





# I GEORGOFILI

Quaderni  
2007-II



## PRODUZIONE DI ENERGIA DA FONTI BIOLOGICHE RINNOVABILI 2 - Le risorse primarie

Firenze, 15 febbraio 2007

**P**  
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](mailto:info@polistampa.com) - [www.polistampa.com](http://www.polistampa.com)  
Sede legale: Via Santa Maria, 27/r - 50125 Firenze

ISBN 978-88-596-0439-6

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

GIULIANO MOSCA <i>Produzione di energia da risorse primarie</i>	7
SALVATORE L. COSENTINO, VENERA COPANI, CRISTINA PATANÈ, MARIADANIELA MANTINEO, GIUSEPPINA M. D'AGOSTA <i>Le colture da biomassa per energia per gli ambienti italiani. Attualità e prospettive</i>	15
STEFANO BONA, LUCIA COLETTI, SARA GABRIELLA SANDRINI, ANDREA CALGARO, ALESSANDRA BRIGI <i>Olio grezzo come combustibile</i>	49
ENRICO BONARI, EMILIANO PICCIONI, GIORGIO RAGAGLINI, RICARDO VILLANI <i>Colture dedicate e "vocazionalità" delle aree</i>	77
FRANCO MIGLIETTA, SIMONA CASTALDI, FRANCESCO PRIMO VACCARI <i>Biocarburanti e bilanci di emissione di gas a effetto serra: il ruolo del protossido di azoto (N<sub>2</sub>O)</i>	91
SANZIO BALDINI, CHIARA ARTESE, GIUSEPPE LAUDATI, RODOLFO PICCHIO, FILIPPO STIRPE <i>Individuazione, quantificazione e localizzazione delle biomasse forestali utilizzabili</i>	101



## Produzione di energia da risorse primarie

### INTRODUZIONE

*Bioenergia* è una parola entrata di recente nel linguaggio quotidiano, inserita sulla base della crescente attenzione per i temi della sostenibilità ed energia rinnovabile, ai fini della conservazione dell'ambiente. Il termine è utilizzato in modo generico per definire l'energia ricavabile dalle biomasse. Nel Decreto Legislativo 29 dicembre 2003, n. 387 (che recepisce la Direttiva 2001/77/CE sulla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili), le biomasse vengono definite come *la parte biodegradabile dei prodotti, rifiuti e residui provenienti dall'agricoltura (comprendente sostanze vegetali ed animali), dalla selvicoltura e dalle industrie connesse, nonché la parte biodegradabile dei rifiuti industriali ed urbani*. La definizione di biomasse comprende quindi le sostanze aventi una comune matrice organica derivante, direttamente o indirettamente, dal processo fotosintetico. Vengono pertanto incluse la frazione organica dei rifiuti solidi urbani, i residui forestali e agricoli (residui di potature), gli scarti industriali, specie quelli della lavorazione del legno e dell'agroalimentare (oli esausti di friggitoria) e inoltre i prodotti di colture dedicate, erbacee e arboree, cioè specificatamente destinate alla produzione di energia rinnovabile.

A seconda dell'origine, le biomasse vengono così raggruppate in 5 grandi comparti: a) forestale (residui delle operazioni selvicolturali o delle attività agro forestali, utilizzazione di boschi cedui); b) agricolo (residui colturali provenienti dall'attività agricola o da colture dedicate di specie lignocellulosiche, oleaginose e alcoligene); c) zootecnico (reflui animali solidi e liquidi); d) indu-

\* Dipartimento di Agronomia Ambientale e Produzioni Vegetali, Agripolis, Università degli Studi di Padova

striale (residui provenienti dalle industrie del legno, della carta e agroalimentari); e) rifiuti urbani (residui di manutenzione del verde pubblico e privato nonché frazione umida dei rifiuti solidi urbani).

Dalle diverse fonti di biomasse quindi si può ottenere un'eterogenea gamma di biocombustibili, raggruppabili in tre grandi categorie: solidi (legno, residui agricoli, etc.); liquidi (detti anche biocarburanti) cioè biodiesel, bioetanolo, oli vegetali; gassosi (biogas).

