 978-88-89407-52-3, Hamburg, Germany, Jun 23-26, 2014, doi: 10.5071/22ndEUBCE2014-4B0.15.3.

PALMIERI N., FORLEO M.B., GIANNOCCARO G., SUARDI A., 2017 - **Environmental impact of cereal straw management: An on-farm assessment.** J. Clean. Prod 142:2950-2964.

SILALERTRUKSA T., GHEEWALA S.H., 2013 - **A comparative LCA of rice straw utilization for fuels and fertilizer in Thailand.** Bioresource Technol. 150, 412-419.

SALING P., 2016 - **Eco-efficiency assessment.** In: FINKBEINER, M., (Ed.), Special types of life cycle assessment part of the series lca compendium - the complete world of life cycle assessment pp. 115-178.

VAN MIDDELAAR C.E., BERENTSEN P.B.M., DOLMAN M.A., DE BOER I.J.M., 2011 - **Eco-efficiency in the production chain of Dutch semi-hard cheese.** Livest. Sci. 139,91-99.

WBCSD, 2000 - **World business council for sustainable development. Measuring eco-efficiency: a guide to reporting company performance.** www.wbcsd.org (accessed 2.05.17).

YAO Z., ZHENG X., WANG R., XIE B., BUTTERBACH-BAHL K., ZHU J., 2013 - **Nitrous oxide and methane fluxes from a rice-wheat crop rotation under wheat residue incorporation and no tillage practices.** Atmos. Environ. 79, 641-649.

YIRIDOE E.K., AMON-ARMAH F., HEBB D., JAMIESON R., 2013 - **Eco-efficiency of Alternative Cropping Systems Managed in an Agricultural Watershed.** Paper prepared for presentation at the Agricultural & Applied Economics Association's 2013 AAEA & CAES Joint Annual Meeting, Washington, DC, August 4-6, 2013. <https://bit.ly/2lkRx8z> (accessed 2.05.17).

KEYWORDS: Cereal straw, Eco-efficiency, Attributional Life Cycle Assessment

Abstract: Management of cereal straw. Environmental and economic performance. Paper aims to identify the sustainability of cereal straw end-practices by considering environmental and economic performances at farm level. The carbon footprint and the eco-efficiency ratio of straw end-practices are estimated. Straw incorporation in the soil and baling were the two end-practices considered based on a direct survey to cereal farms located in Apulia Region, Southern Italy. The environmental impact of alternative straw end-practices was assessed by means of an ALCA and based on GHG emissions. A sensitivity analysis tested for different wheat and straw allocation methods. Results showed that incorporation into the soil was more impactful than straw baling due to straw decomposition impacts; furthermore, regardless of the practices, impacts according to the economic allocation method were lower than impacts assessed with the mass allocation method. In order to combine the environmental and economic assessment, the eco-efficiency ratio was calculated by the gross value added per 1 Mg of total wheat residue produced. Eco-efficiency results showed that straw baled for sale had the best eco-efficiency ratio per unit of GHG emitted to the atmosphere. A joint evaluation of economic and environmental performances of cereal straw end-practices through a single indicator, the eco-efficiency ratio, is the main feature of the work that adds relevance to study findings.

L'articolo è stato realizzato nell'ambito del progetto SUSCACE finanziato dal MIPAAFT con D.M. 2419 del 20/02/2008



Residui colturali d'ananas in Costa Rica

Da problema a risorsa per la produzione di energia pulita e di bio-fertilizzanti

di LUIGI PARI, ANTONIO SCARFONE, ATTILIO TONOLO, VINCENZO ALFANO, SIMONE BERGONZOLI, ALESSANDRO SUARDI

La politica sostenibile del Costa Rica ha spinto il paese latino a ricercare soluzioni tecnologiche per una gestione sostenibile dei residui colturali d'ananas, fino ad oggi trattati chimicamente. Il presente lavoro mostra i risultati di test finalizzati alla comprensione del problema ed alla realizzazione di macchinari adatti alla sua risoluzione.

PAROLE CHIAVE: ananas, residui, raccolta, meccanizzazione.

Da diversi anni la gestione dei residui colturali delle piantagioni d'ananas sta creando problemi di natura ambientale ed economica in Costa Rica, così come in altre parti del mondo. Il residuo colturale, cioè la pianta verde priva ormai del frutto, se non smaltita rapidamente va incontro a marcescenza e diventa substrato di proliferazione per la *Stomoxys calcitrans* L., un dittero entomofago parassita di bovini ed equini. La presenza di allevamenti limitrofi alle aziende produttrici d'ananas sta creando grosso problemi alle produzioni lattiero-casearia e delle carni (SOLÓRZANO *et al.* 2015). Attualmente, per minimizzare le infestazioni di mosca, le pratiche agricole adottate dai piñeros (coltivatori d'ananas) per la gestione dei residui, consistono nell'uso di dissecanti erbicidi (Paraquat) e nella successiva bruciatura del materiale essiccato. Questa pratica agricola, se da una parte evita il proliferarsi del dittero grazie al disseccamento, d'altra parte ha un forte impatto ambientale e sociale, creando problemi di carattere sanitario a causa dell'inquinamento delle falde acquifere (BRAVO *et al.* 2015, SCHENKER *et al.* 2004).

Degli studi mirati sono stati eseguiti in passato per la risoluzione del problema (GONZALEZ ALFARO 2012), ma questi hanno avuto scarso successo. Una pratica agronomica che permette di limitare l'impatto del Paraquat consiste nella trinciatura verde del prodotto, ma l'elevata quantità di biomassa (250 t ha⁻¹) e le sue caratteristiche (piante molto fibrose e con umidità al 90% circa) rendono inefficace anche l'uso di attrezzature pesanti (GARBATI PEGNA e PÉREZ DE CORCHO

FUENTES 2009). Basti pensare che a seguito della trinciatura con macchine forestali sono necessari 7-8 passaggi di erpice a dischi per interrare il prodotto ed evitare che venga colonizzato dalla mosca. Ad oggi questa tecnica rappresenta l'unica alternativa all'uso dei dissecanti, ma i costi di gestione risultano molto elevati e vengono quantificati dagli agricoltori in cifre superiori ai 1.000 € ha⁻¹.

Va detto inoltre che la pratica non è da considerarsi del tutto



Figura 1 - Sistema di coltivazione dell'ananas adottato in Costa Rica.

LUIGI PARI, CREA luigi.pari@crea.gov.it - ANTONIO SCARFONE, CREA antonio.scarfone@crea.gov.it - ATTILIO TONOLO, MIPAAFT a.tonolo@politicheagricole.it - VINCENZO ALFANO, CREA vincenzo.alfano@crea.gov.it - SIMONE BERGONZOLI, CREA simone.bergonzoli@crea.gov.it - ALESSANDRO SUARDI, CREA alessandro.suardi@crea.gov.it

sostenibile, perché la quantità di gasolio utilizzato dai mezzi agricoli per le varie operazioni si aggira intorno ai 400 l ha⁻¹; si tratta quindi di un'altra grande fonte d'inquinamento.

Nel 2016 il problema della gestione dei residui colturali d'ananas è stato discusso tra istituzioni Italiane e Costaricane, convenendo sul fatto che l'Italia avrebbe potuto fornire le tecnologie necessarie alla risoluzione del problema descritto, allargando le prospettive di mercato estero per le imprese italiane. Pertanto, con il duplice obiettivo di risolvere il problema Costaricano dello smaltimento dei residui d'ananas e allargare le prospettive di mercato estero per i costruttori di macchine agricole italiane, l'Agenzia per la promozione all'estero e l'internazionalizzazione delle imprese italiane (ICE) ha siglato un accordo con il Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria (CREA) per svolgere un intervento di meccanizzazione agricola in Costa Rica finalizzato al trasferimento tecnologico.

Nell'ambito di tale accordo, il presente lavoro mostra i risultati delle attività svolte finora dal CREA, finalizzate a verificare le caratteristiche delle piantagioni, dei residui d'ananas, ed a effettuare dei test preliminari con macchinari reperiti in loco per comprenderne il comportamento e valutarne le performance in campo.

MATERIALI E METODI

Le attività sono state svolte tra Febbraio 2017 e Febbraio 2018 in aree agricole ubicate a Nord e Nord Est del paese, dove si concentrano le piantagioni di ananas. La prima fase del lavoro, svolta tra Febbraio e Marzo 2017 ha avuto come obiettivo lo studio delle caratteristiche della coltura.

A tale proposito, dei rilievi agronomici sono stati effettuati in cinque differenti aziende, geograficamente distanti tra loro, in modo da compiere un'analisi completa delle tecniche di coltivazione e delle condizioni edafiche presenti in diverse aree del paese. L'investigazione di campo ha da subito mostrato uno schema di coltivazione standardizzato, che consiste nella creazione in file binate su baulature appositamente preparate. Il campo è comunemente diviso in blocchi di superficie variabile, separati tra loro da canali profondi

1-1,5 m (Figura 1). Questa metodologia di coltivazione è adottata per garantire un drenaggio rapido delle acque di precipitazione, dato che la pianta d'ananas non resiste al ristagno idrico e che in alcune zone le precipitazioni possono raggiungere intensità pari a 100 mm h⁻¹. Sebbene la tecnica di coltivazione sia standardizzata, delle differenze sostanziali sono state identificate sulle densità d'impianto e sulle dimensioni delle baulature. Queste differenze sono dovute all'uso di macchinari differenti per la preparazione del suolo, all'impianto manuale e a strategie aziendali diversificate che mirano ad ottimizzare le produzioni a seconda delle condizioni dei terreni. Per pianificare quindi un intervento di meccanizzazione sono stati raccolti i seguenti dati:

- distanza tra le file e lungo la fila all'interno della singola baulatura;
- distanza tra le baulature (centro-centro);
- profondità delle baulature;
- larghezza della baulatura;

A tal fine sono stati effettuati 10 campionamenti, ognuno di 10 misurazioni, in 5 distinte aziende rappresentative delle diverse condizioni colturali.

In aggiunta ai parametri agronomici dei campi, sono stati rilevati i parametri della coltura influenti sulla meccanizzazione, prendendo in esame le piante più grandi; questo per identificare le condizioni peggiori che si potrebbero presentare relativamente alla quantità di biomassa da smaltire e la forza necessaria al distacco della pianta dal terreno. A tale proposito i parametri raccolti sono stati i seguenti:

- peso della pianta intera;
- lunghezza della pianta;
- lunghezza del fusto privo di foglie;
- diametro del fusto;
- lunghezza dell'apparato radicale;
- diametro dell'apparato radicale;
- forza di distacco della pianta dal suolo.

I dati sono stati raccolti su 5 piante per ogni azienda ricercando accuratamente quelle più grandi e usando un dinamometro digitale, un calibro ed un metro a nastro, per un totale di 25 piante caratterizzate (Figura 2).



Figura 2 - Misurazione della forza necessaria all'estrazione delle piante più grandi dal terreno.



Figura 3 - Macchina per la raccolta della canna da zucchero JD3520.

VALUTAZIONE DI SOLUZIONI MECCANICHE

Sulla base delle misurazioni effettuate tra Febbraio e Marzo 2017, due possibili soluzioni meccaniche sono state individuate *in loco* per effettuare dei test preliminari per lo smaltimento del residuo agricolo. Va detto che l'obiettivo posto per entrambe le soluzioni ricercate è stato la rimozione completa del materiale dal campo; questo perché a seguito di incontri con istituzioni locali (Instituto Nacional de Innovación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria) si è appreso che la mosca colonizza rapidamente il materiale trinciato verde che resta in campo. Pertanto, poiché una distruzione completa o l'interramento del prodotto risultano molto dispendiosi e non facilmente raggiungibili, la soluzione più idonea individuata è risultata la rimozione del prodotto dal campo, che verrà poi trattato separatamente e riutilizzato per scopi energetici o per creare bio-fertilizzante da re-distribuire alle piante.

Le macchine testate sono state una macchina utilizzata per la raccolta della canna da zucchero JD3520 ed una trincia forestale autocaricante Seppi Midforst Drago, importata dall'Italia dal ditta Saturnia S.A. (Figura 3 e 4). L'idea di utilizzare una macchina per la raccolta della canna da zucchero è scaturita dal fatto che la macchina, molto resistente e capace di lavorare in condizioni difficili, taglia, seziona e scarica le piante di canna in un unico passaggio. In oltre, le macchine, disponibili in loco, sono in disuso in determinati periodi dell'anno e potrebbero essere sfruttate con opportuni adattamenti per lo scopo succitato.

Il test di raccolta con la JD3520 è stato effettuato presso l'azienda agricola Agromonte S.A. (provincia di Alajuela, San Carlos), in un campo di circa 0,5 ha. I parametri analizzati sono stati i seguenti:

- velocità effettiva;
- capacità effettiva;
- capacità di raccolta del prodotto;
- dimensioni del prodotto raccolto e tagliato.

Per la determinazione della **velocità effettiva** di avanzamento sono stati posti due picchetti ad una distanza nota ed è stato misurato il tempo che la macchina ha impiegato per passare da un picchetto all'altro durante il lavoro; l'operazione è stata ripetuta 3 volte per ottenere un valore medio attendibile.

La **capacità effettiva** è stata ottenuta utilizzando il dato della velocità di avanzamento e considerando la larghezza di lavoro effettiva della macchina. La **quantità di biomassa raccolta** è stata valutata posizionando un telo di plastica sotto al punto di scarico della macchina e pesando il prodotto raccolto in una superficie nota (Figura 5). Il braccio di scarico era stato rimosso in precedenza per una comodità di trasporto su strada.

Infine, la granulometria del prodotto scaricato è stata effettuata prelevando circa 5 kg di materiale in maniera casuale dal mucchio di prodotto raccolto all'interno del telo di plastica e misurando le dimensioni con un metro a nastro (Figura 6).

Il test con la Seppi è stato effettuato nell'azienda Finca Once (provincia di Alajuela, Los Chiles) in un campo di circa 0,5 ha. La macchina è stata abbinata ad un trattore SAME Laser

150. I parametri studiati e le metodologie di rilevamento sono state simili a quelle usate per la JD3520, eccetto per la capacità di raccolta di biomassa che è stata calcolata



Figura 4 - Trincia forestale Seppi Midforst Drago durante le operazioni di raccolta.



Figura 5 - Telo di plastica posizionato sotto al punto di scarico della macchina.

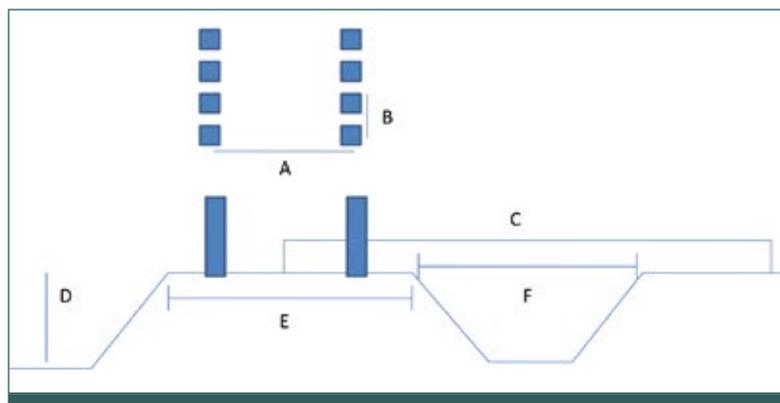


Figura 6 - Porzioni di pianta raccolti e tagliati dalla macchina.

stimando la biomassa potenziale e le perdite di raccolta in campo. Quest'ultima essendo molto basse hanno reso l'operazione più semplice rispetto ad altri possibili metodi di stima (Figura 7).



Figura 7 - Campo d'ananas dopo il passaggio della Seppi.



	unità	1	2	3	4	5	Media	Dev.st.
A distanza tra le fila	cm	45	50	46	34	44	44	6,8
B distanza lungo le fila	cm	27	25	25,2	22,4	25,2	25	2,9
C distanza tra le baulature	cm	110	105	107	105	107	107	2,4
D profondità delle baulature	cm	20	30	26,5	22	26,5	25	4,5
E larghezza delle baulature	cm	45	60	61,8	52	56,2	55	7,7
F larghezza del fosso	cm	45	60	45	50	50	50	7,1

Tabella 1 - Parametri agronomici relativi alla schema d'impianto.

	1	2	3	4	5	Media
Pianta intera						
Peso (kg)	4,55	5,6	4,13	4,8	7,6	5,3 ± 1,2
Lunghezza (cm)	133	150	135	142	150	142 ± 7,2
Fusto						
Lunghezza (cm)	61	69	70	62	73	66 ± 4,7
Diametro (cm)	14,25	20,3	17,6	16,6	14,3	16,6 ± 2,3
Peso (kg)	2,1	2,8	2,3	2,7	3,9	2,7 ± 0,6
Radice						
Lunghezza (cm)	13	11	14	15,5	12	13,1 ± 1,6
Diametro (cm)	7	6,5	6,2	6,2	7	6,6 ± 0,4
Forza di distacco (N)	274	539	314	235	235	319 ± 113,6

Tabella 2 - Caratteristiche delle piante di maggiori dimensioni individuate nelle 5 aziende.

RISULTATI E DISCUSSIONI

In Tabella 1 (con schema d'impianto) e Tabella 2 sono rispettivamente mostrati i parametri di campo ed i parametri della coltura rilevati in quattro differenti aziende del Paese.

Come già accennato nei materiali e metodi, lo schema d'impianto nelle varie aziende è standardizzato e si basa sulla creazione di baulature larghe in media 55 cm e profonde 25 cm sulle quali sono impiantate le talee d'ananas in file binate, con una distanza tra le file di 45 cm e di 25 cm lungo la fila. A ogni modo, le misure variano tra un'azienda e l'altra e un'analisi statistica basata sull'analisi della varianza ha confermato la presenza di differenze statisticamente significative per A,C,D,E,F considerando uno 0,01% di livello di confidenza. Solamente il parametro B (distanza lungo la file) dopo il test di Tukey ha mostrato differenze non significative. La forza necessaria per il distacco della pianta dal terreno è stata in media 319 newton, corrispondenti a circa 32,5 kg. Comunque, l'analisi della varianza ha mostrato la presenza di differenze statisticamente significative tra le piante estratte dalle varie aziende.

Relativamente alle prove meccaniche, in Tabella 3 sono riportate le performance delle macchine agricole testate.

La macchina per la raccolta della canna da zucchero ha lavorato ad una velocità pari al doppio della Seppi, ma la capacità effettiva delle due macchine è risultata simile in quanto la Seppi aveva una larghezza di lavoro di 2 m, mentre quella della JD era di circa 1 m.

Le perdite di raccolta della JD sono risultate molto elevata, pari a circa il 50%; ciò è da attribuirsi al fatto che il sistema pick-up della macchina non è progettato per portare via dal terreno un prodotto basso e "tenero" come la pianta d'ananas. Va comunque detto che il sistema di trasporto e cippatura della macchina ha funzionato molto bene, senza mostrate alcun inceppamento durante tutta la prova. Questo a dimostrazione del fatto che la costruzione di un pick up idoneo e delle modifica al sistema di taglio permetterebbero alla macchina di funzionare in maniera ottimale.

