



# Innovazioni tecnologiche per le agroenergie

## Sinergie tra ricerca e impresa

Supplemento n. 2 a **SHERWOOD - FORESTE ED ALBERI OGGI** n. 168  
Anno 16 n. 9 Novembre 2010 - ISSN 1590-7805

# Innovazioni tecnologiche per le agroenergie

## Sinergie tra ricerca e impresa



**Attività di ricerca sviluppata dalla:**  
*Unità di Ricerca per l'Ingegneria Agraria del Consiglio  
per la Ricerca e sperimentazione in Agricoltura*

**nell'ambito dei Progetti di Ricerca:**



**Progetto BIOENERGIE** - *Energie da biomasse agricole e forestali: miglioramento e integrazione delle filiere dei biocarburanti e della fibra per la produzione di energia elettrica e termica*



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



**Progetto FAESI** - *Fielere Agro Energetiche nel Sud Italia*

**Pubblicazione a cura di:**

*Luigi Pari*

**Forma consigliata di citazione del Volume:**

Pari L., (a cura di) 2010 - Innovazioni tecnologiche per le agroenergie. Sinergie tra ricerca e impresa. 68pp. In: Sherwood 168, Supplemento 2

**Forma consigliata di citazione del singolo contributo:**

Pari L., Civitarese V., Del Giudice A. 2010 - Abbattitrice andanatrice. Versione pre-commerciale della macchina. 6-10. In: Innovazioni tecnologiche per le agroenergie. Sinergie tra ricerca e impresa. Sherwood 168, Supplemento 2

**Per informazioni:**

*Luigi Pari* - [luigi.pari@entecra.it](mailto:luigi.pari@entecra.it)

Consiglio per la Ricerca e sperimentazione in Agricoltura  
Unità di Ricerca per L'Ingegneria Agraria (CRA - ING)  
Via della Pascolare 16 - 00016 Monterotondo RM - Italia  
[www.entecra.it](http://www.entecra.it) - [www.gruppo-panacea.it](http://www.gruppo-panacea.it)  
Tel. +39-06-90675249 - Fax. +39-06-90675250

**Coordinamento editoriale**

*Silvia Bruschini* - Compagnia delle Foreste - Arezzo

**Progettazione 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](mailto:sherwood@compagniadelleforeste.it)

Sito [www.compagniadelleforeste.it](http://www.compagniadelleforeste.it) - [www.rivistasherwood.it](http://www.rivistasherwood.it)



**Stampa**

Industria Grafica Valdarnese S.n.c - San Giovanni V.no (Arezzo)

**In copertina**

Prototipo di abbattitrice andanatrice in lavoro su pioppo

**Supplemento n. 2 al n. 168 - Sherwood - Foreste ed Alberi Oggi**

- 4** *Il punto di vista delle imprese*  
di R. Guidotti
- 5** *Il punto di vista della ricerca*  
di L. Pari
- 6** **Abbattitrice andanatrice. Versione pre-commerciale della macchina**  
di L. Pari, V. Civitarese, A. Del Giudice
- 11** **Una semovente per la raccolta e la cippatura. Sviluppo di una macchina dedicata alle colture da biomassa**  
di L. Pari, V. Civitarese
- 14** **Qualità del cippato. Umidità e pezzatura in funzione della metodologia di raccolta**  
L. Pari, V. Civitarese, A. Del Giudice
- 19** **Rotore sperimentale CRA-ING. Qualità del cippato prodotto da Class Jaguar con cippatore innovativo**  
L. Pari, V. Civitarese, A. Del Giudice
- 22** **Compattamento del suolo. Effetti prodotti durante la raccolta delle Short Rotation Forestry**  
di L. Pari, V. Civitarese, A. Del Giudice, F. Di Fulvio, A. Acampora, S. Croce, A. Assirelli
- 26** **Un GPS per i cantieri di raccolta. Metodologia innovativa per il monitoraggio e la mappatura**  
di L. Pari, V. Civitarese
- 31** **Un GIS per le biomasse. Applicazioni per la gestione delle centrali termoelettriche**  
di L. Pari, M. Pepe, V. Civitarese
- 35** **Stoccaggio del cippato di pioppo. Variazioni delle caratteristiche di prodotti a diversa granulometria**  
di F. Gallucci, L. Pari, A. Del Giudice
- 39** **Stoccaggio del cippato di pioppo. Confronto tra due differenti metodologie di conservazione**  
di F. Gallucci, L. Pari, S. Croce
- 43** **Prove di esbosco. Trattore autolivellante sviluppato dal CRA-ING**  
di L. Pari, F. Di Fulvio, A. Del Giudice, A. Assirelli, G. Vassalini, L. Fornaciari
- 48** **Raccolta dei residui di potatura. Recupero energetico di cascami d'olivo nel Salento**  
di L. Pari, A. Acampora, S. Croce
- 51** **Falciacondizionatrice per il sorgo da fibra. Progettazione, realizzazione e prime valutazioni**  
di L. Pari, A. Assirelli, A. Suardi
- 55** **Raccolta del sorgo da fibra affienato. Cantieri a confronto**  
di L. Pari, A. Assirelli, A. Suardi
- 59** **Essiccazione in campo del sorgo da fibra. Valutazione della disidratazione naturale in diversi contesti operativi**  
di L. Pari, A. Assirelli, A. Suardi
- 63** **Valutazione delle perdite nella raccolta di Brassicacee. Risultati di tre anni di sperimentazioni**  
di L. Pari, A. Assirelli, A. Suardi
- 67** **Prove di raccolta della canna comune**  
di L. Pari, A. Suardi, A. Acampora
- 71** **Politica agricola e riforme. Dalla coltura tradizionale alla filiera agro-energetica.**  
di L. Pari, A. Acampora, F. Di Fulvio

Gli articoli sono scaricabili in formato .pdf dai siti

[www.gruppo-panacea.it](http://www.gruppo-panacea.it) e [www.rivistasherwood.it/publicazioni-cdf.html](http://www.rivistasherwood.it/publicazioni-cdf.html)

Quando si parla di ricerca, la mente corre invariabilmente alla "fuga dei cervelli", scelta drammatica di molti nostri giovani, costretti a cercare all'estero ciò che in un Paese civile avrebbero il diritto di trovare in Patria. Patria che, depauperata dei suoi uomini migliori, non può che perdere terreno sul piano della competitività internazionale.

Eppure di ricerca ne facciamo tanta anche noi: nonostante la povertà delle risorse pubbliche, i ricercatori italiani raggiungono sovente risultati di assoluto rilievo internazionale.

Resta poi sempre aperta l'eterna questione sulle finalità della ricerca scientifica, se debba cioè limitarsi ad investigare sui fenomeni primari e rimanere così confinata agli ambiti teorici, ovvero possa dedicarsi anche alle applicazioni pratiche, aprendosi ad un rapporto di corrispondenza e di collaborazione con il mondo produttivo.

Anche qui i risultati non sono mancati, e lo dimostrano il numero e la qualità dei brevetti che i nostri istituti pubblici di ricerca hanno sviluppato negli ultimi anni. Eppure, secondo qualcuno, il "pubblico" deve limitarsi agli studi teorici, lasciando campo libero ai privati per i settori applicativi: ma i privati sono sempre in grado di fare ricerca?

L'Italia è fra i primi produttori al mondo di macchine per l'agricoltura, e detiene il primato per la varietà di tipologie ed assortimento: ma il nostro tessuto produttivo è composto, se si eccettuano pochi grandi gruppi di dimensioni globali, da piccole e medie imprese, proprio quelle che trovano maggiori difficoltà a collegare l'inventiva e l'adattabilità ad una solida preparazione scientifica.

Una piccola azienda metalmeccanica, con qualche decina di addetti, difficilmente potrebbe investire nella ricerca, non avendo un fatturato tale da potersi permettere una squadra di ricercatori.

Eppure le imprese di questa classe dimensionale sono proprio quelle più disponibili a rincorrere l'innovazione, non essendo condizionate da una produzione "storica" e con una consolidata presenza sul mercato. Quella snellezza strutturale che rappresenta altrimenti un fattore di successo, in termini di flessibilità della produzione, finisce per diventare un vincolo rispetto alle prospettive di sviluppo. Per quanto possa destare sorpresa, sono proprio queste le aziende più idonee a mettere in pratica i brevetti e le idee sviluppate dalla ricerca applicata, ed a trasformarli in un prodotto commercialmente valido.

Non bisogna inoltre dimenticare che le condizioni della nostra agricoltura non ci consentono di importare direttamente da altri contesti agricoli – troppo diversi dai nostri – le tecnologie che ci mancano, a pena di gravi insuccessi e di sensibili perdite economiche. Il comparto agroforestale ha quindi bisogno di un'attività di ricerca di qualità, che sappia trovare e sperimentare le soluzioni migliori per aumentare la competitività anche nei settori meno articolati, o più nuovi, del nostro sistema produttivo.

In questo supplemento vengono descritte le attività di ricerca che il CRA ha condotto e sta conducendo per sviluppare nuove

tecnologie per la coltivazione, la raccolta, la valorizzazione e lo stoccaggio delle colture energetiche. E' un argomento di grande interesse per il settore agro-meccanico che ha già affrontato la riconversione di diverse filiere produttive, ritenute non prioritarie dall'evoluzione della politica agricola comune; ma accanto a queste resistono altre filiere, ancora considerate strategiche, che devono confrontarsi ogni giorno con margini sempre più esigui, determinati dal restringimento della forbice fra i costi di produzione ed i prezzi – in contrazione – dei prodotti agricoli.

In questo settore la ricerca pubblica può dare un contributo rilevante, trasferendo i risultati delle attività in atto non solo attraverso pubblicazioni scientifiche di respiro internazionale, che raramente raggiungono il mondo imprenditoriale, ma anche per mezzo di riviste specializzate di larga diffusione, mirate ad accrescere le competenze degli attori della filiera agro-energetica; essa deve inoltre indirizzare i programmi futuri alla domanda di ricerca applicata, che gli imprenditori (specie se piccoli...) dovrebbero porre sempre più spesso alle istituzioni pubbliche.

Le possibili sinergie tra il mondo della ricerca ed il mondo imprenditoriale nei settori in fase di sviluppo, come quello agro-energetico, possono portare ad innovazioni tecnologiche in grado di determinare un minor impatto ambientale, maggiori rese economiche e bilanci energetici favorevoli.

Negli ultimi anni il CRA ha contribuito alla messa a punto di nuovi sistemi di meccanizzazione della raccolta del pioppo per energia, nuove macchine per la raccolta del sorgo da fibra, nuovi approcci per la logistica dei conferimenti dei prodotti agro-energetici, nell'ottica di diminuire l'impatto ambientale dei processi produttivi (compattamento del suolo, perdite di sostanza organica, razionalizzazione dei trasporti, ecc.), contenere i costi di raccolta, trasporto e stoccaggio, rendere disponibili prototipi che possano contribuire alla fase di avvio di nuove filiere.

È grazie a queste sinergie che nel breve volgere di 3-4 anni abbiamo recuperato buona parte dei ritardi del passato: possiamo oggi trovare sul mercato macchine per la raccolta delle colture energetiche che prima non esistevano (nemmeno all'estero...), innovazioni assolute realizzate per mezzo della collaborazione fra ricerca pubblica e costruttori di macchine agricole.

Questa integrazione è ormai divenuta un indispensabile fattore di sviluppo: lo chiedono gli stessi imprenditori agromeccanici, quali utilizzatori professionali di macchinari agroforestali, disposti ad investire in nuove tecnologie, purché fondate su rigorose basi scientifiche e già sperimentate, da istituzioni indipendenti, nelle nostre condizioni operative.

È con queste premesse che ho accettato con piacere di introdurre questa pubblicazione, in cui sono riportati gli ultimi risultati delle attività di ricerca del CRA nel settore agro-meccanico/energetico, auspicando che il processo di trasferimento delle conoscenze dalla Ricerca ai Costruttori possa proseguire e crescere, per assicurare al nostro sistema produttivo quella competitività sui mercati globali che è la vera chiave dello sviluppo.

ROBERTO GUIDOTTI  
Servizio Tecnico Unione Nazionale Imprese  
di Meccanizzazione Agricola - UNIMA

La ricerca pubblica nel settore agricolo ha anche il compito di sviluppare innovazioni tecnologiche in grado di ridurre al minimo l'impatto ambientale che deriva dalle attività agro-industriali sia sul territorio che sulla popolazione. Per le agroenergie, materia di recente introduzione nel campo delle scienze agrarie e forestali, i ricercatori sono stati chiamati a dare risposte in tempi brevissimi per supportare adeguatamente gli imprenditori che, indirizzati dalle politiche di sostegno, stanno effettuando rilevanti investimenti, sia nel settore agricolo che agro-industriale.

In particolar modo le innovazioni tecnologiche nel settore della meccanica agraria possono concorrere alla riduzione dei costi di produzione delle colture energetiche e a ridurre l'impatto ambientale della filiera agro-energetica. In questo supplemento vengono presentate nuove soluzioni volte a ridurre i volumi delle colture energetiche (e quindi i trasporti sul territorio), nuovi metodi di stoccaggio volti a contenere le fermentazioni, nuovi sistemi logistici per programmare i conferimenti del prodotto all'industria agro-energetica.

I risultati che vengono presentati sono relativi alle attività di ricerca promosse dal MiPAF, nel settore agro-meccanico, con lo scopo di sviluppare nuovi cantieri e macchine e fornire supporto tecnico/scientifico agli imprenditori agricoli e agro-industriali che stanno introducendo le filiere agro-energetiche sul territorio nazionale. Tali attività, svolte nell'ambito di tre progetti di ricerca: BIOENERGIE, SuSCACE (Supporto Scientifico alla Conversione Agricola verso le Colture Energetiche) e FAESI (Filiera Agro-Energetiche nel Sud Italia) sono state condotte in collaborazione con imprese agricole, agro-energetiche ed agro-meccaniche.

La condivisione degli obiettivi e la messa in comune delle diverse risorse e potenzialità, ha permesso lo sviluppo di sinergie tra il mondo della ricerca ed il mondo imprenditoriale, che hanno portato allo sviluppo in brevissimo tempo di cantieri di macchine innovative ed alla soluzione delle problematiche che rallentavano lo sviluppo delle filiere agro-energetiche, favorendo così l'introduzione di macchine e sistemi non disponibili prima sul mercato.

Le attività hanno riguardato principalmente lo sviluppo di una adeguata logistica per le colture energetiche, arboree ed erbacee, attraverso la progettazione e la realizzazione di prototipi, la sperimentazione di campo di sistemi e macchine volta a

## *Il punto di vista della ricerca*

identificarne i possibili difetti e promuoverne la divulgazione, il supporto scientifico e finanziario (o fornitura di brevetto) a ditte agro-meccaniche per lo sviluppo di macchine pre-commerciali affinché l'innovazione possa essere introdotta sul mercato a disposizione degli utenti finali della ricerca.

A riguardo delle colture arboree, le attività di ricerca hanno permesso di ridurre i costi di impianto del pioppo sia con interventi nel settore vivaistico sia sviluppando nuove macchine per la lavorazione del terreno, in bande ed a due strati. Relativamente alla raccolta delle colture forestali a rapida rotazione, dopo aver verificato le problematiche relative allo stoccaggio del cippato ottenuto dalle trincia mais attualmente utilizzate, è stato sviluppato uno specifico sistema di cippatura applicabile sulle stesse

trincia mais per ottenere un prodotto in grado di contenere i fenomeni fermentativi e degradativi della biomassa stoccata. Parallelamente si sono sviluppati, assieme a ditte agro-meccaniche, sia prototipi per l'abbattimento e la deposizione delle piante in andana nell'interfila, sia macchine per la raccolta e cippatura dell'andana, in una seconda

fase, successiva alla essiccazione naturalmente del prodotto. Queste nuove metodologie hanno permesso di contenere i fenomeni di degrado del prodotto stoccato e di allungare la finestra di raccolta e il periodo utile per il conferimento del cippato alle centrali.

A riguardo delle colture energetiche erbacee si è lavorato per risolvere le problematiche della raccolta del sorgo da fibra, con il risultato di giungere alla messa in commercio di macchine falcia-condizionatrici (che non esistevano prima dell'intervento), di ridurre le perdite in raccolta delle colture oleaginose (colza e brassica carinata), di sviluppare sistemi e macchine per l'impianto e la raccolta della canna comune e di sviluppare una testata per la raccolta del seme di cardo (*Cynara cardunculus*) e la contemporanea messa in andana della biomassa ligno-cellulosica.

Infine, si è lavorato alla messa a punto di sistemi logistici per la organizzazione e la programmazione della raccolta e dei conferimenti ad una centrale elettrica alimentata a biomassa ligno-cellulosica, per ridurre al minimo i trasporti su strada e diminuire gli stoccaggi.

Tutto ciò è stato reso possibile grazie alle risorse destinate dal MiPAF alla ricerca nel campo agro meccanico ed alle proficue sinergie che si sono attivate tra ricerca pubblica e imprenditoria agro-energetica.

LUIGI PARI  
Consiglio per la Ricerca e sperimentazione in Agricoltura  
Unità di Ricerca per L'Ingegneria Agraria (CRA - ING)

# Abbattitrice andanatrice

## Versione pre-commerciale della macchina

di LUIGI PARI

VINCENZO CIVITARESE<sup>(\*)</sup>

ANGELO DEL GIUDICE<sup>(\*)</sup>

In questo lavoro vengono illustrate le novità tecniche sviluppate nel corso della sperimentazione e che hanno portato alla definizione della versione pre-commerciale della macchina abbattitrice andanatrice. Lo studio mette in evidenza prestazioni, caratteristiche operative e campo di impiego.

**PAROLE CHIAVE:** raccolta in due fasi, abbattimento, SRF.

Il ruolo della ricerca nel settore della meccanizzazione agricola è quello di fornire supporto tecnico scientifico alle ditte agro-mecchaniche per lo sviluppo e la messa a punto di nuove macchine, dalla fase prototipale a quella pre-commerciale. L'attività riguarda dapprima la progettazione del prototipo, tenendo in considerazione le caratteristiche colturali, le necessità degli utenti, la scelta dei materiali e le tecniche costruttive. Il prototipo, una volta realizzato, viene sottoposto ad una intensa attività sperimentale, monitorando i cantieri di raccolta, identificando i punti deboli e le migliorie da apportare in relazione alle caratteristiche colturali su cui la macchina si trova ad operare, nonché le possibili variabili in grado di influenzarne le prestazioni e la qualità del lavoro svolto. Alla fine di questo percorso saranno state definite le caratteristiche meccaniche e la configurazione che la macchina commerciale potrà avere.

La necessità di prevedere la raccolta del pioppo in un arco di tempo superiore all'attuale, utilizzando macchine che potessero operare anche su terreno bagnato,

hanno portato allo sviluppo di un primo prototipo di abbattitrice andanatrice, presentato in una precedente pubblicazione scientifica (PARI *et al.* 2009).

In questo lavoro vengono illustrate le novità tecniche sviluppate nel corso della sperimentazione e che hanno portato alla definizione della versione pre-commerciale della macchina abbattitrice andanatrice. Sono state inoltre definite le prestazioni della macchina e le sue caratteristiche operative. L'esperienza maturata in campo ha messo in evidenza, difatti, l'esistenza di una significativa variabilità delle caratteristiche colturali dato che, le condizioni pedoclimatiche, le pratiche agronomiche (es. concimazione, irrigazione e/o spandimento dei reflui zootecnici) e le varietà impiegate, possono influenzare significativamente lo sviluppo delle piante e la capacità produttiva delle piantagioni. Nell'ambito di una stessa classificazione colturale per cicli (es. R2F2, R4F2 ecc), le caratteristiche fenologiche della coltura possono variare in maniera consistente, fino a non permettere più l'utilizzo della macchina sviluppata. Sulla base di tali considerazioni si è proceduto ad individuare, in maniera univoca, il campo di impiego della abbattitrice andanatrice, prendendo in considerazione non soltanto il turno di ceduzione della coltura ma anche specifici parametri dendrometrici.



**Foto 1** - Versione prototipale: sistema di trasporto a catene dentate sfalsate.

tazione e che hanno portato alla definizione della versione pre-commerciale della macchina abbattitrice andanatrice. Sono state inoltre definite le prestazioni della macchina e le sue caratteristiche operative. L'esperienza maturata in campo ha messo in evidenza, difatti, l'esistenza di una significativa variabilità delle caratteristiche colturali dato che, le condizioni pedoclimatiche, le pratiche agronomiche (es. concimazione, irrigazione e/o spandimento dei reflui zootecnici) e le varietà impiegate, possono influenzare significativamente lo sviluppo delle piante e la capacità produttiva delle piantagioni. Nell'ambito di una stessa classificazione colturale per cicli (es. R2F2, R4F2 ecc), le caratteristiche fenologiche della coltura possono variare in maniera consistente, fino a non permettere più l'utilizzo della macchina sviluppata.

Sulla base di tali considerazioni si è proceduto ad individuare, in maniera univoca, il campo di impiego della abbattitrice andanatrice, prendendo in considerazione non soltanto il turno di ceduzione della coltura ma anche specifici parametri dendrometrici.

LUIGI PARI, CRA-ING. E-mail [luigi.pari@entecra.it](mailto:luigi.pari@entecra.it) - VINCENZO CIVITARESE, CRA-ING. E-mail [vincenzo.civitarese@entecra.it](mailto:vincenzo.civitarese@entecra.it) - ANGELO DEL GIUDICE, CRA-ING. E-mail [angelo.delgiudice@entecra.it](mailto:angelo.delgiudice@entecra.it)  
<sup>(\*)</sup> Ph.D. student in Utilizzazioni Forestali, Università degli Studi della Tuscia (VT).



Foto 2 - Sistema di trasporto a catene gommate controrotanti.



Foto 3 - Dispositivo di trasporto inferiore: sono visibili i braccetti snodati con molle a variabile resistenza a compressione.



Foto 4 - Particolare dei tasselli gommati montati sulle catene di trasporto.

## MATERIALI

### I cantieri di raccolta

Le prove si sono svolte nel mese di Marzo 2010, in diversi areali pedoclimatici e su impianti con diverso turno di ceduzione. La macchina per l'abbattimento e l'andatura del pioppo è stata abbinata a trattrici della potenza minima di 60 kW (Claas Ares 500, Fiat 90 90 dt, Case JXC 1095, Deutz Fahr Agroplus 410).

### Modifiche apportate alla macchina per il taglio e l'andatura delle SRF

La macchina nella nuova configurazione si differenzia dalla precedente versione per alcune modifiche apportate ai dispositivi di convogliamento, trasporto e scarico. Al fine

di migliorare il convogliamento delle piante non perfettamente allineate lungo le file, è stata aggiunta una seconda catena dentata convogliatrice, posizionata frontalmente alla prima mentre nel dispositivo di scarico è stata rimossa la catena dentata posteriore ed è stato aggiunto un secondo profilato in metallo, parallelo a quello già esistente, per garantire un allineamento più corretto delle piante nell'interfila.

**L'innovazione principale sviluppata riguarda il sistema di trasporto** (Tabella 1).

Le catene dentate sfalsate (Foto 1), presenti nella versione precedente, non erano in grado di garantire un trasporto efficiente dei fusti di piccole dimensioni (polloni secondari - fusti II), a causa della loro eccessiva elasticità. Tali catene, inoltre, per il lavoro che

erano tenute a svolgere venivano sottoposte a forti sollecitazioni e pertanto necessitavano di regolari interventi di manutenzione. Ciò ha imposto la rivisitazione completa del dispositivo di trasporto, sviluppando due coppie di catene gommate contro rotanti accoppiate, una inferiore e una superiore, distanziate tra loro di 1.130 mm. La coppia inferiore (Foto 2) è posizionata a 610 mm da terra, quella superiore ad un'altezza di 1.745 mm. Il sistema di trasporto svolge, in parte, anche la funzione di convogliamento grazie alla posizione più avanzata delle catene gommate poste sul lato destro.

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

Il sistema di trasporto è dotato di una certa elasticità ed è in grado di adattarsi ai diversi diametri delle piante e alla naturale rastremazione dei fusti. Le catene montate sul lato destro infatti, diversamente da quelle di sinistra, sono a posizionamento variabile e possono traslare fino ad un massimo di 150 mm. Tale risultato è stato raggiunto collegando i piani di scorrimento delle suddette catene e il telaio della macchina attraverso due coppie di braccetti snodati (della lunghezza di 220 mm), abbinati a molle a variabile resistenza a compressione (Foto 3).

Il dispositivo di trasporto è configurato in maniera tale da rilasciare le piante prima dalla parte basale e, successivamente, dalla parte apicale, grazie alla diversa lunghezza delle catene e al diverso posizionamento delle stesse sui due piani di riferimento.

La catena superiore di destra ha una maggiore lunghezza, al duplice scopo di compensare la sua posizione più avanzata rispetto a quella adiacente (410 mm) e trattenere le piante più a lungo rispetto alla coppia di catene inferiori. Questo accorgimento fornisce la giusta inclinazione alla pianta per la successiva deposizione in andana. Le catene posizionate sul lato sinistro sono dotate di 41 tasselli gommati ed hanno una lunghezza

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

Tabella 1 - Dati tecnici del sistema di trasporto e del sistema di scarico della abbattitrice andanatrice.

Tesi	N°	1	2	3	4	5	6
Tipologia impianto		R3F1	R4F2	R4F2	R5F3	R2F2	R3F3
Ubicazione		Umbria	Toscana	Umbria	Veneto	Em. Rom	Veneto
Diametro medio fusto I Dev. Stand.	mm mm	27,50 ±6,02	54,75 ±16,07	60,15 ±11,07	88,96 ±15,09	65 ±13,99	108,50 ±32,27
Altezza media fusto I Dev. Stand.	m m	4,19 ±0,69	6,37 ±0,82	7,01 ±0,95	9,48 ±1,42	5,5 ±0,89	11,50
Diametro medio fusti II Dev. Stand.	mm mm	16,45 ±7,39	23,43 ±9,71	28,13 ±7,21	51,82 ±14,90		
Altezza media fusti II Dev. Stand.	m m	2,88 ±1,12	3,18 ±1,10	4,04 ±0,92	5,90 ±1,65		
N° di fusti/ceppaia	n	5	5,8	4	3,2	1	1
Prod. raccogliabile (s.f.)	t/ha	24	26,70	55	105	27	80
Clone		Vari	AF2	Vari	AF2	AF2	AF2

**Tabella 2** - Caratteristiche dendrometriche delle piantagioni utilizzate nelle prove.

Tempo standard TS			
		R2F2 (tesi 5)	R4F2 (tesi 2)
Tempo effettivo TE	%	82,30	71,63
Tempo accessorio TA	%	17,70	28,37
• Tempo per voltate TAV	%	15,31	26,45
• Tempo per riformim. o scarichi TAS	%	0	0
• Tempo per manutenzione TAC	%	2,39	1,93
Tempo di riposo TR	%	0	0
Tempo morto inevitabile TMI	%	0	0
<b>Tempo standard</b>	<b>%</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
Operatività della macchina			
Rendimento operativo Ro	%	82,30	71,63
Velocità effettiva ve	m/s	1,74	2,16
Velocità operativa vo	m/s	1,43	1,55
Capacità di lavoro effettiva	ha/h	1,89	2,33
Capacità di lavoro operativa	ha/h	1,55	1,67

**Tabella 3** - Tempi di raccolta e operatività della macchina su impianti biennali al I (R2F2) e II (R4F2) taglio.

di trasporto di 2.070 mm.

Le catene posizionate sul lato destro, invece, hanno una lunghezza diversa: la catena inferiore è dotata di 40 tasselli gommati e ha una lunghezza di trasporto di 2.030 mm, quella superiore è dotata di 46 tasselli gommati ed ha una lunghezza di trasporto di 2.300 mm. I tasselli montati sulle catene sono posti ad una distanza di 20 mm l'uno dall'altro ed hanno sezione semicircolare, con un'altezza e una larghezza pari, rispettivamente, a 80 mm e 83 mm (Foto 4).

Ciascun tassello è stato tornito in posizione centrale per consentire l'inserimento di un supporto in metallo atto a collegare, mediante saldatura, le singole gomme alle catene di trasporto.

### Campi, caratteristiche morfologiche e produttività della coltura

Le prove di abbattimento e andanatura di pioppo sono state condotte sulle seguenti tipologie di impianto:

- R3F1 - tre anni di radice e un anno di fusto, San Secondo (PG);
- R4F2 - quattro anni di radice e due anni di fusto, San Secondo (PG);
- R2F2 - due anni di radice e due anni di fusto, Ravenna (RA);

- R4F2 - quattro anni di radice e due anni di fusto, Marciano della Chiana (AR);
- R5F3 - cinque anni di radice e tre anni di fusto, Montagnana (PD);
- R3F3 - tre anni di radice e tre anni di fusto, Montagnana (PD).

Gli impianti siti a Montagnana sono stati messi a disposizione dalla società Biomasse Europa mentre le prove condotte a Ravenna e a Marciano della Chiana sono state eseguite in occasione di due diverse giornate dimostrative organizzate, rispettivamente, dall'Azienda sperimentale Marani nell'ambito del progetto Flame e dal Centro per il collaudo e il trasferimento dell'innovazione di Cesa (ARISA), nell'ambito del programma 2010 della Rete dei Poli Toscani. I dati dendrometrici degli impianti sono riassunti in Tabella 2.

## RISULTATI

Scopo del lavoro era quello di valutare le prestazioni raggiunte dalla nuova versione di abbattitrice andanatrice, i limiti funzionali e il campo di operatività della macchina. Relativamente a quest'ultimo aspetto sono state effettuate diverse prove su impianti R3F3 (tre anni di radice e tre anni di fusto), R5F3 (cinque anni di radice e tre anni di fusto) e R3F1



**Foto 5** - Abbattitrice andanatrice in raccolta di pioppo di due anni di radice e due anni di fusto.

(tre anni di radice e un anno di fusto), al fine di testare la macchina in condizioni estreme, ovvero su piante notevolmente sviluppate e su piante di piccole dimensioni. I dati relativi alle prestazioni della macchina e ai tempi di raccolta si riferiscono alle prove condotte su impianti con turnazione biennale, al primo (R2F2) e al secondo taglio (R4F2), di medio sviluppo, rappresentativi delle condizioni operative per le quali è stata sviluppata la macchina.

### Tempi di lavoro e confronto dei risultati sperimentali

Le prove erano mirate a valutare le prestazioni del prototipo e pertanto sono stati rilevati solamente i tempi standard durante le operazioni di abbattimento (Tabella 3).

Per entrambi i cantieri i tempi accessori sono risultati costituiti dai tempi per voltate in capezzagna, nella misura del 15,31% per R2F2 e 26,45% per R4F2, e tempi di manutenzione dovuti ad ingolfamenti dell'apparato di convogliamento, nella misura del 2,39% per R2F2 e 1,93% per R4F2. Non sono stati registrati, invece, tempi di riposo e tempi morti inevitabili.

Il rendimento operativo è risultato pari al 82,30% e al 71,63% del tempo operativo, rispettivamente per R2F2 e R4F2. Tale differenza è imputabile alla diversa lunghezza media delle file dei due impianti oggetto di studio (224 m per l'impianto di due anni di radice e due anni di fusto e 140 m per l'impianto di quattro anni di radice e due anni di fusto) e alla diversa incidenza delle manovre di voltata sul tempo operativo.

Per quanto concerne le prove condotte su R2F2, la macchina (Foto 5), lavorando ad una velocità di 1,43 m/s (5,15 km/h), ha raggiunto capacità di lavoro operative dell'ordine di 1,55 ha/h. Le modifiche apportate hanno permesso di incrementare le prestazioni del prototipo che, nella versione precedente si attestava attorno a 1,2 ha/h per impianti al primo taglio. Tale incremento di prestazioni è da mettere in relazione con la maggiore velocità effettiva di avanzamento della macchina





**Foto 6** - Andane formate dall'abbattitrice andanatrice su pioppeto con due anni di radice e due anni di fusto.

lungo la fila, passata da 0,99 m/s a 1,74 m/s. capacità operative superiori a 1,5 ha/h sono state ottenute anche nel corso delle prove condotte su R4F2 (1,67 ha/h).

### Qualità del lavoro svolto

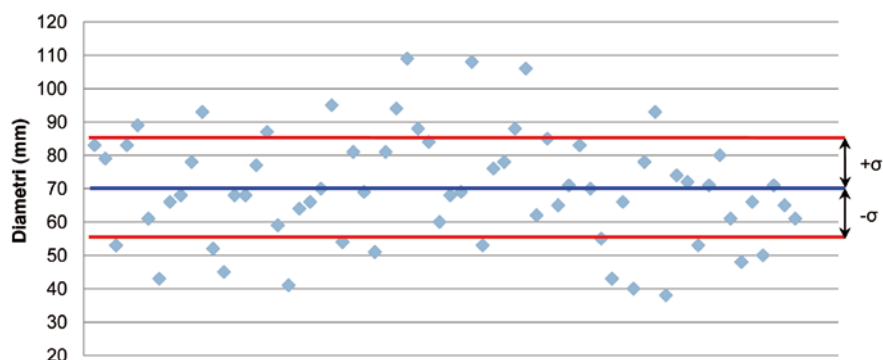
Le andane, in tutte le prove effettuate, si presentano regolari e parallele alla direzione di avanzamento della macchina (Foto 6), requisito, quest'ultimo, essenziale per la corretta esecuzione della successiva fase di raccolta. Le perdite di prodotto sono risultate pari, mediamente, al 1,80% del prodotto tagliato e andanato e si riferiscono sia al materiale non correttamente allineato nell'interfila, che difficilmente potrà essere raccolto dalla falciatrice-caricatrice con pick up, sia ai polloni secondari non tagliati, quest'ultimi rilevati esclusivamente sull'impianto al secondo taglio. L'altezza di taglio è risultata mediamente pari a 90 mm (dev. St.  $\pm 13,8$  mm).

Per quanto riguarda la qualità del taglio, l'1,27% delle ceppaie campionate ha riportato spacchi verticali di lieve entità, lo 0,35% spacchi verticali di media entità e lo 0,35% sfrangiamento di lieve entità. Nel complesso il 98,03% non ha subito danni di nessun tipo. I valori percentuali sopra riportati sono il risultato della media dei dati rilevati nel corso delle prove delle tesi 2 e 5 (Tabella 2)

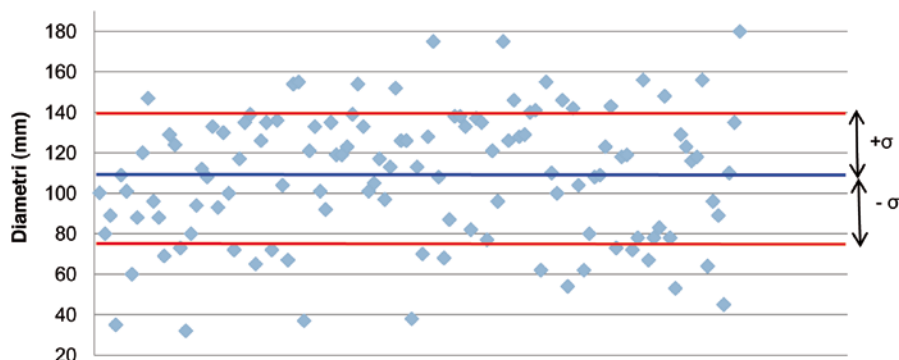
### Limiti operativi

Le produttività e le caratteristiche dendrometriche delle piantagioni di pioppo allevate a SRF possono variare sensibilmente a seconda degli areali pedoclimatici di appartenenza e delle pratiche agronomiche eseguite sulle piantagioni stesse.

Impianti di due anni di radice e due anni di fusto possono raggiungere, indicativamente, le 50-55 t/ha/taglio di sostanza fresca per livelli di produttività medi e medio/alti e le 60 t s.f./ha/taglio per livelli di produttività alti. Impianti biennali dal secondo turno in avanti si attestano, invece, attorno alle 70-75 t s.f./ha/taglio per livelli di produttività medi e medio/alti ed alle 80 t s.f./ha/taglio per livelli di



**Grafico 1** - Distribuzione dei diametri all'interno di un popolamento R2F2 caratterizzato da un livello di produttività alto. La linea blu indica il valore medio mentre in rosso viene evidenziata la deviazione standard.



**Grafico 2** - Distribuzione dei diametri all'interno di un popolamento R3F3 caratterizzato da un livello di produttività alto. La linea blu indica il valore medio mentre in rosso viene evidenziata la deviazione standard.

produttività alti. Nel caso di impianti caratterizzati da livelli di produttività medio/bassi e bassi, la biomassa prodotta ad ettaro risulta sensibilmente inferiore ai valori sopra citati. Esistono anche condizioni operative particolari in cui impianti biennali regolarmente irrigati, concimati e trattati con reflui zootecnici, possono risultare superproduttivi, arrivando a produrre oltre 60 t s.f./ha/taglio al primo turno e oltre 90 t s.f./ha/taglio al secondo turno, mentre impianti triennali cresciuti in condizioni non ottimali possono risultare poco produttivi ed essere costituiti da piante di dimensioni medie inferiori o uguali a quelle che si possono riscontrare in impianti con un anno in meno di vegetazione.

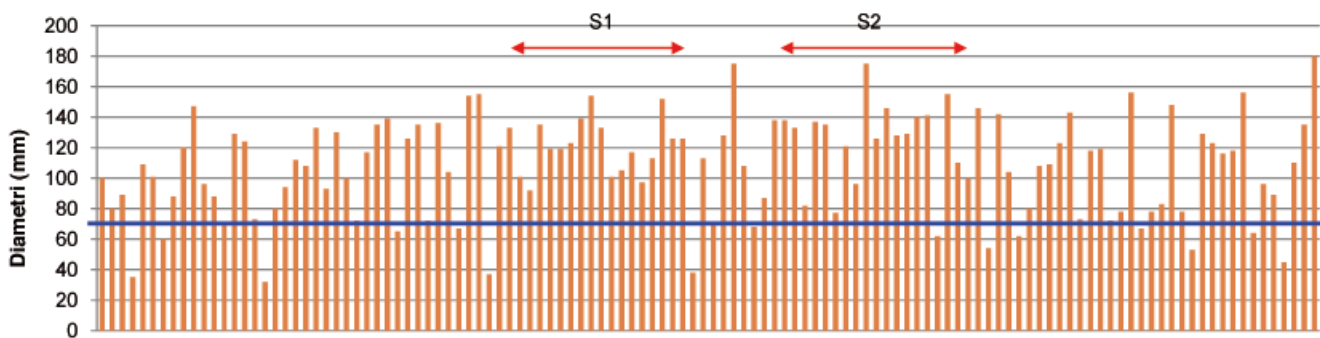
Sulla base di quanto sopra esposto appare chiaro che il campo di utilizzo della abbattitrice andanatrice, inizialmente sviluppata per operare la raccolta di impianti biennali (R2F2, R4F2, R6F2 ecc.), non può essere valutato in funzione del solo ciclo colturale, ma deve essere riferito anche a determinati parametri dendrometrici.

L'esperienza maturata in questi anni sulla raccolta delle SRF ha messo in evidenza l'esistenza di uno scenario estremamente eterogeneo e le prove di abbattimento effettuate su impianti R3F1 R2F2, R3F3, R4F2 ed R5F3, hanno permesso di stabilire, in maniera più oculata, i reali limiti operativi della macchina, riferibili non soltanto al turno di cedua-

zione ma anche alla produttività ad ettaro e al diametro medio del popolamento.

In termini di biomassa, il limite massimo per l'impiego ottimale della macchina risulta pari a circa 60 t/ha di sostanza fresca per impianti al primo taglio, e 80 t/ha di sostanza fresca per i turni successivi. Il diametro medio, invece, non deve superare indicativamente i 70 mm e, nel caso di tagli secondari, tale valore limite deve essere riferito alla media dei soli fusti principali. Impianti con diametri medi superiori a 70 mm presuppongono l'esistenza di un eccessivo numero di piante particolarmente sviluppate, elemento, questo, che produce sollecitazioni nelle fasi di taglio e di trasporto superiori a quelle che la macchina è in grado di tollerare.

A completamento di tale attività sono state effettuate anche prove su una piantagione di tre anni di radice e un anno di fusto (R3F1), allo scopo di valutare il funzionamento della macchina su impianti caratterizzati da un elevato numero di piante di piccole dimensioni. I fusticini, a causa della loro scarsa lignificazione, risultano dotati di una elevata elasticità e difficilmente riescono ad essere trasportati da dispositivi quali coclee rotanti o catene dentate. La macchina, invece, grazie al sistema innovativo di trasporto a catene gommate a posizionamento variabile, è risultata in grado di lavorare efficientemente in tali condizioni operative, effettuando una



**Grafico 3** - Diametri rilevati lungo un filare rappresentativo del popolamento R3F3.

buona presa, trasporto e scarico in andana dei fusticini.

Sulla base dei parametri dendrometrici definiti nel presente lavoro e dei diversi test condotti, è possibile valutare positivamente l'impiego della macchina abbattitrice andanatrice su impianti annuali (R1F1, R2F1 ecc.), impianti biennali di bassa, media e alta produttività (R2F2, R4F2, R6F2 ecc.) ed impianti triennali di produttività medio/bassa (R3F3, R5F3 ecc.).

Si **sconsiglia l'utilizzo della macchina su impianti biennali superproduttivi e su impianti triennali di media e alta produttività** in quanto, l'utilizzo in tali condizioni, potrebbe comportare la non corretta esecuzione del lavoro o il danneggiamento della macchina stessa.

A titolo esemplificativo vengono proposti due casi studio, uno relativo ad un impianto in cui è possibile operare con l'abbattitrice andanatrice, ed uno relativo ad un impianto in cui non è possibile impiegare la suddetta macchina. Il Grafico 1 mostra la distribuzione dei diametri all'interno di un popolamento di due anni di radice e due anni di fusto, caratterizzato da un livello di produttività alto e da un diametro medio di 70 mm (linea blu). Tali caratteristiche, sulla base di quanto sopra esposto, consentono l'impiego della macchina abbattitrice andanatrice. In questo caso i diametri oscillano da un minimo di 38 mm ad un massimo di 110 mm, mentre la deviazione standard ( $\sigma$ ), che indica la variazione dei dati intorno ad un valore medio, risulta pari a  $\pm 16$  mm (linee rosse).

Il Grafico 2 mostra, invece, la distribuzione dei diametri all'interno di un popolamento di

tre anni di radice e tre anni di fusto, caratterizzato da un livello di produttività alto e da un diametro medio di 108 mm (linea blu). Il diametro medio dell'impianto è superiore a quello limite di riferimento e la deviazione standard ( $\sigma$ ), pari a  $\pm 32$  mm, definisce il range di valori medi su cui dovrebbe operare la macchina, ovvero da 76 mm a 140 mm. Sono inoltre presenti diverse piante di diametro compreso tra 140 e 180 mm.

L'86,67% delle piante presenti in questa tipologia di impianto ha dimensioni diametriche basali superiori a 70 mm. Analizzando più nel dettaglio la progressione dei diametri lungo un filare, è possibile individuare i punti critici per il funzionamento della macchina (Grafico 3). L'abbattitrice, nei settori S1 e S2, si troverebbe ad operare in presenza di una forte concentrazione di piante ben lignificate di grandi dimensioni, l'una di seguito all'altra. In tali condizioni la macchina non riesce a raggiungere la velocità di funzionamento ottimale in grado di garantire un flusso costante e regolare di prodotto attraverso i vari dispositivi di convogliamento, trasporto e scarico.

## CONCLUSIONI

L'esperienza maturata nel corso delle stagioni di raccolta 2008/2009 e 2009/2010 ha permesso di definire le soluzioni tecniche più idonee per la realizzazione della versione commerciale della macchina abbattitrice andanatrice. L'ultima versione prototipale ha evidenziato una buona affidabilità ed un'interessante produttività in fase di lavoro, risultata superiore a 1,50 ha/h. La macchina commerciale, che verrà realizzata dalla ditta Spapperi sulla base delle indicazioni fornite

dal CRA-ING, potrà operare efficientemente nel lungo periodo sulle seguenti tipologie di impianto:

- impianti annuali (R1F1, R2F1, ecc)
- Impianti biennali di bassa, media ed alta produttività (R2F2, R4F2 ecc)
- Impianti triennali di produttività medio/bassa (R5F3, R3F3 ecc.)

Si considera conclusa così l'attività sperimentale volta allo sviluppo di una macchina abbattitrice andanatrice iniziata tre anni fa nell'ambito del Progetto Suscace (Supporto Scientifico alla conversione agricola verso colture energetiche). Ulteriori possibili innovazioni e adattamenti della macchina, secondo le richieste degli utenti, saranno possibili ad opera della Ditta in relazione alla domanda di macchine che perverrà dal mercato.

Attualmente è in fase sperimentale un ulteriore prototipo di macchina abbattitrice andanatrice per pioppo allevato a turno quinquennale, capace di operare anche su impianti biennali superproduttivi, impianti triennali di produttività media e alta ed impianti quadriennali. La combinazione delle due macchine garantirà la presenza sul mercato di un parco macchine completo ed efficiente, in grado di garantire la raccolta del pioppo in qualsiasi condizione operativa.

## Bibliografia

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

# Una semovente per la raccolta e la cippatura

## Sviluppo di una macchina dedicata alle colture da biomassa

di LUIGI PARI

VINCENZO CIVITARESE<sup>(\*)</sup>

Si descrive lo sviluppo di un prototipo innovativo di macchina semovente e polifunzionale dedicata alle colture arboree destinate a fini energetici. La macchina può operare la raccolta di piante in piedi e andanate, con turni di due, tre, quattro o cinque anni, cippando piante con diametri fino a 380 mm. La macchina inoltre può essere utilizzata in diversi contesti operativi e quindi, può operare diversi mesi all'anno.

**PAROLE CHIAVE:** raccolta SRF, raccolta MRF, macchina semovente

Dal 1995, anno in cui in Italia sono state condotte le prime esperienze di raccolta di colture forestali a rapida rotazione con Claas Jaguar (PARI 1996) ad oggi, il settore ha subito una costante evoluzione. Si è passati, difatti, da coltivazioni con turni annuali a turni biennali, da impianti a file binate ad impianti a file singole, da interfile di 2,50 – 2,80 m ad interfile di 3 m.

Questa evoluzione ha riguardato anche la meccanizzazione dedicata alla raccolta delle Short Rotation Forestry (SRF), che di pari passo con i mutati orientamenti culturali, ha saputo fornire, attraverso l'introduzione di innovazioni tecnologiche (es. testata GBE-1 per Falcitrinciacaricatrice Claas Jaguar, Falcitrinciacaricatrice Spapperi mod. RT, ecc), le necessarie e idonee soluzioni tecniche al mondo agricolo. Negli ultimi anni, nel nostro paese, le intense precipitazioni invernali hanno reso difficilmente praticabili i campi nel periodo utile alla raccolta. Conseguenze dirette di questi eventi sono state l'allungamento del turno di ceduzione, il mancato conferimento del pro-

dotto alle centrali e l'impossibilità di impiegare efficientemente le macchine attualmente presenti sul mercato, a causa dell'eccessivo sviluppo diametrico delle piante.

Per questa ragione nell'ultimo biennio è stata sviluppata una ulteriore innovazione tecnologica, la raccolta e cippatura in due fasi distinte (PARI e CIVITARESE 2009). Il cantiere in due fasi distinte è in grado, difatti, di garan-

tire la raccolta negli inverni particolarmente piovosi, prevedendo l'utilizzo invernale della sola abbattitrice andanatrice. L'ingresso in campo delle falcitrinciacaricatrici dotate di pick up per la cippatura delle andane nelle interfile viene posticipato tra la fine di maggio e i primi di giugno, periodo questo in cui i terreni, generalmente, sono caratterizzati da una maggiore portanza.

Tale modello colturale impone una distanza tra le file di 3,5 m, al fine di consentire il passaggio della raccogliatrice senza correre il rischio di danneggiare i polloni. Tale distanza esclude a priori la possibilità di equipaggiare, con testate pick up, le falcitrinciacaricatrici agricole che, a causa della loro eccessiva larghezza di lavoro (non inferiore a 2.990 mm con pneumatici 650/75 R32) necessitano di interfile di almeno 4 m, soluzione quest'ultima difficilmente praticabile per motivi di carattere economico, agronomico e agro-meccanico.

Altra tendenza in atto è quella di allungare i turni di ceduzione passando da 2 a 5 anni, sia per ridurre i costi di raccolta sia per ottenere un prodotto



Foto 1 - Prototipo di macchina semovente polifunzionale.

LUIGI PARI, CRA-ING. E-mail [luigi.pari@entecra.it](mailto:luigi.pari@entecra.it) - VINCENZO CIVITARESE, CRA-ING. E-mail [vincenzo.civitarese@entecra.it](mailto:vincenzo.civitarese@entecra.it)

<sup>(\*)</sup> Ph.D. student in Utilizzazioni Forestali, Università degli Studi della Tuscia (VT).

raccolto caratterizzato da una minore percentuale di corteccia. Tali mutate esigenze hanno spinto la ricerca a sviluppare una macchina di dimensioni tali da poter circolare liberamente su strada (larghezza massima 2.510 mm), in grado di operare su prodotto andanato anche in interfile di 3 m, in grado di operare la raccolta sia di piante biennali che quinquennali, sia in piedi che precedentemente abbattute ed andanate, e capace di cippare piante forestali di notevoli dimensioni. A tal fine e a completamento dello sviluppo della meccanizzazione "made in Italy" dedicata alle colture energetiche, l'Unità di Ricerca per l'Ingegneria Agraria del Consiglio per la Ricerca e la sperimentazione in Agricoltura (Roma) ha sviluppato, in collaborazione con la ditta Spapperi srl (PG) e col supporto dell'Ente Nazionale per la Meccanizzazione Agricola - ENAMA nell'ambito del Progetto per lo sviluppo di innovazioni tecnologiche agro-meccaniche, un prototipo innovativo di macchina semovente polifunzionale (Foto 1) per la raccolta delle colture arboree da biomassa.

I suoi punti di forza risiedono nelle dimensioni, nella versatilità e nella possibilità di operare per molti mesi l'anno e in differenti condizioni operative.

## DESCRIZIONE DELLA MACCHINA

La macchina è azionata da un motore endotermico diesel IVECO FPT (Fiat Powertrain Technologies) C87 ENT tier 3 di 8,7 litri, con 6 cilindri in linea, che eroga una potenza massima di 260 kW (354 Cv) a 2.100 g/min ed una coppia massima di 1.500 Nm a 1.400 giri/min. La macchina è dotata di un sistema di trazione integrale 4X4 su ponti rigidi, collegati tra loro con albero cardanico, con cambio meccanico a 2 velocità azionabile idraulicamente dalla cabina di guida. Il motore endotermico è collegato ad un accoppiatore a tre uscite della Twin Disk, posto ventralmente alla macchina. L'uscita centrale dell'accoppiatore fornisce il moto, tramite una frizione idraulica ed un riduttore di velocità, alla presa di forza posta



Foto 2 - Tipologie di sterzata: a) quattro ruote sterzanti, b) sterzata a granchio.

Dati tecnici della semovente		
Motore	tipo	FTP Iveco C87
Cilindri	n°	6 in linea
Potenza motore	kW	260
Cilindrata	l	8,7
Serbatoio carburante	l	300
Lunghezza complessiva	mm	6.390
Larghezza complessiva	mm	2.510
Altezza massima da terra	mm	3.910
Massa (comprensiva del cassone posteriore)	kg	9.250
Pneumatici		500/18 R22,5
Dati tecnici del cassone posteriore		
Volume	m <sup>3</sup>	15,7
Altezza massima	mm	2.796
Lunghezza massima	mm	3.783
Larghezza massima	mm	2.500
Massa	kg	800

Tabella 1 - Dati tecnici del prototipo di macchina semovente.

frontalmente alla semovente, che a sua volta azionerà il dispositivo cippatore. In una delle due uscite laterali è inserita una pompa della LINDE, a circuito chiuso e cilindrata variabile (75,9 cc max), comandata meccanicamente con servocomando, con taratura delle valvole di massima da 420 bar e potenza massima trasmissibile di 157 kW (213 Cv). La pompa è collegata ad un motore idraulico di pari cilindrata, flangiato meccanicamente ad uno dei due ponti rigidi della Comer Industries utilizzato per la trasmissione del moto alle ruote. L'altra uscita è collegata ad una ulteriore pompa idraulica, per i servizi e le utenze della semovente (sollevamento dei bracci di collegamento delle testate, azionamento dei cilindri per il ribaltamento del cassone ecc.). La macchina è equipaggiata con quattro ruote isodiametriche e monta pneumatici 500/18R22,5. Un comando elettrico posto in cabina consente di avere le seguenti possibilità di guida:

- ruote anteriori sterzanti e posteriori fisse,
- quattro ruote sterzanti (Foto 2a),
- spostamento laterale della trattrice, movimento a granchio (Foto 2b).