## 1. LE CAPACITÀ DI PRODUZIONE ESISTENTI O PROGRAMMATE AL 2006 E LA SITUAZIONE ENERGETICA DELL'UE

Tre riforme della PAC e una riforma dell'OCM dello zucchero hanno profondamente modificato l'ambito normativo comunitario. Pertanto l'evoluzione della regolamentazione comunitaria negli ultimi 15 anni ha indotto i vari Paesi ad attivare nuovi sistemi di produzione, tra cui le filiere della bioenergia. Nell'UE l'industria dei biocarburanti si sta sviluppando sensibilmente sotto l'influenza di misure legislative incitative od obbligatorie.

Ancora oggi il petrolio è la fonte primaria di energia più consumata e l'UE incide per un 15% a livello mondiale. Ciò spiega l'interesse crescente nei confronti delle fonti alternative, ovvero da biomassa.

Questa energia per la maggior parte è fornita sotto forma liquida (42%), seguita dal gas (24%) e dall'elettricità (20%). L'obiettivo annunciato dalla UE è di coprire entro il 2020 il 20% dei propri consumi attraverso la produzione di energia rinnovabile, obiettivo piuttosto ambizioso considerato che nel 2003 l'energia rinnovabile rappresentava solo il 4% di quella utilizzata. Considerata la preponderante disponibilità sul mercato della forma liquida, in questo contesto si considereranno in modo particolare due fonti di energia rinnovabile: il biodiesel e il bioetanolo.

## 2. LE SPECIE VEGETALI DEDICATE: SOSTENIBILITÀ ED ENERGIA

Le colture da dedicare specificatamente allo scopo di generare i richiesti quantitativi di biodiesel ed etanolo sono le oleifere (colza, girasole e soia), i cereali e la barbabietola da zucchero.

Accanto alle specie più conosciute si cerca l'adattamento di altre piante erbacee quali *Panicum virgatum*, *Sorghastrum nutans*, *Miscanthus sinensis* (Gra-



*minaceae*), *Jatropha curcas* (*Euphorbiaceae*) accanto ad associazioni vegetazionali naturali che promettono produzioni di energia ben superiori (+238%) rispetto alle singole colture convenzionali (Tilman et al., 2006).

*Low Input e High Diversity* (LIHD) sono due chiavi di lettura per produrre energia in modo sostenibile, tramite le cosiddette “grassland biomass”, associazioni vegetali spontanee presenti anche in zone degradate e sequestrare CO<sub>2</sub>. Ciò può avvenire senza interferire in alcun modo con la filiera della produzione alimentare dato che si può non ridurre la biodiversità attraverso l’insediamento in ampie fasce di territorio di nuovi sistemi produttivi semplificati da destinare alla produzione di bioenergia.

Il termine “biomass recalcitrance” indica la naturale resistenza della parete cellulare dei vegetali che si contrappone allo smontaggio microbico-enzimatico al fine di produrre biofuels e altri biomateriali. Tale caratteristica influenza infatti la penetrazione liquida e/o l’accessibilità enzimatica al substrato, oltre che l’attività demolitiva fermentativa dello stesso e i costi di conversione della lignocellulosa in bioetanolo (Himmel et al., 2007). Le cellule microbiche in futuro dovranno eseguire reazioni di conversione multipla con elevata efficienza e resistere alle condizioni del processo. Queste innovazioni richiedono delle approfondite conoscenze dei processi cellulari e metabolici. Nuove generazioni di enzimi idrolitici funzioneranno vicino ai loro limiti teorici e le piante da energia saranno modificate per servire da substrati migliorati per queste nuove generazioni enzimatiche. Inoltre è verosimile che delle nuove piante da energia dovranno proteggere i geni che codificano per la sintesi degli enzimi dell’autodemolizione attivati prima della raccolta o alla naturale conclusione del ciclo vegetativo. Tutto ciò consentirebbe di ottenere, a partire da lignocellulosa, della bioenergia in forma sostenibile.