A differenza della JD, la Seppi ha raccolto quasi tutto il prodotto, mostrando perdite di circa il 5%. Va detto però che la qualità del prodotto ottenuto con la Seppi è risultata molto bassa a causa della contaminazione di suolo, rendendo la biomassa praticamente inutilizzabile per scopi sia energetici che per alimentazione animale. D'altra parte, il prodotto ottenuto con la macchina della canna da zucchero è risultato più pulito e quindi valorizzabile sia per l'alimentazione del bestiame che per la produzione di biogas. I pro e i contro dei due sistemi sono stati riassunti in Tabella 4.

Delle potenziali modifiche sono state individuate per poter migliorare i due sistemi: riguardo l'uso di macchine per la raccolta di canna da zucchero, l'utilizzo di macchinari più piccoli (ne esistono da 8 t come il CASE AUSTOFT 4000) è da considerarsi più idoneo; sulle macchine sarà necessario apportare delle modifiche al sistema pick-up, creando una bocca d'ingresso più allargata per evitare accumuli di piante frontalmente e utilizzando dei sistemi a rulli dentati, subito dietro al sistema di taglio, che aiutino l'entrata delle piante nella macchina stessa.

L'apparato di cippatura, che nella canna da zucchero ser-

ve a formare i billets, si può ritenere idoneo allo scopo, in quanto il pezzato prodotto può essere caricato su rimorchi riducendo la massa volumica rispetto al prodotto intero. Comunque, il sistema richiederà degli aggiustamenti finalizzati a ravvicinare i coltelli dei due rulli contro-rotanti per favorire anche il taglio della foglia.

Riguardo la Seppi, le possibili modifiche individuate sulla base delle prove svolte in campo sono le seguenti:

- montaggio di slitte regolabili sul fondo aventi lo scopo di tenere la macchina più staccata da terra durante le operazioni di trinciatura e raccolta per ottenere un prodotto più pulito;
- modifica al sistema di scarico passando da posteriore a laterale applicando dei nastri di trasporto aggiuntivi o modificando il sistema stesso. Ciò al fine di evitare che il carro (specialmente se ad 1 asse) possa pesare sulla raccogliatrice abbassandone l'altezza di lavoro e per diminuire tempi legati alla sostituzione del carro pieno con uno vuoto, scaricando direttamente su un carro trainato da altro trattore;
- aggiustamenti al sistema di trinciatura finalizzati ad effettuare il taglio netto del materiale e non la sibratura del prodotto per renderlo commercialmente valido.

CONCLUSIONI

Da molti anni il problema della mosca cavallina sta creando danni economici ed elevati impatti ambientali della coltivazione dell'ananas in Costa Rica. Alla mosca sono associate anche le problematiche relative all'uso di dissecanti chimici, che risultano insostenibili sia dal punto di vista ambientale che sociale. Le tecnologie testate non possono ritenersi ancora delle soluzioni adatte, ma l'esperienza maturata

Parametro	Unità	JD3520	SEPPI Midforst drago
Velocità effettiva	km h ⁻¹	1,3 ± 0,2	0,6 ± 0,2
Capacità effettiva	ha h ⁻¹	0,13	0,12
Materiale raccolto	t ha ⁻¹	80	152
Perdite di raccolta	%	50%	5%
Dimensioni del prodotto	cm	12,5 < x < 60	1 < x < 50

Tabella 3 - Performance delle macchine agricole a confronto.

JD3520		Seppi	
Vantaggi	Svantaggi	Vantaggi	Svantaggi
<ul style="list-style-type: none"> • il sistema per il taglio basale ha funzionato bene • non si sono verificati inceppamenti durante il trasporto del materiale all'interno della macchina fino al sistema di taglio. L'elevato peso della macchina (26 t) non è stato un fattore limitante 	<ul style="list-style-type: none"> • il sistema pick-up non è in grado di raccogliere e far entrare all'interno della macchina più del 50% del prodotto • il sistema di taglio non è stato in grado di tagliare la foglia • il costo della macchina è molto elevato 	<ul style="list-style-type: none"> • la macchina è in grado di triturare e rimuovere dal terreno quasi tutti i residui colturali e nessun ingolfamento di prodotto si è verificato durante la prova. Da verificare comunque durante il periodo delle piogge • il costo della macchina è molto inferiore rispetto a quello della JD 	<ul style="list-style-type: none"> • il materiale prodotto non è utilizzabile a causa dell'elevata contaminazione di suolo

Tabella 4 - Vantaggi e svantaggi dei due sistemi meccanici testati.

attraverso le valutazioni sperimentali delle macchine disponibili ha permesso di comprendere sempre più le problematiche e le necessità tecnologiche per una gestione adeguata dei residui. A tale proposito ulteriori attività di ricerca sono in corso per arrivare a sviluppare nuove tecnologie Italiane che ci auspichiamo possano dare una svolta definitiva alla problematica, risolvendo da una parte i problemi del Costa Rica e incrementando dall'altra il mercato Italiano di macchine agricole in paesi esteri.

Bibliografia

BRAVO V., RODRIGUEZ T., TATIS A., CALDERÓN G, CANTO N., MEJÍA W., RAMÍREZ D., DE LA CRUZ E., RAMÍREZ F., BERROCA S., VAN WENDEL DE JOODE B., WESSELING C., 2015 - **Importación de Plaguicidas en América Central, periodo 2000-2004**. Informe del Área de Salud para el Programa Salud y Trabajo en Centro América (SALTRA), IRET, FCTM, Universidad Nacional. Heredia. Heredia. 29 n.2.

GARBATI PEGNA F., PÉREZ DE CORCHO FUENTES J.S., 2009 - **Development of a Vertical Axis Shredder for Pineapple Field Clearing**. Acta horticulturae, VI International Pineapple Symposium ISHS, Brazil

Gonzalez Alfaro L.A., 2012 - **Manual técnico para el manejo de rastrojo en el cultivo de piña**. MAG/SFE, San Jose, Costa Rica.

SCHENKER M.B., STOECKLIN M., LEE K., LUPERCIO R., ZEBALLOS R.J., ENRIGHT P., HENNESSY T., BECKETT L.A., 2004 - **Pulmonary function and exercise associated changes with chronic low level paraquat exposure**. American Journal Respiratory Care Med 170: 773-779.

SOLÓRZANO J.A., GILLES J.R.LBRAVO., O., VARGAS C., GOMEZ-BONILLA Y., 2015 - **Biology and Trapping of Stable Flies (Diptera: Muscidae) Developing in Pineapple Residues (Ananas comosus) in Costa Rica**. Journal of Insect Science 15(1): 145.

KEYWORDS: pineapple, residues, harvest, mechanization.

Abstract: Pineapple agricultural residues in Costa Rica: from problem to opportunity.

Pineapple field residue management represents a big problem in Costa Rica for different reasons. Primary, if the pineapple biomass is not well managed and quickly disposed in the first week after being crushed, the field becomes a substrate for the proliferation of stable fly (*Stomoxys calcitrans*), a hematophagous Diptera biting fly that attacks surrounding livestock for a blood meal, impacting animal welfare and farm productivity as well. Secondly, since the most common agricultural practice consists in using desiccant herbicide to burn dehydrated plants, the people concern is rising due to the potential impact of these practices on environment and human health. A possible solution to these problems is threshing the green biomass in the field. However, the high amount of the biomass (250 MT ha⁻¹) and its characteristics (very fibrous and moist) make inefficient even the use of heavy equipment. Furthermore, continuous disc harrow passes for up to 7-8 times every couple of weeks are required to avoid fly infestation in the process. This approach results very uneconomic and inefficient for farmers, which should be supported to find alternative strategies to solve these problems. This paper will show the preliminary results of activities aimed at the identification of technological solutions for the biomass removal from the agricultural field.

L'articolo è stato realizzato nell'ambito dell'Accordo per la realizzazione di un "Intervento di meccanizzazione agricola in Costa Rica" tra ICE e CREA (Prot. No 268 del 10/08/2017), finanziato con i fondi a sostegno del Made in Italy

Soluzioni meccaniche per la raccolta dei pappi di cardo

di LUIGI PARI, VINCENZO ALFANO, PAOLO MATTEI, ENRICO SANTANGELO

Nell'ambito del Progetto BIT3G, il CREA ha sperimentato soluzioni meccaniche finalizzate al recupero dei pappi del cardo, un'interessante risorsa valorizzabile in bioraffineria.

PAROLE CHIAVE: cardo, pappi, trebbiatura, bioraffineria.

Il cardo (*Cynara cardunculus* L.) negli ultimi anni è stato oggetto di un crescente interesse come materia prima per le bioraffinerie, poiché si tratta di una **coltura multiuso, per scopi energetici e industriali** (FERNÁNDEZ *et al.* 2006). L'olio estratto dai semi può essere convertito in biodiesel o bio-polimeri per la produzione di bio-plastiche (ENCINAR *et al.* 2002, GRAMMELIS *et al.* 2008, PISCIONERI *et al.* 2000), mentre le farine di estrazione possono essere utilizzate come materia prima nell'industria dei mangimi (FRANCAVIGLIA *et al.* 2016). Le frazioni lignocellulosiche possono essere impiegate per la

1) Il progetto BIT3G è finanziato dal Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca all'interno di SPRING - Sustainable Processes and Resources for Innovation and National Growth - il Cluster tecnologico nazionale della Chimica Verde.

produzione di pasta di carta o biocombustibili solidi (GOMINHO *et al.* 2001, 2009, LOURENÇO *et al.* 2015). La presenza di principi attivi come l'inulina, la silimarina e la cinarina, nelle radici e dei polifenoli nelle foglie, rende la coltura di interesse per applicazioni nutraceutiche e farmacologiche (CIANCOLINI *et al.* 2013, RACCUJA e MELILLI 2010, 2004, RAMOS *et al.* 2014). Accanto a queste potenziali applicazioni, la corona di filamenti piumosi che favorisce la dispersione dei semi, chiamata pappo (ARCHONTOULIS *et al.* 2010), può risultare **una materia prima interessante per l'industria della cellulosa e della carta**. La composizione chimica (alto contenuto di olocellulosa e α -cellulosa) e la struttura anatomica rendono i pappi particolarmente adatti per il processo di produzione di fibre e polpa di carta (COCCIA *et al.* 2014, GOMINHO *et al.* 2011). Dal punto di vista botanico, la funzione del pappo è quella di aiutare la dispersione naturale del seme, a cui sono connessi, per azione del vento (Figura 1).

Durante la trebbiatura del cardo, i pappi vengono rilasciati insieme agli residui di trebbiatura, ma poiché sono soggetti all'azione del vento, volano via durante lo scarico o, successivamente dall'andana. Attualmente la raccolta dei pappi non viene effettuata in quanto non è disponibile una tecnologia industriale specifica. Da prime valutazioni, si stima una produzione di circa 200 kg/ha di pappi. In attesa di una precisa definizione del valore economico di tale frazione, su cui basare un investimento in termini di sviluppo tecnologico finalizzato al suo recupero, il CREA nell'ambito del progetto BIT3G⁽¹⁾, finalizzato alla creazione di una Bioraffineria di Terza Generazione Integrata nel Territorio, ha sviluppato e sperimentato alcune soluzioni meccaniche finalizzate al recupero di tale frazione. In prima battuta, è stata sperimentata la possibilità di raccogliere i pappi separatamente dagli altri residui di trebbiatura. Successivamente, sulla base delle conoscenze acquisite con le prime esperienze, l'attenzione



Figura 1 - Pappi di cardo.

Luigi PARI, CREA luigi.pari@crea.gov.it - Vincenzo ALFANO, CREA vincenzo.alfano@crea.gov.it - Paolo MATTEI, CREA paolo.mattei@crea.gov.it - Enrico SANTANGELO, CREA enrico.santangelo@crea.gov.it

si è spostata verso soluzioni che erano finalizzate al contenimento del fenomeno della dispersione nell'ambiente ed al recupero a valle dell'imballatura insieme agli altri residui di trebbiatura.

SISTEMA PER LA RACCOLTA SEPARATA DEI PAPPI

La prima idea progettuale è nata dall'osservazione del meccanismo di separazione delle diverse frazioni del capolino che avviene all'interno delle mietitrebbiatrici.

Indipendentemente dalla testata raccogliitrice che può essere quella specifica per il cardo sviluppata dal CREA e dalla ditta Cressoni (PAR *et al.* 2016), o testate convenzionali per la raccolta di colture da granella, i capolini alimentati alla mietitrebbia, passano all'interno del battitore che effettua la sgranatura e la prima separazione di semi, brattee, pappi, ricettacolo e parte di stelo. Questa massa vegetale viene quindi lanciata sugli scuotipaglia che, vibrando, selezionano le frazioni più pesanti, trasportandole verso lo scarico posteriore, mentre, le più leggere, inclusa la quasi totalità dei pappi, sono prelevate dal flusso d'aria generato dalla ventola assiale entro il quale restano inglobati.

Pertanto, si è pensato di intercettare il flusso d'aria che scorre sopra gli scuotipaglia, in un punto ben preciso lungo il carter della mietitrebbia, con un aspiratore opportunamente dimensionato. A tale scopo, si è pensato di utilizzare dispositivi mutuati da altre tecnologie, in grado di generare una depressione tale da bilanciare il flusso d'aria della mietitrebbia e separare poi la fase solida desiderata (i pappi) dalla corrente d'aria. Nello specifico, si è pensato alla tecnologia impiegata nelle macchine utilizzate per la raccolta della frutta in guscio (nocciole, castagne). Queste, come grossi "aspirapolvere" aspirano i frutti da terra e poi, grazie alla presenza di cicloni, provvedono ad abbattere le polveri presenti nel flusso d'aria e a separare i frutti per mezzo di separatori a palette.

L'idea progettuale prevedeva l'adattamento degli elementi principali del sistema (ventola, cicloni e separatori a palette) per la separazione pappi/flusso d'aria ed il trasferimento direttamente sopra la mietitrebbia, incluso un sistema di compattazione per ottenere bricchette di pappi (Figura 2).

Per poter verificare la bontà dell'idea, è stato utilizzato un modello di macchina commerciale per la raccolta delle nocciole e adattato per le prove sperimentali.

Prova a punto fisso

Nel mese di Agosto 2014, è stata realizzata una prova a punto fisso, ovvero con la mietitrebbia ferma, con l'obiettivo di individuare le regolazioni ottimali sulla macchina (Figura 3). Preliminarmente, è stata misurata la portata del flusso d'aria al bocchettone di innesto della macchina aspiratrice in funzione del numero di giri alla presa di forza della trattrice da cui era alimentata e quella all'estremità del tubo flessibile utilizzato per intercettare i pappi all'interno della mietitrebbia (ed il corrispondente calo di portata).

Alimentando la mietitrebbia con un numero costante di capolini (intensità corrispondente alla quantità raccogliibile in condizioni reali per un avanzamento della mietitrebbia di un metro lineare), si è proceduto a valutare l'efficacia di separazione del dispositivo di aspirazione, misurando la quantità di pappi e di altre frazioni recuperate con tre diverse intensità (trattamenti) della portata d'aria al bocchettone. Ciascun trattamento è stato ripetuto tre volte.

Il bilancio di massa non ha messo in luce differenze significative tra i trattamenti, ma un'efficienza di raccolta estremamente bassa rispetto al prodotto in ingresso. Inoltre, l'analisi

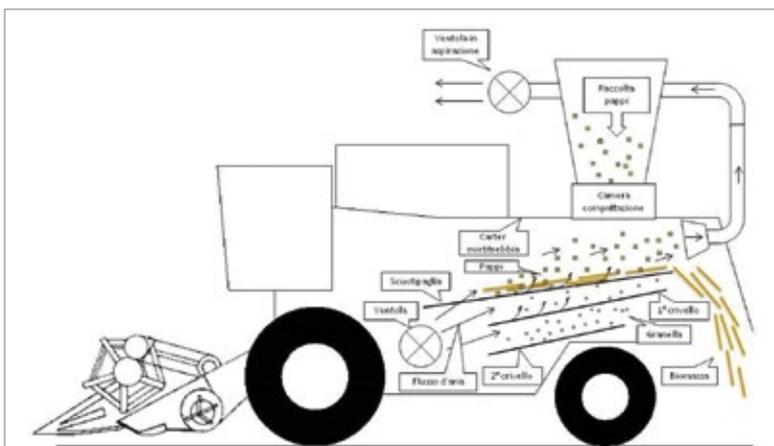


Figura 2 - Schema esemplificativo dell'idea progettuale.



Figura 3 - Macchina utilizzata durante la prova a punto fisso.

del prodotto raccolto ha evidenziato l'elevata presenza di impurità, costituita da brattee, terra e altre frazioni del capolino, pari in media al 35% del prodotto raccolto.

L'esperienza ha messo in luce la necessità di dover operare con una portata in aspirazione più elevata e di migliorare il meccanismo di separazione, evidenziando i limiti dell'idea progettuale legati alla complessità tecnico-economica per la risoluzione soprattutto del primo aspetto. Infatti, la potenza necessaria per generare una portata adeguata, non potendo essere ottenuta direttamente dalla mietitrebbia, richiederebbe un motore endotermico aggiuntivo che graverebbe ulteriormente sul peso e aumenterebbe la complessità ed i costi del sistema.

Tali limiti, e le acquisizioni pratiche maturate con l'esperienza diretta, hanno suggerito la ricerca di soluzioni alternative.

PROGETTAZIONE E COSTRUZIONE DI UN SISTEMA PER LA BAGNATURA DEI PAPPI

Nel corso delle prove del 2014, si era potuto verificare che, anticipando la raccolta, in presenza di capolini ancora chiusi (quindi ad uno stadio di maturazione non troppo avanzato), non solo si riduceva la fuoriuscita dei pappi dal capolino causata dall'impatto con la testata di raccolta, ma cambiava anche il comportamento aerodinamico dei pappi all'interno della mietitrebbia. Questi, inglobati nei moti vorticosi del flusso d'aria, essendo ancora umidi, tendevano a stratificarsi verso il basso e a fuoriuscire principalmente sotto i crivelli.

Al contrario, ritardando la raccolta, man mano che il cardo perdeva umidità, i pappi cambiavano le caratteristiche aerodinamiche e cominciavano ad essere espulsi sopra i crivelli. Partendo dall'osservazione di tale fenomeno e, sulla base di specifici test di bagnatura dei pappi in laboratorio, dove si era osservato che questi tendono a "chiudersi" all'aumentare dell'umidità e ad incollarsi sulle pareti del sistema sperimentale realizzato, **si è pensato di riprodurre su scala reale l'effetto di appesantimento dovuto in natura dal**

maggior grado di umidità, imbibendo artificialmente i pappi con acqua nebulizzata direttamente all'interno della mietitrebbia. È stato, quindi, realizzato e applicato alla mietitrebbia un dispositivo per procedere a prove sperimentali di bagnatura in pieno campo. Tale dispositivo permette di nebulizzare acqua con pressione variabile da parte di un numero variabile da 1 a 6 di ugelli posti sull'uscita del prodotto, dopo il sistema trebbiante della mietitrebbia. Il sistema (Figura 4) è costituito da:

- un contenitore di acqua da 1.000 litri, fissato sopra la mietitrebbia attraverso imbullonature e cinghie;
- un'elettropompa (12/24V) autoadescente ad ingranaggi con portata di 12 l/min a 4 bar;
- un regolatore di flusso per inviare agli ugelli il quantitativo voluto, con ritorno al contenitore del liquido non utilizzato;
- 3 coppie di ugelli posizionati a diversa altezza all'uscita dagli scuotipaglia;
- tre valvole per l'apertura/chiusura di ciascuna coppia di ugelli;
- un interruttore elettrico posto in cabina per l'accensione del sistema.