Il serbatoio può contenere circa 300 litri di carburante. La macchina ha una lunghezza, una larghezza e un'altezza massima pari,

rispettivamente, a 6.390 mm, 2.510 mm e 3.910 mm, con un peso complessivo di 9.250 kg (Tabella 1).

Il prototipo è dotato di un sistema di guida reversibile e monta, posteriormente, un cassone ribaltabile da 15,7 m<sup>3</sup>, incernierato sul telaio esterno ad una altezza di 3.910 mm, consentendo lo scarico del prodotto direttamente sui rimorchi degli autotreni (Foto 3). La parte anteriore della macchina (Foto 4) è equipaggiata, infine, con la presa di forza e con due bracci per il collegamento all'organo di cippatura ed alle testate di raccolta delle colture energetiche.

## MACCHINE OPERATRICI DA ABBINARE

L'apparato trinciante, progettato per cippare piante fino a un diametro massimo di 380 mm, sarà costituito da un disco del diametro e spessore pari rispettivamente a 1.600 mm e 60 mm e sarà collegato direttamente alla p.d.p. con un cardano. Due coltelli radiali effettueranno il taglio del prodotto grazie all'azione di un controcoltello fisso. La velocità di rotazione del disco in fase di taglio sarà di 1.000 giri/min e la presenza di apposite palette provvederà a generare il flusso d'aria



Foto 3 - Cassone posteriore ribaltabile.



Foto 4 - Bracci anteriori per il collegamento delle testate da raccolta.

centrifugo necessario al trasporto pneumatico del prodotto trinciato lungo un tubo di lancio. Il gruppo cippatore è stato concepito come modulo indipendente in modo da poter essere velocemente sostituito in caso di rottura e/o manutenzione o qualora si voglia ottenere un prodotto con diverse caratteristiche (es. pezzato).

La cippatrice sarà abbinabile ai seguenti organi di alimentazione:

1. testata tradizionale per la raccolta delle piante in piedi;
2. testata tipo kemper per la raccolta dell'arundo donax;
3. testata pick up per la raccolta delle piante abbattute e andanate.

Quest'ultimo abbinamento potrà essere alimentabile anche attraverso un braccio idraulico con pinza (o con con testa abbattitrice), montato ventralmente alla macchina, per la cippatura a punto fisso o l'abbattimento di piante forestali (manutenzione degli alvei fluviali). E' in fase di realizzazione la testata pick up per la raccolta e cippatura delle piante biennali e quinquennali abbattute e andanate secondo il sistema innovativo in due fasi distinte. La testata pick up (Figura 1) è stata dotata di un dispositivo raccogliitore, di un sistema di convogliamento e di un sistema di alimentazione del cippatore. La semovente, abbinata alla testata pick up, sarà in grado di avanzare lungo le interfile, raccogliere e cippare le piante a terra, scaricare il prodotto sui rimorchi trainati dalle trattrici o sul cassone posteriore della semovente stessa.

Il dispositivo raccogliitore sarà costituito da un pick up rotativo cilindrico dotato di quattro rilievi in acciaio, quest'ultimi con funzione di presa e sollevamento del calcio delle piante. Il sistema di convogliamento sarà realizzato da due serie di tre rulli controrotanti verticali dentati. Parallelamente al pick up, in posizione rialzata, è previsto un rullo rotante dentato orizzontale con la funzione di comprimere le andane troppo alte, agevolando l'ingresso del materiale verso la bocca di convogliamento. Il sistema di alimentazione del cippatore sarà costituito infine da due rulli dentati verticali, uno fisso e l'altro a posizionamento

variabile in funzione della dimensione del prodotto in entrata.

## POLIFUNZIONALITÀ DELLA SEMOVENTE

La semovente può essere equipaggiata con testata tradizionale o con testata pick up, in modo da poter operare sia la raccolta di piante in piedi che di piante abbattute e deposte in andana. Le quattro ruote sterzanti e la possibilità di movimento a granchio potranno consentire alla operatrice di operare agevolmente anche in presenza di capezzagne ridotte. Grazie alla sua ridotta larghezza in fase di lavoro (2.510 mm), la macchina potrà operare la raccolta delle andane in impianti precedentemente abbattuti con interfila di 3 m e, poiché la macchina può cippare piante con diametri fino a 380 mm di diametro svolgerà tale operazione sia su impianti biennali che quinquennali. Per questa ragione è in fase di realizzazione una abbattitrice andanatrice per piante allevate con turni di 5 anni. La macchina può essere dotata di un braccio idraulico equipaggiato con pinza, consentendone l'impiego come cippatrice fissa autoalimentata e provvedendo alla trinciatura delle biomasse, anche di origine forestale, direttamente nei piazzali di stoccaggio delle centrali. Lo stesso braccio idraulico può essere equipaggiato con testa abbattitrice, impiegando la macchina per la pulizia di fossi, nella manutenzione degli alvei fluviali o per l'utilizzazione di impianti quinquennali, provvedendo al taglio, all'atterramento e alla cippatura diretta delle piante.

Tali caratteristiche ne garantiscono un utilizzo continuativo per buona parte dell'anno:

- da novembre a marzo nella raccolta e cippatura in un unico passaggio delle piantagioni allevate a turno breve e nell'utilizzazione di impianti quinquennali;
- da aprile a metà giugno nella raccolta e cippatura del prodotto andanato;
- nei restanti mesi dell'anno come cippatrice fissa autoalimentata e nella manutenzione e pulizia degli alvei fluviali.

Una interessante soluzione tecnica è offerta, inoltre, dalla possibilità di scaricare il cippato

direttamente nel cassone montato posteriormente. Questo accorgimento offre i seguenti vantaggi:

- riduzione dei problemi di compattamento del terreno dovuto al transito continuativo di diverse macchine, specie a seguito di periodi piovosi particolarmente prolungati;
- possibilità di eseguire la manutenzione dei fossi e la pulizia degli alvei autonomamente, in zone di difficile accesso per gli autotreni o altri veicoli con rimorchio;
- minore contaminazione con inerti del materiale raccolto, essendo possibile scaricare il prodotto direttamente sui rimorchi degli autotreni;
- maggior rendimento operativo della macchina nella raccolta delle piantagioni da biomassa, potendo proseguire il lavoro di cippatura senza dover attendere il completamento delle voltate da parte delle trattrici con rimorchi o i tempi tecnici per l'avvicendamento delle trattrici con rimorchi carichi e scarichi.

## CONCLUSIONI

Le caratteristiche tecniche, polifunzionali e operative della semovente sono tali da suggerirne l'impiego a servizio delle centrali a biomassa, che avranno a disposizione una macchina fruibile dodici mesi l'anno, non solo nei periodi utili alla raccolta (da novembre a metà giugno), ma anche nei mesi successivi, provvedendo alla cippatura della biomassa stoccata nei piazzali delle centrali in funzione delle richieste energetiche degli impianti.

Per la prima volta nel mercato nazionale e internazionale viene proposta una macchina semovente così innovativa, in grado di operare anche su impianti quinquennali, settore quest'ultimo che ha richiesto, fino ad oggi, l'utilizzo obbligato di cantieri forestali specializzati (harvester, forwarder, ecc).

Si provvederà a valutare, dandone informazione agli operatori attraverso articoli scientifici, gli aspetti funzionali, produttivi ed economici del prototipo nelle diverse configurazioni e condizioni operative sopra descritte, continuando a fornire supporto tecnico scientifico alle ditte agro-meccaniche nell'ottica di far sì che gli operatori della filiera agro-energetica possano avvalersi di macchine operatrici polifunzionali efficienti, al fine di contenere i costi produttivi ed il possibile impatto ambientale della filiera sul territorio.

## Bibliografia

PARI L., 1996 - **Short rotation forestry harvesting tests with Claas Jaguar 695 Forage harvester.** "AgEng 96", Madrid Spagna 1996

PARI L., CIVITARESE V., 2009 - **Two prototypes for short rotation forestry felling alone windrows between rows and subsequent chipping.** 17th European Biomass Conference and Exhibition. CCH Congress Center Hamburg, (Germany), 29 June - 2 July.

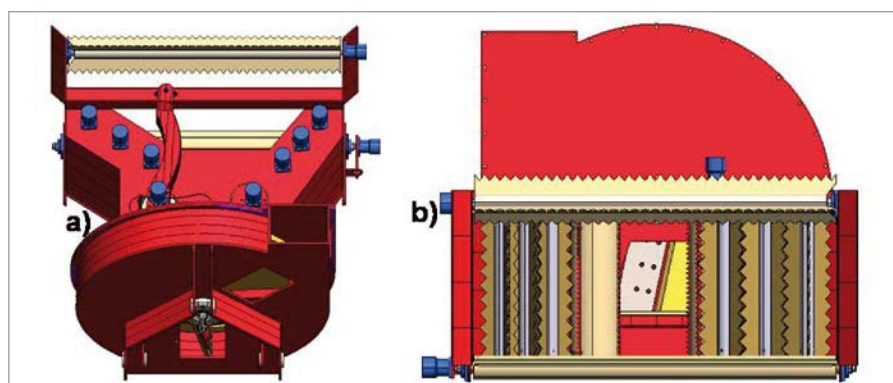


Figura 1 - Testata pick up collegata al disposto cippatore a disco.

# Qualità del cippato

## Umidità e pezzatura in funzione della metodologia di raccolta

di LUIGI PARI

VINCENZO CIVITARESE<sup>(\*)</sup>

ANGELO DEL GIUDICE<sup>(\*)</sup>

Il CRA-ING ha sviluppato un cantiere innovativo di raccolta delle *Short Rotation Forestry* (SRF) in due fasi distinte: abbattimento e andanatura delle piante nelle interfila e successiva cippatura delle andane. Il presente lavoro ha come obiettivo di analizzare da un lato la perdita di umidità delle piante andanate, dall'altro, di caratterizzare e confrontare, qualitativamente, il cippato prodotto da due diverse falciatrici-caricatrici che hanno operato la raccolta sia di piante in piedi che andanate.

**PAROLE CHIAVE:** raccolta e cippatura delle SRF in due fasi distinte, qualità del cippato.

Le tipologie di cantieri per la raccolta del pioppo allevato a SRF possono essere suddivise in due categorie principali: raccolta e cippatura in un unico passaggio e abbattimento e cippatura in due fasi distinte. La raccolta e cippatura in un unico passaggio avviene per opera di falciatrici-caricatrici, semoventi o portate, equipaggiate con testate in grado di eseguire le operazioni di taglio, cippatura e scarico del prodotto sui rimorchi trainati dalle trattrici agricole. I sistemi di lavoro che prevedono, invece, l'abbattimento e la cippatura in due fasi distinte sono attualmente due, entrambi sviluppati dal CRA-ING:

- abbattimento e accatastamento a bordo campo (PARI 1999), per una successiva cippatura ad opera di cippatrice semovente dotata di braccio idraulico con pinza;
- abbattimento e andanatura tra le file (Foto 1), per una successiva cippatura ad opera di cippatrice dotata di *pick up* rotativo (PARI *et al.* 2009).

Il cantiere in due fasi consente, rispetto a

quello in singola fase, di allargare la finestra di raccolta permettendo il conferimento del cippato raccolto all'industria di trasformazione fino a metà giugno, fino a quando, cioè, lo sviluppo dei nuovi polloni non impedisce il transito delle macchine per la cippatura e



**Foto 1** - Andane di pioppo realizzate con prototipo abbattitrice andanatrice.

la movimentazione del prodotto raccolto. In questo periodo le condizioni del terreno permettono il passaggio di macchine caratterizzate da masse elevate senza destrutturare il terreno, diversamente dai campi invernali, caratterizzati da terreno con scarsa portanza. Il prodotto andanato, inoltre, durante lo stoccaggio in campo subisce la riduzione del contenuto idrico passando dal 55-60% a circa il 30%, ottenendo così un prodotto con caratteristiche migliori per la successiva trasformazione o per lo stoccaggio sotto tettoia.

Il presente lavoro persegue il duplice obiettivo di analizzare da un lato la perdita di umidità delle piante andanate, in funzione della loro posizione nell'andana, dell'andamento termo-pluviometrico della zona e del periodo di permanenza in campo, dall'altro, di caratterizzare qualitativamente sia il cippato prodotto trinciando le piante andanate che quello ottenuto cippando le piante in piedi.

Le macchine utilizzate per le prove sono state la falciatrice-caricatrice semovente

LUIGI PARI, CRA-ING. E-mail [luigi.pari@entecra.it](mailto:luigi.pari@entecra.it) - VINCENZO CIVITARESE, CRA-ING. E-mail [vincenzo.civitarese@entecra.it](mailto:vincenzo.civitarese@entecra.it) - ANGELO DEL GIUDICE, CRA-ING. E-mail [angelo.delgiudice@entecra.it](mailto:angelo.delgiudice@entecra.it)  
<sup>(\*)</sup> Ph.D. student in Utilizzazioni Forestali, Università degli Studi della Tuscia (VT).



Foto 2 - Prototipo di abbattitrice andanatrice CRA-ING.

Claas Jaguar e la falciatrici-caricatrice semoportata Spapperi mod. RT, entrambe equipaggiate sia con testate per la raccolta delle piante in piedi che con testate *pick up* per la raccolta delle piante andanate.

## MATERIALI E METODI

Lo studio relativo alla perdita di umidità delle piante stoccate nelle interfila è stato condotto su tre piantagioni di pioppo a giacitura pianeggiante, localizzate in tre diverse località italiane (Figura 1): Citta di Castello, in provincia di Perugia (tesi 1); Medicina, in provincia di Bologna (tesi 2); Argenta in provincia di Ferrara (tesi 3). Gli impianti delle tesi 2 e 3 si presentavano al secondo anno di vegetazione (due anni di radice e due anni di fusto - R2F2), quello della tesi 1 si trovava invece al quarto anno di vegetazione e primo turno di ceduzione (quattro anni di radice e quattro anni di fusto - R4F4). Le operazioni di abbattimento sono avvenute con un prototipo di abbattitrice andanatrice (Foto 2), tra la fine di febbraio e l'inizio di marzo 2009 (PARI *et al.* 2009).

Dall'abbattimento al momento della raccolta si è proceduto a monitorare sia l'andamento del contenuto di umidità delle piante, eseguendo campionamenti periodici all'interno



Figura 1 - Localizzazione dei siti sperimentali.

delle piantagioni, sia i seguenti dati meteorologici: temperatura giornaliera minima, media e massima; umidità atmosferica minima, media e massima; precipitazioni giornaliere e cumulate. Ciò al fine di considerare le possibili interazioni tra i processi di disidratazione naturale delle piante e le condizioni meteo dell'ambiente circostante. In ciascun sito sono state individuate tre aree rappresentative delle caratteristiche della piantagione e, in ognuna di esse e per ogni campionamento, sono state prelevate tre piante intere dall'andana: una a contatto con il terreno (livello 1), una all'interno (livello 2) e l'altra sopra l'andana (livello 3). Il campionamento avveniva nell'arco della stessa giornata in tutti e tre i siti sperimentali e il materiale prelevato veniva sezionato, chiuso in contenitori sigillati non traspiranti e trasportati in laboratorio.

Le valutazioni delle caratteristiche fisiche del cippato sono state condotte su campioni prelevati dal prodotto ottenuto in diversi cantieri di raccolta, sia a singolo che a doppio passaggio, ed hanno riguardato, secondo quanto previsto nella metodologia proposta nelle Technical Specifications of European Committee for Standardization, la distribuzione granulometrica, il contenuto di umidità e la densità apparente (CEN/TS 15415, 15414-1, 15401 del

2006). Le prove sperimentali sono state effettuate con falciatrici-caricatrice semovente Claas Jaguar 890 equipaggiata con rotore di serie e falciatrici-caricatrice Spapperi modello RT semioportata da una trattore da 150 kW di potenza. Entrambe le macchine hanno eseguito sia la raccolta invernale (Foto 3), equipaggiate con testate tradizionali, sia la raccolta delle piante abbattute e andanate, equipaggiate con testate *pick up* (Foto 4).

## RISULTATI

Il cantiere in due fasi distinte prevede la cippatura delle andane tra la fine di maggio e i primi di giugno. Risultando essenziale valutare il contenuto di umidità delle piante appena abbattute e nel periodo prossimo a quello della raccolta, la frequenza dei campionamenti è stata intensificata a partire dal mese di maggio. I risultati ottenuti dalla sperimentazione evidenziano la perdita di umidità delle piante stoccate in andana in funzione della loro posizione sulla andana stessa, del periodo di permanenza in campo e dell'andamento termo-pluviometrico della zona. Negli impianti delle tesi 2 e 3 non è stato possibile procedere ad un campionamento intermedio nel periodo subito successivo all'abbattimento, a causa delle condizioni meteo particolarmente avverse, che hanno reso impraticabili i campi sperimentali.

### Tesi 1

L'impianto di pioppo sito in provincia di Perugia è stato abbattuto il 20 febbraio 2009 e raccolto il 17 giugno 2009. Durante il periodo di stoccaggio sono stati effettuati 9 campionamenti prelevando un totale di 81 piante.

Come si evince dal Grafico 1, al momento dell'abbattimento le piante evidenziavano un contenuto medio di umidità del 59,27%.

A distanza di 17 giorni si è registrato un lieve incremento (61,09%), probabilmente frutto dell'interazione di temperature relativamente basse, elevata umidità atmosferica e piogge concentrate nei giorni che hanno precedu-



Foto 3 - Claas Jaguar 890 con testata GBE-1.



Foto 4 - Falciatrici-caricatrici equipaggiate con testate *pick up* per la raccolta delle piante abbattute ed andanate: a) Claas Jaguar 890, b) Spapperi mod. RT.



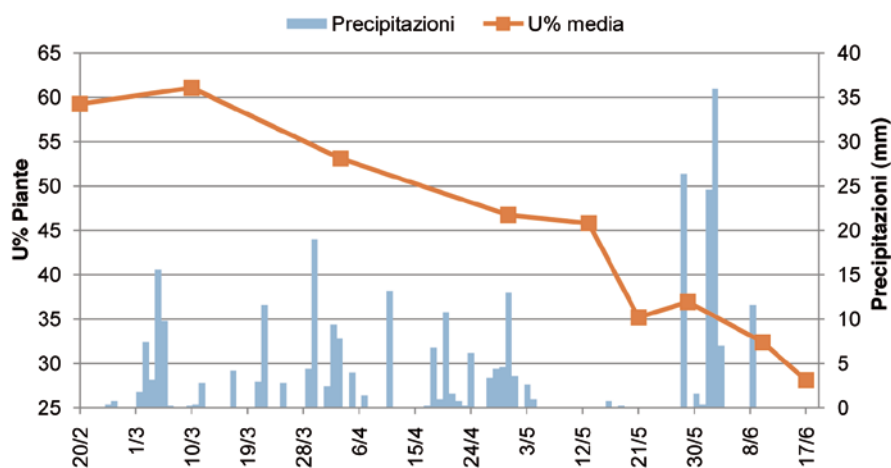


Grafico 1 - Curva di disidratazione delle andane in funzione dell'andamento pluviometrico - Tesi 1.

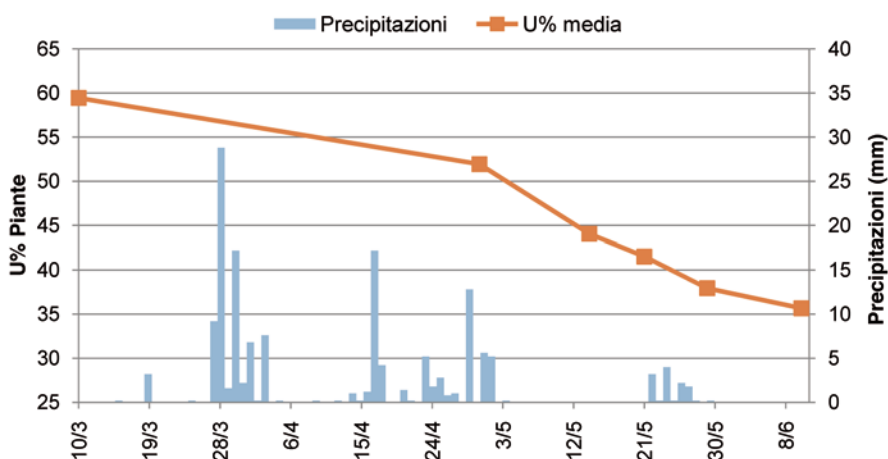


Grafico 2 - Curva di disidratazione delle andane in funzione dell'andamento pluviometrico - Tesi 2.

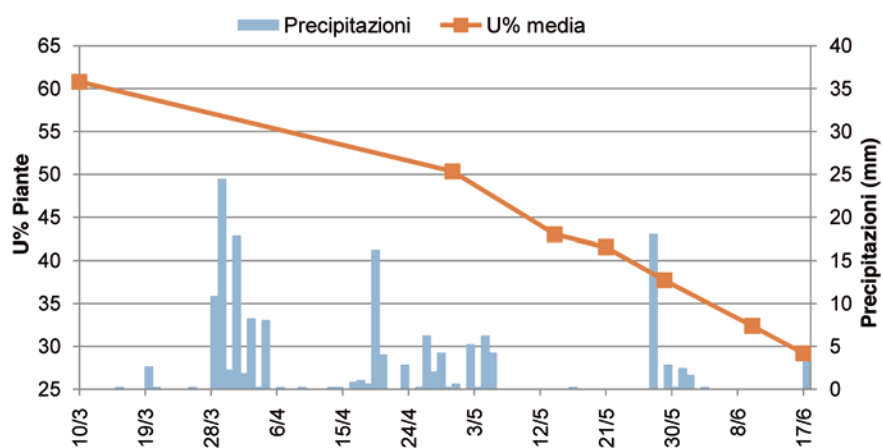


Grafico 3 - Curva di disidratazione delle andane in funzione dell'andamento pluviometrico - Tesi 3.

to il prelievo. Dal 10 marzo al 30 aprile si è verificato un costante decremento del tenore idrico, in corrispondenza del progressivo innalzamento delle temperature, nonostante le piogge primaverili (Tabella 1).

A metà maggio è stata registrata la maggiore perdita di umidità, passando, nell'arco di una sola settimana, dal 45,83% al 35,21%. Tale evento è da mettere in relazione col progressivo aumento delle temperature e con l'assenza quasi totale di precipitazioni. Successivamente, a fine maggio è stato registrato, in concomitanza con una precipitazione di 26,4 mm avvenuta due giorni prima del campionamento, un lieve aumento del contenuto di umidità della biomassa, passata dal 35,21% al 36,94%.

Tra la fine di maggio e i primi di giugno, la percentuale di umidità è risultata variabile tra il 35% e il 30%. Superata la metà di giugno il tenore idrico si riduce ulteriormente (28%), ma difficilmente la raccolta del materiale andanato potrà essere effettuata oltre tale periodo in quanto, il transito delle macchine, provocherebbe danni eccessivi ai polloni secondari in fase di accrescimento.

### Tesi 2 e 3

Gli impianti siti nelle province di Bologna (tesi 2) e Ferrara (tesi 3) sono stati abbattuti entrambi il 10 marzo 2009 mentre la raccolta delle andane è avvenuta ad una settimana di distanza l'una dall'altra, rispettivamente il 10 e il 17 giugno. Per quanto concerne la tesi 2, al momento dell'abbattimento le piante evidenziavano un contenuto medio di umidità del 59,63% (Grafico 2). Dopo cinquanta giorni di stoccaggio l'umidità è scesa al 51,93%, a causa degli eventi piovosi piuttosto consistenti verificatisi nel periodo di riferimento (circa 114 mm).

Nei trenta giorni successivi, invece, si è registrato un repentino calo dell'umidità delle piante, dal 51,93% al 37,94%.

Tale periodo è risultato contraddistinto da temperature elevate e da piogge scarse nella prima settimana e del tutto assenti nel periodo successivo (Tabella 2). Al momento della raccolta il tenore idrico medio delle piante andanate era del 35,67%. La curva di disidratazione relativa alla tesi 3 (Grafico 3) è risultata molto simile a quella della tesi 2. Al 10 giugno la differenza di umidità delle piante era pari a soli 3,27 punti percentuali. La raccolta, nella tesi 3, è avvenuta con una settimana di ritardo rispetto alla tesi 2 e ciò ha comportato un'ulteriore perdita di umidità della biomassa, scesa al 29,20%.

In Tabella 2 vengono riassunti i principali dati meteo e i valori medi di umidità delle piante registrati durante il periodo di stoccaggio per gli impianti delle tesi 2 e 3.

Nel Grafico 4 viene proposta una linea di tendenza polinomiale, frutto dell'interpolazione

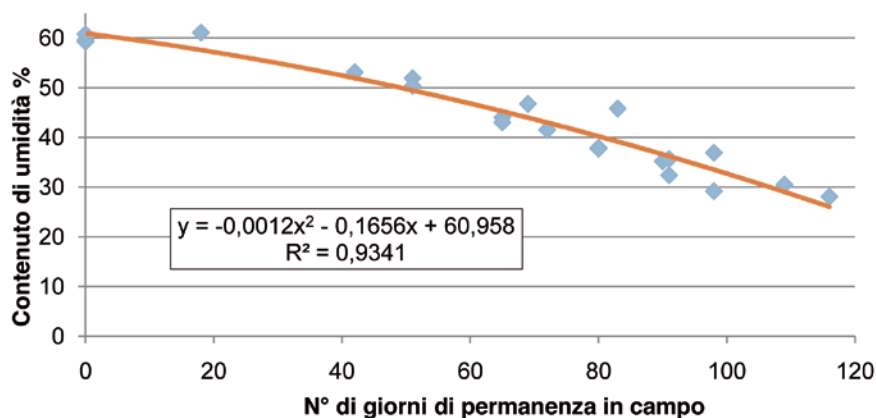


N° prelievo	Data prelievo	Umidità media delle piante (%)	Dati meteo di riferimento		
			Temperatura media giornaliera nel periodo fra due prelievi (°C)	Umidità media giornaliera nel periodo fra due prelievi (%)	Precipitazioni cumulate tra due prelievi (mm)
1	20/02/09	59,27			
2	10/03/09	61,09	6,4	72	39,4
3	03/04/09	53,12	8,7	66	67,4
4	30/04/09	46,77	12,7	69	71,6
5	14/05/09	45,83	16	62	3,6
6	21/05/09	35,21	19,3	64	1,0
7	29/05/09	36,94	22	60	26,4
8	10/06/09	30,52	17	71	80
9	17/06/09	28,11	22	64	0

**Tabella 1** - Dati meteo e valori medi di umidità delle piante registrati durante il periodo di stoccaggio - Tesi 1.

N° prelievo	Data prelievo	Umidità media delle piante (%)	Dati meteo di riferimento		
			Temperatura media giornaliera nel periodo fra due prelievi (°C)	Umidità media giornaliera nel periodo fra due prelievi (%)	Precipitazioni cumulate tra due prelievi (mm)
<b>Tesi 2</b>					
1	10/03/09	59,63			
2	30/04/09	51,93	11,42	75	113,80
3	14/05/09	44,05	17,27	68	23,80
4	21/05/09	41,52	20,54	68	0
5	29/05/09	37,94	23,05	64	3,40
6	10/06/09	35,67	19,55	67	4,60
<b>Tesi 3</b>					
1	10/03/09	60,80			
2	30/04/09	50,35	11,43	76	115,6
3	14/05/09	43,03	16,46	69	16
4	21/05/09	41,55	21	69	0,2
5	29/05/09	37,72	22,78	68	18
6	10/06/09	32,40	19,11	71	4,4
7	17/06/09	29,20	23,25	64	0

**Tabella 2** - Dati meteo e valori medi di umidità delle piante registrati durante il periodo di stoccaggio - Tesi 2 e 3.



**Grafico 4** - Curva di disidratazione delle piante in funzione del numero di giorni di permanenza in campo.

di tutti i dati medi registrati nel corso della sperimentazione.

La curva è in grado di fornire, per le aree italiane oggetto della sperimentazione e nel caso in cui l'abbattimento del pioppo allevato a SRF avvenga verso la fine di febbraio, una previsione abbastanza attendibile del presumibile contenuto di umidità delle piante durante il periodo di stoccaggio di 120 giorni. Utilizzando l'equazione di secondo grado visualizzata nel Grafico 4 è possibile stimare il numero di giorni di permanenza della biomassa in campo affinché le piante raggiungano un determinato tenore di umidità.

Così ad esempio, saranno sufficienti circa 80, 95 e 110 giorni, per ottenere rispettivamente un cippato al 40%, 34% e 28% di umidità.

### Confronto del gradiente di umidità delle andane

L'andana prodotta dalla abbattitrice andanatrice nell'interfila, aveva una altezza media, da terra, di 0,5 m. Le prove hanno riguardato anche la valutazione del diverso andamento dell'umidità delle piante posizionate a contatto del terreno (livello 1), in posizione mediana (livello 2) e sopra l'andana stessa (livello 3). Le piante posizionate nel livello 1, a causa

della minore esposizione al sole, della minore circolazione dell'aria e del contatto con il terreno, evidenziano un contenuto di umidità maggiore degli altri livelli. Per opposte ragioni le piante che si collocano nel livello 3 tendono, invece, a perdere umidità più rapidamente instaurando, nel complesso, un gradiente di umidità decrescente dal livello 1 al livello 3 (Grafico 5). Tale gradiente può risultare particolarmente evidente in alcuni periodi dell'anno, con la tendenza a ridursi man mano che ci si avvicina al periodo utile per la raccolta (tesi 1 e 3), oppure risultare quasi costante durante l'intero periodo di riferimento (tesi 2).

### PEZZATURA DEL CIPPATO IN FUNZIONE DELL'UMIDITÀ

Le piante raccolte in piedi sono caratterizzate da un contenuto di umidità compreso tra il 55% e il 60%. La raccolta in doppio passaggio permette, durante lo stoccaggio delle piante in andana, la perdita parziale di umidità del prodotto che a distanza di pochi mesi raggiunge valori prossimi al 30-35%. Poiché l'umidità del legno influenza le caratteristiche fisiche e meccaniche dello stesso, ne deriva che la pezzatura del prodotto ottenuto con la stessa cippatrice usata per la raccolta in unico passaggio (contenuto di umidità compreso tra il 55% e il 60%), può essere diversa da quella ottenuta con la raccolta in doppio passaggio (contenuto di umidità compreso tra il 30% e il 35%). Si è provveduto quindi ad effettuare prove granulometriche comparative del cippato ottenuto nelle diverse tesi sperimentali schematizzate in Tabella 3.

L'analisi granulometrica ha rilevato, a parità di dispositivo di trinciatura utilizzato, una diversa ripartizione del prodotto nelle tesi a confronto (Tabella 4). Per quanto concerne il prodotto ottenuto con la Claas Jaguar, confrontando la tesi B1 con la tesi A1, risulta che la classe più rappresentativa (12,5 - 25 mm) si riduce dal 50,54% al 43,92%, le frazioni comprese tra 6,3 e 12,5 mm restano, nel complesso, invariate, la frazione inferiore a 3,15 mm, i superlunghe e le impurità, aumentano rispettivamente di 2,07, 1,06 e 3,41 punti percentuali. Per quanto concerne la falciatrici caricatrice Spapperi, invece, confrontando i risultati ottenuti nella tesi A2 con quelli della tesi B2 si registrano da un lato, l'incremento del 4,64% del prodotto ricadente nelle classi più grandi (25 - 50 e 50 - 100 mm) e la totale assenza di impurità, dall'altro una riduzione del 4,56% della classe più rappresentativa e l'incremento delle frazioni comprese tra 12,5 e 6,3 mm (+4,28%).

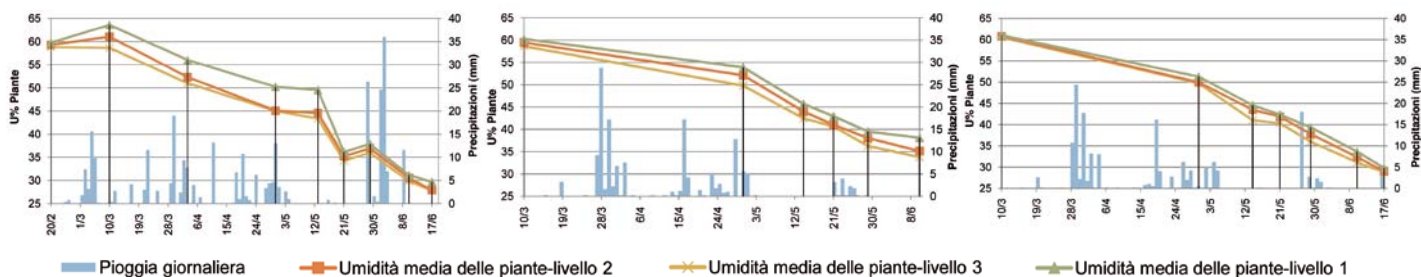
Nel caso della Claas Jaguar, la riduzione del tenore di umidità delle piante al momento della raccolta si traduce in un evidente miglioramento della qualità del cippato ottenuto. Nel caso della falciatrici caricatrice

Raccogliatrice	Sistema di raccolta	
	Raccolta e cippatura delle piante in piedi con testata tradizionale	Raccolta e cippatura delle piante andanate con testata pick up
Claas Jaguar 890	TESI A1	TESI B1
Spapperi mod. RT	TESI A2	TESI B2

**Tabella 3** - Tesi sperimentali dei diversi cantieri di raccolta.

Classi granulometriche	Claas Jaguar		Spapperi mod. RT	
	Distribuzione del prodotto tra le classi granulometriche (%)			
	Tesi A1	Tesi B1	Tesi A2	Tesi B2
> 100 mm	0,00	0,00	0,00	0,00
50 - 100 mm	0,00	0,00	1,13	2,70
25 - 50 mm	6,13	6,61	16,43	19,50
12,5 - 25 mm	43,92	50,54	54,76	50,20
6,3 - 12,5 mm	31,67	30,17	16,92	21,20
3,15 - 6,3 mm	7,07	8,01	3,32	4,80
< 3,15 mm	6,44	4,37	1,83	1,60
Sovrammisure	1,33	0,27	0,06	0,00
Impurità	3,44	0,03	5,54	0,00

**Tabella 4** - Distribuzione granulometrica del cippato prodotto dalle falciatrici-caricatrici nelle diverse tesi considerate.



**Grafico 5** - Curva di disidratazione delle andane in funzione della posizione delle piante rispetto al terreno e dell'andamento pluviometrico - Tesi 1.

Spapperi, invece, risulta più omogeneo il cippato proveniente dalle piante fresche. Nel complesso, tuttavia, la pezzatura del cippato prodotto dalla falciatrice-caricatrice Spapperi (tesi A2 e B2) risulta migliore rispetto a quello prodotto dalla Claas Jaguar, sia utilizzando piante fresche che andanate (tesi A1 e B1). Tale risultato è da mettere in relazione col differente dispositivo di cippatura con cui le due macchine sono equipaggiate: cippatrice agricola a tamburo per Claas Jaguar, cippatrice forestale a disco per Spapperi.

È da sottolineare come pur trattandosi di primi risultati, che saranno oggetto di verifiche successive, il cantiere di raccolta in due fasi produce una minore quantità di prodotto fine (< 3,15 mm) e di impurità. Ciò, probabilmente, è dovuto al fatto che nel cantiere di raccolta ad una fase, tutto ciò che si trova al di sopra delle lame di taglio entra a far parte del prodotto raccolto, comprese foglie secche e terreno, mentre i pick up sono conformati in maniera tale da rilasciare a terra le impurità

eventualmente presenti nel prodotto prima della cippatura.

## CONCLUSIONI

Le tipologie di cantieri per la raccolta del pippò allevato a SRF possono essere suddivise in due categorie principali: raccolta e cippatura in un unico passaggio e raccolta e cippatura in due fasi distinte. Ciascuna tipologia di cantiere offre una serie di vantaggi logistici, gestionali ed economici, in funzione delle caratteristiche pedologiche dei campi e della domanda di conferimento delle centrali durante l'arco dell'anno. La cippatura delle piante andanate comporta evidenti vantaggi sia in fase di stoccaggio che in fase di combustione. Il prodotto disidratato è meno soggetto a fermentazione perdita di sostanza organica, mentre l'assenza di impurità (particelle di dimensioni inferiori a 3,5 mm) si traduce in una riduzione delle polveri sottili trasportate dai fumi in fase di combustione. Infine, almeno nel caso della Claas Jaguar, la

qualità granulometrica del cippato prodotto migliora significativamente.

## Bibliografia

- CEN/TS 15401- **Solid recovered fuels - Methods for the determination of bulk density.** 2006: 1-10
- CEN/TS 15414-1- **Solid recovered fuels - Determination of moisture content using the oven dry method - Part 1: determination of total moisture by a reference method.** 2006: 1-8
- CEN/TS 15415- **Solid recovered fuels - Determination of particle size distribution by screen method.** 2006: 1-10
- GIORDANO G. 1981 - **Tecnologia del Legno vol. 1** Unione Tipografico - Editrice Torinese
- PARI L. 1999 - **Development of a short rotation woody crops (SRWC) harvester suitable for the temperate regions - World Renewable Energy Congress.** Perth Australia Febbraio 1999
- PARI L. CIVITARESE V. DEL GIUDICE A. 2009 - **Cantiere innovativo di raccolta di pippò a turno breve.** Agroenergie dall'impianto alla raccolta, supplemento n. 1 al numero 29 dell'Informatore Agrario.

# Rotore sperimentale CRA-ING

## Qualità del cippato prodotto da Class Jaguar con cippatore innovativo

di LUIGI PARI

VINCENZO CIVITARESE<sup>(\*)</sup>

ANGELO DEL GIUDICE<sup>(\*)</sup>

L'Unità di ricerca per l'Ingegneria Agraria del Consiglio per la Ricerca e la sperimentazione in Agricoltura (Roma) ha realizzato un dispositivo trinciatore di nuova concezione da montare su Claas Jaguar per la raccolta delle Short Rotation Forestry. In questo studio vengono valutati e comparati gli aspetti granulometrici del cippato prodotto dal rotore di serie e dal rotore sperimentale, valutando la possibile influenza della specie legnosa nel processo di formazione delle scaglie.

**PAROLE CHIAVE:** qualità del cippato, falciatrici-caricatrici, cippatore sperimentale, SRF

La qualità del cippato risulta decisiva dal punto di vista della resa energetica, della conservabilità, del tipo di impianto in grado di utilizzarlo e nella formazione del prezzo di mercato. Una buona ripartizione dimensionale e il giusto contenuto idrico rappresentano i parametri chiave per la corretta combustione del cippato in caldaie dedicate (HARTMANN *et al.* 2001). Le prove sperimentali di raccolta delle SRF con Claas Jaguar condotte in passato avevano evidenziato la ridotta pezzatura del prodotto finale e le ricadute negative sulla sua conservabilità (JIRJIS *et al.* 2008; PARI *et al.* 2008). Alla luce di ciò, l'Unità di Ricerca per l'Ingegneria Agraria del CRA, aveva progettato e fatto realizzare dalla Ditta Biomasse Europa un dispositivo trinciatore di nuova concezione. Il nuovo rotore (Foto 1 e Figura 1), a differenza di quello di serie, monta 10 coltelli fissi e consta di un tamburo in acciaio del diametro di 403 mm e lunghezza di 670 mm, sul quale sono state eseguite un totale di 10 lavorazioni (5 per parte, equamente distribuite sul mantello del tamburo), al fine di permettere il corretto posizionamento dei portalama nella successiva fase di saldatura. L'angolo di

inclinazione delle lavorazioni rispetto le generatrici del cilindro è di 5°, mentre il peso del tamburo è pari a 145 kg. I portalama, della lunghezza di 320 mm, sono dotati di 5 asole ciascuno, per il fissaggio e la regolazione dei coltelli.

Le lame hanno una lunghezza pari a 380 mm, con un angolo di taglio pari a 32,5°, e sono dotate di una serie di 5 fori filettati che consentono il fissaggio sul portalama in corrispondenza

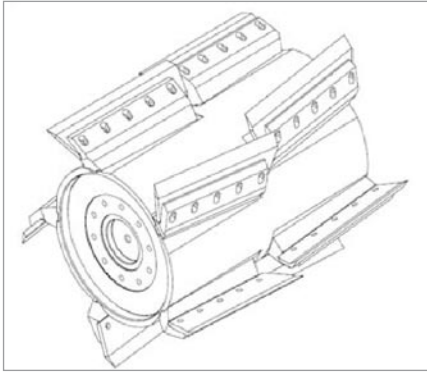
delle asole. È stato inoltre modificato l'angolo di inserimento dei portacoltelli sul cilindro (PARI *et al.* 2009). Nel corso del 2008 erano state organizzate prove comparative di raccolta di pioppeti al primo taglio (piante di due anni di radice e due anni di fusto - R2F2) e secondo taglio (piante con quattro anni di radice e due anni di fusto - R4F2), impiegando falciatrici-caricatrici Claas Jaguar equipaggiate con rotore di serie e con rotore CRA-ING.

Nel corso di tali cantieri erano stati prelevati numerosi campioni di cippato e le analisi avevano evidenziato, a favore del rotore CRA-ING, un incremento del prodotto ricadente nella classe granulometrica 12,5 - 25 mm, +13,80% e +12,10% rispettivamente per R2F2 e R4F2, e una corrispondente riduzione del prodotto ricadente nelle classi granulometriche 6,3 - 12,5 mm; 3,15 - 6,3 mm e < 3,5 mm, rispettivamente -17,80%, -4,60% e -5,20% per R2F2 e -4,10%, -2,90% e -4,10% per R4F2 (PARI *et al.* 2009). I risultati attesi, tuttavia, non erano stati del tutto raggiunti in quanto ci si aspettava un aumento delle dimensioni medie dei chips in tutte le direzioni anatomiche. L'analisi dimensionale delle singole scaglie, invece, aveva



**Foto 1** - Rotore CRA-ING montato su Claas Jaguar 890.

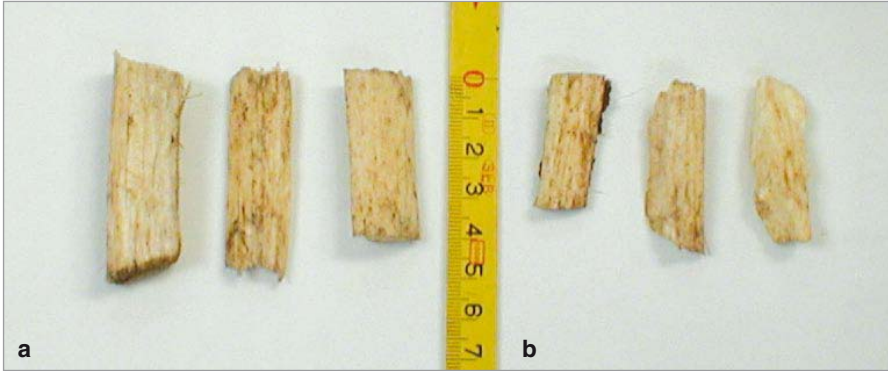
LUIGI PARI, CRA-ING. E-mail [luigi.pari@entecra.it](mailto:luigi.pari@entecra.it) - ANGELO DEL GIUDICE, CRA-ING. E-mail [angelo.delgiudice@entecra.it](mailto:angelo.delgiudice@entecra.it) - VINCENZO CIVITARESE, CRA-ING. E-mail [vincenzo.civitarese@entecra.it](mailto:vincenzo.civitarese@entecra.it)  
<sup>(\*)</sup> Ph.D. student in Utilizzazioni Forestali, Università degli Studi della Tuscia (VT).



**Figura 1** - Rappresentazione 3d del rotore CRA-ING.



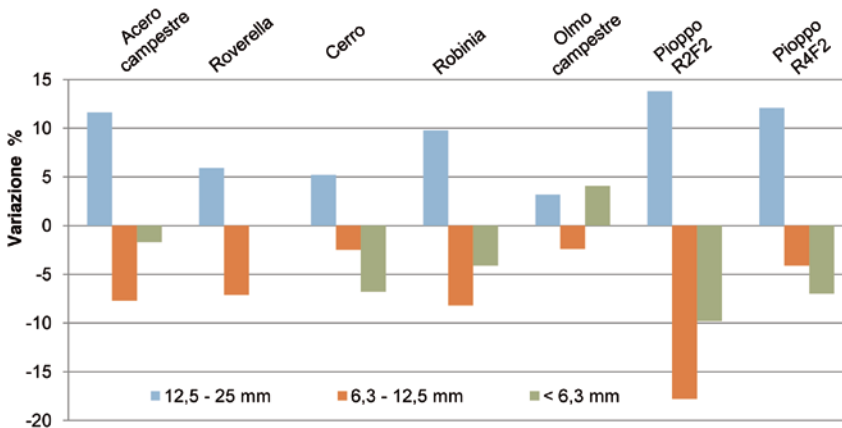
**Foto 2** - Sezione trasversale di un chips di pioppo prodotto dal rotore CRA-ING.



**Foto 3** - Profilo longitudinale dei chips di pioppo prodotti dal rotore CRA-ING (a) e dal rotore di serie (b).

sottolineato il distacco dell'incremento ligneo durante la raccolta del pioppo con rotore CRA-ING (Foto 2) e ciò comportava la possibilità di aumentare in modo significativo solo la lunghezza del cippato (+10 mm), limitando a 1-2 mm gli incrementi in spessore e larghezza (Foto 3). Le motivazioni che porterebbero a tale risultato potrebbero risiedere sia nelle scelte meccaniche applicate sul dispositivo di trinciatura sperimentale, sia nelle caratteristiche della coltura in relazione al ciclo di raccolta, essendo il pioppo una specie a legno tenero e a rapido accrescimento. La specie, l'età, il contenuto di umidità, il tipo di cippatrice utilizzata, l'affilatura dei coltelli e la presenza di dispositivi di raffinazione, sono

tutti fattori che possono influenzare la ripartizione dimensionale del cippato. I processi di crescita, in particolare, comportano un diverso grado di densità tra albume e durame, conferendo di conseguenza una diversa densità ai tessuti costituenti l'anello di accrescimento (GUILLEY *et al.* 2003). Per valutare se la specie legnosa utilizzata nella attività sperimentale prima descritta (specie a legno tenero ed a rapido accrescimento) influisce nel processo di formazione delle scaglie ed è quindi la causa dell'incremento prevalente della sola sezione longitudinale oppure se è necessario modificare il rotore sperimentale, sono state condotte ulteriori prove sperimentali trinciando, con i due rotori oggetto di indagine, sia



**Grafico 1** - Variazione percentuale della distribuzione granulometrica del cippato prodotto dal rotore CRA-ING, rispetto al rotore Claas Jaguar, per le classi più rappresentative.

pioppo allevato a SRF che piante di origine forestale, ovvero con caratteristiche fisiche e meccaniche differenti dalle prime.

## MATERIALI E METODI

Le piante forestali utilizzate nelle prove avevano un diametro basale compreso tra 70 e 100 mm, in linea con le dimensioni diametriche raggiungibili dal pioppo al secondo anno di vegetazione. Sono state esaminate sia specie a legno "tenero" (acero campestre) che specie a legno "duro" (robinia, cerro, roverella e olmo campestre). Un legno duro offre una maggiore resistenza al taglio, essendo caratterizzato dalla presenza di una maggiore quantità di legno estivo, più denso a causa della presenza di pareti cellulari molto spesse e cavità interne piccole. Un legno primaverile, invece, offre una minore resistenza per via delle pareti sottili e delle ampie cavità cellulari. Tutte le specie sono state trinciate sia con il rotore di serie, montato su falciatrici-caricatrici Claas Jaguar 860, sia con rotore CRA-ING, equipaggiato su falciatrici-caricatrici Claas Jaguar 890. Il materiale prelevato in bosco è stato cippato con macchine ferme, inserendolo manualmente nella bocca di alimentazione delle due operatrici. Il cippato ottenuto da ciascuna specie è stato caratterizzato rilevandone la distribuzione granulometrica, il contenuto di umidità e la densità apparente secondo quanto previsto dalle Technical Specifications of European Committee for Standardization (CEN/TS 15415/2006, 15414-1/2006, 15401/2006).

## RISULTATI

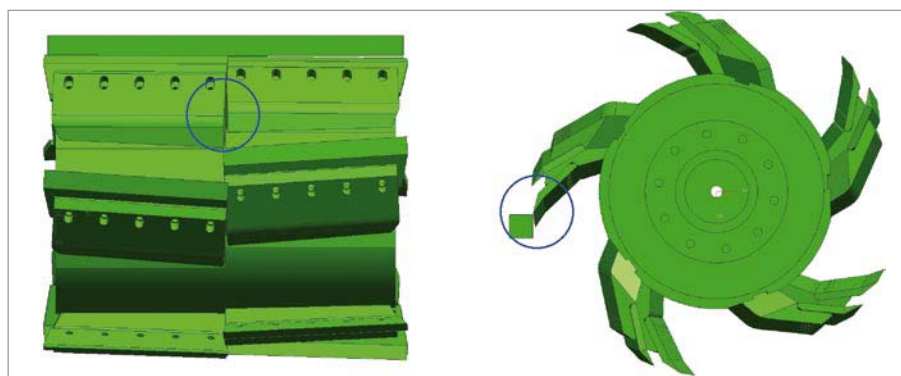
L'analisi granulometrica del cippato ottenuto sia dalle piante forestali che dalle SRF, conferma in linea generale i risultati ottenuti nelle prove sperimentali condotte l'anno precedente: il nuovo rotore, rispetto a quello di serie, consente di ottenere un prodotto con caratteristiche più omogenee, caratterizzato da una minore percentuale di materiale di dimensioni inferiori a 12,5 mm e da una maggiore percentuale di materiale nella frazione 12,5 - 25 mm (Tabella 1 e Grafico 1). La robinia e l'acero campestre sono le specie che hanno mostrato gli incrementi più significativi nella frazione 12,5 - 25 mm, rispettivamente +9,8% e +11,6%. Gli incrementi minori sono stati registrati, invece, per l'olmo (+3,2%), il cerro (+5,2%) e la roverella (+5,9%). La riduzione della percentuale di prodotto ricadente nelle classi granulometriche inferiori a 12,5 mm è risultata variabile da -7,1% per la roverella, a -12,3% per la robinia. In controtendenza l'olmo campestre, con un incremento della frazione inferiore a 12,5 mm del 1,7%. L'analisi delle scaglie conferma la tendenza del nuovo rotore nel concentrare gli incrementi dimensionali nella sezione longitudinale, indipendentemente dalla durezza del

Coltura	Acero campestre		Roverella		Cerro		Robinia		Olmo campestre	
	Claas	CRA-ING	Claas	CRA-ING	Claas	CRA-ING	Claas	CRA-ING	Claas	CRA-ING
Rotore	Distribuzione del prodotto tra le classi granulometriche (%)									
Classe gr. (mm)	Distribuzione del prodotto tra le classi granulometriche (%)									
> 100	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
50 - 100	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,60	0,00	0,00	0,00	0,00
25 - 50	5,30	3,30	7,80	8,60	4,40	7,10	10,20	12,50	17,80	14,50
12,5 - 25	40,60	52,20	52,40	58,30	51,90	57,10	48,30	58,10	46,00	49,20
6,3 - 12,5	42,90	35,20	33,90	26,80	33,10	30,60	34,10	25,90	27,80	25,40
3,15 - 6,3	8,80	7,40	5,20	5,20	8,00	3,20	6,20	2,90	5,10	7,90
< 3,15	1,90	1,60	0,70	0,70	2,50	0,50	1,30	0,50	1,70	3,00
Sovrammis.	0,30	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	1,20	0,00
Impurità	0,00	0,00	0,00	0,40	0,10	0,00	0,00	0,00	0,30	0,00
Contenuto di umidità	29,19%	30,11%	30,20%	30,47%	33,51%	29,16%	30,79%	30,41%	32,48%	33,11%
Densità apparente kg/m <sup>3</sup>	187	164	282	247	220	212	212	179	182	168

**Tabella 1** - Distribuzione granulometrica del cippato prodotto da Claas Jaguar trinciando piante forestali con rotore di serie e rotore CRA-ING.