### 3. LA DESTINAZIONE AMBIENTALE DEI BIOCARBURANTI

La sfida climatica vedrà perdenti alcuni comparti produttivi nonché Stati, mentre sono destinati invece a emergere altri settori. Dal Ministero dell’Ambiente si sostiene che i biofuels saranno tra i “vincitori”, con un impatto positivo anche per le imprese agricole e i produttori/trasformatori di biodiesel e bioetanolo/ETBE.

Con l’obiettivo generale di ridurre le emissioni di CO<sub>2</sub> nell’atmosfera ci si propone di stimolare un rilancio del sistema agro forestale, con conseguente ottenimento di energia da fonti rinnovabili, offrendo nuove opportunità di

reddito alle aziende agricole. Il disegno di nuove politiche agricole nazionali va visto come un'occasione importante e strategica per valorizzare il possibile ruolo ambientale dell'azienda agraria e di tutto il comparto. In una riconversione di tale portata è lecito ritenere che i cambiamenti attesi, che saranno verosimilmente rapidi, potranno avere un impatto rilevante sui sistemi agro-ecologici e sull'intero territorio più in generale, con effetti però valutabili solo nel lungo periodo. La riconversione delle filiere produttive e la transizione da un'agricoltura finalizzata all'alimentare a una riorientata a fini energetici va opportunamente complementata con azioni che sottolineino con chiarezza il ruolo virtuoso dell'azienda agraria. In un bilancio ambientale di scala territoriale, infatti, va accresciuta nell'agricoltore, innanzitutto, la consapevolezza di una importante responsabilità in un'attività di ripristino ambientale tanto complessa quanto ineludibile. L'azienda agraria quindi deve crescere anche culturalmente, ritrovando la coscienza di un ruolo ambientale davvero insostituibile. Le nuove produzioni, pertanto, andrebbero fin da subito caratterizzate per questi possibili valori accessori.

Il contenuto di carbonio organico del suolo rappresenta, pertanto, una delle principali variabili nel ciclo del carbonio, valore che è considerevolmente influenzato dall'attività antropica. Nell'ottica di frenarne le emissioni, si deve quindi tener conto del C che viene ciclicamente emesso/sequestrato a seguito del cambio di destinazione d'uso del suolo. Bisogna cercare di favorire la diffusione di quelle colture, con le relative tecniche agronomiche, che portano come conseguenza a un accumulo di C nella sostanza organica del terreno. Il suolo, dunque, è uno dei comparti che maggiormente potrebbe soffrire per l'indiscriminata diffusione di colture a fini energetici ed è uno dei principali elementi da tenere sotto osservazione nella possibile diffusione delle colture da biomassa.

#### 4. LA SITUAZIONE DEL BIODIESEL

Il biodiesel è un prodotto da utilizzare classicamente per trazione e riscaldamento. È infatti idoneo all'impiego in ambienti potenzialmente vulnerabili (es.: Laguna di Venezia, specchi d'acqua a lento ricambio in genere; parchi naturali ecc.) e utilizzabile in agricoltura (trazione agricola; riscaldamento serre ecc.).

L'84% del biodiesel europeo è prodotto a partire dall'olio di colza, mentre gli oli di girasole (13%), soia (1%) e palma (1%) hanno ancora un ruolo modesto.

Le principali caratteristiche del prodotto possono essere così riassunte: riduzione della CO<sub>2</sub> (30-80%, considerando LCA), biodegradabilità 95% (dopo 28 giorni), assenza di zolfo, basso contenuto di benzene (1:15 rispetto al gasolio) e riduzione dei composti policiclici aromatici (41-68% dei PHA), riduzione del particolato fine (PM<sub>10</sub> 58-76%). Il tutto determina una notevole azione qualitativa. Si può affermare quindi che l'impiego su ampia scala di detto biocarburante non contribuisce a incrementare il verificarsi di piogge acide. Infatti l'estere metilico dell'olio vegetale, rispetto al gasolio, si caratterizza in modo particolare per l'assenza di zolfo, nonostante mostri un più basso potere calorifico e una più elevata infiammabilità.