Le tre coppie di ugelli nebulizzano l'acqua inviata dall'elettropompa all'interno del carter, sullo scarico del prodotto in modo che tutti i pappi siano bagnati in maniera uniforme (Figura 5).

Prove di bagnatura di pappi e valutazione dell'efficacia di 4 adesivanti in diverse concentrazioni

Nel mese di Luglio 2015 il dispositivo è stato testato preliminarmente per individuare il settaggio ottimale sul regolatore di flusso al fine di garantire un'area completamente saturata di acqua nebulizzata e la corrispondente autonomia del serbatoio. Sono state quindi effettuate prove di bagnatura su coltura di cardo allo scopo di:

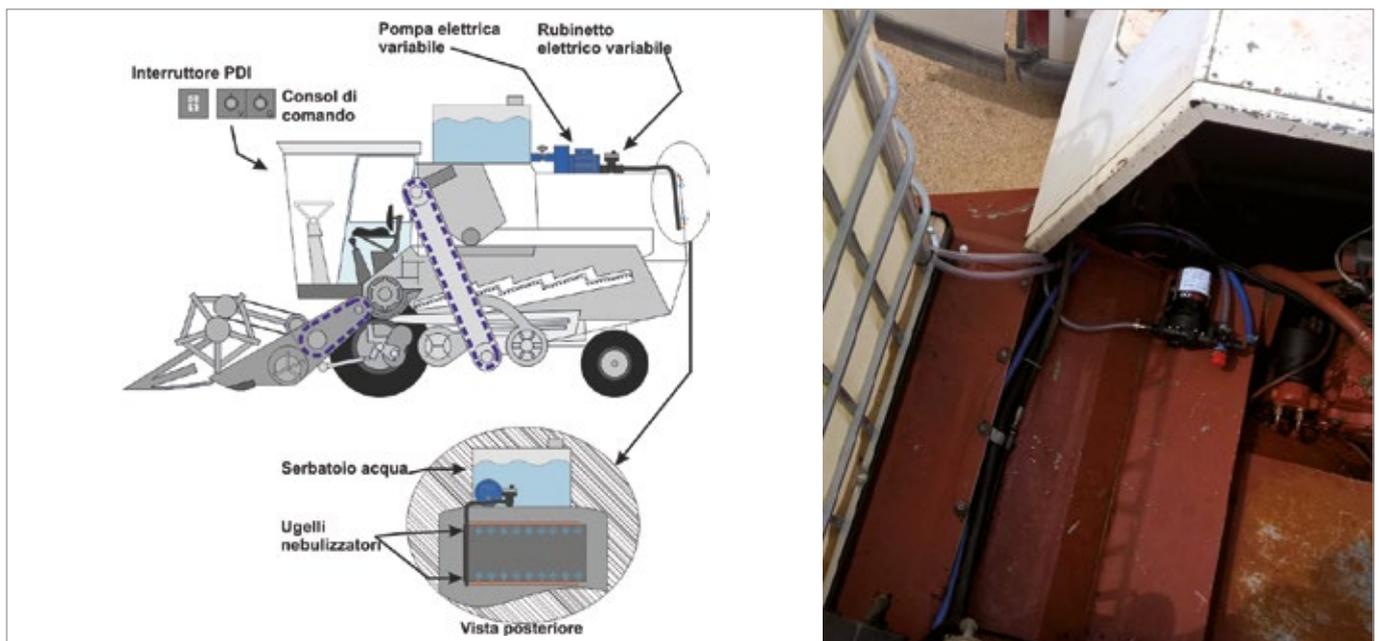


Figura 4 - Schema generale dell'impianto e particolare dell'elettropompa.

- identificare il quantitativo d'acqua necessario per permettere l'adesione dei pappi alla biomassa rilasciata a terra dopo il passaggio della mietitrebbia;
- stimare la durata dell'effetto adesivante;
- calcolare il tempo disponibile per effettuare la successiva fase di ranghinatura ed imballatura prima che il pappo si disidrati e venga disperso nuovamente dal vento.

Dalle prove effettuate è emerso che, regolata la portata ottimale, 1.000 litri acqua permettono un tempo di lavoro di 7,15 h e 6,30 h rispettivamente con 2 o 3 coppie di ugelli aperti, fornendo quindi la garanzia di autonomia giornaliera. Allo scopo di aumentare l'effetto di arresto della dispersione, ridurre i quantitativi di liquido e aumentare il tempo che può intercorrere tra la trebbiatura e le successive fasi operative si è deciso di testare l'effetto adesivante di diversi prodotti impiegati comunemente in agricoltura (tensioattivi e bagnanti) per migliorare la persistenza dei principi attivi nei trattamenti antiparassitari (Tabella 1). Gli adesivanti saggiati sono stati distribuiti miscelati all'acqua del serbatoio. Nei primi giorni di Agosto 2015 è stata, quindi, effettuata una prova in condizioni operative di pieno campo su una superficie di circa 4 ha a giacitura pianeggiante e forma regolare, con un grado omogeneo di sviluppo della coltura (PARI *et al.* 2017). La prova aveva lo scopo di valutare la capacità adesivante di quattro additivi a diversa concentrazione, attraverso la valutazione di due diversi aspetti:

- tempo di ritenzione dei residui di trebbiatura;
- stima della quantità di pappi assicurata a terra.

Per i rilievi sono stati utilizzati pannelli di plastica di colore nero della dimensione di 0,5 x 0,5 m, posti tra le piante sotto lo scarico del sistema trebbiante, fotografati subito dopo il passaggio della mietitrebbia e, poi, a distanza di 1, 2 e 4 ore (Figura 6). Per ogni trattamento sono stati analizzati 4 pannelli (repliche) disposti a random a distanze variabili uno dall'altro lungo la striscia di lavorazione della macchina (circa 170 m). Nel punto di posizionamento dei pannelli sono state preventivamente eliminate le piante ricadenti nell'area del cartoncino.

a) Tempo di ritenzione degli scarti di trebbiatura

Subito dopo i trattamenti si provvedeva a fotografare i cartoncini al tempo 0, e dopo 1, 2 e 4 ore (T0, T1, T2, T4) dalla raccolta. Per ottenere fotografie che fossero alla stessa distanza, è stato utilizzato un supporto metallico, specificamente costruito per la macchina fotografica. Prima dell'esecuzione della fotografia il cartoncino veniva posto in posizione verticale per favorire la caduta di particelle non più adese. Le immagini prodotte sono state analizzate con uno specifico software (ImageJ, <http://imagej.net>) al fine di valutare l'estensione dell'area del cartoncino coperta dai residui e la variazione della stessa nel tempo.

Il software identifica e numera tutte le aree sul cartoncino occupate dai residui, in contrasto rispetto allo sfondo, delimitandone il perimetro. Il programma restituisce come *output* principali il numero delle aree, la dimensione media, la superficie totale occupata e la percentuale di questa rispetto all'area del cartoncino.

Il prodotto che ha evidenziato una maggior efficacia rispetto agli altri è l'adesivante a base di Guar.

Considerando pari a 100 la superficie occupata dai residui

Trattamento / principio attivo	Sigla
Raccolta senza impiego di acqua	Controllo
Raccolta con acqua	Acqua
Adesivante a base di Guar all'1%	Guar-1
Adesivante a base di Guar al 2%	Guar-2
Poli-Vinil-Acetato allo 0,5 %	PVA-05
Poli-Vinil-Acetato all'1%	PVA-1
Alchil polisaccaride allo 0,1%	AL-01
Alchil polisaccaride allo 0,2%	AL-02
Alcool lauril etossilato allo 0,1%	ALE-01
Alcool lauril etossilato al 0,2 %	ALE-02

Tabella 1 - Trattamenti a confronto nell'ordine in cui sono stati effettuati.



Figura 5 - Dispositivo nebulizzante e ugelli posizionati sotto lo scarico della mietitrebbia.

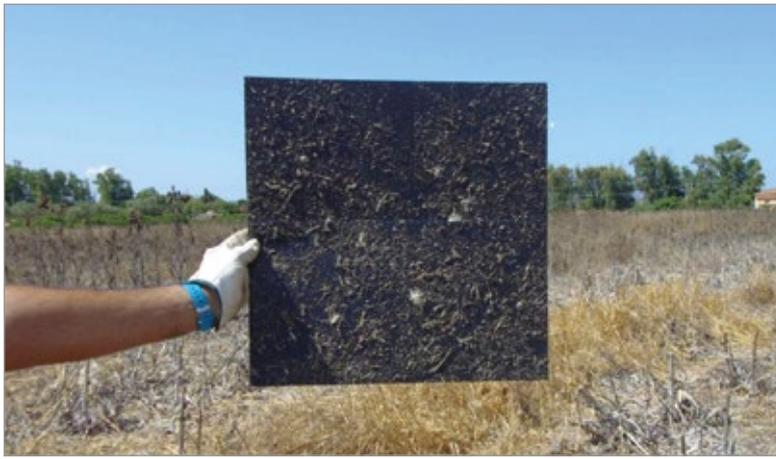


Figura 6 - Pannello di plastica (0,5 x 0,5 m) utilizzato per la prova.

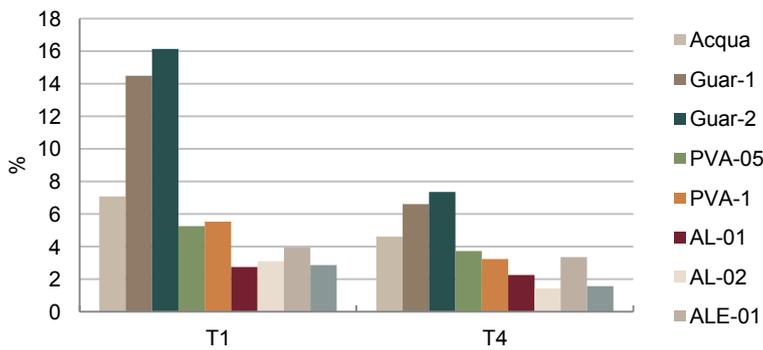


Figura 7 - Percentuale della superficie occupata dai residui di trebbiatura a T1 e T4 rispetto a T0 (considerato come 100%) nei diversi trattamenti.

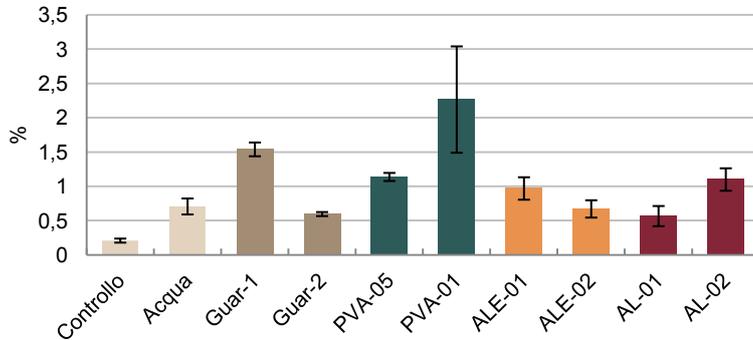


Figura 8 - Percentuale in peso dei pappi nei campioni di biomassa prelevati a terra per i rispettivi trattamenti.

caduti a T0, la maggiore percentuale di area ancora occupata da particelle rimaste adese dopo un'ora, si registra per il prodotto Guar utilizzato in concentrazione doppia (16% dell'area a T0), seguita dallo stesso a metà concentrazione (14%). Al tempo T4 l'efficacia del prodotto Guar si riduce a poco meno della metà per entrambe le dosi (Figura 7).

In base ai risultati ottenuti, **va rilevata anche l'efficacia del sistema di bagnatura che prevede l'utilizzo della sola acqua.** Il dato, abbastanza positivo in prospettiva di una riduzione dei costi del sistema, andrebbe però verificato attentamente e probabilmente corretto dell'errore sperimentale. Poiché, come menzionato in precedenza, i trattamenti sono stati applicati in un ordine ben determinato, l'acqua

senza alcun additivo è stata impiegata all'inizio della prova. Nel tempo si è rilevato un calo della prestazione del sistema di bagnatura dovuto probabilmente ad ingolfamento degli ugelli nebulizzatori. Quindi, il dato riferito all'acqua potrebbe essere sovrastimato.

Buono anche il risultato della colla vinilica (PVA) che ha mostrato una capacità adesivante superiore al 5% a T1, non significativamente diverso dal dato dell'acqua. In generale, a T1 la concentrazione doppia ha dato una migliore risposta in tutti i trattamenti. Tale effetto dopo 4 ore si mantiene, invece, soltanto per il prodotto a base di Guar. Da questo primo risultato emerge come **la pulizia degli ugelli rappresenti un elemento di criticità di cui tener conto nello sviluppo del sistema.** Altre variabili che possono incidere significativamente sul risultato finale sono il grado di infestazione della coltura e l'intensità del vento nel momento in cui avviene la raccolta. Quest'ultima influenza non solo il grado di dispersione dei pappi, ma anche la velocità con cui gli stessi perdono umidità e, quindi, adesività, riducendo l'intervallo di tempo in cui possono essere utilizzate le macchine per l'imballatura.

b) Stima della quantità di pappi assicurata a terra

La stima della quantità di pappi assicurata a terra aveva lo scopo di verificare se il dato "letto" sui pannelli (necessario a quantificare, su una superficie relativamente uniforme e con caratteristiche idonee a favorire l'adesione, la forza adesivante dei trattamenti a confronto) poteva essere confermato sul terreno, in condizioni reali. Come dato di riferimento è stata valutata la produzione potenziale di pappi della coltura. Sono stati prelevati 5 campioni rappresentativi da un'area di saggio pari alla superficie dei cartoncini (0,250 m²); all'interno dell'area sono state contate le piante, il numero di capolini presenti e questi ultimi sono stati raccolti, sigillati e portati in laboratorio dove è stata ottenuta la produzione potenziale. In particolare, sono stati rilevati il peso dei capolini, l'umidità dei pappi, il peso della frazione dei pappi.

Per valutare la quota di pappi rimasta adesa alla biomassa e non dispersa, per ogni trattamento sono stati prelevati tre campioni (repliche) di trinciato da tre aree (0,250 m²) scelte a random lungo la striscia di raccolta di ogni trattamento. Il prelievo è stato effettuato al tempo T4 in modo tale da consentire alle condizioni ambientali di agire sul prodotto trinciato. Sui campioni sigillati e trasportati in laboratorio sono stati effettuati i rilievi indicati precedentemente (peso dei capolini, umidità dei pappi, peso della frazione dei pappi).

Analizzando il dato relativo all'incidenza in peso della frazione "pappi" nella biomassa scaricata a terra (Figura 8) si evidenzia come i trattamenti Guar e PVA (indipendentemente dal dosaggio) siano quelli più interessanti per l'obiettivo della riduzione della dispersione dei pappi (e del loro eventuale recupero). **In questo caso (relativamente al contesto della biomassa scaricata a terra), l'aggiunta di colla vinilica appare favorire maggiormente, rispetto agli altri trattamenti, il mantenimento dei pappi all'interno della biomassa.** Vanno sottolineate, inoltre, due osservazioni importanti. Quando si opera la raccolta senza alcuna nebulizzazione (Controllo) dopo 4 ore si ottiene la più bassa percentuale di pappi presenti nella biomassa. Ciò

indica come l'inumidimento del prodotto trebbiato favorisca grandemente l'immobilizzazione ed il recupero dei pappi. Secondariamente, il dato relativo all'acqua non risulta così apprezzabilmente alto come osservato precedentemente per l'adesione alla superficie del pannello.

Ciò potrebbe confermare la possibile sovrastima del dato, ma anche un reale minore (ma non assente) effetto adesivante della nebulizzazione della sola acqua.

CONCLUSIONI

I risultati indicano che la bagnatura è un'opzione praticabile che consente di contenere la dispersione dei pappi e mantenere una quantità consistente sul terreno, almeno entro la prima ora successiva alla raccolta.

Tuttavia, affinché ciò accada, la linea di meccanizzazione dovrebbe essere impostata in modo da limitare i ritardi tra la trebbiatura e l'imballatura effettuando quest'ultima prima che scompaia l'effetto adesivo ed evitare operazioni intermedie come lo sfalcio degli stocchi e la ranghinatura. Tale variazione operativa può essere ottenuta utilizzando il prototipo specifico per la raccolta del cardo (PARI *et al.* 2016), che, in un'unica fase, consente il taglio a una distanza minima dalla superficie del terreno e dispone gli stocchi tra le ruote della mietitrebbia per formare un'andana. L'aggiunta di un bagnante può migliorare l'adesione alla superficie del suolo e, in vista di un possibile riutilizzo dei pappi, sarebbe opportuno esplorare più concentrazioni di diversi bagnanti.

