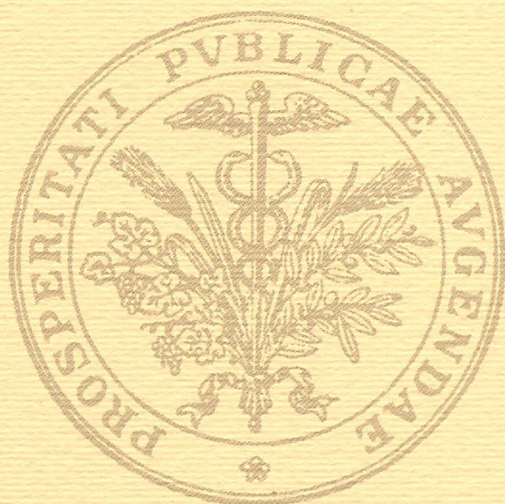


I GEORGOFILI

Quaderni

2007-I



PRODUZIONE DI ENERGIA DA FONTI BIOLOGICHE RINNOVABILI I - Le tecnologie

Firenze, 2008



EDIZIONI POLISTAMPA

Con il contributo di



ENTE CASSA DI RISPARMIO DI FIRENZE

Copyright © 2008
Accademia dei Georgofili
Firenze
<http://www.georgofili.it>

Edizioni Polistampa
Via Livorno, 8/32 - 50142 Firenze
Tel. 055 737871 (15 linee)
info@polistampa.com - www.polistampa.com
Sede legale: Via Santa Maria, 27/r - 50125 Firenze

ISBN 978-88-596-0438-9

Responsabile redazionale: dott. Paolo Nanni

Servizi redazionali, grafica e impaginazione
SOCIETÀ EDITRICE FIORENTINA

Proprietà letteraria riservata

Supplemento a «I Georgofili. Atti dell'Accademia dei Georgofili»
Anno 2007 - Serie VIII - Vol. 4 (183° dall'inizio)

Con il contributo di



ENTE CASSA DI RISPARMIO DI FIRENZE

Copyright © 2008
Accademia dei Georgofili
Firenze
<http://www.georgofili.it>

Edizioni Polistampa
Via Livorno, 8/32 - 50142 Firenze
Tel. 055 737871 (15 linee)
info@polistampa.com - www.polistampa.com
Sede legale: Via Santa Maria, 27/r - 50125 Firenze

ISBN 978-88-596-0438-9

Responsabile redazionale: dott. Paolo Nanni

Servizi redazionali, grafica e impaginazione
SOCIETÀ EDITRICE FIORENTINA

Proprietà letteraria riservata

Supplemento a «I Georgofili. Atti dell'Accademia dei Georgofili»
Anno 2007 - Serie VIII - Vol. 4 (183° dall'inizio)

INDICE

| | |
|--|-----|
| FRANCO SCARAMUZZI <i>Saluto</i> | 7 |
| LUIGI BODRIA <i>Introduzione</i> | 9 |
| MARCO FIALA <i>Combustibili solidi di origine agricola: le biomasse legnose</i> | 13 |
| REMIGIO BERRUTO <i>Combustibili solidi di origine agricola: la granella di mais</i> | 55 |
| FRANCESCO FANTOZZI, DAVID CHIARAMONTI <i>Processi di conversione energetica delle biomasse di tipo termochimico</i> | 71 |
| SERGIO PICCININI, GIUSEPPE BONAZZI, CLAUDIO FABBRI, DANIELA SASSI, MARIANGELA SOLDANO <i>Biogas da effluenti zootecnici e da biomasse dedicate e di scarto</i> | 127 |
| GIOVANNI RIVA, ESTER FOPPA PEDRETTI, GIUSEPPE TOSCANO <i>Biocombustibili e biocarburanti: aspetti generali e tecnici della loro produzione e utilizzo</i> | 163 |
| FEDERICO RADICE FOSSATI <i>Prospettive di sviluppo delle fonti biologiche rinnovabili</i> | 185 |
| LUIGI BODRIA, FEDERICO RADICE FOSSATI <i>Conclusioni</i> | 195 |

ACCADEMIA DEI GEORGOFILI

MARCO FIALA

Combustibili solidi di origine agricola: le biomasse legnose

Giornata di studio: «*Produzione di energia da fonti biologiche rinnovabili*»
I – *Le tecnologie*

Firenze, 18 gennaio 2007

Estratto da
«I GEORGOFILI – QUADERNI, 2007-I»



Firenze, 2008

MARCO FIALA*

Combustibili solidi di origine agricola: le biomasse legnose

I. ENERGIA E AGRICOLTURA

La possibilità di ricorrere alle bio-energie, argomento già dettagliatamente studiato negli anni '80 e per lungo tempo lasciato in disparte, è tornato prepotentemente alla ribalta a seguito del continuo aumento del prezzo del greggio registratosi in questo ultimo biennio.

Nel più ristretto ambito dell'agricoltura, settore direttamente coinvolto nella filiera delle bio-energie, la situazione di crisi in cui sono caduti alcuni prodotti convenzionali costituisce un motivo forte per guardare alla produzione di bio-combustibili come una possibile diversificazione delle produzioni e come elemento di multi-funzionalità, aspetto cardine delle nuove politiche agricole comunitarie.

Come spesso accade per le tematiche di grande respiro e di tipo multi-settoriale, quella della bio-energia ha registrato uno sviluppo impetuoso, alimentato da una lunga serie di interventi e di iniziative che – presentando l'argomento nei suoi diversi aspetti o divulgando i risultati di sperimentazioni svolte nell'ambito delle diverse filiere agro-energetiche – da un lato, hanno permesso agli agricoltori di conoscere interessanti possibilità e di evidenziare nuove prospettive di mercato ma, dall'altro, hanno anche sollevato qualche interrogativo.

Infatti, in un settore che vede messa in discussione la redditività di alcune colture alimentari, gli operatori denunciano grande incertezza nell'indirizzarsi verso l'agro-energia, facendo fatica a individuare – nella moltitudine di proposte apparentemente tutte vantaggiose messe loro a disposizione – quale sia

* *Istituto di Ingegneria Agraria, Università degli Studi di Milano*

la “svolta produttiva” da imprimere all’azienda agricola. È più che normale, del resto, che tale svolta, per essere convincente, debba dimostrarsi tecnicamente percorribile, inserirsi e sostenersi in un mercato reale e, soprattutto, assicurare una *ragionevole redditività*.

Nel variegato panorama che compone il binomio energia-agricoltura, certamente un ruolo di spicco compete all’uso di *biomasse legnose*, direttamente o indirettamente, prodotte nell’azienda.

L’attività agricola può, infatti, rifornire filiere legno-energia producendo bio-combustibili principalmente derivanti da:

- *Colture Arboree (CA)*, sottoforma di residui derivanti da interventi di potatura;
- *Colture Legnose a Rapido Accrescimento (CLRA)*, sottoforma di tronchi e ramaglia.

In ambito rurale si rendono disponibili altre biomasse interessanti per la loro valorizzazione energetica, cioè quelle che – sottoforma di tronchi e ramaglia – derivano da:

- *Piantagioni Lineari (PL)*, frangivento e siepi da legna che delimitano gli appezzamenti coltivati e fasce tampone lungo i fossati;
- *Alvei Fluviali (AF)*, vegetazione spontanea sottoposta a taglio periodico di manutenzione o materiale depositato in seguito a piene o eventi alluvionali;
- *Formazioni Arboree Riparali (FAR)*, specie arboree igrofile sottoposte a periodici tagli di diradamento o utilizzazione.

2. BIOMASSE LEGNOSE: FILIERE E ATTUALI IMPIEGHI

In termini generali, per le biomasse legnose di origine agricola si possono prospettare *due tipologie* di filiere energetiche:

- *filiera agricole* (o filiere aziendali) che comportano il *consumo interno* del bio-combustibile al fine di produrre *prodotti energetici a elevato valore aggiunto*, quali: la generazione/vendita di Energia Termica (ET) o Energia Elettrica (EE), la produzione/vendita di pellet, la fornitura “servizi energetici” da offrire ad acquirenti esterni;
- *filiera agro-industriali* che comportano la *produzione e fornitura del* bio-combustibile destinato a impianti di combustione consortili dedicati alla produzione di ET, EE o ET+EE (cogenerazione).

Le prime si basano su soluzioni e impianti di piccola potenza – ancora poco reperibili nel mercato delle tecnologie di conversione energetica delle

biomasse legnose – e sulla capacità di costituire “aggregazioni aziendali”; peraltro, la valorizzazione dell’energia, permette di ipotizzare redditività sulla carta interessanti, ma le reali possibilità di realizzazione sono ancora legate al superamento di molti vincoli, anche di natura normativa.

La realizzazione delle seconde appare, viceversa, meno complessa facendo riferimento a impianti di taglia medio-elevata; in esse, tuttavia, il settore agricolo, nelle vesti di mero fornitore di materia prima di norma escluso dai benefici della valorizzazione dell’energia, si trova a essere in una situazione di “sudditanza”, caricandosi dei nodi relativi alla *collocazione sul mercato del prodotto* e della sua *redditività*, aspetti che risulterebbero meno impattanti con l’applicazione di specifiche misure di riconoscimento e promozione della filiera.

Escludendo i numerosissimi dispositivi (caldaie, stufe, caminetti) dedicati alla copertura dei fabbisogni termici domestici (10-50 kW_t, per riscaldamento e produzione di acqua calda sanitaria), di norma alimentati manualmente con *legna in ciocchi* o *tronchetti* (a consumi stimati in 14-16 Mt_{ug}/anno; tq = tal quale), gli impianti a biomasse legnose funzionanti nel nostro Paese si possono suddividere in:

- 42 impianti di combustione per la produzione centralizzata di ET, distribuita mediante apposita rete interrata e coibentata (teleriscaldamento) a utenze domestiche e/o collettive (tab. 1). Tali impianti (circa 230 MW_t complessivamente installati) sono prevalentemente ubicati nelle Regioni settentrionali, utilizzano *legno cippato di qualità*, proveniente da scarti di lavorazione (segherie, industria del legno) e dal settore forestale. La potenza è compresa tra 2 e 10 MW_t e i rendimenti raggiungono il 75-85%; in alcuni casi si attua la cogenerazione, con produzione (mediante ciclo Rankine a fluido organico; ORC) di EE soprattutto nei mesi estivi, migliorando il rendimento complessivo e la redditività dell’impianto;
- 31 impianti di combustione di grande potenza dedicati alla produzione di EE (tab. 2). Con circa 320 MW_e complessivamente installati, sono distribuiti in tutte le zone di Italia; presentano taglie di 5-20 MW_e (rendimento 15-20%) e sono alimentati da *miscele di biomassa*, di norma composte da *scarti di lavorazione* e *legno cippato di modesta qualità* proveniente da vari settori o importato;
- poche unità di *gassificazione* di bassa potenza dedicati alla produzione di EE (50-400 kW_e; rendimento 18-20%), generalmente ubicati in situazioni produttive caratterizzate da buona disponibilità di bio-combustibili legnosi con tenori di umidità minori del 20% (scarti di lavorazione, legno cippato di diversa provenienza).

I consumi assoluti di biomassa legnosa correlati all’attuale panorama

| LOCALITÀ | CALDAIE A BIOMASSA | POTENZA TERMICA | SVILUPPO RETE | UTENZE ALLACCIATE | ENERGIA TERMICA | CONSUMO BIOMASSA | GASOLIO EVITATO | CO ₂ EVITATA |
|----------------------|--------------------|-----------------|---------------|-------------------|------------------|------------------|-----------------|-------------------------|
| | n. | MW _t | m | n. | MWh _t | mst | t/anno | t/anno |
| Verzuolo (CN) | 2 | 5,9 | 3800 | 27 | 7282 | 17230 | 867 | 2690 |
| Ormea (CN) | 2 | 3,9 | 3500 | 82 | 1869 | 3600 | 267 | 830 |
| Pollein (AO) | 2 | 5 | 2500 | 21 | 2600 | 6340 | 312 | 830 |
| Morgex (AO) | 2 | 5 | 4000 | 115 | 8500 | 20500 | 1020 | 2750 |
| Tirano (SO) | 3 | 20 | 20000 | 340 | 23539 | 53490 | 2950 | 8300 |
| Sondalo (SO) | 2 | 10 | 12400 | 230 | 11221 | 30100 | 1400 | 3800 |
| Leini (TO) | 1 | 5 | 2500 | 14 | 1840 | 4420 | 220 | 680 |
| Castellamonte (TO) | 2 | 9 | 6650 | 58 | 10000 | 17000 | 1250 | 3350 |
| Cavalese (TN) | 2 | 9 | 25000 | 460 | 22500 | 43000 | 2800 | 7330 |
| S. M. Castrozza (TN) | 2 | 8 | 11300 | 108 | | | | |
| Cantalupo Lig. (AL) | 3 | 2,1 | 1000 | 8 | 1500 | 3200 | 190 | 530 |
| Sellero (BS) | 1 | 11 | 13000 | 360 | | | | |
| Rasun (BZ) | 2 | 5 | 13000 | 234 | 12000 | 20400 | 1100 | 3000 |
| Valdaora (BZ) | 2 | 8 | 16000 | 388 | 21000 | 35700 | 1920 | 5250 |
| La Villa (BZ) | 2 | 4 | 5900 | 240 | 15400 | 26180 | 1410 | 3850 |
| S. Candido (BZ) | 1 | 3 | 150 | 11 | | | | |
| Verano (BZ) | 2 | 1,6 | 2500 | 84 | 2000 | 3400 | 180 | 500 |
| Naturno (BZ) | | | | 10 | 3000 | 5100 | 270 | 750 |
| Terento (BZ) | 1 | 1 | 1100 | 55 | 2400 | 4080 | 220 | 600 |
| Dobbiaco (BZ) | 3 | 15,7 | 14000 | 615 | 44500 | 75650 | 4080 | 11120 |
| Anterselva (BZ) | 2 | 3,4 | 4100 | 119 | 5200 | 8840 | 470 | 1300 |
| Rodengo (BZ) | 1 | 0,85 | 850 | 17 | | | | |