In Italia, quattro società (Novaol, Ital Bi Oil, Foxpetroli e Bakelite) rappresentano la parte più rilevante della nostra produzione, anche se altri produttori industriali stanno per affacciarsi sul mercato. Il nostro Paese è storicamente uno dei più avanzati nello sviluppo dei biocarburanti, tuttavia fino a ora l'Italia non ha annunciato alcun piano d'espansione industriale per il biodiesel. Con una capacità di produzione di circa 800.000 t/anno, l'Italia, fino al 2005, era collocata ben al di sotto di tale potenzialità con sole 550.000 t. Ai produttori di biodiesel sono state distribuite delle quote di produzione per beneficiare dell'esonero fiscale. Dalle 300.000 t in defiscalizzazione totale del 2005 siamo scesi a 200.000 t nel 2006, con l'aggiunta però di altre 40.000 t per il prodotto ottenuto a partire da materie prime nazionali e 60.000 t di etanolo, tutte sempre integralmente defiscalizzate.

Nell'ultima legge finanziaria sono state inserite quote per 250.000 t, a cui va aggiunto il riporto del contingente non prodotto. Di recente sono stati sottoscritti due accordi (tra Novaol e Coldiretti Nazionale e tra Cereal Doks, Oleificio Medio Piave, e Confagricoltura) per favorire l'avvio della coltivazione delle oleifere in Val Padana. Va detto inoltre che l'Italia è stata richiamata dalla Commissione Europea a causa della ritardata consegna del rapporto del luglio 2005, concernente la localizzazione dell'incorporamento dei biocarburanti. Infatti non si è ancora giustificato l'obiettivo, fissato dalla legislazione nazionale, che si colloca al 2,5% per il 2010. Una parte della produzione nazionale viene prodotta extra quota di esonero fiscale ed esportata in Germania, paese dove il biodiesel prodotto, fino a qualche tempo fa, era totalmente defiscalizzato. Tuttavia è già stato attivato un altro processo di produzione del biodiesel, che a partire da microalghe (*Botryococcus braunii*) (Chisti, 2007) non prevede l'uso di superfici agricole ed entra in competizione con le colture *da energia* a più basso rendimento in olio. L'alga classicamente contiene tra l'altro una cospicua quantità di lipidi (25-75%) (Chisti, 2007), anche se i costi di produzione fino a ora restano elevati.

## 5. LA CAPACITÀ DI PRODUZIONE DI BIOETANOLO

La produzione europea di bioetanolo (nel 2005/6: 1,3 Mt) è meno rilevante rispetto a quella del biodiesel (5,2 Mt). Se tutti gli impianti progettati venissero completati e trasformati in nuovi impianti, nel 2007/8 la capacità di produzione salirebbe a 3 Mt (5 Mt nel successivo 2008/9 e 9 Mt nel 2010/11). La produzione di etanolo europeo risulta concentrata in Germania (31%), in Polonia (24%) e in Spagna (22%); seguono a distanza la Svezia (10%) e la Francia (8%). Su scala UE, nell'intervallo 2005/6-2010/11, riguardo alle materie prime, il consumo di frumento per etanolo dovrebbe passare dal 28 al 34% e quello di mais dal 4 al 17%, mentre la bietola dal 6 al 15%.

Eccetto i cereali e la barbabietola (sotto forma di succo o di melasso), le altre materie prime utilizzate sono rappresentate dai sottoprodotti cerealicoli, quali il vino, gli scarti alimentari, i sottoprodotti lattiero-caseari (v. Irlanda), l'amido e le paglie. Le industrie progettate e da attivare al 2010/11 dovrebbero funzionare soprattutto a cereali, barbabietola e/o vino. Tuttavia, gli approfondimenti di tipo economico sui costi di produzione e di ottimizzazione delle rese, in rapporto alla materia prima impiegata, porteranno allo sviluppo nell'uso di altre materie prime come ad esempio la paglia.

In Italia ancor oggi non vi è traccia di alcuna progettualità nuova. Ciononostante esiste una quota di 79.000 t di bioetanolo che può beneficiare di una esenzione, ma tale quota fino a ora è stata utilizzata per produrre etanolo da vino proveniente dall'AGEA (programmi di distillazione europea). Per il prossimo futuro sembra sia stato stilato e sottoscritto un accordo tra le principali organizzazioni agricole e Assodistilla, secondo cui la metà del bioetanolo potrebbe essere originato da vino e l'altra metà da prodotti a base di bietola o di mais.