Bibliografia

ARCHONTOULIS S.V., STRUIK P.C., VOS J., DANALATOS N.G., 2010 - **Phenological growth stages of *Cynara cardunculus*: codification and description according to the BBCH scale.** Ann. Appl. Biol. 156, 253-270. doi:10.1111/j.1744-7348.2009.00384.x

CIANCOLINI A., ALIGNAN M., PAGNOTTA M.A., VILAREM G., CRINÒ P., 2013 - **Selection of Italian cardoon genotypes as industrial crop for biomass and polyphenol production.** Ind. Crops Prod. 51, 145-151. doi:10.1016/j.indcrop.2013.08.069

COCCIA V., COTANA F., CAVALAGLIO G., GELOSIA M., PETROZZI A., 2014 - **Cellulose nanocrystals obtained from *Cynara cardunculus* and their application in the paper industry.** Sustain. 6, 5252-5264. doi:10.3390/su6085252

ENCINAR J.M., GONZÁLEZ J.F., RODRÍGUEZ J.J., TEJEDOR A., 2002 - **Biodiesel Fuels from Vegetable Oils: Transesterification of *Cynara cardunculus* L. Oils with Ethanol.** Energy & Fuels 16, 443-450. doi:10.1021/ef010174h

FERNÁNDEZ J., CURT M.D., AGUADO P.L., 2006 - **Industrial applications of *Cynara cardunculus* L. for energy and other uses.** Ind. Crops Prod. 24, 222-229. doi:10.1016/j.indcrop.2006.06.010

FRANCAVIGLIA R., BRUNO A., FALCUCCI M., FARINA R., RENZI G., RUSSO D.E., SEPE L., NERI U., 2016 - **Yields and quality of *Cynara cardunculus* L. wild and cultivated cardoon genotypes. A case study from a marginal land in Central Italy.** Eur. J. Agron. 72, 10-19. doi:10.1016/j.eja.2015.09.014

GOMINHO J., FERNÁNDEZ J., PEREIRA H., 2001 - ***Cynara cardunculus* L. - A new fibre crop for pulp and paper production.** Ind. Crops Prod. 13, 1-10. doi:10.1016/S0926-6690(00)00044-3

GOMINHO J., LOURENÇO A., CURT M., FERNÁNDEZ 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. doi:10.1016/j.indcrop.2008.04.022

GOMINHO J., LOURENÇO A., PALMA P., LOURENÇO M.E., CURT M.D., FERNÁNDEZ J., PEREIRA H., 2011 - **Large scale cultivation of**

***Cynara cardunculus* L. for biomass production-A case study.** Ind. Crops Prod. 33, 1-6. doi:10.1016/j.indcrop.2010.09.011

GRAMMELIS P., MALLIOPOULOU A., BASINAS P., DANALATOS N.G., 2008 - **Cultivation and characterization of *Cynara cardunculus* for solid biofuels production in the mediterranean region.** Int. J. Mol. Sci. 9, 1241-1258. doi:10.3390/ijms9071241

LOURENÇO A., NEIVA D.M., GOMINHO J., CURT M.D., FERNÁNDEZ J., MARQUES A.V., PEREIRA H., 2015 - **Biomass production of four *Cynara cardunculus* clones and lignin composition analysis.** Biomass and Bioenergy 76, 86-95. doi:10.1016/j.biombioe.2015.03.009

PARI L., DEL GIUDICE A., POCHI D., GALLUCCI F., SANTANGELO E., 2016 - **An innovative flexible head for the harvesting of cardoon (*Cynara cardunculus* L.) in stony lands.** Ind. Crops Prod. 94, 471-479. doi:10.1016/j.indcrop.2016.09.005

PARI L., ALFANO V., MATTEI P., SANTANGELO E., 2017 - **Pappi of cardoon (*Cynara cardunculus* L.): The use of wetting during the harvesting aimed at recovering for the biorefinery.** Ind. Crops Prod. 108, 722-728. doi:10.1016/j.indcrop.2017.07.037

PISCIONERI I., SHARMA N., BAVIELLO G., ORLANDINI S., 2000 - **Promising industrial energy crop, *Cynara cardunculus*: a potential source for biomass production and alternative energy.** Energy Convers. 41.

RACCUJA S.A., MELILLI M.G., 2004 - ***Cynara cardunculus* L., a potential source of inulin in the Mediterranean environment: Screening of genetic variability.** Aust. J. Agric. Res. 55, 693-698. doi:10.1071/AR03038

RACCUJA S.A., MELILLI M.G., 2010 - **Seasonal dynamics of biomass, inulin, and water-soluble sugars in roots of *Cynara cardunculus* L.** F. Crop. Res. 116, 147-153. doi:10.1016/j.fcr.2009.12.005

RAMOS P.A.B., SANTOS S.A.O., GUERRA A.R., GUERREIRO O., FREIRE C.S.R., ROCHA S.M., DUARTE M.F., SILVESTRE A.J.D., 2014 - **Phenolic composition and antioxidant activity of different morphological parts of *Cynara cardunculus* L. var. *altilis* (DC).** Ind. Crops Prod. 61, 460-471. doi:10.1016/j.indcrop.2014.07.042

KEYWORDS: cardoon, pappi, threshing, biorefinery.

Abstract: Mechanical solutions for the harvesting of pappi of cardoon. The pappi of cardoon (*Cynara cardunculus* L.) flowers form a crown of plumose filaments which aid the wind dispersal of the seeds connected to them. The high cellulose content of this fraction can be a valuable raw material for fiber or pulp products. During threshing, the pappi are discharged together with the other biomass, but as they are liable to blow away, they fly away during discharging and from the windrow. CREA, in the frame of BIT3G Project, has tested several mechanical solutions to collect such material. This study shows in particular the results obtained with a wetting system. The system included a water tank (1000 L), an electric pump, a flow regulator and three pairs of nozzles spraying the solution on the threshed material discharged by the combine in the rear side. Four adjuvant in two concentrations were used to extend the retention time evaluated on artificial surface (plastic panels) or on the crop residues left, behind the combine, in windrow. The wetting resulted a feasible option, compared to no treatment, to keep a certain amount of pappi on the soil. In order to reduce the dispersal and to increase the recovery of the pappi, the combine (equipped with the wetting system) should be rapidly followed by a baler, before the wetting effect disappears.

L'articolo è stato realizzato nell'ambito del progetto BIT3G finanziato dal MIUR nell'ambito del Cluster Tecnologico Nazionale della Chimica Verde Spring



Produttività dell'eucalipto

Un impianto quinquennale in Italia centrale

di LUIGI PARI, ANTONIO SCARFONE, VINCENZO ALFANO, SIMONE BERGONZOLI, ALESSANDRO SUARDI, SANDU LAZAR

L'eucalipto coltivato a scopo energetico permette di ottenere elevate quantità di biomassa, paragonabili a quelle di altre colture di biomasse forestali, specialmente per aree definite border-line per quelle che sono le esigenze climatiche della coltura.

PAROLE CHIAVE: Eucalyptus, piantagioni MRF, raccolta, biomassa, produttività.

Le piantagioni arboree dedicate contribuiscono significativamente a soddisfare la domanda di biomassa legnosa a livello globale. Elevate quantità di legno possono essere prodotte in tempi relativamente brevi a seconda della specie usata e della forma d'allevamento adottata. Nel corso degli anni, le tecniche di gestione degli arboreti sono andate migliorando e l'utilizzo di specie e varietà sempre più produttive sta portando a dei buoni risultati anche in Italia. Le condizioni

climatiche italiane possono essere considerate ottimali per la crescita del pioppo (PARIS *et al.* 2011), che ad oggi è considerata una delle specie più importanti per la produzione di biomassa a livello nazionale. Infatti, nuovi ibridi di pioppo sono stati individuati dai ricercatori attraverso la selezione genetica, mostrando produttività molto elevate (DILLEN *et al.* 2007). Tuttavia, tra le specie arboree coltivate in Italia, anche l'eucalipto sta assumendo una discreta importanza; questo risultato è stato ottenuto grazie alla selezione genetica che ha portato allo sviluppo di ibridi molto produttivi e coltivabili in diversi ambienti italiani (MUGHINI 2016). Va detto che fino agli anni '90 l'eucalipto veniva coltivato in Italia utilizzando semenzali di specie pura, sfruttando la pianta principalmente per scopi protettivi come la difesa del suolo. I risultati sono stati sicuramente positivi, ma fino a quel momento il ruolo dell'eucalipto non andava propriamente nella direzione delle produzioni di biomassa (CORONA *et al.* 2009).

Comunque, lo sviluppo dei nuovi ibridi d'eucalipto e la domanda crescente di biomassa da utilizzare a scopo energetico, specialmente in forma di calore, sono due aspetti che stanno facendo crescere l'interesse per questa specie, che tra l'altro presenta delle caratteristiche molto interessanti legate alla combustione, con valori di potere calorifico simili a quella della quercia (MUGHINI *et al.* 2012).

Il sistema d'allevamento dell'eucalipto più idoneo, in questo momento in Italia, risulta essere la Medium Rotation Forestry (MRF). Questo prevede turni di 5-6 anni e densità d'impianto di 1.100-1.600 piante ad ettaro, in grado di produrre biomassa per uso energetico non solo come "cippato" ma



Figura 1 - Piante di eucalipto di 5 anni.

LUIGI PARI, CREA luigi.pari@crea.gov.it - ANTONIO SCARFONE, CREA antonio.scarfone@crea.gov.it - VINCENZO ALFANO, CREA vincenzo.alfano@crea.gov.it - SIMONE BERGONZOLI, CREA simone.bergonzoli@crea.gov.it - ALESSANDRO SUARDI, CREA alessandro.suardi@crea.gov.it - SANDU LAZAR, CREA sandu.lazar@crea.gov.it

anche come legna da ardere. Quest'ultimo aspetto meriterà delle valutazioni più approfondite in futuro, perché, tra le varie opzioni, la produzione di legna da ardere sembrerebbe essere quella che dia delle prospettive migliori in termini economici. Comunque, se da un lato le prospettive di diffusione dell'eucalipto nel sud Italia sono molto positive, alcuni dubbi rimangono sulla possibilità di coltivare la pianta nel territorio italiano per via delle esigenze climatiche della coltura che non sempre si incontrano con le caratteristiche climatiche dei diversi ambienti italiani. Infatti, la diversità climatica italiana è molto elevata con dei livelli di biodiversità vegetale tra i più alti al mondo e più di 30.000 specie presenti sul territorio. In particolare il Lazio, secondo la carta del fitoclima proposta da BLASI (1994), risulta essere proprio la regione in cui le due macroaree climatiche, la mediterranea e la temperata, si incontrano. L'eucalipto, d'altra parte, è risaputo essere una specie termofila con predilezione per i climi caldi, pertanto le condizioni di crescita e le produttività vanno verificate. Il presente lavoro ha avuto lo scopo di valutare le produzioni di biomassa ottenute da una piantagione di eucalipto MRF quinquennale, formata da cloni misti selezionati dal CREA PLF, arrivata a fine ciclo produttivo in Italia centrale.

MATERIALI E METODI

L'impianto è stato realizzato su un terreno alluvionale a giacitura pianeggiante di poco inferiore ad 1 ha, con tessitura limo-argillosa, difficilmente lavorabile se non in condizione di tempera (COLORIO *et al.* 1996). Il clima della zona è temperato-caldo, tipico dell'Italia centro-meridionale, con temperatura media annua mite (15°C) con escursioni piuttosto modeste e poche giornate annue al di sotto dello zero (20 giorni), precipitazioni medie annue (800 mm) concentrate nel periodo autunno-invernale praticamente esente da nevicate e con vento dominante di modesta o media intensità proveniente da sud-ovest (COLORIO *et al.* 1996).

Il terreno prima della messa a dimora, è stato arato alla profondità media di 30 cm circa, seguita da erpicatura con erpice a dischi. L'impianto è stato realizzato i primi di Luglio 2013, all'inizio del periodo siccitoso estivo.

Per la realizzazione delle prove sono state impiegate talee radicate di 10 mesi di età, allevate in contenitori alveolari, appartenenti ai cloni Viglio, Velino, 14 e 81 (Tabella 1).

La distanza d'impianto adottata è stata di 3 m tra le file e 2 m sulla fila. Le cure colturali nelle prime due stagioni vegetative sono consistite in lavorazioni superficiali con erpice a dischi tra le file, per eliminare le infestanti e ridurre l'evaporazione dell'acqua dal terreno; dalla terza stagione vegetativa in poi, per la pulizia del terreno sono state effettuate due trinciature, una primaverile ed una estiva, annualmente.

Il calcolo delle produttività di biomassa è stato eseguito mediante pesata diretta delle piante, considerando un campione pari a circa il 3% degli alberi totali presenti (30 piante), selezionati in maniera random dal campo e moltiplicato il valore medio ottenuto per il numero di piante ad ettaro effettivamente presenti, tenendo quindi conto della mortalità. Questa era stata registrata al secondo anno da MUGHINI *et al.* (2016) risultando pari al 12%. Per la pesata è stato utilizzato un dinamometro modello (PCE Italia Srl, CS 1000N model

- range di misurazione 1.000 kg e sensibilità 0,2 kg) dalla capacità massima di 500kg. Il valore delle pesate è stato anche riportato a peso secco dopo averne valutato in stufa il contenuto di umidità. Quest'ultima è stata misurata secondo la metodologia standard ISO 18134-1 (2015) prelevando dei campioni di biomassa sia da ramaglie con fogliame che da tronchi, per un totale di 10 campioni (5 per porzione) da 500g circa ciascuno. Al fine di comprendere quanta biomassa potrebbe essere destinata alla produzione di tronchetti per legna da ardere, lo studio di produttività è stato ulteriormente suddiviso in due tesi: biomassa disponibile da piante intere (Figura 1) e biomassa disponibile da piante sramate e cimate (quindi quella effettivamente utile alla produzione di legna da ardere). Per completezza è stato calcolato anche il diametro medio e l'altezza media della piantagione a seguito dell'abbattimento, prendendo in esame 50 piante selezionate in maniera casuale. Il rilievo è avvenuto manualmente e gli strumenti utilizzati sono stati una fettuccia metrica ed un cavalletto dendrometrico. Quindi, lo studio nel suo complesso è stato effettuato per fornire un dato sia sulla produttività totale dell'impianto, che sulle rese delle diverse porzioni legnose, mostrando anche i parametri dendrometrici di riferimento relativi alla crescita media dell'impianto arboreo.

RISULTATI

Nelle Tabelle 2 e 3 sono mostrati rispettivamente i dati di produttività della piantagione e i dati relativi alle misurazioni dei sottocampioni finalizzati allo studio della produttività della pianta singola, con la relativa analisi statistica.

Considerando una mortalità del 12% ed un'umidità calcolata pari al 50%, l'impianto ha prodotto nel complesso 99,9 t ha⁻¹ di biomassa fresca e 50 t ha⁻¹ di biomassa secca, rispettivamente suddivisa in 28,3 t di legno di tronco e 21,7 t di ramaglie e cimati. La produttività annua di biomassa dell'impianto è stata quindi di 20 t ha⁻¹ su base fresca e 10 t ha⁻¹ su base

Nome	Sigla Specie parentali	Costitutore
Viglio (ex 358)	<i>Eucalyptus camaldulensis</i> , E. bicostata	CREA-PLF Roma
Velino (ex 7)	<i>Eucalyptus camaldulensis</i> , E. bicostata	CREA-PLF Roma
14	<i>Eucalyptus camaldulensis</i> , E. bicostata	CREA-PLF Roma
81	<i>Eucalyptus camaldulensis</i> , E. viminalis	CREA-PLF Roma

Tabella 1 - Informazioni sui cloni utilizzati.

	15 piante sramate	15 piante con rami e foglie
Peso (kg)	590,8	1029,4
Media singola pianta	39,3	68,6

Tabella 2 - Pesate delle piante con rami e senza rami.

Rese totali impianto	
	t ha ⁻¹
Biomassa fresca totale	99,9
Biomassa secca totale	50,0
Peso tronchi sramati (fresco)	56,6
Peso tronchi sramati (secco)	28,3
Peso ramaglie (fresche)	43,4
Peso ramaglie (secche)	21,7

Tabella 3 - Produttività dell'impianto.

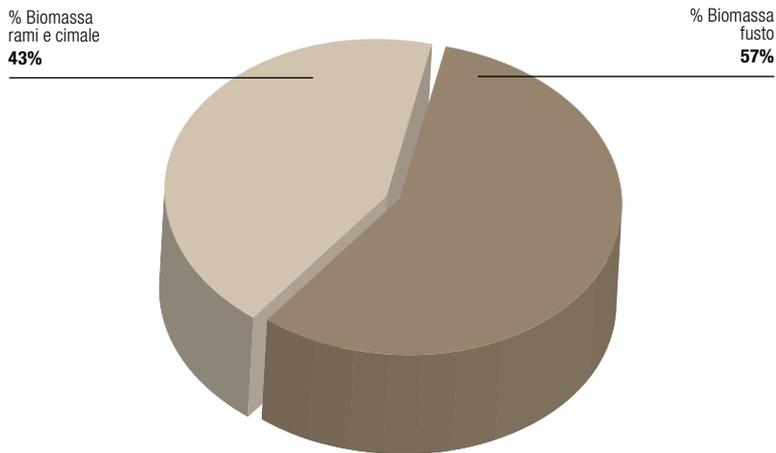


Figura 2 - Ripartizione della biomassa totale.

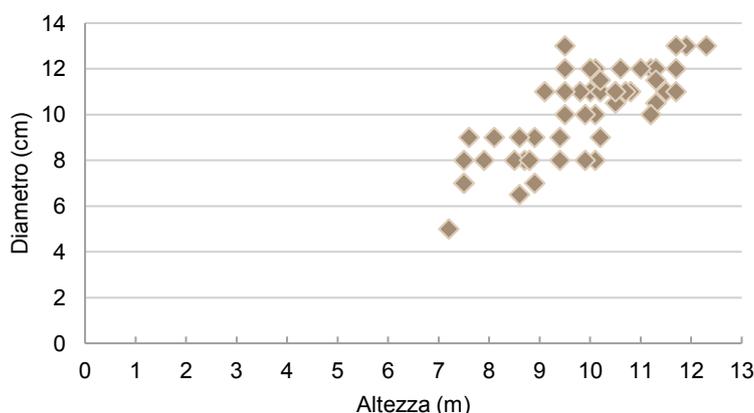


Figura 3 - Rappresentazione grafica della distribuzione delle altezze e dei diametri di 50 piante.

secca. In Figura 2 viene mostrata graficamente la distribuzione di biomassa legnosa derivante da fusto, da ramaglie e cimale. Come si può notare dalla figura, il rapporto tronco ramaglie e quasi 1/1; tale riscontro è giustificabile dalla presenza del fogliame, che nel caso dell'eucalipto risulta persistente a prescindere dalla stagione (pianta sempreverde). Di seguito, in Figura 3, viene riportata graficamente la distribuzione delle altezze e dei diametri misurati su 50 piante. Il diametro medio è risultato di 9,84 cm, mentre l'altezza media è risultata pari a 10,07 m.

CONCLUSIONI

Il presente lavoro ha evidenziato la produttività di una piantagione di eucalipto MRF alla fine del primo ciclo produttivo quinquennale, mostrando come la biomassa prodotta si sia ripartita fra i tronchi e le ramaglie. È opportuno precisare che sarebbe buona norma destinare il prodotto di scarto (fogliame e ramaglie) al reintegro della sostanza organica nel terreno, trinciando il prodotto in campo ed evitando così l'impoverimento del suolo. I risultati hanno comunque

mostrato la buona produttività della coltura e quindi, nel complesso, dei diversi cloni utilizzati nelle condizioni dell'Italia centrale. Le attività future avranno l'obiettivo di verificare le produttività nei turni successivi e indagare a fondo sulle prospettive di mercato della legna da ardere di eucalipto, un prodotto che potrebbe realmente attribuire un elevato valore aggiunto a questo tipo di piantagioni.

Bibliografia

BLASI C., 1994 - **Fitoclimatologia del Lazio**. Fitosociologia 27, 151-175.

COLORIO G., BENI C., FACCIOTTO G., ALLEGRO G., FRISON G., 1996 - **Influenza del tipo di lavorazione reimpianto su accrescimento e stato fitosanitario del pioppo**. L'Informatore Agrario n° 22 pp 51-57.

CORONA P., FERRARI B., IOVINO F., LA MANTIA T., BARBATI A., 2009 - **Rimboschimenti e lotta alla desertificazione In Italia**. Aracne Editrice, Roma, 281 pp.

DILLEN S.Y., MARRON N., BASTIEN C., RICCIOTTI L., SALANI F., SABATTI M., PINEL M.P.C., RAE A.M., TAYLOR G., CEULEMANS R., 2007 - **Effect of environment and progeny on biomass estimation of five hybrid poplar families grown at three contrasting sites across Europe**. Forest Ecology and Management 12- 23.