Tab. 1 Caratteristiche impianti di teleriscaldamento a biomassa al 2003 (Fiala, 2005 e ITABIA, 2003) (Segue)

| LOCALITÀ | CALDATE A BIOMASSA | POTENZA TERMICA | SVILUPPO RETE | UTENZE ALLACCIATE | ENERGIA TERMICA | CONSUMO BIOMASSA | GASOLIO EVITATO | CO ₂ EVITATA |
|-------------------------|--------------------|-----------------|---------------|-------------------|------------------|------------------|-----------------|-------------------------|
| | n. | MW _t | m | n. | MWh _t | mst | t/anno | t/anno |
| Valles (BZ) | 2 | 4 | 7500 | 85 | 7000 | 11900 | 640 | 1750 |
| N. Ponente (BZ) | 1 | 0,84 | 1000 | 14 | 1600 | 2720 | 140 | 400 |
| Valle Aurina S.G. (BZ) | | | | 45 | 1600 | 2720 | 140 | 400 |
| Valle Aurina L. (BZ) | | | | 25 | 2300 | 3910 | 210 | 570 |
| Castelrotto (BZ) | 1 | 0,85 | 160 | 12 | 1800 | 3060 | 160 | 450 |
| S.Pancrazio (BZ) | 2 | 1 | 1800 | 42 | 2300 | 3910 | 210 | 570 |
| Val D'Ultimo (BZ) | 2 | 2,2 | 4600 | 75 | 4900 | 8330 | 440 | 1220 |
| Brunico (BZ) | 4 | 34 | 97000 | 2000 | 100000 | 170000 | 9180 | 25000 |
| Valdoies (BZ) | 2 | 5,5 | 13200 | 130 | 10000 | 17000 | 910 | 2500 |
| Moso (BZ) | 2 | 2,7 | 950 | 33 | 2000 | 3400 | 180 | 500 |
| Sluderno (BZ) | 2 | 3,2 | 7000 | 448 | 11500 | 19550 | 1050 | 2870 |
| Sarentino (BZ) | 2 | 4,5 | 4000 | 55 | 7500 | 12750 | 680 | 1870 |
| Prato Stelvio (BZ) | 2 | 2,4 | | 325 | 5300 | 9010 | 480 | 1320 |
| Solda (BZ) | 3 | 8 | 8700 | 106 | 14500 | 24650 | 1330 | 3620 |
| Malles (BZ) | | | | 41 | 6000 | 10200 | 550 | 1500 |
| Monguelfo (BZ) | | 5,5 | | 400 | 14000 | 23800 | 1280 | 3500 |
| Lasa (BZ) | | | | 460 | 12000 | 20400 | 1100 | 3000 |
| Vipiteno (BZ) | | | | 900 | 32500 | 55250 | 2980 | 8120 |
| Sesto (BZ) | 2 | 9 | | 440 | 20000 | 34000 | 1830 | 5000 |
| Laces (BZ) | | | | 400 | 7000 | 11900 | 640 | 1750 |
| ITALIA (42 imp.) | | 220 | 309160 | 9632 | 460000 | 827000 | 45000 | 123000 |

Tab. 1 *Caratteristiche impianti di teleriscaldamento a biomassa al 2003 (Fiala, 2005 e ITABIA, 2003)*

| LOCALITÀ | COMBUSTIBILE | BIOMASSA | POTENZA NETTA |
|-----------------------------|--|-----------|---------------------|
| | | % | MW _e (*) |
| Airasca (TO) | Cippato | 100 | 14,6 |
| Vercelli (VC) | Lolla riso, cippato | 100 | 6,8 |
| Crova (VC) | Lolla riso, cippato | 100 | 6,7 |
| Verzuoll (CN) | Scarti legnosi forestali, pulper cartiera | 60 | 3,1 |
| Pavia (PV) | Lolla riso, cippato CLRA | 100 | 6,7 |
| Lomello (PV) | Lolla riso | 100 | 3,6 |
| Valle Lomel. (PV) | Lolla riso, polietilene da serre | 60 | 3,0 |
| Sustinente (MN) | Cippato | 100 | 6,0 |
| Castiraga V. (LO) | Pulper cartiera, RD | 30 | 1,1 |
| Brescia (BS) | Scarti legnosi, vinacce esauste | 100 | 15,0 |
| Ospitale C. (BL) | Scarti legnosi (industriali, agro-forestali) | 100 | 20,0 |
| Castellavazzo (BL) | Scarti legnosi (vergini e trattati) | 80 | 4,0 |
| Manzano (UD) | Scarti legnosi industriali, CDR, plastiche RD | 20 | 0,5 |
| Bando Argenta (FE) | Scarti legnosi (industriali, agro-forestali) | 100 | 22,5 |
| Faenza Tamp1 (RA) | Farine vegetali | 100 | 9,0 |
| Faenza Tamp2 (RA) | Cippato, vinacce e buccette | 100 | 14,0 |
| Faenza Caviro (RA) | Noccioli, vinacce e buccette, biogas | 100 | 3,2 |
| Scarlino (GR) | Scarti legnosi (industriali, agricoli), sanse, vinaccioli | 100 | 18,0 |
| Terni (TR) | Biomassa, pulper cartiera | 50 | 6,3 |
| Terni Printer (TR) | Biomassa | 100 | 3,5 |
| Termoli (CB) | Cippato, scarti legnosi (industriali, agricoli), vinaccioli, pastazzo agrumi | 100 | 14,6 |
| Pozzili (IS) | Cippato, residui frutta secca, sanse esauste, scarti legnosi | 100 | 14,0 |
| Maglie 1 (LE) | Sanse esauste, farine animali, CDR | 50 | 1,5 |
| Maglie 2 (LE) | Sanse esauste, farine animali, CDR | 50 | 1,5 |
| Modugno (BA) | Sanse esauste, cippato | 100 | 3,9 |
| Monopoli (BA) | Sanse esauste, cippato | 100 | 8,6 |
| Crotone (KR) | Scarti legnosi (industriali, agro-forestali) | 100 | 22,5 |
| Cutro (KR) | Scarti legnosi (industriali, agro-forestali) | 100 | 16,0 |
| Strongoli (KR) | Scarti legnosi (industriali, agro-forestali) | 100 | 44,0 |
| Rossano C. (KR) | Sanse esauste | 100 | 4,2 |
| Rende (CS) | Scarti legnosi (industriali, agro-forestali), sanse esauste | 100 | 13,3 |
| ITALIA (31 impianti) | | 88 | 312 |

(*) derivante dall'apporto della quota di biomassa presente nel combustibile

Tab. 2 *Impianti di media-elevata potenza per la produzione di EE da biomasse solide al 2003 (ITABIA, 2003)*

| TIPO IMPIANTO | N. | LOCALIZZAZIONE | ENERGIA | POTENZA | CONSUMO BIOMASSA | | |
|------------------------------|----|----------------|---------|---------------|--|--------|-------|
| | | | | | Mt _{iq} /anno | | |
| Teleriscaldamento | 42 | Nord | 42 | ET ET + EE | 220 MW _t 20 MW _e | Nord | 0,21 |
| | | Centro | - | | | Centro | - |
| | | Sud | - | | | Sud | - |
| Centrali a biomassa dedicate | 31 | Nord | 17 | EE | 320 MW _e | Nord | 1,28 |
| | | Centro | 5 | | | Centro | 0,75 |
| | | Sud | 9 | | | Sud | 2,14 |
| Co-combustione carbone | 13 | Nord | 7 | EE | 450 MW _e | Nord | 1,59 |
| | | Centro | 2 | | | Centro | 1,12 |
| | | Sud | 4 | | | Sud | 2,05 |
| Riconversione zuccherifici | 7 | Nord | 4 | ET + EE | 70 MW _e | Nord | 0,53 |
| | | Centro | 1 | | | Centro | 0,20 |
| | | Sud | 2 | | | Sud | 0,29 |
| TOTALE | 93 | Nord | 70 | | 220 MW _t 860 MW _e | Nord | 3,61 |
| | | Centro | 8 | | | Centro | 2,07 |
| | | Sud | 15 | | | Sud | 4,48 |
| | | | | | | ITALIA | 10,16 |

Tab. 3 *Stima dell'attuale consumo di biomasse legnose in Italia (Pari, Rossi, Gallucci, 2006 e successive elaborazioni)*

impiantistico sono cospicui (circa $4,4 \text{ Mt}_{iq}/\text{anno}$) e risulteranno sensibilmente più consistenti (circa $10,2 \text{ Mt}_{iq}/\text{anno}$) se verranno attuati alcuni piani strategici di recente formulazione: in particolare, quello di rifornire alcune centrali elettriche a carbone (realizzando una co-combustione con il 5% di bio-combustibile) e quello di convertire alcuni ex-zuccherifici in centrali dedicate a biomassa (tab. 3).

In termini indicativi, per avere immediata percezione della biomassa necessaria per alimentare le varie tipologie impiantistiche e, quindi, delle dimensioni della *superficie del bacino di approvvigionamento*, si possono considerare i seguenti *consumi specifici* di bio-combustibile (ss = sostanza secca):

- $0,25 \text{ t}_{ss}/\text{MWh}_t$ in impianti di combustione per ET;
- $1,10 \text{ t}_{ss}/\text{MWh}_e$ in impianti di combustione per EE;
- $1,05 \text{ t}_{ss}/\text{MWh}_e$ in impianti di gassificazione per EE.

Nel computo della domanda di biomassa legnosa, non va poi trascurato il settore della produzione del *pellet*, bio-combustibile di qualità che ha ormai raggiunto consumi interni di $0,3-0,4 \text{ Mt}_{iq}/\text{anno}$ e che, per la sua facilità di distribuzione e impiego, sta riscuotendo un crescente successo nel riscaldamento domestico mediante caldaie e stufe di piccole dimensioni. Il pellet viene prevalentemente prodotto nelle Regioni dell'arco alpino a partire da scarti della lavorazione del legno disponibili in loco o, considerata la crescente domanda, importati (Slovenia, Austria, Francia).

Considerato che la maggior parte delle filiere legno-energia hanno fino-

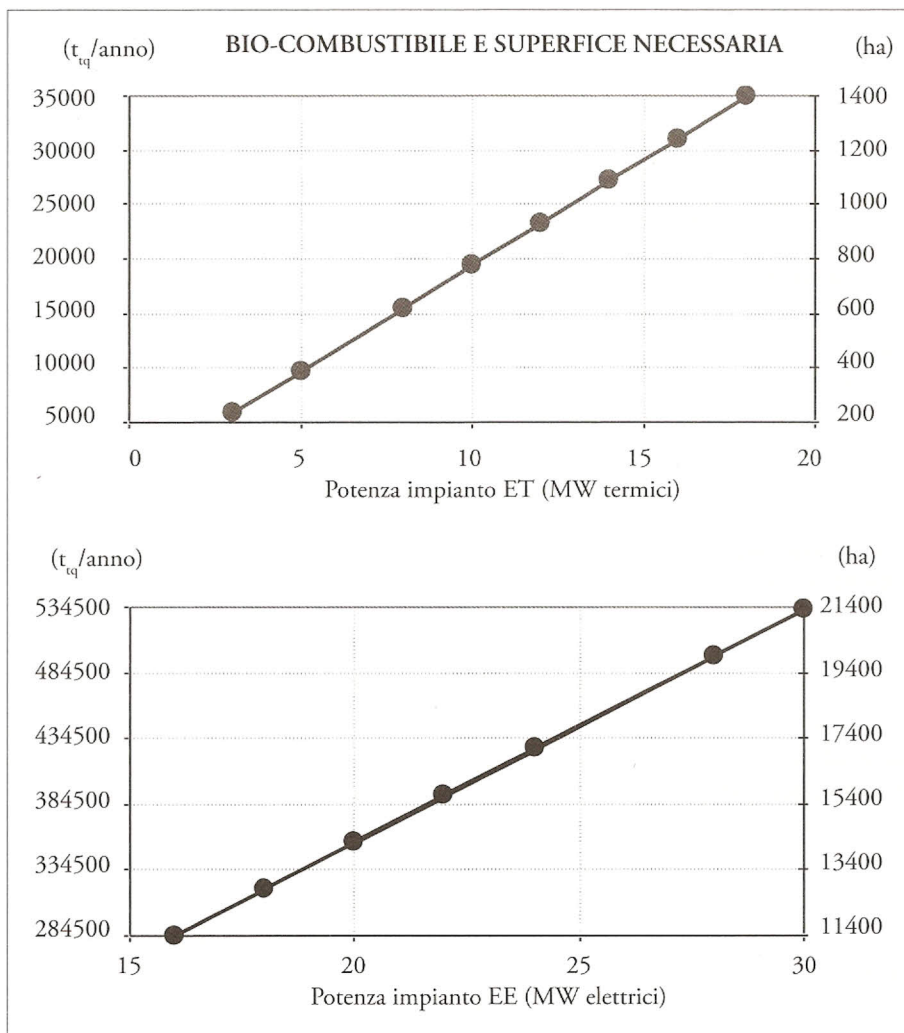


Fig. 1 *Quantità di bio-combustibile (t_{tq} /anno) e superficie necessaria (ha) per alimentare impianti di combustione di diversa potenza finalizzati alla produzione di ET (sopra) o di EE (sotto). Si sono ipotizzati: produzione e umidità del bio-combustibile rispettivamente pari a $25 t_{tq}/ha$ e 50%; funzionamento dell'impianto di 3500 e 7200 h/anno nel caso di produzione, rispettivamente, di ET e di EE*

ra individuato nel *legno usato*¹, piuttosto che in biomasse legnose importate finanche da Paesi extra-europei, le principali fonti di approvvigionamento,

¹ Termine impiegato nella "Raccomandazione CTE, Biocombustibili: specifiche e classificazione" con il quale si intende «manufatti e prodotti legnosi, o loro parti, al termine del loro ciclo di utilizzo primario trattati o non, analogamente ai residui e sottoprodotti dell'industria di lavorazione del legno».

porre maggiore attenzione all'impiego dei bio-combustibili legnosi di origine agricola può risultare interessante e vantaggioso.

Nel caso delle filiere agro-industriali in cui, di norma, il beneficio della valorizzazione dell'energia non ricade nel settore agricolo, questa prospettiva va, tuttavia, attentamente valutata in quanto, allo stato attuale, il *valore di mercato del bio-combustibile può non coprire il suo costo di produzione*.

La biomassa a destinazione energetica rappresenta ancora un prodotto a cui viene riconosciuto scarso valore aggiunto e, conseguentemente, il successo della filiera dipende dalla possibilità tecnica di ottenere rese produttive elevate al minor costo di produzione possibile.

Come noto, la soluzione del problema è articolata dovendo coniugare molteplici aspetti: la messa a punto e la disponibilità di una idonea meccanizzazione, la capacità e la volontà di pianificare il territorio, la scelta di appropriate strategie in campo energetico e l'attuazione di moderne e appropriate politiche agricole, la definizione di norme specifiche, l'individuazione di equilibrati interventi di incentivazione e supporto.

3. BIOMASSE LEGNOSE: IL POTENZIALE E LE POSSIBILITÀ DI RECUPERO

3.1 Residui di potatura da Colture Arboree (CA)

Si tratta di *sottoprodotti colturali*, abbandonati a terra nell'interfilare, derivanti da interventi cesori atti a dare forma e bilanciare piante allevate in vari sistemi e sestì di impianto. Le specie interessate sono: *vite*, *olivo* diffuse in tutta la penisola con forme di allevamento assai diversificate, nonché tutti i *fruttiferi* (melo, pero, pesco, susino, ecc.) diversamente distribuiti nelle Regioni italiane.

La *massa producibile* (t_{tq} /anno) di residui è influenzata da numerosi fattori colturali, il principale dei quali è la forma di allevamento che determina l'intensità della potatura; tale quantità va poi sempre correlata a vincoli e valutazioni connesse al territorio interessato alla applicazione della filiera energetica che conducono, da un lato, alla *massa disponibile* (t_{ss} /anno) e, dall'altro, alla ottimizzazione della gestione del residuo in termini logistici (trasporto, stoccaggio).