## 6. LA CAPACITÀ DI PRODUZIONE DI BIOCARBURANTI NELL'UE CONTINUERÀ A PROGREDIRE FINO AL 2010

Il consumo complessivo di carburanti per veicoli su gomma previsto al 2010 sarà pari a 300 Mtep (200 Mtep diesel e 100 Mtep benzina), con una predominanza per il biodiesel. Nel 2004 il fabbisogno è stato di poco inferiore al traguardo finale e pari a 286,6 Mtep (167,5 Mtep diesel e 118,9 Mtep benzina). Nello stesso anno di riferimento il nostro Paese ha consumato 21,8 e 15,1 Mtep di diesel e benzina, rispettivamente, mentre al 2010 si prevede che aumenteranno i consumi di gasolio (28 Mtep) e diminuiranno ulteriormente quelli della benzina (13 Mtep).

Rispetto alla situazione determinatasi nel 2005, per rispondere al suo fabbisogno stimato di biocarburanti l'UE dovrebbe reperire 8 milioni di ha in più da coltivare (<http://www.strategie-grains.com>).

## CONCLUSIONI

Al 2010 sono stati stimati dei fabbisogni prossimi ai 13,5 Mt di biodiesel e di 7 Mt di bioetanolo, a fronte di una capacità realistica di produzione di 15 Mt in biodiesel e 6 Mt in bioetanolo (<http://www.strategie-grains.com>).

Per quanto concerne l'adeguamento tra capacità di produzione e domanda si stima che la capacità di produzione di biodiesel possa coprire il fabbisogno UE.

Al contrario esiste un deficit potenziale in bioetanolo (salvo che per le imprese ritenute oggi in fase di progetto, anche se è poco realistico che non entrino effettivamente in produzione).

Si stimano possibili flussi di scambio di biocarburanti tra paesi UE: ad esempio la Germania, la Francia, la Polonia, l'Ungheria esporteranno biodiesel mentre la Francia, il Belgio, la Polonia e la Lituania esporteranno bioetanolo (a questi si aggiungeranno anche Ungheria, Repubblica Ceca e Germania se una parte degli impianti per il bioetanolo verranno attivati).

Per rispondere alla crescente domanda di biodiesel dell'UE sono stati stimati i seguenti fabbisogni in materie prime: la produzione di biocarburante previsto al 2010 equivarrà a circa 13 milioni di ha di colza, 110-200.000 ha di barbabietola e 2,7-3 milioni di ha di cereali.

## BIBLIOGRAFIA

- CHISTI Y. (2007): *Biodiesel from microalgae*, «Biotechnology Advances», 25, pp. 294-306.
- HIMMEL M. E., DING SHI-YOU, JOHNSON D. K., ADNEY W. S., NIMLOS M. R., BRADY J. W., FOUST T. D. (2007): *Biomass recalcitrance: engineering Plants and Enzymes for Biofuels production*, «Science», 315, 9 Feb., pp. 804-807.
- TILMAN D., HILL J., LEHMAN C. (2006): *Carbon-negative biofuels from Low-Input High-Diversity grassland biomass*, «Science», 314, 6 Dec., pp. 1598-1600.



SALVATORE L. COSENTINO\*, VENERA COPANI\*, CRISTINA PATANÈ\*\*,  
MARIADANIELA MANTINEO\*, GIUSEPPINA M. D'AGOSTA\*

## Le colture da biomassa per energia per gli ambienti italiani. Attualità e prospettive

### I. I BIOCARBURANTI NELLA COMUNITÀ EUROPEA

Nella Comunità Europea la quota di energia utilizzata per i trasporti rappresenta oltre il 30% di quella complessivamente consumata nella UE (DIR 2003/30/CE). Le fonti di approvvigionamento sono rappresentate dal gas naturale e dal petrolio provenienti quasi esclusivamente da giacimenti extracomunitari, limitati e circoscritti. Il prezzo di questi carburanti, negli ultimi anni, è andato incontro a un rapido aumento a causa della politica attuata dai paesi detentori delle riserve, dell'aumento della domanda internazionale e in vista di un esaurimento di tali risorse in un futuro non troppo lontano. Secondo le stime disponibili, sempre i trasporti sono responsabili del 21% delle emissioni di gas serra (COM 2006 34 dell'8/2/2006), alla cui riduzione la stessa Comunità si è impegnata sottoscrivendo il protocollo di Kyoto.