Coltura	Pioppo R2F2		Pioppo R4F2	
	Claas	CRA-ING	Claas	CRA-ING
Rotore	Distribuzione del prodotto tra le classi granulometriche (%)			
Classe granulometrica	Distribuzione del prodotto tra le classi granulometriche (%)			
> 100	0,00	0,00	0,00	0,00
50 - 100	0,00	0,10	0,00	0,00
25 - 50	6,10	23,90	4,10	3,10
12,5 - 25	43,90	57,70	43,00	55,10
6,3 - 12,5	31,70	13,90	35,30	31,20
3,15 - 6,3	7,10	2,50	10,10	7,20
< 3,15	6,40	1,20	7,30	3,20
Sovrammisure	1,30	0,50	0,20	0,20
Impurità	3,40	0,00	0,10	0,00
Contenuto di umidità	61,61%	61,17%	60,43%	60,03%
Densità apparente kg/m <sup>3</sup>	297	302	274	281

**Tabella 2** - Distribuzione granulometrica del cippato prodotto da Claas Jaguar trinciando il pioppo allevato a SRF con rotore di serie e rotore CRA-ING.



**Figura 2** - Rotore CRA-ING di seconda generazione.

legno che caratterizza la specie in esame. Sia le specie a legno tenero come il pioppo, che le specie a legno duro come la roverella, infatti, evidenziano l'incremento prevalente della sezione longitudinale, che passa mediamente da 30 mm a 40 mm, mentre restano quasi inalterate le sezioni trasversale e radiale. A parità di rotore utilizzato, il cippato di roverella, rispetto a quello di pioppo, è risultato caratterizzato da una maggiore omogeneità ma anche da una minore pezzatura nell'ambito della medesima classe granulometrica. Le scaglie sono risultate infatti più piccole in spessore e larghezza (Foto 4) e ciò

può essere messo in relazione con la maggiore durezza del legno di roverella.

## CONCLUSIONI

L'indagine eseguita ha confermato quanto già emerso nei precedenti lavori condotti sulle piantagioni di pioppo. Il nuovo rotore, rispetto a quello di serie, consente di ottenere, indipendentemente dalla specie impiegata, un prodotto con caratteristiche più omogenee, caratterizzato da una minore percentuale di materiale di dimensioni inferiori a 12,5 mm e da una maggiore percentuale di materiale nella frazione 12,5 - 25 mm. Tuttavia l'analisi



**Foto 4** - Sezione trasversale di un chips di roverella prodotto dal rotore CRA-ING.

del prodotto ha potuto mettere in luce che per tutte le specie è avvenuto il distacco dell'anello di accrescimento, comportando il solo aumento della sezione longitudinale del cippato. Si è così potuta scartare l'ipotesi che il distacco dell'alburno dal durame durante la fase di cippatura fosse dovuta alla specie, operando su specie a legno tenero ed a rapido accrescimento. Per questo, l'attività sperimentale si è concentrata sulla cinetica di taglio del rotore, valutando l'influenza dell'angolo di taglio ma anche i possibili impatti sulle superfici del rotore e del lanciatore che potrebbero comportare il distacco dell'alburno dal durame. Si è proceduti quindi alla realizzazione di un secondo rotore, rappresentato in Figura 2, che, rispetto alla precedente versione, è caratterizzato da una diversa angolazione dei portacoltelli, da un maggior peso (+100 kg) e da una differente disposizione dei portacoltelli sul tamburo. Le prime prove sperimentali volte a valutare l'efficacia delle modifiche meccaniche apportate al nuovo rotore saranno condotte nei mesi di gennaio e febbraio 2011, di ciò si riferirà in un prossimo lavoro scientifico.

## Bibliografia

- GUILLEY E., NEPVEU G. 2003 - *Interpretation anatomique des composantes d'un modele mixte de densité du bois chez le Chêne sessile (Quercus petraea Liebl): âge du cerne compte depuis la moelle, largeur de cerne, arbre, variabilité interannuelle et duramini sation*. Annals of Forest Science, May-June, vol. 60, N° 4
- HARTMANN H., BÖCK M. 2001 - *Measuring size distribution and bulk density of wood chips*. Munich University of Technology, Center of Agricultural Engineering, Germany - Grey
- JIRJIS R., PARI L., SISSOT F. 2008 - *Storage of poplar wood chips in northern Italy*. World Bioenergy 2008 Congress, 27-29 Maggio Jonkoping, Svezia
- PARI L., FEDRIZZI M., CRIELLO A. 2008 - *SRF poplar chips stocking methods comparison to lessen fuel depletion from production to utilization* 16th European Biomass Conference & Exhibition, 2-6 June Valencia
- PARI L., CIVITARESE V., GALLUCCI F. 2009 - *Development of a chipping apparatus prototype mounted on a claas jaguar 890*. 17th European Biomass Conference and Exhibition. CCH Congress Center Hamburg, (Germany), 29 June - 2 July

# Compattamento del suolo

## Effetti prodotti durante la raccolta delle Short Rotation Forestry

di L. PARI, V. CIVITARESE<sup>(\*)</sup>,  
A. DEL GIUDICE<sup>(\*)</sup>, F. DI FULVIO,  
A. ACAMPORA, S. CROCE,  
A. ASSIRELLI

Il cantiere di raccolta delle SRF in due fasi distinte, recentemente sviluppato, offre diversi vantaggi tra cui la possibilità di ridurre i danni da compattamento prodotti dai cantieri di raccolta tradizionali, specie su terreni con bassa portanza. Il presente lavoro persegue il fine di valutare i benefici ambientali, in termini di riduzione dei fenomeni di compattamento, offerti dall'utilizzo invernale della macchina abbattitrice andanatrice come alternativa al transito del cantiere tradizionale costituito da raccogli trinciacaricatrici e dumper trainati da trattori.

**PAROLE CHIAVE:** suolo, compattamento, cantiere di raccolta, SRF.

La compattazione può essere definita come la compressione della massa del suolo in un volume minore che si accompagna a cambiamenti significativi nelle proprietà strutturali e nel comportamento del suolo, nella conduttività idraulica e termica, nell'equilibrio e nelle caratteristiche delle fasi liquide e gassose del suolo stesso ([www.arpa.piemonte.it](http://www.arpa.piemonte.it)).

Il suolo è stato definito dalla Carta Europea dei Suoli (Consiglio d'Europa, 1972) uno dei beni più preziosi dell'umanità e il compattamento risulta essere uno degli aspetti principali della sua degradazione. Secondo dati recenti della Comunità Europea e dell'ECAF (Federazione Europea per l'Agricoltura Conservativa), il 36% dei suoli è sottoposto a gravi processi di compattazione (DOLDI 2009).

I cantieri tradizionali di raccolta delle Short Rotation Forestry si compongono di falciatrinciacaricatrici, semoventi o portate, e di trattori che trainano rimorchi per lo scarico del cippato prodotto.

Il periodo utile per la raccolta coincide con quello del riposo vegetativo della coltura

(da metà novembre a metà marzo), periodo spesso caratterizzato da intense precipitazioni piovose che possono rendere impraticabili i campi per diversi giorni. La necessità di raccogliere il prodotto prima della ripresa vegetativa, tuttavia, impone di operare la rac-



**Foto 1** - Compattamento prodotto dal passaggio di una trattoria con rimorchio per il carico del cippato.

colta anche in condizioni non ottimali, causando inevitabili problemi di compattamento e destrutturazione del suolo stesso (Foto 1). Nel corso del 2009 il CRA-ING ha messo a punto un cantiere innovativo di raccolta e cippatura in due fasi distinte. Il nuovo cantiere prevede l'utilizzo invernale di una macchina abbattitrice andanatrice, molto leggera e in grado di operare su terreni con bassa portanza. La cippatura e la movimentazione del prodotto, ad opera di falciatrinciacaricatrici equipaggiate con testate pick up e di trattori con i rimorchi, vengono eseguite tra la fine di aprile e i primi di giugno, periodo questo che garantisce in linea di massima condizioni ambientali tali da ritenere che il passaggio di macchine e mezzi pesanti non influisca negativamente sul compattamento del suolo (PARI *et al.* 2009).

L'Unità di Ricerca per l'Ingegneria Agraria del Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura, nell'ambito del progetto di ricerca SUSFACE (Supporto Scientifico alla Conversione Agricola ver-

LUIGI PARI, CRA-ING. Email [luigi.pari@entecra.it](mailto:luigi.pari@entecra.it) - VINCENZO CIVITARESE, CRA-ING. E-mail [vincenzo.civitarese@entecra.it](mailto:vincenzo.civitarese@entecra.it) - ANGELO DEL GIUDICE, CRA-ING. Email [angelo.delgiudice@entecra.it](mailto:angelo.delgiudice@entecra.it) - FULVIO DI FULVIO, CRA-ING. Email [fulvio.difulvio@entecra.it](mailto:fulvio.difulvio@entecra.it) - ANDREA ACAMPORA, CRA-ING. Email [andrea.acampora@entecra.it](mailto:andrea.acampora@entecra.it) - SARA CROCE, CRA-ING. Email [sara.croce@entecra.it](mailto:sara.croce@entecra.it) - ALBERTO ASSIRELLI, CRA-ING. Email [alberto.assirelli@entecra.it](mailto:alberto.assirelli@entecra.it)  
<sup>(\*)</sup> Ph.D. student in Utilizzazioni Forestali, Università degli Studi della Tuscia (VT).



Foto 2 - Penetramento elettronico (Cone Index).



Foto 3 - Orme lasciate dalla abbattitrice andanatrice.



Foto 4 - Campionatore volumetrico.

so le Colture Energetiche) ha condotto uno studio sul compattamento del suolo prodotto dal transito delle macchine che operano nella raccolta delle Short Rotation Forestry (SRF). Scopo del lavoro è quello di valutare i benefici ambientali, in termini di riduzione dei fenomeni di compattamento, offerti dall'utilizzo invernale della macchina abbattitrice andanatrice come alternativa al transito del cantiere tradizionale costituito da raccogli trinciacaricatrici e dumper trainati da trattori.

## MATERIALI E METODI

Le prove comparative di raccolta, organizzate dall'Azienda Sperimentale Marani nell'ambito del Progetto di Ricerca FLAME (Fileria Legno Ambiente Energia), sono state condotte il 18 marzo 2010 presso l'azienda Gambi (Località Mandriole - RA). In tale occasione sono state esaminate due tipologie di cantiere:

- raccolta e cippatura in un unico passaggio, sia con falciatrinciocaricatrice semovente Claas Jaguar 890 che con falciatrinciocaricatrice semiportata Spapperi mod. RT;
- abbattimento e deposizione delle piante nell'interfila con prototipo di abbattitrice andanatrice CRA-ING, secondo la metodologia innovativa di raccolta e cippatura in due fasi distinte.

Relativamente alla seconda tipologia di cantiere, gli effetti prodotti dal transito delle operatrici equipaggiate con testate pick up verranno valutati tra la fine di maggio e i primi di giugno, periodo in cui è prevista la raccolta e cippatura delle piante andanate.

Prima di eseguire le prove in campo sono stati rilevati i seguenti parametri relativi alle macchine e al suolo:

- tipo di macchina, marca e modello, massa complessiva, dimensione degli pneumatici;
- contenuto di umidità e caratteristiche tessiturali del terreno.

Le caratteristiche tessiturali sono state determinate sulla base di una serie di campioni analizzati presso un laboratorio specializzato. Il contenuto di umidità è stato calcolato

come differenza tra la massa umida e la massa secca rapportata alla massa umida del terreno (U.R.  $\% = [\mu - M_s / \mu] \times 100$ ). I campioni sono stati prelevati con cilindro campionario in 30 punti distribuiti in maniera casuale sull'appezzamento, nello strato di terreno compreso tra 80 e 130 mm di profondità. Il peso fresco e secco dei campioni è stato misurato con bilancia di precisione ( $d=0,01g$ ) mentre l'essiccamento è avvenuto in stufa a  $110^\circ$  fino al raggiungimento di un peso costante.

Il danno da compattamento è stato valutato in termini di incremento della massa volumica apparente e della resistenza alla penetrazione del terreno, confrontando i dati rilevati prima e dopo il passaggio delle macchine. La resistenza offerta dal suolo alla penetrazione è stata determinata con l'ausilio di un penetrometro elettronico Eijkelkamp - penetrolgger (Foto 2) a cono (angolo del cono  $60^\circ$  e area di base  $1\text{ cm}^2$ ) e i rilievi sono stati eseguiti lungo uno strato compreso tra 0 e 400 mm di profondità. L'indice di cono esprime il rapporto tra la forza (N) applicata per infiggere nel terreno il puntale conico e l'area di base dello stesso ed è influenzato dalla massa volumica, dal contenuto di umidità e dalle caratteristiche del suolo.

Le tesi messe a confronto sono state:

- **tesi 1** - raccolta e cippatura in un unico passaggio con falciatrinciocaricatrice Claas Jaguar. In questa tipologia di cantiere sono stati misurati la resistenza alla penetrazione del terreno compattato dalla semovente ( $T1_{op}$ ), la resistenza alla penetrazione del terreno compattato dal transito combinato della semovente e del trattore con rimorchio carico di cippato ( $T1_T$ );
- **tesi 2** - raccolta e cippatura in un unico passaggio con falciatrinciocaricatrice Spapperi mod. RT abbinata a trattore Deutz-Fahr modello 720 Agrotron. In questa tipologia di cantiere sono stati misurati la resistenza alla penetrazione del terreno compattato dalla cippatrice ( $T2_{op}$ ), la resistenza alla penetrazione del terreno com-

pattato dalla trattrice ( $T2_{mot}$ );

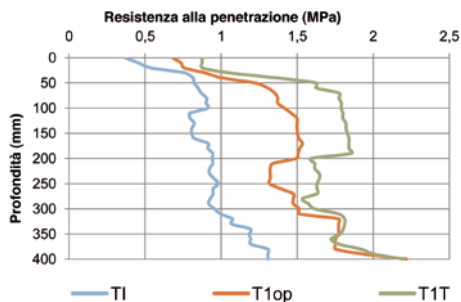
- **tesi 3** - raccolta e cippatura in un due fasi distinte con prototipo di abbattitrice - andanatrice abbinata a trattore Deutz-Fahr modello Agroplus 410. In questa tipologia di cantiere sono stati misurati la resistenza alla penetrazione del terreno compattato dalla abbattitrice - andanatrice ( $T3_{op}$ ), la resistenza alla penetrazione del terreno compattato dalla trattrice ( $T3_{mot}$ );
- **tesi TI** - terreno indisturbato (TI)

Per quanto concerne il terreno indisturbato (TI), sono state effettuate una serie di misurazioni di resistenza alla penetrazione in prossimità delle impronte lasciate dalle diverse macchine coinvolte nella sperimentazione. Tutti i valori rilevati sono stati mediati al fine di produrre una singola curva di confronto valida per tutte le tesi sopra descritte.

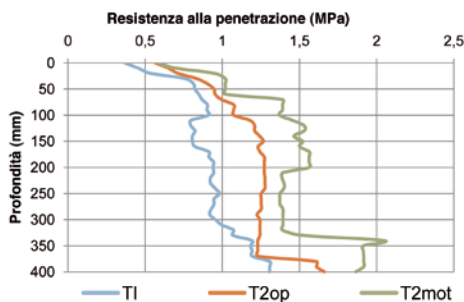
Nella tesi 1 la traccia prodotta dagli pneumatici della testata da biomassa si sovrapponeva a quella prodotta dalla semovente, nelle tesi 2 e 3, invece, le tracce lasciate dagli pneumatici delle macchine operatrici non si sovrapponevano con quelle lasciate dalle macchine motrici ad esse abbinata (Foto 3). Nella tesi 1 sono state effettuate 7 misurazioni in prossimità del centro dell'orma lasciata dagli pneumatici della raccogliatrice, 7 misurazioni sul terreno indisturbato di fianco all'impronta e 5 misurazioni sulla traccia lasciata dai dumper carichi di cippato in sovrapposizione a quella della raccogliatrice.

Per le tesi 2 e 3, invece, sono state eseguite per ognuna di esse 7 misurazioni in prossimità del centro dell'orma lasciata dagli pneumatici della trattrice abbinata alla operatrice, 7 misurazioni in prossimità del centro dell'orma lasciata dagli pneumatici della macchina operatrice (abbattitrice e cippatrice) e 7 misurazioni sul terreno indisturbato di fianco all'impronta.

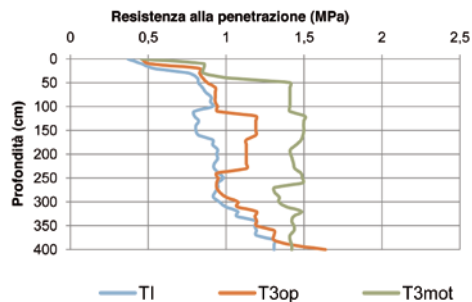
Per l'analisi della massa volumica apparente si è utilizzato un campionario volumetrico manuale Eijkelkamp (Foto 4), contenente un cilindro metallico normalizzato (volume  $100\text{ cm}^3$ ) in cui il terreno entra indisturbato.



**Grafico 1** - Valori medi della resistenza alla penetrazione nel cantiere Claas.



**Grafico 2** - Valori medi della resistenza alla penetrazione nel cantiere falciatrici-caricatrice Spapperi.



**Grafico 3** - Valori medi della resistenza alla penetrazione nel cantiere abbattitrice.

Tale parametro è stato calcolato come rapporto tra la massa secca del terreno contenuto nel cilindro di volume noto (g) e il volume del cilindretto ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ). I campioni sono stati prelevati nello strato di terreno compreso tra 80 e 130 mm di profondità, rimuovendo dallo strato più superficiale le impurità.

Le tesi messe a confronto sono state:

- falciatrici-caricatrice Claas Jaguar (T1<sub>op</sub>);
- abbattitrice andanatrice (T3<sub>op</sub>);
- trattore Deutz-Fahr modello Agropius 410 abbinata alla abbattitrice andanatrice (T3<sub>mot</sub>);
- terreno indisturbato (TI)

Il protocollo operativo seguito per la valutazione di questo parametro prevedeva l'esecuzione di 15 prelievi di terreno indisturbato (TI) in prossimità delle tracce lasciate dalle macchine e 10 campionamenti lungo le orme lasciate da ciascuna macchina (T1<sub>op</sub>, T3<sub>op</sub>, T3<sub>mot</sub>).

## CARATTERISTICHE DELLE MACCHINE

La Claas Jaguar 890 è una macchina semovente della potenza di 372 kW e massa pari a 11.560 kg. Per la raccolta delle SRF la macchina è stata equipaggiata con testata da biomassa GBE-1, del peso di 1.950 kg e dotata di due ruotini per regolare l'altezza di taglio.

La falciatrici-caricatrice Spapperi mod. RT ha una massa complessiva di 1.800 kg ed era portata anteriormente da una trattore 4RM Deutz-Fahr modello 720 Agrottron da 7.146 cc e 202 kW di potenza, del peso di 7.520 kg. L'abbattitrice andanatrice ha una massa complessiva di 1.300 kg ed era collegata all'attacco a tre punti posteriore di una trattore 4RM Deutz-Fahr modello Agropius 410 da 4.000 cc e 70 kW di potenza, del peso di 3.670 kg. Per la movimentazione del prodotto cippato è stata utilizzata una trattore John Deere 6.610 cc (84 kW), del peso di 3.790 kg, trainante un carro BOSSINI da 30 m<sup>3</sup>, quest'ultimo del peso complessivo, considerando il rimorchio carico di cippato, pari a 14.900 kg (massa a vuoto 6.500 kg).

I dati relativi al peso e alla misura degli pneumatici delle diverse macchine coinvolte nei cantieri di raccolta sono riportati in Tabella 1.

## RISULTATI

### Caratteristiche del terreno

Il terreno sul quale sono state condotte le prove è di natura franco-sabbiosa-argillosa (classificazione USDA), privo di scheletro, ed è costituito per il 55% da sabbia, per il 15% da limo e per il 30% da argilla. Il terreno, a giacitura piana, si presentava con un contenuto medio di umidità pari al 15,3%.

### Resistenza alla penetrazione

Il transito delle macchine produce un incremento della resistenza offerta dal terreno alla penetrazione rispetto al campione indisturbato. I Grafici 1, 2 e 3 mostrano i valori medi di resistenza alla penetrazione del terreno (MPa) per le diverse tesi considerate.

Il passaggio della falciatrici-caricatrice Claas Jaguar, tesi T1<sub>op</sub> (Foto 5), produce un incremento della resistenza alla penetrazione del terreno pari al 38,45% nello strato compreso tra 0 e 100 mm, al 74,42% nello strato compreso tra 100 e 200 mm ed al 47,01% nello strato compreso tra 200 e 400 mm.

La tesi T1T mette in evidenza l'effetto prodotto dal passaggio della trattore con rimorchio carico di cippato sulla stessa traccia lasciata precedentemente dalla raccogliitrice Claas Jaguar (Foto 6). Tale azione produce un incremento della resistenza alla penetrazione ben superiore a quanto registrato per la sola raccogliitrice: +61,80% nello strato 0-100 mm, +112,16% nello strato 100-200 mm, +59,85% nello strato 200-400 mm.

Il transito della falciatrici-caricatrice semiportata Spapperi mod. RT (tesi T2<sub>op</sub>) e della trattore abbinata (tesi T2<sub>mot</sub>) producono, rispettivamente, incrementi della resistenza alla penetrazione del 19,43% e del 22,64% nello strato compreso tra 0 e 100 mm, del 44,78% e del 73,82% nello strato compreso tra 100 e 200 mm e del 22,88% e del 45,95% nello strato compreso tra 200 e 400 mm. Il transito della abbattitrice andanatrice (tesi T3<sub>op</sub>) e della trattore abbinata (tesi T3<sub>mot</sub>) producono, rispettivamente, incrementi della resistenza alla penetrazione del 6,60% e del 52,52% nello strato compreso tra 0 e 100 mm, del 28,79% e del 71,25% nello strato

compreso tra 100 e 200 mm e del 4,54% e del 33,28% nello strato compreso tra 200 e 400 mm. Considerando l'incremento medio di resistenza alla penetrazione lungo tutto il profilo esaminato (0-400 mm), prima (terreno indisturbato - TI) e dopo il passaggio delle macchine (Grafico 4), risulta che la falciatrici-caricatrice Claas Jaguar (T1<sub>op</sub>) ha prodotto un incremento del 52,1%, incremento che sale al 74,2% dopo il transito della trattore con rimorchio carico di cippato sulla stessa traccia lasciata dalla raccogliitrice (tesi T1T).

Tra le operatrici, l'abbattitrice andanatrice ha prodotto l'incremento minore, +8,4% (tesi T3<sub>op</sub>), seguita dalla testata cippatrice RT, +28,8% (tesi T2<sub>op</sub>). Tra le trattore abbinata alle operatrici, la Deutz-Fahr 410 Agropius (tesi T3<sub>mot</sub>) collegata all'abbattitrice andanatrice, ha prodotto un incremento medio di resistenza alla penetrazione maggiore rispetto alla trattore Deutz-Fahr 720 Agrottron (tesi T2<sub>mot</sub>) abbinata alla falciatrici-caricatrice RT, rispettivamente +48,9% e +46,3%.

### Massa volumica apparente

Normalmente, un terreno "ben strutturato" a seguito di un appropriato ciclo di lavorazioni si caratterizza per valori della massa volumica apparente compresi tra 1,1 e 1,3  $\text{g}/\text{cm}^3$  mentre assume valori molto più elevati in suoli naturalmente (in seguito al normale e progressivo assestamento delle particelle ed alla riduzione del numero degli aggregati) o artificialmente compattati (in seguito al passaggio ripetuto degli organi di propulsione e di sostegno delle macchine agricole).

Nel primo caso si raggiungono valori dell'ordine di 1,5 e 1,6  $\text{g}/\text{cm}^3$ , mentre nel secondo caso la densità apparente risulta di frequente superiore a 2  $\text{g}/\text{cm}^3$  (PERUZZI, 1997).

La massa volumica apparente è stata valutata sia al fine di evidenziare lo stato del terreno al momento della prova, sia al fine di comparare il livello di compressione dello strato più superficiale del suolo, compreso tra 80 e 130 mm di profondità, prodotto dal transito della sola abbattitrice andanatrice rispetto al transito della falciatrici-caricatrice Claas Jaguar, la macchina attualmente più impiegata nella raccolta in una singola fase.





Foto 5 - Orma della semovente Claas.

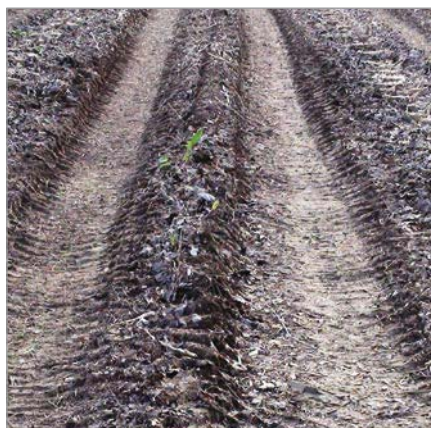


Foto 6 - Passaggio della trattrice con rimorchio carico di cippato sulla traccia della semovente Claas Jaguar.

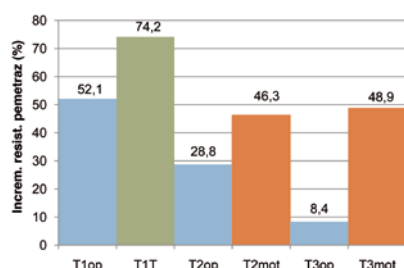


Grafico 4 - Incremento della resistenza alla penetrazione prodotto dal passaggio delle macchine rispetto al terreno indisturbato

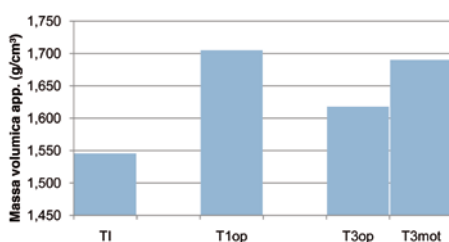


Grafico 5 - Massa volumica apparente del terreno prima (T1) e dopo il passaggio delle macchine operatrici (T1<sub>op</sub>, T3<sub>op</sub>, T3<sub>mot</sub>).

La massa volumica apparente del terreno indisturbato è risultata pari a 1,546 g/cm<sup>3</sup> e dopo il transito delle operatrici sono stati raggiunti i seguenti valori: 1,618 g/cm<sup>3</sup> e 1,670 g/cm<sup>3</sup> rispettivamente per l'abbattitrice andanatrice (tesi T3<sub>op</sub>) e la trattrice ad essa abbinata (tesi T3<sub>mot</sub>), 1,705 g/cm<sup>3</sup> per la semovente Claas Jaguar (tesi T1<sub>op</sub>) (Grafico 5). I dati rilevati hanno messo in evidenza differenze poco significative tra i valori di massa volumica apparente misurati nel terreno indisturbato e quelli rilevati nel terreno dopo il passaggio delle macchine. Ciò dipende sia dalle caratteristiche del terreno che, sulla base di quanto sopra riferito è risultato essere già parzialmente compattato, sia dal fatto che la sperimentazione non ha riguardato gli effetti prodotti dal transito ripetuto delle macchine sulle stesse tracce ma solo singoli passaggi. I dati rilevati confermano ad ogni modo quanto già emerso dallo studio sulla resistenza alla penetrazione. L'abbattitrice andanatrice ha prodotto l'incremento di massa volumica apparente più basso,

+4,7% (tesi T3<sub>op</sub>) e +8% (tesi T3<sub>mot</sub>), mentre la Claas Jaguar l'incremento maggiore, +10,3% (tesi T1<sub>op</sub>).

## CONCLUSIONI

La sperimentazione condotta ha permesso di definire gli effetti prodotti sul terreno dal passaggio delle macchine utilizzate per la raccolta delle SRF, sia nel caso del cantiere tradizionale in un singolo passaggio, sia nel caso del cantiere innovativo in due fasi distinte. I risultati ottenuti indicano la possibilità di ridurre sensibilmente i danni da compattamento utilizzando nel periodo invernale la sola abbattitrice andanatrice, posticipando l'ingresso in campo delle falciatrici caricate con testate pick up e dei trattori con i rimorchi tra la fine di aprile e i primi di giugno.

Le prove condotte hanno evidenziato il minor grado di compattamento del terreno prodotto dall'abbattitrice andanatrice nei confronti delle altre macchine operatrici, in tutti gli strati esaminati, sia superficiali che profondi.

Altro aspetto importante riguarda la trattrice da abbinare alla operatrice. In quest'ultimo caso, infatti, si è visto che la trattrice utilizzata nella prova, nonostante la massa ridotta, ha prodotto un compattamento superiore a quello della trattrice ben più pesante abbinata alla cippatrice RT. Quest'ultima è risultata equipaggiata con pneumatici a sezione più larga e pertanto il peso della macchina veniva scaricato su una superficie di appoggio maggiore. I risultati emersi sottolineano la necessità di utilizzare nelle operazioni di abbattimento e andanatura trattorie dotate di pneumatici con battistrada a sezione più larga rispetto a quella impiegata nella prova comparativa. Ciò consentirà di massimizzare i benefici offerti dall'utilizzo invernale della sola abbattitrice.

Ultima considerazione riguarda gli effetti prodotti dal transito delle raccogliatrici con pick up e dei dumper trainati da trattori, tra la fine di maggio e i primi di giugno. Le macchine, in tale periodo, si trovano ad operare su terreni generalmente più asciutti e quindi caratterizzati da una maggiore portanza. Il pick up montato anteriormente alle raccogliatrici, incrementando la superficie di contatto col terreno, riduce almeno in parte gli effetti del compattamento. Non bisogna dimenticare, infine, che il cippato prodotto dalla trinciatura delle piante andanate risulta caratterizzato da una massa volumica apparente inferiore (per il minore contenuto di umidità), pertanto, a parità di volume, si riduce il peso del prodotto trasportato. Tali considerazioni saranno oggetto di ulteriori approfondimenti e i risultati ottenuti verranno pubblicati in un prossimo contributo scientifico.

## Bibliografia

DOLDI M.L. 2009 - **Ritorno al suolo, Imprese Agricole** - Marzo, p. 28

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

PERUZZI A., SARTORI L. 1997 - **Guida alla scelta ed all'impiego delle attrezzature per la lavorazione del terreno**. Edagricole - Edizioni Agricole della Calderini s.r.l.

[www.arpa.piemonte.it/index.php?module=ContentExpress&func=display&btile=CE&mid=&ceid=467](http://www.arpa.piemonte.it/index.php?module=ContentExpress&func=display&btile=CE&mid=&ceid=467)

# Un GPS per i cantieri di raccolta

## Metodologia innovativa per il monitoraggio e la mappatura

di LUIGI PARI

VINCENZO CIVITARESE<sup>(\*)</sup>

Il rilievo dei tempi di lavoro delle macchine agricole riveste un ruolo fondamentale nella logistica delle operazioni di raccolta, nelle analisi dei costi di esercizio e nei bilanci economici delle colture. I cantieri vengono monitorati dai ricercatori che provvedono, attualmente, a rilevare le caratteristiche dei campi e a registrare i tempi delle operazioni di raccolta con laptop. Il CRA-ING ha sviluppato, in collaborazione con la ditta Arvatec srl (MI), un sistema GPS innovativo per il monitoraggio e la mappatura dei cantieri di raccolta delle colture energetiche.

**PAROLE CHIAVE:** cantiere di raccolta, sistemi GPS, monitoraggio.

Il rilievo dei tempi di lavoro delle macchine agricole riveste un ruolo fondamentale nella logistica delle operazioni di raccolta, nelle analisi dei costi di esercizio e nei bilanci economici delle colture. I cantieri vengono monitorati dai ricercatori che provvedono, attualmente, sia a rilevare le caratteristiche dei campi, sia a registrare i tempi delle operazioni di raccolta.

Tale attività, a causa dell'eccessivo impegno in termini economici e di tempo, non può essere condotta in tutto il periodo di raccolta ma deve essere pianificata ed eseguita su impianti rappresentativi, su superfici di estensione limitata a pochi ettari. La raccolta delle colture energetiche, che si stanno diffondendo velocemente nel nostro paese, non è stata ancora sufficientemente monitorata.

Vi è invece la necessità di valutare l'effettiva velocità di raccolta, l'incidenza dei tempi accessori sulla capacità operativa dei cantieri, i tempi di trasferimento del

cantiere di raccolta (le colture sono ancora sparse sul territorio) e i costi di manutenzione delle operatrici, che essendo mutate da

altre colture o essendo prototipi, non sono state ancora indagate dal mondo scientifico. Per questa ragione, l'Unità di ricerca per l'Ingegneria Agraria del Consiglio per la Ricerca e sperimentazione in Agricoltura (Roma) ha sviluppato, in collaborazione con la ditta Arvatec srl di Rescaldina (MI), un sistema GPS innovativo, in grado di rilevare automaticamente i tempi di lavoro delle macchine agricole e le caratteristiche cartografiche delle piantagioni raccolte. Attualmente tale sistema è in grado di operare il rilievo dei tempi di raccolta sui singoli campi, ma lo scopo è quello di permettere l'elaborazione dei tempi complessivi della campagna di raccolta della singola coltura energetica.

Il sistema si compone di un PC veicolare, con GPS integrato per la guida parallela e software di rilevamento dei tempi, che consente di rilevare e registrare i dati in campo, e di un secondo software per la visualizzazione e l'elaborazione dei



**Foto 1** - PC veicolare installato nella cabina di guida della falciatrinciacaricatrice Claas Jaguar 890.

LUIGI PARI, CRA-ING. E-mail [luigi.pari@entecra.it](mailto:luigi.pari@entecra.it) - VINCENZO CIVITARESE, CRA-ING. E-mail [vincenzo.civitarese@entecra.it](mailto:vincenzo.civitarese@entecra.it)

<sup>(\*)</sup> Ph.D. student in Utilizzazioni Forestali, Università degli Studi della Tuscia (VT).

suddetti dati. Equipaggiando una macchina operatrice con il nuovo sistema GPS è possibile monitorare il lavoro eseguito dalla macchina nel corso dell'intera annata agraria, ottenendo un quadro completo e reale delle sue prestazioni operative in funzione delle caratteristiche dei campi su cui essa si è trovata ad operare, oltre alla mappatura completa e dettagliata degli impianti oggetto di raccolta.

## MATERIALI E MOTODI

Il sistema GPS è stato testato comparando i dati rilevati manualmente dai ricercatori con quelli rilevati automaticamente durante la raccolta di diversi impianti di pioppo e mais, avvenuta secondo diversi schemi di lavoro:

- raccolta e trinciatura di piantagioni arboree in filari paralleli con compimento di voltate strette (Figura 1a);
- raccolta e trinciatura di piantagioni arboree in filari paralleli con compimento di voltate ampie (Figura 1b);
- raccolta e trinciatura del mais con apertura del perimetro esterno e successivi passaggi paralleli con compimento di voltate ampie (Figura 1c).

Il PC veicolare è stato installato all'interno della cabina di guida e il sistema GPS veniva azionato dallo stesso macchinista della Claas. Al fine di valutare l'accuratezza dei dati registrati e individuare eventuali anomalie nei risultati ottenuti, si è proceduto a monitorare i medesimi cantieri secondo la metodologia tradizionale, impiegando due operatori per i rilievi in campo e un terzo operatore per la registrazione dei tempi di raccolta, quest'ultima avvenuta secondo la metodologia ufficiale della Commission Internationale de l'Organisation Scientifique du Travail en Agriculture (C.I.O.S.T.A.).

L'attività svolta in questa prima fase ha permesso di testare il dispositivo in differenti condizioni operative e di individuare e risolvere alcuni errori di classificazione dovuti alla rigidità interpretativa del software.

Nel programma sono state inserite delle stringhe di comando che consentono di correggere automaticamente eventuali errori di acquisizione.

## SISTEMA DI ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI

L'acquisizione dei dati in campo avviene tramite il sistema "ARVAnav2", che si compone di un PC veicolare (Foto 1) touch screen dotato di GPS integrato per la guida parallela e software per il rilevamento dei tempi. Il PC, alimentato da una presa a 12 V del trattore, viene fissato all'interno della cabina di guida tramite apposito supporto a ventosa.

I dati registrati in campo vengono gestiti dal software "ARVACRA", installato su un secondo computer (laptop o postazione fissa).

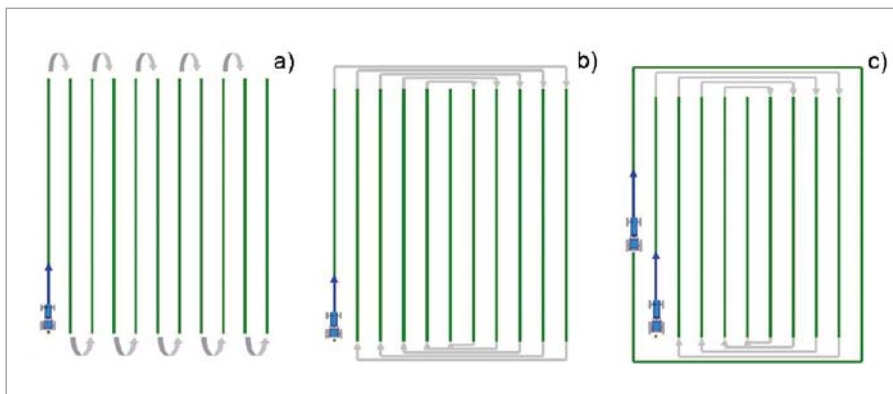


Figura 1 - Tipologie di lavoro eseguite per la messa a punto del sistema GPS: raccolta per file parallele con compimento di voltate strette (a); raccolta per file parallele con compimento di voltate ampie (b); apertura del perimetro, raccolta per file parallele con compimento di voltate ampie (c).

ID	DATAORA	XUTM	YUTM	VELOCITA	DIREZIONE	STATO
173	12/04/2010/ 16.28.19.00	697756,08	5013141,12	4,72	81,70	TE
174	12/04/2010/ 16.28.20.00	697757,45	5013141,48	6,22	74,36	TE
175	12/04/2010/ 16.28.21.00	697758,89	5013141,80	4,63	67,97	TE
176	12/04/2010/ 16.28.22.00	697760,29	5013142,11	5,00	77,06	TE
177	12/04/2010/ 16.28.23.00	697761,73	5013142,39	3,80	68,07	TE
178	12/04/2010/ 16.28.24.00	697763,11	5013142,75	5,15	67,78	TE
179	12/04/2010/ 16.28.25.00	697764,53	5013143,02	5,61	82,95	TE
180	12/04/2010/ 16.28.26.00	697765,92	5013143,32	5,13	87,41	TE
181	12/04/2010/ 16.28.27.00	697767,34	5013143,53	5,04	84,89	TE
182	12/04/2010/ 16.28.28.00	697768,76	5013143,82	5,56	78,69	TE
183	12/04/2010/ 16.28.29.00	697770,16	5013144,14	5,04	86,56	TE
184	12/04/2010/ 16.28.30.00	697771,53	5013144,44	5,04	73,42	TE

Figura 2 - Dati registrati dal GPS durante i test.



Figura 3 - Schermata iniziale del PC veicolare.

Tale software permette di elaborare le informazioni visualizzandole sia in forma grafica che tabellare.

## Il sistema "ARVAnav2"

Il sistema ARVAnav2, appositamente sviluppato dalla Azienda Arvatec, per l'utilizzo su macchine agricole, è in grado di guidare le stesse lungo passate parallele, disegnando e memorizzando il lavoro svolto.

Tale sistema è stato aggiornato, in una fase successiva, al fine di consentire il monitoraggio delle operazioni di raccolta delle colture energetiche. Il GPS registra ad intervalli di 1 secondo la posizione della macchina rilevando per ciascun punto le sue coordinate UTM - WGS84, la sua velocità e la sua direzione prevalente. Sulla base dei dati di velocità (m/sec) e direzione (n° di gradi rispetto al Nord), ad ogni punto viene associato un determinato campo, catalogabile tra tempo effettivo di



Figura 4 - Parametri di lavoro contenuti nel Tab Guida.

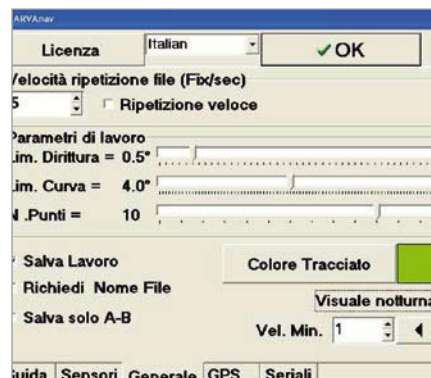


Figura 5 - Parametri di lavoro contenuti nel Tab Generale.

lavoro (TE), tempo di voltata (TAV) e tempo in cui la macchina è stata ferma (TF) (Figura 2). I punti in cui la velocità di avanzamento è maggiore di zero e la direzione di avanzamento non si discosta, oltre un certo numero di gradi, da quella di riferimento, vengono classificati TE; i punti in cui la velocità di avanzamento è maggiore di zero e la direzione di avanzamento si discosta, oltre un certo numero di gradi, da quella di riferimento, vengono classificati TAV; i punti in cui la velocità di avanzamento è uguale a zero sono classificati TF.

L'angolo di voltata può essere definito sia prima di iniziare un lavoro, dal menù impostazioni della schermata iniziale del sistema, sia a lavoro concluso, in fase di elaborazione dei dati. L'operatore è fornito di una apposita scheda sulla quale provvederà a segnare il motivo del tempo di fermata (TF), distinguendo fra TR (tempo di riposo), TMI (tempo morto inevitabile), TAS (tempo accessorio per rifornimento e scarico) e TAC (tempo accessorio per la manutenzione).

In quest'ultimo caso l'operatore deve descrivere il tipo di intervento eseguito (pulizia organi, sostituzione cinghia ecc). In caso di TME (tempo morto evitabile), l'operatore mette in pausa il rilevamento.

La sommatoria dei tempi sopra descritti definisce, secondo la metodologia C.I.O.S.T.A., il tempo standard di lavoro (TS). La schermata iniziale che compare sul display del PC (Figura 3) consente di gestire le impostazioni, riprendere un lavoro precedentemente sospeso, rivedere il percorso di un lavoro eseguito, calcolare l'area di un appezzamento e avviare il monitoraggio di un cantiere di raccolta secondo due diverse modalità:

- **Linea A-B**, nel caso di passate secondo traiettorie lineari parallele;
- **Linea Curva**, nel caso di passate secondo traiettorie curve.

Dal menù **Impostazioni** è possibile impostare i seguenti parametri (Figure 4 e 5):

- larghezza di lavoro, variabile in funzione della macchina raccogliitrice utilizzata e della testata equipaggiata;
- lunghezza dell'operatrice, per trasferire il punto di rilevamento dall'antenna alla testata di raccolta;
- tolleranza dell'errore che si vuole mantenere tra le passate;
- limite di dirittura, ovvero la tolleranza in gradi oltre la quale il sistema considera il lavoro secondo una traiettoria curva;
- limite di curva, ovvero la tolleranza in gradi oltre la quale il sistema considera il lavoro in svolta. Incrementando quest'ultimo parametro il sistema riconosce l'entrata in svolta più in ritardo ed è meno sensibile agli scostamenti dalla traiettoria lineare.

Il pulsante **Area** che compare nella schermata

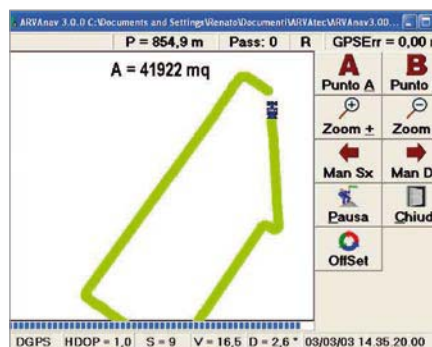


Figura 6 - Valutazione dell'area di un appezzamento.

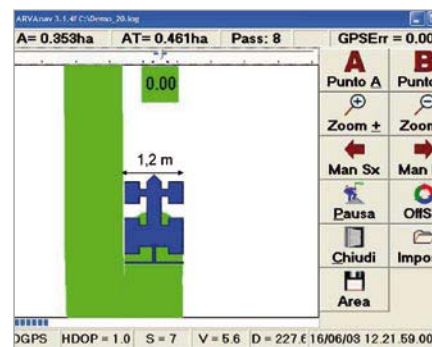


Figura 7 - Modalità di raccolta per passate parallele.

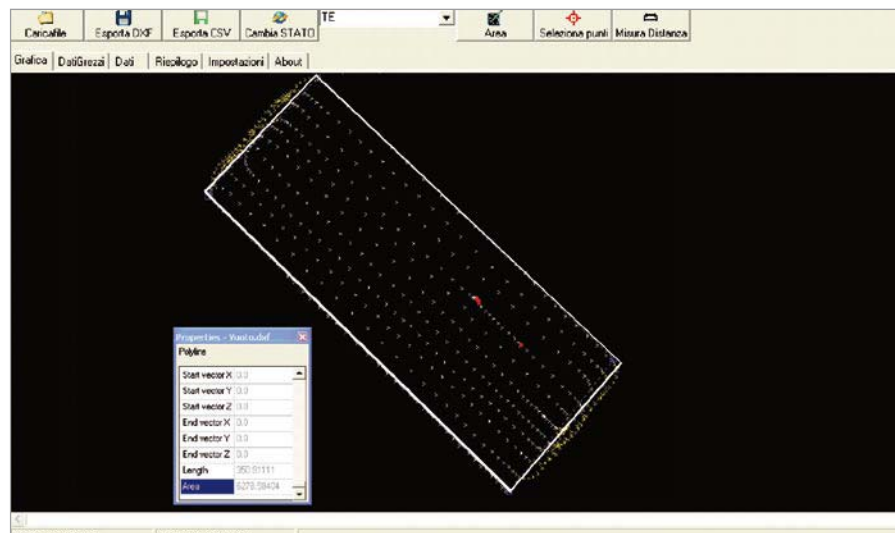


Figura 8 - Sezione grafica della schermata iniziale del software ARVACRA1.

ta iniziale consente di calcolare la superficie di un appezzamento, di qualsiasi forma, a partire dal suo perimetro esterno.

Sul display viene visualizzato in tempo reale il tragitto percorso, il perimetro in metri (P) e l'area in metri quadri (A) (Figura 6). La modalità "Linea A-B", tra le due opzioni disponibili per il monitoraggio dei cantieri di raccolta, è quella che meglio si adatta alle colture energetiche.

Questa modalità richiede di definire, per ciascun appezzamento, la direzione prevalente di lavoro fissando, all'inizio e alla fine del primo filare o della prima passata, due punti di riferimento (rispettivamente "Punto A" e "Punto B"). Il sistema, a questo punto, traccia automaticamente la traiettoria rettilinea (Figura 7) e inizia a distinguere le voltate dal tempo effettivo in funzione della direzione di avanzamento.

Nel caso in cui la coltura non venga raccolta inizialmente per traiettorie parallele, ma sia necessario effettuare prima uno o più passaggi di apertura perimetrale, i tasti A e B dovranno essere attivati nella prima passata lineare successiva all'apertura del campo. Sul display, oltre ai tasti Punto A e Punto B ci sono i controlli per ingrandire o ridurre le

dimensioni del tracciato che si sta percorrendo (Zoom ±), il tasto Area, che consente di salvare in un file di testo l'area totale dell'appezzamento, i tasti Pausa e Chiudi, per interrompere o terminare un lavoro.

Quando un lavoro viene interrotto col tasto "Pausa", lo stesso può essere ripreso in un secondo momento, una freccia direzionale visualizzata sullo schermo del PC guiderà l'operatore verso il punto in cui il lavoro era stato sospeso. Quando, invece, un lavoro viene terminato con il tasto "Chiudi" può essere ripreso in un secondo momento con l'opzione Riprendi, che compare nella schermata iniziale all'avvio del sistema.

Questa opzione consente di selezionare e caricare il file di riferimento e continuare le operazioni di raccolta dal punto in cui il lavoro era stato terminato. In quest'ultimo caso sarà necessario raggiungere il punto di interruzione sulla base del tracciato già percorso.

Altre informazioni visualizzate nelle barre superiore e inferiore sono:

- superficie lavorata in ettari (A);
- superficie totale dell'appezzamento in ettari (AT);
- numero delle passate (Pass);

ID	INIZIO	FINE	DURATA	STATO
1	05/06/2009 9.34.19	05/06/2009 9.35.00	0.00.41	TE
2	05/06/2009 9.35.00	05/06/2009 9.35.33	0.00.33	TAV
3	05/06/2009 9.35.33	05/06/2009 9.36.00	0.00.27	TE
4	05/06/2009 9.36.00	05/06/2009 9.36.26	0.00.26	TAV
5	05/06/2009 9.36.26	05/06/2009 9.36.53	0.00.27	TE
6	05/06/2009 9.36.53	05/06/2009 9.37.21	0.00.28	TAV
7	05/06/2009 9.37.21	05/06/2009 9.37.49	0.00.28	TE
8	05/06/2009 9.37.49	05/06/2009 9.38.08	0.00.19	TAV
9	05/06/2009 9.38.08	05/06/2009 9.38.40	0.00.32	TE
10	05/06/2009 9.38.40	05/06/2009 9.39.02	0.00.22	TAV
11	05/06/2009 9.39.02	05/06/2009 9.39.30	0.00.28	TE

Figura 9 - Dati registrati in fase di raccolta.

DURATA	STATO
0.01.08	TF
0.03.14	TAV
0.06.16	TE

Figura 10 - Riepilogo dati operazioni di raccolta.



Figura 11 - Impostazione dell'angolo di riconoscimento della voltata.

- errore di traiettoria rispetto alla passata precedente (**GpsErr**);
- modalità di ricezione del GPS (**GPS, DGPS, FLOAT, RTK**);
- condizioni dei satelliti (**HDOP**), più il valore è basso più è precisa la posizione;
- numero di satelliti visibili all'antenna GPS (**S**);
- velocità di avanzamento in km/orari (**V**);
- direzione di avanzamento, rispetto al NORD, in gradi (**D**);

I lavori vengono salvati sulla memoria del PC veicolare e possono essere scaricati, per la successiva elaborazione, singolarmente alla fine di ciascun appezzamento oppure tutti insieme a conclusione della giornata o stagione di raccolta.

### Il software "ARVACRA"

I dati registrati in campo dal sistema ARVANav2 vengono scaricati dal PC veicolare tramite una chiavetta USB e caricati su un secondo PC provvisto del software "ARVACRA 1.0". La schermata principale del programma consente di caricare i file registrati in campo e gestire le informazioni in essi contenute. Tali informazioni possono essere rappresentate graficamente oppure in forma tabellare. Nella sezione "grafica" viene visualizzato il percorso effettuato dalla operatrice in campo: i punti di colore bianco indicano i settori in cui la macchina ha eseguito la raccolta, i punti di colore giallo i settori in cui la macchina ha eseguito le manovre di svolta e i punti di colore rosso i settori in cui la macchina si trovava ferma. A disposizione dell'utente vi sono diversi strumenti utilizzabili:

- Cambia stato: consente di selezionare uno o più punti modificandone lo stato (TE→TAV, TF→TAV ecc.). Questo strumento è molto utile per correggere eventuali dati anomali o effettuare delle simulazioni;
- Area: consente di misurare la superficie netta raccolta cliccando su quattro o più

punti a margine del campo (Figura 8);

- Seleziona punti: consente di selezionare singoli punti o un insieme di punti ricadenti all'interno di una determinata area;
- Misura Distanza: questo strumento consente di misurare la lunghezza delle file, la larghezza dell'impianto, la larghezza delle capezzagne di testa e la distanza tra le file. Per una migliore visualizzazione e una maggiore precisione è possibile attivare, col tasto destro del mouse, i comandi zoom, magnifier e snap;
- Esporta DXF: il file originale (estensione .log) può essere esportato in formato .dxf o .dwg, in modo tale da poter essere visualizzato e gestito anche su piattaforma GIS o Autocad.