Le tabelle 4 e 5 riportano, diversamente aggregati, la *massa disponibile* di residui di potatura e il corrispondente *equivalente energetico* (ktep/anno) nell'ipotesi di raccogliere il 70% della massa producibile. Questi dati numerici rappresentano la sintesi di un foglio di calcolo appositamente predispo-

| SPECIE | SUPERFICIE TOTALE | MASSA DISPONIBILE | EQUIVALENTE ENERGETICO |
|---|-------------------|---------------------------|------------------------|
| | ha | t _{ss} /anno (§) | ktep/anno (#) |
| Olivo | 1.168.616 | 1.116.576 | 470,7 |
| Vite da tavola | 71.676 | 117.984 | 49,7 |
| Vite da vino | 714.987 | 849.068 | 358,0 |
| Agrumi | 170.439 | 564.911 | 238,2 |
| Pesco | 61.998 | 128.544 | 54,2 |
| Nettarine | 32.936 | 67.748 | 28,6 |
| Mandorlo | 83.318 | 90.442 | 38,1 |
| Nocciolo | 68.867 | 70.795 | 29,8 |
| Melo | 61.696 | 161.669 | 68,2 |
| Pero | 42.661 | 112.694 | 47,5 |
| Ciliegio | 29.302 | 28.063 | 11,8 |
| Actinidia | 23.678 | 52.521 | 22,1 |
| Albicocco | 19.266 | 33.386 | 14,1 |
| Susino | 14.464 | 26.939 | 11,4 |
| TOTALE | 2.563.904 | 3.421.341 | 1.442,4 |
| (§) umidità media U = 45%; (#) Potere Calorifico Inferiore PCI = 18 MJ/kg _{ss} | | | |

Tab. 4 *Residui di potatura: il potenziale energetico derivante dalla diverse CA nel 2005 (Fiala, 2006)*

sto su base provinciale che, a partire da: produzioni di prodotto principale², rapporto sottoprodotto/prodotto tipico di ciascuna arborea, umidità media del residuo di potatura, determina i quantitativi annui destinabili a filiere energetiche.

Dai dati riportati, si può osservare che:

- con produzione di residui variabile da 4,0 (vite) a 6,3 (actinidia) t_{tq}/ha·anno, umidità alla raccolta U = 45%, Potere Calorifico Inferiore PCI = 18,0 MJ/kg_{ss} e considerando un indice di recupero del 70%, l'equivalente energetico risulta di 0,57÷0,90 tep/ha·anno;
- anche nell'ottimistica ipotesi di recuperare quasi 3/4 dei residui di potatura complessivamente prodotti in Italia, l'equivalente energetico coprirebbe poco meno dell'1% del consumo energetico nazionale.

I residui di potatura – escludendo quelli con Ø > 4 cm vendibili (o auto-consumabili) come legna da ardere – di norma non possiedono alcun valore di mercato e la loro gestione si configura per l'agricoltore come una operazione obbligatoria, onerosa ed effettuata procedendo a triturazione (con trin-

² Dati ISTAT relativi all'annata agraria 2005.

| REGIONE | SUPERFICIE TOTALE | MASSA DISPONIBILE | EQUIVALENTE ENERGETICO |
|---|-------------------|---------------------------|------------------------|
| | ha | t _{ss} /anno (§) | ktep/anno (#) |
| Piemonte | 74.350 | 112.253 | 47,3 |
| Valle d'Aosta | 1.115 | 907 | 0,4 |
| Lombardia | 30.792 | 35.435 | 14,9 |
| Trentino Alto Adige | 43.883 | 117.902 | 49,7 |
| Veneto | 102.361 | 163.745 | 69,0 |
| Friuli-Venezia Giulia | 23.339 | 29.631 | 12,5 |
| Liguria | 17.785 | 11.518 | 4,9 |
| Emilia-Romagna | 140.053 | 265.901 | 112,1 |
| Toscana | 162.540 | 151.554 | 63,9 |
| Umbria | 42.013 | 45.374 | 19,1 |
| Marche | 32.535 | 37.993 | 16,0 |
| Lazio | 151.268 | 162.984 | 68,7 |
| Abruzzo | 85.337 | 108.274 | 45,6 |
| Molise | 21.904 | 23.389 | 9,9 |
| Campania | 168.402 | 231.143 | 97,4 |
| Puglia | 598.077 | 723.242 | 304,9 |
| Basilicata | 57.315 | 78.275 | 33,0 |
| Calabria | 249.849 | 366.448 | 154,5 |
| Sicilia | 466.921 | 675.162 | 284,6 |
| Sardegna | 84.296 | 80.211 | 33,8 |
| ITALIA | 2.563.904 | 3.421.341 | 1.442,4 |
| (§) umidità media U = 45%; (#) Potere Calorifico Inferiore PCI = 18 MJ/kg _{ss} | | | |

Tab. 5 *Residui di potatura: il potenziale energetico nelle Regioni italiane nel 2005 (Fiala, 2006)*

ciasarmenti accoppiati a trattori che trinciano grossolanamente la ramaglia e rilasciano il materiale nell'interfilare) ovvero a combustione diretta, previa rimozione e accatastamento a bordo campo, a mezzo di rastrelli raccoglitori accoppiati a trattori.

Il recupero delle ramaglie patate, presupposto per l'attuazione della filiera energetica, si attua con Macchine Operatrici (MO) specifiche, tutte caratterizzate dal fatto di aumentare la massa volumica del residuo tal quale (figg. 2 e 3).

Nella nostra agricoltura il recupero dei residui di potatura – nonostante l'evoluzione del mercato abbia messo a disposizione macchine robuste, impiegabili su ramaglia con $\varnothing < 3$ cm, con buone manovrabilità e produttività di lavoro – resta fortemente vincolato dalle condizioni operative che – soprattutto nei vigneti – per giacitura, forma degli appezzamenti e larghezze dell'interfilare, risultano frequentemente gravose e difficili da meccanizzare.



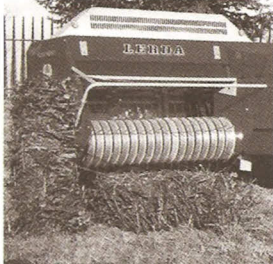
| | | |
|--|---|--|
|  |  |  |
| Balla: Cilindrica, $\varnothing = 140-160$ cm, 550-700 kg Trattore: 70-90 kW Addetti: 1 Produttività: 4,7-5,5 t_{tq}/h (olivo) Adatt. condizioni difficili: scarsa Carico balle: meccanico Qualità bio-comb.: ottima | Balla: Cilindrica, $\varnothing = 40-50$ cm, 30-40 kg Trattore: 20-30 kW Addetti: 1 Produttività: 1,2-2,0 t_{tq}/h (vite) Adatt. condizioni difficili: ottima Carico balle: manuale Qualità bio-comb.: ottima | Balla: Parallelepipedica, 45x30x60 cm, 15-20 kg Trattore: 30-40 kW Addetti: 1-2 Produttività: 1,5-2,0 t_{tq}/h (vite) Adatt. condizioni difficili: buona Carico balle: manuale Qualità bio-comb.: ottima |

Fig. 2. *Principali caratteristiche delle raccogli-imballatrici per residui di potatura. Da sinistra: rotoimballatrice (a) a rulli (Welger); (b) leggera (Caeb); (c) imballatrice a stantuffo (Lerda)*

| | | |
|--|--|--|
|  |  |  |
| Massa raccogliabile: 150-350 kg Trattore: 60-70 kW Addetti: 1 Produttività: 1,0-1,5 t_{tq}/h (vite) Adatt. condizioni difficili: buona Carico cippato: meccanico Qualità bio-comb.: suffic. | Massa raccogliabile: 150-200 kg Trattore: 70-80 kW Addetti: 1 Produttività: 0,8-1,2 t_{tq}/h (vite) Adatt. condizioni difficili: buona Carico cippato: meccanico Qualità bio-comb.: buona | Massa raccogliabile: - Trattore: 45-50 kW Addetti: 1 Produttività: 1,1-1,8 t_{tq}/h (vite) Adatt. condizioni difficili: scarsa Carico cippato: pneumatico Qualità bio-comb.: ottima |

Fig. 3. *Principali caratteristiche delle trincia-caricatrici per residui di potatura. Da sinistra: (d) macchina con contenitore di carico rigido (Berti); (e) macchina con contenitore di carico a sacco (big bag) (Nobili); (f) macchina con carico diretto pneumatico (Peruzzo)*

Se si considerano, poi, la frammentazione delle proprietà e la diffusa ridotta dimensione degli arboreti italiani, si comprende come le filiere legno-energia sostenute unicamente (o principalmente) da questo bio-combustibile siano realizzabili esclusivamente in particolari comprensori agricoli.

In casi diversi, stante la presenza nel territorio circostante di un impianto alimentato a biomasse legnose (teleriscaldamento, centrale termica, pellettificio ecc.), per tali residui è ipotizzabile un ruolo di "complemento" all'impiego di bio-combustibili di altra provenienza o natura.

Il ricorso a *raccogli-imballatrici*, sebbene poco agevole in terreni declivi e in filari ravvicinati nei quali risulta particolarmente oneroso il *carico* delle balle, offre alcuni vantaggi:

- la forma e le dimensioni omogenee delle balle permettono di ottimizzare i volumi di carico dei mezzi di trasporto impiegati nella movimentazione intra ed extra-aziendale;
- il residuo imballato – ancorché molto umido – non è soggetto a dannose fermentazioni e, senza il ricorso a strutture di stoccaggio particolari, può essere accatastato all'aperto per alcuni mesi durante i quali essicca naturalmente, aumentando sensibilmente il proprio Potere Calorifico Netto (indicativamente da 8,0 a 16,0 MJ/kg_{eq}).

Peraltro, la preparazione del bio-combustibile finale impone che i residui imballati siano sottoposti a un'ultima operazione, la *cippatura*, di norma attuata con macchine a punto fisso dislocate presso l'impianto di utilizzazione.

In alternativa alle imballatrici, sono commercialmente disponibili le *raccogli-trincia-caricatrici*, MO dotate di un rotore a martelli che trincia il materiale e lo convoglia verso un contenitore. Il loro impiego presenta il vantaggio di produrre il bio-combustibile nella forma finale (legno sminuzzato, pezzatura < 5 cm) in un *unico passaggio*, rendendo meno complesse le operazioni di recupero carico e trasporto intra-aziendale, soprattutto nel caso dei modelli dotati di contenitore rigido di dimensioni tali da essere scaricato nella testata del filare.

I limiti di impiego di queste MO risiedono nell'organizzazione dello *scarico-carico* dei residui sminuzzati e nella produzione di bio-combustibile di scarsa qualità (inquinamento da terra, pezzatura disomogenea) e fermentescibile.

Al riguardo se, da un lato *pick-up di raccolta* e *griglie di frantumazione* (posti, rispettivamente, prima e dopo il rotore di trinciatura) costituiscono dispositivi utili per migliorare la qualità del bio-combustibile, dall'altro, l'attacco microbico dei tessuti vegetali può essere ridotto solo svolgendo l'operazione il più tardi possibile dopo la potatura (2-3 mesi), ottenendo una preventiva diminuzione naturale dell'umidità residuale.

Particolarmente interessante per le prestazioni ottenibili è la soluzione recentemente immessa sul mercato in cui la *MO scarica pneumaticamente*, mediante tubo di lancio orientabile, i residui di potatura raccolti e sminuzzati. Lo scarico avviene direttamente su carro agricolo trainato dalla MO o da trattore che percorre il filare adiacente; la possibilità di impiego è, tuttavia, limitata ad appezzamenti di pianura con adeguati interfilari (> 2,5 m).

In tabella 6 si riportano le prestazioni delle MO rappresentate nelle figure precedenti, ottenute in prove sperimentali recentemente condotte in Italia su residui di potatura di vite e olivo.

3.2 Colture Legnose a Rapido Accrescimento (CLRA)

In questo caso non si ha a che fare con sottoprodotti, bensì con un *prodotto principale* derivato da specifiche colture energetiche, attuate con specie arboree pollo-nifere (in Italia la specie decisamente più studiata e più diffusa è il *pioppo*), ceduate con turni frequenti (1, 2 o 5 anni a seconda della tecnica colturale impiegata).

Sebbene le CLRA siano considerate le fonti di bio-combustibile legnoso più promettenti per l'Italia e siano state vigorosamente sostenute con l'applicazione di contributi specifici, nel 2005 occupano una superficie modestissima, poco più di 5200 ha, l'85% dei quali nelle sole Regioni Lombardia e Veneto.

Dai dati presentati in tabella 7, si può osservare che:

- con produzione di cippato variabile da 20 a 25 t_{iq}/ha -anno (a seconda del turno e delle condizioni colturali), umidità alla raccolta $U = 55\%$, PCI = 18,8 MJ/kg_{ss}, l'equivalente energetico risulta di 3,30÷4,15 *tep/ha-anno*;
- l'incremento della domanda di bio-combustibili e dei contributi ottenibili

| FASE OPERATIVA | VITE | | | | | |
|------------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | MO (a) | MO (b) | MO (c) | MO (d) | MO (e) | MO (f) |
| | t_{iq}/h | t_{iq}/h | t_{iq}/h | t_{iq}/h | t_{iq}/h | t_{iq}/h |
| Raccolta | - | 1,6 | 1,2 | 1,1 | 1,1 | |
| Carico e trasporto intra-aziendale | - | 1,0 | 0,5 | 0,6 | 1,0 | 1,3 |
| | OLIVO | | | | | |
| Raccolta | 5,0 | 1,6 | 2,4 | - | - | |
| Carico e trasporto intra-aziendale | 6,5 | 6,0 | 6,6 | 2,2 | 2,3 | - |

Tab. 6 Produttività del lavoro nelle diverse fasi operative di cantieri per il recupero di residui di potatura di vite e olivo ($U = 50\%$), basati sull'impiego delle MO di figg. 2 e 3 (Francescato et al., 2007; Porceddu, Boggia, 2006; Spinelli, Nati, Magagnotti, Civitarrese, 2006 e successive elaborazioni)

| REGIONE | SUPERFICIE | MASSA DISPONIBILE | EQUIVALENTE ENERGETICO |
|-----------------------|--------------|---------------------------|------------------------|
| | ha | t _{se} /anno (§) | ktep/anno (#) |
| Piemonte | 80 | 720-900 | 0,32-0,39 |
| Lombardia | 3.150 | 28.350-35.438 | 12,43-15,54 |
| Veneto | 1.300 | 11.700-14.625 | 5,13-6,41 |
| Friuli-Venezia Giulia | 320 | 2.880-3.600 | 1,26-1,58 |
| Emilia-Romagna | 50 | 450-563 | 0,20-0,25 |
| Toscana | 10 | 90-113 | 0,04-0,05 |
| Umbria | 160 | 1.440-1800 | 0,63-0,79 |
| Marche | 70 | 630-788 | 0,28-0,35 |
| Lazio | 90 | 810-1.013 | 0,36-0,44 |
| Italia | 5.230 | 47.070-58.838 | 20,64-25,80 |

(§) umidità media U = 55%; (#) Potere Calorifico Inferiore PCI = 18,8 MJ/kg_{se}

Tab. 7 CLRA: il potenziale energetico nelle Regioni italiane nel 2006

con la destinazione energetica dei terreni, potrebbe causare – a breve – una larga diffusione delle CLRA. Nel caso si raggiungessero 200.000 ha, il contributo energetico sarebbe dell'ordine di $0,9 \div 1,3$ Mtep/anno (pari allo $0,6 \div 0,9\%$ del consumo energetico nazionale).

Non va, peraltro, sottovalutato che, in alcune situazioni, in aggiunta ai benefici di ordine energetico, l'introduzione delle CLRA può essere associata ad altri vantaggi, quali la protezione dall'erosione dei terreni marginali, lo sviluppo occupazionale in distretti con economie locali in difficoltà.