In questo contesto i biocarburanti rappresentano la risposta più immediata all'obiettivo della Comunità Europea di aumentare la quota di energia derivante da fonti rinnovabili disponibili al suo interno, limitando così la dipendenza dai Paesi produttori e contribuendo alla riduzione dei gas serra. La strategia europea sui biocarburanti (COM 2006 34 dell'8/2/2006) attraverso la direttiva 2003/30/CE<sup>1</sup> prevede di giungere nel 2010 alla sostituzione con biocarburanti del 5,75% del totale dei carburanti utilizzati per il trasporto. Per quanto riguarda l'Italia, questa materia è stata regolata attraverso il decreto

\* Dipartimento di Scienze Agronomiche, Agrochimiche e delle Produzioni Animali (DACPA), Università degli Studi di Catania

\*\* CNR- ISAFOM, sede di Catania

<sup>1</sup> Direttiva 2003/30/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio dell'8 maggio 2003 sulla "Promozione dell'uso dei biocarburanti o di altri carburanti rinnovabili nei trasporti".

TIPO DI CARBURANTE	NOME SPECIFICO	BIOMASSA	PROCESSI DI PRODUZIONE
Bioetanolo	Bioetanolo convenzionale	Granella di cereali, sorgo zuccherino	Idrolisi e fermentazione
Olio vegetale	Olio vegetale puro	Colture da olio (brassicacee, girasole)	Pressatura a freddo/estrazione
Biodiesel	Biodiesel da colture da energia Estere metilico (RME), estere metilico/etilico (FAME/FAEE) di acidi grassi del colza	Colture da olio	Pressatura a freddo/estrazione e transesterificazione
Biodiesel	Biodiesel da rifiuti FAME/FAEE	Olio e grassi animali residuati dalla cottura o frittura	Transesterificazione
Biogas	Biogas potenziati	Biomasse umide	Digestione
Bio-ETBE		Bioetanolo	Sintesi chimica

Tab. 1 *Biocarburanti di prima generazione*

legislativo n. 128/2005, emanato in attuazione della direttiva comunitaria succitata e dalla legge n. 81/2006 che stabilisce, relativamente agli interventi nel settore agroenergetico, un preciso obbligo di immissione sul mercato di quote di biodiesel, bioetanolo e derivati (ETBE, bioidrogeno, ecc.)<sup>2</sup>.

I processi e i materiali utilizzabili per la produzione di biocarburanti sono svariati, alcuni sono attualmente in uso, altri in via di sperimentazione o ancora oggetto di studio. È presumibile che in un arco di tempo breve queste innovazioni saranno disponibili su vasta scala, aprendo così nuove prospettive al mercato dei biocarburanti ma anche al settore dell'agricoltura e dell'agroindustria. In questa ottica i biocarburanti possono essere distinti in:

- biocarburanti di prima generazione
- biocarburanti di seconda generazione

### 1.1 *Biocarburanti di prima generazione*

I biocarburanti di prima generazione sono quelli che nella fase attuale di sviluppo delle filiere bioenergetiche vengono ottenuti mediante processi ben noti (tab. 1):

- spremitura e transesterificazione a partire da semi di specie oleaginose o da oli e grassi animali residuati dalla cottura o frittura (biodiesel);

<sup>2</sup> La legge 81/2006 impone per l'anno 2008 l'immissione di almeno il 2,0% di biocarburante calcolato sulla base del totale del carburante fossile consumato nell'anno precedente.



- fermentazione di zuccheri e amidi derivanti da colture zuccherine e amidacee quali canna da zucchero, frumento, mais etc. (bioetanolo e bio-ETBE<sup>3</sup>),
- digestione di biomasse umide (biogas).