I dati, come precedentemente ricordato, possono essere visualizzati anche in forma tabellare, evidenziando nel tab "Dati" la cronologia delle diverse fasi di lavoro (Figura 9), e nel tab "Riepilogo" la sintesi dei tempi registrati nel corso del cantiere di raccolta (Figura 10). Il tool "Esporta CSV" consente di esportare i dati sopra descritti in formato excel ed essere quindi utilizzati per le successive valutazioni operative ed economiche.

Nel Tab "Impostazioni" (Figura 11), infine, è possibile modificare l'angolo di riconoscimento della voltata. I dati registrati verranno aggiornati sulla base dei nuovi parametri definiti.

### APPLICAZIONI SCIENTIFICHE

Il sistema di acquisizione dati può essere installato a bordo di qualunque trattore o mezzo agricolo semovente. È possibile lavorare sia in modalità lineare, operando la raccolta per file parallele, come nel caso delle SRF, sia in modalità perimetro, operando prima l'apertura dei margini del campo e procedendo successivamente per file parallele, come avviene generalmente per la raccolta delle colture oleaginose.

Il sistema permette di rilevare automaticamente i tempi di lavoro e le caratteristiche cartografiche delle piantagioni interessate dalle operazioni di raccolta.

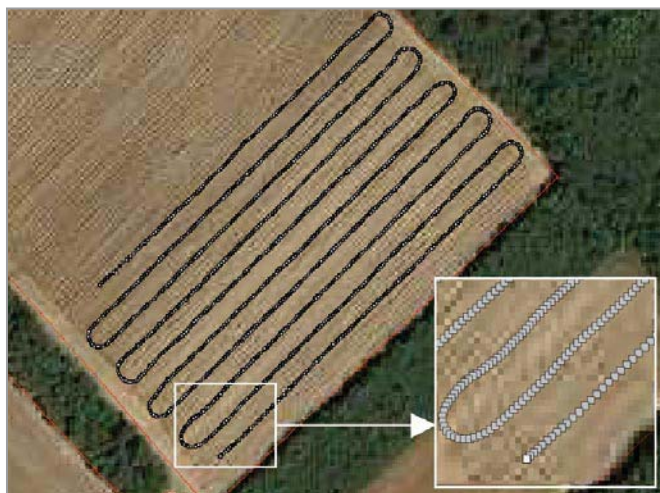
La metodologia proposta, attualmente, consente di mappare con estrema precisione le superfici raccolte definendo il numero di filari, la loro lunghezza, l'interfila, la superficie netta e la forma dell'appezzamento, ma anche di valutare la capacità operativa delle macchine durante l'intera stagione di raccolta, rapportando i risultati ottenuti alla conformazione stessa dei campi e definendo l'incidenza di diversi fattori sull'operatività delle stesse macchine (lunghezza delle file, spazi di manovra, forma dell'appezzamento ecc.). Sarà possibile, quindi, definire dei coefficienti di produttività delle macchine in funzione delle caratteristiche dei campi e prevedere i tempi di raccolta di nuovi impianti che potranno essere realizzati.

Il monitoraggio di lungo periodo mette in evidenza anche un aspetto che difficilmente emergerebbe nel corso di prove condotte su superfici di pochi ettari, ovvero l'incidenza dei tempi di manutenzione (dalla sostituzione della cinghia al rifornimento e scarico, agli ingolfamenti) sull'operatività delle macchine. A tal fine l'operatore preposto alla guida del mezzo potrà annotare il tipo di manutenzione risultata necessaria sulla base di un riferimento orario. La durata dell'intervento potrà essere identificata in fase di elaborazione dati. La possibilità di esportare i file registrati in formato .dxf o .dwg, consente la gestione delle informazioni raccolte anche su piattaforma GIS, offrendo la possibilità di ulteriori e interessanti applicazioni scientifiche.

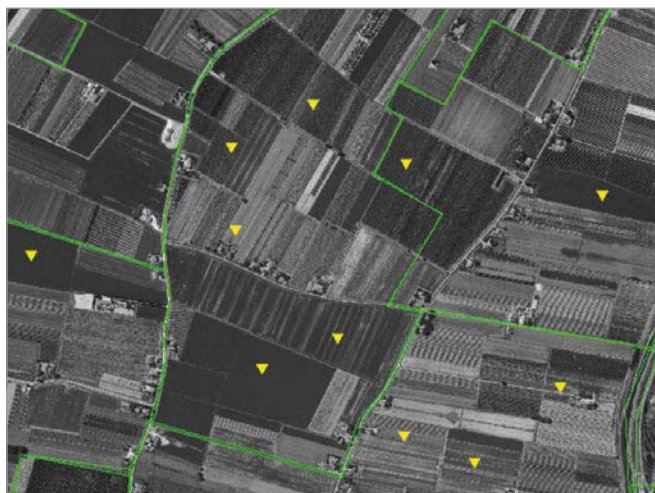
È infatti possibile sovrapporre i dati rilevati in campo con immagini satellitari o ortofoto (Figura 12), collocare sul territorio i singoli appezzamenti (Figura 13), creare un database delle caratteristiche degli impianti, sviluppare applicazioni in grado di supportare il tecnico nella gestione delle operazioni di raccolta, dei conferimenti e dei trasporti all'impianto di trasformazione energetica, in funzione della rete stradale disponibile e della posizione della coltura sul territorio.

### CONCLUSIONI

Il nuovo sistema GPS garantisce l'acquisizione di dati estremamente precisi riducendo sensibilmente sia i tempi tecnici necessari al rilievo delle prestazioni delle macchine durante i cantieri di raccolta, sia i tempi tecnici per l'esecuzione dei rilievi in campo. L'innovazione proposta permetterà di condurre un'intensa e capillare attività di monitoraggio delle macchine raccogliatrici operanti su interi comprensori produttivi, fornendo un quadro globale e dettagliato delle caratteristiche delle piantagioni, della loro ubicazione sul territorio, e delle capacità operative delle



**Figura 12** - Sovrapposizione dei dati registrati dal GPS su immagine satellitare.



**Figura 13** - Mappatura delle colture energetiche sul territorio.

macchine nelle differenti condizioni operative in cui esse si troveranno ad operare nel lungo periodo. Tale sistema potrà essere impiegato, con l'ausilio di programmi GIS, sia nella pianificazione e nella gestione della cantieristica dedicata alle piantagioni energetiche a servizio delle centrali a biomassa di grossa taglia, sia per definire le componenti del costo globale del cantiere di raccolta (tempi di trasferimento, manutenzione

ecc.), al fine di valutare le possibili soluzioni per una sua eventuale contrazione.

La ricerca, nei prossimi mesi, sarà orientata verso applicazioni pratiche in campo. Il piano sperimentale prevede, infatti, il monitoraggio delle seguenti macchine:

- falciatrinciacaricatrice Claas Jaguar in raccolta e trinciatura di pioppo e mais, rispettivamente con testata GBE-1 e testata RU 450 XTRA;

- abbattitrice andanatrice di pioppo CRA-ING/Spapperi, equipaggiata su trattore;
- falciatrinciacaricatrice semovente Spapperi in raccolta e cippatura di pioppo abbattuto e deposto in andana;
- mietitrebbiatrice in raccolta di colture oleaginose.

I risultati ottenuti nel corso della sperimentazione saranno oggetto di ulteriori pubblicazioni scientifiche.

# Un GIS per le biomasse

## Applicazioni per la gestione delle centrali termoelettriche

di LUIGI PARI

MASSIMO PEPE

VINCENZO CIVITARESE<sup>(\*)</sup>

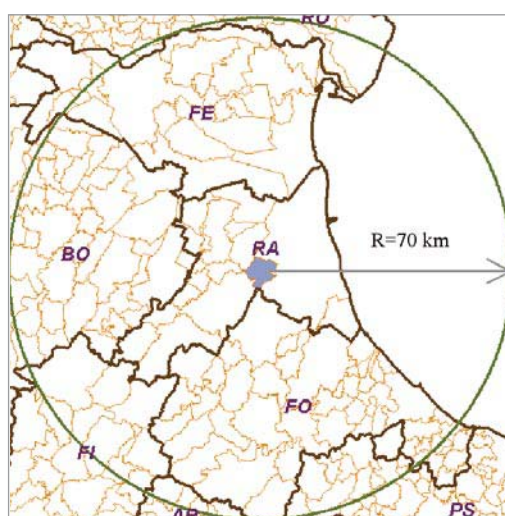
L'attività condotta nell'ambito della riconversione del settore bieticolo saccarifero verso le agro energie ha permesso di sviluppare uno applicativo GIS che potrà essere utilizzato per programmare la sequenza degli impianti da raccogliere giornalmente e la relativa logistica per la movimentazione e trasporto del prodotto, in relazione alle caratteristiche delle macchine operatrici ed ai parametri pedoclimatici e colturali presenti al momento dell'operazione.

**PAROLE CHIAVE:** SW\_SUSCACE\_01, GIS, logistica biomasse.

L'anello della filiera che collega la produzione agricola all'industria di trasformazione è il settore della logistica, in cui la meccanizzazione occupa un posto fondamentale da un punto di vista economico ed ambientale. La scelta della macchina per la raccolta di una coltura energetica, infatti, influenza non solo la redditività della coltura ma anche i costi di trasporto, la conservabilità del prodotto e la necessità di prevedere sistemi di pre-trattamento alla bocca dell'impianto. Nel caso in cui le colture energetiche siano conferite ad una centrale termoelettrica è fondamentale programmare, in un determinato bacino di utenza, le operazioni di raccolta e conferimento del prodotto.

La riforma dell'OCM Zuccheri e i piani di riconversione verso le agro energie a cui ha fatto seguito il settore bieticolo saccarifero hanno permesso, per la prima volta nel nostro paese, di seguire e monitorare un intero processo di riconversione industriale. Una delle società coinvolte in tale processo, la PowerCrop, si appresta

a realizzare una centrale da 30 MWe da alimentare con la biomassa prodotta da 7.000 ha di piantagioni di pioppo a turno breve. La centrale verrà realizzata nel co-



**Figura 1** - Bacino di approvvigionamento della centrale a biomassa di Russi (RA).

mune di Russi (RA) e le piantagioni saranno localizzate entro un raggio di 70 km dalla centrale stessa (Figura 1).

L'Unità di ricerca per l'Ingegneria Agraria del Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura (CRA-ING), in collaborazione con la società PowerCrop, ha provveduto a rilevare nell'ambito del Progetto di Ricerca SUSCACE (Supporto scientifico alla Conversione Agricola verso le Colture Energetiche) i dati relativi alle caratteristiche degli impianti influenti la meccanizzazione della raccolta e la localizzazione delle colture energetiche impiantate per l'alimentazione della centrale. I dati raccolti sono stati inseriti in un database collegato all'applicativo "SW\_SUSCACE\_01" in fase di sviluppo. L'applicativo consentirà di gestire sia la logistica delle operazioni di raccolta e trasporto del prodotto alla centrale, sia le informazioni relative alla produttività attesa, allo stato fitosanitario della coltura, al livello di sviluppo delle infestanti ecc.

Questo strumento potrà essere utilizzato

LUIGI PARI, CRA-ING. E-mail [luigi.pari@entecra.it](mailto:luigi.pari@entecra.it) - MASSIMO PEPE, CRA-ING. E-mail [massimo.pepe@entecra.it](mailto:massimo.pepe@entecra.it) - VINCENZO CIVITARESE, CRA-ING. E-mail [vincenzo.civitarese@entecra.it](mailto:vincenzo.civitarese@entecra.it)  
<sup>(\*)</sup> PhD. student in Utilizzazioni Forestali, Università degli Studi della Tuscia (VT).



Figura 2 - Toolbar di lavoro del software SW\_SUSCACE\_01.



Figura 3 - Modulo di indagine territoriale.

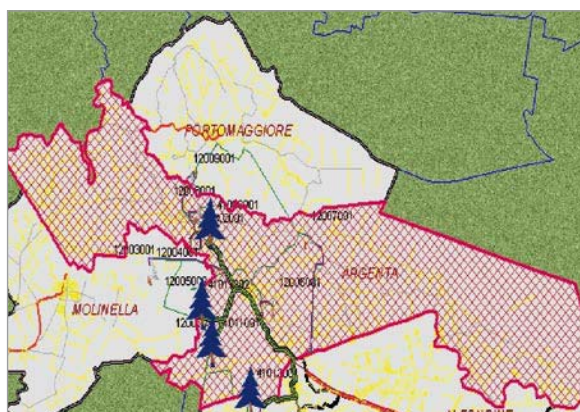


Figura 4 - Risultato grafico dell'elaborazione "Indagine territoriale".

per programmare la sequenza degli impianti da raccogliere giornalmente dalle operatrici presenti sul territorio e organizzare la relativa logistica per la movimentazione e il trasporto del prodotto, in relazione alle caratteristiche delle macchine operatrici (raccolti cippatrici o taglia abbattitrici) ed ai parametri pedoclimatici e colturali presenti al momento dell'operazione. Nel presente lavoro vengono illustrati i risultati raggiunti al secondo anno di sperimentazione.

## MATERIALI E METODI

La fase preliminare del progetto è stata incentrata sulla elaborazione di una scheda anagrafica digitale per il monitoraggio delle superfici investite a Short Rotation Forestry (SRF).

I singoli appezzamenti, finora contrattualizzati per l'approvvigionamento della centrale, vengono catalogati attraverso un codice identificativo composto da otto numeri, generati da una sequenza di sottocodici assegnati rispettivamente alla società interessata, al tecnico di campo, all'azienda di riferimento e, infine, a ciascun appezzamento di cui l'azienda risulta proprietaria. Tale procedura consente di individuare in maniera univoca ogni singolo appezzamento e il tecnico che ha provveduto alla sua informatizzazione.

La scheda anagrafica contiene diverse informazioni, le principali riguardano i dati dell'azienda proprietaria, le caratteristiche dell'impianto (coltura, varietà, anno, sesto di impianto ecc.), la sua posizione geografica, la situazione fitopatologica, la presenza di infestanti, la portanza del terreno e la produttività. Quest'ultimo aspetto viene affrontato in due fasi distinte:

- nel primo flusso di dati viene valutata la produttività attesa, sulla base dello stato generale della coltura, delle cure colturali effettuate e dei dati provenienti da piantagioni raccolte l'anno precedente, costituite con lo stesso clone nelle medesime zone pedoclimatiche;
- nel secondo flusso di dati, invece, viene

valutata la produttività reale e l'umidità del prodotto a seguito delle operazioni di raccolta.

La situazione fitopatologia, la presenza di infestanti e la portanza del terreno vengono valutate in base ad una serie di indici sintetici allo scopo di programmare le operazioni di raccolta in funzione di fattori di priorità. Le schede compilate dai tecnici della società PowerCrop vengono inviate al personale CRA-ING che provvede a verificarne la correttezza e ad inserire i dati nel geodatabase. L'applicativo SW\_SUSCACE\_01, oltre alle informazioni contenute nelle schede, utilizza anche gli shape file relativi ai limiti amministrativi (regionali, provinciali e comunali), al particellare catastale, al network stradale e le ortofoto digitali.

## L'APPLICATIVO SW\_SUSCACE\_01

L'applicativo utilizza come piattaforma GIS il software ESRI@ArcMap 9.2 ed è sviluppato in visual basic for application. La progettazione è avvenuta in due fasi, la prima incentrata all'acquisizione ed elaborazione del supporto cartografico e della banca dati, la seconda all'implementazione dell'applicativo, attraverso un set di moduli personalizzati e integrati per la gestione delle funzionalità, per la definizione dei parametri di input, per l'aggiornamento del sistema e per l'elaborazione dei risultati.

L'applicativo è in grado di operare su diversi livelli attraverso una serie di tools contenuti nella toolbar di lavoro (Figura 2).

I pulsanti "full extent" e "reset" consentono di ripristinare, rispettivamente, le configurazioni standard di rappresentazione dei layer cartografici ed i parametri del sistema.

Il pulsante Google connette l'applicativo sw\_suscace\_01 col programma Google Earth visualizzando automaticamente le immagini satellitari dell'area oggetto di indagine.

Gli strumenti di gestione ed elaborazione sono rappresentati dai tools "Aggiornamento database", "Indagine territoriale" e "Logisti-

ca". Tali strumenti consentono di aggiornare il geodatabase ed estrarre le informazioni in esse contenute per eseguire una indagine territoriale, oppure per avere un quadro sullo stato attuale delle colture e dei mezzi tecnici a disposizione.

Lo strumento di simulazione vero e proprio è rappresentato dal tool "pianificazione" che, sulla base di diversi parametri, è in grado di supportare la fase organizzativa delle operazioni di raccolta del prodotto in campo e di conferimento del cippato in centrale.

## Aggiornamento database

Dal 2009 ad oggi sono stati impiantati circa 1.000 ha di SRF e il quadro è in continua evoluzione. Il tool "Aggiornamento database" è in grado di gestire e aggiornare in tempo reale tutte le informazioni alfanumeriche contenute nel geodatabase. Tramite un apposito modulo e le relative combo box di sistema, funzioni select, insert, update e delete, è possibile visualizzare e/o aggiornare i dati di un impianto esistente (selezionandone il codice identificativo), caricare i dati di un nuovo impianto oppure cancellare definitivamente un impianto dal geodatabase.

## Indagine territoriale

Il tool "Indagine territoriale" (Figura 3) consente di effettuare una rapida analisi sullo stato degli impianti ricadenti in un determinato comprensorio territoriale.

Occorre indicare l'anno di raccolta e il comune (o i comuni) oggetto di indagine; questi ultimi possono essere selezionati sia graficamente, cliccando i relativi poligoni rappresentati sulla mappa, sia tramite selezione da un menù a tendina. Il pulsante "elabora" avvia la sessione di lavoro e i risultati vengono mostrati graficamente nel viewer principale (Figura 4). La mappa evidenzia i comuni, gli impianti ed i relativi collegamenti stradali. Cliccando sul pulsante "Report" viene generata una scheda riepilogativa contenente le seguenti informazioni: comuni oggetto di indagine, anno di raccolta selezionato, co-



dice identificativo della piantagione, coltura presente, superficie e sesto di impianto di ciascun appezzamento, numero di impianti complessivi presenti nel territorio oggetto di indagine, numero di impianti da raccogliere nell'anno selezionato, produttività attesa complessiva, superficie totale interessata dai cantieri, superficie minima, media e massima degli impianti ricadenti nel comprensorio, distanza complessiva che intercorre tra i vari impianti.

## Logistica

Questo tool consente di gestire, sia in forma grafica sia attraverso un report, i dati relativi alle singole piantagioni energetiche e le informazioni sul parco macchine disponibile per le operazioni di raccolta, di proprietà di contoterzisti (CTR). Il tool è suddiviso in due sezioni (Figura 5), la prima dedicata agli impianti, la seconda dedicata ai contoterzisti (CTR).

Per quanto concerne la sezione dedicata agli impianti, una volta selezionato l'anno di raccolta e l'impianto oggetto di indagine è possibile avviare l'elaborazione (pulsante "elabora"). Terminato il processo di elaborazione cliccando sul pulsante "Report" viene generata una scheda riepilogativa contenente, per ciascuna piantagione, l'elenco di tutte le informazioni contenute nel geodatabase, dai dati del proprietario alla varietà impiantata, dalla data d'impianto, densità, giacitura ecc, ad informazioni riguardanti lo stato fitosanitario della coltura, la portanza del terreno e la tendenza dello stesso a preservare le infestanti.

Per quanto concerne la sezione dedicata ai CTR, invece, è sufficiente selezionare il codice identificativo del contoterzista. Il report fornisce le sue generalità, i recapiti, le coordinate del punto in cui risultano ricoverate le macchine, il numero, il tipo e le caratteristiche delle macchine motrici e operatrici utilizzate per la raccolta delle colture energetiche. La mappa (Figura 6) completa il quadro delle informazioni evidenziando la posizione dell'azienda contoterzista e gli impianti a lui afferenti. È possibile tuttavia prevedere lo spostamento del CTR in un areale di raccolta più distante in relazione a particolari condizioni (ad esempio operatrici più leggere in condizioni climatiche difficili).

## Pianificazione

Questo tool consente di programmare le operazioni di raccolta e i conferimenti del prodotto in centrale attraverso un processo di simulazione.

Il numero di impianti che è possibile raccogliere nel corso di una giornata viene valutato in funzione delle caratteristiche delle piantagioni, della viabilità, del tipo di cantiere di raccolta e di macchine operatrici disponibili. Il trasporto del cippato in centrale, invece,



Figura 5 - Modulo "Logistica".

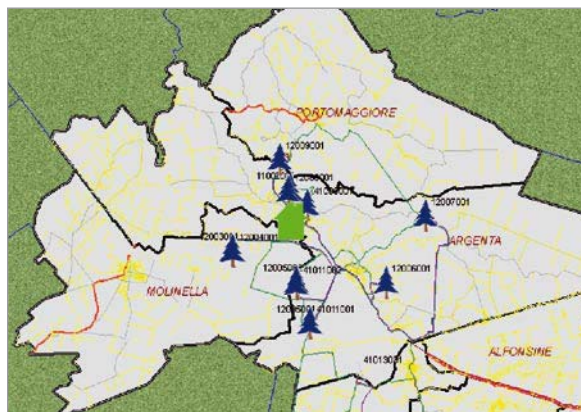


Figura 6 - Risultato grafico dell'elaborazione "Logistica - sezione terzista".

viene valutato in funzione della produttività attesa dei campi, della portata dei rimorchi, della viabilità e del tempo tecnico di scarico in centrale.

L'interfaccia (Figura 7) prevede l'inserimento dei seguenti parametri: anno di raccolta, impianto da cui iniziare la raccolta, turno di lavoro (8, 10 o 12 ore), macchina operatrice e relativa capacità di lavoro, tempi tecnici per effettuare lo scarico del prodotto in centrale e portata dei rimorchi che effettuano il trasporto. Relativamente alle operazioni di raccolta vengono valutate due tipologie di cantieri:

- raccolta e cippatura in un unico passaggio, da effettuarsi con falciatrici-caricatrici equipaggiate con testate per la raccolta delle piante in piedi;
- raccolta e cippatura in due fasi distinte (PARI *et al.*, 2009)

In quest'ultimo caso una macchina abbattitrice-andanatrice provvede a tagliare e a deporre le piante nelle interfile nel periodo di riposo vegetativo, mentre la cippatura, ad opera di falciatrici-caricatrici equipaggiate con testate pick up, viene rinviata tra la fine di maggio e i primi di giugno.

Una volta inseriti i parametri di input è possibile avviare l'elaborazione dei dati cliccando sul pulsante "Stima". Gli output della simulazione sono evidenziati sia graficamente nel viewer principale (Figura 8), sia attraverso un report.

Nella mappa vengono visualizzate le piantagioni che è possibile raccogliere nel corso della giornata di lavoro (a partire dall'impianto selezionato) e i relativi collegamenti stradali. L'impianto di partenza viene indicato con un pallino di colore rosso mentre l'ultimo impianto raccogliabile con un pallino di colore verde. Il report della simulazione è diviso in due settori:

- nel primo settore vengono fornite informazioni relative ai singoli appezzamenti: generalità e recapiti del proprietario, codice identificativo, coltura, superficie, produttività stimata, tempo di raccolta, tempo per un singolo trasporto, numero di trasporti

necessari per conferire il prodotto in centrale e il numero di mezzi necessari per eseguire i suddetti trasporti;

- nel secondo settore, invece, vengono fornite informazioni relative all'intera giornata lavorativa: numero di impianti che è possibile raccogliere nel corso della giornata, superficie totale da raccogliere, produttività attesa totale, distanza complessiva tra i vari impianti, tempo complessivo necessario per le operazioni di raccolta (comprensivo dei tempi di trasferimento del cantiere tra i diversi appezzamenti), numero di trasporti necessari per conferire il prodotto in centrale e numero di mezzi necessari per eseguire i suddetti trasporti.

Il tempo di trasporto del cippato in centrale viene calcolato in funzione delle distanze esistenti tra il margine dell'appezzamento e la centrale a biomassa, sulla base della viabilità ordinaria. I tempi di trasferimento delle macchine che compongono i cantieri di raccolta, invece, vengono valutati anche in funzione della viabilità non ordinaria, costituita da strade interpoderali e interaziendali, per la cui mappatura è stato necessario procedere alla foto interpretazione di immagini satellitari.

I dati relativi ai collegamenti stradali vengono analizzati da un algoritmo che, per ciascuna coppia di nodi determina sia il percorso minimo che le singole tipologie dei tratti stradali.

## RISULTATI

L'applicativo è stato progettato nell'ottica di divenire uno strumento essenziale per il fuel manager della centrale, per colui cioè che dovrà programmare le operazioni di raccolta, conferimento e stoccaggio delle biomasse, per alimentare in maniera costante e con le caratteristiche fisiche volute (pezzatura, umidità) l'impianto durante tutto l'arco dell'anno. Per tale ragione l'applicativo è di facile uso ed aggiornabile.

Il tool "Aggiornamento database", difatti, consente di aggiornare il geodatabase e i dati relativi alle piantagioni energetiche an-



Figura 7 - Modulo "Pianificazione".

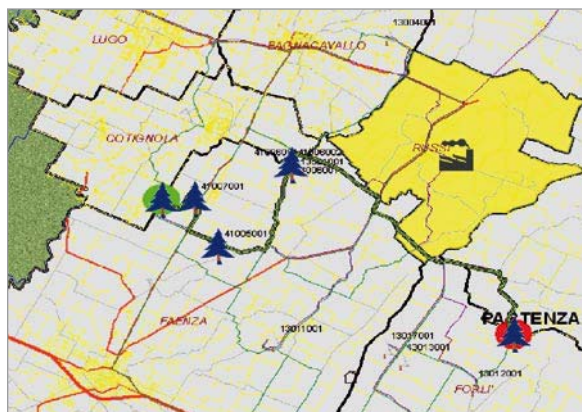


Figura 8 - Risultato grafico dell'elaborazione "Pianificazione".

che alla fine della fase sperimentale, in modo che lo strumento di programmazione possa essere utilizzato anche al termine del progetto di ricerca SUSCACE, dato che, per poter operare, il sistema deve basare le proprie elaborazioni su un dataset di informazioni costantemente aggiornate.

Il tool "Indagine territoriale" può essere inoltre utilmente impiegato dal personale di campo in quanto fornisce un quadro riepilogativo della situazione presente (numero di impianti, loro caratteristiche principali, estensione dei singoli appezzamenti, superficie minima, media e massima).

Il tool "Pianificazione" può essere utilmente impiegato sia dal personale di campo che gestisce la cantieristica in un determinato comprensorio energetico, sia dal personale che opera direttamente dalla centrale e che gestisce l'intero bacino di approvvigionamento. Il tool fornisce indicazioni su quanti e quali impianti, teoricamente, è possibile eseguire la raccolta nell'arco di una giornata.

Ciò consente di pianificare e programmare quotidianamente le operazioni di raccolta e conoscere, per una determinata area, il numero di giorni necessari per completare la raccolta. Altro aspetto importante riguarda i conferimenti del prodotto in centrale.

Il tool effettua sia la stima del numero di trasporti necessari per conferire il cippato prodotto da ciascun impianto e da tutti gli impianti raccolti nel corso della giornata, sia la stima del numero di mezzi necessari per queste operazioni. A seconda della distanza percorsa da ciascun veicolo e del tempo necessario per effettuare lo scarico in centrale, infatti, alcuni mezzi possono eseguire più trasporti giornalieri. Inoltre, la scelta dei mezzi e la loro programmazione permette di ridurre il numero complessivo di veicoli che si sposta-

no sul territorio, con ripercussioni positive sul piano economico e ambientale.

In questa fase si sta valutando l'efficacia dello strumento attraverso uno studio pilota finalizzato alla valutazione preliminare delle potenzialità e del corretto funzionamento dello strumento stesso.

Attualmente il tool "pianificazione", a differenza degli strumenti di elaborazione "Indagine territoriale" e "Logistica", effettua le proprie simulazioni su una superficie rappresentativa che comprende 14 comuni, distribuiti tra le province di Ferrara, Bologna, Ravenna e Forlì, per una superficie complessiva di 2138 km<sup>2</sup>. Terminato il processo di verifica sarà possibile gestire in maniera razionale l'intero bacino di approvvigionamento, risolvendo le possibili problematiche che verranno evidenziate nel corso della sperimentazione.

Il tool "Logistica" può essere utilmente impiegato dal personale della centrale che gestisce l'intero bacino di approvvigionamento. Le due sezioni relative agli impianti ed ai CTR consentono di pianificare le operazioni di raccolta in funzione delle caratteristiche degli impianti, delle condizioni meteo, della portanza del terreno, della situazione fitopatologica o del livello di infestazione del terreno.

Nel caso di precipitazioni intense, ad esempio, è possibile programmare la raccolta in un'area non interessata dalle precipitazioni, trasferendovi le macchine che compongono i cantieri di raccolta e contattando direttamente i proprietari degli impianti. In caso di precipitazioni poco intense è possibile individuare i terreni caratterizzati da una maggiore portanza e in grado di garantire comunque la praticabilità dei campi.

Alcuni terreni tendono ad essere invasi in modo più evidente dalle infestanti e ciò ostacola la raccolta del pioppo andanato con fal-

ciatrinciacaricatrici equipaggiate con testata pick up. In questi casi è possibile individuare i terreni critici e anticipare la raccolta delle andane programmando la movimentazione dei cantieri di raccolta in funzione di indici di priorità. La sezione terziisti fornisce anche importanti informazioni sui mezzi meccanici a disposizione e sugli impianti che ciascuna ditta provvederà a raccogliere.

Ciò consente di individuare le aree scarsamente servite e di provvedere, pertanto, ad incrementare il numero di mezzi meccanici a disposizione e/o il numero di aziende di contoterzismo che operano sul territorio.

Ogni singolo tool può essere utilizzato in maniera autonoma ma, ovviamente, l'uso integrato di tutti gli strumenti messi a disposizione e dei relativi prodotti elaborati fornisce uno strumento di indagine e pianificazione completo.

## CONCLUSIONI

Un GIS offre la possibilità di gestire, analizzare ed elaborare dati alfanumerici in relazione alla componente spaziale, garantendo la consistenza e l'integrità del dato di output. In questo lavoro si è presentato un applicativo finalizzato alla pianificazione ed alla ottimizzazione delle fasi organizzative di raccolta e trasporto delle biomasse.

Terminata la fase di riconversione delle ex superfici bieticole, la centrale di Russi si troverà nelle condizioni di dover gestire un elevato numero di piantagioni energetiche, variamente distribuite su un areale di circa 15.000 km<sup>2</sup>. In tali condizioni le variabili in gioco sono diverse, da quelle di natura meccanica o agronomica a quelle di natura climatica e pedologica. Il software SW\_SUSCACE\_01 rappresenta uno strumento di analisi e supporto decisionale indispensabile per la corretta e razionale gestione della filiera agro energetica.

L'organizzazione e la memorizzazione di informazioni territoriali e non, in una raccolta di strati tematici legati tra loro, consente di risolvere molteplici problemi legati alla gestione del territorio, riducendo al contempo gli impatti ambientali, per questo l'applicativo proposto è un importante esempio delle potenzialità offerte da un GIS.

## Bibliografia

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

# Stoccaggio del cippato di pioppo

## Variazioni delle caratteristiche di prodotti a diversa granulometria

di FRANCESCO GALLUCCI

LUIGI PARI

ANGELO DEL GIUDICE<sup>(\*)</sup>

Nel 2009 il CRA-ING ha condotto diverse prove su cippato di pioppo SRF appena raccolto, al fine di mettere a punto un sistema di stoccaggio efficiente, economico e funzionale. In questo lavoro si mettono a confronto cumuli di cippato a diversa granulometria correlando le perdite di sostanza secca con le variazioni di umidità e temperatura.

**PAROLE CHIAVE:** cippato, stoccaggio, potere calorifico, umidità, granulometria, SRF.

L'utilizzo di cippato in caldaia con tenori di umidità elevati comporta una sostanziale riduzione del potere calorifico (si ha una perdita di 2,44 MJ per kg di H<sub>2</sub>O evaporata) e una elevata produzione di vapore acqueo che comporta notevoli svantaggi sia per la depurazione dei fumi che per l'insorgere di fenomeni chimici corrosivi dovuti alla condensazione. La disidratazione è regolata essenzialmente da fenomeni diffusivi che implicano il trasporto di materia (acqua) attraverso gradienti di temperatura e umidità tra strati successivi di materiale e tra esso e l'ambiente esterno. È essenziale quindi il rapporto tra superficie e volume del cippato (S/V), responsabile anche dell'entità della degradazione da parte dell'attacco fungino. Infatti maggiore è il valore S/V maggiore sarà il flusso di materia (acqua) verso l'esterno con conseguente perdita di umidità da parte del materiale, la qual cosa contribuisce a una più veloce disidratazione dello stesso. Per contro l'aumento del valore S/V (a parità di massa  $m=pV$  tale valore è direttamente proporzionale a S e quindi al grado di sminuzzatura) contribuisce sensibilmente alla degradazione del materiale stesso in quanto il legno umido è un habitat eccellente per il proliferare di microrganismi xylofagi che

trovano grande quantità di superficie legnosa non protetta dalla corteccia, tanto più estesa quanto più piccola è la dimensione delle scaglie ottenute. Il lavoro sperimentale riportato, consiste in una attività di ricerca poliennale volta a mettere a punto un sistema di stoccaggio efficiente, economico e funzionale e mette in correlazione le perdite di sostanza secca con le variazioni di umidità e temperatura all'interno dei cumuli di cippato a diversa granulometria. Questo sistema di stoccaggio

inoltre permette alle aziende agricole di fornire il biocombustibile in maniera continua per tutto l'arco dell'anno e con il giusto tenore di umidità che al momento della raccolta è superiore al 60% su base umida.

### MATERIALI E METODI

Sono state messe a confronto due tesi, denominate tesi 1 e tesi 2, ottenute dalla cippatura di pioppo allevato a SRF e raccolto con Claas Jaguar 890. Il cippato della tesi 1 è stato ottenuto con Claas Jaguar 890 equipaggiata con rotore di serie, mentre il cippato della tesi 2 è stato ottenuto sempre con Claas Jaguar 890 ma equipaggiata con rotore sperimentale sviluppato da CRA-ING. Difatti prove sperimentali precedenti avevano messo in luce che il cippato ottenuto con Claas Jaguar, macchina progettata per la trinciatura del mais, adattata alla cippatura del pioppo riducendo il numero dei coltelli del rotore da 24 a 12, aveva una pezzatura particolarmente fine che ne favorisce la degradazione<sup>(1)</sup>. È stato quindi studiato, progettato e realizzato un nuovo rotore per cercare di aumentare la pezzatura del prodotto raccolto. Esso è costituito da un tamburo in acciaio, del diametro



**Foto 1** - Cippato inserito nei sacchetti di nylon precedentemente numerati.

<sup>(1)</sup> *Supplemento Informatore Agrario n° 29 17/23 Luglio 2009.*

di 403 mm e lunghezza pari a 670 mm, su cui sono montati 10 coltelli fissi inclinati di 5° rispetto l'asse di rotazione con l'intento di avere un cippato con una granulometria maggiore. Il rilievo del microclima è stato monitorato da una centralina microclimatica che ha registrato in maniera continuativa, durante le prove sperimentali, umidità e temperatura dell'aria, le precipitazioni, l'irraggiamento solare e la velocità del vento. L'andamento della temperatura all'interno dei cumuli, è stato monitorato grazie a sonde posizionate all'interno dei due cumuli a diversi livelli e a diverse sezioni sia longitudinali che trasversali, questo perché, come già detto, è proprio il gradiente delle temperature che gioca un ruolo determinante nel processo di disidratazione del materiale. Le prove sono state condotte in provincia di Mantova da metà febbraio a fine giugno.

## CUMULI

Sono stati costituiti e monitorati due cumuli non coperti:

- **Tesi 1:** Cumulo di cippato di pioppo ottenuto da Claas Jaguar equipaggiato con rotore tradizionale;
- **Tesi 2:** Cumulo di cippato di pioppo ottenuto da Claas Jaguar equipaggiato con rotore denominato CRA-ING;

I cumuli, di forma tronco-piramidale, hanno le dimensioni riportate in Figura 1 e sono stati posizionati su un piazzale opportunamente asfaltato per limitare la presenza di materiale inerte sia durante la costruzione, sia nella fase successiva di apertura. Al fine di poter rilevare in modo continuo le temperature interne dei due cumuli, sono state posizionate all'interno di ogni cumulo 12 sonde a termoresistenza del tipo PT100 distribuite su tre livelli, lungo tre sezioni longitudinali e lungo due diverse sezioni trasversali. Per ogni sezione trasversale sono state inserite **al primo livello (1m dal suolo)** tre sonde: una centrale e altre due disposte a 2 m simmetricamente rispetto alla sezione longitudinale mediana. **Al secondo livello (3m dal suolo)** sono state inserite altre due sonde disposte a 1 m simmetricamente rispetto alla sezione longitudinale mediana. **Al terzo livello (4m dal suolo)** è stata posta una sonda lungo la sezione longitudinale trasversale mediana. (Figura 1). Per facilitare l'estrazione delle sonde nel caso di una eventuale sostituzione per malfunzionamento, le sonde sono state inserite all'interno di tubi in materiale plastico resistente alle alte temperature. In prossimità di ognuna delle 12 sonde, sono stati posizionati tre sacchetti numerati di cippato, rappresentativi del materiale oggetto di studio (Foto 1). Il cippato è contenuto in sacchetti traspiranti di materiale sintetico non attaccabili da microorganismi e da acidi. Al fine di valutare la perdita di sostanza secca è stato caricato un quantitativo noto di cip-

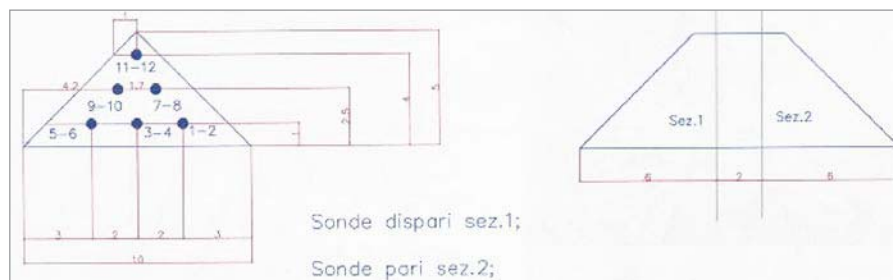


Figura 1 - Schema delle dimensioni del cumulo, posizione sonde e sezioni verticali.

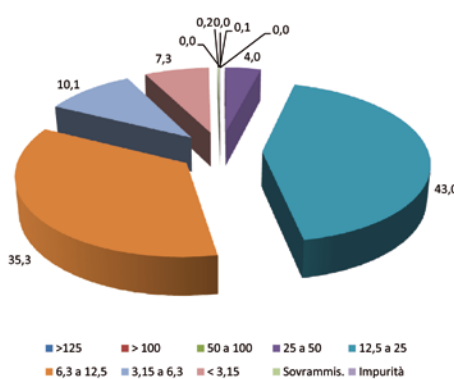


Grafico 1 - Analisi dimensionale del cippato ottenuto con rotore di serie Claas Jaguar.

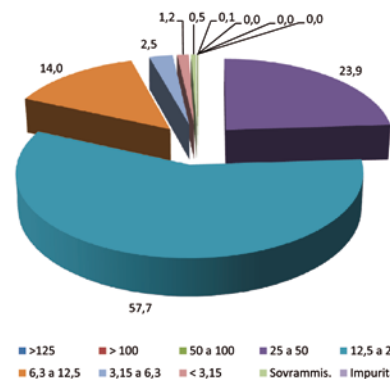


Grafico 2 - Analisi dimensionale del cippato ottenuto con rotore CRA-ING.

pato successivamente ripesato al momento dell'apertura del cumulo. Per ogni sacchetto oltre al peso, è stato rilevato anche il tenore di umidità secondo la normativa CEN/TS 15414-1, 2006 - Determinazione del contenuto di umidità mediante metodo di essiccazione in stufa. Il cippato della tesi 1 e della tesi 2 è stato analizzato in modo da rilevare la caratterizzazione granulometrica secondo la normativa CEN/TS 15415:2007 - Determinazione della distribuzione granulometrica mediante il metodo di setacciatura.

## CENTRALINA DI ACQUISIZIONE

Il sistema di acquisizione dati è costituito da un'unità centrale e da un box a tenuta stagna. Il box ha 24 canali in ingresso, 12 per le sonde del cumulo della tesi 1, e 12 per le sonde del cumulo della tesi 2. Ogni canale è dedicato all'acquisizione della temperatura ri-



Foto 3 - Sezione del cumulo al momento dell'apertura (giugno 2009).

levata dalle sonde collocate all'interno dei cumuli. Le sonde sono collegate al box mediante un cavetto rivestito in gomma silicatica in grado di resistere sia all'ambiente acido sia alle alte temperature. Un clock interno al box permette di acquisire il dato da ciascun canale ogni 10 secondi. Il box è collegato all'unità centrale, costituita da un computer e da schede per l'elaborazione dei relativi segnali. All'unità centrale è collegata anche una centralina che permette di registrare la variazione del microclima locale durante tutto il periodo della sperimentazione ed in particolare: pioggia caduta, velocità del vento, temperatura ed umidità esterna dell'aria, irraggiamento solare. Un software, interno all'unità centrale, provvede a regolare tutti i parametri di controllo dei vari sensori e a salvare i dati che un router UMTS/HSDPA, invia alla sede del CRA-ING di Roma. Inoltre il gruppo di continuità permette un'autonomia di circa 2 ore del sistema in caso di mancanza di energia elettrica. Nell'eventualità di malfunzionamento del sistema vengono inviati dei messaggi sms alle persone preposte al controllo in modo che possano agire da remoto.

## ANALISI DIMENSIONALE

L'analisi granulometrica effettuata al momento della costituzione dei cumuli e evidenziata nei Grafici 1 e 2, ha messo in evidenza nel caso della tesi 2 un incremento percentuale della classe dimensionale 12,5 mm-25 mm, rispetto a quelle osservate nella tesi 1; si passa infatti dal 42,98% al 57,74%. Sempre nel caso della tesi 2 la classe dimensionale 25

mm-50 mm risulta incrementata, mentre risultano ridotte le classi dimensionali di minori dimensioni (3,15 mm-6,3 mm e 6,3 mm-12,5 mm) rispetto alla tesi 1. Il cippato della tesi 1 risulta quindi essere nel complesso di minori dimensioni, infatti, le classi dimensionali medie (6,3 mm-12,5 mm e 12,5 mm-25 mm) sono quelle meglio rappresentate.

## RISULTATI

Dall'esame dei Grafici 2, 3, e 4 che riportano i valori delle temperature medie per ogni livello (ricavate dalla media delle temperature giornaliere per ogni sonda), è visibile un andamento omogeneo delle due curve. La curva che rappresenta la media delle temperature interne inerente alla tesi 2 evidenzia valori più alti in confronto alla tesi 1.

Le curve denotano un calo delle temperature nel tempo per entrambe le tesi. I momentanei picchi delle temperature si osservano in concomitanza ad eventi piovosi cospicui (Grafico 6). Si osserva una iniziale stazionarietà delle temperature, con valori di 50°-60°C, a cui fa seguito una marcata diminuzione in corrispondenza della fine del mese di aprile e per quasi tutta la metà del mese successivo.

Nel caso del livello più basso (L1) tale diminuzione è molto meno marcata, in quanto il materiale è protetto proprio dagli strati superiori. Inoltre è anche meno permeabile in ragione di un maggiore compattamento rispetto ai livelli più alti. Altro marcato abbassamento delle temperature interne è osservabile alla fine del periodo di sperimentazione, corrispondente al mese di giugno. I valori minimi delle temperature riscontrati nelle curve sono stati messi in relazione ai fenomeni piovosi. Infatti dall'osservazione del Grafico 6 si nota in corrispondenza della fine del mese di aprile un marcato apporto di acqua meteorica a cui ha corrisposto, sia nel caso della tesi 1 che nel caso della tesi 2, un sensibile abbassamento della temperatura, soprattutto nei livelli superiori. Le caratteristiche chimico-fisiche osservate e rilevate nei due diversi tipi di cippato, all'inizio ed al termine della sperimentazione sono riportate nelle Tabelle 1 e 2. Le caratteristiche iniziali e finali del cippato, della tesi 1 e della tesi 2 sono messe a confronto per quanto riguarda il contenuto di ceneri, umidità e il valore del potere calorifico superiore e inferiore. Il valore iniziale dell'umidità è poco superiore al 60% in entrambe le tesi, tuttavia nei quattro mesi di sperimentazione l'umidità persa risulta maggiore nel caso della tesi 1. Infatti il valore percentuale finale rilevato nel caso della tesi 1 è dell'ordine di 10 punti percentuali inferiore alla tesi 2. Si evidenzia la maggiore umidità del cippato che caratterizza i livelli più alti (L3) in entrambi i cumuli; nel caso della tesi 1 si passa dal 24,6% di L2 a 29,6% di L3, nel caso della tesi 2 si passa dal 33,4% di L2 a 35,3 di L3 (Tabella 1). Il valore del Potere

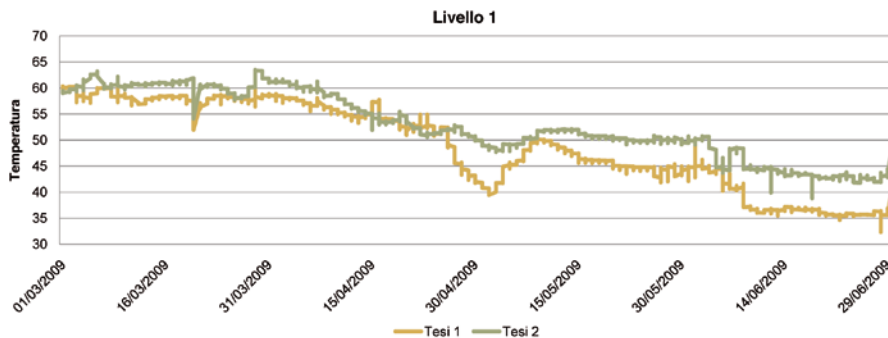


Grafico 3 - Temperatura interna dei due cumuli al livello 1.

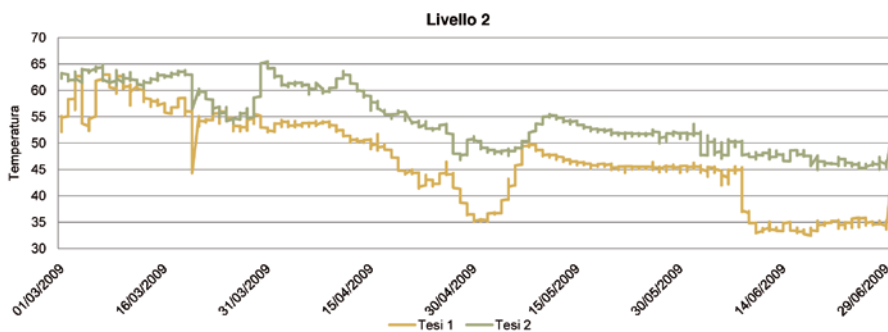


Grafico 4 - Temperatura interna dei due cumuli al livello 2.

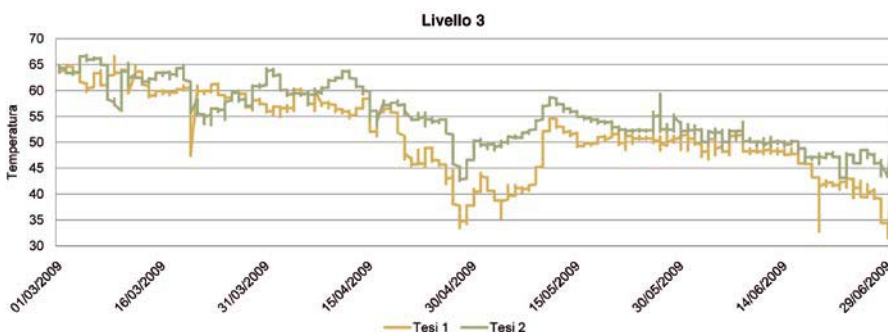


Grafico 5 - Temperatura interna dei due cumuli al livello 3.

Tesi 2	Unità	Iniziale	Finale		
			L1	L2	L3
Ceneri a 600 °C	% s.s.	3,2	4,0	3,6	4,3
Umidità	%	61,6	24,6	24,9	29,6
Umidità persa	Punti %		37,0	36,7	32,0
Potere Calorifico Inferiore (ss)	kJ/kg	16.809	16.305	16.564	16.317
Potere Calorifico Superiore (ss)	kJ/kg	18.397	17.716	18.017	17.739
Tesi 2	Unità	Iniziale	Finale		
Ceneri a 600 °C	% s.s.	3,3	3,8	4,0	4,7
Umidità	%	62,2	34,6	33,4	35,3
Umidità persa	Punti %		27,5	28,7	26,8
Potere Calorifico Inferiore (s.s.)	kJ/kg	16.840	16.425	16.371	16.207
Potere Calorifico Superiore (s.s.)	kJ/kg	18.408	17.831	17.798	17.639

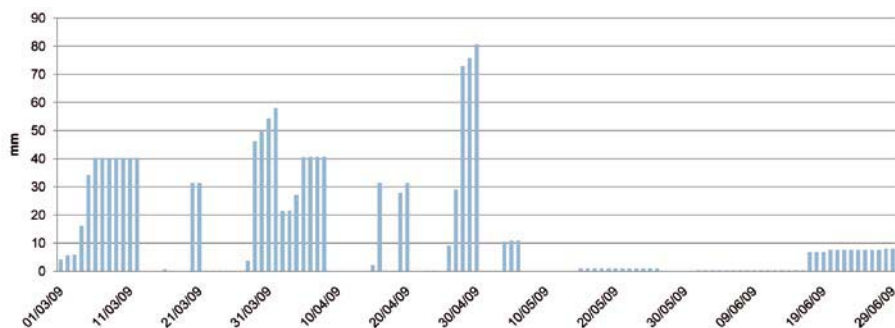
Tabella 1 - Caratteristiche del cippato relative alle tesi.

Calorifico Inferiore resta quasi invariato, infatti si osserva una sua leggera diminuzione per il cippato di entrambi i cumuli, lievemente più marcato nel caso della tesi 1. Le perdite di sostanza secca nel caso della tesi 1 (Tabella 2), sono dell'ordine del 12% nei livelli basso e medio, mentre solo del 3,5% del livello alto. La perdita di energia per unità di peso di acqua evaporata è quasi 6 kJ/g H<sub>2</sub>O nei livelli basso e medio e di 2,8 kJ/g H<sub>2</sub>O in quello alto. Per quanto riguarda la tesi 2 la perdita

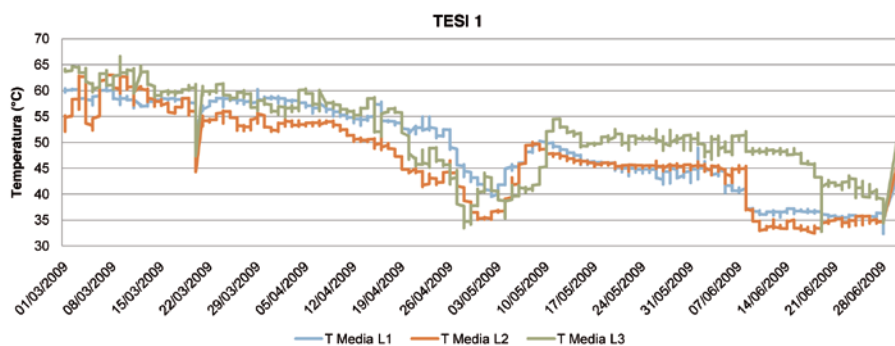
di sostanza secca è nettamente più omogenea sui tre diversi livelli, infatti oscilla tra valori del 7,4% e 6,8%. In questo caso la perdita di energia per unità di peso di acqua evaporata è circa 5,3 kJ/g H<sub>2</sub>O per tutti e tre i livelli. È evidente una minore perdita della stessa nel caso del cippato della tesi 2. Le qualità del cippato presentano, per entrambe le tesi, caratteristiche piuttosto omogenee; in particolare per quanto riguarda la presenza di ceneri i cui valori medi si aggirano attorno a 4,16 %

Tesi 1	Perdita sostanza secca (%)	Perdita energia (%)	kJ/kg persi/g H <sub>2</sub> O evap.
L1	-11,8	-13,7	6,0
L2	-13,2	-14,1	6,1
L3	-3,6	-5,4	2,8
Tesi 2	Perdita sostanza secca (%)	Perdita energia (%)	kJ/kg persi/g H <sub>2</sub> O evap.
L1	-7,4	-9,2	5,3
L2	-6,8	-8,8	5,3
L3	-7,4	-9,5	5,4

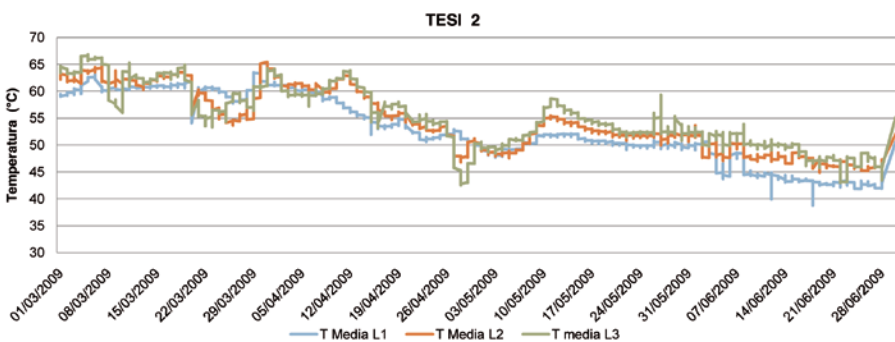
**Tabella 2** - Perdite di sostanza secca relative alle due tesi.