MUGHINI G., DEL GIUDICE A., CIVITARESE V., SCARFONE A., PARI L., 2016 **Confronto tra cloni di eucalipto da biomassa - comportamento produttivo e risposta all'idrogel**. Supplemento n.2 a Sherwood - Foreste ed Alberi Oggi n 219. ISSN 1590-7805.

MUGHINI G., GRAS M., SALVATI L., FILIPPELLI S., TANCHIS U., 2012 - **Velino e Viglio due cloni per l'eucaliptocoltura italiana**. Sherwood - Foreste ed Alberi Oggi Ottobre 187: 41-45

PARIS P., MARESCHI L., ECOSSE A., 2010 - **Pioppo, fertilizzare quanto il mais per avere una buona produttività**. Terra e Vita (suppl. Bioenergie), 7: 36-38

KEYWORDS: Eucalyptus, Medium Rotation coppice, harvesting, biomass, productivity.

Abstract: Eucalyptus productivity. A five-year plantation in central Italy. Sustainable plantations of short and medium rotation coppice can provide high amount of biomass to satisfy part of the Italian demand for bio-energy production. Among the species currently utilized, Eucalyptus spp. is assuming good relevance because of the high productions achievable in relatively short time, but also for the good wood quality, that is opening some interesting options to better valorize the biomass obtained at the end of the productive cycles. Mediterranean climates are considered suitable for growing Eucalyptus and Italy can largely satisfy the species requirements; however, above certain latitudes, the growing and the productivity of the species has to be verified, because the Italian territory is included in a transition area of two phytoclimatic regions. This study aims at evaluating the biomass productivity of a 5 years Eucalyptus plantation cultivated in central Italy, differentiating the main fractions obtained and verifying the main dendrometric parameters.

L'articolo è stato realizzato nell'ambito del progetto SUSACE finanziato dal MIPAAFT con D.M. 2419 del 20/02/2008



Impianto di eucalipto a media rotazione

Sistemi di stoccaggio a confronto

di LUIGI PARI, SIMONE BERGONZOLI, ALESSANDRO SUARDI, ANTONIO SCARFONE, VINCENZO ALFANO, PAOLO MATTEI, SANDU LAZAR

Si mettono a confronto diverse tecniche di stoccaggio della biomassa specifiche per tre differenti forme: cippato, piante intere e tronchetti conservati in sacchetti.

PAROLE CHIAVE: eucalipto, stoccaggio, cippato, legna da ardere, piante intere.

Il largo consumo del legno nelle varie forme (legna da ardere, cippato e pellet), è principalmente motivato dalla convenienza economica di tale combustibile nei confronti di quelli fossili. Gli impianti di arboricoltura a media o breve rotazione (SRF and MRF) sono un'importante fonte di biomassa ai fini energetici a livello mondiale. La capacità di accrescimento rapido e le scarse richieste di *input* agronomici, offrono la possibilità di produrre grandi quantità di biomassa in suoli marginali o poco produttivi, senza competere con l'uso del suolo ai fini della produzione di cibo.

Grazie allo sviluppo di efficienti sistemi meccanici (PEČENKA e HOFFMANN 2015), la produzione e la raccolta di tali risorse non sono più un problema, ma la raccolta di tali colture avviene nei mesi invernali mentre l'utilizzo per la produzione di energia è pressoché costante e ripartito durante tutto l'anno (PARI *et al.* 2018). Pertanto, si rende necessario trovare delle soluzioni per lo stoccaggio della biomassa anche al fine di limitare le fluttuazioni del mercato dovute a divergenze di domanda ed offerta (GRONALT e RAUCH 2007).

Inoltre, la biomassa deve perdere umidità per poter essere utilizzabile nella maggior parte degli impianti; il sistema di stoccaggio gioca quindi un ruolo fondamentale per raggiungere i requisiti necessari per la conversione energetica della biomassa (AFZAL *et al.* 2009). È interessante notare che lo stoccaggio può essere considerato come uno dei rari processi in cui non viene eseguita nessuna operazione meccanica ma si attuano una serie di trasformazioni mirate a migliorare la qualità del materiale legnoso stoccato (contenuto di umidità, perdite di sostanza secca, contenuto energetico, ecc) (BARONTINI *et al.* 2014).

Limitati studi sono stati incentrati però sullo stoccaggio di piantagioni a media rotazione di eucalipto nell'area Mediterranea anche se questa specie sta acquisendo sempre più interesse in Italia per il suo rapido accrescimento e

la sua elevata produttività. Inoltre, nuovi cloni sono stati sviluppati negli ultimi anni nelle zone Mediterranee come quelle dell'Italia centrale (MUGHINI *et al.* 2014).

A seguito della diffusione di attrezzature moderne per la produzione di energia termica, si sono delineati inoltre nuovi scenari per la differenziazione e la commercializzazione di combustibili legnosi con la possibilità di valorizzare le biomasse lignocellulosiche ad un prezzo nettamente più interessante che in passato, producendo pellet oppure legna da ardere insacchettata.

L'obiettivo dello studio è quello di valutare la forma di stoccaggio più vantaggiosa utilizzando biomassa derivante da un impianto di eucalipto a media rotazione (MRF) e considerando gli aspetti qualitativi, come l'umidità raggiunta dopo stoccaggio, e quantitativi, valutando le perdite di sostanza



Figura 1 - Fase di preparazione del cumulo di tronchi interi sramati di eucalipto quinquennale.

LUIGI PARI, CREA luigi.pari@crea.gov.it - SIMONE BERGONZOLI, CREA simone.bergonzoli@crea.gov.it - ALESSANDRO SUARDI, CREA alessandro.suardi@crea.gov.it - ANTONIO SCARFONE, CREA antonio.scarfone@crea.gov.it - VINCENZO ALFANO, CREA vincenzo.alfano@crea.gov.it - PAOLO MATTEI, CREA paolo.mattei@crea.gov.it - SANDU LAZAR, CREA sandu.lazar@crea.gov.it

secca dovute allo stoccaggio. Lo studio è stato svolto confrontando diverse tecniche di stoccaggio della biomassa specifiche per tre differenti forme: cippato, piante intere e tronchetti conservati in sacchetti.

MATERIALI E METODI

Le prove sono state avviate presso il CREA di Monterotondo, utilizzando biomassa di eucalipto ottenuta da un impianto sperimentale a media rotazione giunto a fine turno (5° anno). Le prove sono state tutte effettuate in un arco temporale di 9 mesi, da Febbraio 2018 ad Ottobre 2018, durante il quale i parametri climatici relativi alle precipitazioni, velocità del vento e temperatura dell'aria sono stati acquisiti usando una centralina meteo "Davis vantage pro 2", posizionata a 200 m circa dai vari siti di stoccaggio. Nello specifico, le forme in cui è stata stoccata la biomassa sono state le seguenti:

- stoccaggio di eucalipto in tronchi interi accatastati;
- stoccaggio di eucalipto in tronchetti confezionati in sacchetti retati;
- stoccaggio di eucalipto cippato in cumulo coperto e scoperto.

Per lo **stoccaggio di eucalipto di tronchi interi** sono state utilizzate 30 piante, abbattute il 15 Febbraio 2018 da un operatore con motosega, sramate e trasportate a bordo campo con trattore Fiatagri 80-90 dotato di accumulatore frontale e accatastate in 2 cumuli (Figura 1). Le piante sono state sramate ed accatastate per riprodurre le condizioni di un cantiere forestale tradizionale anche in virtù del fatto che si è lavorato nell'ottica di poter utilizzare la biomassa per produrre legna da ardere. Un campione di 12 piante abbattute è stato caratterizzato in altezza e diametro a 50 cm dalla base. I cumuli di piante intere sono stati pesati con un dinamometro digitale da 1.000 kg (PCE Italia Srl, CS 1000N model - range di misurazione 1.000 kg e sensibilità 0,2 kg) attaccato al sollevatore frontale di una trattrice. La pesatura è stata quindi ripetuta con cadenza mensile fino al mese di ottobre, mese in cui lo stoccaggio è terminato.

Contestualmente alla pesata mensile, dei campioni legnosi sono stati prelevati in diverse porzioni del fusto per la determinazione del contenuto di umidità.



Figura 2 - Stoccaggio di eucalipto in tronchetti.

La prova di **stoccaggio dei tronchetti insacchettati**, iniziata il 15 Febbraio 2018, è stata effettuata per iniziare uno studio di fattibilità economica sulla filiera dalla legna da ardere insacchettata in campo, derivante da piantagioni di eucalipto MRF. In questa prima fase è stata monitorata la variazione di qualità del legno pezzato ed insacchettato (umidità e perdite di sostanza secca) durante la fase di stoccaggio. A tale scopo sono state pezzate in campo 17 piante mediante sega circolare (Rosselli, mod. Grizzly 700R) alimentata dalla presa di potenza di una trattrice Fiatagri 80-90. I tronchetti ottenuti, lunghi in media 30 cm, sono stati quindi insacchettati manualmente in 26 sacchi retati in nylon, pesati singolarmente ed impilati su un pallet di legno in maniera ordinata per evitare il contatto col terreno (Figura 2). Tre sacchi, esclusi dalle pesate, sono stati posizionati casualmente nel cumulo ed utilizzati per la determinazione dell'umidità durante il periodo di stoccaggio. Questa è stata effettuata attraverso l'estrazione casuale di un tronchetto per sacco, tagliato in rotelle e messo in stufa. La pesatura dei sacchi e la determinazione dell'umidità è stata effettuata con cadenza mensile.

La prova di **stoccaggio del cippato** è stata effettuata utilizzando il resto degli eucalipti della piantagione, in modo da favorire una crescita uniforme del nuovo ciclo (piantazione coetanea). L'abbattimento delle piante è avvenuto a fine Aprile 2018 ad opera di un operatore con motosega. La movimentazione delle piante abbattute è stata eseguita con trattore Fiatagri 80-90, dotato di accumulatore frontale; gli eucalipti sono stati poi accatastati a bordo campo e cippati con una cippatrice Farni CH260. Il prodotto ottenuto è stato pesato, trasportato in un'area pianeggiante presso il CREA, e scaricato su un telo traspirante per evitare il contatto diretto col suolo (Figura 3). Il cumulo creato era lungo circa 20 m, largo 5 m ed alto 3. Metà del cumulo, circa 10 m, sono stati coperti con telo geotext per effettuare altri studi comparativi, mentre in questo lavoro si è tenuto conto della sola parte scoperta. All'interno del cumulo scoperto sono stati inseriti 16 sacchetti di cippato fresco, precedentemente pesati e posti in differenti settori (a mezzo metro da terra, a 1,5 metri da terra, a 2,5 m da terra), con l'obiettivo di quantificare le



Figura 3 - Stoccaggio di eucalipto cippato: preparazione cumulo.

perdite di sostanza secca utilizzando i valori di pesata iniziale e finale, al netto delle umidità. Il calcolo dell'umidità è stato effettuato secondo la norma ISO 14774-2:2009, utilizzando 5 campioni di materiale da 500 g ciascuno, prelevati dal cumulo prima e dopo lo stoccaggio in maniera casuale durante la costruzione (inizio stoccaggio) e l'apertura (fine stoccaggio) del cumulo stesso. La granulometria del prodotto è stata effettuata su tre campioni di cippato fresco da 8 l ciascuno secondo la recente normativa ISO 17827-1-2016.

RISULTATI E DISCUSSIONI

Dopo un turno di cinque anni, al momento dell'abbattimento dell'impianto, le piante in piedi avevano in media un'altezza di 9,7 m, un diametro di 13,1 cm e un peso di 38,2 kg ciascuna. Il valore di umidità del legno al momento del taglio era pari a 50,6%.

Dati meteo

Durante il periodo dello stoccaggio (Figura 4) sono piovuti complessivamente 665,8 mm di pioggia, è stata registrata una temperatura massima di 38,4 °C nel mese di luglio e una temperatura minima di -8,7 °C nel mese di febbraio. La temperatura media durante tutto il periodo di stoccaggio è stata di 17,97 °C.

Stoccaggio di eucalipto in piante intere accatastate senza rami

I due cumuli di piante intere senza rami pesavano 575,8 e 590,8 kg e, considerando che il valore dell'umidità era pari al 50,6%, la quantità di sostanza secca ammontava a 284,7 e 292,1 kg per i due rispettivi cumuli.

Dopo nove mesi di stoccaggio le piante hanno raggiunto un'umidità del 14,2 e 15,8% e il peso è diminuito del 43,0 e del 45,6% fino a raggiungere un valore finale di 328,0 e 321,4 kg. La sostanza secca al termine dello stoccaggio era pari a 281,5 e 270,5 kg mostrando una perdita totale del 1,1 e 7,4%, rispettivamente. In Tabella 1 sono riportati i risultati medi della sperimentazione. Il 15 Settembre il valore dell'umidità registrato era pari a 9,5 e 11,8% mentre il peso ammontava a 319,4 e 315,4 kg. Pertanto l'ultimo mese di stoccaggio ha significato un aumento medio del 4,3% di umidità e di 7 kg di peso della biomassa a causa delle precipitazioni che sono state pari a 55,2 mm.

Stoccaggio di eucalipto in tronchetti confezionati in sacchi di rete allo scoperto

Il cumulo di tronchetti insacchettati sono stati stoccati all'aperto per otto mesi, dal 15 Febbraio al 15 Ottobre 2018. Ogni sacchetto conteneva mediamente una pianta intera privata dei rami, ed aveva un peso medio di 20,8 kg con un'umidità del 50,6%, ed un quantitativo di sostanza secca del 49,4% (Tabella 1). A fine stoccaggio, il contenuto medio di sostanza secca risultava pari all'83,6% del peso totale, ed il contenuto medio di umidità si era abbassato di oltre il 70% (13,6%) in otto mesi. La perdita di sostanza secca registrata a fine stoccaggio risultava di circa il 5% (15 Ottobre 2018). Il 15 Settembre le misurate erano inferiori rispetto ad Ottobre (3,2%) mostrando come, a seguito di un aumento di umidità

della biomassa dovuta alle precipitazioni autunnali, si siano anche attivati nuovamente i processi di degradazione che hanno portato, in un solo mese, ad una perdita di biomassa di circa 2 punti percentuali in più.

Stoccaggio di eucalipto cippato in cumulo scoperto

La prova di stoccaggio, durata complessivamente circa 6 mesi, ha mostrato perdite di sostanza secca elevate, evidenziando la suscettibilità del cippato alla degradazione microbica. Infatti, l'analisi dei vari sacchetti ha rivelato una perdita media del 6,7%. L'umidità è pressoché rimasta invariata, passando dal 49,6 al 48,6%, colpa probabilmente delle dimensioni ridotte dei chips prodotti con la Farmi CH260, che non hanno favorito una sufficiente circolazione dell'aria all'interno del cumulo e quindi il processo di disidratazione. Di seguito sono riportati i risultati dell'analisi granulometrica effettuata su 3 campioni da 8 l ciascuno di cippato fresco (Tabella 2).

L'analisi granulometrica mostra che il cippato ottenuto con la FARMI secondo la normativa vigente rientra nella classe dimensionale del P16, cioè in quella classe in cui più del

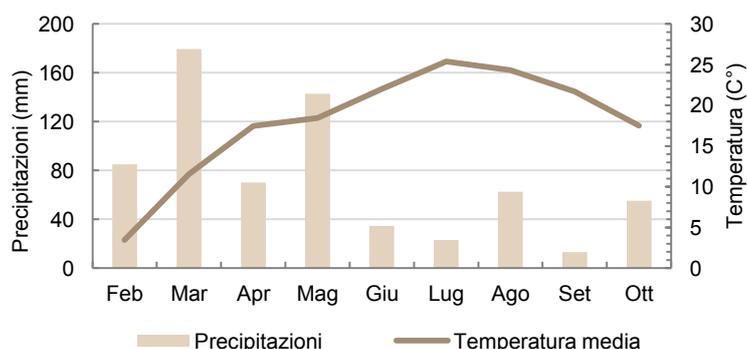


Figura 4 - Precipitazioni e temperature medie registrate durante la finestra di stoccaggio delle diverse prove.

Stoccaggio	Sostanza secca media iniziale (%)	Contenuto medio di umidità iniziale (w%-ar)	Sostanza secca media finale (%)	Contenuto medio di umidità finale (w%-ar)	Perdita media di sostanza secca (%)
Piante intere	49,44	50,56	84,99	15,01	4,26
Tronchetti	49,44	50,56	83,60	16,40	5,10
Cippato	50,32	49,68	51,40	48,60	8,50

Tabella 1 - Perdite di sostanza secca e di umidità per le tre tipologie di stoccaggio.

Setaccio	Frazione in mm	Campione 1 (%)	Campione 2 (%)	Campione 3 (%)	Media (%)
1° setaccio	63-100	0,0	0,0	0,0	0,0
2° setaccio	45-63	0,0	0,0	0,0	0,0
3° setaccio	31-45	0,0	0,0	0,0	0,0
3° setaccio	16-31	1,4	1,5	0,9	1,3
4° setaccio	8-16	16,5	20,3	21,0	19,2
5° setaccio	3,15-8	59,4	58,8	53,8	57,3
Panno collettore	< 3,15	22,8	19,4	24,3	22,2
	Tutte	100,0	100,0	100,0	100,0

Tabella 2 - Risultati delle prove di setacciatura del materiale cippato fresco.

60% del peso delle scaglie è compreso in media tra i 3,15 mm ed i 31 mm di grandezza. Il P16 è un cippato di dimensioni molto piccole che sicuramente determinano in fase di stoccaggio una scarsa circolazione d'aria, un problema che influenza la capacità di disidratazione del prodotto. È probabile anche che sia stata proprio la mancata disidratazione del legno a favorire perdite di sostanza secca così elevate; queste infatti sono provocate da microrganismi fungini e batterici che per svilupparsi prediligono ambienti umidi. In Tabella 1 sono riportati i risultati ottenuti nelle varie prove di stoccaggio.

La prova di stoccaggio delle piante intere ha complessivamente fatto registrare una perdita del 4,26% della sostanza secca ed un calo del 35% del contenuto d'umidità che ha portato, in otto mesi, ad una diminuzione del 44,3% del peso totale.

Lo stoccaggio del legno sotto forma di tronchetti tagliati ed insacchettati in campo, ha mostrato un comportamento simile a quello dello stoccaggio di piante intere. L'umidità dei tronchetti a fine stoccaggio risultava del 13,6% con una perdita di sostanza secca complessiva del 5,1%.

Lo stoccaggio del cippato in cumulo ha infine evidenziato maggiori perdite di sostanza secca (6,65%) e un'umidità quasi invariata rispetto al periodo d'inizio stoccaggio.

CONCLUSIONI

Il test portato avanti dal CREA Centro di ricerca Ingegneria e Trasformazioni agroalimentari da Febbraio a Ottobre 2018, ha permesso di mettere a confronto tre diversi tipi di stoccaggio del legno di eucalipto prodotto da un impianto arboreo a media rotazione (stoccaggio di piante intere, tronchetti insacchettati e cippato in cumulo), individuando il metodo che, a parità di condizioni ambientali, ha permesso di ottenere un prodotto con minore contenuto idrico, e di preservare maggiormente la sostanza secca.