In estrema sintesi, gli aspetti nodali su cui gioca la riuscita di un impianto di pioppo da energia sono:

- *sito e clone*. Il suolo agrario è occupato per *10-15 anni* e, con il materiale genetico oggi disponibile, la coltura risulta praticabile in vari terreni, meglio se freschi, con falda piuttosto superficiale, situati in pianura (aree di golena) o in bassa collina;
- *turno di ceduzione*. Definisce il sesto d'impianto e la meccanizzazione della raccolta che adotta schemi di lavoro analoghi a quelli in uso per alcune colture erbacee nel caso dei turni brevi, mentre ricorre a quelli impiegati nel settore forestale con turni più prolungati. I tagli di produzione possono distinguersi in:
 - *annuale*: diffuso nel nord-Europa, presenta *densità di 10.000-14.000 piante/ha* ottenuta mediante file binate (bina 0,70-0,75 m, interfila 2,5-3,0 m, distanza sulla fila 0,5-0,6 m lungo la fila). Le piante giovani ($\varnothing_{\text{basale}} = 4-6$ cm, H = 3,5-4,0 m a fine 1° ciclo) danno origine

ad abbondante cippato (25-30 t_{tq}/ha·anno; U = 55-60%) con molta corteccia e, quindi, di *scarsa qualità* (elevato tenore in ceneri alla combustione);

- *biennale*: più adatto alle condizioni italiane rispetto al precedente, presenta *densità di 5.000-6.000 piante/ha* ottenuta mediante file singole (interfila 2,5-3,0 m, distanza sulla fila di 0,5-0,6 m). Diametro e altezza dei fusti a fine turno ($\varnothing_{\text{basale}} \geq 8$ cm; H = 5,0-6,0 m a fine 1° ciclo) possono dare problemi alle MO di raccolta messe a punto per turni annuali; il cippato prodotto presenta rese intermedie (15-20 t_{tq}/ha·anno; U = 50-55%) e un *buon rapporto legno/corteccia*;
- *quinquennale*: pure idoneo alle nostre condizioni, si contraddistingue per la ridotta *densità (1.100-1.500 piante/ha)*, ottenuta con sestì di impianto 3,0 x 2,0 m. Diametro e altezza del fusto a fine turno ($\varnothing_{1\text{m}} \geq 22$ cm, H = 15-18 m a fine 1° ciclo), impongono macchine e tecniche di lavoro mutate dal settore forestale. Buone le rese (18-22 t_{tq}/ha·anno; U = 50-55%) e l'incidenza dei tessuti legnosi che conferisce elevata qualità al cippato;
- *operazioni di preimpianto*. Comprendono il *diserbo chimico e quello meccanico* (erpicazione, sarchiatura), la *lavorazione primaria* (aratura a 40-60 cm), la *lavorazione secondaria* (erpicazione), la *concimazione di fondo*;
- *trapianto*. Si esegue nei mesi primaverili (marzo-aprile) e rappresenta una operazione onerosa causa l'elevato impiego di manodopera e di *trapiantatrici* specifiche in grado di mettere a dimora (verticalmente o orizzontalmente) *talee* di 25-30 cm o *astoni* di 1 m circa (fig. 4) sfruttando l'elevata capacità germinativa che caratterizza i nuovi cloni di pioppo. Facendo eseguire l'operazione da imprese di servizi agro-meccanici i costi sono di 400-500 €/ha e di 700 €/ha, rispettivamente, nel caso di trapianto di talee (turni annuali e biennali) e di astoni (turni quinquennali). A tali oneri va aggiunto il costo per il materiale di propagazione (0,15-0,22 €/talea; 2,20-2,50 €/astone);
- *cure colturali*. Effettuate sia nel post-trapianto, sia nel periodo successivo a ogni ceduzione, vanno attentamente valutate per contenere i costi di produzione. Trattasi delle operazioni di: *diserbo chimico, erpicatura dell'interfila, lotta antiparassitaria, irrigazione* (indispensabile nei terreni scheletrici o sabbiosi, nelle altre condizioni rappresenta un fattore decisivo per l'ottenimento di produzioni elevate di biomassa);
- *raccolta*. Si esegue nel periodo invernale, in assenza di foglie, con MO diverse a seconda del turno adottato nonché della durata dello stoccaggio del bio-combustibile. Insieme al trapianto e al ripristino finale del terreno costituisce l'operazione peculiare delle CLRA; per tale motivo, le MO impie-

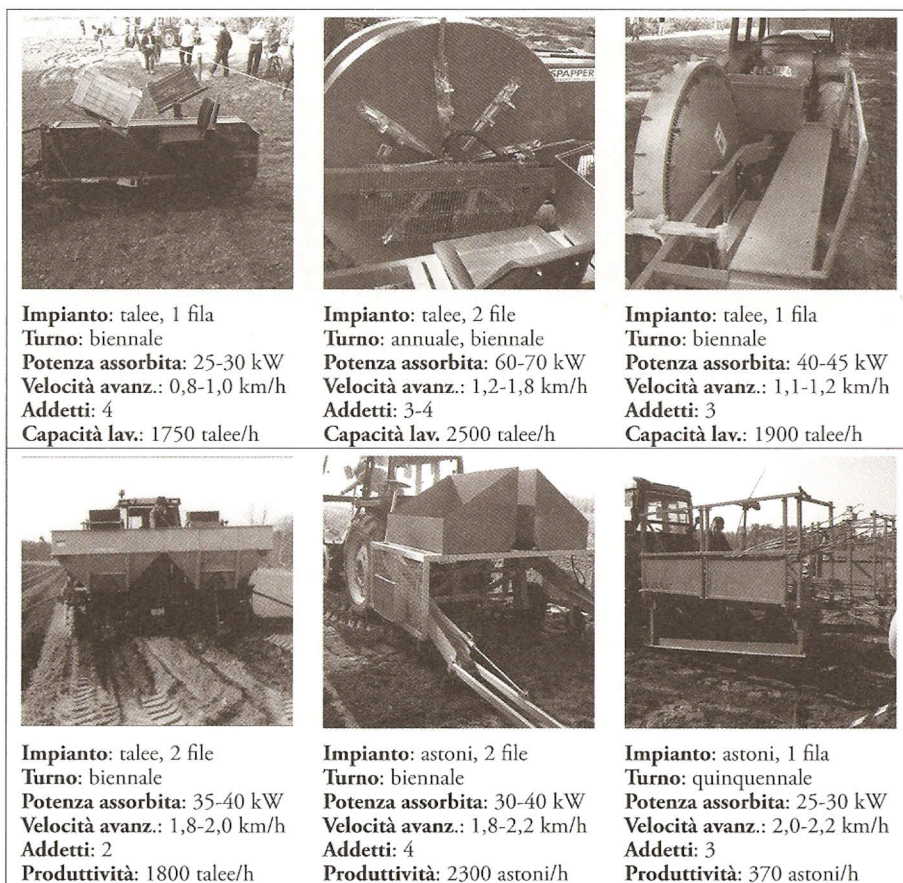


Fig. 4 Alcune trapiantatrici per pioppo. In alto modelli per trapianto verticale di talee (Ferri, Spapperi, Berto); in basso: modelli per trapianto orizzontale (a sinistra) di talee e (in mezzo) di astoni; trapiantatrice verticale di astoni (a destra) (CNER, DELAFA, Alasia)

- gate sono descritte dettagliatamente nelle pagine successive;
- *ripristino finale*. Al termine dei 15-20 anni del ciclo produttivo, il terreno – destinato ad accogliere una successiva piantagione di pioppo da energia piuttosto che una cultura erbacea – deve necessariamente essere liberato dalle ceppaie e dal cospicuo apparato radicale lasciato dalla CLRA. Per lo svolgimento di questa operazione non esistono, al momento, indicazioni univoche; i più prospettano l'uso di *zappatrici* di ridotte dimensioni (fig. 5, a destra), altri di *trivellatrici* – potenti MO accoppiate al trattore – dotate di un organo a succhiello capace di perforare la ceppaia, disgregandola sino a 60-70 cm di profondità (fig. 5, a

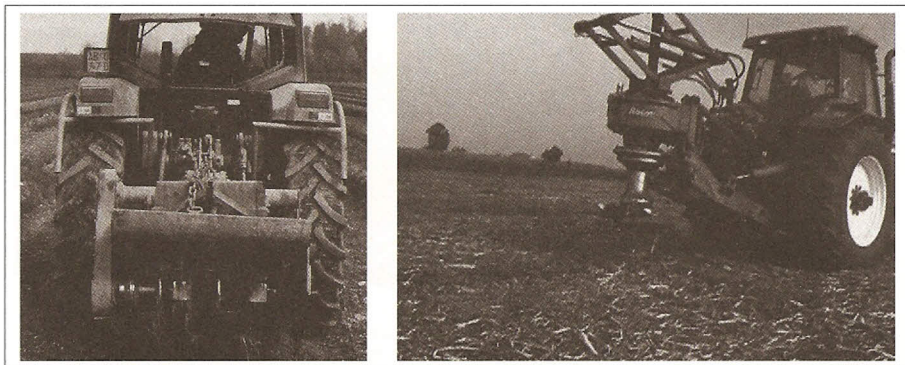


Fig. 5 MO portate dal trattore impiegabili per l'eliminazione delle ceppaie a fine turno: zappatrice che lavora la fila (a sinistra) (CNER); trivellatrice che disgrega le singole ceppaie (a destra) (Rotor)

sinistra). Nel primo caso l'intervento è abbastanza economico ma ha il limite di non raggiungere elevate profondità mentre con macchine che operano puntualmente su ciascuna ceppaia, i costi sono molto elevati (valutabili in 0,10-0,30 €/ceppaia). Purtroppo e a torto, il ripristino finale non è sempre conteggiato nel costo di produzione del cippato.

Affrontando in modo più approfondito l'operazione della raccolta, si rileva innanzi tutto che:

- per *CLRA a turno annuale o biennale* si organizzano *cantieri a operazioni riunite* (taglio e cippatura contemporanei) che contengono il costo di produzione grazie all'unico passaggio in campo. Causa l'umidità residuale ($U = 50-55\%$) risulta, tuttavia, problematica la conservazione del bio-combustibile che, dunque, va subito avviato all'impianto di conversione. Pertanto, questa soluzione diventa particolarmente interessante nel caso in cui l'impianto di conversione genera esclusivamente ET, finalizzata alla copertura di fabbisogni civili concentrati nei mesi invernali;
- per *CLRA a turno quinquennale* si adottano *cantieri a operazioni separate* (cippatura successiva al taglio), sminuzzando piante intere tagliate anche alcuni mesi prima ed essiccate all'aria aperta. Così operando, il bio-combustibile può essere immediatamente impiegato oppure stoccato senza particolari problemi; questa soluzione operativa, dunque, permettendo di rifornire con continuità l'impianto di conversione, ben si presta alla produzione di EE (o di ET + EE), attuata durante l'intero arco dell'anno. Al riguardo, va tuttavia considerata anche la possibilità di allestire cantieri a operazioni riunite, basati su MO in grado di produrre cippato più gros-

solano (*pezzatrici*) che, in virtù della maggiore permeabilità all'aria del bio-combustibile, facilitano l'essiccazione naturale in cumulo, riducendo i costi di stoccaggio/conservazione presso l'impianto.

CLRA a turno annuale e biennale. Tipicamente si raccolgono mediante apposite *taglia-cippatrici* montate su macchine semoventi o accoppiate a trattori.

Nel primo caso, si ricorre a falcia-trincia-caricatrici convenzionali (FTC) equipaggiate con "testate" specifiche per CLRA, messe a punto sia all'estero sia in Italia e oggetto di numerose sperimentazioni nelle nostre campagne (fig. 6, a sinistra). Questa soluzione, caratterizzata da elevati investimenti e grande produttività di lavoro (28-34 t_{tq}/h), meglio si adatta alla cippatura di polloni densi e di piccolo diametro (turno annuale). Recentemente è stata introdotta³ una testata che lavora polloni di $\varnothing_{\text{basale}} = 10-12$ cm (turno biennale); offre il vantaggio di minimizzare i costi di esercizio della FTC impiegabile anche su foraggi, risultando adatta per aziende di grandi dimensioni o per imprese di servizio agro-meccaniche.

Le MO accoppiate a trattori (di elevata potenza) sono, invece, caratterizzate da investimenti contenuti e bassa produttività (6-7 t_{tq}/h); presentano dimensioni più contenute e maggior manovrabilità e, quindi, appaiono indicate per piccoli appezzamenti le cui dimensioni non giustificano il trasferimento delle macchine semoventi. Una di queste MO, derivata da una cippatrice forestale, è anteriormente dotata di due tamburi verticali dotati di seghe circolari per il taglio basale dei polloni ed è semiportata da un trattore a guida reversibile (fig. 6, in mezzo); un altro modello di concezione innovativa per la produzione di cippato grossolano, è portato anteriormente dal trattore e presenta la sega circolare per il taglio dei polloni alla base di un cilindro verticale la cui superficie è avvolta da una robusta lama a spirale, dotata di coltelli verticali (fig. 6, a destra).

Tutti i cantieri di lavoro basati sull'impiego di queste MO comportano una prima movimentazione del bio-combustibile dall'appezzamento solitamente al centro aziendale (*trasporto intra-aziendale*, < 3,0 km). Successivamente, il trasporto *extra-aziendale* – cioè verso l'impianto di conversione che dovrebbe essere ubicato a non più di 50-60 km di distanza per contenere i costi di movimentazione – si realizza mediante uno o due *camion scarrabili* (32 e 64 m³, corrispondenti rispettivamente a 8-9 e 16-18 t_{tq} di cippato), *autocarri con rimorchio* o *autotreni* (80-90 m³, 20-30 t_{tq}), caricati in azienda mediante

³ Sviluppata dal Consorzio Nazionale Energie Rinnovabili – CNER, con sede a Padova (www.cner.it).

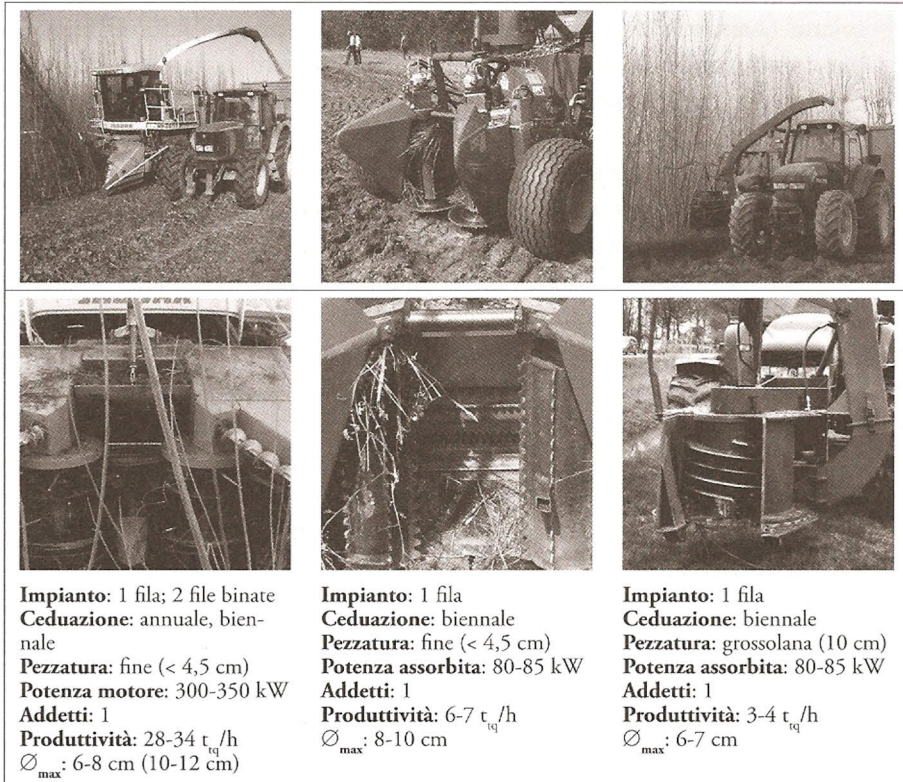


Fig. 6 Raccolta di pioppo in turno annuale e biennale. Da sinistra: (a) testata cippatrice montata su FTC semovente (Claas); (b) testata cippatrice semiportata dal trattore (Spapperi); (c) testata "pezzatrice" portata dal trattore (LWF)

trattore dotato di pala anteriore. Il costo specifico di trasporto praticato da imprese specializzate è variabile da zona a zona; per le regioni del nord-est, indicativamente, si può fare riferimento ai valori riportati in figura 7.