**Grafico 6** - Eventi piovosi significativi durante i quattro mesi di sperimentazione.



**Grafico 7** - Distribuzione delle temperature medie distinte per livello (tesi 1).



**Grafico 8** - Distribuzione delle temperature medie distinte per livello (tesi 2).

su base secca per il cippato ottenuto con rotore CRA-ING (tesi 2) e attorno al 3,96 % su base secca nel caso del cippato ottenuto con rotore di serie Claas Jaguar (tesi 1). Anche i valori del Potere Calorifico Inferiore sono sostanzialmente simili tra di loro e oscillano dal minimo di 16.207 kJ/kg s.s. del livello alto del cumulo di cippato con dimensioni maggiori (tesi 2) a 16.564 kJ/kg s.s. del livello medio del cumulo di cippato con minori dimensioni (tesi 1). Per quanto riguarda il tenore idrico del biocombustibile, è osservabile una maggiore disidratazione del prodotto ottenuto dal rotore di serie Claas Jaguar a sca-

pito però di una maggiore perdita di sostanza secca, e quindi di energia (Tabella 2).

## CONFRONTI

Nel caso della tesi 1, le temperature medie iniziali sono molto distanziate per tutti e tre i livelli. Le temperature dei livelli medio e alto (L2 e L3) partono da valori che oscillano tra 15° e 25°C, al contrario il livello più basso (L1) parte da valori nettamente maggiori, dell'ordine dei 45°C. Risulta ben chiaro la distribuzione delle temperature medie calcolate per ogni livello; per tutti e tre i livelli si osservano altrettante curve con andamento

piuttosto omogeneo, soprattutto nella fase iniziale della sperimentazione. Nella fase finale è evidente un distacco marcato delle temperature medie di L3, che hanno valori più alti rispetto ad L1 ed L2. Cali piuttosto repentini delle temperature medie sono ben evidenti nella fase centrale del periodo di stoccaggio, corrispondente al mese di maggio.

Anche al termine della prova, i livelli L1 ed L2 subiscono una netta calo, ritardato nel caso del livello L3. Al termine della prova sperimentale i valori delle temperature medie sono dell'ordine di 43°-50°C in entrambi i casi.

Il cumulo di cippato della tesi 2 presenta valori medi di temperatura omogenei nei tre livelli (Grafico 7). Le temperature interne iniziali sono piuttosto elevate, dell'ordine di 60°-70°C. Leggeri, seppure evidenti, decrementi di temperatura si osservano a fine marzo, da fine aprile a fine maggio e a partire dal mese di giugno, fase finale della sperimentazione. Al termine della sperimentazione si osserva un marcato aumento delle temperature per tutti e tre i livelli, fino a valori dell'ordine di 50°C. Una risposta più immediata e regolare a quelle che sono le condizioni esterne si ha nel caso del cumulo della tesi 1, infatti si nota contemporaneamente tra il raffreddamento del cumulo e gli eventi piovosi (Grafico 6) particolarmente prolungati (maggio-giugno) o intensi (fine marzo e fine aprile).

Risulta evidente la migliore qualità del cippato conservato ottenuto con il rotore progettato CRA-ING, infatti il cippato di maggior dimensioni se da una parte ha un minor rapporto S/V tale da rendere il legno meno soggetto all'attacco degradativo da parte dei microrganismi, dall'altra presenta maggiori interstizi tali da permettere una maggiore penetrazione dell'acqua meteorica all'interno del cumulo in presenza di precipitazioni di forte entità. Confrontando, infatti, i valori della perdita di sostanza secca che mediamente sono del 7,20% (tesi 2), contro la perdita media di sostanza secca del cumulo con cippato più fine che risulta pari al 9,53%, risulta, quindi, confermato quanto sopra detto.

## CONCLUSIONI

Le prove sperimentali hanno messo in luce la possibilità di migliorare le condizioni di stoccaggio del cippato di pioppo aumentando la pezzatura. Difatti il cippato più grossolano si disidrata meglio rispetto a quello più fine per la maggior presenza di spazi vuoti che favorisce una maggiore circolazione dell'aria permettendo l'allontanamento dell'umidità, sotto forma di vapore acqueo, che passa dal legno all'aria presente negli interstizi. Saranno necessarie ulteriori indagini per meglio comprendere il meccanismo specialmente in relazione agli aspetti microbiologici che comporta la degradazione del prodotto.

# Stoccaggio del cippato di pioppo

## Confronto tra due differenti metodologie di conservazione

di FRANCESCO GALLUCCI

LUIGI PARI

SARA CROCE

Nel 2009 il CRA-ING ha condotto diverse prove su cippato di pioppo SRF appena raccolto, al fine di mettere a punto un sistema di stoccaggio efficiente, economico e funzionale. La sperimentazione ha visto poste a confronto due diverse metodologie di conservazione: coperto con telo geotessile TOP Tex® e scoperto. Il cippato è stato raccolto con cippatrice Claas Jaguar 890.

**PAROLE CHIAVE:** cippato, stoccaggio, potere calorifico, umidità, SRF.

Lo stoccaggio della biomassa, ha lo scopo di migliorare la qualità del biocombustibile, sia riducendone il tenore di umidità, che al momento della raccolta è generalmente intorno al 60% su base umida, sia favorendo le condizioni che permettono la minor perdita possibile di sostanza secca.

Concorrono, inoltre, a determinare le caratteristiche di un buon prodotto, anche il contenuto in ceneri ed il Potere Calorifico.

Le prove condotte nel 2009 dal CRA-ING sono state effettuate con cippato di pioppo appena raccolto, allevato ad SRF. La sperimentazione ha visto poste a confronto due diverse metodologie di conservazione e precisamente coperto e scoperto. Il cippato è stato raccolto con cippatrice Claas Jaguar 890 ed è stato stoccato in un cumulo coperto con telo geotessile TOP Tex® ed in uno scoperto. Il telo permette il passaggio del vapore acqueo generato dalla disidratazione dal cippato verso l'esterno, ma allo stesso tempo preserva il prodotto dall'acqua meteorica. Le prove sono state condotte in provincia di Mantova; la durata della sperimentazione è stata di quattro mesi.

I cumuli sono stati costituiti a febbraio 2009 e l'apertura è stata fatta alla fine del mese di giugno.

### MATERIALI E METODI

#### Cumuli

I cumuli costituiti e messi a confronto sono due:

- Cumulo di cippato di pioppo coperto
- Cumulo di cippato di pioppo scoperto



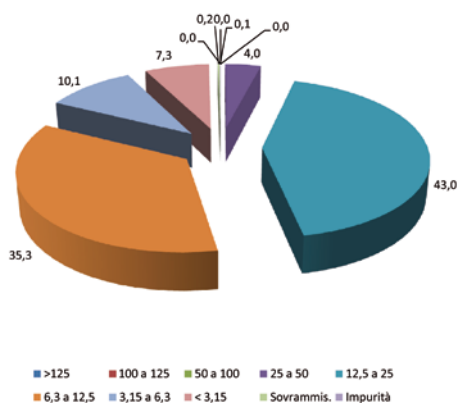
**Foto 1** - Copertura del cumulo con telo geotessile.

Per la descrizione dei cumuli, la disposizione delle sonde e il sistema di acquisizione si rimanda all'articolo precedente<sup>(1)</sup>.

Uno dei due cumuli di cippato è stato coperto con telo geotessile TOP Tex® (Foto 1), in grado di favorire la traspirazione del vapore acqueo verso l'esterno ma non la percolazione di acqua meteorica. Il TOP Tex® è un tessuto non tessuto, costituito al 100% da polipropilene permeabile all'aria. Le fibre sono legate tra di loro tramite un processo meccanico denominato agugliatura. Inoltre il telo è in grado di resistere alla degradazione e, grazie alla stabilizzazione ai raggi UV dei polimeri, può essere utilizzato per almeno 5 anni.

In seguito ad analisi granulometrica (CEN/TS 15415, 2006 - Determinazione del contenuto di umidità mediante metodo di essiccazione in stufa), il cippato risulta costituito dalle diverse classi granulometriche come riportate nel Grafico 1.

**(1)** GALLUCCI, PARI, DEL GIUDICE - Stoccaggio del cippato di pioppo. Variazione delle caratteristiche di prodotti a diversa granulometria. In: *Innovazioni tecnologiche per le agroenergie. Sinergie tra ricerca e impresa. Sherwood 168, Supplemento 2.*



**Grafico 1** - Diagramma rappresentativo delle classi dimensionali di cippato ottenuto dal rotore di serie Claas Jaguar.

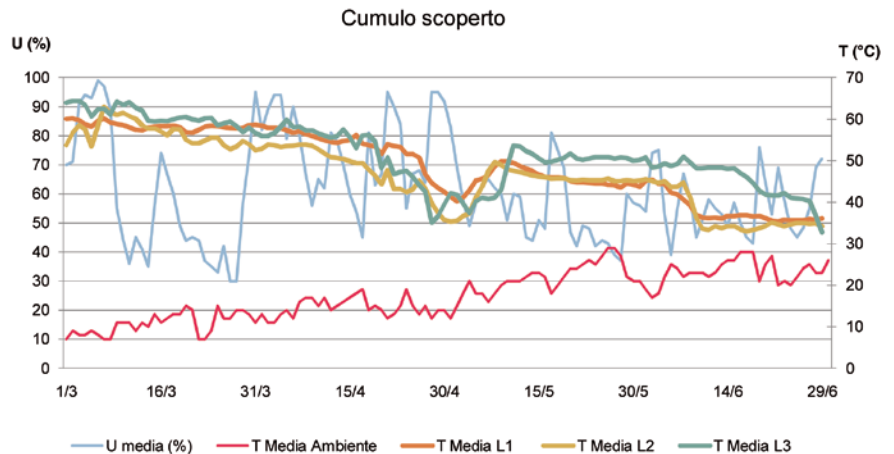
Il prodotto ottenuto è rappresentato per lo più da cippato appartenente alle classi dimensionali 12,5 mm - 25 mm e 6,3 mm - 12,5 mm, rappresentati da valori percentuali molto vicini. In generale si può parlare di dimensioni piuttosto ridotte rispetto al cippato ottenuto da macchine forestali, in cui è presente solamente un 7% di materiale molto fine. La buona qualità del cippato si riconduce, infatti, ad una sua omogeneità dimensionale. Questo perché particelle di dimensioni e forma variabili causano inconvenienti nel funzionamento del sistema di alimentazione della caldaia.

Relativamente alla omogeneità si rileva che le classi dimensionali ottimali sono molto ben rappresentate (da 6,3 mm a 25 mm); mentre quello molto fine è presente con quantità pari a circa il 7% del totale. Particelle estremamente fini, quasi polverizzate, anche se concorrono al peso totale, non prendono parte al processo di combustione in quanto estremamente volatili. Le particelle di dimensioni e forma variabili, inoltre, causano inconvenienti nel sistema di alimentazione della caldaia.

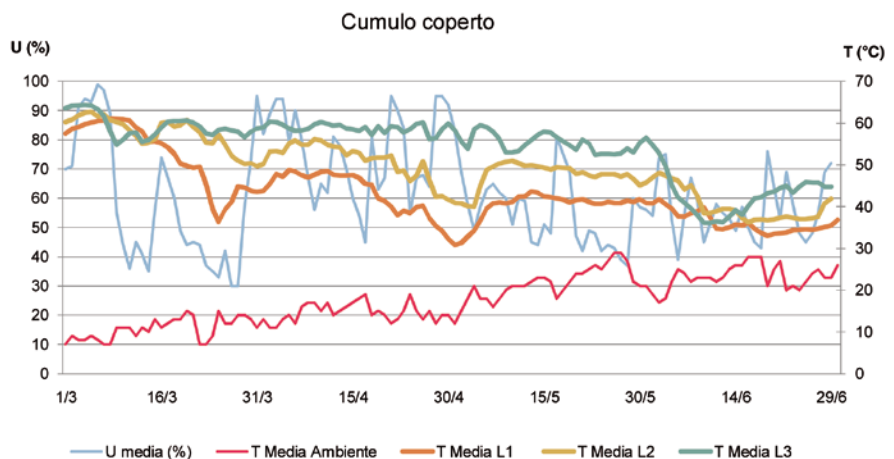
## RISULTATI

Per quanto riguarda l'andamento delle temperature interne ai cumuli (Grafico 2 e 3), l'elaborazione dei dati rilevati ha permesso di visualizzare le curve specifiche per ogni sonda in ogni livello.

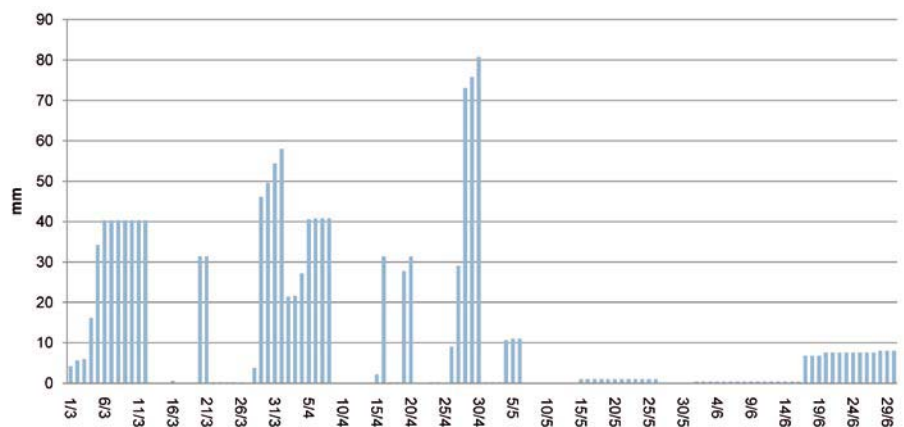
Dal Grafico 2 risulta ben chiaro l'andamento delle temperature medie calcolate per ogni livello; per tutti e tre i livelli si osservano altrettante curve con andamento piuttosto omogeneo. Le temperature iniziali sono differenziate, infatti il livello medio e quello alto partono da valori che oscillano tra i 15 ed i 25°C, al contrario il livello più basso (L1) parte da valori nettamente maggiori, dell'ordine dei 45°C. Questo è legato al fatto che nel momento di costituzione del cumulo, le sonde sono state poste momentaneamente a terra per poi essere posizionate correttamente nei



**Grafico 2** - Diagramma rappresentativo delle medie delle temperature interne del cumulo scoperto.



**Grafico 3** - Diagramma rappresentativo delle medie delle temperature interne del cumulo coperto.



**Grafico 4** - Precipitazioni nell'arco della sperimentazione.

tre diversi livelli.

Il grafico evidenzia due nette diminuzioni di temperatura in tutte e tre le curve e corrispondono al periodo che oscilla tra fine aprile e metà maggio. La diminuzione di temperatura è legata a una più bassa temperatura esterna (metà marzo - metà aprile), unitamente alle abbondanti precipitazioni del mese di aprile (Grafico 4). Tale fenomeno influenza maggiormente proprio il livello alto L3, in quanto più esposto agli agenti atmo-

sferici e privo di copertura. Al termine della prova sperimentale, si nota una convergenza tra la temperatura interna del cumulo (30°-35°C) e la temperatura esterna (25°-30°C). Il secondo cumulo, come già detto, è stato coperto con un telo geotessile TOP Tex®. L'andamento delle temperature interne rilevate in questa tesi sono riportate in Grafico 3. Le curve appaiono nettamente separate, per quanto riguarda i valori delle temperature medie per livello, seppure il trend è lo stesso,





**Foto 2** - Preparazione dei cumuli di stoccaggio del cippato.

almeno per i due livelli più bassi (L1 e L2). Le temperature di partenza sono molto vicine, e sono dell'ordine dei 55-65°C, per poi subire un brusco abbassamento durante la prima parte del mese di marzo. Tale abbassamento si verifica temporalmente prima in L3, al passaggio tra il mese di febbraio e quello di marzo e successivamente si osservano ripetute oscillazioni tra aprile e maggio. Tra fine marzo ed inizio aprile le temperature di L1 ed L2 calano intorno a 15-20°C, in corrispondenza alle basse temperature esterne. Successivamente si registra un innalzamento delle temperature seguito da un nuovo calo che caratterizza la fase finale della sperimentazione che si attestano tra 45-55°C. Il livello più alto ha un andamento differente rispetto agli altri 2 livelli, infatti, nella fase intermedia della sperimentazione i valori delle temperature medie, seppure con dei lievi sbalzi, si aggirano su valori tra 50-60°C; inoltre a fine maggio si osserva una sensibile diminuzione della temperatura con un  $\Delta$  maggiore rispetto agli altri due livelli

## CONFRONTI

I livelli alti (L3), sia nel caso del cumulo coperto che scoperto, sembrano risentire maggiormente dell'irraggiamento solare, evidenziato proprio da una maggiore temperatura rispetto ai livelli inferiori. La Tabella 1 pone a confronto le analisi eseguite sui due cumuli ad inizio prova e alla fine della stessa. I parametri rilevati presentano sensibili differenze al momento dell'apertura del cumulo. L'aumento delle ceneri a fine sperimentazione appare leggermente più consistente nel caso del cumulo scoperto, probabilmente per il più facile apporto di materiale inerte all'interno del cumulo non protetto da copertura. La differenza maggiore riscontrabile è in L3. Per quanto riguarda i valori dell'umidità si nota un aumento nel caso di L3 rispetto ad L1 ed L2 per quanto riguarda il cippato scoperto, ciò potrebbe essere causato dalle precipitazioni esterne che vanno a reidratare maggior-

Cumulo di cippato scoperto	Unità	Iniziale	Finale		
			L1	L2	L3
Ceneri a 600 °C	% s.s.	3,2	4,0	3,6	4,3
Umidità	%	61,6	24,6	24,9	29,6
Umidità persa	Punti %		37,0	36,7	32,0
Potere Calorifico Inferiore	kJ/kg ss	16.809	16.305	16.564	16.317
Potere Calorifico Superiore	kJ/kg ss	18.397	17.716	18.017	17.739
Cumulo di cippato coperto	Unità	Iniziale	Finale		
			L1	L2	L3
Ceneri a 600 °C	% s.s.	2,8	3,0	3,9	2,5
Umidità	%	59,0	21,9	23,4	29,5
Umidità persa	Punti %		37,1	35,5	29,4
Potere Calorifico Inferiore	kJ/kg ss	16.648	16.624	16.696	16.655
Potere Calorifico Superiore	kJ/kg ss	18.196	18.026	18.069	18.066

**Tabella 1** - Confronto di dati iniziali e finali per il cumulo di cippato scoperto ed il cumulo di cippato coperto.

Cumulo di cippato scoperto	Perdita s. s. (%)	Perdita energia (%)	kJ persi / g H <sub>2</sub> O evap.
L1	-11,8	-13,7	6,0
L2	-13,2	-14,1	6,1
L3	-3,6	-5,4	2,8
Cumulo di cippato coperto	Perdita s. s. (%)	Perdita energia (%)	kJ persi / g H <sub>2</sub> O evap.
L1	-11,4	-11,3	4,9
L2	-10,0	-6,7	3,0
L3	-11,8	-12,0	6,2

**Tabella 2** - Perdite di sostanza secca rilevate nei due cumuli a confronto.

	Perdite ss (%)	Umidità iniziale (%)	Umidità finale (%)	Perdita acqua (punti %)	kJ persi / g H <sub>2</sub> O evap.
<b>cumulo scoperto</b>	-9,5	61,6	26,4	35,2	5,0
<b>cumulo coperto</b>	-11,1	59,0	24,9	34,1	4,7

**Tabella 3** - Confronto dei dati medi rilevati dall'analisi del cippato.

mente il livello più alto del cumulo, quello più esterno, ciò difatti non si rileva nel cippato coperto. I valori del potere calorifico inferiore rimangono pressoché costanti in entrambi i cumuli. La perdita di sostanza secca è riportata in Tabella 2. Questa perdita si traduce in una diminuzione di energia potenziale chimica del combustibile. In linea generale temperature elevate e tenori di umidità alti costituiscono un habitat eccellente per il proliferare di microrganismi che sono la causa della perdita di sostanza secca. Riguardo tali perdite, nel caso del cumulo scoperto (Tabella 2), si osservano valori dell'ordine del 12% in L1 ed L2, mentre solo del 3,6% in L3. La perdita di energia per unità di peso di acqua evaporata pari a 6 kJ/g H<sub>2</sub>O nei livelli basso e medio e di 3 kJ/g H<sub>2</sub>O in quello alto. Il cumulo coperto con telo geotessile presenta valori piuttosto omogenei per quanto riguarda tutti e tre i livelli, dell'ordine del 11% a fronte di una perdita di energia per unità di peso di acqua evaporata pari a 4,5 kJ/g H<sub>2</sub>O (Tabella 3). I Grafici 5, 6 e 7 mettono a confronto le tem-

perature medie registrate in entrambi i cumuli e nei tre diversi livelli. Poste a confronto le temperature medie giornaliere per i diversi livelli risulta evidente l'andamento piuttosto omogeneo di L1 ed L2. Le temperature medie più alte nel caso di L1 sono quelle del cumulo scoperto, mentre nel caso di L2 i valori della temperatura sono pressoché simili. Il trend è di diminuzione con dei picchi ben evidenti ed una marcata diminuzione delle temperature medie nell'arco di tempo che va da metà aprile ad inizio maggio 2009. Tale fenomeno è ben evidente nel cumulo scoperto, che ha risentito maggiormente dei cambiamenti climatici, in quanto a diretto contatto con l'aria circostante. Al contrario nel trend di L3 del cumulo coperto non si ha corrispondenza con i picchi riscontrati negli altri casi, infatti in corrispondenza del periodo di maggiore intensità piovosa si osservano più picchi di entità ridotta, che non alterano molto l'andamento generale delle temperature interne. È nella fase finale che si ha un notevole calo di temperatura interna.

## CONCLUSIONI

I risultati messi a confronto mostrano una certa omogeneità. La differenza tra la qualità del cippato stoccato secondo le due diverse metodologie appare del tutto trascurabile.

Il telo geotessile non ha preservato in modo particolare il materiale, poiché rispetto al cumulo coperto la differenza del valore dell'umidità finale è modesto, dell'ordine di un punto percentuale quindi molto modesto.

La perdita di umidità è nel caso del cumulo scoperto dell'ordine di 35,2 % e nel caso del cumulo coperto dell'ordine di 34,1 %, quindi valori estremamente vicini. La situazione è ribaltata per quanto riguarda la perdita della sostanza secca, infatti si registra una perdita maggiore nel cumulo coperto rispetto quello scoperto. I dati rilevati durante le prove di stoccaggio condotte nel 2009 sono in disaccordo con quelli rilevati nel 2007. Mentre nel 2007 si è riscontrata una migliore qualità del cippato coperto, nel 2009 questa peculiarità non è emersa. Difatti sia le perdite di sostanza secca che la riduzione di umidità tra le due metodologie è pressoché simile tale da non giustificare il costo di acquisto e di movimentazione del telo geotessile.

La differenza tra le sperimentazioni condotte nel 2007 e 2009 riguardano le località, rispettivamente Cuneo nel primo caso e Mantova il secondo, ed il periodo di stoccaggio da febbraio a novembre nel primo caso da febbraio a giugno nel secondo caso.

La prova sperimentali nel 2009 (Foto 2) si era conclusa in giugno a causa dell'inaspettata rimozione del cumulo da parte dell'Azienda che ospitava la sperimentazione.

E' desumibile quindi da queste esperienze che l'influenza positiva delle coperture si manifesta durante la seconda fase dello stoccaggio evitando la reidratazione del prodotto a causa delle piogge autunnali, dopo che durante i mesi estivi ha raggiunto il minor quantitativo di umidità.

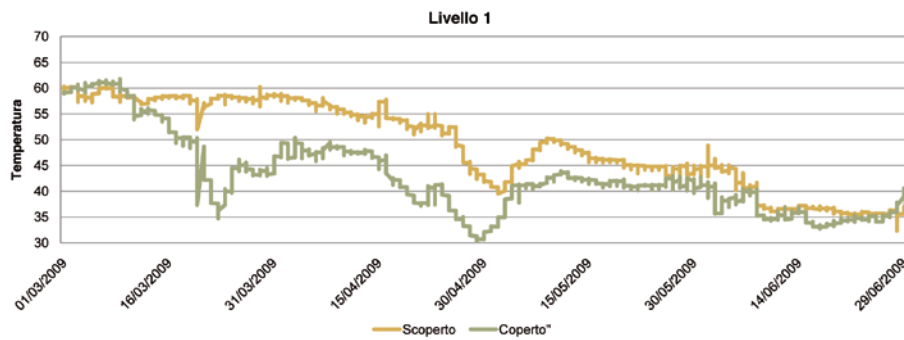


Grafico 5 - Temperature interne di due cumuli al Livello 1.

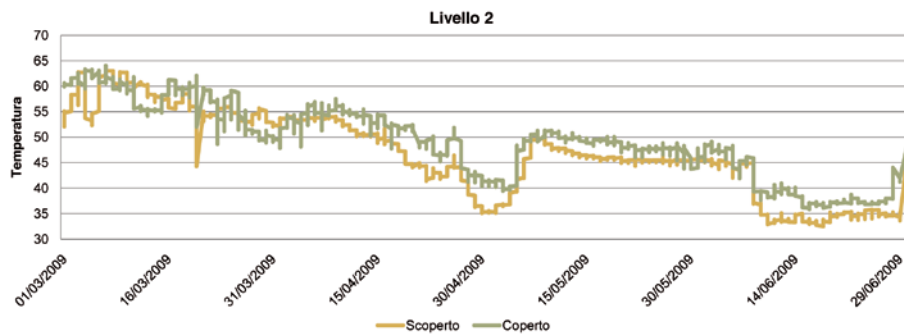


Grafico 6 - Temperature interne di due cumuli al Livello 2.

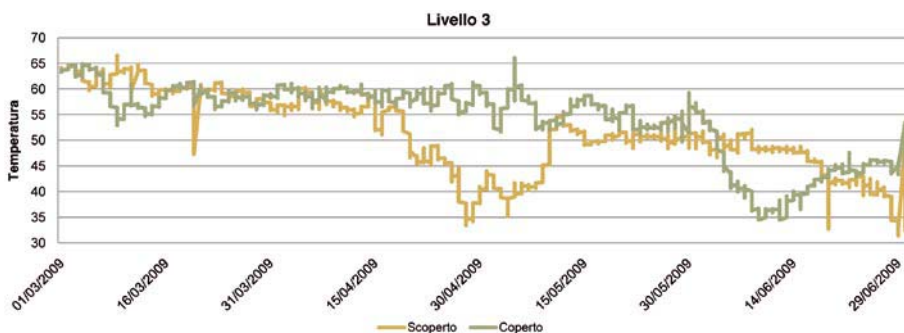


Grafico 7 - Temperature interne di due cumuli al Livello 3.

# Prove di esbosco

## Trattore autolivellante sviluppato dal CRA-ING

di L. PARI, F. DI FULVIO

A. DEL GIUDICE<sup>(\*)</sup>, A. ASSIRELLI

G. VASSALINI, L. FORNACIARI

Lo studio analizza le capacità operative di una trattrice agricola modificata con dispositivo posteriore autolivellante, in operazioni di esbosco su piste accidentate e in pendenza. Attraverso prove comparative di strascico, in un cantiere dell'Appennino centrale, è stato evidenziato un aumento delle velocità di avanzamento e la riduzione delle vibrazioni trasmesse all'operatore, rispetto a una trattrice agricola tradizionale.

**PAROLE CHIAVE:** trattore autolivellante, prototipi forestali, esbosco, strascico, prove comparative.

L'esbosco è l'operazione attraverso cui il materiale legnoso viene estratto dal bosco e portato fino a strade camionabili o a piazzali di prima lavorazione detti "imposti". Tale operazione incide più di ogni altra sul prezzo degli assortimenti legnosi ottenibili dagli interventi selvicolturali. Il 79% dei boschi italiani è collocato su terreni con pendenze superiori al 20%, dove difficilmente possono essere impiegati sistemi di esbosco economici. I sistemi basati sui tradizionali trattori agricoli possono essere applicati fino a pendenze massime del 30%, tuttavia in queste condizioni le macchine operano con stabilità precaria, mettendo a rischio l'incolumità del trattorista. In queste condizioni l'esbosco diviene particolarmente difficoltoso, aumentano di conseguenza i tempi di lavoro e si determina un prezzo di macchiatico negativo.

Nella gran parte dei cantieri forestali appenninici, per le operazioni di esbosco, s'impiegano trattori agricoli, spesso obsoleti, gommati o cingolati, equipaggiati con verricelli, rimorchi o gabbie e raramente dotati di sistemi di sicurezza (BALDINI et

al. 2009). In particolare, nell'ultimo decennio, i trattori agricoli dotati di gabbie hanno integrato o sostituito il tradizionale esbosco a soma, della legna da ardere, con animali (BALDINI et al. 2006). Al fine di estendere gli ambiti d'impiego della trattrice agricola nelle operazioni di esbosco su terreni in penden-



za è necessario aumentare la stabilità della trattrice, pertanto l'Unità di Ricerca per l'Ingegneria Agraria del Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura, ha messo a punto un Kit di modifica, applicabile su trattori agricoli commerciali.

Il Kit è costituito principalmente da due bracci idraulici "autolivellanti" montati sull'assale posteriore della trattrice, ciascun braccio è munito di un bilanciante trazione tipo "bogie", realizzando in questo modo un'unità dotata di 6 ruote motrici isodiametriche. L'applicazione di queste modifiche su una trattrice Landini 85L DT ha permesso di aumentare l'angolo di ribaltamento laterale, portandolo dai 31° della trattrice tradizionale ai 55° di quella modificata (Bogo et al. 2003).

Dalle prime prove eseguite nell'ambiente Alpino è emerso che la macchina modificata raggiunge produttività di esbosco analoghe alla trattrice agricola, ma con un minore rischio di ribaltamento laterale, potendo mantenere il centro di gravità all'interno della proiezione a terra del corpo macchina (Bogo et al. 2003).

LUIGI PARI, CRA-ING. Email [luigi.pari@entecra.it](mailto:luigi.pari@entecra.it) - FULVIO DI FULVIO, CRA-ING. Email [fulvio.difulvio@entecra.it](mailto:fulvio.difulvio@entecra.it) - ANGELO DEL GIUDICE, CRA-ING. Email [angelo.delgiudice@entecra.it](mailto:angelo.delgiudice@entecra.it) - ALBERTO ASSIRELLI, CRA-ING. Email [alberto.assirelli@entecra.it](mailto:alberto.assirelli@entecra.it) - GENNARO VASSALINI, CRA-ING. Email [gennaro.vassallini@entecra.it](mailto:gennaro.vassallini@entecra.it) - LAURA FORNACIARI, CRA-ING. Email [laura.fornaciari@entecra.it](mailto:laura.fornaciari@entecra.it)  
<sup>(\*)</sup> Ph.D. student in Utilizzazioni Forestali, Università degli Studi della Tuscia (VT).

Tesi	1	2
Modello Trattore	LANDINI 85L DT dotata di kit CRA-ING	NEW HOLLAND L85 DT Tradizionale
Ruote motrici (n)	6	4
Potenza (kW)	61	63
Peso totale (kg)	4.600	4.000

**Tabella 1** - Caratteristiche delle trattrici.

Al fine di confrontare le capacità operative della trattrice sulla quale è stato applicato il kit CRA-ING in diverse condizioni di accidentalità e pendenza, rispetto a una trattrice agricola tradizionale, sono state svolte prove comparative di esbosco di piante intere in un bosco ceduo dell'Appennino centrale.

Questo studio costituisce il primo passo di una ricerca finalizzata alla messa a punto di sistemi innovativi di esbosco, basati su una sorgente di potenza con notevole mobilità su terreni in pendenza e percorsi accidentati, cercando nello stesso tempo di ridurre l'esposizione dell'operatore ai notevoli rischi che derivano da quest'attività.

Pertanto il confronto tra le due trattrici ha riguardato anche i livelli vibrazionali trasmessi dal sedile di guida all'operatore durante le prove di esbosco dato che il sedile di guida rappresenta l'elemento attraverso cui l'operatore riceve (al corpo intero) una parte rilevante delle vibrazioni determinate dall'interazione fra il sistema motrice e il terreno.

## MATERIALI E METODI

Le modifiche apportate dal Cra-Ing alla trattrice agricola tradizionale Landini 85 L DT possono essere considerate come un kit di trasformazione da applicare a trattrici agricole convenzionali per l'adeguamento all'impiego forestale. Tale modifiche comportano la trasformazione dell'assale posteriore con inserimento, su ogni lato, di un braccio articolato di sospensione terminante con un bilanciante supportato centralmente portante due ruote isodiametriche alle estremità. Sull'assale posteriore originario sono state applicate due ralle verticali aventi funzione di cerniera per i bracci articolati comandati da sistema

	Pista 1	Pista 2
Lunghezza (m)	155	319
Larghezza (cm)	340	300
Pendenza longitudinale (%)	23	16
Pendenza trasversale (%)	8	21

**Tabella 2** - Caratteristiche medie delle piste.

idraulico. Il kit di trasformazione consente di modificare il posizionamento dei bracci sia in modo simultaneo, sia indipendente variando l'altezza da terra e la capacità di adeguamento alle pendenze della trattrice.

La differenza massima di altezza ottenibile tra i due bracci risulta pari a 670 mm che corrisponde ad una pendenza laterale di 23°.

I bilanciatori terminali, la cui rotazione rispetto all'asse centrale è libera, permettono alle due ruote del bilanciante di adeguarsi liberamente e con precisione al profilo del suolo. La rotazione dei bracci di sospensione può essere comandata automaticamente attraverso un sensore di livellamento, o manualmente dall'operatore, tramite un joystick posto alla destra del sedile di guida.

Oltre a queste modifiche, sulla medesima trattrice è stato aumentato l'angolo di oscillazione del ponte anteriore, attraverso l'inserimento di uno spessore nel punto d'inserimento tra assale e telaio, permettendo di raggiungere un angolo massimo di 25°.

Nelle prove sono state poste a confronto la trattrice agricola LANDINI 85L DT di 61 kW equipaggiata con kit di modifica forestale CRA-ING (Tesi 1), munita di verricello fisso con capacità di tiro di 2,7t e una trattrice agricola tradizionale NEW HOLLAND L85 DT di 63kW (Tesi 2) munita di un verricello forestale mobile con capacità di tiro di 3t, (Tabella 1).

Le macchine sono state impiegate dal medesimo operatore, in prove di strascico su piste forestali. Nell'operazione erano movimentati fasci di piante derivanti dal taglio di cedua in un ceduo di leccio situato nel comune di Poggio Mirteto loc. Castel San Pietro (RI). Le prove di strascico sono state svolte in

4 giornate lavorative ad inizio marzo 2010 su due diverse piste di esbosco (Foto 1).

Al fine di ottenere una descrizione dettagliata delle due piste forestali di esbosco è stata eseguita una suddivisione delle piste in tratti omogenei di circa 20 m. Su ciascuno dei tratti si è proceduto al rilievo delle distanze di esbosco, delle pendenze longitudinali (nel senso di marcia dei trattori), delle pendenze trasversali (perpendicolari al senso di marcia) e delle larghezze minime di transito (perpendicolari al senso di marcia) (Tabella 2), inoltre sono state rilevate le superfici occupate da ostacoli con sporgenza/profondità superiore a 30 cm rispetto al piano della pista.

Ogni tratto di pista è stato classificato secondo tre classi di accidentalità del terreno adottando il seguente criterio:

- **classe 1:** presenza ostacoli inferiore a 1/3 della superficie
- **classe 2:** presenza ostacoli tra 1/3 e 2/3 della superficie
- **classe 3:** presenza ostacoli tra 2/3 e 3/3 della superficie

L'esbosco delle piante, in precedenza concentrate in fasci a bordo pista, avveniva da monte verso valle su percorsi obbligati.

Il trattorista guidava alternativamente i due mezzi dal bosco all'imposto con il carico di piante legato alla fune del verricello. Durante le operazioni di strascico diretto delle piante dal bosco all'imposto, si è proceduto al rilievo dei tempi di esbosco su ciascun tratto di pista, servendosi di un cronometro digitale, al fine di individuare le velocità medie di avanzamento su ciascuno dei tratti.

Un rilevatore, situato all'imposto, provvedeva al conteggio delle piante esboscate e alle relative misure dendrometriche (diametro al calcio). In seguito un campione rappresentativo di 20 piante, appartenenti alle diverse classi diametriche, è stato pesato al fine di determinare il carico esboscato per ciascun viaggio, in modo da confrontare il comportamento dei due trattori in condizioni di carico analoghe. Per quanto riguarda i rilievi di vibrazioni eseguiti su entrambe le trattrici, questi sono stati effettuati in accordo con la norma internazionale ISO 2631-1:1997, relativa alla misura dei livelli di vibrazioni trasmesse dal sedile all'operatore. La grandezza da misurare è il valore quadratico medio (r.m.s.) dell'accelerazione ponderata in frequenza, espresso in  $m/s^2$ . Tale quantità,  $a_w$ , va rilevata lungo ciascuna delle tre componenti assiali del vettore accelerazione.

$$a_w = \left[ \frac{1}{T} \int_0^T a_w^2(t) dt \right]^{1/2}$$

dove:

$a_w(t)$  è il segnale di accelerazione ponderato in frequenza;



**Foto 1** - Cantiere sperimentale di esbosco. A sinistra la trattrice LANDINI modificata (Tesi 1), a destra la trattrice NEW HOLLAND (Tesi 2).

**T** rappresenta la durata della misura in secondi. Da questa grandezza misurata è possibile calcolare il valore totale di vibrazioni a cui è esposto il corpo intero con la seguente relazione: dove:

$$a_v = (k_x^2 a_{wx}^2 + k_y^2 a_{wy}^2 + k_z^2 a_{wz}^2)^{\frac{1}{2}}$$

**a<sub>wx</sub>**, **a<sub>wy</sub>**, **a<sub>wz</sub>** sono le accelerazioni r.m.s. ponderate lungo gli assi x, y, z;

**k<sub>x</sub>**, **k<sub>y</sub>**, **k<sub>z</sub>** sono coefficienti correttivi.

k<sub>x</sub> e k<sub>y</sub> assumono valore di 1,4 nel caso di esposizione in posizione seduta, mentre il coefficiente k<sub>z</sub> assume il valore di 1.

L'esposizione a vibrazioni si può quantificare mediante l'accelerazione equivalente ponderata in frequenza riferita ad 8 ore di lavoro, convenzionalmente denotata con il simbolo A(8). L'accelerazione equivalente ponderata in frequenza riferita ad 8 ore di lavoro si calcola mediante la seguente formula

$$A(8) = a_v \cdot \sqrt{\frac{T_e}{8}}$$

Nel calcolo dell' A(8) bisogna comunque tenere conto che, nella valutazione dei rischi per la salute dell'operatore, per quanto riguarda il corpo intero, viene normalmente considerata solo l'accelerazione aw relativa all'asse più sollecitato.

La norma definisce i sistemi di coordinate per la misura delle accelerazioni in funzione del punto di ingresso delle vibrazioni mantenendo gli assi x, y e z sempre diretti nello stesso verso, ma con origine diversa a secondo che la posizione dell'operatore sia seduta o in piedi (Figura 1). Nelle vibrazioni al corpo intero l'asse z, che è diretto nel verso della colonna vertebrale, rappresenta l'organo maggiormente a rischio per l'esposizione a vibrazioni. I valori di a<sub>wx</sub>, a<sub>wy</sub> e a<sub>wz</sub>, sono rilevati simultaneamente e calcolati nella gamma di frequenza compresa tra 0,5 Hz e 80 Hz.

Per il rilievo del valore efficace dell'accelerazione è stata impiegata la seguente catena strumentale (Foto 2):

- analizzatore portatile Soundbook Sinus 6220;
- accelerometro triassiale da sedile Brüel & Kjær mod. 4322;
- calibratore per accelerometri PCB mod. 394C06.

Prima e dopo la giornata di misure è stata effettuata la calibrazione dell'accelerometro da sedile mediante l'apposito calibratore ed è stato verificato che lo scostamento dal livello di taratura iniziale sia rimasto nei limiti previsti dalla norma. L'accelerometro da sedile è stato posizionato orientando gli assi secondo il seguente sistema:

- asse X (dorso – petto);
- asse Y (lato destro – lato sinistro);
- asse Z (bacino – testa).



**Foto 2** - Strumentazione utilizzata durante i rilievi di vibrazioni. A sinistra trattoria LANDINI modificata (Tesi 1), a destra trattoria NEW HOLLAND (Tesi 2).

Facendo riferimento ai conducenti delle macchine semoventi e dei mezzi agricoli, gli assi x, y e z coincidono con gli assi, rispettivamente, longitudinale, trasversale e verticale del mezzo. I rilievi di vibrazioni sono stati eseguiti durante il normale percorso su pista forestale comprendente, sia il viaggio a vuoto dall'imposto (situato a valle) al punto di raccolta a bordo pista, sia lo strascico diretto delle piante dal bosco all'imposto.

Sono state effettuate tre ripetizioni utilizzando un tempo di campionamento sufficiente a caratterizzare le esposizioni giornaliere di un operatore al rischio vibrazioni.

Limitatamente alla Tesi 2 è stata condotta una prova con gamma di velocità maggiore per poter valutare l'eventuale beneficio legato alle maggiori dimensioni dei pneumatici posteriori della trattoria New Holland L85, tenendo ben presente che l'assenza di sospensioni su entrambi i mezzi, ad eccezione dei sedili di guida richiederebbe la valutazione delle vibrazioni a velocità di lavoro piuttosto omogenee.

Trattoria	Gamma	Tesi
Trattoria modificata in posizione fissa	Ridotta	T 1
Trattoria modificata auto-livellante	Ridotta	T 1.1
Trattoria modificata con livellamento manuale	Ridotta	T 1.2
Trattoria New Holland L85	Ridotta	T 2
Trattoria New Holland L85	Veloce	T 2.1

**Tabella 3** - Tesi considerate nell'analisi delle vibrazioni, sulla base della gamma di velocità inserita e dalla posizione assunta dal dispositivo di livellamento.

Classe di accidentalità	Pista 1		Pista 2	
	1° cl	2° cl	1° cl	2° cl
Tesi 1 (m/s)	0,70	0,68	1,25	1,34
Tesi 2 (m/s)	0,73	0,64	1,08	0,91

**Tabella 4** - Velocità medie di esbosco in funzione delle classi di accidentalità delle due piste.

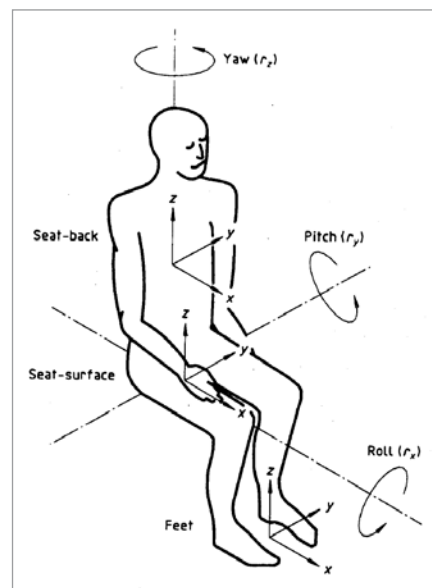
## RISULTATI

Dai rilievi svolti è risultato che le piste analizzate si collocano nelle classi di accidentalità 1 e 2, mancano tratti particolarmente impervi appartenenti alla classe 3 (Tabella 4).

Gli ostacoli da affrontare nello strascico erano rappresentati da rocce e ceppaie con altezza media di 0,35 m e massima di 0,80 m.

Le piante esboscate presentavano un diametro medio al calcio di 7,8 cm (diametro ad 1,3 m di 6,7 cm), altezza media di 9,4 m e peso medio di 25 kg. Il carico medio esboscato è risultato di 423 kg per la Tesi 1 (16 osservazioni) e di 482 kg per la Tesi 2 (24 osservazioni), si può considerare che i mezzi operavano in condizioni di carico similari. I carichi medi risultano notevolmente inferiori alle capacità di tiro delle trattorie, ma sono rappresentativi per questa tipologia di lavoro su piante di piccola dimensione, dove l'ingombro sterico delle chiome limita il numero di piante esboscate per viaggio.

Sulla seconda pista si riscontra una pen-



**Figura 1** - Sistemi di coordinate per il corpo intero.

denza longitudinale inferiore alla prima pista (Tabella 2), pertanto il trattorista utilizzava un rapporto di velocità superiore a quello utilizzato in precedenza (Pista 1), permettendo di aumentare le velocità medie di avanzamento delle due trattrici (Tabella 4).

Considerando la velocità in funzione dell'accidentalità delle piste (Tabella 4), si nota che per la Tesi 2, passando dalla prima alla seconda classe di accidentalità, la velocità di avanzamento si riducono sensibilmente del 12%-16% (Pista 1 e 2), la riduzione per la Tesi 1 è limitata al 3% sulla Pista 1, mentre sulla Pista 2 la velocità risulta completamente indipendente dall'accidentalità.

Dall'analisi dei dati raccolti sono state individuate delle regressioni lineari che evidenziano le variazioni di velocità al variare della pendenza trasversale su ciascuna pista. Sulla Pista 1, che presentava una pendenza trasversale variabile dallo 0% al 15% (Grafico 1), si nota che le velocità dei mezzi diminuiscono sensibilmente all'aumentare della pendenza; tale riduzione è più marcata per il trattore agricolo tradizionale (Tesi 2) rispetto al trattore agricolo modificato (Tesi 1), difatti per la prima macchina la riduzione risulta del 86%, mentre per la seconda del 79%, passando da 0% al 15% di pendenza.

Sulla seconda pista si nota che (Grafico 2), così come evidenziato sulla Pista 1, la pendenza trasversale ha maggiore effetto sulla velocità della Tesi 2, mentre la Tesi 1 risente meno dell'aumento di pendenza dal 15% al 27%. Per quanto riguarda la rilevazione delle vibrazioni a cui sono esposti gli operatori addetti alla guida i dati sono riportati nel Grafico 3. Dall'esame dei risultati, relativi ai valori globali delle accelerazioni ( $a_v$ ), si nota che in tutte le prove i valori rilevati sono molto simili tra loro, fatta eccezione per la Tesi 2.1 in cui si è registrato il valore più alto di accelerazione prevalentemente legato alla maggior velocità di avanzamento.

Per quanto riguarda il comportamento delle due trattrici in prova per le singole componenti assiali ( $a_x$ ) si nota un andamento piuttosto omogeneo solo lungo l'asse x (dorso-petto) mentre per l'asse y (lato destro-lato sinistro) si denota una certa differenza a vantaggio della Tesi 1 probabilmente legata alla diversa conformazione dei due trattori di prova. La Tesi 2 risente maggiormente della pendenza trasversale che comporta quindi dei livelli di accelerazione maggiori rispetto a quelli registrati per la Tesi 1.

Per quanto riguarda i valori riscontrati lungo l'asse z la Tesi 1 presenta sempre valori superiori alla Tesi 2 probabilmente influenzata dalla tipologia di trattore con pneumatici non isodiametrici; per quanto riguarda la trattrice modificata le Tesi 1-1.1-1.2, rappresentanti le diverse modalità d'impiego del sistema di comando dei bracci arti-

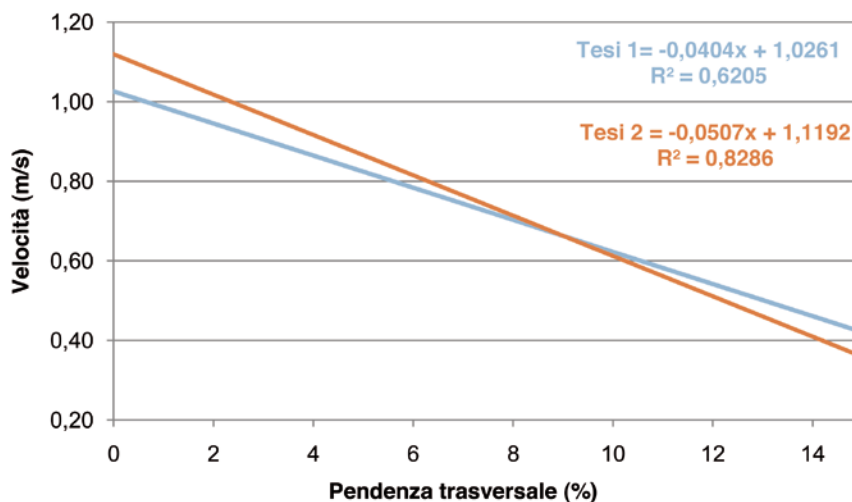


Grafico 1 - Velocità di esbosco in funzione della pendenza trasversale sulla prima pista.

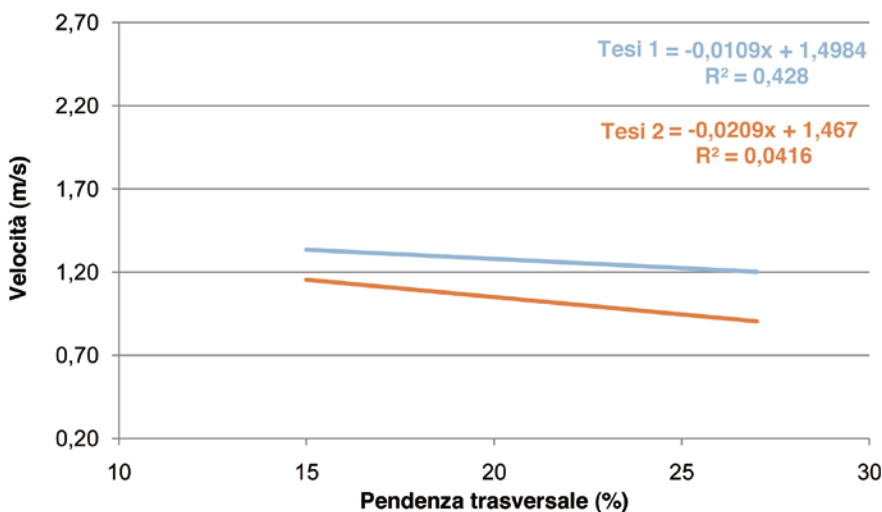


Grafico 2 - Velocità di esbosco in funzione della pendenza trasversale sulla seconda pista.