Lo stoccaggio delle piante intere è risultato migliore in termini di perdita di umidità, evidenziando anche ridotte perdite di sostanza secca rispetto agli altri sistemi utilizzati. Lo stoccaggio dei tronchetti insacchettati ha mostrato risultati molto simili a quello delle piante intere. Al contrario, il cippato stoccato in cumuli ha evidenziato perdite più elevate, ed un'umidità finale molto simile alle condizioni di partenza. Il valore di umidità raggiunto a fine stoccaggio di piante intere e tronchetti permetterebbe di utilizzare tale biomassa sia come legna da ardere che come cippato di alta qualità. Nonostante ciò, i valori di umidità riscontrati nell'ultimo mese e confrontati con i dati meteo, evidenziano il fatto che sarebbe **preferibile terminare lo stoccaggio a fine estate**, così da evitare che le precipitazioni autunnali possano alzare nuovamente il contenuto di umidità della biomassa e riattivare i fenomeni fermentativi.

Lo stoccaggio del cippato in cumulo ha confermato quanto già osservato in studi precedenti: la fase di disidratazione e la degradazione del legno è molto influenzata dalla pezzatura del cippato. In questo studio la ridotta dimensione dei *chips* non ha favorito il passaggio d'aria all'interno del cumulo, limitando di fatto il processo di essiccazione che si sarebbe dovuto favorire con le temperature estive.

Futuri studi saranno necessari per valutare le logistiche di stoccaggio più efficienti, e la loro convenienza economica, al fine di individuare il sistema più sostenibile, tenendo anche conto dello spazio necessario per stoccare il materiale, e dell'impatto che questo può avere sui costi totali.

Bibliografia

ISO 14774-2:2009 - **Solid biofuels - Methods for the determination of moisture content - oven dry method.**

ISO 17827-1:2016 - **Solid biofuels - Determination of particle size distribution for uncompressed fuels.**

PECENKA R., HOFFMANN T., 2015 - **Harvest technology for short rotation coppices and costs of harvest, transport and storage.** Agronomy Research 13 (2) (2015) 361e371.

GRONALT M., RAUCH P., 2007 - **Designing a regional forest fuel supply network.** Biomass Bioenergy 31 (2007) 393e402.

AFZAL M. T., BEDANE A. H., SOKHANSANJ S., MAHMOOD W., 2009 - **Storage of comminuted and uncomminuted forest biomass and its effect on fuel quality.** BioResources, 5(1), 55-69.

BARONTINI M., SCARFONE A., SPINELLI R., GALLUCCI F., 2014 - **Storage dynamics and fuel quality of poplar chips.** Biomass and Bioenergy 62, 17, ISSN: 0961-9534, 2014.

MUGHINI G., GRAS M., SALVATI L., 2014 - **Growth performance of selected eucalypt hybrid clones for SRWC in central and southern Italy.** Annals of Silvicultural Research, 38 (1), 2014: 7-12.

KEYWORDS: Eucalyptus, storage, wood chip, fire wood, whole plant.

Abstract: Medium rotation coppice of Eucalyptus: comparison of storage systems. The widespread consumption of wood in its various forms (firewood, wood chips and pellets) is mainly motivated by the economic convenience of this fuel compared to fossil fuels. Medium and short rotation forestry plants (SRF and MRF) have been identified as an important source of biomass for energy purposes worldwide. The rapid growth capacity and low demands for agronomic inputs offer the possibility to produce large quantities of lignocellulosic biomass in marginal or less productive soils, without competing with land use for food production. The dendromass storage system plays a key role in meeting the requirements for its energy conversion. The objective of the study is to maximize the biomass value of a medium rotation Eucalyptus plants (MRF) through the best harvesting and storage system, evaluating three different forms: wood chips, whole plants and logs stored in bags. The research focus on the evaluation of the dynamics of the moisture and dry matter content changing over time for the three different types of storage, as well as to identify the system with the lowest product losses.

Le prove sperimentali sono state condotte nell'ambito del progetto "AGROENER" finanziato dal MIPAAFT con D.D. No. 26329 del 01/04/2016.



Raccolta della canapa da fibra

Esperienze in Emilia Romagna con prototipo Billeter

di LUIGI PARI, ANTONIO SCARFONE, VINCENZO ALFANO, SIMONE BERGONZOLI, ALESSANDRO SUARDI, SANDU LAZAR, RENZO GOBBO, STEFANO VECCHI, ALESSANDRO ZATTA

In larga parte i canapicoltori italiani non riescono a sfruttare appieno le potenzialità della canapa per mancanza di tecnologie adatte alla raccolta e alla lavorazione dei vari prodotti. Sarà necessario quindi individuare tecnologie *ad hoc* per l'Italia al fine di incrementare la redditività della coltura.

PAROLE CHIAVE: canapa, fibra, raccolta, barre falcianti, basso costo.

La canapa (*Cannabis sativa* L.) è una specie erbacea a ciclo annuale con apparato radicale fittonante e con un'altezza che nelle varietà coltivate va generalmente da 1,5 a 3 m. La pianta presenta foglie basali opposte, le più alte alternate, palmate e lanceolate, con punte acuminata. Può essere dioica, con fiori maschili e femminili presenti su piante diverse, o monoica, con fiori maschili e femminili presenti sulla stessa pianta. I frutti sono degli acheni marroni che trattengono strettamente i semi, caratterizzati dall'aver un endosperma carnoso. Generalmente, l'optimum di crescita si identifica in zone climatiche temperate, caratterizzate da temperature medie annue comprese tra i 13 ed i 22°C, accompagnate da precipitazioni moderate (AMADUCCI e GUSOVIVUS 2010, BÓCSA e KARUS 1998). Al di fuori dell'optimum climatico, la specie cresce senza problemi anche in zone mediterranee e sub-tropicali, in diversi tipi di suoli, dimostrando buone caratteristiche di rusticità e adattabilità.

Fino agli anni '70 la canapa era coltivata in Italia in modo estensivo per l'utilizzo della fibra, con picchi di coltivazione raggiunti intorno agli anni 30, quando le superfici coltivate superavano i 100.000 ha (VENTURI e AMADUCCI 1999). Successivamente, con l'avvento delle fibre sintetiche e di alcune leggi che hanno inasprito le norme sulla coltivazione, la canapa in Italia è quasi del tutto scomparsa fino a pochi anni fa.

L'abbandono della coltura dal 1970 ha determinato dei "vuoti" anche nel settore della ricerca, riguardanti specialmente la selezione genetica e lo sviluppo tecnologico, che

nel contesto odierno generano dubbi sulle scelte varietali e problemi sull'identificazione di macchinari idonei alla raccolta e trasformazione. Nonostante le difficoltà, le coltivazioni di canapa in Italia negli ultimi anni sono significativamente aumentate; infatti, grazie anche alla legge n. 242 del 2016, si è passati dai 61 ha del 2011 (<http://dati.istat.it>) ai circa 4.000 ha stimati del 2018 (Coldiretti 2018).



Figura 1 - Prototipo Billeter in azione.

LUIGI PARI, CREA luigi.pari@crea.gov.it - ANTONIO SCARFONE, CREA antonio.scarfone@crea.gov.it - VINCENZO ALFANO, CREA vincenzo.alfano@crea.gov.it - SIMONE BERGONZOLI, CREA simone.bergonzoli@crea.gov.it - ALESSANDRO SUARDI, CREA alessandro.suardi@crea.gov.it - SANDU LAZAR, CREA sandu.lazar@crea.gov.it - RENZO GOBBO, UNIBO renzo.gobbo@unibo.it - STEFANO VECCHI, UNIBO svecchi@agrsci.unibo.it - ALESSANDRO ZATTA, S.I.S zatta.alessandro@gmail.com

L'incremento delle superfici coltivate però non è ancora sufficiente a garantire un giro d'affari rilevante, tale da generare una vera e propria affermazione della filiera nel panorama agricolo nazionale moderno. Infatti, le aziende italiane che hanno deciso di coltivare la canapa, investono perlopiù piccoli appezzamenti di terreno, spinti dal voler "provare" la coltura e i suoi potenziali sbocchi economici in piccola scala soprattutto per quel che riguarda la produzione del seme. Gli appezzamenti sono ancora molto sparsi tra le varie regioni italiane e questa dislocazione frammentata rende complicata la creazione di una filiera rilevante, che potrebbe nascere solamente nel caso in cui le produzioni venissero incrementate e nascessero dei centri di prima trasformazione delle paglie. D'altra parte però gli agricoltori avvertono ancora il rischio dell'investimento, finché non verrà garantito un mercato redditizio dei prodotti ed una gestione semplificata della coltura, con tecnologie annesse. Quindi, il dibattito sui problemi della canapa in Italia ad oggi assomiglia sempre più ad un cane che si morde la coda, con varietà/tecnologie mancanti e con agricoltori che ancora non vogliono rischiare per tali ragioni. Le soluzioni a questo "loop" che si è venuto a creare dovranno essere cercate gradualmente, muovendosi settore per settore.

Per quel che riguarda la raccolta meccanizzata della canapa, diverse attività di ricerca sono state svolte negli ultimi anni dal CREA (PARI *et al.* 2016, PARI *et al.* 2015) per cercare di individuare le soluzioni più convenzionali alle realtà agricole italiane, partendo comunque da esperienze internazionali di successo, come quelle delle aziende del Nord Europa, che dispongono di tecnologie e di sistemi produttivi all'avanguardia in questo settore. Ci si è resi conto comunque che il percorso di meccanizzazione dovrà andare in parallelo a quello della gestione agronomica e della selezione genetica, per arrivare a sviluppare piantagioni produttive, uniformi e quindi più facilmente meccanizzabili.

Tra i vari sbocchi produttivi della canapa, la fibra è sicuramente uno dei più importanti, specialmente in nord Europa,

dove il *business* industriale è quasi tutto incentrato sulla vendita di fibra corta e sottoprodotti da destinare al settore automobilistico, edilizio, del *pet-care* e dei materiali biocompositi. In Italia, al contrario, il mercato della fibra stenta a decollare a causa della scarsità di tecnologie di raccolta e trasformazione; ad oggi infatti la coltivazione della canapa è incentrata sulla produzione di seme, mentre le paglie sono spesso considerate dall'agricoltore un problema più che una risorsa. Tuttavia, nuovi esempi di successo industriale stanno aprendo prospettive interessanti anche per lo sfruttamento delle paglie anche in Italia, fino ad oggi poco valorizzata. Parallelamente è quindi necessario migliorare i sistemi di approvvigionamento della fibra, partendo dalla raccolta meccanizzata. Lo scopo di questo lavoro è stato quello di testare una macchina per la raccolta della fibra, che tra le soluzioni disponibili ad oggi sembra essere ragionevolmente tra le più versatili, adattandosi bene alla realtà italiana. Il sistema è stato sviluppato nell'ambito del progetto Macarena, finanziato della regione Emilia Romagna nell'ambito del programma di sviluppo rurale 2014-2020 con la misura 16.1 (www.progettomacarena.eu/progetto/).

MATERIALI E METODI

La prova ha avuto luogo il 4 Settembre 2018, presso l'Azienda Agraria Università di Bologna AUB (Alma Mater Studiorum) a Ozzano dell'Emilia (BO), su un appezzamento di terreno di circa 1 ha, lievemente collinare di forma rettangolare, sul quale era presente una coltivazione di canapa varietà Futura 75. Il sistema di raccolta si compone di tre barre falcianti, poste a tre altezze differenti (superiore, mediana ed inferiore), montate su una trattrice New Holland TN85DA dotata di presa di forza frontale e avente una potenza di 85 cv. Le barre superiore e mediana vanno a costituire il prototipo oggetto dei test, denominato Billeter, che è stato sviluppato da AUB in collaborazione con ditta costruttrice DCM di Parma. Questo è costituito da un telaio in ferro con attacco a tre punti da montare anteriormente ad un trattore con presa di forza anteriore con potenza media (80/100 CV). Il telaio ha la funzione di sorreggere due strutture, ad ognuna delle quali è montata una barra falciante a doppia lama lunga 180 cm azionata dall'impianto idraulico (pompa, serbatoio, radiatore) annesso al telaio ed alimentato dalla presa di forza anteriore. Le due barre falcianti possono essere regolate a diverse altezze da terra in funzione della biomassa da tagliare e la superiore è posta anteriormente alla sottostante di 60 cm rispetto alla direzione di avanzamento per facilitare il taglio sequenziale delle diverse parti della pianta. In questo test le 2 barre anteriori sono state poste rispettivamente ad un'altezza di 1,75 m e 0,75 m e dal suolo (Figura 1).

Dopo lo sfalcio delle due porzioni superiori del fusto, effettuato con la Billeter, la parte rimanente viene sfalcata con una barra a doppia lama da fienagione, che nel caso della prova è stata una GS modello Superior, da 1,8 m (Figura 2). Il protocollo operativo per lo svolgimento del test di raccolta è stato suddiviso in 3 fasi, rispettivamente:

- rilievi pre-raccolta;
- valutazione delle prestazioni del sistema meccanico durante la raccolta;



Figura 2 - Barra falciante posteriore GS Superior.

- valutazione della qualità del lavoro svolto (post raccolta). Per completezza è stata effettuata anche una valutazione delle prestazioni d'imballatura su materiale sfalciato in precedenza, utilizzando una rotoimballatrice Feraboli Sprinter 165, abbinata ad una trattrice CASE maxxum 115.

Rilievi pre-raccolta

I rilievi pre-raccolta sono stati eseguiti per caratterizzare dal punto di vista agronomico la coltura. Tali operazioni si rendono necessarie per le valutazioni dei prototipi in quanto le prestazioni del sistema meccanico vanno sempre associate alle condizioni di campo trovate. Essendo le prove finalizzate alla raccolta dei fusti per la produzione di fibra, i parametri ritenuti fondamentali e misurati in pre-raccolta sono stati i seguenti:

- Diametro del fusto alla base;
- Altezza media delle piante;
- Densità di piante;
- Peso della biomassa;
- Umidità della biomassa (campione raccolto, sigillato e mandato in laboratorio);
- Stima della biomassa su base secca (sottraendone l'umidità).

I valori sono stati ottenuti utilizzando la media di misurazioni effettuate su 5 *plot* da 1 m² ciascuno, selezionati in maniera casuale nel campo oggetto della prova.

Valutazione delle prestazioni della macchina

I tempi di raccolta sono stati rilevati secondo la metodologia ufficiale della Commission Internationale de l'Organisation Scientifique du Travail en Agriculture (C.I.O.S.T.A.) e le raccomandazioni dell'Associazione Italiana di Genio Rurale (A.I.G.R.) 3A R1, provvedendo a registrare su un apposito *software* sviluppato in ambiente Visual Basic i tempi necessari alle diverse operazioni durante la raccolta e ad eseguire le successive elaborazioni (BOLLI e SCOTTON 1987).

Dallo studio dei tempi sono state individuate: la velocità di lavoro effettiva ed operativa, il rendimento operativo, la capacità di lavoro effettiva ed operativa. Inoltre è stata effettuata la valutazione dei consumi effettuando il pieno al trattore prima dell'inizio della prova e dopo la prova utilizzando un cilindro graduato, rapportando i litri di gasolio consumati alla superficie lavorata.

Qualità del lavoro svolto

Allo scopo di valutare la qualità del lavoro svolto dal sistema di raccolta a tre barre falcianti sono stati rilevati l'altezza di taglio dal suolo e quantificata l'eventuale presenza di prodotto non tagliato dopo il passaggio della macchina. Per l'imballatura invece sono state stimate le perdite di raccolta, valutando il prodotto rimasto a terra dopo il passaggio dell'imballatrice.

RISULTATI E DISCUSSIONI

Caratteristiche morfologiche della coltura

In Tabella 1 vengono mostrate le medie dei rilievi effettuati che attestano le principali caratteristiche della coltura.

Il diametro medio dei fusti è risultato inferiore ad 1 cm, caratteristica che si ritrova spesso nella canapa coltivata per

la produzione di fibra, così come la densità di piante per m² superiore a 100 unità (AMADUCCI *et al.* 2008). La quantità di biomassa disponibile è risultata pari a 40,2 t su base fresca, che riportate su base secca si è ridotta a 16 t ha⁻¹. Tale valore è da considerarsi soddisfacente se confrontato con quello di altri studi, a conferma della vocazione del territorio bolognese per la coltivazione della canapa (PARI *et al.* 2016).

Prestazioni del sistema di raccolta a tre barre falcianti

In Tabella 2 sono riportati i dati relativi alle prestazioni del sistema a tre barre falcianti e dell'imballatrice. Le Billeter ha mostrato elevate prestazioni e consumi contenuti; la capacità operativa è risultata di circa 5 ha h⁻¹, i consumi invece inferiori ai 20 l ha⁻¹.

L'imballatura è stata effettuata su materiale precedentemente sfalciato ed essiccato in campo per 10 giorni con imballatrice Feraboli sprinter 165. La macchina non ha mostrato problematiche di adattamento alla nuova coltura e non sono stati riscontrati ingolfamenti; l'operatività è stata di circa 1 ha h⁻¹. L'andana su cui ha lavorato la macchina di larghezza pari a 1,1 m è stata creata da materiale ranghito in precedenza con ranghinatore a stella la cui larghezza di lavoro utile era di circa 3,6 m.

Qualità del lavoro

I risultati riscontrati nella fase post raccolta hanno evidenziato la qualità del lavoro svolto dal sistema di raccolta Billeter; non sono stati riscontrati casi in cui il prodotto sia stato allettato senza venire tagliato. È importante sottolineare che l'affilatura delle lame, specialmente nel caso della canapa, dovrà sempre essere ottimale, perché il prodotto molto fibroso può facilmente accumularsi nelle fessurazioni presenti tra le lame stesse, causandone il blocco. Durante la fase d'imballatura sono state riscontrate perdite trascurabili, dovute perlopiù a materiale rotto e già parzialmente degradato presente al suolo, che non è stato intercettato dal *pick-up* della Feraboli (Tabella 3 e Figura 3).

Dati della coltura	Unità di misura	Valore
Densità	Piante m ²	108 ± 25
Altezza media	cm	243 ± 32
Diametro medio	mm	8,7 ± 1,1
Umidità della biomassa	%	61 ± 5
Peso medio totale della biomassa nella parcella	kg	4,02 ± 0,7
Stima della biomassa su base secca	t ha ⁻¹	15,7 ± 0,8

Tabella 1 - Caratteristiche e produttività della coltura.

	Unità di misura	Prestazioni sistema di raccolta Billeter	Prestazioni
Imballatrice			
Velocità effettiva	m s ⁻¹	3,72	0,86
Velocità operativa	m s ⁻¹	3,13	0,7
Rendimento operativo	%	84	82
Capacità di lavoro effettiva	ha h ⁻¹	5,92	1,21
Capacità di lavoro operativa	ha h ⁻¹	4,98	0,99
Consumi	l ha ⁻¹	18,61	55,4

Tabella 2 - Dati di operatività del sistema di raccolta Billeter e del cantiere d'imballatura.