CLRA a turno quinquennale. Le dimensioni delle piante a fine turno non consentono l'uso di taglia-cippatrici ed è necessario ricorrere a MO forestali o a quelle normalmente impiegate nella pioppicoltura convenzionale. Nonostante le modalità operative più complesse, la rotazione prolungata offre alcuni vantaggi rispetto a quella più breve; alla miglior qualità del bio-combustibile si aggiunge una maggiore flessibilità gestionale, potendo posticipare la raccolta di uno o più anni senza mutare radicalmente l'assetto organizzativo. Da non sottovalutare, infine, la possibilità di produrre assortimenti legnosi misti (legna da ardere e cippato) da valorizzare in filiere energetiche a diverso valore aggiunto.

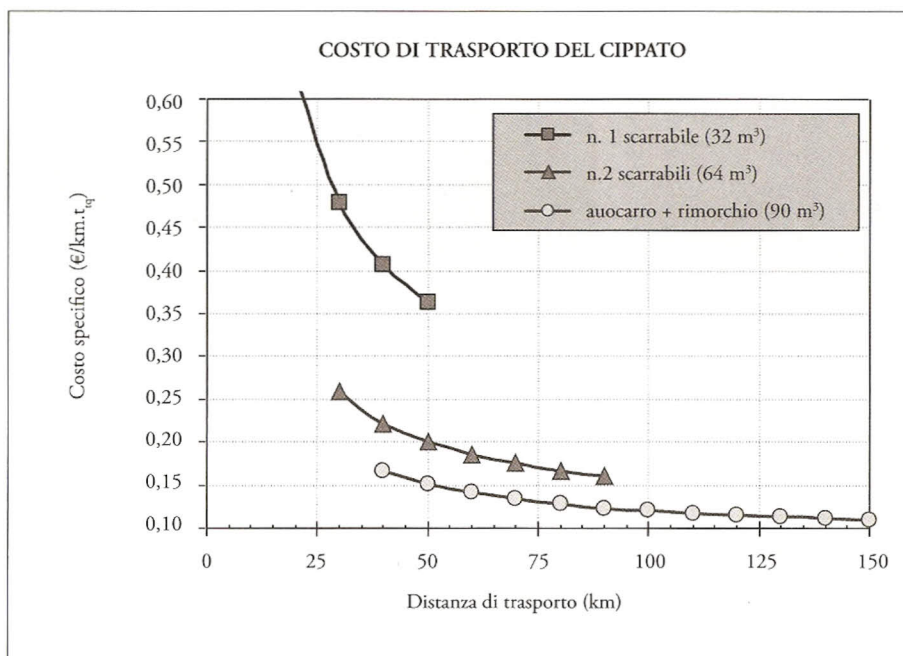


Fig. 7 Costi di trasporto del bio-combustibile cippato con mezzi diversi

I cantieri di lavoro sinora sperimentati sono fra loro simili, prevedendo una *macchina abbattitrice* (accoppiata a escavatori o motrici forestali) che taglia e accumula gli alberi (fig. 8); questi ultimi sono successivamente sminuzzati mediante *cippatrice* che opera in campo scaricando su *carri trainati* adibiti al trasporto intra-aziendale, piuttosto che a bordo campo scaricando il bio-combustibile direttamente su *autotreni*, deputati al trasporto verso l'impianto di conversione.

3.3 Altre biomasse legnose

Con quantità non trascurabili ma di difficile stima, possono concorrere al potenziale energetico di origine agricola:

- *piantagioni lineari*: colture arboree poste lungo il reticolo idrografico o la rete viaria, si suddividono in:
 - *siepi e filari tradizionali* (frangivento, siepi da legna ecc.). Le siepi da legna, per la cui formazione alcune Regioni riconoscono specifici contributi, sono costituite da uno o più filari di specie pollonifere (platano, salice, frassino, olmo, acero), governate a ceduo per delimitare gli appezzamenti coltivati. Poiché con turni di 5-6 anni la produzione raggiunge 2,5-3,5 t_{ss}

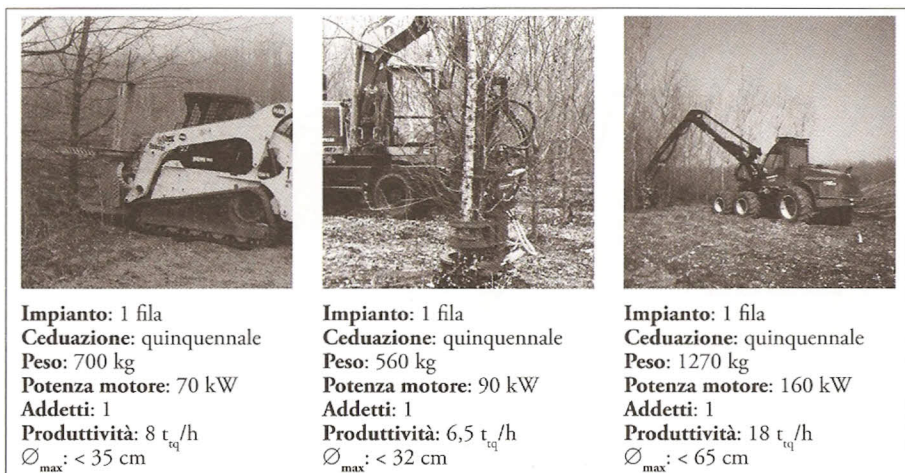


Fig. 8 Raccolta di pioppo in turno quinquennale. Da sinistra: abbattitrice-accumulatrice con sega a disco applicata a minicaricatore (Davco); abbattitrice-accumulatrice con cesoia applicata a escavatore gommato (Naarva); testa di abbattimento (feller-buncher) con sega a catena applicata a motrice forestale (Timberjack)

- di legna ogni 100 m lineari, con densità di siepi pari a 90-140 m/ha, una azienda agricola di pianura può disporre di 1,0-1,7 t_{iq}/ha-anno di legna;
- *fasce tampone*, piantate con lo specifico compito di difendere i corpi idrici superficiali dalla contaminazione di nutrienti di origine agricola o civile erano, un tempo, destinate alla produzione di legna da ardere. Tale pratica, progressivamente abbandonata, è stata recentemente rivalutata con il rilancio del legno cippato come bio-combustibile; con specie pollonifere, impiantate in fila singola su entrambi i lati dei fossati e ceduate ogni 6 anni, si raggiungono produzioni di 3,4-4,6 t_{ss} ogni 100 m lineari;
 - *formazioni riparali*: soprattutto nell'Italia settentrionale le pertinenze idrauliche dei fiumi sono ricche di coltivazioni arboree. La loro gestione, basata su tagli frequenti mediante cantieri di lavoro a elevato livello di meccanizzazione, è connessa con funzioni di sicurezza idraulica; ciò fa di tali piantagioni una fonte di bio-combustibile a costo spesso limitato al solo trasporto verso il luogo di stoccaggio o di trasformazione energetica;
 - *alvei fluviali*, sottoposti a ripulitura periodica o conseguente a piene da eventi alluvionali, i fiumi rappresentano una abbondante fonte di biomassa legnosa finora poco considerata ma potenzialmente interessante per l'impiego energetico, peraltro sostenuto da forti motivazioni di miglioramento della rete idraulica e, più in generale, di pubblica utilità. Dalla ripu-

litura degli alvei si possono mediamente produrre $50-70 t_{\text{tq}}/ha \cdot \text{intervento}$ (con punte di $180 t_{\text{tq}}/ha$) di biomassa residuale.

Per il recupero (raccolta, carico/trasporto) delle *piantagioni lineari*, i cantieri si basano sull'impiego di MO normalmente in uso nel settore agro-forestale; essi si differenziano per il livello di meccanizzazione raggiunto:

- *Basso* (B), adatto ad agricoltori part-time: l'abbattimento degli alberi e il loro accumulo in campo è eseguito da due addetti attrezzati con *motosega* di media potenza. La cippatura avviene in campo con *cippatrice* accoppiata a trattore (100 kW) e alimentata manualmente. Il trasporto intra-aziendale del bio-combustibile è eseguito mediante *carro trainato*, mentre quello all'impianto di conversione, è attuato mediante *autotreni* di grande capacità di carico;
- *Medio* (M), adatto a piccole imprese agro-meccaniche: per l'abbattimento e il concentramento si ricorre a una *testa-abbattitrice* (con cesoia idraulica) applicata a gru, montata su trattore (100 kW). Mediante un trattore con caricatore e rimorchio, le piante sono accumulate all'imposto ove una *cippatrice*, con braccio caricatore e azionata da trattore (150 kW), provvede alla sminuzzatura e al carico direttamente su *autotreni* adibiti al trasporto del bio-combustibile all'impianto di conversione;
- *Elevato* (E), adatto a grandi imprese agro-meccaniche: gli alberi sono abbattuti e concentrati mediante *testata-abbattitrice-accumulatrice* montata su motrice gommata dedicata (120 kW). Tramite un caricatore frontale di tipo industriale, gli alberi sono portati all'imposto per la cippatura/carico su autotreni. Quest'ultima operazione è eseguita con *cippatrice* dotata di braccio alimentatore e azionata da motore autonomo (350 kW).

Adottando cantieri a medio e elevato livello di meccanizzazione, l'accumulo in piazzale delle piante tagliate può durare anche alcuni mesi, risolvendo il problema dello stoccaggio e consentendo l'essiccazione naturale del materiale, così da produrre bio-combustibile di maggior pregio.

La produttività del lavoro dei tre cantieri di raccolta sopra descritti – valutata in recenti prove eseguite dal CNR – è indicata in tabella 8.

Anche per il recupero della biomassa legnosa presente negli *alvei dei fiumi* è possibile fare ricorso a MO impiegate nel settore agro-forestale, allestendo cantieri diversificati in funzione di alcuni aspetti, il primo dei quali è il *tipo di vegetazione*, presente nel sito oggetto di intervento. Questo aspetto si pone in termini sia di quantità di piante (prevalenza di piante vecchie oppure di piante giovani), sia di qualità (presenza di specie legnose pregiate oppure di scarso valore economico).

Si deve, poi, considerare il *tipo di taglio*, che può essere a raso (più sem-

| FASE OPERATIVA | LIVELLO MECCANIZZAZIONE | | |
|----------------|-------------------------|------------|-------------|
| | BASSO (B) | MEDIO (M) | ELEVATO (E) |
| | t_{tq}/h | t_{tq}/h | t_{tq}/h |
| Abbattimento | 1,6 | 3,8 | 7,3 |
| Movimentazione | - | 4,3 | 12,6 |
| Cippatura | 1,9 | 8,0 | 29,2 |

Tab. 8 *Produttività del lavoro nelle diverse fasi operative di cantieri per il recupero di piantagioni lineari. Dati riferiti a fasce tampone di platano con U = 50% e ceduo ogni 6 anni (Spinelli, Nati, Magagnotti, 2006)*

plice da eseguire ma pericoloso in termini di protezione idraulica e spesso più oneroso in termini di costi di meccanizzazione) o differenziato, nonché l'*accessibilità del sito* in cui operare. Quest'ultima si presenta solitamente buona per i corsi d'acqua di pianura, il più delle volte serviti da piste e strade di accesso transitabili anche da attrezzature e mezzi di trasporto pesanti.

In termini generali, il razionale recupero di questa biomassa legnosa prevede la cippatura in campo solo del materiale meno pregiato, cioè quello non commercializzabile né come legname da opera né come legna da ardere; le proporzioni fra gli assortimenti determinano l'equilibrio tra le diverse MO impiegate e condizionano il risultato economico del recupero.

Se gli autotreni per il trasporto del bio-combustibile sulle lunghe distanze non possono raggiungere il luogo in cui avviene la cippatura, l'esbosco del cippato fino all'imposto praticabile da tali veicoli si realizza con carri trainati tradizionali.

L'organizzazione del cantiere si differenzia, quindi, a seconda che la produzione di cippato sia *associata* o *non associata* a quella di assortimenti commerciali.

Qualora i cantieri di lavoro per la cippatura e per gli assortimenti commerciali operino in modo coordinato, si parla di *raccolta associata integrata*; viceversa, intervenendo in modo autonomo si attua la *raccolta associata non integrata*.

Di seguito si riporta la sommaria descrizione e le prestazioni (tab. 9) di tre cantieri di lavoro recentemente sperimentati dal CNR:

- *raccolta Non Associata* in un alveo stretto caratterizzato da sponda camionabile: prevede di abbattere le piante (prevalenza di robinia; 60 t_{tq}/ha) con una testa abbattitrice-accumulatrice su motrice a ruote dedicata (*feller-buncher leggero*), accumulandole in fasci e posizionandole in prossimità della camionabile; una *cippatrice semovente* (300 kW) sminuzza e carica il bio-combustibile direttamente nell'*autotreno* a essa affiancato;
- *raccolta Associata Integrata* in un alveo largo caratterizzata da sponda non ca-

| FASE OPERATIVA | TIPO DI RACCOLTA | | | | |
|----------------|-----------------------|-----------------------------|------------------|----------------------------------|------------------|
| | NON ASSOCIATA (NA) | ASSOCIATA INTEGRATA (AI) | | ASSOCIATA NON INTEGRATA (ANI) | |
| | CIPPATO (100%) | TRONCHI (20%) | CIPPATO (80%) | TRONCHI (40%) | CIPPATO (60%) |
| | ACCESSIBILITÀ BUONA | ACCESSIBILITÀ DIFFICILE | | ACCESSIBILITÀ DIFFICILE | |
| | t_{iq}/h | t_{iq}/h | t_{iq}/h | t_{iq}/h | t_{iq}/h |
| Abbattimento | 12 | - | 14 | 4 (*) | 5 |
| Concentrazione | - | 4 (#) | - | 10 | - |
| Cippatura | 14 | - | 14 | - | 6 |
| Esbosco | - | 6 | 14 | 7 | 6 |

(*) comprensivo di allestimento; (#) sezionatura

Tab. 9 *Produttività del lavoro nelle diverse fasi operative di cantieri per il recupero di biomassa in alvei fluviali. Dati riferiti a specie legnose spontanee diverse con U = 50% (Spinelli, 2005)*

mionabile con imposto distante 400 m: prevede: di abbattere le piante (prevalenza di pioppo; 87 t_{iq}/ha) con *feller-buncher pesante*, deponendole a terra e separando quelle da cippare da quelle da pezzare. Successivamente un addetto con *motosega* taglia gli assortimenti di valore dagli alberi migliori esboscando i tronchi con l'ausilio di un trattore con *rimorchio forestale* equipaggiato con gru. Terminata questa fase, interviene la *cippatrice semovente* (300 kW) che avanza lungo la pista e scarica il bio-combustibile su carri agricoli, trasportandolo fino all'imposto agibile ad *autotreni* per la lunga movimentazione;

- *raccolta Associata Non Integrata* in situazione analoga al caso precedente con piante più sviluppate (105 t_{iq}/ha), con possibilità di ottenere almeno il 40% di assortimenti commerciali: prevede l'abbattimento delle piante con *motosega* (2 addetti) che ne effettuano anche la pezzatura commerciale. Un *caricatore semovente* provvede a concentrare i diversi assortimenti in mucchi separati, depositandoli vicino alla pista di esbosco; da qui, un trattore con *rimorchio forestale* dotato di gru li preleva e li trasporta all'imposto. Le piante residue sono abbattute da un *feller-buncher leggero* che le riunisce in mucchi concentrando anche la ramaglia residuale dall'operazione precedente; su tale materiale interviene un trattore munito di gru di alimentazione, accoppiato a *cippatrice* che scarica il bio-combustibile su *carri* adibiti al suo trasporto fino all'imposto.