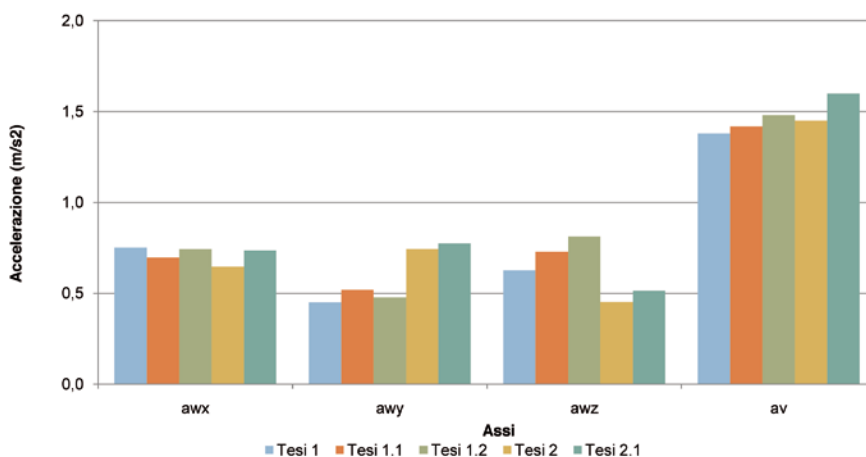


Grafico 3 - Livelli vibrazionali rilevati sul sedile della trattrice modificata (Tesi 1) e della trattrice New Holland L85 (Tesi 2) durante l'esbosco a strascico di piante intere.

colati, presentano dati progressivamente crescenti passando dalla modalità fissa a quella automatica fino alla gestione manuale. Per valutare gli effetti sulla salute dell'operatore e verificare il rischio da vibrazioni nell'utilizzo dei due trattori è necessario

prendere in considerazione anche i tempi di utilizzo giornalieri in funzione dell'accelerazione rilevata lungo l'asse maggiormente sollecitato (nel caso risultino essere l'asse x e y il valore stesso deve essere moltiplicato per 1,4). In Tabella 5 sono riportati i tempi mas-

simi di utilizzo giornalieri per non superare il valore di azione giornaliero, normalizzato ad un periodo di riferimento di 8 ore, (0,50 m/s<sup>2</sup>) e il valore limite di esposizione giornaliero, normalizzato ad un periodo di riferimento di 8 ore, (1,0 m/s<sup>2</sup>) stabiliti dal D.Lgs. 81/08. Il valore limite di esposizione giornaliero non deve essere assolutamente superato, mentre nel caso in cui venga superato il valore di azione, si rende necessario elaborare ed applicare un programma di misure tecniche o organizzative, volte a ridurre al minimo l'esposizione e i rischi che ne conseguono. Di conseguenza si dovrà limitare la durata e l'intensità dell'esposizione, sottoporre i lavoratori a sorveglianza sanitaria e fornire ai lavoratori adeguata informazione e formazione sull'uso corretto e sicuro delle macchine ed attrezzature agricole e dei dispositivi di protezione individuale (DPI).

In tutti i casi si nota che l'utilizzo giornaliero viene limitato rispetto allo standard di 8 h lavorative tranne nel caso della Tesi 1.1. La limitazione comunque risulta modesta in quanto inferiore ad 1 h fatta eccezione per la prova della Tesi 2.1 condotta con la marcia veloce. La velocità di avanzamento influisce notevolmente sui livelli vibrazionali, infatti i rilievi evidenziano un incremento dei valori vibrazionali all'aumentare della velocità di avanzamento. Nel caso in cui si voglia rispettare il valore di azione risulta evidente come, con tempi di lavoro compresi tra 2 ore e 6 minuti e 1 ora e 42 minuti, sia improbabile lo svolgimento della normale attività lavorativa in un cantiere forestale.

## CONCLUSIONI

I risultati delle prove hanno evidenziato che la trattoria munita di kit di allestimento CRA-ING, rispetto alla trattoria tradizionale, permette di ottenere miglioramenti sia sul piano delle prestazioni sia sul piano della sicurezza del lavoro ed in particolar modo sulla riduzione dell'esposizione a vibrazioni.

Sul piano delle prestazioni la trattoria equipaggiata con il kit proposto consente una riduzione della velocità all'aumentare dell'accidentalità del percorso di appena il 3% rispetto al 12-16% della trattoria convenzionale a confronto. Nel percorso più acciden-

Trattori di prova	Asse più sollecitato m/s <sup>2</sup>	valore limite 1,0 m/s <sup>2</sup>		valore di azione 0,5 m/s <sup>2</sup>		valore di sicurezza 1,0 m/s <sup>2</sup>	
		ore	minuti	ore	minuti	ore	minuti
Tesi 1	(x) 0,752	7	13	1	48	1	40
Tesi 1.1	(x) 0,697	8	24	2	6	1	56
Tesi 1.2	(x) 0,742	7	25	1	51	1	42
Tesi 2	(y) 0,743	7	24	1	51	1	42
Tesi 2.1	(y) 0,774	6	49	1	42	1	34

**Tabella 5** - Tempi massimi di utilizzo giornalieri per non superare il valore limite, il valore d'azione ed il valore di sicurezza stabiliti dal D.Lgs. 81/2008.

tato la trattoria modificata consente velocità di trasferimento superiori rispetto a quella convenzionale (0,43m/s-1,55km/h) e soprattutto all'aumento della pendenza trasversale la capacità di bilanciamento permette di mantenere velocità di trasferimento superiori di oltre il 20% rispetto al modello di trattoria messo a confronto.

Sul piano della sicurezza del lavoro oltre ai vantaggi legati alla maggior stabilità trasversale mantenendo velocità sufficientemente elevate anche in condizioni di esbosco difficili, sono emersi anche un maggior contenimento delle vibrazioni sull'asse y (destra-sinistra) dovuto alla miglior capacità di adattamento al profilo del terreno delle ruote posteriori fissate sul bilanciamento articolato. Tale sistema consente di ridurre l'intensità delle sollecitazioni trasmesse all'operatore durante il superamento di ostacoli evitando l'urto diretto e ripartendo meglio il carico a terra. La particolare conformazione della trattoria modificata riduce la percezione della pendenza laterale (asse y) da parte dell'operatore, incrementando i tempi massimi di lavoro ad oltre le 8 h lavorative.

Queste prime valutazioni del kit di trasformazione Cra-Ing hanno evidenziato anche alcuni limiti prevalentemente riconducibili al modello di partenza su cui è stato installato che equipaggiato con ruote anteriori di minori dimensioni rispetto al modello messo a confronto ha presentato alcuni limiti nelle prove di salita a rittochino, per cui si auspica l'adozione su trattorie con cerchi anteriori di diametro almeno pari a 24 pollici e con ripartizione del peso pari ad almeno il 40% sull'assale anteriore.

Il funzionamento del kit di trasformazione consentendo la regolazione in altezza permette di avere una miglior stabilità anche in salite impegnative (38%) ed accidentate. Un ultimo aspetto che potrebbe migliorare la manovrabilità in bosco è rappresentato dall'angolo di sterzo del ponte anteriore che in sede di valutazione sul modello di trattoria su cui applicare il kit dovrebbe portare a prediligere angoli di sterzo di almeno superiori ai 50°.

## Bibliografia

BALDINI S., LAUDATI G., PICCHIO R., 2006 - **Indagine sulle utilizzazioni forestali degli ultimi cinquant'anni nell'Italia Centro-Meridionale**. *Silvae Anno II*, n° 4: pp 189-212.

BALDINI S., CAVALLI R., PIEGAI F., SPINELLI R., DI FULVIO F., FABIANO F., GRIGOLATO S., LAUDATI G., MAGAGNOTTI N., NATI C., PICCHIO R., 2009 - **Prospettive di evoluzione nel settore delle utilizzazioni forestali e dell'approvvigionamento del legname**. *Atti del Terzo Congresso Nazionale di Selvicoltura*. Taormina (ME), 16-19 ottobre 2008.

BOGO A., CAVALLI R., SANTORO G., 2003 - **Adaptation of a 4WD agricultural tractor for wood extraction in steep terrain. Workshop on forest operation improvements in farm forests**. Logarska dolina (Slovenija) 9-14 settembre 2003.

NORMA ISO 2631-1 **Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 1: General requirements**. Luglio 1997.

DECRETO LEGISLATIVO 9 APRILE 2008 - n. 81 Attuazione dell'articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, per il riassetto e la riforma delle norme vigenti in materia di salute e sicurezza delle lavoratrici e dei lavoratori nei luoghi di lavoro, mediante il riordino e il coordinamento delle medesime in un unico testo normativo, G. U. n. 101 del 30 aprile 2008.

# Raccolta dei residui di potatura

## Recupero energetico di cascami d'olivo nel Salento

di LUIGI PARI

ANDREA ACAMPORA

SARA CROCE

La macchina per la raccolta delle potature sono in continua evoluzione spinte dalla richiesta di nuove soluzioni meccaniche per soddisfare il crescente mercato dei residui colturali utilizzati ai fini energetici. In questo lavoro si riferisce delle prime valutazioni di una nuova macchina sviluppata in Puglia per lavorare nelle condizioni operative locali.

**PAROLE CHIAVE:** raccolta potatura, olivo, residui colturali.

Nella regione Puglia circa il 64% dell'intera superficie regionale è interessata da attività agricola: la Superficie Agricola Utilizzata (SAU) si estende per 1.250.000 ettari. Secondo i dati riportati nel V Censimento dell'Agricoltura i seminativi risultano la principale forma di utilizzazione della SAU solo nella provincia di Foggia, mentre nelle altre province sono le coltivazioni legnose ad occupare il primo posto tra le colture maggiormente diffuse. In particolare l'olivicoltura interessa oltre il 60% delle coltivazioni legnose con una superficie superiore ai 300.000 ettari. Risulta evidente che tale comparto incide fortemente sulla produzione di biomassa potenzialmente destinabile alla produzione energetica. Inoltre la presenza di aziende medie-grandi potrebbe giustificare in molti casi l'acquisto di macchinari idonei per il recupero delle potature, qualora questi riuscissero a dare un reddito integrativo interessante per l'azienda agricola. Per questa ragione costruttori locali di macchine agricole stanno sviluppando prototipi innovativi adatti alle

particolari esigenze dell'area meridionale. Nell'ambito del progetto FAESI (Filiera Agro Energetiche nel Sud Italia) il CRA-ING, impegnato nella messa a punto della cantieristica idonea a promuovere il recupero delle biomasse residuali, nel mese di maggio 2010, ha provveduto a valutare un nuovo modello

di trincia caricatrice prodotto dalle Officine Sgarbi in collaborazione con l'Azienda Tommasi di Calimera (LE). La macchina è stata impiegata in operazioni di raccolta delle potature dell'olivo.

### MATERIALI E METODI

#### Il cantiere di raccolta

Il cantiere di raccolta era costituito da una trinciaraccogliitrice (Foto 1 e 2) costruito dalla ditta Sgarbi Officine collegata a una trattore New Holland modello TD 90 D con potenza motrice di 90 CV.

L'operatrice, del peso di 10 q, presenta larghezza di 1,8 m, altezza di 1,3 m e lunghezza di 1,5 m è portata posteriormente al trattore con potenza di almeno 80 CV, ad esso collegata tramite l'attacco a tre punti e riceve il moto degli organi attraverso la p.d.p.

Sul telaio portante in profilati metallici sono assemblati un rullo di appoggio, un organo di trinciatura ed un cassone ribaltabile.



Foto 1 - Trinciaraccogliitrice usata per le prove.

LUIGI PARI, CRA-ING. Email [luigi.pari@entecra.it](mailto:luigi.pari@entecra.it) - ANDREA ACAMPORA, CRA-ING. Email [andrea.acampora@entecra.it](mailto:andrea.acampora@entecra.it) - SARA CROCE, CRA-ING. Email [sara.croce@entecra.it](mailto:sara.croce@entecra.it)





Foto 2 - Trinciaraccogliitrice in fase di lavoro.



Foto 3 - Particolare del rullo di appoggio e dell'organo trinciante.

Il rullo di appoggio è posizionato posteriormente all'organo di trinciatura ed ha la medesima larghezza. La sua funzione è quella di regolare l'altezza di lavoro della macchina relativamente al profilo del terreno.

L'organo di trinciatura è costituito da un rotore ad asse orizzontale che prende il moto dalla presa di potenza del trattore tramite un albero cardanico, un gruppo di rinvio ad ingranaggi e un sistema di cinghie e pulegge. Il rotore, che ha una larghezza di lavoro di 1,80 m, e gira ad una velocità di circa 1.900 giri/min, monta 20 martelli folli dotati di profilo tagliente (Foto 3). Una volta tritato, il materiale viene convogliato, ad opera dello stesso rotore, nel cassone posteriore. Questi ha una capacità di carico di 1,8 m<sup>3</sup> e prevede lo scarico a terra da un'altezza di 500 mm grazie all'apertura a sportello. La stessa ditta propone anche una versione della macchina dalle stesse caratteristiche tecniche con possibilità di scarico dal cassone per elevazione ad opera di una coppia di martinetti collegati al circuito idraulico del trattore.

### Caratteristiche della coltura

In un oliveto in zona pianeggiante e di età stimata di circa 40 anni, sono state condotte prove di raccolta di cascami di olivo.



Foto 4 - Particolare di residui di potatura andanati.

Le varietà coltivate erano Cellina e Ogliarola di Lecce allevate con sesto di impianto quadrato e distanza 6x6 m. Le piante subiscono normalmente una potatura di produzione ogni due anni, il potato viene lasciato in campo alcuni mesi per diminuirne il contenuto idrico e quindi raccolto selezionando dapprima le branche che vengono utilizzate come legna da ardere e successivamente raccogliendo meccanicamente la ramaglia. Questa è disposta in andane (Foto 4) che si sviluppano per l'intera lunghezza delle file con un'altezza media di 500-600 mm ed una larghezza di circa 1.500 mm (Tabella 2).

### Metodi

Lo studio dei tempi di raccolta è stato effettuato secondo la metodologia ufficiale della Commission Internationale de l'Organisation Scientifique du Travail en Agriculture (CIO-STA), compiendo poi le successive elaborazioni. Poiché le prove avevano lo scopo di studiare le prestazioni della macchina in campo, nell'elaborazione dei dati si è tenuto conto esclusivamente del tempo operativo, che non è influenzato dalla durata del turno e dalla posizione del luogo di lavoro rispetto al centro aziendale. Inoltre, al fine di valutare la qualità del lavoro della macchina, sono state effettuate sul prodotto in andana e sul prodotto raccolto, diverse valutazioni. Queste, ripetute su aree dell'andana e su

quantitativi di cippato tali da rappresentare le diverse condizioni operative dell'area oggetto di studio, hanno riguardato la **valutazione della produzione** raccogliibile attraverso pesate tramite dinamometro digitale del materiale in andana, la **valutazione del contenuto idrico** del prodotto ponendo i campioni in stufa a 105° per 24 ore, la **valutazione del prodotto perso** prelevando tutto il materiale presente dopo il passaggio della macchina, e le **caratteristiche fisiche del prodotto** raccolto relativamente all'umidità secondo la normativa CEN/TS 15414-1:2007, la sua massa volumica e la classificazione granulometrica del materiale trinciato secondo le normative ISO 3310-1 e ISO 3310-2.

## RISULTATI

### Studio dei tempi di lavoro

La macchina ha lavorato con una velocità operativa pari a 0,37 m/s alla quale è corrisposta, essendo disposte le andane ad una distanza di 6 m l'una dall'altra, una capacità di lavoro effettivo pari a 0,8 ha/h ed una capacità di lavoro operativa pari a 0,7 ha/h. Il rendimento operativo è risultato pari al 83% del tempo operativo.

I tempi accessori sono risultati essere rappresentati dai tempi per le voltate in capezzagna e per lo scarico del materiale raccolto e trinciato (Tabella 3).

Caratteristiche tecniche	
Ingombri:	
Larghezza (m)	1,8
Altezza (m)	1,3
Lunghezza (m)	1,5
Organi di lavoro (n°)	20
Volume cassone (m <sup>3</sup> )	1,8

Tabella 1 - Caratteristiche tecniche dell'operatrice in prova.

Caratteristiche dell'impianto	
Età	40
Sesto impianto:	
sulla fila (m)	6
tra le file (m)	6
Dimensione andane:	
Altezza (mm)	600
Larghezza (mm)	1.500

Tabella 2 - Caratteristiche dell'impianto.

Tempi di raccolta	
Tempo per voltare (%)	5,6%
Tempo per scarichi (%)	11,2%
Tempo per manutenzione (%)	0
Tempo accessorio (%)	16,8%
Rendimento operativo (%)	83
Velocità effettiva (m/s)	0,4
Velocità operativa (m/s)	0,3
Capacità effettiva (ha/h)	0,8
Capacità operativa (ha/h)	0,7

**Tabella 3** - Tempi della macchina trinciatrice.

### Qualità del lavoro

Nell'oliveto, su una produzione raccogliabile di 8,3 t/ha sono state raccolte 8 t/ha, con perdite inferiori al 4% (Tabella 4). Queste ultime sono dovute essenzialmente al materiale che, non essendo posizionato al centro dell'interfila, non veniva prelevato dall'organo trinciante. Il prodotto raccolto è risultato avere una umidità del 24,8 % ed una massa volumica pari a 190 kg/m<sup>3</sup>.

Dall'analisi granulometrica è emerso che quasi il 70% del prodotto risultava appartenente alla classe di pezzatura compresa tra i 6,3 mm ed i 25 mm. Difatti il 37,09% del campione analizzato apparteneva alla classe compresa tra i 12,5 mm e i 25 mm, mentre il 30,26% apparteneva alla classe compresa tra i 6,3 mm e i 12 mm.

Complessivamente la quasi totalità del materiale (82,7%) risulta contenuto in setacci aventi maglia superiore ai 6,3 mm, mentre poco più del 17% è rappresentato da materiale incluso in classi diametriche inferiori ai 6,3 mm (Grafico1). La frazione di diametro inferiore ai 3,15 mm, rappresentante le impurità presenti, non raggiunge il 5% del totale analizzato. La maggior parte del materiale campionato ha dimensioni inferiori ai 200 mm di lunghezza. La frazione avente una misura superiore rappresenta solo il 6,64%, difatti il 2,98% ha lunghezza compresa tra

Analisi della qualità del lavoro	
Produzione raccogliabile (t/ha)	8,3
Produzione raccolta (t/ha)	8
Perdite (t/ha)	0,31
Perdite riferite alla produzione raccogliabile (%)	3,8
Umidità prodotto (%)	24,8
Produzione raccolta s.s. (t/ha)	6,2

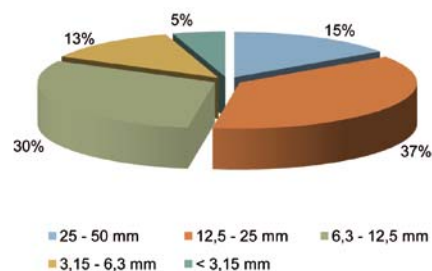
**Tabella 4** - Caratteristiche del materiale raccolto.

200 mm - 300 mm, mentre il 3,66 è superiore ai 300 mm.

Qualora il prodotto raccolto venisse utilizzato per alimentare sistemi di trasformazione alimentati a coclea, la frazione con dimensioni superiori ai 100 mm potrebbe causare, se non prima setacciata, problemi di ingolfamento e/o rotture. Per contro, pezzature molto fini, al di sotto dei 15 mm possono causare il trasporto di materiale incombusto ad opera del flusso d'aria primaria, in fase di combustione e, qualora questa frazione fosse rappresentata da inerti raccolti, l'aumento delle ceneri prodotte dall'impianto.

### CONCLUSIONI

In Puglia, Regione interessata al recupero degli scarti agricoli per la loro forte concentrazione sul territorio, si stanno sviluppando nuove filiere agro-energetiche per valorizzare economicamente tali risorse. L'interesse da parte degli agricoltori al recupero dei residui agricoli che prima venivano distrutti tramite bruciatura diretta in campo, in risposta alla crescente domanda di prodotto ligneocellulosico per la produzione energetica, ha stimolato l'industria agro-meccanica che sta mettendo sul mercato soluzioni idonee alle specifiche realtà locali. Le prove di raccolta hanno messo in luce le caratteristiche e le potenzialità delle tecnologie che si stanno



**Grafico 1** - Suddivisione per classi del materiale trinciato (mm).

sviluppando localmente. Nell'utilizzo delle potature a fini energetici, l'interazione tra i singoli segmenti dell'intera filiera e i diversi aspetti ambientali ed economici vanno presi in considerazione e compresi per identificare le tecnologie adatte a ridurre l'impatto. La tecnica di potatura, il ripristino della fertilità del terreno, la produzione di cippato con caratteristiche fisiche tali da essere facilmente utilizzato negli impianti di combustione, la movimentazione e lo stoccaggio del prodotto, la scelta dell'impiantistica e la sua regolazione, sono tutti fattori correlati che influiscono sull'impatto e sul possibile reddito che la filiera può generare. In questa ottica la collaborazione tra ricerca pubblica ed imprenditoria locale che si sta cercando di promuovere può permettere il necessario supporto tecnico e scientifico ed il trasferimento tecnologico necessario affinché lo sviluppo delle nuove filiere agro-energetiche possa avvenire in modo tale da ridurre i possibili impatti ambientali sul territorio.

### Bibliografia

PARI L., SISSOT F. - **Prove di trinciatura e raccolta dei cascami di potatura in campo.** L'informatore Agrario n°45 anno 2001

# Falciaccondizionatrice per il sorgo da fibra

## Progettazione, realizzazione e prime valutazioni

di LUIGI PARI

ALBERTO ASSIRELLI

ALESSANDRO SUARDI(\*)

Si descrivono le caratteristiche e le capacità d'impiego di una macchina falciaccondizionatrice abbinata a trattore agricolo per la raccolta del sorgo da fibra. Di tale macchina è stato realizzato un primo prototipo da parte di CRA-ING nel 2007 e una versione perfezionata di questo nel 2008. Nel 2009 è stato realizzato un modello pre-commerciale valutato in impiego continuativo.

**PAROLE CHIAVE:** raccolta sorgo da fibra, falciaccondizionatura, conversione energetica sorgo, biogas, etanolo seconda generazione.

Il sorgo rappresenta una specie erbacea annuale di notevole interesse caratterizzato da un germoplasma estremamente diversificato in termini di caratteristiche morfologiche e funzionali. Questa grande varietà genetica ha consentito di selezionare genotipi diversificati sia per destinazione alimentare zootecnica sia energetica. Negli ultimi anni il sorgo da fibra sta riscoprendo un crescente interesse tra le colture lignocellulosiche per la produzione di calore, elettricità e biocombustibili di seconda generazione. La raccolta allo stato fresco, pur essendo tecnicamente più applicabile, risulta economicamente accettabile solo se il trasporto avviene su ridotte distanze. La possibilità di operare su prodotto affienato rappresenta una via obbligata per la diffusione della coltura anche in aree non strettamente connesse ai centri di trasformazione. CRA-ING si è interessato della raccolta tramite fienagione fin dal 2005, prima valutando le soluzioni disponi-

bili per i foraggi e poi analizzando le principali problematiche ed i limiti riscontrati (ASSIRELLI *et al.* 2006). Alla luce di queste esperienze nel 2007 è stato realizzato un primo prototipo di falciaccondizionatrice portata da trattore agricolo (ASSIRELLI *et al.* 2008), modificata nel 2008 (PARI *et al.* 2009).

Nel 2009, tramite bando di gara rivolto a costruttori di macchina agricole, è stata commissionata la realizzazione di un modello pre-commerciale, assegnato alla ditta Cressoni di Volta Mantovana (MN) che nella primavera 2009, seguendo le indicazioni del CRA-ING, ha provveduto alla realizzazione del primo modello di macchina falciaccondizionatrice di sorgo da fibra.



Foto 1 - Prototipo di falciaccondizionatrice realizzato da CRA-ING.

## MATERIALI E METODI

### Descrizione della macchina realizzata

Il prototipo realizzato nel 2009 per la falciaccondizionatura del sorgo da fibra si presenta di tipo portato da trattore, costituito da un telaio principale sul quale sono fissati gli organi di lavoro (Foto 1).

Al telaio principale sono fissati i moduli di condizionamento, in numero pari alle file di coltura che verranno lavorate ad ogni passaggio; inferiormente ad essi è fissato l'appa-

LUIGI PARI, CRA-ING. Email [luigi.pari@entecra.it](mailto:luigi.pari@entecra.it) - ALBERTO ASSIRELLI, CRA-ING. Email [alberto.assirelli@entecra.it](mailto:alberto.assirelli@entecra.it) - ALESSANDRO SUARDI, CRA-ING. Email [alessandro.suardi@entecra.it](mailto:alessandro.suardi@entecra.it)  
(\*) Ph.D. student in Utilizzazioni Forestali, Università degli Studi della Tuscia (VT).



**Foto 2** - Particolare del gruppo di condizionamento a coclee.

rato di taglio. Internamente al telaio è posto il sistema di trasmissione del moto ai moduli di condizionamento ed all'apparato di taglio. Ogni modulo è composto da una coppia di coclee parallele controrotanti con diametro ridotto anteriormente per facilitare la presa delle piante ed inversione del senso di trasporto nella parte terminale delle spirali.

Le spirali presentano diametro esterno pari a 250 mm, spira alta 75 mm, passo 100 mm e spessore pari a 5 mm. I primi 5 avvolgimenti + 3/8 (per un totale di 1.935°) si presentano con unica direzione e convogliano il prodotto verso l'interno del gruppo di condizionamento. La parte terminale della coclea, per un avvolgimento + 3/8 (per un totale di 495°) invertendo il senso di rotazione, convoglia l'eventuale prodotto rimasto verso la parte anteriore garantendo il totale condizionamento della coltura.

Tale sistema assicura la pulizia dell'organo dagli accumuli di eventuale prodotto reciso (Foto 2). Lungo le spirali, in modo alternato fra le due coclee, sono fissate tramite saldatura delle alette realizzate in profilato metallico di altezza pari a 75 mm, larghezza pari a 30 mm e 10 mm di spessore.

Tali alette rappresentano i principali elementi dedicati al condizionamento dello stelo, provocandone alternativamente piegature e lacerazioni delle piante.

Gli alberi sui quali sono fissate le coclee (diametro 100 mm) presentano un doppio supporto, anteriore e posteriore (lunghezza complessiva degli alberi pari a 0,9 m) distanziati 0,2 m l'uno dall'altro. L'azionamento avviene tramite la presa di potenza della trattrice. La trasmissione principale ai moduli è realizzata a catena multipla (passo 1") operante in bagno d'olio su corone dedicate per ogni modulo di condizionamento.

Ogni corona trasmette il moto ad ogni modulo e la fase fra le due coclee compenetranti

Descrizione	Unità di misura	Valore
Larghezza	m	3,77
Lunghezza (profondità)	m	1,75
Altezza	m	0,86
Peso	kg	1.400
Numero di elementi condizionatori	n	7
Interfila elementi	m	0,5
Lunghezza apparato di taglio	m	3,45

**Tabella 1** - Principali dati dimensionali della macchina falciaccondizionatrice.

Descrizione	Unità di misura	Valore
Marca		BM Tractors
Modello		Better 130
Potenza motrice	kW	93
Massa complessiva	kg	3.500
Lunghezza	m	4,56
Larghezza	m	2,45
Altezza	m	2,77
Pneumatici anteriori/posteriori	tipo	Floating 500/60-22.5

**Tabella 2** - Aspetti tecnici della trattrice utilizzata.

fra loro è mantenuta tramite una coppia di ingranaggi sempre in presa, fissati in modo solidale, tramite chiavetta, agli alberi porta coclee.

Questa prima versione di macchina falciaccondizionatrice di sorgo da fibra è stata realizzata per lavorare 7 file ad una distanza interfila di 0,5 m, con una larghezza di lavoro complessiva pari a 3,5 m.

Altre versioni potranno essere realizzate per la raccolta di un diverso numero di file ed idonee ad operare in impianti con diversa distanza tra le file. I principali dati dimensionali della macchina sono riportati in Tabella 1.

L'apparato di taglio è a lama alternata con comando di azionamento a scatola in bagno d'olio operante a 1.100 cicli/minuto. Risulta composto da sezioni di lama fissate tramite viti e bulloni ad una barra portalama di lunghezza pari a 3,45 m. I denti di contrasto sono realizzati a coppie di sezione pari a 56 mm. Il sistema di fissaggio dell'apparato di taglio è modificabile, con possibilità di variazione del posizionamento in altezza rispetto ai gruppi di condizionamento.

La macchina presenta larghezza complessiva di 3,77 m, lunghezza di 1,75 m ed altezza di 0,86 m; la massa è di 1.400 kg.

La macchina realizzata in prima versione non presentava dispositivi per mantenere costante l'altezza di taglio. Successivamente sono state applicate due ruote di livello posteriori per permettere anche di scaricare a terra parte del peso della macchina riducendo le masse a sbalzo sulla trattrice.

Sotto l'aspetto funzionale la falciaccondizionatrice recide le piante a livello del terreno e le condiziona ad una ad una integralmente per singola fila facendole passare attraverso un percorso obbligato entro le barrette contrapposte fissate alla coppia di coclee di ogni modulo.

## Descrizione della trattrice utilizzata

Per l'allestimento del cantiere di falciaccondizionatura si è cercato di reperire una trattrice capace di riunire doti di leggerezza e maneggevolezza, aspetti ritenuti importanti anche per le successive operazioni di rivoltamento, andatura e raccolta. La leggerezza riveste particolare importanza al fine di ridurre il negativo effetto di calpestamento della coltura condizionata. Il modello ritenuto costruttivamente e funzionalmente idoneo alla sperimentazione è risultato essere una trattrice isodiametrica dotata di guida reversibile e trasmissione idrostatica.

Tale modello prodotto dalla ditta BM Tractors di Zocca (MO), è caratterizzato da ridotta massa complessiva e possibilità di equipaggiamento con ruote a sezione larga prive di tappi di presa (tipologie di pneumatici prevalentemente utilizzati nelle operazioni di manutenzione del verde ornamentale).

La trattrice presenta guida reversibile con piattaforma integrale girevole a 180° e possibilità di doppia sterzata, solo anteriore e/o posteriore, riducendo significativamente gli spazi di manovra.

Le principali caratteristiche tecniche della trattrice utilizzata sono riportate in Tabella 2. La trattrice presenta diametro di svolta pari a 6,2 m, passo di 2,5 m e carreggiata variabile da 2,20 m a 2,45 m rimanendo sempre entro i limiti fissati per la circolazione stradale dal Codice della Strada (C.d.S.).

La trattrice monta un motore Iveco FTP (Fiat Power Train Technology) tipo NEF (New Engine Family), a quattro cilindri, sovralimentato con dispositivo di raffreddamento aria aspirata (intercooler) di tipo aria/aria, cilindrata complessiva di 4.500 cc e potenza motrice secondo norma ISO TR14.396 di 93 kW, emisionato Tierr III.

La coppia motrice dichiarata a 1.250 giri/minuto è pari a 525 N/m.

La trasmissione si presenta di tipo misto meccanico idraulico; la componente meccanica presenta un cambio principale a sei rapporti a gestione elettronica con dispositivo di scalata in automatico in caso di accessivo sforzo di trazione, abbinato ad un riduttore a tre gamme, per un totale di 18 rapporti. Alla componente meccanica è abbinata una trasmissione idraulica con pompa a portata variabile con funzione di adeguamento della velocità ed inversione della direzione d'avanzamento. Le velocità consentite sono comprese da 0-5 km/h del primo rapporto fino a 0-40 km/h del diciottesimo rapporto.

L'impianto di sollevamento idraulico posteriore presenta capacità di sollevamento pari a 3500 kg, a richiesta è montabile l'impianto di sollevamento anteriore con capacità di sollevamento pari a 2000 kg.

La presa di potenza posteriore presenta frizione di tipo multi disco in bagno d'olio e due regimi di velocità (540/1000 giri/minuto).

### Area di prova

Le prove sono state condotte nell'estate 2009 sia presso i campi sperimentali del gruppo agro-industriale Co.Pro.B a Minerbio (BO) e presso quelli del gruppo agro-industriale M & G (Mossi & Ghisolfi) a Rivalta Scrivia (AL).

Il primo è impegnato alla messa a punto della filiera produttiva del sorgo da fibra per alimentare l'impianto di produzione di energia elettrica di Finale Emilia, non ancora in produzione, mentre il secondo per alimentare un impianto pilota di produzione di etanolo di seconda generazione in funzione presso il centro di ricerca del Gruppo.

Il campo sperimentale Co.Pro.B. era situato in località Mirandola di Modena (MO), a giacitura pianeggiante, caratterizzata da terreno di medio impasto tendente all'argilloso. Nel campo prove sono state coltivate tre varietà di sorgo per una superficie complessiva di ha 3,6.

La precessione colturale aziendale ha interessato frumento nel 2008 e mais nel 2007, le operazioni di preparazione del terreno sono state aratura estiva (2008) a profondità di 0,4 m, seguita da estirpatura in settembre ed erpicatura superficiale (prof. 0,1 m) primaverile pre-semina.

Il campo sperimentale M & G era situato in località Rivalta Scrivia (AL) a giacitura pianeggiante, presentava superficie seminata a sorgo da fibra pari a 9,0 ha di cui 1,0 ha investito con varietà H 133 ed interessato dalle prove. Le principali caratteristiche sono riportate in Tabella 3.

Durante le prove sono stati rilevate le produttività del cantiere secondo schema di classificazione dei tempi di lavoro in agricoltura concordato in sede internazionale dal C.I.O.S.T.A. (Commission Internationale de

Descrizione	Unità di misura	Mirandola (MO)	Rivalta Scrivia (AL)
Lunghezza	m	162	311
Larghezza	m	92	32
Superficie	ha	1,5	1,0
Distanza di semina (interfila/fila)	m	0,5/0,107	0,5/0,10
Profondità di semina	mm	25	28
Varietà		Biomass 133	H 133

Tabella 3 - Principali caratteristiche dei campi prove.

Descrizione	Unità di misura	Mirandola (MO)	Rivalta Scrivia (AL)
Data	gg/mm/aa	29/07/09	03/09/09
Altezza	m	2,88	3,03
Densità	piante/m <sup>2</sup>	14,00	12,67
Diametro basale	mm	16,75	16,86
Allettamento	%	0	0
Presenza di infestanti	%	0	0
Produzione ottenuta	t/ha	14,00*	18,90**

(\*) Produzione ottenuta al 28,3% di umidità

(\*\*) Produzione stimata ad un'umidità del 27,2%

Tabella 4 - Caratteristiche della coltura di sorgo da fibra alla raccolta nei due campi prove.

Descrizione	Unità di misura	Mirandola (MO)	Rivalta Scrivia (AL)
Regime di rotazione pdp	giri/minuto	454	454
Velocità di avanzamento	m/s-km/h	1,71-6,15	1,24-4,45
Capacità di lavoro effettiva	ha/h	2,15	1,56
Capacità di lavoro operativa	ha/h	1,74	1,45
Rendimento operativo	%	80,63	92,82
Produzione oraria operativa	t/h	53,63	68,95
Altezza di taglio	mm	30	80

Tabella 5 - Parametri di lavoro medi riscontrati durante l'impiego del cantiere di raccolta del sorgo da fibra.

l'Organisation scientifique du Travail en Agriculture) e la raccomandazione AIGR (Associazione Italiana di Genio Rurale) 3<sup>a</sup> R1.

Per la valutazione del condizionamento effettuato sulle piante si sono prelevati sei campioni singolarmente formati dalla produzione di un metro quadrato, giudicati rappresentativi dell'appezzamento, e si sono studiate le zone colpite dagli elementi condizionatori, l'intensità e l'effetto che ha comportato sui tessuti definendo la zona di inizio del processo di condizionamento.

Sui medesimi campioni si sono effettuati anche i rilievi delle altezze di taglio. Per la valutazione delle perdite di raccolta a fine ciclo si sono definiti ulteriori sei campioni di superficie pari ad un metro quadrato e si è provveduto alla raccolta diretta di tutto il materiale rimasto a terra (sezioni di foglie e di steli).

## RISULTATI E DISCUSSIONE

### Capacità di lavoro

Le valutazioni sperimentali del cantiere di lavoro formato dalla trattrice BM Tractor e dalla macchina falciaccondizionatrice sono state effettuate nel mese di luglio 2009 nel centro Italia a Mirandola (MO) e nel mese di settembre 2009 nel nord Italia, a Rivalta Scrivia (AL).

La coltura di sorgo da fibra al momento della raccolta presso il campo di Mirandola (MO) presentava un omogeneo grado di sviluppo, altezza media di 2,88 m e densità pari a 14

piante m<sup>2</sup>. La coltura non presentava allettamenti e neppure infestanti di rilievo.

Nel campo di Rivalta Scrivia (AL) al momento della raccolta la coltura si presentava priva di allettamenti e con un'altezza media di 3,03 m. La coltura durante il ciclo vegetativo ha potuto beneficiare di due interventi irrigui eseguiti tramite irrigatore mobile ad ala avvolgibile. Le maggiori dimensioni delle piante e la maggior irregolarità superficiale hanno influito sulle capacità di lavoro operative della macchina oggetto di studio.

L'analisi dei tempi di lavoro ha messo in luce che mentre a Mirandola (MO) il cantiere di raccolta ha mostrato avere una velocità di avanzamento effettiva pari a 1,71 m/s raggiungendo una capacità operativa pari a 1,74 ha/h, corrispondente ad produzione oraria di 53,63 t/ha, a Rivalta Scrivia (AL) il cantiere di raccolta è avanzato ad una velocità effettiva di 1,24 m/s raggiungendo una capacità operativa pari a 1,45 ha/h, corrispondente ad produzione oraria di 68,95 t/ha.

Le diverse conformazioni degli appezzamenti e le caratteristiche della coltura tra le due aree di prova hanno significativamente influito sui rendimenti e sulle produzioni orarie ottenute. A Rivalta Scrivia (AL) si è ottenuto un rendimento operativo del 15,12 % superiore a quello rilevato a Mirandola (MO) mentre per quanto riguarda la produzione oraria operativa l'incremento è stato pari al 28,57 %.

Nelle Tabelle 4 e 5 sono riportate rispettivamente alcune caratteristiche colturali ed al-



**Foto 3** - Particolare della coltura trattata dalla falcia condizionatrice CRA-ING.



**Foto 4** - Particolare di pianta di sorgo appena falciata e condizionata.



**Foto 5** - Campo prove a fine ciclo di raccolta.

cuni parametri di lavoro del cantiere di falciatura e condizionatura rilevati nei due campi prove. A causa di significativi eventi piovosi avvenuti in concomitanza con le operazioni di imballatura la raccolta del campo prove di Rivalta Scrivia (AL) non ha potuto seguire l'originario protocollo di prova che prevedeva la raccolta e pesatura di tutta l'area di prova.

La determinazione della produzione ottenuta è quindi stata stimata attraverso i rilievi eseguiti in pre-raccolta considerando il valore di umidità raggiunto successivamente all'impiego della falciatore-condizionatore (27,2%).

In entrambi i campi prove le piante, successivamente al passaggio della falciatore-condizionatore, si presentavano uniformemente sparse su tutto il fronte di lavoro della macchina e condizionate fin verso l'apice della pianta (Foto 3).

## QUALITÀ DEL LAVORO

### Condizionamento

L'effetto di condizionamento si manifesta con fessurazioni profonde lungo lo stelo con fuoriuscita dei tessuti interni ad intervalli di 150 mm. Tale distanza è risultata collegata alla velocità di rotazione del condizionatore ed alla velocità di avanzamento della macchina (Foto 4).

Le piante si presentano uniformemente condizionate lungo tutto lo stelo fin da 100 mm sopra la linea di taglio. Le foglie risultano anch'esse condizionate, ancora collegate allo stelo e con lacerazioni longitudinali lungo le nervature.

L'effetto degli elementi condizionatori fissati sulle coclee risulta particolarmente visibile ove lo stelo ha una struttura poco elastica, e diviene progressivamente meno aggressivo con la riduzione del diametro dello stelo ed aumento della sua elasticità.

Alla attività sperimentale volta a valutare le prestazioni e la qualità del lavoro della macchina per la falciatura e condizionatura del sorgo da fibra descritta in questo lavoro, ha fatto seguito una attività sperimentale volta a valutare l'andamento dell'essiccazione del prodotto in campo, nei due areali considerati

(centro e nord Italia) e nei due diversi mesi (Agosto e Settembre).

Tale attività ha messo in luce anche l'efficienza di condizionamento della macchina. Si rimanda quindi all'articolo dedicato per indicazioni sulla efficacia del condizionamento (PARI *et al.* 2010).

### Altezza di taglio

Le condizioni di coltivazione del campo prove di Mirandola (MO) con regolare ed uniforme profilo superficiale hanno permesso alla macchina in prova di mantenere l'altezza di taglio costante a valori piuttosto ridotti, pari a 30 mm, condizione questa che non si è ripetuta in Piemonte ove l'irregolare profilo superficiale e la presenza di ostacoli (sassi) hanno obbligato l'operatore a tenere una l'altezza di taglio media di 80 mm. La maggiore altezza di raccolta si traduce in un minore prodotto raccogliabile.

### Perdite di raccolta

La macchina ha falciato e condizionato tutte le piante presenti nel campo prove e non sono state rilevate perdite a livello di barra di taglio in quanto tutte le piante recise sono state trattate dal gruppo condizionatore.

I rilievi relativi alle perdite di prodotto valutate a fine ciclo di raccolta, quindi comprensive di falciature e imballature, sono riferiti al campo di Mirandola (MO) ove sono risultate pari al 5,18% del prodotto raccolto (14 t/ha al 28,3% di umidità).

## CONCLUSIONI

La macchina falciatore-condizionatore realizzata dalla Ditta Cressoni a seguito della attività di ricerca sviluppata dal CRA-ING negli ultimi 3 anni, ha permesso la soluzione di un problema di notevole importanza che non permetteva la estensiva coltivazione di questa interessante coltura da biomassa.

Le esperienze condotte nel biennio 2007-2008 con il primo prototipo costruito dal CRA-ING hanno fornito una serie di informazioni molto utili sulle problematiche che

la coltura presenta durante le operazioni di fienagione, permettendo di applicare sulla macchina pre-commerciale gli accorgimenti necessari a mantenere un'elevata efficienza di condizionamento riducendo gli inconvenienti legati ad ingolfamenti o inquinamento del prodotto.

L'attività di ricerca mirata allo sviluppo di macchine agricole non esistenti, ma indispensabili per permettere l'attivazione di filiere agro-energetiche, se condotta con l'intenzione di sviluppare innovazioni tecnologiche da mettere sul mercato, può portare in pochi anni alla messa a disposizione degli agricoltori che saranno interessati alla coltivazione della nuova coltura energetica, di macchine efficienti e facilmente reperibili.

Questa attività, voluta dal MIPAF che ha promosso il Progetto di ricerca SUSFACE per lo sviluppo di innovazioni tecnologiche che favoriscano la conversione del settore bieticolo-saccarifero, è stata possibile grazie alle collaborazioni instaurate tra l'Istituto di ricerca pubblica, le ditte produttrici di macchine agricole ed i gruppi agro-industriali del settore prima citati che si ringraziano per la collaborazione.

## Bibliografia

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

ASSIRELLI A., FEDRIZZI M., CIRIELLO A., PARI L. 2008 - **Fiber sorghum haymaking for Energy purpose: an innovative equipment for fast drying.** 16th European Biomass Conference & Exhibition, Valencia, Spain.

PARI L., ASSIRELLI A., SUARDI A. 2009 - **Migliorato il condizionamento del sorgo da fibra alla raccolta.** Informatore Agrario n.29 del 17/23 luglio 2009 - Supplemento Agroenergie, 16-18

PARI L., ASSIRELLI A., SUARDI A. 2010 - **Essiccazione in campo del sorgo da fibra. Valutazione della disidratazione naturale in diversi contesti operativi.** 59-62. In: Innovazioni tecnologiche per le agroenergie. Sinergie tra ricerca e impresa. Sherwood 168, Supplemento 2.

# Raccolta del sorgo da fibra affienato

## Cantieri a confronto

di LUIGI PARI

ALBERTO ASSIRELLI

ALESSANDRO SUARDI<sup>(\*)</sup>

Si confrontano 4 cantieri di macchine, normalmente commercializzati per la raccolta di foraggi e paglia, operanti su sorgo da fibra affienato quattro giorni prima dalla falciacondizionatrice CRA-ING/Cressoni.

**PAROLE CHIAVE:** raccolta sorgo da fibra, falciacondizionatura, conversione energetica sorgo, biogas, etanolo seconda generazione.

Le colture energetiche hanno un basso valore economico riferito al volume; per questa ragione la logistica, ovvero la scelta delle macchine che compongono il cantiere di raccolta, movimentazione e trasporto, può rendere, o meno una coltura energetica economicamente valida. Inoltre la scelta delle macchine costituenti il cantiere di raccolta influisce anche sull'impatto ambientale della filiera agro energetica, si pensi per esempio al compattamento del suolo in relazione alla massa ed agli organi di propulsione delle macchine agricole scelte, ma specialmente al numero di trasporti dal campo all'industria di trasformazione e quindi all'impatto sul sistema della viabilità.

Difatti maggiore è la massa volumica che si riesce ad ottenere con il cantiere di raccolta, minori saranno i mezzi di trasporto necessari per movimentarla in centrale.

Al sorgo da fibra è stata dedicata

una intensa attività sperimentale relativamente alla prima fase della raccolta, la falciacondizionatura, potendo la coltura usufruire dei cantieri di macchine esistenti per la fienagione per la seconda fase, ranghinatura ed imballatura.



**Foto 1** - Nuovo prototipo CRA-ING/Cressoni in lavoro su sorgo da fibra.

Con il fine di verificare la effettiva possibilità di utilizzare macchine costruite per la raccolta di prodotti affienati, la necessità di provvedere ad eventuali adattamenti meccanici, e infine di valutarne le prestazioni per poi calcolarne il costo di raccolta, sono stati valutati 4 cantieri di macchine, normalmente utilizzati per la raccolta di foraggi e paglie. Tali cantieri sono stati valutati su un appezzamento di sorgo da fibra affienato, sul quale aveva operato la falciacondizionatrice CRA-ING/Cressoni quattro giorni prima (Foto 1).

### MATERIALI E METODI

Nell'Agosto 2009, nello stesso campo sperimentale di sorgo da fibra coltivato dal Gruppo agro-industriale COPROB a Mirandola (MO) dove sono state effettuate le prove sperimentali della macchina falciacondizionatrice GRA-ING/Cressoni già citate, sono stati valutati in lavoro

LUIGI PARI, CRA-ING. Email [luigi.pari@entecra.it](mailto:luigi.pari@entecra.it) - ALBERTO ASSIRELLI, CRA-ING. Email [alberto.assirelli@entecra.it](mailto:alberto.assirelli@entecra.it) - ALESSANDRO SUARDI, CRA-ING. Email [alessandro.suardi@entecra.it](mailto:alessandro.suardi@entecra.it)  
<sup>(\*)</sup> Ph.D. student in Utilizzazioni Forestali, Università degli Studi della Tuscia (VT).



Foto 2 - Andanatore a pick-up al lavoro su sorgo da fibra.



Foto 3 - Imballatrice a camera variabile.

tutti i cantieri necessari per portare a conclusione la raccolta del sorgo da fibra tramite fienagione.

Di ogni cantiere sono state rilevate le principali caratteristiche dimensionali e le prestazioni in termini di tempi e capacità di lavoro rilevate durante l'impiego. Le metodologie utilizzate per il rilievo dei tempi di lavoro sono la C.I.O.S.T.A. (Commission Internationale de l'Organisation scientifique du Travail en Agriculture) e la raccomandazione AIGR (Associazione Italiana di Genio Rurale) 3° R1.

I cantieri presi in considerazione (Tabella 1) sono quattro: uno per la messa in andana del prodotto lasciato dalla falciacondizionatrice sparso sull'intera superficie per favorirne la disidratazione, due per la raccolta tramite imballatura costituiti da una rotoimballatrice e una big-baler, ed uno per la raccolta del prodotto sfuso tramite carro auto caricante. Il **cantiere di andanatura** (cantiere 1) era costituito da un andanatore a pick-up trainato, prodotto dalla ditta Roc modello RT 950 (Foto 2). Tale operatrice presenta il dispositivo di lavoro suddiviso in tre settori mobili idraulicamente in grado di presentare, nella configurazione di massima potenzialità, una larghezza di lavoro di 8,35 m che, considerando l'area di deposizione dell'andana, porta ad una larghezza complessiva di lavoro superiore a 9,5 m. Successivamente al pick-up di raccolta, in ogni modulo è presente un nastro trasportatore ad azionamento idraulico bidirezionale, in grado di convogliare il

prodotto, secondo necessità di lavoro, su entrambi i lati.

L'andanatore presenta un settore centrale da 2,5 metri di larghezza e due laterali da 3 m articolati. Il costruttore dichiara una potenza minima di azionamento pari a 60 kW ed una massa complessiva di 4.660 kg.

Durante i rilievi l'operatrice era abbinata una trattoria prodotta dalla ditta New Holland modello TM 165 con potenza motrice pari a 121 kW. L'azionamento prevalentemente idraulico di tutti gli organi di lavoro consente di variare, dal posto di guida, oltre alla larghezza di lavoro anche lo scarico a sinistra o a destra dell'andana. L'articolazione dei tre settori ne permette il sollevamento ad un'altezza massima di un metro da terra, consentendo di non danneggiare le andane trasversali nelle svolte di fine campo.

Ogni settore presenta ruote indipendenti di livello mentre l'intera operatrice è sorretta da due ruote posteriori a regolazione idraulica indipendente di larga sezione.

Il secondo cantiere era rappresentato da una **rotoimballatrice** prodotta dalla ditta Feraboli modello Extreme HTC 280 (Foto 3) a camera variabile, trainata da una trattoria Fiat DT F1000 con potenza motrice di 85 kW.

La rotoimballatrice presenta un sistema di compressione a cinghie in numero pari a sei e dispositivo trinciatore a lame fisse ed infaldatore rotativo.

La macchina, grazie alla traslazione dell'albero porta-cinghie, varia il volume della camera

di compressione consentendo di operare secondo diverse modalità di compressione.

La possibilità di operare sia come imballatrice a camera fissa che variabile, consente all'operatrice di poter formare balle a cuore tenero, medio e duro; particolarità della rotoimballatrice è rappresentata anche dalla possibilità di operare a densità variabile dal centro verso l'esterno, qualità piuttosto utile operando con prodotti non particolarmente essiccati.

Il terzo cantiere risultava composto da una **imballatrice prismatica** di grandi dimensioni prodotta dalla ditta Claas modello Quadrant 3.400 RC (Foto 4), trainata da trattoria Fendt modello 930 Vario con potenza motrice di 228 kW. L'imballatrice presenta camera di compressione di 1x1,2 m, a lunghezza variabile compresa fra 0,5 e 3 metri, dispositivo di trinciatura (Roto Cut) a coltelli fissi con infaldatore rotativo ed assale a tandem per un minor compattamento del terreno.

La macchina presenta sei legatori e capacità di contenimento per 24 bobine da 11,5 kg, la massa complessiva è di 12.860 kg.

Il quarto cantiere era rappresentato da un **carro auto-caricante** prodotto dalla ditta Roc modello CT 360 (Foto 5), trainato da trattoria Claas modello Axion 840 con potenza motrice pari a 177 kW. Il carro autocaricante presenta volume di carico pari a 60 m<sup>3</sup>, sistema di riempimento e compressione controllati in continuo tramite sensoristica dedicata per ottenere un'omogenea densità del carico fin dalle prime fasi di riempimento del cassone.

Il rimorchio presenta tre assi muniti di pneumatici a larga sezione per la riduzione del compattamento, di cui il primo del il terzo sterzante per ridurre gli spazi di manovra.

Il dispositivo di raccolta a pick-up si presenta articolato superiormente con ruote di livello a bilanciere ed a controllo idraulico.

Il pick-up può sollevarsi per il superamento

Descrizione	Marca	Modello	Potenza kW	Capacità m/m <sup>3</sup>
Cantiere 1	Roc New Holland	RT 950 TM 165	121	9,5/-
Cantiere 2	Feraboli Fiat	Extreme HTC 280 DT F1000	85	
Cantiere 3	Claas Fendt	Quadrant 3400 930 Vario	228	
Cantiere 4	Roc Claas	CT 360 Axion 840	177	-/60

Tabella 1 - Principali caratteristiche dei cantieri di lavoro.





Foto 4 - Imballatrice prismatica (big-baler).