	Unità di misura	Valore
Altezza di taglio	cm	16,1 ± 6,8
Materiale non tagliato dalla Billeter	%	0
Perdite d'imballatura	%	0,2

Tabella 3 - Rilievi post raccolta per valutare la qualità del lavoro svolto dal sistema Billeter e dall'imballatrice Feraboli sprinter 165.



Figura 3 - Rotoballa di canapa ottenuta con Feraboli Sprinter 165.

CONCLUSIONI

Il presente lavoro ha descritto e mostrato le prestazioni di una macchina per la raccolta delle paglie di canapa, che tra le soluzioni disponibili ad oggi risulta essere tra le più adatte alla realtà italiana; i vantaggi che sono stati riscontrati possono essere riassunti nei seguenti punti:

- la facilità di trasporto, montaggio ed utilizzazione della macchina abbinata alla velocità di esercizio può contribuire a ridurre le problematiche della prima parte della filiera (taglio, raccolta e stoccaggio) anche per le aziende che hanno ridotte superfici coltivate a canapa;
- l'utilizzo di trattori di media potenza (80-100 CV) abbinato alla leggerezza della struttura le consente operatività anche in condizioni non ottimali di campo (per esempio terreni umidi e con elevate pendenze);
- la struttura molto contenuta del telaio consente inoltre una facile deposizione in normali capannoni di un'azienda agricola;
- la semplicità dei componenti utilizzati (lame falcianti ed impianto idraulico) consente una facile e rapida manutenzione della macchina.

Tuttavia è da sottolineare che la macchina non effettua la separazione del seme e il mercato della sola paglia, almeno fino a quando non saranno disponibili impianti delocalizzati per la lavorazione delle paglie, difficilmente si affermerà. Deve essere valutata quindi la possibilità di utilizzare questo sistema dopo il passaggio della mietitrebbia, per valorizzare anche le paglie dopo il seme oppure la possibilità di abbinare un sistema di trasporto della parte apicale tagliata dalla prima barra falciante per permetterne successivamente la trebbiatura a punto fisso.

Bibliografia

AMADUCCI S., GUSOVIVUS H.J., 2010 - **Industrial Applications of Natural Fibres: Structure, Properties and Technical Applications**. Chapter 6, pp.1-57.

AMADUCCI S., A. ZATTA F. PELATTI, G. VENTURI, 2008 - **Influence of agronomic factors on yield and quality of hemp (*Cannabis sativa* L.) fibre and implication for an innovative production system**. Field crops Research, 107, pp.161-169.

BOLLI P., SCOTTON M., 1987 - **Lineamenti di tecnica della meccanizzazione agricola**. Edagricole.

BÖCSA I., KARUS M., 1998 - **The cultivation of hemp: botany, varieties, cultivation and harvesting**. Hemptech Sebastopol, California, USA

COLDIRETTI 2018 - **Coldiretti Articolo Economia. Nasce la New Canapa Economy, aumentano di 10 volte i terreni coltivati**. www.coldiretti.it/economia

PARI, L., BARANIECKI, P., KANIEWSKI, R., SCARFONE, A., 2015 - **Harvesting strategies of bast fiber crops in Europe and in China**. Industrial Crops and Products, 68, pp. 90-96.

PARI L., SCARFONE A., ALFANO V., 2016 - **La raccolta della canapa in Romania - valutazione di un sistema innovativo per l'approvvigionamento del seme, della fibra e dei residui di trebbiatura**. Supplemento n.2 a Sherwood - Foreste ed Alberi Oggi n 219. ISSN 1590-7805

VENTURI G., AMADUCCI M.T., 1999 - **Canapa (*Cannabis sativa* L.)**. In *Le Culture Da Fibra*, ed. G. Venturi and M.T. Amaducci, 33-55. Bologna: Edagricole.

KEYWORDS: hemp, fiber, harvesting, cutting bars, low-cost.

Abstract: Harvest of hemp: testing of the prototype "Billeter" in Emilia Romagna region. The rediscovery of the hemp-based products in the food and non-food industries is attracting investors worldwide, leading to a significant extension of the land cultivated with industrial hemp (*Cannabis sativa* L.). However, according to country and regions, the cultivation of hemp faces different problems that slow down the development of efficient productive chains. For instance, in Italy, the lack of harvesting and processing technology for fiber production, is leading farmers that harvest the hemp seeds to consider the hemp straw a problem rather than a resource. There are examples in Europe of successful chains developed at large industrial scale for the valorization of different hemp products obtained from seeds, flower and fibers, but for the actual hemp Italian productive model is hardly feasible. This is because hemp farmers in Italy are small and very scattered in the national territory to justify high centralized investments. For this reason, appropriate small technologies for both harvesting and processing of hemp products would be needed to build up a production chain suitable for the Italian scenario to fully exploit the potential of the plant, even in marginal conditions where common technologies cannot work. In this regard, the present paper aims at testing a low-cost harvest solution for fiber production. The system is based on three cutting bars that generate pieces of straw shorter than 1 m, to be successively windrowed and baled with common baling machines. Results from field testing displayed interesting performance in terms of machine field capacity (ha/h), seed/straw losses and fuel consumption (l/ha).

Ringraziamenti

Si ringrazia lo staff tecnico dell'azienda agraria Università di Bologna e del personale coinvolto nel progetto MACARENA per la disponibilità mostrata durante lo svolgimento dell'attività.

Le prove sperimentali sono state condotte nell'ambito del progetto Europeo "Magic" (grant agreement No.727698). Il progetto Magic è finanziato dal programma EU H2020.



Meccanizzazione nei Paesi in Via di Sviluppo

Considerazioni sugli aspetti sociali ed ambientali per operare le scelte più idonee

di LUIGI PARI

I criteri di selezione delle linee di meccanizzazione da inserire nei Paesi in Via di Sviluppo (PVS) devono essere sviluppati da Enti con competenze meccaniche, sociali ed ambientali e che non abbiano interessi alla vendita delle macchine. La collaborazione istituzionale tra Enti di Ricerca o tra Ministeri dell'Agricoltura promuove il trasferimento tecnologico tra l'Italia, terzo produttore mondiale di macchine agricole, e i Paesi che necessitano la sostituzione delle pratiche agricole manuali con quelle meccanizzate.

PAROLE CHIAVE: meccanizzazione, PVS, collaborazioni istituzionali.

Nell'ambito di un Accordo di Collaborazione tecnica tra il CREA Centro di ricerca Ingegneria e Trasformazioni agroalimentari e il SRA (Sugar Regulatory Administration) Dipartimento del Ministero dell'Agricoltura Filipino, è stato condotto uno studio preliminare per prevedere la sostituzione graduale della raccolta manuale della canna da zucchero con la raccolta meccanizzata.

Molti Paesi in via di sviluppo stanno affrontando la sostituzione dei processi produttivi agricoli da manuali a meccanizzati, come è già avvenuto negli anni passati in altri Paesi.

Normalmente il processo inizia sostituendo la trazione animale con quella meccanica per la lavorazione del terreno, importando trattori dai Paesi industrializzati, (Figura 1) poi si importano macchine per trattamenti antiparassitari, lotta alle malerbe, distribuzione fertilizzanti ed infine macchine per la raccolta dei prodotti, la sostituzione delle pratiche manuali con quelle meccanizzate avviene quindi per stadi, incrementando il parco macchine.

L'introduzione di sistemi meccanizzati in questi Paesi si presenta con urgenza ed è di solito generata da una improvvisa carenza di manodopera; gli agricoltori, ad un inizio di sviluppo economico del Paese, preferiscono spostarsi nelle città dove possono trovare lavori meno pesanti e più remunerativi, ciò comporta l'impossibilità di reperire manodopera durante la raccolta dei prodotti, fase che quando

effettuata manualmente richiede un elevato impegno di ore lavorative (canna da zucchero, riso, grano ecc); la mancanza di manodopera può portare anche all'abbandono di terreni



Figura 1 - Trattori utilizzate per la lavorazione del terreno.

LUIGI PARI, CREA luigi.pari@crea.gov.it

produttivi.

In passato si è assistito a diversi errori in questa fase: la mancanza di esperti e specialisti di macchine agricole, la necessità di adattare i sistemi di coltivazione tradizionali ai sistemi che permettano la introduzione della meccanizzazione, l'interesse dei venditori di macchine agricole a piazzare il proprio prodotto piuttosto che a fornire soluzioni idonee, sono tutte condizioni che possono generare l'introduzione di sistemi meccanici non idonei per le particolari condizioni socio-economiche del Paese e quindi portare a nuovi problemi sociali ed ambientali oltre che economici.

Si può portare come esempio l'introduzione della raccolta meccanizzata della canna da zucchero in Brasile per studiare il possibile impatto sociale che la sostituzione della manodopera con le macchine agricole può generare.

Il processo iniziato nel 1997 oggi vede quasi l'80% della coltura della canna da zucchero meccanizzata integralmente, fatta eccezione nel nord-est montuoso, dato che queste macchine lavorano su superfici con pendenza massima di 12°.

La raccolta manuale è infatti un lavoro estenuante che richiede un alto livello di forza e resistenza muscolare ed essendo i lavoratori pagati a cottimo, le malattie sul lavoro dovuto allo stress eccessivo erano in continuo aumento.

Le raccogliatrici introdotte lavorano 24 ore al giorno durante i periodi di raccolta, tagliano le canne in pezzi di 30 cm e li caricano su carri per il trasporto all'industria saccarifera. Dato che il cantiere ha una capacità operativa di circa 20 t h⁻¹, lavora 24 ore al giorno, il costo di raccolta è stato ridotto considerevolmente rispetto alla raccolta manuale.

Uno dei problemi principali generato dalla introduzione delle macchine da raccolta è stata la perdita di lavoro da parte

delle fasce sociali più povere e quindi deboli e di difficile ricollocazione. In Brasile migliaia di tagliatori di canna, per lo più con scarse competenze lavorative, hanno perso il lavoro dato che una raccogliatrice può sostituire il lavoro manuale di 100 operatori.

La Tabella 1 riporta, per le diverse Regioni Brasiliane, il numero di tagliatori di canna prima e dopo la introduzione delle raccogliatrici di canna da zucchero.

Inoltre, la raccolta meccanizzata della canna da zucchero richiede impostazioni colturali specifiche che implicano la pianificazione dell'impianto idoneo alla raccolta meccanizzata fin dall'inizio. A seconda della raccogliatrice difatti bisogna optare per file singole o binate, la distanza tra le file deve permettere il passaggio della raccogliatrice, il terreno deve essere il più possibile livellato riducendo asperità e presenza di inerti.

La pianta deve crescere il più possibile in posizione eretta e non allettarsi e la presenza di erbe infestanti deve essere contenuta. Quindi l'introduzione di macchine per la raccolta non può essere improvvisata ma programmata per tempo impostando i sistemi colturali, formando il personale e prevedendo sistemi di trasporto e pre-trattamento in grado di gestire i quantitativi prodotti da ciascuna macchina.

ASPETTO SOCIALE

L'introduzione di sistemi di meccanizzazione dovrebbe essere calibrata in relazione alla possibilità da parte delle imprese locali di assorbire la manodopera in esubero, per esempio introducendo solo sistemi di agevolazione laddove le possibilità di ricollocazione degli operai sia difficoltosa oppure inserire sistemi completamente meccanizzati qua-

Regione	Numero di operatori prima della introduzione della meccanizzazione, 1997	Numero di operatori dopo la introduzione della meccanizzazione	Riduzione delle persone impiegate in percentuale rispetto al 1997
Nord	2.043	198	90%
Nord-est	225.911	119.334	47%
Ovest	35.746	11.036	69%
Sud - est	194.669	95.320	51%
Sud	52.282	11.487	78%
Totale Brasile	510.651	237.375	54%

Fonte: GUILHORO et al. 2001 - *Emprego e Mecanização na Colheita da Cana de Açúcar: Diferenças Regionais (Employment and Mechanization in the Sugarcane Harvest: Regional Differences)*. Unpublished manuscript.

Tabella 1 - Numero di tagliatori di canna prima e dopo la introduzione delle raccogliatrici di canna da zucchero in Brasile.



Figura 2 - Fase di taglio manuale della canna.



Figura 3 - Fase di trasporto della canna.

lora vi sia carenza di manodopera. Nell'ambito dell'accordo CREA/SRA, nelle Filippine difatti si è provveduto a dividere le fasi della raccolta manuale della canna da zucchero ed a valutarle singolarmente. La **fase 1** è il taglio alla base ed il taglio apicale utilizzando un machete, successivamente le canne vengono caricate su carri trainati da bufali (**fase 2**) e scaricati a bordo campo in cumuli (Figura 2 e 3) per poi essere caricati manualmente su camion, caricando fascine di 60-80 kg sulle spalle e salendo su scalette fino alla sommità del camion (**fase 3**).

A differenza da quanto ci si potrebbe aspettare, la fase più faticosa e pericolosa per l'uomo è la fase 3. Non vengono riferiti difatti importanti incidenti nell'uso del machete mentre vengono riportati, anche in bibliografia, lussazioni della spalla e fratture da caduta durante il carico del prodotto su camion (Figura 4).

Una soluzione quindi per non creare problemi sociali dovuti alla perdita di lavoro da parte dei tagliatori di canna, in quelle Regioni in cui non vi è una spiccata carenza di manodopera, può essere la sostituzione della Fase manuale più faticosa e pericolosa, in questo caso la 3, con semplici sollevatori frontali montati su trattori (Figura 5).

Laddove invece vi sia carenza di manodopera per gli aspetti già riportati, l'introduzione di un sistema di totale meccanizzazione della raccolta può essere preso in considerazione (Figura 6).

ASPETTO AMBIENTALE

Un altro aspetto da dover tenere in considerazione oltre all'aspetto sociale è quello ambientale; diversi sistemi meccanizzati che sono stati introdotti in passato hanno creato problemi di compattamento del suolo, perdita di fertilità, diminuzione della produttività ecc., altri sistemi hanno invece ridotto l'impatto ambientale della coltura.

Per esempio, considerando l'aspetto della bruciatura delle foglie di canna da zucchero, l'introduzione della meccanizzazione ha risolto diversi problemi ambientali.

La combustione pre-raccolta delle foglie di canna da zucchero è una pratica comune che consente ai raccoglitori di operare più rapidamente, subendo meno lesioni personali ed allontanando gli animali potenzialmente pericolosi (serpenti). Il processo di combustione, tuttavia, ha impatti negativi sull'ambiente, sulla salute umana e sul contenuto zuccherino della pianta. La bruciatura difatti può provocare la morte di un gran numero di specie animali a causa della temperatura di combustione, che può raggiungere 800°. Inoltre, il calore derivante dalla combustione riduce la quantità di acqua nel terreno e ne cambia le caratteristiche strutturali. La combustione della canna da zucchero emette anche alti livelli di particolato, monossido di carbonio, ossidi di azoto, ossidi di zolfo e metano, provocando gravi problemi di salute per i lavoratori che respirano la fuliggine mentre lavorano, così come quelli che vivono nei villaggi vicini.

La meccanizzazione elimina il bisogno di bruciare le foglie in pre-raccolta, accelerando il processo di raccolta, eliminando le emissioni nocive e incrementando così la produttività in termini di quantità e qualità. Il miglioramento delle prestazioni, della qualità delle condizioni di lavoro e della qualità del



Figura 4 - Fase di caricamento manuale su camion.



Figura 5 - Fase di caricamento meccanizzato su camion.



Figura 6 - Meccanizzazione integrata della raccolta di canna da zucchero.

prodotto ottenuto ha aumentato difatti la attrattività economica di questa coltura passando dalla raccolta manuale a quella completamente meccanizzata.

CONCLUSIONI

Una pianificazione scientifica è necessaria al fine di selezionare le più promettenti catene di meccanizzazione da introdurre in ambienti che ne sono privi in relazione alle situazioni sociali, economiche ed ambientali, che sono differenti da Paese a Paese e nello stesso Paese da Regione a Regione. Questo studio dovrebbe essere sviluppato da un organismo scientifico e preparato che non abbia interessi economici nella vendita delle macchine agricole.

L'introduzione dei sistemi di meccanizzazione più idonei non si deve fermare alla sola vendita ma è necessario prevedere un percorso per formare i formatori locali, in modo che si attivi un sistema di trasferimento di conoscenze che consideri tutti i lavoratori che opereranno con le nuove macchine. In questa fase di riconversione del personale deve essere posta attenzione non solo alla capacità di utilizzare al meglio la macchina (regolazioni, metodo di condurre l'operazione, ecc.) ma specialmente agli aspetti legati alla sicurezza che vengono solitamente non considerati. Per questo, l'introduzione di sistemi di meccanizzazione deve avvenire parallelamente alla introduzione di corsi di formazione, a tutti i livelli, dalle aule universitarie ai villaggi, in modo da accrescere la consapevolezza dell'uso delle macchine agricole nella giusta maniera ed in condizioni di sicurezza, specialmente nelle giovani generazioni e preparando i tecnici che effettueranno la manutenzione delle macchine con corsi specifici.

Bibliografia

ADAM E. AHMED, AMNA O.M. ALAM-ELDIN - 2015 - **An assessment of mechanical vs manual harvesting of the sugarcane in Sudan - The case of Sennar Sugar Factory.** Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences (2015) 14, 160-166

JOSEF KIENZLE, JOHN E. ASHBURNER, BRIAN G. SIMS, 2013 - **Plant production and protection division.** Food and agriculture organization of the united nations Rome, ISSN 1020-4555

ESCAP/RNAM., 1990 - **RNAM experiences shared in Euro-African confab.** RNAM Newsletter, No. 37, April: 21.

FRASER C., 1985 - **FAO experience in audiovisual training methods.** ESCAP/RNAM. 1985. RNAM Newsletter, No. 22, April: 14-15.

JAIN B.K.S., 1986 - **Effective channels for marketing small farm equipment.** ESCAP/ RNAM. 1987. RNAM Newsletter, No. 28, April: 18-19.

SARH 1986 - **Memoria: Conferencia sobre la formación de una red de mecanización agrícola para el pequeño agricultor.** Campo Experimental Cotaxtla. Veracruz, México. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. 523p.

KEYWORDS: mechanization, developing countries, institutional collaborations.

Abstract: Mechanization in agriculture in developing countries. As part of a Collaboration Agreement between CREA and SRA (Sugar Regulatory Administration) Department of the Philippine Ministry of Agriculture, a preliminary study was conducted to provide the gradual replacement of manual sugar cane harvesting with mechanized harvesting systems. The selection criteria of the mechanization lines to be inserted in the Developing Countries (PVS) that require the replacement of manual agricultural practices with mechanized ones, are reported, taking into account the social and environmental implications.

Innovativo sistema GPS

Uno strumento per lo studio dei tempi di lavoro nel settore delle agroenergie

di LUIGI PARI, VINCENZO ALFANO, PAOLO MATTEI, ANTONIO SCARFONE, SIMONE BERGONZOLI, ALESSANDRO SUARDI

In questo lavoro è stata valutata l'affidabilità di un innovativo sistema GPS finalizzato alla misurazione dei tempi di lavoro delle macchine coinvolte nel settore delle agroenergie.

PAROLE CHIAVE: bioenergia, agricoltura di precisione, GIS, GPS.