4. SOSTENIBILITÀ DELLE FILIERE

La sostenibilità delle filiere energetiche che prevedono l'impiego di bio-com-

bustibili legnosi provenienti dal settore agricolo deve fare i conti, oltre che sulla disponibilità di MO affidabili e organizzate in specifici cantieri di recupero, sulla possibilità di prospettare un *profitto adeguato* agli operatori agricoli intenzionati a investire in questa nuova attività produttiva.

Allo stato attuale, se gli aspetti relativi alla meccanizzazione risultano sufficientemente approfonditi grazie alla crescente reperibilità sul mercato di macchine appositamente concepite e realizzate, la convenienza economica di queste filiere non può essere data per scontata e impone riflessioni diversificate in relazione, innanzitutto, alla tipologia di biomassa con cui si ha a che fare.

Residui di potatura. Questo sottoprodotto agricolo, più di altri, si caratterizza per il fatto che, nell'ambito delle ordinarie operazioni colturali, deve essere in ogni caso sottoposto a operazioni meccaniche.

Il recupero per finalità energetiche risulta quindi avvantaggiato ma trova limiti, oltre che nel generale problema di collocare adeguatamente il biocombustibile prodotto, nelle dimensioni degli appezzamenti e nelle condizioni operative che, in molte realtà, ostacolano la meccanizzazione di qualsiasi operazione.

Laddove tali limiti non sussistano, o si manifestano con minore intensità, il recupero dei residui di potatura si effettua con le macchine e secondo le modalità organizzative precedentemente descritte, riassunte nello Schema 1.

Prove sperimentali – recentemente condotte in diverse Regioni italiane su residui di potatura di *vite* (produzione: 2,0 t_{sq}/ha; U = 50%) e di *olivo* (produzione: 3,6 t_{sq}/ha; U = 50%) – hanno fornito i risultati economici esposti in tabella 10 e dai quali si può rilevare che:

- *Costo di produzione.* Va detratta la spesa corrispondente all'operazione che si sarebbe eseguita nella gestione convenzionale del residuo (*costo evitato*), indicativamente pari a 50 e 30 €/ha, rispettivamente, per vite e olivo. Conseguentemente, a seconda della soluzione tecnica adottata, i costi di produzione netti risultano di 30-60 €/t_{ss} (olivo) e 110-170 €/t_{ss} (vite). Dunque, a parità di MO impiegata, il recupero delle potature di vite costa 3-4 volte di più di quella dell'olivo, coltura correlata a condizioni di lavoro meno gravose, resa di residui praticamente doppia e con produttività del lavoro delle MO superiore. Fa eccezione, per la vite, la soluzione che prevede lo scarico diretto del cippato su carro nel filare adiacente, il cui costo di produzione (64 €/t_{ss}) risulta contenuto; tuttavia, come accennato in precedenza, tale cantiere di lavoro può essere applicabile esclusivamente in vigneti di pianura facilmente accessibili e con interfilare particolarmente largo.

| FASE | RESIDUI DI POTATURA → MO e CANTIERI DI LAVORO |
|--------------------|--|
| Raccolta | MO: (a) rotoimballatrice [1 ul]; (b) rotoimballatrice leggera [1 ul]; (c) imballatrice a stantuffo [1 ul] |
| Carico e Trasporto | carico/trasporto intra-aziendale con (a): TR + caricatore frontale + eventuale carro [1 ul]; carico/trasporto intra-aziendale con (b) e (c): manuale + carro leggero [3 ul]; verso stoccaggi limitrofi (0,5-1,0 km) nei quali stoccare/cippare il bio-combustibile imballato, costituiti da: <ol style="list-style-type: none"> 1. <i>aree di primo stoccaggio</i> (20-25 m²/ha raccolto) nel centro aziendale o in prossimità degli appezzamenti e vicine a strade carrabili; 2. <i>aree intermedie</i>, dislocate nel territorio dominato dall'impianto, in base alla sua conformazione e alle necessità logistiche. Il carico/trasporto extra-aziendale (50-60 km) si realizza con TR + caricatore [1 ul] che carica cassone/i scarrabile/i (32-64 m ³) su autocarro per movimentazione verso: <ol style="list-style-type: none"> 3. <i>area di supporto logistico</i> dell'impianto per la cippatura finale a punto fisso. |
| Raccolta | MO raccogli-trincia-caricatrice con: (d) caricatore rigido [1 ul]; (e) big bag [1 ul]; (f) scarico diretto [1 ul]; |
| Carico e Trasporto | carico/trasporto intra-aziendale con (d): TR + carro leggero [2 ul]; carico/trasporto intra-aziendale con (e): TR + forca elevatrice [2 ul]; carico/trasporto intra-aziendale con (f): TR + carro leggero [1 ul]; verso aree limitrofe (0,5-1,0 km) nelle quali <ol style="list-style-type: none"> 1. stoccare il bio-combustibile cippato; 2. caricare il bio-combustibile sui mezzi di trasporto extra-aziendale. Il carico/trasporto extra-aziendale (50-60 km) si realizza con TR + caricatore [1 ul] che carica cassone/i scarrabile/i (32-64 m ³) su autocarro per movimentazione verso: <ol style="list-style-type: none"> 3. <i>area di supporto logistico</i> dell'impianto. |

Schema 1

- *Ricavi*. Con bio-combustibile a umidità $U = 50\%$ e prezzo medio di vendita pari a $30 \text{ €/t}_{\text{tq}}$, i ricavi raggiungono $60 \text{ €/t}_{\text{ss}}$, essendo escluso per questo tipo di biomassa qualsiasi forma di contributo.
- *Redditività*. Per la vite, tranne il caso della MO a scarico diretto su carro affiancato che sostanzialmente raggiunge il pareggio economico, il recupero dei residui di potatura comporta *perdite* di $50-110 \text{ €/t}_{\text{ss}}$, a seconda della MO impiegata; viceversa, per l'olivo, per alcune soluzioni, sono garantiti *guadagni* dell'ordine di $15-30 \text{ €/t}_{\text{ss}}$.

Colture Legnose a Rapido Accrescimento – La valutazione della convenienza economica delle CLRA è fortemente condizionata, oltre che dal prezzo di vendita, dalla resa di bio-combustibile e dal suo costo di produzione.

Tuttavia, il carattere ancora innovativo e, per certi versi, sperimentale che tali colture assumono in Italia non permette di utilizzare – come per le colture convenzionali – dati consolidati.

Sul fronte dei costi le possibilità offerte dai nuovi cloni di pioppo, il perfezionamento sia delle tecniche agronomiche sia delle operazioni di raccolta, determinano una progressiva riduzione dei costi di produzione. Del resto an-

| COLTURA | RESA | U | PREZZO [p] | | MO (*) | RACCOLTA | CARICO E TRASPORTO | COSTO EVITATO | COSTO TOTALE [c] | | REDDITIVITÀ [p - c] |
|---------|---------------------|----|-------------------|-------------------|--------|-------------------|-----------------------|------------------|------------------------|-------------------|------------------------|
| | t _{tq} /ha | % | €/t _{tq} | €/t _{ss} | | €/t _{tq} | €/t _{tq} | €/ha | €/t _{tq} | €/t _{ss} | €/t _{ss} |
| VITE | 2,0 | 50 | 30,0 | 60 | (b) | 23,0 | 60,3 | 50,0 | 58,3 | 117 | - 57 |
| | | | | | (c) | 45,0 | 66,5 | | 86,5 | 173 | - 113 |
| | | | | | (d) | 43,0 | 59,8 | | 77,8 | 156 | - 96 |
| | | | | | (e) | 45,0 | 36,5 | | 56,5 | 113 | - 53 |
| | | | | | (f) | 56,9 | | | 31,9 | 64 | -4 |
| OLIVO | 3,6 | 50 | 30,0 | 60 | (a) | 25,0 | 10,0 | 30,0 | 26,7 | 53 | 7 |
| | | | | | (b) | 21,4 | 8,6 | | 21,7 | 43 | 17 |
| | | | | | (c) | 15,1 | 7,9 | | 14,6 | 29 | 31 |
| | | | | | (d) | | 37,6 | | 29,3 | 59 | 1 |
| | | | | | (e) | | 30,5 | | 22,1 | 44 | 16 |

(*) Le MO e i cantieri di lavoro fanno riferimento alla descrizione riportata nel testo e alle produttività di lavoro di tabella 6

Tab. 10 *Costi e ricavi correlati al recupero dei residui di potatura di vite e olivo (Francescato et al., 2007; Porceddu e Boggia, 2006; Spinelli, Nati, Magagnotti, Civitarrese, 2006 e successive elaborazioni)*

che il prezzo di vendita del bio-combustibile, non esistendo ancora un mercato organizzato e strutturato, risulta altalenante e fortemente condizionato da parametri occasionali, spesso di carattere locale.

Per il legno cippato di diversa natura e provenienza, difatti, la “forbice” dei prezzi risulta molto aperta variando, indicativamente, tra *minimi di 20 €/t_{iq}* per forniture di bio-combustibile di *scarsa qualità a impianti di elevata potenza*, a *massimi di 50 €/t_{iq}* per bio-combustibile di *ottima qualità destinato a impianti di generazione termica di piccola e media taglia* (teleriscaldamento, caldaie consortili).

Al riguardo, il prodotto da CLRA in rotazione quinquennale, vista la buona qualità, è meglio valorizzabile rispetto a quello da ceduzione biennale e, ancor di più, a quello annuale.

Non va, peraltro, trascurato che la redditività delle CLRA si avvantaggia anche di *contributi pubblici*, quali l'applicazione di misure specifiche contenute nei Piani di Sviluppo Rurale di alcune Regioni o, in alternativa a questi ma assai meno consistenti, di contributi comunitari⁴.

Tale situazione sfumata – ancor più difficile da interpretare sulla scorta delle numerosissime pubblicazioni reperibili in argomento, molte delle quali risultano frammentarie, incomplete, generiche e addirittura contraddittorie nella formulazione dei risultati – non agevola certamente l'agricoltore nel decidere una svolta strategica per l'ordinamento colturale e per l'organizzazione produttiva della propria azienda.

Sulla base di queste considerazioni, nell'intento di fornire indicazioni utili agli agricoltori, pare opportuno prospettare un'analisi benefici/costi che, nel contesto di uno scenario aziendale noto (ordinamento produttivo, SAU, parco macchine esistente), calcoli la redditività della CLRA al progressivo aumento della SAU a essa dedicata.

Il tutto con riferimento al più diffuso pioppo in ceduzione biennale, alle macchine e ai cantieri descritti in precedenza, riassunti nello Schema 2.

La parziale conversione della superficie aziendale pare, allo stato attuale, la possibilità più realistica. È, difatti, ragionevole pensare che l'agricoltore posto di fronte alla scelta di abbandonare le colture tradizionali per effettuare un investimento impegnativo e ancora con margini di rischio come quello della produzione di pioppo da energia, voglia optare – almeno in fase iniziale – per una trasformazione limitata della propria SAU.

In tale situazione, del resto, l'agricoltore ha modo di impiegare alcune MO aziendali oltre che sulle colture tradizionali anche sulla CLRA e di eseguire le

⁴ Il Regolamento 1782/2003 prevede un contributo di 45 €/ha per le superfici seminate a colture energetiche purché vincolate a un contratto di ritiro della produzione da parte di una industria di trasformazione.

| FASE | CLRA → MO E CANTIERI DI LAVORO |
|--------------------|--|
| Raccolta | MO taglia-cippatrice: (a) montata su FTC semovente [1 ul]; (b) accoppiata a trattore [1 ul]; (c) pezzatrice accoppiata a trattore [1 ul] |
| Carico e Trasporto | <p>carico/trasporto intra-aziendale con (a), (b) e (c): TR + carri per foraggi [2-4 ul] verso stoccaggi limitrofi (< 3 km) nei quali stoccare il bio-combustibile cippato, costituiti da:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. <i>aree di primo stoccaggio</i> nel centro aziendale; 2. <i>aree intermedie</i>, dislocate nel territorio dominato dall'impianto, in base alla sua conformazione e alle necessità logistiche. <p>Il carico/trasporto extra-aziendale (50-60 km) si realizza con TR + caricatore [1 ul] che carica autotreni (80-90 m³) per movimentazione verso:</p> <ol style="list-style-type: none"> 3. <i>area di supporto logistico</i> dell'impianto con impiego immediato del bio-combustibile umido, a pezzatura fine (generazione ET) ovvero differito nel tempo del bio-combustibile umido a pezzatura grossolana (generazione EE; ET+EE) |

Schema 2

operazioni più specifiche (trapianto e raccolta) con macchine eventualmente acquistate ovvero (e più vantaggiosamente nelle conversioni di modesta entità) fornite da contoterzisti allo scopo attrezzati.

Su questi presupposti logici è stato messo a punto un modello di calcolo che, identificata la situazione operativa e selezionate le MO impiegate durante il ciclo produttivo della CLRA, valuta il rapporto costi/benefici della coltura energetica.

I grafici riportati in figura 9 e 10 costituiscono un esempio di tale modello, mostrando l'andamento del *costo di produzione* (€/t_{ss}) e della *redditività* o *profitto* (€/t_{ss}) del pioppo da energia introdotto in un'azienda maidicola di pianura con SAU di 60 ha partendo da 5 ha di SAU aziendale sottratta al mais e dedicata alla coltura energetica, fino ad arrivare alla conversione completa.

Relativamente ai *costi*, le curve sono ricavate prevedendo, durante i 15 anni del ciclo della CLRA, l'impiego del parco aziendale (TR, trattori e MO, macchine operatrici), distribuendo gli interventi delle macchine a seconda delle necessità colturali sia sulla quota di SAU a CLRA, sia su quella coltivata a mais (con tecnica colturale convenzionale), secondo quanto sinteticamente riportato in tabella 11.

Nell'esempio riportato dell'azienda da 60 ha, tenendo conto sia della specificità dell'operazione sia della probabile consistenza del parco macchine aziendale, il *trapianto* delle talee, parte del *trasporto* del bio-combustibile al centro di aziendale (distanza: 2 km) e il *ripristino finale* del terreno, sono operazioni sempre eseguite da imprese di servizi agro-meccaniche (contoterzisti), valorizzate nel calcolo del costo di produzione in base alle *tariffe* attualmente praticate nella Pianura Padana.