Foto 5 - Carro auto caricante per la raccolta del prodotto sfuso.

di dossi o corpi estranei. Successivamente al pick-up di raccolta è posto anche il dispositivo di trinciatura con infaldatore rotante su lame fisse disinseribili secondo necessità.

Il rotore di alimentazione è posizionato nella parte sottostante del pianale di carico per permettere una miglior compressione del prodotto. Il sistema di carico è automatico e viene azionato in base alla pressione che il prodotto esercita sulla parte superiore del carro trincia.

Il carro presenta un sistema di scarico a catene mobili, a doppia velocità e ad azionamento idraulico per lo scarico di prodotti umidi quali il trinciato di mais. Superiormente presenta un sistema di copertura del carico a telo estensibile.

Le dimensioni esterne rispettano i limiti del Codice della Strada (C.d.S.), 4 m di altezza, 2,55 m di larghezza e 12 m di lunghezza. La massa massima consentita a pieno carico è di 20.000 kg. Alcune caratteristiche dei cantieri valutati sperimentalmente sono riassunti in Tabella 1.

Il campo in cui si sono condotte le prove sperimentali era stato coltivato a sorgo da fibra varietà Biomass 133, in pianura e suddiviso da tre scoline che delimitavano gli appezzamenti lunghi 162 m e larghi 92 m, con una superficie di 1,5 ha. La coltura era stata falciaccondizionata dalla macchina CRA-ING/Cressoni, era sparsa uniformemente su tutta la superficie ed aveva un contenuto idrico pari a 28,3%. Il campo è stato tutto andanato dall'andanatore ROC, successivamente le tre raccogliatrici hanno operato una su ciascun appezzamento.

## RISULTATI

### Cantiere 1 - Andanatore

Il cantiere per l'andanatura ha operato consecutivamente per la preparazione dell'intero campo prove senza evidenziare anomalie

di rilievo; l'elevato spessore di biomassa da gestire ha richiesto l'impiego prevalente dell'operatrice a larghezza ridotta per non realizzare andane di larghezza superiore ai dispositivi di raccolta delle successive operatrici. La maggior parte delle operatrici utilizzate in fienagione per la raccolta di prodotti andanati infatti presentano pick-up di larghezza compresa fra 1,8 e 2,2 m, pertanto risulta di notevole importanza che la forma ed il volume dell'andana rientri in queste dimensioni e sia il più possibile omogenea.

Relativamente ai tempi di lavoro, l'operatrice ha fatto registrare, tra i tempi accessori, solo quelli di svolta, risultati pari al 15,62%, con un rendimento operativo pari all'84,38%. La velocità di lavoro effettiva su sorgo è risultata pari a 1,95 m/s (7,02 km/h) e considerando i tempi di svolta, si è ottenuta una velocità operativa di 1,64 m/s (5,90 km/h). Nonostante il prevalente impiego a larghezza di lavoro ridotta, l'andanatore a pick-up ha presentato una capacità di lavoro effettiva di 4,56 ha/h, ridotta a 3,84 ha/h considerando anche i tempi di svolta. Alla luce della bio-

massa raccolta è stato possibile determinare anche la produzione oraria operativa risultata pari a 53,2 t/h.

### Cantiere 2 - Rotoimballatrice

Durante le prove non si sono presentati inconvenienti di rilievo e, relativamente ai tempi di lavoro, la macchina ha presentato come unici tempi accessori le svolte (4,78%) ed i tempi di scarico (27,07%), rappresentati dalla sosta per legatura, scarico della balla e ripartenza. Il rendimento operativo è quindi stato del 68,15%. La rotoimballatrice operando ad una velocità effettiva di 0,74 m/s (2,66 km/h) ha presentato una capacità di lavoro effettiva 1,72 ha/h che, considerando il rendimento operativo (tempi di svolta e legature/scarico) si riduce a 1,17 ha/h. Le andane derivavano da un fronte di lavoro di 5,5 m e la produzione oraria operativa, considerando il quantitativo di biomassa raccolta, è risultata pari a 16,26 t/h. Le rotoballe di sorgo da fibra prodotte avevano dimensioni di 1,2 x 1,55 m, il peso medio delle rotoballe è stato di 480 kg con una densità pari a 212 kg/m<sup>3</sup>.

Parametri rilevati	Cantiere				
	1	2	3	4	
<b>Tempo standard TS</b>					
Tempo effettivo TE	%	84,38	68,15	78,10	77,23
Tempo accessorio TA	%	15,62	31,85	21,90	22,77
- Tempo per voltate TAV	%	15,62	4,78	21,90	22,77
- Tempo per rifornim. o scarichi TAS	%	0	27,07	0	0
- Tempo per manutenzione TAC	%	0	0	0	0
<b>Tempo standard</b>	<b>%</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>Operatività della macchina</b>					
Rendimento operativo Ro	%	84,38	68,15	78,10	77,23
Velocità effettiva ve	m/s	1,95	0,74	1,98	2,08
Velocità operativa vo	m/s	1,64	0,50	1,54	1,61
Capacità di lavoro effettiva	ha/h	4,56	1,72	3,91	4,11
Capacità di lavoro operativa	ha/h	3,84	1,17	3,05	3,17
Produzione oraria operativa	t/h	53,20	16,26	42,77	44,46

Tabella 2 - Principali parametri operativi rilevati nel campo prove.

Descrizione	Unità di riferimento	Peso medio (kg)	kg/m <sup>3</sup>
Cantiere 2	Rotoballa	480	212
Cantiere 3	Balla prismatica	574	261
Cantiere 4	Prodotto sfuso	6.620	110

**Tabella 3** - Pesi medi e densità di balle e prodotto sfuso raccolti con i cantieri monitorati.

### Cantiere 3 - Imballatrice prismatica

L'imballatrice prismatica impiegata su sorgo da fibra non ha presentato difficoltà particolari durante l'impiego e, come la rotoimballatrice, ha mostrato una certa sensibilità all'omogeneità delle andane.

Tale aspetto risulta molto importante per l'operatore per permettere di adeguare la velocità di avanzamento al volume di prodotto in ingresso. I tempi di lavoro hanno evidenziato un'incidenza dei tempi di svolta pari al 21,9%, la velocità effettiva di lavoro è risultata di 1,98 m/s (7,13km/h) mentre quella operativa è stata di 1,54 m/s (5,54km/h). Le andane derivavano da un fronte di lavoro di 5,5 m e hanno consentito una capacità di lavoro effettiva di 3,91 ha/h mentre quella operativa è risultata di 3,05 ha/h.

Le balle formate presentavano peso medio di 574 kg e densità pari a 261 kg/m<sup>3</sup>, con una produzione media operativa pari a 42,77 t/h. L'apparato trinciante a lame fisse non ha segnalato anomalie di rilievo nelle condizioni di prova monitorate.

### Cantiere 4 - Carro auto caricante

Il carro auto caricante munito di dispositivo di trinciatura a infaldatore rotante e lame fisse, ha operato continuamente per l'intera raccolta. Il doppio assale sterzante consentiva rapide svolte a fondo campo permettendo tempi di svolta di soli 23 secondi, comprensivi di sollevamento pick-up, svolta vera e propria e riposizionamento del dispositivo di raccolta. L'articolazione superiore del pick-up consentiva una buona operatività anche ove le condizioni del profilo superficiale si presentavano piuttosto irregolari.

Questo non ha comunque influito sulla velocità effettiva di lavoro che è risultata di 2,08

m/s (7,49km/h). Considerando che i tempi di svolta sono stati pari al 22,77%, la velocità operativa è risultata di 1,61 m/s (5,79 km/h). La capacità di lavoro effettiva è stata di 4,11 ha/h mentre quella operativa di 3,18 ha/h.

Il carico medio è risultato di 6,62 t che, rapportati al volume utile di carico, porta ad una densità di 110,33 kg/ha.

Considerando la biomassa raccolta, la produzione media operativa del carro auto caricante è risultata di 44,46 t/h.

In Tabella 2 sono riportati alcuni parametri di lavoro rilevati durante i monitoraggi eseguiti sui cantieri di raccolta del sorgo da fibra. Aspetto piuttosto importante, soprattutto in caso di movimentazione a lunga distanza del prodotto raccolto, riguarda la densità di compressione ottenibile con i diversi cantieri monitorati.

Dalla Tabella 3 si evince come l'imballatura tramite imballatrice prismatica di grandi dimensioni (big-baler) rappresenti il cantiere capace di ottenere i valori di densità più elevati (261 kg/m<sup>3</sup>).

Occorre comunque tener presente che il carro auto caricante non richiede poi ulteriori interventi di carico e movimentazione sul campo di raccolta. Terminata la movimentazione del prodotto raccolto si è proceduto infine alla stima delle perdite in campo eseguita tramite campionamento di aree di superficie nota che, come valore medio, considerando un'altezza di taglio di 30 mm, è risultata pari al 6,58%, considerando una produzione di 14 t/ha al 28,3% di umidità ed i tre cantieri utilizzati (falciacondizionatura, andantura, imballatura e/o auto caricante).

I pick-up delle imballatrici o del carro auto caricante non hanno evidenziato differenze significative sul piano delle perdite a terra.

## CONCLUSIONI

Le prove hanno messo in luce la completa adattabilità delle macchine costruite per la raccolta di fieno e paglia al sorgo da fibra affienato. Non sono stati identificati organi che necessitassero di eventuali modifiche meccaniche. Tutte le macchine utilizzate prevedevano sistemi di trinciatura del prodotto per permettere una miglior compressione dello stesso e, anche questi apparati, nell'esperienza svolta, non hanno evidenziato problematiche di rilievo.

L'andatura eseguita con sistema a pick-up ha permesso di unire buone capacità di lavoro con elevata pulizia, soprattutto da terra, del prodotto raccolto, aspetto molto importante per la successiva termovalorizzazione.

Il cantiere di raccolta tramite rotoimballatura, pur avendo mostrato le minori capacità operative, rappresenta probabilmente la soluzione di raccolta più diffusa in ambito aziendale e ampiamente adeguabile alla raccolta del sorgo da fibra; inoltre la rotoballa come per il foraggio presenta una miglior resistenza agli agenti atmosferici.

La raccolta tramite imballatura prismatica rappresenta una soluzione di elevata capacità operativa in grado di offrire valori di densità interessanti e una miglior movimentazione del prodotto. La raccolta del prodotto sfuso, pur permettendo elevate produttività, presenta bassi valori di densità che, nell'ottica di filiera di raccolta entro le brevi distanze, può comunque rappresentare un'interessante soluzione, evitando la contemporanea presenza in campo di cantieri di raccolta e movimentazione. L'attività sperimentale condotta in questi anni per la messa a punto di cantieri di raccolta del sorgo da fibra ha portato alla individuazione di complete linee di raccolta per il prodotto affienato. Esse sono rappresentate sia dalla falciacondizionatrice specifica per il sorgo da fibra, sia macchine già disponibili sul mercato derivate da altre colture (es. settore foraggio) che possono permettere all'agricoltore, qualora l'industria agro-energetica attivasse una domanda di prodotto supportata da idonei prezzi di acquisto, di far fronte alle richieste di prodotto essiccato.

# Essiccazione in campo del sorgo da fibra

## Valutazione della disidratazione naturale in diversi contesti operativi

di LUIGI PARI

ALBERTO ASSIRELLI

ALESSANDRO SUARDI<sup>(\*)</sup>

La riduzione del tempo di esposizione nel rispetto della durata del ciclo di coltivazione rappresenta un obiettivo di primaria importanza per l'affermazione della coltura del sorgo da fibra. In questo contributo si riportano i risultati di prove sperimentali svolte da CRA-ING mirate a valutare i giorni di esposizione alla radiazione solare necessari per ottenere un livello di umidità idoneo.

**PAROLE CHIAVE:** raccolta sorgo da fibra, falciacondizionatura, conversione energetica sorgo, biogas, etanolo seconda generazione.

Il sorgo da fibra sia per termovalorizzazione in centrale sia per la produzione di etanolo di seconda generazione deve passare da oltre il 70 a meno del 30% di umidità per permettere una buona conservazione del prodotto ed una significativa riduzione dei costi di movimentazione. Il prodotto raccolto fresco rende antieconomica la movimentazione oltre i 25 km (BARBUCCI *et al.* 1994). In un articolo precedente è stato descritto il cantiere di falcia condizionatura realizzato per il sorgo da fibra che lascia il prodotto uniformemente distribuito sull'intera superficie del campo di coltura per ottenere la massima esposizione alla radiazione solare.

Questo aspetto può ritenersi piuttosto importante perché il ciclo colturale delle varietà coltivate ed il tempo necessario per la raccolta tramite fienagione del prodotto espone la coltura a rischi dovuti ad eventi meteorici soprattutto durante la fase di

essiccazione con notevole complicazione delle fasi di raccolta e della qualità delle produzioni.

Da anni la riduzione del tempo di esposizione a vantaggio della durata del ciclo di coltivazione ha rappresentato un obiettivo di

primaria importanza per l'affermazione della coltura del sorgo da fibra.

Al fine di valutare i giorni di esposizione alla radiazione solare necessari per ottenere un livello di umidità adeguato alle successive fasi, CRA-ING ha svolto alcune prove in diverse realtà e periodi di raccolta.

Nel presente lavoro si riportano i risultati di prove sperimentali mirate a valutare l'andamento dell'essiccazione in campo del prodotto falcia condizionato con la nuova macchina, in due diverse località (centro e nord Italia), ed in due diverse epoche di raccolta (mese di luglio e settembre).

### MATERIALI E METODI

L'attività sperimentale ha riguardato la comparazione dell'andamento della perdita di umidità di sorgo da fibra falciacondizionato nel mese di agosto in località Mirandola (MO) con il sorgo da fibra falciacondizio-



**Foto 1** - Falciacondizionatrice CRA-ING/Cressoni in lavoro sul campo piemontese.

LUIGI PARI, CRA-ING. Email [luigi.pari@entecra.it](mailto:luigi.pari@entecra.it) - ALBERTO ASSIRELLI, CRA-ING. Email [alberto.assirelli@entecra.it](mailto:alberto.assirelli@entecra.it) - ALESSANDRO SUARDI, CRA-ING. Email [alessandro.suardi@entecra.it](mailto:alessandro.suardi@entecra.it)  
<sup>(\*)</sup> Ph.D. student in Utilizzazioni Forestali, Università degli Studi della Tuscia (VT).



**Foto 2** - Particolare dei campioni per il rilievo dell'altezza di taglio.



**Foto 3** - Prodotto falciaccondizionato in essiccazione nella tesi di Mirandola (MO).

nato in località Rivalta Scrivia (AL) nel mese di settembre. In entrambe le tesi la varietà era H 133 ed il cantiere di raccolta era costituito da trattore BM Tractors Mod Better 130 abbinato a macchina falcia-condizionatrice CRA-ING/Cressoni.

Le valutazioni hanno riguardato sia la identificazione dei parametri biometrici colturali in pre-sfalcio che la valutazione dell'andamento dell'umidità del prodotto in post-sfalciatura.

### Pre-sfalcio

Prima del passaggio della falcia condizionatrice, dopo attenta valutazione del grado di uniformità, di sviluppo e densità delle piante, sono stati individuati tre settori rappresentativi, sui quali si è proceduto con sei campionamenti alla determinazione delle caratteristiche biometriche della coltura.

Ogni campionamento è stato effettuato su una superficie di un metro quadrato. Per ogni campione, sono state raccolte e contate il numero di piante presenti, il loro peso unitario e complessivo.

Di ogni pianta è stata misurata l'altezza, il diametro basale e ad 1 m dalla base.

Si è inoltre cercato di quantificare come l'altezza di taglio influisca sulla produzione to-

tale raccogliibile valutando diverse altezze di taglio (50 mm, 100 mm, 150 mm, 200 mm e 250 mm).

### Post-sfalcio

Successivamente al passaggio della falcia condizionatrice, per valutare i tempi di essiccazione della biomassa condizionata e lasciata a terra, nei 3 settori precedentemente individuati, sono stati prelevati tre campioni due volte al giorno (ore 12.30 e 20.00) per valutarne le variazioni di umidità fino al raggiungimento del valore minimo necessario per la successiva fase di stoccaggio (30%).

Dopo circa 48 ore dal condizionamento, in una porzione del campo prove di Mirandola (MO), si è proceduto con un rivoltamento tramite ranghinatore stellare del prodotto condizionato, per poterne successivamente valutare l'influenza sulla velocità di essiccazione. Ogni campione raccolto era rappresentato da piante intere costituite da fusto, foglie e spiga che venivano immediatamente pesate ed inviate in laboratorio per la valutazione dell'umidità secondo la procedura CEN/TS 15414-1:2006.

Dal giorno della raccolta fino all'imballatura sono state monitorate le condizioni meteo-

rologiche per mezzo di una centralina meteo professionale (Oregon Scientific WMR200) posizionata ai bordi dei campi sperimentali. In particolare sono stati registrati i valori di temperatura, umidità, piovosità e velocità del vento.

## RISULTATI

In Tabella 1 sono riportate le caratteristiche colturali nelle due Tesi messe a confronto, dalle quali si può evidenziare un maggior sviluppo vegetativo, una minor densità per unità di superficie ed un maggior diametro basale nella tesi di Rivalta Scrivia (AL).

Tali difformità devono comunque essere valutate in base ai diversi percorsi colturali seguiti nelle due realtà. Mentre il campo prove di Modena non ha potuto beneficiare di interventi irrigui esterni, ad Alessandria sono stati eseguiti due interventi con irrigatore mobile ad ala avvolgibile.

Il processo meccanico di condizionamento messo a punto, permette la deposizione della coltura falcia condizionata a terra in maniera uniforme, su tutta la superficie disponibile. Ogni pianta risulta longitudinalmente integra e con incisioni e compressioni ripetute su tutta la lunghezza.

Descrizione	Unità di misura	Mirandola (MO)	Rivalta Scrivia (AL)
Varietà		Biomass 133	H 133
Data sfalciaccondizionatura	gg/mm/aaa	29/08/2009	03/09/2009
Distanze di semina: interfila	m	0,5	0,5
sulla fila	mm	107	110
Altezza piante	m	2,88	3,03
Densità	n°/m <sup>2</sup>	14	12,67
Diametro basale	mm	16,75	16,86
Peso medio	kg/pianta	0,38	0,40
Umidità allo sfalcio	%	73,4	72,6
Allettamento	%	0	0
Infestazione	%	0	0
Altezza di taglio	mm	30	80

**Tabella 1** - Principali caratteristiche della coltura di sorgo alla raccolta.



**Foto 4** - Operazione di andanatura a fine ciclo di essiccazione in campo.

L'elevato spessore di biomassa distesa (>150 mm) e le fisiologiche sovrapposizioni delle piante, non consentono un'omogenea perdita di umidità; infatti durante i rilievi periodici, la quasi totalità delle piante analizzate, presentavano settori di stelo con differenti gradi di essiccazione.

È stato inoltre osservato che, essendo lo stelo a livello basale, di maggiori dimensioni e meno elastico rispetto alle parti più distali, l'effetto di condizionamento risultava più evidente e con spaccature profonde. In contrapposizione, nelle parti apicali, la maggiore elasticità dello stelo lo rendeva meno suscettibile alla fessurazione.

Questo fenomeno permetteva comunque di ottenere una perdita di umidità dei tessuti interni piuttosto omogenea, tra le diverse sezioni dello stelo.

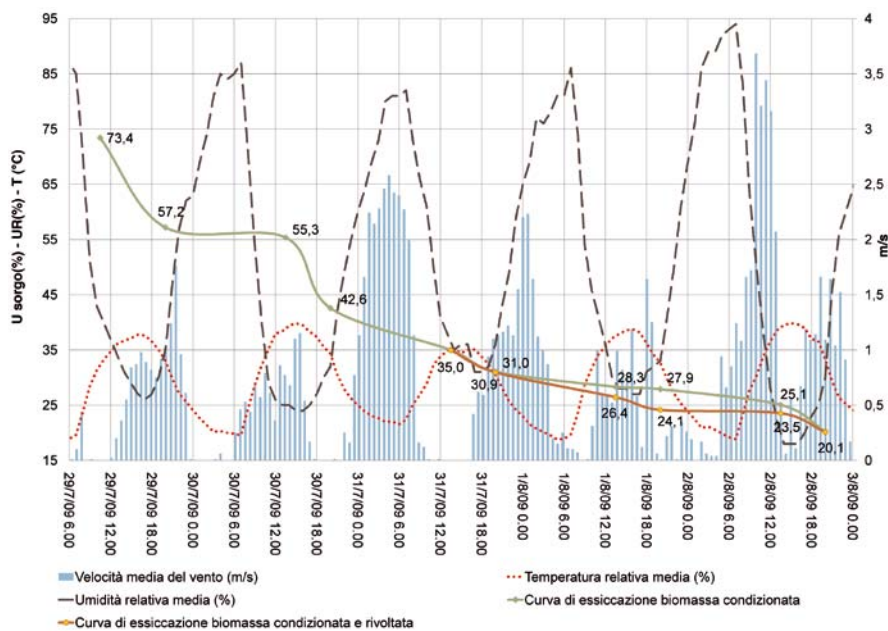
Alla fine di luglio 2009 in Emilia Romagna, durante le prove sperimentali in località Mirandola (MO) la temperatura media dell'aria è stata di 29°C, l'umidità relativa media del 52% e la velocità media del vento di 0,69 m/s. Al momento dello sfalcio eseguito alle ore 10:30 del 29/07/2009 la coltura presentava un'umidità iniziale pari al 73,4% e, nelle condizioni descritte, la perdita di umidità ha consentito di concludere le operazioni di raccolta entro il quarto giorno ad un'umidità media del 28,3%, senza eseguire rivoltamenti intermedi.

In un'area delimitata è stato inoltre eseguito un rivoltamento intermedio il terzo giorno dallo sfalcio, che ha mostrato di non avere influito significativamente sulla velocità di essiccazione del prodotto.

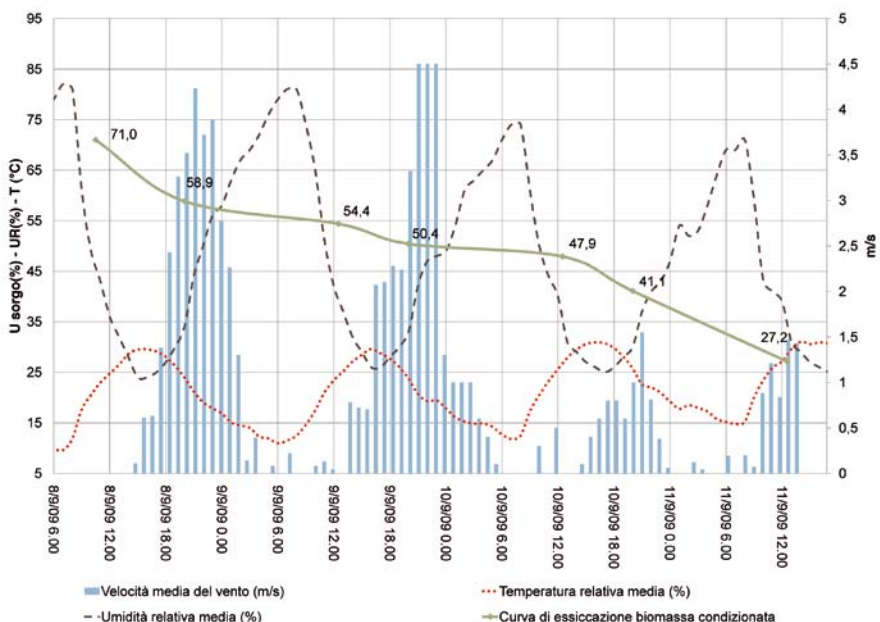
Nel Grafico 1 viene riportato l'andamento della perdita di umidità della coltura nella Tesi di Mirandola assieme ai dati di temperatura relativa, umidità relativa e velocità del vento medi, registrati dalla centralina meteo installata in prossimità del campo prove per tutta la durata della attività sperimentale.

Dal Grafico 1 si evidenzia come, nelle prime ore successive al condizionamento il contenuto di umidità della coltura inizia a diminuire in maniera sensibile, perdendo in 8 ore, dalle 10:30 alle 18:30, 16 punti percentuale di acqua.

Con la diminuzione dell'intensità della radiazione solare e della temperatura esterna, si assiste ad un riequilibrio dell'umidità fra le parti più interne della pianta e gli strati esterni già parzialmente essiccati, senza che si verifichino perdite significative di acqua dai tessuti. Solo nel pomeriggio successivo (2°giorno), l'incremento di temperatura, abbinato alla diminuzione dell'umidità relativa dell'aria, determina un marcato abbassamento del contenuto di acqua all'interno del prodotto. Raggiunta la soglia del 40%, il processo di essiccazione appare più lineare senza mostrare marcate differenze tra il giorno e la not-



**Grafico 1** - Andamento dell'essiccazione del biomassa condizionata in campo e condizioni meteorologiche - località Mirandola (MO) luglio/agosto 2009.



**Grafico 2** - Andamento dell'essiccazione del biomassa condizionata in campo e condizioni meteorologiche - località Rivalta Scrivia (AL) settembre 2009.

te. Si tende a creare una forma di equilibrio tra la quantità di acqua che passa dagli strati più interni della pianta verso la superficie a contatto con l'aria e quella che sta progressivamente evaporando.

Nel Grafico 2 viene riportato l'andamento della perdita di umidità della coltura nella Tesi di Rivalta Scrivia assieme ai dati di temperatura relativa, umidità relativa e velocità del vento medi, registrati dalla centralina meteo installata in prossimità del campo prove per tutta la durata della attività sperimentale.

In Piemonte, nella prima decade di settembre, la temperatura media registrata nel periodo delle prove è stata di 21°C, l'umidità

media di 49% e la velocità media del vento di 1,18 m/s. Anche in questo caso la biomassa è passata, in poco più di 4 giorni, da un'umidità media del 71% ad una del 27,2%.

Durante le prove di essiccazione in campo, in entrambe le tesi, non si sono verificati fenomeni meteorologici registrabili, pertanto i dati pluviometrici non sono stati inseriti nei grafici.

Il processo di essiccazione evidenziabile dal Grafico 2, relativo all'esperienza piemontese nel mese di settembre, denota un diverso comportamento rispetto all'esperienza precedente condotta in Emilia Romagna nel mese di luglio, mostrando un'essiccazione

Altezza di taglio	Prodotto non raccolto
mm	%
50	3,25
100	6,14
150	9,19
200	12,15
250	14,36

**Tabella 2** - Diminuzione della biomassa raccogli-  
bile in funzione dell'altezza di taglio.

più lineare della biomassa in campo senza rilevanti interferenze dell'alternarsi giorno/notte sulla essiccazione.

Tale andamento potrebbe essere riconducibile sia alla minor temperatura relativa media giornaliera di settembre che, pur se accompagnata da una maggiore ventosità e da valori simili di umidità relativa dell'aria, non ha permesso il verificarsi di bruschi abbassamenti dell'umidità contenuta nella biomassa, sia all'influenza dell'altezza di taglio sull'andamento dell'essiccazione.

Difatti nella Tesi di Rivalta Scrivia l'irregolare profilo superficiale e la presenza di ostacoli (sassi) hanno obbligato l'operatore della falciaccondizionatrice a tenere una altezza di taglio media di 80 mm, a differenza di quanto avvenuto nella Tesi di Mirandola ove l'altezza media di taglio è risultata essere 30 mm.

La parte basale dello stelo non tagliato svolge un'azione di sostegno importante della biomassa condizionata in fase di essiccazione, evitandone il contatto a terra. Questo aspetto fa sì che, l'umidità del terreno non influisca negativamente sul prodotto e l'aria riesca a passare attraverso la biomassa favorendone

la disidratazione, come già rilevato in altre esperienze (KLINNER e SHEPPERSON 1975).

Si può quindi supporre che nella Tesi di Mirandola il contatto della coltura con il terreno abbia influito negativamente con la disidratazione e che questo effetto si sia fatto sentire maggiormente durante il periodo notturno.

La maggiore altezza di raccolta tuttavia si traduce in un minore prodotto raccogli-

bile. Questo è stato stimato con delle prove sperimentali ed i risultati sono riportati in Tabella 2 dalla quale si evince come, per contenere le perdite al di sotto del 10%, sia importante non superare i 150 mm di altezza di taglio.

## CONCLUSIONI

L'attività sperimentale condotta in due diversi areali ed in diversi periodi dell'anno ha permesso di contribuire a superare una problematica che in molteplici areali italiani aveva spesso limitato la diffusione della coltura ai soli casi in grado di effettuare la raccolta del prodotto fresco, con tutti i limiti derivanti dal contenuto di umidità, inerenti il costo di trasporto e la conservabilità.

Lo studio delle problematiche legate al rilascio dell'umidità da parte della biomassa in campo, ha permesso di sottolineare l'importanza di una frequente ed omogenea fessurazione dello stelo oltre ad una perfetta deposizione a terra, evitando accumuli e facilitando la circolazione dell'aria.

La nuova falciaccondizionatrice CRA-ING/Cressoni ha permesso quindi di ridurre i tempi convenzionali di esposizione solare in campo, entro i 4 giorni senza rivoltamento intermedio. Quest'ultimo, se applicato entro

il secondo giorno, potrebbe abbassare ulteriormente i tempi di essiccazione.

Dalle esperienze condotte si sconsiglia inoltre di protrarre la raccolta tramite fienagione, negli areali centro-nord italiani, oltre il mese di settembre, a causa dell'aumento del rischio di condizioni pedoclimatiche sfavorevoli che potrebbero influire negativamente sui tempi di essiccazione e sulla riuscita della raccolta stessa. Per quanto riguarda l'altezza di taglio da adottare in fase di falcia condizionatura, al fine di ridurre le perdite di prodotto ma nello stesso tempo favorire le condizioni di ventilazione interna dello strato di biomassa, se ne consiglia un valore compreso tra i 30 e 80 mm.

Altezze inferiori potrebbero non consentire un sufficiente isolamento dal terreno con scambi di umidità indesiderati e difficoltà di essiccazione.

## Bibliografia

BARBUCCI P., ANDREUCCETTI P., FRATI G., BACCHIET P., VANNUCCI D., PARI L., 1994 - **Energy Crops Harvesting: Fiber Sorghum, Kenaf, Arundo donax, Miscanthus, Cynara cardunculus**. Biomass for Energy and Industry - 7th E.C. Conference - Bocum, 38-43Klinner W. E.

SHEPPERSON G., 1975 - **The state of haymaking technology**. - Grass and Forage Science - Volume 30 Issue 3, 259-266

# Valutazione delle perdite nella raccolta di Brassicacee

## Risultati di tre anni di sperimentazioni

di LUIGI PARI

ALBERTO ASSIRELLI

ALESSANDRO SUARDI<sup>(\*)</sup>

Per avere a disposizione dati attendibili sulle reali perdite dovute alla raccolta meccanica di alcune specie di Brassicacee da granella (*Brassica napus* e *Brassica carinata*), è stata impostata da CRA-ING una serie di prove di raccolta in diverse realtà italiane. In questo contributo si riportano i risultati di 3 anni di sperimentazione.

**PAROLE CHIAVE:** perdite di granella, raccolta, Brassicacee, *Brassica napus*, colza, *Brassica carinata*.

Alla famiglia botanica delle Brassicaceae appartengono molte specie di piante di grande interesse economico ed ambientale.

Tra queste, la *Brassica carinata* e la *Brassica napus* vengono frequentemente coltivate per scopi energetici. L'olio contenuto nei loro semi può essere estratto per spremitura, trasformato tramite un processo di transesterificazione in biodiesel per impiego in autotrazione, o usato tal quale, per produrre energia elettrica e termica. In molti areali italiani la coltivazione in particolar modo di *Brassica napus* (colza) ha incontrato serie limitazioni a causa delle perdite di granella causate dalla naturale deiscenza del seme maturo, elemento che ha spostato l'interesse dei produttori verso la *Brassica carinata* (carinata), specie più resistente a tale fenomeno.

La raccolta meccanica è stata frequentemente ritenuta responsabile delle scarse produzioni ottenute in alcune realtà a causa dell'apertura delle silique sia per deiscenza naturale sia durante la mietitrebbiatura.

La generale mancanza di valori attendibili sulle reali perdite imputabili alla sola operazione meccanica ha contribuito ad

alimentare tali responsabilità. Il CRA-ING, coinvolto fin dal 2007 nella valutazione della problematica ha svolto prove in diverse realtà nazionali cercando di fare chiarezza in merito. Sono state svolte prove su *Brassica napus* in Piemonte (2007), su entrambe le specie in Emilia-romagna (2008) oltre a rilievi diretti su *Brassica carinata* in Sicilia utilizzando sia mietitrebbiatrici in versione tradizionale da frumento sia dotate di soluzioni speci-

fiche per Brassicacee. Nel 2009, in località Bizzuno (RA) si sono svolti gli ultimi test su entrambe le specie per verificare quanto già riscontrato nei due anni precedenti di sperimentazione.

### MATERIALI E METODI

La metodica utilizzata, anche se con diverse modalità di applicazione nei tre anni, è sempre stata basata sul rilievo diretto delle perdite a terra in pre- e post-raccolta, per permettere di scindere in modo inequivocabile le perdite dovute a deiscenza naturale ed ad eventi atmosferici, da quelle dovute a cause meccaniche legate alle operazioni di taglio, trebbiatura e separazione. I rilievi delle perdite di raccolta sono stati eseguiti sempre su tre settori ben definiti "A", "B" e "C" ben identificabili nella proiezione a terra della mietitrebbia (Figura 1):

- il settore A rappresenta il lato già raccolto dalla mietitrebbia privo degli effetti imputabili sia agli organi interni della mietitrebbia sia all'effetto di separazione delle piante aggrovigliate tra loro;
- il settore B rappresenta la zona cen-



LUIGI PARI, CRA-ING. Email [luigi.pari@entecra.it](mailto:luigi.pari@entecra.it) - ALBERTO ASSIRELLI, CRA-ING. Email [alberto.assirelli@entecra.it](mailto:alberto.assirelli@entecra.it) - ALESSANDRO SUARDI, CRA-ING. Email [alessandro.suardi@entecra.it](mailto:alessandro.suardi@entecra.it)  
(\*) Ph.D. student in Utilizzazioni Forestali, Università degli Studi della Tuscia (VT).



Figura 1 - Collocazione dei settori monitorati sulla proiezione a terra.

trale della mietitrebbiatrice localizzato nell'area di scarico dei residui di trebbiatura cumulando le perdite di testata con quelle imputabili agli organi interni della raccogliitrice;

- il settore C rappresenta il lato esterno dx non raccolto per la valutazione delle perdite dovute alla separazione delle piante aggrovigliate tra loro.

Tale metodologia è stata applicata al fine di rilevare le perdite dovute all'azione della testata separatamente da quelle dovute agli altri organi di trebbiatura, separazione e pulizia (settore B); suddividendo inoltre a livello di testata di raccolta la zona di separazione delle piante fra un passaggio e l'altro della mietitrebbiatrice (lato dx settore C) dalla zona di solo sfalcio (lato sx settore A). Questo ultimo accorgimento è stato definito per valutare l'efficienza dei dispositivi di separazione a lama verticale frequentemente proposti dai costruttori di mietitrebbiatrici e di testate di raccolta per agevolare la raccolta e ridurre le perdite in colture molto intricate e di complessa separazione naturale.

Le aree di rilievo sono sempre state posizionate ad una distanza di oltre 50 m dal bordo del campo. In tal modo si consentiva all'operatrice di giungere in area di rilievo sempre con i vari apparati a regime ed in ordinarie condi-

zioni di lavoro. Nel 2007 e 2009 si è utilizzato il metodo delle vaschette di contenimento posizionate nei tre settori definiti. Tali vaschette, realizzate in materiale plastico di dimensioni adeguate all'interfila di semina sono state posizionate immediatamente prima del passaggio della raccogliitrice per evitare di inquinare i dati a causa delle perdite per deiscenza naturale. Le vaschette sono state numerate e posizionate secondo preciso schema di rilievo e successivamente al passaggio della raccogliitrice sono state vuotate in sacchetti identificati, ne è stato quindi pesato il contenuto totale, in silique ed in granella.

Per quanto riguarda la deiscenza naturale, questa è stata monitorata a partire dalla virata cromatica delle silique verso la maturazione, posizionando i raccoglitori due settimane prima della presunta data di raccolta.

Essendo di complessa suddivisione la componente di perdita derivata da deiscenza naturale rispetto a quella provocata da eventi atmosferici, il dato è stato rilevato complessivo e mantenuto tale annotando solo eventi piovosi e ventosità, rilevate dalle stazioni metereologiche limitrofe (Regionali nel 2007-2009, con centralina dedicata nel 2009). I rilievi sulla deiscenza in pre-raccolta sono stati eseguiti in aree dedicate in prossimità dei settori di rilievo in post-raccolta, nel me-

desimo appezzamento e varietà. Gli schemi di posizionamento delle vaschette sono stati i medesimi per le due tipologie di testate e di colture.

Nel 2008 la rilevazione delle perdite in pre e post-raccolta meccanica è stata eseguita mediante rilievo diretto a terra con metro quadro metallico suddiviso in decimetri; tale metodologia è stata resa possibile dopo attenta valutazione della tessitura e granulometria del terreno che confermando l'assenza di crepacciature di rilievo ne ha consentito l'applicazione.

I rilievi sono stati eseguiti separando le silique integre dalla granella rilevata e conteggiata. Tramite campionamento di seme raccolto si è ottenuto il peso medio di 1000 semi e si è proceduto alla quantificazione delle perdite rilevate nei diversi settori. I campi prove sono stati individuati prima della ripresa vegetativa primaverile e monitorati con cadenza mensile fino alla raccolta per rilevare le fasi finali di produzione e maturazione della granella.

Le sperimentazioni eseguite hanno consentito oltre a quantificare con precisione l'entità del prodotto non raccolto nelle diverse esperienze condotte anche di valutare l'importanza di una corretta conduzione delle operazioni di raccolta sia in termini di individuazione del reale stadio di maturazione della coltura, sia di regolazioni della raccogliitrice, al fine di ottenere i migliori risultati produttivi.

Nei rilievi 2007 e 2008 oltre ai rilievi si è intervenuto anche a livello di regolazioni della mietitrebbiatrice; successivamente si è deciso di modificare il protocollo di prova non intervenendo direttamente sulle regolazioni impostate dagli operatori in modo da poterne poi valutarne l'incidenza sulle perdite attraverso la metodologia nel frattempo messa a punto (settori monitorati A+B+C).

L'esperienza piemontese del 2007 su colza ha consentito di effettuare un primo confronto fra raccogliitrice dotata di testata specifica da colza dotata di separatori laterali a lama verticale e possibilità di modificazione della distanza lama coclea, nel 2008 l'allestimento della mietitrebbiatrice su carinata non prevedeva applicazioni specifiche rispetto alla comune dotazione da cereali, mentre nel 2009 sia su colza sia su carinata l'applicazione specifica prevedeva il solo separatore laterale a lama alternata.

## RISULTATI

### Brassica napus

Le esperienze su colza condotte nel 2007 in Piemonte e nel 2009 in Emilia-Romagna hanno visto realtà produttive locali piuttosto diversificate anche se gli aspetti produttivi non sono risultati molto diversificati.

Le principali caratteristiche delle colture incontrate sono riportate in Tabella 1

Descrizione	Unità di misura	Piemonte	Emilia-Romagna
Anno		2007	2009
Località		Castelnuovo Scrivia (AL)	Belricetto (RA)
Data di semina		27/10/2006	15/10/2009
Interfila di semina	m	0,15	0,45
Densità	n°/m <sup>2</sup>	34	18
Altezza piante	m	1,55	1,35
Granella prodotta	t/ha	2,58	2,87
Umidità	%	9,44	8,36
Data di raccolta		18/06/2007	25/06/2009
Cantiere utilizzato		New Holland CX 8090	New Holland Tx 62

Tabella 1 - Principali caratteristiche della coltura della colza (*Brassica napus*) al momento della raccolta.



Grazie alla possibilità di disattivazione dei dispositivi separatori verticali a lama alternata nelle due esperienze ed alla possibilità di variazione della distanza lama/coclea nell'esperienza piemontese è stato possibile monitorare le due maggiori soluzioni disponibili per la raccolta. In prossimità della raccolta del campo di Castelnuovo Scrivia un importante evento piovoso ha interessato il campo prove influenzando direttamente sulla deiscenza naturale pre-raccolta che comunque si è mantenuta al di sotto del 10% (7,93).

Nel campo di Belricetto di Lugo (Ra) nel 2009 invece non si sono evidenziati fenomeni di rilievo nel periodo compreso fra la maturità delle silique fino alla raccolta. I diversi settori monitorati hanno permesso di valutare l'influenza sulle perdite degli apparati di trebbiatura e pulizia, rispetto all'apparato di taglio della testata, e nell'ambito di quest'ultima, l'efficienza delle diverse soluzioni meccaniche adottate per contenere le perdite (es. testata specifica e lama verticale opzionale). In tabella 2 sono riportate le perdite in pre-raccolta dovute a fenomeni di deiscenza naturale ed eventi atmosferici, oltre alle perdite complessive rilevate sul colza dovute alla raccolta meccanica nel biennio di sperimentazione.

Come evidenziabile in Tabella 2 le perdite pre-raccolta risentono notevolmente dell'andamento climatico precedente al momento della raccolta e della tempestività d'intervento una volta raggiunta la completa maturazione della coltura. Presso il campo prove di Belricetto ove la raccogliatrice è intervenuta non appena la coltura era idonea alla raccolta il valore di deiscenza naturale riscontrato (0,39%) può ritenersi molto contenuto considerando anche la potenziale influenza climatica. Per quanto riguarda invece le perdite complessive di raccolta attribuibili alla raccogliatrice l'aumento di oltre il 4,5% a prevalente carico degli organi di trebbiatura e pulizia, pur rimanendo ugualmente piuttosto contenuto denota una notevole importanza della corretta regolazione della macchina in relazione allo stato della coltura.

### Brassica Carinata

Le esperienze su brassica carinata condotte nel 2008 e nel 2009 in Emilia-Romagna avevano anche lo scopo di verificare le perdite di prodotto in pre-raccolta che ci si aspettava fossero inferiori rispetto alla colza, dato che la siliqua di questa specie non presenta il fenomeno di deiscenza una volta matura.

Le principali caratteristiche delle colture sono riportate in Tabella 3.

La produzione media in granella delle due coltivazioni di carinata valutate (2,85 t/ha) ha superato quella ottenuta con la colza (2,72 t/ha) nonostante la carinata venga considerata di maggior rusticità ma minor produttività;

Descrizione	Unità di misura	Emilia-Romagna	
		2008	2009
Anno		2008	2009
Località		Bizzuno (RA)	Belricetto (RA)
Data di semina		03/11/2007	07/11/2008
Interfila di semina	m	0,15	0,15
Densità	n°/m <sup>2</sup>	51	49
Altezza piante	m	1,68	1,42
Granella prodotta	t/ha	3,23	2,47
Biomassa prodotta (*)	t/ha	5,21	8,11
Data di raccolta		01/07/2008	09/07/2009
Cantiere di raccolta		New Holland CX 8060	New Holland Tx 65 Plus

Tabella 2 - Perdite di raccolta riscontrate nelle esperienze su colza.

Descrizione	Unità di misura	Emilia-Romagna	
		2008	2009
Anno		2008	2009
Località		Bizzuno (RA)	Belricetto (RA)
Data di semina		03/11/2007	07/11/2008
Interfila di semina	m	0,15	0,15
Densità	n°/m <sup>2</sup>	51	49
Altezza piante	m	1,68	1,42
Granella prodotta	t/ha	3,23	2,47
Biomassa prodotta (*)	t/ha	5,21	8,11
Data di raccolta		01/07/2008	09/07/2009
Cantiere di raccolta		New Holland CX 8060	New Holland Tx 65 Plus

(\*) Produzione stimata

Tabella 3 - Caratteristiche delle coltivazioni di carinata raccolte nel biennio di sperimentazione.

Descrizione	Unità di misura	Emilia-Romagna	
		2008	2009
Anno		2008	2009
Località		Bizzuno (RA)	Belricetto (RA)
Deiscenza + eventi climatici	%	0,01	0,07
Raccolta meccanica	%	2,79	9,29
Trebbiatura + separazione + pulizia	%	0,34	6,82
Testata di raccolta	%	2,45	2,47

Tabella 4 - Perdite di raccolta riscontrate nelle esperienze su carinata.

nelle esperienze condotte negli stessi areali, la produttività del colza può ritenersi molto simile a quella della carinata.

In entrambe le località di prova le fasi finali del ciclo produttivo non hanno evidenziato andamenti climatici sfavorevoli per cui l'epoca di raccolta è stata individuata e rispettata monitorando pressoché quotidianamente i campi prova una volta iniziata la virata cromatica della granella.

Come per il colza anche in questo caso sono stati monitorati i diversi settori per consentire la valutazione dell'influenza degli apparati di trebbiatura e pulizia della raccogliatrice, rispetto alla testata di raccolta. In Tabella 4 sono riportate le perdite in pre-raccolta dovute a fenomeni di deiscenza naturale ed eventi atmosferici, oltre alle perdite complessive legate alla raccolta meccanica ripartite per anno di rilievo.

Come evidenziabile in Tabella 4 su brassica carinata le perdite pre-raccolta non risentono di fenomeni di deiscenza naturale, mentre l'assenza di eventi climatici di rilievo non ha permesso la valutazione della resistenza della coltura all'apertura delle silique ed al potenziale rilascio della granella.

Per quanto riguarda le perdite complessive di raccolta attribuibili alla raccogliatrice su carinata si è evidenziato un aumento di oltre il

6% prevalente dovute agli apparati di trebbiatura e pulizia del seme; tale valore può iniziare ad incidere sulla produttività complessiva della coltura.

## INFLUENZA DELLE SOLUZIONI ADOTTATE PER LA RACCOLTA

Nei tre anni di sperimentazione è stato possibile verificare la funzionalità di tutte le soluzioni attualmente diffuse per la raccolta di granella a partire dalle comuni testate da frumento, fino alle versioni specifiche da colza caratterizzate da doppio separatore verticale a lama alternata e possibilità di variazione in continuo della distanza lama-coclea convogliatrice. Applicazione molto diffusa che rappresenta una sorta di compromesso fra la versione tradizionale da frumento e quella specifica da colza appena descritta è rappresentata dall'applicazione di una singola lama verticale sulla comune testata da frumento posizionata sul lato destro comunemente utilizzato per la delimitazione della larghezza di taglio. Tale applicazione è stata valutata nel 2009 sia su colza sia su carinata.

### Brassica napus

In Tabella 5 sono rappresentate le perdite in granella riscontrate nei settori C ed A in riferimento alla soluzione adottata nei due anni di

Anno	Soluzione tecnica adottata	Perdita % settore C	Perdita % settore A
2007	Testata frumento	2,19	1,65
2007	Testata specifica colza	1,57	1,19
2009	Testata frumento	7,27	2,06
2009	Testata frumento + lama verticale Dx	4,78	2,06

**Tabella 5** - Perdite alla barra in funzione del posizionamento e della testata di raccolta adottata.

Anno	Soluzione tecnica adottata	Perdita % settore C	Perdita % settore A
2008	Testata frumento	3,59	1,33
2009	Testata frumento	2,69	0,36
2009	Testata frumento + lama verticale Dx	4,58	0,36

**Tabella 6** - Ubicazione delle perdite su carinata in funzione della testata utilizzata.

Valutazione	Brassica napus		Brassica carinata	
	Operatrice verificata	Operatrice non verificata	Operatrice verificata	Operatrice non verificata
	Perdite %	Perdite %	Perdite %	Perdite %
C. Scriveria (AL) 07	0,60			
Bizzuno (RA) 08			0,34	
Belricetto (RA) 09		7,10		
Bericetto (RA) 09				6,46

**Tabella 7** - Valutazione delle perdite agli apparati di trebbiatura e separazione (settore B) in funzione della regolazione della mietitrebbiatrice.

Descrizione	Unità di misura	Valore
Battitore	giri/minuto	<20-30%
Apertura Controbattitore	mm	>100-150% (*)
Ventilatore/i	giri/minuto	<15-20%
Crivello/vaglio superiore	mm	8-10/7-9
Crivello/vaglio inferiore	mm	3-3,5/3,5-4

(\*) Valutare eventuale presenza di rotori ausiliari di separazione

**Tabella 8** - Indicazioni di massima per la regolazione degli organi della mietitrebbia per operare su Brassicacee, rispetto alla regolazione utilizzata su frumento.

sperimentazione. Come rilevabile i valori più contenuti sono stati riscontrati nel 2007 con testata specifica per brassicacee dal quale è evidenziabile come anche in zona intermedia l'avanzamento della lama rispetto alla coclea convogliatrice consente una ulteriore riduzione delle perdite dello 0,46%. Non disponendo di soluzioni specifiche anche l'applicazione laterale di un solo spartitore a lama alternata sul solo lato di spartizione consente comunque un abbattimento delle perdite di oltre il 30% .

### Brassica carinata

Nel primo anno di sperimentazione con la carinata (2008) si è utilizzata una mietitrebbiatrice senza allestimenti specifici, con barra da frumento; nel 2009 invece si è utilizzata una raccogliatrice sia in versione standard come nel 2008 e sia equipaggiata con lama verticale singola sul lato destro. In Tabella 6 sono riportati i dati ottenuti nella sperimentazione su carinata in Emilia-Romagna nel biennio di prova. L'impiego dello spartitore laterale a lama alternata nell'esperienza 2009 ha determinato un aumento delle perdite rispetto alla testata tradizionale da frumento. Tale risultato, nella prova riporta-

ta, può essere dovuto al fatto che le silique, una volta sezionate, hanno lasciato cadere a terra la granella contenuta, mentre ciò non è avvenuto quando le piante si sono districate tra di loro al passaggio della mietitrebbia.

### Regolazione della mietitrebbiatrice

La sperimentazione condotta può essere indicativamente suddivisa in due periodi: nel primo (2007 e 2008) dove il CRA-ING ha provveduto direttamente alla regolazione della mietitrebbia, nel secondo (2009) in cui si è solo preso nota della regolazione di volta in volta impostata dall'operatore addetto. In Tabella 7 viene evidenziata l'influenza dell'idonea regolazione dell'operatrice in funzione delle condizioni di coltura e di lavoro nelle esperienze condotte su colza e carinata nel triennio 2007-09.

Come evidenziabile dalla Tabella 7 l'influenza di una corretta regolazione della mietitrebbiatrice incide sulle perdite di granella in modo superiore alle soluzioni più specifiche ed innovative. Per quanto riguarda il colza l'aumento di perdita rilevato è risultato pari al 6,5 % della produzione raccolta, mentre relativamente alla carinata tale differenza è stata del 6,12 %.

La corretta regolazione degli organi della mietitrebbiatrice rappresenta un'operazione di notevole importanza operando su colture caratterizzate da ridotte dimensioni della granella e buona capacità di trattenimento della stessa da parte della frazione che deve essere scaricata a terra (fusti, foglie e silique). A seguito delle esperienze maturate nelle tre Regioni (Piemonte, Emilia-romagna e Sicilia), in contesti operativi diversi e utilizzando cantieri di raccolta di diversa età, soluzioni costruttive ed allestimento, ed a seguito del rilievo delle regolazioni che hanno consentito i migliori risultati, sono state sintetizzate le indicazioni riportate in Tabella 8.

Le indicazioni di massima vengono fornite facendo riferimento alle più diffuse impostazioni da frumento conosciute ed utilizzate dalla maggior parte degli operatori, tenendo in considerazione i diversi aspetti costruttivi, dimensionale e funzionali delle mietitrebbiatrici attualmente commercializzate.

Le indicazioni riportate in Tabella 6 rappresentano una sintesi delle esperienze condotte e vogliono rappresentare un'indicazione di massima sulla quale definire in funzione della coltura e delle condizioni di raccolta la regolazione più specifiche di lavoro.