Lo sviluppo della bioeconomia avvenuto negli ultimi anni è stato accompagnato da una domanda crescente di biomassa (SCARLAT *et al.* 2015). Oggi si assiste ad una competizione per i suoi diversi usi: produzione di energia (calore, elettricità, biocarburanti), biomateriali (ad esempio carta, materiali da costruzione, prodotti chimici, biofertilizzanti), alimenti e mangimi (IEA Bioenergy)

Tale competizione richiede una migliore gestione delle risorse e la minimizzazione dei costi operativi. Tra questi, i costi delle macchine agricole impiegate nella raccolta e movimentazione dei prodotti e sottoprodotti, rappresentano la voce principale di spesa. Aumentare l'efficienza dei cantieri di raccolta consente di ridurre i costi di qualsiasi sistema di produzione agricola (EHSANI 2010). L'efficienza dipende prima di tutto dal tipo e dalla potenza delle macchine utilizzate, ma anche dalle condizioni di campo, che possono essere molto variabili.

Al fine di incrementare l'efficienza dei sistemi agricoli, i ricercatori impegnati nel settore dell'ingegneria agraria valutano le prestazioni delle macchine agricole adottando metodologie scientifiche che si basano sul rilievo dei tempi di lavoro. Generalmente ciò avviene manualmente, utilizzando cronometri e registrando su carta le loro osservazioni riferite a parcelle rappresentative di superfici anche di notevoli estensioni. Sebbene questo approccio sia rigoroso dal punto di vista scientifico, esso richiede tempo e la presenza sul sito durante i test.

Alcune esperienze sono state fatte in passato per ottenere misurazioni dell'efficienza di campo grazie al monitoraggio GPS - Global Positioning System (EHSANI 2010, TOPAKCI *et*

al. 2010, OMRANI *et al.* 2012, MAGAGNOTTI e SPINELLI 2012, STRANDGARD e MITCHELL 2015). Questa tecnologia è oggi sempre più accessibile con lo sviluppo dell'agricoltura di precisione. A partire dalla sua nascita, avvenuta nei primi anni '80, l'agricoltura di precisione ha notevolmente diffuso l'utilizzo del GPS nelle pratiche agricole, con una complessità crescente fino ai nostri giorni, come la guida parallela, la mappatura delle rese, l'applicazione a rateo variabile dei diversi input colturali (TAYARI *et al.* 2015).

Il CREA Centro di ricerca Ingegneria e Trasformazioni agroalimentari, in collaborazione con un'azienda ICT, ha



Figura 1 - Dispositivo ARVAnav 2 all'interno della cabina della mietitrebbia.

LUIGI PARI, CREA luigi.pari@crea.gov.it - VINCENZO ALFANO, CREA vincenzo.alfano@crea.gov.it - PAOLO MATTEI, CREA paolo.mattei@crea.gov.it - ANTONIO SCARFONE, CREA antonio.scarfone@crea.gov.it - SIMONE BERGONZOLI, CREA simone.bergonzoli@crea.gov.it - ALESSANDRO SUARDI, CREA alessandro.suardi@crea.gov.it

MATERIALI E METODI

Caratteristiche del sito e della prova sperimentale

Lo studio è stato condotto a Luglio 2016 sui campi di proprietà del CREA a Monterotondo (comune di Roma) durante la raccolta di circa 12 ha di piantagioni di orzo. I canali di drenaggio, presenti a distanza regolare sui campi, sono stati utilizzati per dividere la superficie in 10 lotti di circa 1 ha ciascuno.

Lo studio dei tempi di lavoro è stato quindi eseguito sia con l'innovativo sistema GPS, installato sulla mietitrebbia, sia con misurazioni manuali da parte dei ricercatori.

Sistema GPS

L'innovativo sistema, denominato ARVAnav2, è costituito da un dispositivo sviluppato da ARVATEC srl per la guida parallela delle macchine agricole, progettato secondo le indicazioni del CREA allo scopo di studiare i tempi di lavoro. Il dispositivo è costituito da un PC rugged touch screen da 8,4" con un ricevitore GPS integrato (Figura 1). Viene installato all'interno della cabina di guida della mietitrebbia ed è alimentato da una presa da 12 V. Un software dedicato, denominato ArvaCiosta, sviluppato per analizzare i dati registrati da ARVAnav2, completa il sistema.

ARVAnav2 registra, ogni secondo, le coordinate, la velocità istantanea e la direzione di avanzamento della mietitrebbia; il software ArvaCiosta elabora tali informazioni ed assegna ad ogni punto un'etichetta che può corrispondere ad un tempo di lavoro netto (TN), tempo di voltata (TV) o tempo di fermata (TF). Le informazioni raccolte dal sistema sono restituite in forma grafica e tabellare (Figura 2 e 3). Il percorso seguito dalla mietitrebbia viene rappresentato come un insieme continuo di punti, corrispondenti ai rilievi istantanei (Figura 2). Grazie ad una serie di strumenti di interrogazione ed interazione, è possibile acquisire le informazioni collegate ad ogni punto, modificarne manualmente lo stato, calcolare la superficie lavorata e misurare le distanze percorse. Tutte le informazioni registrate dal sistema possono essere esportate per essere gestite con applicazioni GIS e CAD e visualizzate su Google Maps (Figura 4).

Misurazione dei tempi di lavoro

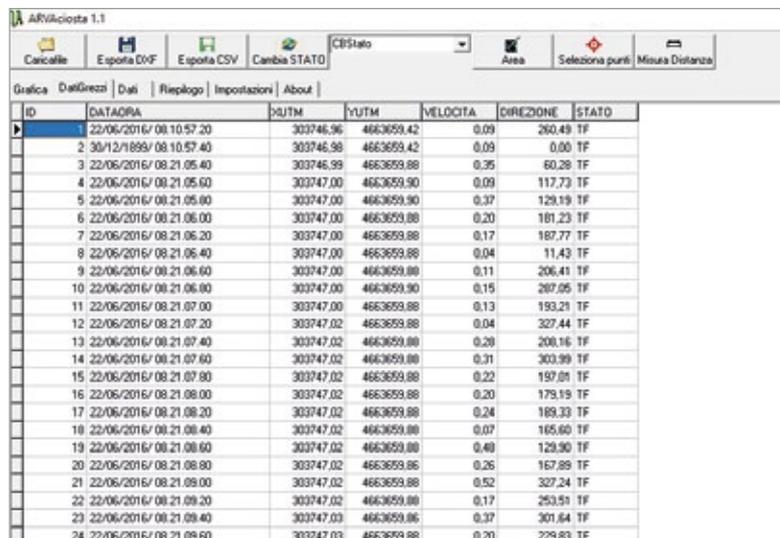
I tempi di lavoro sono stati registrati manualmente da un ricercatore munito di cronometro, seguendo la metodologia adottata dalla Commissione Internazionale dell'Organizzazione Scientifica del Lavoro in Agricoltura (C.I.O.S.T.A) e dalla Società Italiana di Ingegneria Agricola (A.I.I.A.) (BODRIA *et al.* 2006, BOLLINI e SCOTTON 1987).

RISULTATI E DISCUSSIONE

Sebbene l'analisi statistica non abbia evidenziato differenze significative tra le due modalità di rilievo dei tempi, il sistema GPS sembra sovrastimare sia il tempo di voltata che il tempo di fermata (Figura 5).

La prima osservazione può essere spiegata perché la mietitrebbia, prima di cominciare a lavorare su file parallele, ha continuato la raccolta anche durante le voltate iniziali per

sviluppato nel 2010 un sistema GPS specifico per misurare i tempi di lavoro delle macchine coinvolte nel settore delle agroenergie, presentato nello speciale Sherwood n. 168 del 2010 (PARI e CIVITARESE 2010). Da allora, lo strumento ed il relativo software, sono stati costantemente aggiornati grazie all'utilizzo in attività di ricerca di pieno campo. Questo articolo presenta i risultati di uno specifico test realizzato per dimostrarne l'affidabilità.



ID	DATAORA	XUTM	YUTM	VELOCITA	DIREZIONE	STATO
1	22/06/2016/08.10.57.20	303746.96	4663659.42	0.09	260.49	TF
2	30/12/1899/08.10.57.40	303746.98	4663659.42	0.09	0.00	TF
3	22/06/2016/08.21.05.40	303746.99	4663659.88	0.35	60.28	TF
4	22/06/2016/08.21.05.60	303747.00	4663659.90	0.09	117.73	TF
5	22/06/2016/08.21.05.80	303747.00	4663659.90	0.37	129.19	TF
6	22/06/2016/08.21.06.00	303747.00	4663659.88	0.20	181.23	TF
7	22/06/2016/08.21.06.20	303747.00	4663659.88	0.17	187.77	TF
8	22/06/2016/08.21.06.40	303747.00	4663659.88	0.04	11.43	TF
9	22/06/2016/08.21.06.60	303747.00	4663659.88	0.11	206.41	TF
10	22/06/2016/08.21.06.80	303747.00	4663659.90	0.15	287.05	TF
11	22/06/2016/08.21.07.00	303747.00	4663659.88	0.13	193.21	TF
12	22/06/2016/08.21.07.20	303747.02	4663659.88	0.04	327.44	TF
13	22/06/2016/08.21.07.40	303747.02	4663659.88	0.28	208.16	TF
14	22/06/2016/08.21.07.60	303747.02	4663659.88	0.31	303.99	TF
15	22/06/2016/08.21.07.80	303747.02	4663659.88	0.22	197.01	TF
16	22/06/2016/08.21.08.00	303747.02	4663659.88	0.20	179.19	TF
17	22/06/2016/08.21.08.20	303747.02	4663659.88	0.24	189.33	TF
18	22/06/2016/08.21.08.40	303747.02	4663659.88	0.07	165.60	TF
19	22/06/2016/08.21.08.60	303747.02	4663659.88	0.48	129.90	TF
20	22/06/2016/08.21.08.80	303747.02	4663659.86	0.26	167.89	TF
21	22/06/2016/08.21.09.00	303747.02	4663659.88	0.52	327.24	TF
22	22/06/2016/08.21.09.20	303747.02	4663659.88	0.17	253.51	TF
23	22/06/2016/08.21.09.40	303747.03	4663659.86	0.37	301.64	TF
24	22/06/2016/08.21.09.60	303747.03	4663659.88	0.20	229.83	TF

Figura 2 - Dati registrati durante la raccolta.

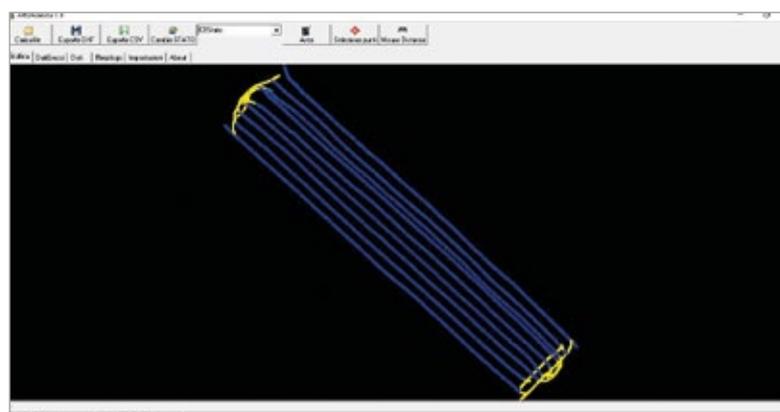


Figura 3 - Percorso seguito dalla mietitrebbia durante la raccolta.



Figura 4 - Percorso sovrapposto alla mappa di Google.

aprire i bordi del campo. Mentre il ricercatore attribuisce correttamente a questa operazione un tempo di lavoro netto, il software ArvaCioستا identifica, invece, questi passaggi come voltate. Ciò si verifica quando la direzione di avanzamento ha un angolo superiore ad un valore soglia preimpostato e, ovviamente, indipendentemente dal fatto che la mietitrebbia sia in fase di raccolta o meno.

Le differenze nel tempo di fermata possono dipendere da due fattori concomitanti. In primo luogo, il dispositivo GPS inizia a registrare immediatamente dopo il setup iniziale, qualche attimo prima dell'inizio effettivo del lavoro. Inoltre, le brevi soste della mietitrebbia che si verificano di tanto in tanto durante la raccolta, per evitare l'intasamento del sistema di alimentazione, sono interpretate dal software come tempi di inattività, ma sono generalmente ignorate dai ricercatori. Nonostante i valori di soglia siano stati impostati al meglio, è stato necessario intervenire manualmente per riassegnare in modo corretto l'etichetta ad alcuni punti per i quali sono risultati evidenti errori di interpretazione da parte del software. Successivamente a tali correzioni, il confronto statistico dei risultati generati dal software e quelli ottenuti manualmente dai ricercatori, non ha evidenziato differenze significative (Tabella 1).

CONCLUSIONI

Il test sul campo ha dimostrato l'efficacia del sistema GPS rispetto alla registrazione manuale dei tempi di lavoro, confermando una serie di vantaggi legati in primo luogo alla possibilità di evitare misurazioni dirette sul campo, dispendiose in termini di tempo e lavoro. Inoltre, il sistema offre la **possibilità di estendere un monitoraggio continuo a intere campagne di raccolta nel lungo periodo**. In questo modo, è possibile ottenere una visione più realistica delle relazioni tra le prestazioni della macchina e le caratteristiche del campo. **Questo tipo di conoscenza può essere sfruttato per una migliore scelta della cantieristica in relazione alle caratteristiche dei campi**. Infatti, la possibilità di gestire i dati georeferenziati con software GIS rende possibile migliorare l'efficienza della raccolta, in particolare per le colture perenni con schemi di lavoro ripetuti ogni anno, utilizzando le mappe generate con i sistemi di guida parallela.

Bibliografia

- BODRIA L., PELLIZZI G., PICCAROLO P., 2006 - **Meccanica Agraria**. Vol. II ed. Il Sole 24Ore Edagricole.
- BOLLI P., SCOTTON M., 1987 - **Lineamenti di tecnica della meccanizzazione agricola**. Ed. Edagricole.
- EHSANI R., 2010 - **Increasing Field Efficiency of Farm Machinery Using GPS**. AE466, Agricultural and Biological Engineering Department, UF/IFAS Extension
- IEA Bioenergy - **The Role of Biorefining in the Bioeconomy**. Parallel Workshop organised by IEA Bioenergy Task42 Biorefining, 25 to 26 November Berlin, Germany.
- MAGAGNOTTI N., SPINELLI R., 2012 - **Good practice guidelines for biomass production studies**. COST Action FP-0902
- OMRANI A., SHIEKHDAVOODI M.J., SHOMELI M., 2012 - **Determine Sugarcane harvester field efficiency using global positioning system (GPS) data**. Abdollah Omrani et al./ Elixir Agriculture 56 (2013) 13260-13263

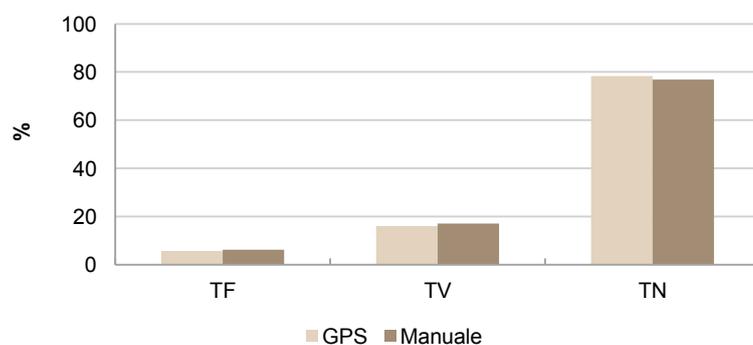


Figura 5 - Tempi di lavoro come percentuale del tempo totale effettivo. TN: tempo lavoro netto; TV: tempo di voltata; TF: tempo di fermata. Le differenze non sono significative.

	Unità	Manuale	GPS
Rendimento operativo	%	0,78±0,03	0,77±0,03
Capacità operativa	ha h ⁻¹	1,85±0,06	1,89±0,04
Capacità effettiva	ha h ⁻¹	1,45±0,08	1,46±0,02

Tabella 1 - Analisi delle prestazioni della mietitrebbia. Confronto dati manuali e GPS.

PARI L., CIVITARESE V., 2010 - **Un GPS per i cantieri di raccolta. Metodologia innovative per il monitoraggio e la mappatura**. In: Innovazioni tecnologiche per le agroenergie. Sinergie tra ricerca e impresa. Sherwood 168, suppl. 2: 31-34.

SCARLAT N., DALLEMAND J.F., MONFORTI-FERRARIO F., NITA V., 2015 - **The role of biomass and bioenergy in a future bioeconomy: Policies and facts**. Environmental Development 15 (2015) 3-4

STRANDGARD M., MITCHELL R., 2015 - **Automated Time Study of Forwarders using GPS and a vibration sensor**. Croat. j. for. eng. 36(2015)2

TAYARI E., JAMSHID A.R., GOODARZI H.R., 2015 - **Role of GPS and GIS in precision agriculture**. Journal of Scientific Research and Development 2 (3): 157-162, 2015

TOPAKCI M., UNAL I., CANAKCI M., YIGIT M., KARAYE D., 2010 - **Improvement of field efficiency measurement system based on GPS for precision agriculture applications**. Journal of Food, Agriculture & Environment Vol.8 (3& 4): 288-292. 2010

KEYWORDS: bioenergy, precision farming, GIS, GPS.

Abstract: An innovative GPS System. A tool for work time study in the agro-energy sector. The reliability of an innovative GPS system aimed at work time measurement of machines involved into bioenergy sector has been assessed. The GPS system, developed by CREA with the Company Arvatec srl, consists of a GPS receiver, a touch screen vehicular PC and a dedicated software, named Arvaciosta. The geographic positions, the speed and route, are acquired each second. Data analysis by means of Arvaciosta software, allows to determine field size, time consumption, turning and idle time, machine efficiency, effective and productive working time. During the harvesting of barley, 12 hectares were selected and work time study was performed both with the GPS system and with manual measurements by researchers. The harvested area was subdivided in several plots and the results obtained with the two approaches were compared. The field test showed the effectiveness of the GPS system.

Le prove sperimentali sono state condotte nell'ambito del progetto SUSCACE finanziato dal MiPAAFT con D.M. 2419 del 20/02/2008



Questa pubblicazione rientra tra le attività di divulgazione che il Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l'Analisi dell'Economia Agraria - Centro di ricerca Ingegneria e Trasformazioni agroalimentari di Monterotondo sta portando avanti da anni e costituisce il sesto volume di una serie pubblicata con analoga veste grafica e divulgata in differenti modalità sia nella versione cartacea che in formato .pdf scaricabile dai siti www.gruppo-panacea.it e www.ecoalleco.it

I precedenti volumi sono:



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)



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)



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)



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

Supplemento al numero 203 di Sherwood - Foreste ed Alberi Oggi (anno 20 - n. 4, Giugno 2014)



Tecnologie innovative per un utilizzo efficiente dei co-prodotti agricoli. Progetti di ricerca SUSCACE e FAESI

Supplemento n. 2 a Sherwood - Foreste ed Alberi Oggi n. 219 Anno 22 n. 4 Giugno 2016 - ISSN 1590-7805