Per quanto riguarda i *fattori di produzione* (fertilizzanti, diserbanti, antiparassitari, acqua ecc.), l'analisi qui considerata tiene conto di *livelli medi di applicazione* (tab. 12). Nell'analisi economica tutte le voci di costo (investimenti, prezzi, tariffe ecc.) si riferiscono alle condizioni dell'autunno del 2006.

| OPERAZIONE | MACCHINE OPERATRICI | | TIPO ACCOPPIAMENTO (*), DIMENSIONI MO | IMPIEGO ANNI E [NUMERO DI PASSAGGI PER ANNO] | |
|-------------------------------|--------------------------|--------------------------------|--|--|---------------|
| | | | | SU CLRA | SU ALTRA SAU |
| Diserbo (rizomatose) | Irroratrice | parco aziendale | PP, 15 m, 1000 dm ³ | 1-2 [1] | - |
| Diserbo (non rizomatose) | Irroratrice | parco aziendale | PP, 15 m, 1000 dm ³ | 2 [1] | da 1 a 15 [1] |
| Lavorazione 1aria | Aratro versoio | parco aziendale | T, bivomere | 2 [1] | da 1 a 15 [1] |
| Lavorazione 2aria | Erpice rotativo | parco aziendale | PP, 2,40 m | 2 [1] | da 1 a 15 [1] |
| Concimazione P e K | Spandiconcime centrifugo | parco aziendale | PP, 1500 dm ³ | 2 [1] | da 1 a 15 [1] |
| Trapianto talee | Trapiantatrice | impresa di servizi | T, monofila | 2 [1] | - |
| Diserbo | Irroratrice | parco aziendale | PP, 15 m, 1000 dm ³ | 4-6-8-10-12-14 [1] | - |
| Concimazione N | Spandiconcime centrifugo | parco aziendale | PP, 1500 dm ³ | 3-5-7-9-11-13-15 [1] | da 1 a 15 [1] |
| Diserbo meccanico | Erpice rotativo | parco aziendale | PP, 2,40 m | da 2 a 15 [3] | - |
| Trattamento antiparassitario | Irroratrice | parco aziendale | PP, 15 m, 1000 dm ³ | 4-6-8-10-12-14 [1] | da 1 a 15 [1] |
| Taglio e cippatura | Testata cippatrice | parco az. o impresa di servizi | PP o su FTC semovente | 3-5-7-9-11-13-15 [1] | - |
| Carico e trasporto in azienda | Rimorchi | parco az. e impresa di servizi | T, 22 m ³ | 3-5-7-9-11-13-15 [1] | da 1 a 15 [1] |
| Ripristino finale | Zappatrice | impresa di servizi | P, 1,2 m | 15 [1] | - |

(*) PP = accoppiamento portato con pdp; P = accoppiamento portato senza pdp; T = accoppiamento trainato

Tab. 11 Azienda di pianura con SAU di 60 ha: MO e loro impiego nella meccanizzazione aziendale (SAU destinata a CLRA e su SAU destinata a mais)

| FATTORE PRODUTTIVO | UNITÀ MISURA | LIVELLO | | |
|-----------------------------------|--|---------|-------|------|
| | | BASSO | MEDIO | ALTO |
| Concimazione azotata di fondo | kg _N /ha | 80 | 100 | 120 |
| Concimazione fosfatica di fondo | kg _{P₂O₅} /ha | 210 | 260 | 310 |
| Concimazione potassica di fondo | kg _{K₂O} /ha | 180 | 230 | 280 |
| Concimazione azotata in copertura | kg _N /ha.anno | 50 | 60 | 70 |
| Antiparassitari | kg/ha-ciclo | 20 | 25 | 30 |
| Erbicidi | kg/ha-ciclo | 30 | 40 | 50 |
| Acqua | m ³ /ha-anno | 300 | 400 | 500 |

Tab. 12 Livelli dei fattori di produzione imputabili nel modello di calcolo

Sul fronte dei *ricavi*, per permettere una valutazione comparata, si sono considerate due diverse *produzioni di bio-combustibile*:

- *resa bassa*, 25 t_{tq}/ha-anno (U = 55%; 11,2 t_{ss}/ha-anno), corrispondente a quelle finora riscontrate e riportate in bibliografia;
- *resa elevata*, 35 t_{tq}/ha-anno (U = 55%; 15,7 t_{ss}/ha-anno), corrispondente a quella ottenibile con taluni nuovi cloni di pioppo.

Inoltre, le prestazioni economiche sono rappresentate sia:

- in presenza di benefici derivanti dai contributi pubblici (situazione di *mercato sostenuto*) – facendo, nella fattispecie, riferimento agli importi riconosciuti dalla Regione Lombardia (Piani di Sviluppo Rurale, PSR 2001-2006: fino a 3150 €/ha all'impianto; fino a 620 €/ha al 1° e 2° anno per manutenzioni; fino a 725 €/ha dal 1° al 15° anno per mancato reddito);
- in assenza di contributi (situazione di *mercato non sostenuto*).

La figura 9 evidenzia i risultati economici correlati all'impiego di *taglia-cippatrici di proprietà aziendale*, in particolare quella accoppiata a trattore.

Una alternativa assai diffusa (fig. 10) prevede, invece, che la *raccolta venga eseguita da imprese di servizi agro-meccaniche* mediante taglia-cippatrice montata su FTC.

Dal confronto fra le due forme organizzative applicate nell'azienda maidicola con SAU di 60 ha e nelle ipotesi di calcolo sopra menzionate, è possibile rilevare che:

- *Costo di produzione*: con resa di cippato *bassa* (25 t_{tq}/ha-anno) può ridursi fino a circa 70 €/t_{ss}; tuttavia, eseguendo la raccolta con MO di proprietà, tale valore viene raggiunto e si stabilizza solo convertendo almeno il 50% della SAU aziendale. Viceversa, ricorrendo anche per la raccolta a imprese di servizi agro-meccaniche, il costo di produzione risulta praticamente indipendente dalla quota di SAU convertita a CLRA. Con *resa elevata* (35 t_{tq}/ha-anno) il costo di produzione presenta evidentemente analogo andamento, ma si riduce fino a 50 €/t_{ss}.

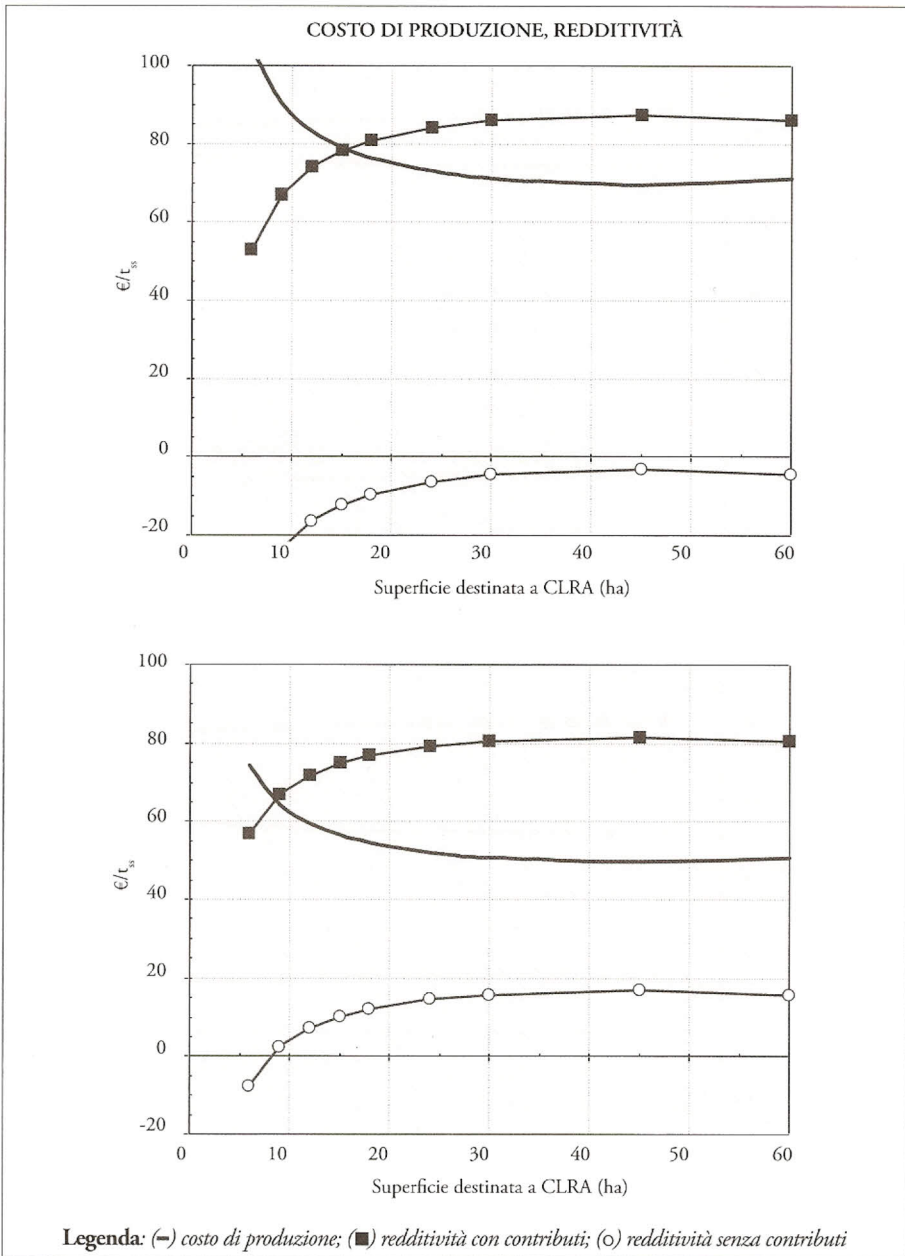


Fig. 9 Prestazioni economiche ottenibili nella riconversione a CLRA (pioppo biennale; 15 anni) di una azienda con SAU di 60 ha con resa di cippato pari a 25 t/ha-anno (in alto) e 35 t/ha-anno (in basso). Dal punto di vista organizzativo, con il parco macchine aziendale vengono svolte tutte le operazioni connesse alla CLRA compresa la raccolta (taglia-cippatrice accoppiata a trattore) con esclusione di: trapianto, trasporto (1 carro su 2 impiegati) e ripristino finale, eseguite da contoterzisti

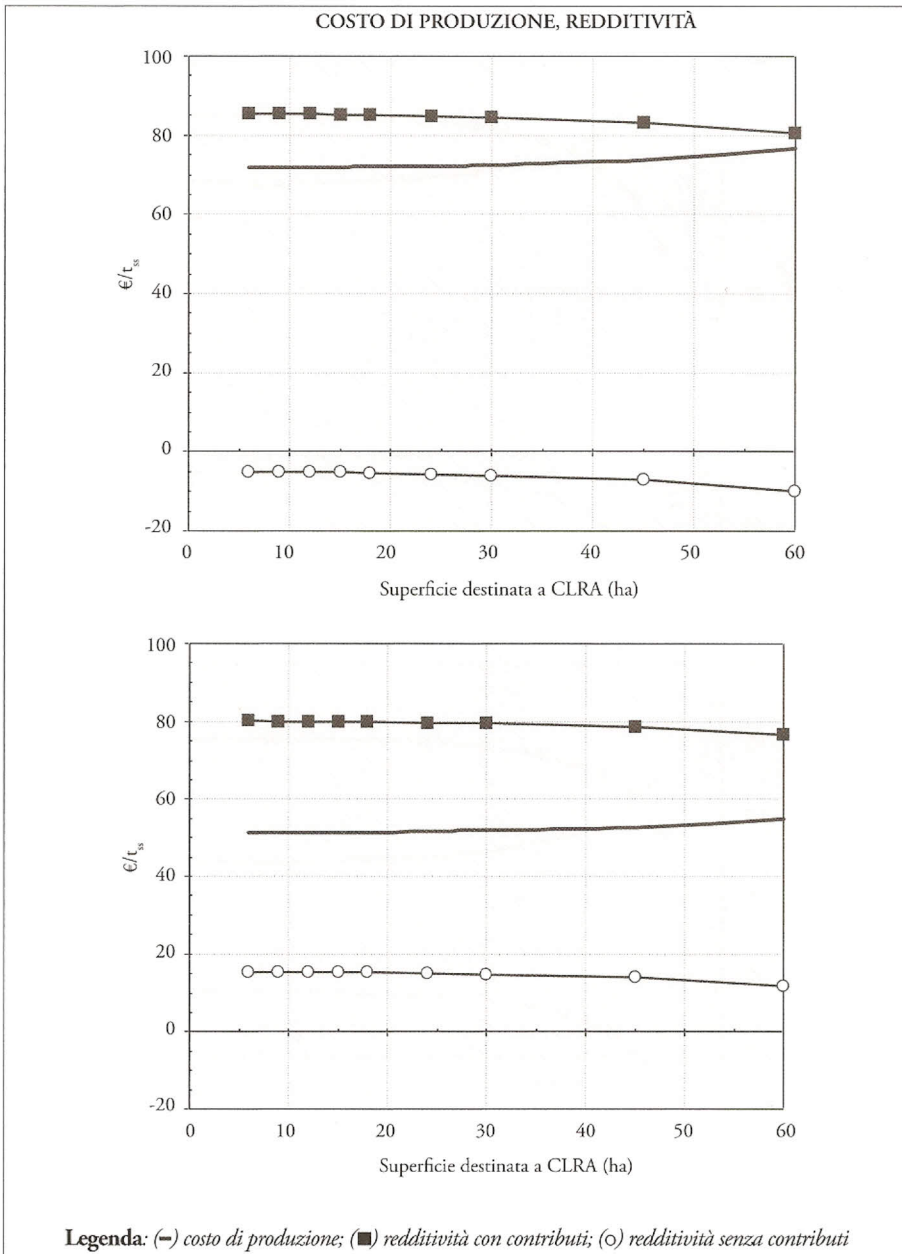


Fig. 10 Prestazioni economiche ottenibili nella riconversione a clra (pioppo biennale; 15 anni) di una azienda con sau di 60 ha con resa di cippato pari a 25 t/ha-anno (in alto) e 35 t/ha-anno (in basso). Dal punto di vista organizzativo, con il parco macchine aziendale vengono svolte tutte le operazioni connesse alla clra con esclusione di: trapianto, raccolta (taglia-cippatrice montata su FTC semovente), trasporto (2 carri su 3 impiegati) e ripristino finale, eseguite da contoterzisti

- *Ricavi*: sulla base di un *prezzo medio del bio-combustibile di 30 €/t_{tq}* (U=55%), il ricavo derivante dalla vendita del bio-combustibile risulta pari a *67 €/t_{ss}*. A questa entrata vanno ad aggiungersi i contributi pubblici (quelli massimi ottenibili con le misure del PSR 2001-2006 della Regione Lombardia negli esempi riportati) pari a *92 e 66 €/t_{ss}* per rese di cippato, rispettivamente, basse (*25 t_{tq}/ha-anno*) ed elevate (*35 t_{tq}/ha-anno*).
- *Redditività*: in assenza di contributi pubblici, la produzione di cippato rappresenta il parametro determinante. Difatti *per rese basse, il pareggio economico viene sfiorato* – ma di fatto non raggiunto – sia nel caso di raccolta effettuata da imprese di servizio mediante testata + FTC, sia nel caso di taglia-cippatrice accoppiata di proprietà aziendale; in quest'ultima forma organizzativa, tuttavia, è indispensabile minimizzare i costi di produzione e, quindi, convertire a CLRA almeno 30 ha (50%) della SAU totale. Nonostante l'assenza di sostegno, *il profitto derivabile dalla coltura diventa positivo* (anche se per soli *15-18 €/t_{ss}*) adottando cloni di pioppo in grado di garantire rese elevate. Entrando in gioco contributi pubblici, le performances economiche della coltura subiscono un netto miglioramento, assestandosi su *80-85 €/t_{ss}*, indipendentemente dalla quota di SAU convertita nel caso di massiccio ricorso a contoterzisti, ma con almeno il 50% destinata a CLRA avendo investito nell'acquisto di una taglia-cippatrice aziendale.