## CONCLUSIONI

Le attività di sperimentazione sulla raccolta delle principali brassicacee da granella condotta in un triennio, hanno portato alle seguenti considerazioni:

- le perdite di raccolta riscontrate influiscono al massimo per 10% della produzione, anche nelle condizioni più negative caratterizzate da eventi atmosferici avversi o regolazioni di lavoro non ottimali; non possono quindi influire oltre questa percentuale nella determinazione della produttività colturale per la definizione dell'attitudine produttiva delle due specie;
- l'adozione delle principali soluzioni meccaniche disponibili sul mercato per agevolare la raccolta della granella siano esse specifiche per le brassicacee o di adattamento delle testate da frumento, comportano vantaggi riassumibili frequentemente in pochi punti percentuali di recupero di granella per cui, considerando una produzione media di 3 t/ha, possono comportare un aumento di prodotto raccolto di 60-70 kg/ha;
- la puntuale regolazione della mietitrebbia rappresenta il principale aspetto emerso ed in grado di influire decisamente sulla percentuale di granella perduta;
- la valutazione dell'ottimale epoca di raccolta e dello stato della coltura, intesa come grado di sviluppo ed intreccio delle ramificazioni, dovrebbe essere l'aspetto prevalente per definire i requisiti dell'idoneo cantiere di raccolta e delle sue regolazioni.

# Prove di raccolta della canna comune

di LUIGI PARI

ALESSANDRO SUARDI

ANDREA ACAMPORA

Nel presente lavoro, l'Unità di Ingegneria Agraria (CRA-ING) del Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura presenta i dati di prove sperimentali di raccolta della canna comune effettuate nel marzo 2010 presso il centro ARSIA di Manciano della Chiana (AR). L'attività ha riguardato la valutazione dell'operatività della trinciatrice BNU 160 AD della ditta Nobili e della rotoimballatrice RP 320 Farmer della ditta Welger.

**PAROLE CHIAVE:** *Arundo donax*, biomassa, trinciatura, rotoimballatura.

Tra le diverse specie da energia sperimentate nell'intero areale mediterraneo, la canna comune (*Arundo donax*) è senz'altro tra le più produttive. È una specie poliennale in grado di mantenere costante ed elevata, in termini di biomassa a scopi energetici, la sua produttività. Inoltre, risulta essere poco esigente per quel che riguarda le caratteristiche del suolo di coltivazione e permette di ottenere delle rese apprezzabili anche laddove si riscontrino condizioni pedo-climatiche non del tutto ottimali.

È la più grande tra le canne d'Europa e raggiunge generalmente i 6 m di altezza. In condizioni ideali può anche superare i 10 m, con fusti cavi del diametro di 2-3 cm. La riproduzione avviene per lo più per via vegetativa, attraverso rizomi sotterranei. La canna comune preleva grandi quantità di acqua dal suolo per sostenere la sua rapida crescita, che può arrivare fino a 5 cm al giorno durante la stagione primaverile. Raggiunge la maturità (lunghezza di 5-6 m) in circa un anno e, a seconda del clima, può essere raccolta da una a 3 volte all'anno. La lunghezza del ciclo vegetativo abbinata all'elevata efficienza fotosintetica permette inoltre di ottenere produzioni che possono andare dalle 15 alle 35 t/ha s.s. (CANDOLO 2006)

a seconda della disponibilità idrica. Recenti studi effettuati nel centro Italia, hanno mostrato una buona produttività della coltura oltre i 10 anni dall'impianto (ANGELINI *et al.* 2008) con una bassa richiesta di fertilizzanti. Inoltre la bassa suscettibilità all'attacco di insetti e funghi dannosi la rende molto competitiva nei confronti di altre specie.

La fase di raccolta è attualmente oggetto di studio al fine di valutare il metodo migliore nelle differenti condizioni pedoclimatiche e

caratteristiche colturali.

Nel presente articolo vengono mostrati i risultati delle prove sperimentali di raccolta della canna comune effettuate nel marzo 2010 presso l'azienda per il collaudo e il trasferimento dell'innovazione del centro Arsia (Agenzia Regionale per lo Sviluppo e l'Innovazione nel Settore Agricolo Forestale) di Manciano della Chiana (AR).

Poiché la canna, seppure impiantata a file, dopo alcuni anni copre tutta la superficie dell'impianto per lo spostamento nell'interfila degli organi di propagazione (stoloni), si è scelto di valutare un cantiere costituito da una macchina ancora in fase di sviluppo in grado di tagliare e sminuzzare le canne su tutto il fronte della macchina, per poi imballare il prodotto dopo una sua parziale essiccazione.

## IL CANTIERE DI RACCOLTA

Il cantiere di raccolta è costituito dal prototipo per la trinciatura delle colture erbacee da biomassa BNU 160 AD della Nobili (Foto 1) abbinato frontalmente al trattore Farmer 312 di 92 kW di potenza e dalla rotoimballatrice RP 320 Farmer della Welger a camera fissa (Foto 2) abbinata al trattore Same Iron 150.7 di 110 kW di potenza.



Foto 1 - Trinciatrice BNU 160 AD Nobili.



Foto 2 - Rotoimballatrice RP 320 Welger.



Foto 3 - Particolare dell'organo trinciante della Nobili.

La larghezza totale rilevata per la trinciatrice della Nobili è di 1.800 mm (la larghezza effettiva di lavoro è di 1.600 mm) la lunghezza, compreso l'organo abbattitore regolabile, è di 2.500 mm; la massa complessiva è di 605 kg. I principali aspetti dimensionali sono riportati in Tabella 1. La trinciatrice anteriormente presenta una barra orizzontale avente la funzione di inclinare e convogliare le piante nella direzione di avanzamento con il fine di facilitarne l'ingresso verso il rotore a mazze rialzato, ad asse, che effettua sia il taglio che la trinciatura delle piante. L'organo trinciante della macchina ha 16 coppie di coltelli disposti alternativamente (Foto 3). È possibile modificare l'ampiezza della camera di trinciatura tramite un martinetto idraulico azionabile dalla cabina del trattore per aumentare o diminuire la pezzatura del trinciato. La rotoimballatrice usata per la prova presenta una camera di compressione di tipo fisso con sistema a rulli; ha una larghezza totale di 2.480 mm, un'altezza di 2.700 mm e una lunghezza di 4.750 mm, mentre il peso complessivo della macchina è di 3.230 Kg. Inoltre, richiede almeno 50 kW di potenza per poter funzionare in modo ottimale. Il pick-up, caratterizzato da un diametro di 300 mm, lavora su un fronte di 2.200 mm ed è azionato da una trasmissione sdoppiata che ripartisce la potenza ai diversi organi in funzione dell'effettiva richiesta istante per istante. In Tabella 2 sono riportati i principali parametri dimensioni della rotoimballatrice Welger. La camera di pressatura è composta da 18 rulli a profilo scanalato ognuno dei quali ha un diametro di 220 mm. I rulli vengono trascinati, tre per volta, da catene costantemente ingrassate. Il portellone posteriore, sollevato da due pistoni a semplice effetto, dispone di due archetti che fungono da guide per garantire una corretta chiusura. La chiusura è resa possibile grazie a due perni montati su una feritoia e fissati con due rondelle. I ganci, che permettono al portellone di aprirsi parzialmente, servono a controllare la densità. Durante la pressatura,

Descrizione	Unità di misura	Valori
Larghezza	mm	1.800
Lunghezza (profondità)	mm	2.500
Altezza	mm	560
Peso	kg	605
Potenza richiesta alla pdp	kW	26-37
Larghezza Pick-up	mm	1.600
Organi di lavoro coltelli	n°	32

Tabella 1 - Principali aspetti dimensionali della trinciatrice Nobili.

Descrizione	Unità di misura	Valori
Larghezza	mm	2.480
Lunghezza (profondità)	mm	2.700
Altezza	mm	4.750
Peso	Kg	3.230
Potenza richiesta alla pdp	kW	47
Larghezza Pick-up	mm	2.200
Distanza tra i denti esterni	mm	1.860
File di denti	n°	4
Denti per fila	n°	30
Distanza tra i denti	mm	64

Tabella 2 - Caratteristiche della Welger RP 320 Farmer.

ra, il portellone si apre in parte e un sensore misura la distanza che lo separa dal gancio. Non appena il valore registrato si fa elevato (densità raggiunta), il sensore invia i dati al sistema di comando elettronico ed inizia la legatura. La Welger RP 320 prevede sia il sistema di legatura a spago che quello a rete. Il sistema a spago (nella presente prova le rotoballe erano legate con spago) è composto da un motore elettrico usato per dar inizio al ciclo di legatura e da due carrelli comandati meccanicamente. Lo spago, mentre si srotola, passa nella puleggia del variatore di trasmissione dei carrelli. La legatura inizia dai lati della balla per poi terminare al centro. La variazione del numero di giri di spago si ottiene per tentativi, modificando il diametro della puleggia del variatore tramite una rotellina. Il sistema di legatura è posizionato in alto, davanti alla pressa. Nella Foto 4 è mostrato un particolare dei rulli scanalati che consentono di pressare il trinciato e formare la rotoballa mostrata, invece, in Foto 5.

## RILIEVI SULLA CULTURA

Al fine di determinare la densità (piante/ha), l'altezza ed il diametro medio delle piante, nonché la biomassa potenzialmente raccogliabile, sono stati effettuati, sulla coltura, una serie di rilievi prima di procedere alla raccolta. Successivamente i rilievi hanno riguardato la valutazione delle perdite di raccolto, la qualità del taglio e le caratteristiche del prodotto imballato.

Le perdite sono state stimate attraverso la pesatura di tutto il materiale non raccolto dall'imballatrice, su 10 m<sup>2</sup> scelti in modo randomizzato per superfici omogenee sull'intera area raccolta, riportando il risultato all'ettaro. I danni causati al suolo sono stati valutati attraverso la misurazione dell'approfondimento degli pneumatici sul terreno.

I rilievi dei tempi di lavoro delle due macchine hanno avuto come scopo quello di evidenziare le prestazioni utilizzando sia la metodologia ufficiale della Commission Internationale de l'Organisation Scientifique du Travail en



Foto 4 - Particolare della rotoimballatrice Welger.



Foto 5 - Prodotto finale trasformato in balle.

Operazione colturale	Descrizione	Data
Lavorazioni del terreno	Aratura	11/08/2005
	Frangizollatura	30/09/2005
	Erpicatura	25/01/2006
	Rotoerpicatura	12/02/2006
	Fresatura interfiliare	21/07/2006
Concimazione pre-impianto	Ternario 12-6-18 (5,5 q/ha)	14/02/2006
	Superfosfato triplo (2 q/ha)	
Concimazione localizzata	Urea ( 1,7 q/ha)	18/04/2007
Diserbo	Dicotilenicidi	22/05/2006 26/04/2007
Trapianto	Manuale (con rizoma)	Dal 29/03 al 12/04/2006
Irrigazione	Asperzione: 1 int. di soccorso (200 m <sup>3</sup> /ha)	31/07/2006
Raccolta	1° taglio	16-17/04/2007
	2° taglio	04/03/2008
	3° taglio	05/03/2009
	4° taglio	24/03/2010

Tabella 3 - Operazioni colturali effettuate sull'impianto (dati ARSIA).

Agricoltura (Ciosta) che le raccomandazioni dell'Associazione Italiana di Genio Rurale (Aigr) 3A R1 e compiendo poi le successive elaborazioni.

## RISULTATI

### Caratteristiche morfologiche e produttive della coltura

La prova sperimentale di raccolta è stata effettuata su di un impianto di 3.500 m<sup>2</sup>, coltivato su terreno di pianura avente caratteristiche di medio impasto, tendenti all'argilloso (50% argilla, 31% limo, 19% sabbia) e libero da infestanti, il cui accrescimento è stato inibito sia dallo sviluppo della coltura che dalla naturale pacciamatura del suolo determinata dal letto di foglie della stessa.

Per l'impianto, realizzato nell'aprile del 2006, sono stati usati 4 diversi ecotipi provenienti dall'Emilia-Romagna, dalla Sardegna e dalle province di Firenze ed Arezzo; è stato realizzato mediante un trapianto di rizomi utilizzando due diversi sestri d'impianto (0,75 m X 0,65 m e 0,75 m X 1,30 m). Nel corso del primo anno sono state eseguite tutte quelle normali pratiche agronomiche essenziali per un'ottimale crescita della coltura (Tabella 3).

Al momento della raccolta dell'impianto (al suo quarto anno di età) è stata riscontrata, nelle aree test da noi prese in considerazione per lo studio, una media di 21 piante/m<sup>2</sup> con un'altezza media di circa 3,52 m (l'altezza massima rilevata è stata di 4,65 m), mentre è stato riscontrato un diametro medio al taglio pari a 15,52 mm (il diametro massimo da noi riscontrato è stato di 17,50 mm). La quantità di prodotto ottenuta da ciascuno degli ecotipi impiegati è stata:

- Ecotipo *Emilia-Romagna*: 22,7 t/ha;
- Ecotipo *Firenze 1*: 26,7 t/ha;
- Ecotipo *Firenze 2*: 30,7 t/ha;
- Ecotipo *Arezzo*: 24,7 t/ha.

La quantità di biomassa media totale raccolta è stata pari a circa 26 t/ha a cui è corrisposta una quantità totale media di sostanza secca pari a 13,38 t s.s./ha, avendo la coltura un'umidità del 48,9% valutata al momento della raccolta. In Tabella 4 sono riportate le caratteristiche della coltura alla raccolta.

### Tempi di lavoro

Nel cantiere sperimentale oggetto di studio sono stati valutati i tempi di lavoro relativi alle

Età dell'impianto (anni)	4
Densità media (piante/m <sup>2</sup> )	21
Densità massima (piante/m <sup>2</sup> )	31
Altezza media dei culmi (m)	3,52
Diametro medio dei culmi (mm)	15,52
Altezza massima dei culmi riscontrato (m)	4,65
Diametro massimo dei culmi riscontrato (mm)	17,5
Peso medio di una pianta (kg)	0,13
Umidità alla raccolta (%)	48,9
Produzione media (t/ha)	26,2
Produzione media di s.s. (t/ha s.s.)	13,38

Tabella 4 - Descrizione dell'impianto e dati produttivi medi della coltura.

due macchine operatrici.

Per entrambe si è potuto verificare che i tempi accessori sono risultati essere rappresentati, esclusivamente, dai tempi per le voltate in capezzagna (quantificabili in circa 20,4% per la trinciatrice Nobili e 16,6% per la rotoimballatrice Welger). Non stati rilevati tempi di riposo, ingolfamenti e tempi morti inevitabili. Per quanto riguarda la trinciatrice della Nobili i tempi accessori sono risultati essere rappresentati, esclusivamente, dai tempi per le voltate quantificabili in circa il 20,4% del totale. Inoltre, lavorando ad una velocità operativa di 1,19 m/sec (4,28 Km/h), ha raggiunto una capacità di lavoro operativa pari a 0,69 ha/h, mentre la produzione oraria operativa è stata pari a 24,40 t/ha (Tabella 5).

Nel caso della rotoimballatrice Welger i tempi per le voltate in capezzagna sono stati pari al 12,02% del tempo operativo totale. È stata riscontrata una velocità operativa di 0,54 m/s (1,95 Km/h) ed una velocità effettiva di 0,90 m/s (3,24 Km/h), mentre i tempi per la legatura e lo scarico delle balle sono stati pari al 27,7% del tempo operativo totale. Procedendo ad una velocità operativa di 0,54 m/s ha raggiunto una capacità di lavoro operativa di 0,44 ha/h, mentre la produzione oraria



Foto 6 - Particolare dell'impianto dopo il passaggio della trinciatrice.



Foto 7 - Particolare delle dimensioni del prodotto trinciato.

operativa è stata di circa 12 t/h. Per la Welger è stato ottenuto un rendimento operativo del 60,29% (Tabella 5).

### Perdite di prodotto

Dai rilievi effettuati è stato possibile riscontrare un'altezza media di taglio di circa 130 mm, mentre l'altezza delle andane (distanziate tra loro di 1 m), dopo il passaggio della trinciatrice, era in media di 280 mm (Foto 6). Il prodotto non raccolto si è potuto stimare in circa 8 t/ha, (4,08 t/ha s.s.). Questa perdita stimata di biomassa risulta essere circa il 30% della biomassa totale prodotta.

Per quanto concerne i danni causati al terreno dal passaggio delle macchine operatrici, questi possono essere considerati di entità trascurabile visto che per i solchi lasciati dalla trattore equipaggiata con la trinciatrice Nobili è stata rilevata una profondità di circa 25 mm, mentre per i solchi dovuti alla trattore equipaggiata con la rotoimballatrice la profondità misurata è stata di circa 28 mm.

Il prodotto derivante dal condizionamento dei culmi era caratterizzato da una elevata variabilità dimensionale (Foto 7). Aspetto, quest'ultimo, che comunque non ha pregiudicato la successiva fase di formazione della rotoballa. Le balle, legate con il filo sintetico, venivano espulse e lasciate in terra; esse presentavano un diametro di circa 1.600 mm, una larghezza di 1.250 mm ed un peso di 560 Kg. Il volume presentato dalla balla era di circa 2,15 m<sup>3</sup>. Le balle si presentavano solide, compatte e regolari. Il sistema di legatura della Welger, in effetti, è caratterizzato da un particolare meccanismo che aumenta i giri del filo sintetico presso le estremità della balla facendo sì che non avvenga lo sfaldamento dei bordi.

## CONCLUSIONI

Dai rilievi effettuati viene evidenziata una produzione ad ettaro non molto elevata e probabilmente questo dato è imputabile sia ad un scarso sviluppo colturale riscontrato per

Descrizione	A	B
Tempo effettivo (%)	79,6	60,29
Tempo per voltare (%)	20,4	12,02
Tempo operativo (%)	100	100
Rendimento operativo (%)	80	61
Velocità effettiva (m/s)	1,5	0,9
Velocità operativa (m/s)	1,19	0,54
Capacità di lavoro effettiva (ha/ora)	0,86	0,73
Capacità di lavoro operativa (ha/ora)	0,69	0,44
Tempo per la legatura e scarico (%)	//	27,7
Altezza di taglio (mm)	130	//
Produzione oraria operativa (t/ora)	//	12

Tabella 5 - Tempi operativi della macchina trinciastocchi (A) e della rotoimballatrice (B).

quest'anno (così come avallato anche dai tecnici dell'azienda dell'Arzia Toscana presso cui la prova è stata effettuata), sia alle elevate perdite di produzione stimate.

Risulta evidente la possibilità di poter operare, al fine di ridurre le perdite di lavorazione, principalmente sugli aspetti propriamente legati alle macchine operatrici. Ad esempio, quantunque l'altezza media di taglio della trinciatrice non sia risultata eccessiva (130 mm), si potrebbe prevedere di abbassarla ulteriormente modificando l'impostazione dell'organo abbattitore.

Per quanto riguarda la qualità del prodotto raccolto, risulta evidente come la trinciatura e la successiva rotoimballatura determinano la presenza, nella biomassa finale, di una percentuale di impurità a volte anche elevata rispetto a quanto si ottiene utilizzando macchine operatrici che determinano una trincia-caricatura del prodotto. Questo aspetto risulta essere molto importante nel caso di conversione termochimica della biomassa. A tal proposito sono in corso specifiche prove al fine di definire l'esatta percentuale di contaminazione di materiale estraneo alla sostanza secca raccolta.

Va comunque ribadito che l'imballatura offre alcuni vantaggi importanti. Innanzitutto facilitando

la movimentazione del residuo, perché ne diminuisce l'ingombro e lo organizza in unità omogenee per forma e dimensioni. Questo consente di sfruttare meglio la capacità di carico dei mezzi destinati al trasporto, prolungandone il raggio economico di azione. Inoltre, l'imballatura facilita uno stoccaggio prolungato, perché le balle occupano meno spazio del residuo sfuso e non presentano i problemi di fermentazione del cippato (LEHTIKANGAS e JIRJIS 1998).

## Bibliografia

LEHTIKANGAS P., JIRJIS R. 1998 - **Storage of logging residues in bales. Atti del Convegno "Biomass for Energy and industry"**. Wurzburg, 8-11 Giugno 1998, p.1013-1015.

CANDOLO G. 2006 - **Energia dalle biomasse vegetali: le opportunità per le aziende agricole**. *Agro-nomica*, 4, p. 26-35.

ANGELINI L.G., CECCARINI L., DI NASSO N., BONARI E. 2008 - **Comparison of Arundo donax L. and Miscanthus x giganteus in a long-term field experiment in Central Italy: analysis of productive characteristics and energy balance**. *Biomass and Bioenergy*, 33, 635-643.

# Politica agricola e riforme

## Dalla coltura tradizionale alla filiera agro-energetica

di LUIGI PARI

ANDREA ACAMPORA

FULVIO DI FULVIO

Con l'entrata in vigore della *Riforma Fischler* e dell'aiuto "disaccoppiato" dalla produzione si determinano profonde modifiche nell'ambito del settore agricolo. La rimodulazione del sostegno comunitario influenza le scelte produttive degli agricoltori che cominciano a considerare con rinnovato interesse le colture cosiddette "non-alimentari" a scopo energetico. Nel presente lavoro si è cercato di stabilire se le modifiche politiche hanno, effettivamente, determinato un passaggio dalla coltura agricola tradizionale a quella di tipo energetica.

**PAROLE CHIAVE:** PAC, Riforma Fischler, disaccoppiamento, filiera agro energetica.

Il settore energetico resta la principale fonte di emissioni nell'Unione Europea, contribuendo per circa l'80% alle emissioni di CO<sub>2</sub> complessive. Da alcuni anni l'UE ha tracciato le linee guida circa la lotta al cambiamento climatico i cui effetti, sui diversi eco-sistemi, sono ormai ben riscontrabili.

In tale contesto, il ruolo delle bioenergie assume un'importanza fondamentale. Secondo stime effettuate dall'EEA (Agenzia Europea dell'Ambiente), la produzione di bioenergia da parte del settore agricolo e forestale può offrire ottime possibilità per la riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>, non tralasciando, comunque, quello che potrebbe essere il potenziale danno ambientale derivante da un uso intensivo delle superfici agricole e da un più alto consumo idrico. Se poi si considera che non si potrà beneficiare all'infinito delle risorse energetiche fossili, la coltivazione "no-food" di alcune specie costituisce una risorsa inevitabilmente da sfruttare. Infine, elemento non trascurabile, nel quadro di sviluppo dell'utilizzo delle bioenergie, è senz'altro quello del potenziale incremento di reddito degli agricoltori e il

possibile sostegno allo sviluppo rurale che ne deriverebbe.

Allo stato attuale la biomassa rappresenta quella fonte energetica rinnovabile che garantisce il soddisfacimento del 4% circa del fabbisogno energetico dell'Europa comunitaria. Dalle biomasse derivanti dall'attività agricola e forestale è possibile produrre energia elettrica, termica e meccanica, così come



i biocarburanti (biodiesel e bioetanolo) da utilizzare per ottenere le varie forme di energia. La Comunità Europea ha concretizzato l'interesse di combinare le politiche agricole a quelle energetiche, mediante un maggior utilizzo di colture energetiche, a partire dalla riforma della PAC di medio termine *Agenda 2000*. Il legame tra le due politiche è diventato del tutto manifesto con la riforma *Fischler* del 2003 (Reg. CE n. 1782/2003), con la quale venivano stabilite norme comuni inerenti ai regimi di sostegno diretto della PAC a favore dell'utilizzo di colture energetiche. Ad esempio, con la direttiva 2003/30/CE l'Unione Europea ha indicato le linee generali ad seguire nell'utilizzo dei biocarburanti. La direttiva fissava gli obiettivi di sostituzione dei carburanti tradizionali con una quota di biocarburanti pari al 2% entro il 2005 e al 5,75% entro il 2010.

La riforma *Fischler* segna il vero è proprio spartiacque tra il vecchio ed il nuovo modo di concepire il sostegno al mondo agricolo. Essa disegna una profonda rivoluzione dei meccanismi di sostegno del settore primario, capace di cambiare l'an-

damento dei mercati, di incidere sui volumi e sulla individuazione delle attività produttive, di cambiare il comportamento degli agricoltori, di modificare i diversi equilibri del mercato fondiario e di incidere, infine, sull'ambiente e sull'assetto del territorio. Con l'attuazione della riforma, nel settore agricolo, inizia una vera e propria "verifica" circa le eventuali influenze che le modifiche delle modalità di sostegno possano, o meno, avere sulle scelte degli agricoltori. La verifica è incentrata, altresì, sulla possibilità di prevedere una diversa allocazione delle superfici agricole che possa essere una strada percorribile dal punto di vista della eco-sostenibilità e vantaggiosa dal punto di vista economico. Una diversa allocazione dei suoli agrari potrebbe riguardare, nello specifico, proprio un maggior utilizzo di colture cosiddette "non-alimentari" a scopo energetico.

Uno degli elementi base introdotto dalla riforma *Fischler* è il disaccoppiamento degli aiuti diretti, in base al quale questi sono erogati indipendentemente dalla produzione. In tal modo, secondo le previsioni del legislatore, gli agricoltori, liberi di produrre o non produrre, ricevono comunque l'aiuto sotto forma di pagamento unico, purché soddisfino i requisiti imposti dalla condizionalità (punto essenziale della Riforma, che assoggetta la concessione del pagamento unico aziendale al rispetto di determinati vincoli rivolti alla tutela ambientale, al mantenimento dei terreni in buone condizioni agronomiche, alla sicurezza alimentare e al benessere animale). Con il disaccoppiamento si attua, in pratica, lo spostamento della spesa effettuata per sostenere i redditi degli agricoltori verso forme di pagamento che siano quanto più possibile indipendenti dal livello delle produzioni.

Nel 2004 con il varo di un secondo pacchetto di misure, rientrati nell'ambito della riforma *Fischler*, fu previsto per le colture energetiche un sostegno specifico di 45 €/ha laddove venissero coltivate su qualsiasi superficie che non fosse a *set aside*. Sulle superfici sottoposte "a riposo" si poteva continuare a coltivare colture energetiche che però non usufruivano di alcun premio comunitario. Inoltre, il contributo di 45 €/ha era previsto solo per quei terreni agricoli la cui produzione era sottoposta ad un contratto di coltivazione stipulato tra il produttore e una industria di trasformazione. Il pagamento del contributo era concesso, altresì, a quegli agricoltori che avessero voluto impiegare direttamente in azienda i prodotti derivati dalle colture energetiche (biocombustibili, combustibili per il riscaldamento e biogas) ed in tal caso, essi, potevano provvedere autonomamente ai processi di conversione energetica senza far ricorso a terzi. In tal caso il contratto di coltivazione doveva essere sostituito da una dichiarazione di utilizzazione delle colture energetiche.

Impianti di potenza elettrica superiore a 1 MW	Coefficiente di moltiplicazione
Biomasse e biogas derivati da prodotti agricoli, di allevamento e forestali, ivi inclusi i sottoprodotti, ottenuti nell'ambito di intese di filiera o contatti quadro ai sensi degli art. 9 e 10 del DLG 102/2005, oppure in filiere corte, cioè ottenute entro un raggio di 70 km dall'impianto che li utilizza per produrre energia elettrica	1,8
Rifiuti biodegradabili e biomasse generiche non di filiera	1,3
Impianti di potenza elettrica non superiore a 1 MW	Tariffa omnicomprensiva (€/kWh)
Biomasse e biogas. Sono inclusi gli impianti alimentati a oli vegetali puri a condizione che siano ottenuti da colture oleaginose coltivate nel territorio dell'Unione Europea e che siano incluse nel fascicolo aziendale per l'ottenimento del premio comunitario. Sono esclusi da questo incentivo gli impianti alimentati da altri combustibili liquidi (ad esempio biodiesel e bioetanolo e da oli di provenienza extra UE.)	0,28
Biocombustibili liquidi e oli vegetali di provenienza extra UE	0,18

**Tabella 1** - Quadro normativo per l'incentivazione delle agroenergie.

Nel 2008, con l'introduzione dell'Health Check (con cui si prevede il completamento della riforma *Fischler*) viene presa la decisione di abolire, a partire dal 2010, il premio comunitario alle colture energetiche. L'abolizione dell'incentivo di 45 €/ha deriva dal fatto che la produzione di colture energetiche dovrà essere sostenuta, secondo il legislatore, esclusivamente dalla domanda di biocarburanti e di biomasse espresse dal mercato, supportata da specifiche politiche di sostegno approntate dai singoli Stati. Ciò anche al fine di evitare gli oneri burocratici connessi all'erogazione del contributo di 45 €/ha.

Nel luglio del 2009 viene pubblicata la legge 99/2009 con cui vengono emanate le "Disposizioni per lo sviluppo e internazionalizzazione delle imprese, nonché in materia di energia". Con essa viene definito il nuovo quadro normativo relativo agli incentivi per la produzione di energia a partire dalle biomasse.

La nuova norma, che prevede un incentivo pari a 0,28 €/kWh per gli impianti di potenza inferiore a 1 MW, rappresenta, di sicuro, un potente stimolo allo sviluppo, e altrettanto significativo è il coefficiente di moltiplicazione di 1,8 dei certificati verdi<sup>(1)</sup>, per potenze superiori a 1 MW. Le finalità che ci si prefigge con la legge 99/2009 sono quelle di promuovere la filiera corta e i piccoli impianti e di favorire gli agricoltori che producono energia da biomasse. In Tabella 1 si riporta in modo esemplificativo quanto riportato dalla predetta legge.

## SCOPO DEL LAVORO

Lo scopo principale del presente lavoro è stato quello di esaminare l'entità dei contributi comunitari erogati a favore delle diverse coltivazioni, siano esse tradizionali e non, prima e dopo l'attuazione della riforma *Fischler*; verificare se le modifiche delle modalità di sostegno hanno influenzato o meno le scelte produttive degli agricoltori e, infine, attraverso un'indagine incentrata sulle variazioni dei costi di produzione colturale, verificare se una diversa allocazione delle superfici agri-

cole potesse, o meno, essere una strada vantaggiosa dal punto di vista economico e sostenibile.

Come precedentemente osservato, dopo la riforma *Fischler* si delinea una situazione per la quale gli agricoltori sono liberi di scegliere cosa coltivare sulla base di considerazioni prettamente economiche. I sussidi, anche di rilevante entità, erogati in modo sistematico prima della riforma del 2003, attraverso le politiche della *Fischler* vengono rimodulati o addirittura rimossi per molte delle colture tradizionali. In questo nuovo contesto la possibilità di utilizzare le colture energetiche al posto di quelle tradizionali viene vista con rinnovato interesse principalmente in termini finanziari.

## RISULTATI

Dalle analisi effettuate si è potuto rilevare, per il periodo 2000-2008, una riduzione di quasi il 10% della superficie agricola totale destinata alle coltivazioni che tipicamente sono presenti sui suoli agrari italiani. Si è passati, infatti, dai 4.641 milioni di ettari coltivati negli anni 2000-02, ai 4.200 milioni di ettari circa del 2008 (Tabella 2).

Sembra evidente che le modifiche nelle linee guida comunitarie riguardanti le modalità di sostegno abbiano influenzato le scelte produttive degli agricoltori, andando a determinare sostanziali cambiamenti circa il totale delle superfici coltivate. Si rileva che, sostanzialmente, non c'è stato un aumento dell'interesse da parte degli agricoltori nei riguardi di quelle coltivazioni che, negli ultimi anni,

<sup>(1)</sup> Un certificato verde è una forma di incentivazione di energia elettrica da fonti rinnovabili. Si tratta in pratica di titoli negoziabili. Si tratta di certificati che corrispondono ad una certa quantità di emissioni di CO<sub>2</sub>: se un impianto produce energia emettendo meno CO<sub>2</sub> di quanto avrebbe fatto un impianto alimentato con fonti fossili (petrolio, gas naturale, carbone ecc.) perché "da fonti rinnovabili", il gestore ottiene dei certificati verdi che può rivendere (a prezzi di mercato) a industrie o attività che sono obbligate a produrre una quota di energia mediante fonti rinnovabili ma non lo fanno autonomamente. In Italia i certificati verdi sono emessi dal Gestore dei Servizi Energetici GSE (Gestore Servizi Energetici) su richiesta dei produttori di energia da fonti rinnovabili.



Coltivazione	2000-2002		2008		Variazione % 2008/2000-02
	000 ha	%	000 ha	%	
Grano duro	1.664	35,9%	1.587	37,8%	-5
Grano tenero	636	13,7%	702	16,7%	10
Orzo	340	7,3%	330	7,9%	-3
Mais	1.095	23,6%	1.053	25,1%	-4
Avena	144	3,1%	147	3,5%	2
Colza	25	0,5%	13	0,3%	-51
Sorgo	34	0,7%	39	0,9%	13
Soia	213	4,6%	108	2,6%	-49
Barbabetola da zucchero	252	5,4%	71	1,7%	-72
Girasole	198	4,3%	114	2,7%	-42
Tabacco	38	0,8%	35	0,8%	-9
Ettari totali	4.641	100%	4.200	100%	

**Tabella 2** - Ripartizione della superficie agricola tra le diverse coltivazioni: confronto 2000-02 e 2008.  
 FONTE: elaborazione CRA-ING su dati Fao.

hanno assunto un certo valore dal punto di vista “energetico” (produzioni finalizzate a biocarburanti). Solo per il sorgo, invece, si è registrato un aumento del 13% delle superfici coltivate. Il sorgo appartiene a quel gruppo di “colture zuccherine” dalle quali si produce, per fermentazione dei carboidrati, il bioetanolo, che viene addizionato alle benzine, previa trasformazione in etilertibutiletere (un additivo ossigenato e antidetonante utilizzato in sostituzione del piombo o degli idrocarburi aromatici).

La riduzione degli ettari totali investiti ha interessato, pure se in misura molto minore, l'intero comparto dei seminativi (Grafico 1). Tutto ruota intorno, in effetti, ad una precisa analisi dei costi e della produttività delle coltivazioni tradizionali e di quelle “non-alimentari” e considerando che, nel quadro della nuova PAC, le scelte riguardanti l'assegnazione delle terre arabili devono essere basate, è vero, su di una logica economica senza però che venga trascurata la sostenibilità stessa della scelta, è indispensabile verificare se il diverso

utilizzo di una parte delle superfici agricole possa determinare, un vantaggio economico sia per l'imprenditore agricolo, sia per la società in termini di eco-sostenibilità.

In tale contesto, sono stati sviluppati e confrontati i bilanci economici relativi alle colture tradizionali e non, attinenti al periodo 2000-2002 (prima dell'introduzione della riforma *Fischler*) ed al 2006-2008 (a riforma *Fischler* quasi del tutto entrata a regime). Dal raffronto si è potuto rilevare che la rimodulazione degli aiuti comunitari in agricoltura ha determinato una effettiva diminuzione del profitto conseguito dalla coltivazione di alcuni tra i seminativi da sempre maggiormente coltivati. Ad esempio per il mais si è passati dai circa 420 €/ha del periodo antecedente la riforma ai circa 180 €/ha del post riforma (Fonte: EUROSTAT; FAO STATISTICS; DATIMA-ISMEA; AGEA-MIPAAF).

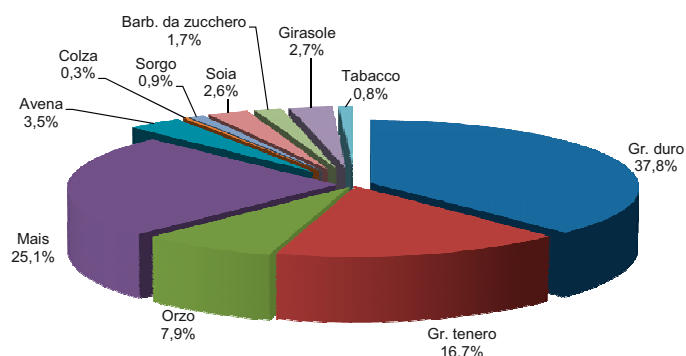
Un rinnovato vantaggio economico potrebbe derivare proprio da un maggior utilizzo delle colture energetiche, considerando anche il fatto che per coltivazioni storicamente più re-

munerative, come i cereali, negli ultimi anni si è comunque registrata una diminuzione delle superfici utilizzate del 10%.

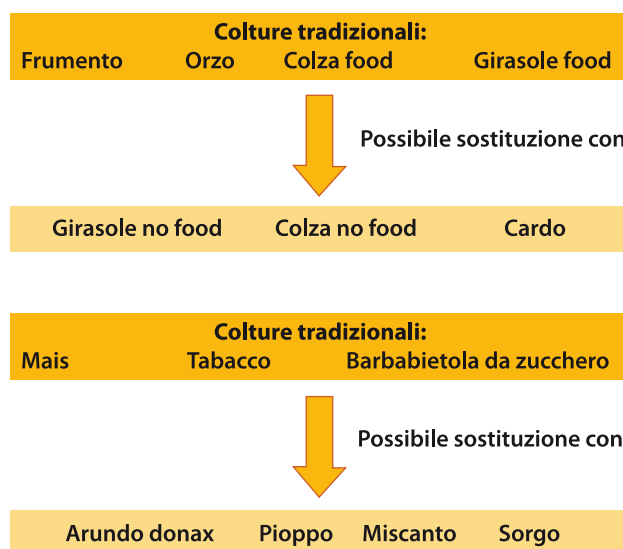
Un esempio specifico può essere fatto considerando due settori fondamentali per l'economia agricola, quello bieticolo e quello del tabacco. Le riforme dell'OCM (Organizzazione Comune dei Mercati) dello zucchero e del tabacco hanno determinato un'essenziale revisione dei meccanismi di intervento sul mercato interno. Secondo i produttori, con tale revisione non sarebbe più economicamente vantaggioso continuare ad investire terreni a barbabetola da zucchero e tabacco e da qui la profonda crisi produttiva dei due settori.

Nel caso della barbabetola da zucchero con la nuova OCM, entrata in vigore nel 2006, si stabilisce che la quantità di zucchero che può essere prodotta in Italia deve essere pari a 7,8 milioni di quintali (la quantità è di fatto dimezzata, in quanto, precedentemente le rivisitazioni comunitarie, si potevano produrre 15,6 milioni di quintali di zucchero) e che dalla campagna di commercializzazione 2010/2011 si avrà l'abolizione del meccanismo di intervento comunitario.

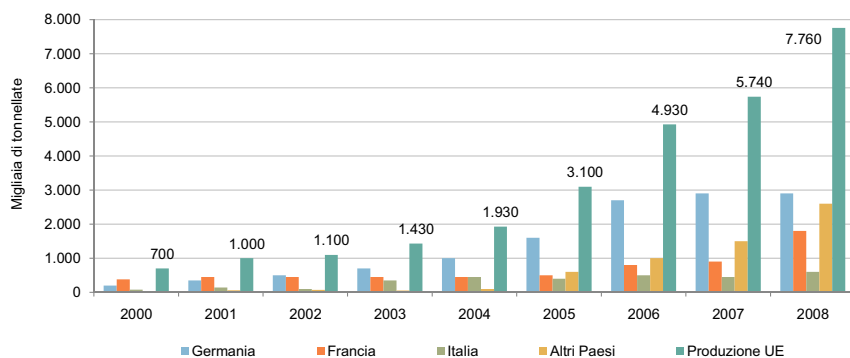
Le nuove indicazioni politiche comunitarie hanno avuto un immediato riflesso sulle superfici agricole coltivate a barbabetola, tant'è che tra il 2005 ed il 2006 vengono riconvertiti circa 150.000 ha precedentemente coltivati a barbabetola. La maggior parte di questi 150.000 ettari verranno in seguito destinati a frumento e mais. Con l'attuazione della riforma *Fischler* si avvia anche il riordino dell'OCM del tabacco, riordino che potrebbe determinare, invece, la totale scomparsa della coltivazione dal panorama agricolo italiano. Con le nuove regole, i soli ricavi derivati dal mercato non renderebbero redditizio il tabacco di fatto destinato ad uscire completamente dagli assetti produttivi italiani con l'entrata



**Grafico 1** - Ripartizione superficie agricola tra le principali coltivazioni.  
 FONTE: elaborazione CRA-ING su dati Fao.



**Figura 1** - Possibili sostituzioni tra coltivazioni tradizionali e no-food.  
 FONTE: elaborazione CRA-ING



**Grafico 2** - Andamento della produzione di biodiesel nell'UE. Fonte: elaborazione CRA-ING su dati dell'European Biodiesel Board.

Parametri	Quantità (ton/ha)	Consumo energetico specifico (MJ/ton)	Consumo energetico totale (MJ/ha)
<b>Costi</b>			
Coltivazioni colza	3,0	7.615	22.840
Estrazione olio	3,0	1.245	3.730
Raffinazione olio	1,20	1.660	1.990
Trasfor. Biodiesel	1,08	388	419
Alcool necessario	0,13	20.000	2.660
<b>Totale</b>			<b>31.639</b>
<b>Ricavi</b>			
Biodiesel	1,04	36.500	37.900
Pannello proteico	1,6	15.000	24.000
Altri sottoprod.	0,06	38.120	2.290
Residui colturali	4,8	12.500	60.000
Glicerina	0,09	17.500	1.500
<b>Totale</b>			<b>125.690</b>
<b>Bilancio Ambientale</b>			<b>94.051</b>

**Tabella 3** - Bilancio energetico della produzione di biodiesel da colza. FONTE: elaborazione CRA-ING su dati Biofox.

a regime della riforma. Nel 2006 si è avuta l'introduzione del disaccoppiamento. Fino al 2009 il disaccoppiamento è stato "parziale" e si è caratterizzato per la regola del "40-60": il 40% dei premi per il tabacco (circa 3.200 €/ha) vengono collegati al regime di pagamento disaccoppiato, mentre agli Stati membri spetta erogare il restante 60% sotto forma di pagamenti accoppiati alla produzione. Dal 2010 la riforma entra a regime e l'aiuto per il tabacco sarà del tutto disaccoppiato dalla produzione. Va rilevato, ad esempio, che il premio disaccoppiato per un'azienda produttrice di *Bright* può non essere sufficiente a coprire i costi di produzione.

Se l'utilizzo di questo tipo di coltura potrebbe non essere più redditizio si potrebbe, quindi, pensare di riallocare i terreni ed usarli prettamente per alcune coltivazioni energetiche con le quali riuscire ad ottenere un maggior introito (Figura 1).

Le direttive europee per incentivare l'uso delle energie rinnovabili favoriscono la riconversione colturale verso le colture energetiche. Basti pensare alla già citata direttiva 2003/30/CE, con cui entro il 2010 si fissava, come obiettivo, la sostituzione dei carbu-

ranti tradizionali con una quota di biocarburanti pari al 5,75%. Al momento sembra che, almeno in Italia, quest'obiettivo sia difficilmente raggiungibile. L'intera produzione europea di biocarburanti si concentra per l'80% sul biodiesel, seguita al 20% dal bioetanolo (sostituto della benzina). Secondo le stime dell'*European Biodiesel Board* (EBB), la produzione europea di biodiesel è giunta a 7.76 milioni di tonnellate nel 2008, mettendo l'Europa al centro del mercato globale con quasi il 65% della produzione totale. Ma gli aumenti nel 2008 sono stati definiti "contenuti" dalla EBB, nonostante il salto del 65% nel 2005 e del 54% nel 2006. Il rallentamento nella produzione era già visibile nel 2007, quando l'aumento fu del 17% (Grafico 2).

Si deve rilevare che è in aumento il divario tra capacità produttiva e la reale produzione di biodiesel. Infatti, sempre secondo l'EBB, i 214 impianti esistenti in Europa avrebbero dovuto produrre, nel 2008, circa 16 milioni di tonnellate, mentre si stima che la quantità prodotta per il 2009 dovrebbe aggirarsi sui 21 milioni di tonnellate. La produzione potenzialmente ottenibile in Italia, per il 2009, dovrebbe essere pari a circa 1,9 milioni di

tonnellate. Come si evidenzia dal grafico delle produzioni, Germania e Francia sono gli stati membri che più degli altri sono impegnati nella produzione di biocarburanti (insieme, nel 2008, hanno prodotto circa il 60% del prodotto comunitario totale) e proprio in questi due Stati sono previsti consistenti sistemi di incentivazione alla produzione di prodotti energetici.

Nell'ambito delle "linee guida", proposte dalla Commissione Europea, da seguire nell'attuazione di una politica energetica, che sia in grado di affrontare e limitare i cambiamenti climatici in atto, rientra il principio del "20-20-20". L'UE impone agli Stati membri di ridurre del 20% le loro emissioni di gas serra entro il 2020 e nel contempo arrivare ad un consumo di energia da fonti rinnovabili che sia pari ad almeno il 20% del fabbisogno totale. Infine, ogni Stato deve impegnarsi affinché vi sia un aumento del 20% dell'efficienza energetica.

Dal punto di vista energetico con la produzione di bioenergia a partire dagli oli vegetali si raggiunge un bilancio energetico nettamente positivo, mentre con la produzione di bioetanolo si raggiunge solamente il pareggio: la quantità di energia ottenibile è equivale a quella utilizzata. In Tabella 3 è riportato un esempio di bilancio energetico relativo alla produzione di biodiesel a partire dal colza.

Come si evince, le spese energetiche per la coltivazione di un ettaro di colza sono pari a 31.600 MJ, mentre i ricavi energetici ottenibili risultano di 125.800 MJ. Punto fondamentale della produzione di bioenergia è che da un ettaro investito a colza si possono ottenere prodotti energetici tali da poter sostituire circa 2,2 tonnellate di olio di natura fossile. Infine va ricordato che l'emissione di inquinanti derivanti dall'utilizzo di biodiesel si riduce sensibilmente rispetto al carburante prodotto da materiali fossili.

## CONCLUSIONI

L'entrata in vigore della riforma *Fischler*, con il suo "carico" di profonde modifiche riguardanti le modalità di sostegno alle diverse coltivazioni agricole, non ha determinato, tutto sommato, grossi cambiamenti circa le scelte operate dalla stragrande maggioranza degli imprenditori agricoli italiani. I produttori hanno continuato ad indirizzare le proprie scelte verso le coltivazioni tradizionali, caratterizzate, da sempre, da ricavi finali sicuri.

Va comunque precisato che negli ultimi due anni in Italia sono stati fatti numerosi e fondamentali passi avanti nell'ambito del settore agroenergetico, anche se resta da fare ancora molta strada. Infatti, se confrontiamo la crescita italiana del settore fotovoltaico ed eolico con il trend di sviluppo di tutto il settore delle biomasse la distanza è ancora tanta. Si rende necessario adottare tutta una serie

di strategie che prendano in carico gli indirizzi delle diverse direttive europee sulle rinnovabili, per poi definire un “quadro” nazionale delle agroenergie che possa essere adattato ai diversi contesti, con il contributo delle Regioni, sulla base delle concrete potenzialità del territorio e della sostenibilità ambientale ed economica.

Nell’ambito delle agroenergie, il settore del biogas è sicuramente quello che di più ha reagito in modo tangibile alle tariffe incentivanti: si prevede, infatti, la costruzione di centinaia di nuovi impianti di potenza inferiore al megawatt, soprattutto nelle regioni della Pianura Padana dove gli insediamenti zootecnici e le colture maidicole sono maggiormente diffusi. Come è stato precedentemente mostrato, invece, la quantità di biocarburanti prodotta in Italia continua ad essere di molto inferiore a quella fornita da altri Paesi europei, come

*(2) Il Break Even Price si ottiene sommando al profitto ottenibile con la coltivazione tradizionale i costi di produzione della coltura energetica (eventualmente sostitutiva), desunti degli eventuali sussidi, il tutto rapportato alla produzione (ss/ha/anno) della coltura energetica.*

ad esempio la Francia e la Germania. Questo dato mette in evidenza che, nella scelta di condurre colture energetiche, sono sicuramente fondamentali le condizioni di produzione e le opportunità di mercato, ma altrettanto essenziale diventa il sostegno attuato tramite politiche pubbliche definite da ogni singolo Paese, come quelle di natura fiscale. Relativamente alle eventuali scelte imprenditoriali operate dall’agricoltore, può risultare interessante prevedere, tra le altre cose, l’analisi del “Break Even Price”, volta ad individuare quella possibile sostituzione tra una coltivazione tradizionale ed una cosiddetta energetica tale da permettere il mantenimento della sostenibilità economica. Questo indice economico<sup>(2)</sup> è inteso come quel prezzo di vendita che dovrebbe assumere la coltura energetica per far sì che si possano ottenere gli stessi profitti conseguibili con la coltura tradizionale. Considerando i profitti ottenuti negli ultimi anni grazie alle coltivazioni tradizionali (seminativi, tabacco, barbabietola da zucchero ed altre) e con-

frontandoli con quelli ricavabili da coltivazioni energetiche (SRF, girasole e colza no food, miscanto ed altre) emerge che, in alcune circostanze, la sostituzione permetterebbe di mantenere un margine di profitto adeguato ed in altre di raggiungere maggiori guadagni. Ad esempio, coltivazioni di mais, barbabietola da zucchero e tabacco potrebbero essere sostituite con impianti di SRF, arundo donax e miscanto, senza che ci siano minori guadagni finali. Anzi, la sostituzione di una coltura industriale con una da biomassa permetterebbe un buon incremento dei profitti, garantendo la riconversione produttiva di terreni dismessi per effetti legati alla rimodulazione della PAC, come già avvenuto per la filiera bieticola e come, probabilmente, avverrà per quella tabacchicola.

Va ribadito, ulteriormente, che ormai la strada che porta alle coltivazioni bioenergetiche è stata tracciata e in un prossimo futuro, considerando la non rinnovabilità delle fonti energetiche fossili, difficilmente si potrà fare a meno di percorrerla.

### **Ringraziamenti**

Tra le innumerevoli ditte agro-meccaniche, agro-industriali ed agro-energetiche, le Istituzioni pubbliche e le Associazioni di categoria con le quali abbiamo avuto il piacere di lavorare, vengono di seguito citate quelle che hanno strettamente collaborato alla realizzazione delle attività di ricerca riportate in questo Speciale, ringraziandole per il loro contributo, indicazioni, supporto, critiche e volontà di confrontarsi apertamente con il mondo della ricerca per esaltare le possibili sinergie tra portori di diverso interesse:

ALASIA FRANCO VIVAI, Savigliano (Cuneo) [info@alasiafranco.it](mailto:info@alasiafranco.it)

ARSIA AGENZIA REGIONALE PER LO SVILUPPO E L'INNOVAZIONE NEL SETTORE AGRARIO, Firenze [posta@arsia.toscana.it](mailto:posta@arsia.toscana.it)

ARSSA CALABRIA - AGENZIA REGIONALE PER LO SVILUPPO E PER I SERVIZI IN AGRICOLTURA, Cosenza [arssa\\_kr@tin.it](mailto:arssa_kr@tin.it)

AZIENDA SPERIMENTALE MARANI - REGIONE E. ROMAGNA, Ravenna (Ravenna) [marani@provincia.ra.it](mailto:marani@provincia.ra.it)

BIOMASSE EUROPA SRL, Ponte San Niccolò (Padova) [info@biomasseeuropa.com](mailto:info@biomasseeuropa.com)

BM TRACTORS S.R.L., Zocca (Modena) [tecnico@bmtractors.com](mailto:tecnico@bmtractors.com)

COPROB ITALIA ZUCCHERI - COOPERATIVA PRODUTTORI BIETICOLI, Minerbio (Bologna) [coprob@coprob.com](mailto:coprob@coprob.com)

ENAMA, Roma (Roma) [info@enama.it](mailto:info@enama.it)

F.LLI CRESSONI S.P.A., Volta Mantovana (Mantova) [cressoni@tin.it](mailto:cressoni@tin.it)

GRUPPO MOSSI & GHISOLFI, Tortona (Alessandria)

GRUPPO S.F.I.R. SOCIETÀ FONDIARIA INDUSTRIALE ROMAGNOLA, Cesena (Forlì-Cesena) [gruppo@sfir.it](mailto:gruppo@sfir.it)

NOBILI S.P.A., Molinella (Bologna) [info@nobili.com](mailto:info@nobili.com)

POWERCROP, Sesto San Giovanni (Milano) [contatti@powercrop.it](mailto:contatti@powercrop.it)

ROC, Poggio Berni (Rimini) [info@roc.ag](mailto:info@roc.ag)

SGARBI OFFICINE, MACCHINE AGRICOLE E INDUSTRIALI, Calimera (Lecce) [info@sgarbiofficine.it](mailto:info@sgarbiofficine.it)

SPAPPERI S.R.L., San Secondo (Perugia) [info@spapperi.it](mailto:info@spapperi.it)

UNACOMA, Roma (Roma) [unacoma@unacoma.it](mailto:unacoma@unacoma.it)

VENETA MAIS S.R.L., Musile di Piave (Venezia) [venetamais@libero.it](mailto:venetamais@libero.it)