Generalizzando e riferendo tali risultati alla superficie coltivata è possibile concludere che:

- disponendo di impianti con rese di cippato dell'ordine di *25 t_{tq}/ha-anno* l'agricoltore ottiene profitti solo grazie ai contributi pubblici, raggiungendo *900-950 €/ha-anno* se gli incentivi risultano pari a quelli massimi riconosciuti dalla Regione Lombardia fino al 2006;
- disponendo di cloni in grado di fornire *35 t_{tq}/ha-anno* di cippato un modesto guadagno (*250-300 €/ha-anno*) è raggiungibile anche in situazione di mercato non sostenuto; naturalmente, i profitti possono raggiungere valori molto più elevati (*1200-1300 €/ha-anno*) qualora si acceda ai predetti contributi.

È, infine, interessante rilevare che – adottando i medesimi parametri di calcolo – in aziende molto estese per l'agricoltura italiana (SAU di 250 ha), la raccolta del pioppo mediante operatrici aziendali di grande produttività (taglia-cippatrici su FTC) raggiunge – in assenza di contributi pubblici – il pareggio economico solo su impianti con resa di almeno *35 t_{tq}/ha-anno* e convertendo non meno del 40% della SAU a CLRA. La verifica numerica conferma, dunque, che tale soluzione operativa resta al momento adottabile solo da imprese di servizi agro-meccaniche.

Altre biomasse legnose. Come già precedentemente accennato, la valorizzazione delle *piantagioni lineari* per biomassa da energia, rappresenta una possibilità meritevole di attenzione, perfezionabile dal punto di vista tecnico ma sin da ora realizzabile ricorrendo a MO in uso nel settore forestale e allestendo cantieri a diversa intensità di meccanizzazione.

Tali soluzioni, oggetto di recenti prove sperimentali condotte su fasce tampone di platano, in fila singola e tagliato a 6 anni di età (produzione: 6,7-9,2 $t_{tq}/100$ m lineari a $U = 50-53\%$), hanno fornito i risultati economici esposti in tabella 13, dalla quale si evince che:

- *Costo di produzione:* il progressivo incremento del livello di meccanizzazione determina una riduzione sensibile (circa 3 volte) del costo di produzione che, nel caso di imprese di servizi agro-meccanici raggiunge 20-25 €/t_{tq}. Ciò grazie, soprattutto, alla grande produttività della cippatrice se-movente.
- *Ricavi:* come per i residui di potatura, anche in questo caso disponendo di bio-combustibile a umidità $U = 50\%$ collocabile sul mercato a un prezzo medio di vendita di 30 €/t_{tq}, i ricavi raggiungono 60 €/t_{ss}, essendo esclusa qualsiasi forma di contributo.
- *Redditività:* nelle attuali condizioni, la manutenzione delle fasce tampone in fila singola genera una *modesta redditività* (circa 15 €/t_{ss}) solo allestendo cantieri di elevata produttività e sottoponendo le MO a elevati impieghi annui.

Restando nell'ambito delle biomasse legnose di origine agricola, alcune interessanti valutazioni sono state recentemente formulate anche per il materiale recuperabile dagli *alvei fluviali*. Tali calcoli economici, riportati in tabella 14, permettono di concludere quanto segue:

- *Costo di produzione:* a seconda delle tecniche adottate, dipendenti dalle condizioni in cui si va a operare, la produzione di bio-combustibile cippato varia da 40 (raccolta Non Associata) e 65 €/t_{ss} (raccolta Associata Non Integrata).
- *Ricavi:* come per i materiali precedenti, dal cippato (umidità $U = 50\%$) si possono ricavare 30 €/t_{tq} (60 €/t_{ss}), essendo anche in questo caso esclusa qualsiasi forma di contributo.
- *Redditività:* la produzione di cippato dal materiale recuperabile lungo le sponde dei corsi d'acqua è interessante caratterizzandosi per una, seppur *modesta, redditività* (20 €/t_{ss}). Va, al riguardo, osservato che il ridotto o mancato guadagno correlabile alla raccolta integrata risulta, in termini di operazione complessiva, compensata dalla valorizzazione (valutabile in 100-120 €/t_{ss}) della biomassa destinata ad assortimenti commerciali.

| SPECIE | RESA | U | PREZZO [P] | | LIVELLO MECCANIZZAZIONE | ABBATTIMENTO | MOVIMENTAZIONE | CIPPATURA | COSTO TOTALE [C] | | REDDITIVITÀ [P - C] |
|---------|------------------|----|----------------|----------------|----------------------------|----------------|----------------|----------------|---------------------|----------------|------------------------|
| | $\tau_{tq}/100m$ | % | €/ τ_{tq} | €/ τ_{ss} | | €/ τ_{tq} | €/ τ_{tq} | €/ τ_{tq} | €/ τ_{tq} | €/ τ_{ss} | €/ τ_{ss} |
| PLATANO | 8,0 | 50 | 30,0 | 60 | (B) | 28,8 | - | 43,2 | 71,9 | 144 | - 84 |
| | | | | | (M) | 18,4 | 15,1 | 10,9 | 44,4 | 89 | - 29 |
| | | | | | (E) | 11,9 | 5,1 | 5,4 | 22,4 | 45 | 15 |

(*) I cantieri di lavoro fanno riferimento alla descrizione riportata nel testo e alle produttività di lavoro di tabella 8

Tab. 13 *Costi e ricavi correlati alla produzione di bio-combustibile cippato da siepi lineari mediante cantieri di lavoro a differente intensità di meccanizzazione (Spinelli, Nati, Magagnotti, 2006 e successive elaborazioni)*

| SPECIE | RESA | U | PREZZO [P] | | RACCOLTA (*) | ABBATTIMENTO | CIPPATURA | ESBOSCO | COSTO TOTALE [C] | | REDDITIVITÀ [P - C] |
|-----------|-----------------|----|-------------------|-------------------|--------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------------|
| | τ_{tq} /ha | % | €/t _{tq} | €/t _{ss} | | €/t _{tq} | €/t _{tq} | €/t _{tq} | €/t _{tq} | €/t _{ss} | €/t _{ss} |
| SPONTANEE | 60,0 (°) | | | | (NA) | 10,8 | 7,8 | - | 18,6 | 38 | 22 |
| | 80,0 (§) | 50 | 30,0 | 60 | (AI) | 9,3 | 7,8 | 7,1 | 24,2 | 50 | 10 |
| | 63,0 (#) | | | | (ANI) | 12,0 | | 19,2 | 31,2 | 63 | - 3 |

(*) I cantieri di lavoro fanno riferimento alla descrizione riportata nel testo e alle produttività di lavoro di tabella 9; (°) pari al 100% della massa complessiva; (§) pari all'80% della massa complessiva; il restante 20% viene destinato ad assortimenti commerciali (valore: 50-60 €/t_{tq}); (#) pari all'60% della massa complessiva; il restante 40% viene destinato ad assortimenti commerciali (valore: 50-60 €/t_{tq})

Tab. 14 *Costi e ricavi correlati alla produzione di bio-combustibile cippato da alvei di fiume mediante cantieri di lavoro per assortimenti legnosi diversi (Spinelli, Nati, Magagnotti, Moscatelli, 2006 e successive elaborazioni)*

5. CONCLUSIONI

In un contesto generale in cui la collettività ha, finalmente, percepito nella cruda realtà la situazione energetica e ambientale del nostro pianeta e le drammatiche prospettive di un futuro sempre meno indeterminato e lontano, *tutte le biomasse* diventano – insieme ad altre Fonti Energetiche Rinnovabili – una risorsa indispensabile e di eccezionale importanza.

Difatti, la UE riconosce alle biomasse – che attualmente contribuiscono per il 4% al bilancio energetico comunitario – un ruolo strategico di primo piano e rivolge pressanti inviti affinché tutti gli Stati membri accolgano con tempestivi interventi legislativi le direttive comunitarie e gli obiettivi in esse prefissati.

L'Italia – da tempo – si è dotata di Programmi e Piani, peraltro raramente pienamente osservati e attuati, per lo sviluppo delle bio-energie e del loro contributo al bilancio energetico nazionale (attualmente stimato nel 2,7%), che dovrebbe raggiungere il 4-6% nei prossimi 12 anni.

Tale scenario prospetta in modo chiaro che, per l'intero comparto agricolo comunitario, le biomasse rappresenteranno una grande opportunità di sostentamento e di sviluppo.

In particolare, le biomasse legnose, siano esse sottoprodotti colturali oppure derivate da coltivazioni dedicate – considerata la loro abbondanza, diffusione e diversificazione – rappresentano una “ricchezza” che il settore agricolo può senz'altro valorizzare anche in prospettiva di una più che probabile ascesa della domanda di bio-combustibili.

Tuttavia, la traduzione in realtà delle filiere bio-energetiche non può avvenire in modo casuale e incontrollato; al contrario, va opportunamente *governata e coordinata* intervenendo a diversi livelli con obiettivi chiari e azioni puntuali e incisive.

Dal punto di vista *tecnologico*, si è allo stadio iniziale e molta strada va ancora compiuta per ottimizzare e migliorare l'efficienza delle filiere. La rigorosa valutazione dei bilanci energetici e ambientali, la messa a punto e la standardizzazione delle operazioni di campo, lo studio e la commercializzazione di macchine e impianti specificatamente dedicate, l'aumento della produttività e della qualità del lavoro, l'accettabilità sociale costituiscono solo alcuni obiettivi da perseguire nell'immediato futuro.

Tra le varie opzioni prospettabili occorre, in definitiva, scegliere alcune filiere che – studiate e applicate in ben precisi ambiti territoriali (*distretti energetici*), definiti anche con l'ausilio di tecniche GIS – siano in grado di garantir-

ne il successo in termini di *sistema produttivo*, rispondendo cioè alle esigenze di tutte le componenti coinvolte (produttori di materia prima, produttori di energia, figure e imprese di supporto, utenti finali).

Tale scelta va fatta privilegiando le *filiera aziendali* nelle quali, grazie alla conversione in *micro-impianti*, il “prodotto energia” può restare sotto il controllo del settore agricolo; esse risultano più remunerative ma anche più difficili da attuare per l’elevato livello di imprenditorialità richiesto e le barriere (a esempio, di ordine normativo) che ostacolano la loro diffusione.

Ma la selezione filiera-distretto risulta urgente anche nel caso delle *filiera agro-industriali* nelle quali l’agricoltura non trae direttamente beneficio dalla conversione energetica in *macro-impianti*. Al momento, per le biomasse legnose, sono proprio queste le filiere più diffuse; esse, difatti, risultano più accessibili dal singolo agricoltore, abituato ad assumere il ruolo di fornitore di materia prima per altri settori produttivi.

In questo caso, la necessità di garantire agli agricoltori una *adeguata redditività* appare tanto evidente quanto, in alcune situazioni operative e con determinate biomasse, *tutt’altro che scontata*. Ulteriore conferma, questa, che le filiere per bio-combustibili necessitano di essere ancora “costruite” e ampiamente affinate.

In tale direzione – ferma restando l’esigenza che nell’ambito delle agro-energie l’agricoltura riesca sempre più a *fare sistema* e valorizzi lo strumento della sottoscrizione di *contratti di coltivazione* – occorre evidentemente puntare su entrambe le componenti che concorrono alla redditività:

- *riduzione del costo di produzione* del bio-combustibile, diversamente perseguibile a livello tecnologico a seconda se trattasi di biomassa da recuperare (residui di potatura, piantagioni lineari, biomassa da alvei) o da colture dedicate (CLRA). Per queste ultime, a livello agronomico, risulta fondamentale l’*aumento delle prestazioni* delle specie legnose coltivate (resa, resistenza alle avversità, rusticità ecc.);
- *aumento del valore medio* del bio-combustibile, ottenibile, da un lato e come già avviene in altri Paesi, con la formazione di un *mercato specifico* e, dall’altro, con l’adozione di *contributi economici uniformi e permanenti* nonché di *provvedimenti normativi e legislativi semplici e lineari* a sostegno del bio-combustibile di produzione nazionale.

BIBLIOGRAFIA

- CTI – COMITATO TERMOTECNICO ITALIANO (2003): *Biocombustibili: specifiche e classificazione*, R03/1, pp. 1-53.
- FIALA M., PELLIZZI G., RIVA G. (1994): *Le biomasse di origine agricola. Potenzialità ener-*

- getica da biomasse nelle Regioni italiane*, Rapporto Conclusivo Contratto ENEA-AIGR, pp. 1-150, Allegati Tecnici (4 voll.).
- FIALA M. (2005): *Teleriscaldamento da biocombustibili*, AIIA2005 - L'ingegneria agraria per lo sviluppo sostenibile dell'area mediterranea, Atti Convegno, Catania, 27-30 giugno 2005, pp. 1-11.
- FIALA M. (2006): *Utilizzazione delle biomasse legnose e dei sottoprodotti agricoli*, - AISSA L'agricoltura per l'energia rinnovabile: i futuri scenari, Atti Workshop, Potenza, 23-24 novembre, pp. 79-86.
- FIALA M. (2006): *Il potenziale energetico delle biomasse legnose di origine agricola*, DataBase su base provinciale, Dati ISTAT 2005 (lavoro non pubblicato).
- FRANCESCATO V. ET AL. (2007): *Il cippato di sarmenti di vite costa meno se raccolto in linea*, «L'Informatore Agrario», 9.
- ITABIA (2003): *Le biomasse per l'energia e l'ambiente. Rapporto 2003*, Ministero dell'Ambiente e delle Tutela del Territorio, pp. 1-105.
- LAZZARI P. (2000): *Realizzazione di sistemi di raccolta di residui agricoli lignocellulosici (potature)*, in *Valorizzazione energetica delle biomasse agro-forestali*, «I Georgofili. Quaderni», 1999, iv, Firenze, pp. 183-197.
- PARI L., ROSSI F., GALLUCCI F. (2006): *Cresce la domanda di biomassa utilizzata a fini energetici*, «L'Informatore Agrario», 28, pp. 27-30.
- PELLIZZI G. (2001): *Tecnologie energetiche per l'agricoltura*, «Mondo Macchina», 2, 3 e 4, Parte I, II e III.
- PELLIZZI G. (2003): *Agricoltura, energia e sviluppo sostenibile: una sfida per il futuro*, Seduta inaugurale della Sezione nord-ovest dell'Accademia dei Georgofili, Sala Napoleonica, Università degli Studi di Milano, 17 febbraio 2003.
- PELLIZZI G. (2004): *Energie rinnovabili, una occasione*, «L'Informatore Agrario», 9, p. 5.
- PORCEDDU P.R., BOGGIA A. (2006): *La raccolta delle biomasse delle potature dell'olivo a fini energetici: un'analisi tecnico-economica*, «Estimo e Territorio», 12, pp. 29-35.
- SPERANDIO G., VERANI S. (2003): *Short rotation forestry: valutazione economica della filiera*, I Parte, «Mondo Macchina», 1, pp. 54-57, II Parte, «Mondo Macchina», 2, pp. 26-30.
- SPINELLI R. (2005): *Biomassa legnosa e manutenzione degli alvei fluviali*, «Alberi e Territorio», 6, pp. 18-22.
- SPINELLI R., NATI C., MAGAGNOTTI N., CIVITARRESE V. (2006): *Produrre biomassa dai sarmenti di vite*, «L'Informatore Agrario», 28, pp. 36-39.
- SPINELLI R., NATI C., MAGAGNOTTI N., MOSCATELLI M. (2006): *La raccolta del pioppo a ciclo breve*, «L'Informatore Agrario», 28, pp. 32-35.
- SPINELLI R., NATI C., MAGAGNOTTI N. (2006): *Raccolta delle siepi lineari, meccanizzare conviene*, «L'Informatore Agrario», 38, pp. 43-46.

ISBN 978-88-596-0438-9



9

788859604389

10,00 €