Il fatto che biodiesel e bioetanolo possano essere facilmente ricavati dalle più importanti specie agrarie coltivate (frumento, orzo, mais, colza, soia, girasole, sorgo da granella, barbabietola da zucchero, ecc.) comporta implicazioni favorevoli di natura economica, tecnica e sociale, dal momento che si tratta di specie di solida e antica tradizione; tuttavia la loro utilizzazione a fini energetici potrebbe determinare risvolti negativi a causa della lievitazione dei prezzi di queste derrate originata dalla competizione tra le due destinazioni. L'allarme per tali prospettive è stato lanciato proprio dai Paesi in via di sviluppo che vedono aumentare le difficoltà di approvvigionamento degli alimenti di base (Jean Ziegler, 2007).

## 1.2 Biocarburanti di seconda generazione

Al fine di evitare preoccupanti ripercussioni nel settore agroalimentare, una delle prospettive più promettenti è quella di utilizzare biocarburanti di *seconda generazione* che possono essere ricavati da biomasse lignocellulosiche (bioetanolo di seconda generazione)<sup>4</sup> residue dal settore agricolo, forestale, industriale (alimentare, del legno) o da colture ligno-cellulosiche dedicate, di gran lunga più abbondanti e a buon mercato. Alcune delle tecnologie utilizzate sono già sperimentate nella UE dove esistono tre impianti pilota in Svezia, Spagna e Danimarca per la produzione di bioetanolo (COM 2006, 34). Tra le altre tecnologie che convertono la biomassa in biocombustibili liquidi figurano:

- la gassificazione e sintesi di biocarburanti a partire da materiale lignocellulosico (BTL da biomassa a liquidi; l'FT Diesel, diesel di sintesi derivato dal processo di Fischer Tropsch<sup>5</sup>, biodimetil etero, ecc);

<sup>3</sup> Bio-ETBE (*Etil-ter-butil etere*) è un additivo miscelato alla benzina per i motori a scoppio degli autoveicoli. Viene prodotto a partire dall'etanolo mediante cracking catalitico con isobutene.

<sup>4</sup> Nelle biomasse lignocellulosiche, la cellulosa coesiste in una matrice di polimeri assieme alla emicellulosa e alla lignina. L'attacco di questo materiale con calore, acidi o enzimi (pretrattamento) è finalizzato alla frammentazione di tali polimeri in entità distinte che successivamente vengono idrolizzate ad opera di specifici enzimi (cellulase) ed infine fermentate da lieviti o batteri (Sun e Cheng, 2002).

<sup>5</sup> Questo processo, messo a punto da Franz Fischer e Hans Tropsch nel 1923 al fine di convertire il gas di sintesi proveniente dal carbone in idrocarburi liquidi ricchi di composti ossigenati,

TIPO DI CARBURANTE	NOME SPECIFICO	BIOMASSA	PROCESSI DI PRODUZIONE
Bioetanolo	Bioetanolo cellulosico	Materiale lignocellulosico	Idrolisi avanzata e fermentazione
Biocarburanti sintetici	Da biomassa a liquidi (BTL): Diesel Fischer-Tropsch (FT) Biodiesel sintetico Biometanolo Alcoli più pesanti Biodimetiltere (Bio-DME)	Materiale lignocellulosico (canna comune, cardo, miscanto)	Gassificazione e sintesi
Biodiesel	Biodiesel trattato	Oli vegetali e grassi animali	Trattamento con idrogeno
Biogas	SNG-gas naturale sintetico	Materiale lignocellulosico	Gassificazione e sintesi
Bioidrogeno	Biogas potenziati	Materiale lignocellulosico	Gassificazione e sintesi o processo biologico

Tab. 2 *Biocarburanti di seconda generazione*

- il trattamento con idrogeno di oli vegetali e grassi animali per la produzione di biodiesel trattato;
- la gassificazione di materiale lignocellulosico per la sintesi di biogas (SNG gas naturale sintetico);
- la gassificazione di materiale lignocellulosico per la sintesi di bioidrogeno (biogas potenziati) (tab. 2).

Prescindendo dagli aspetti più squisitamente tecnologici ed economici, una valutazione generale sulle colture dedicate alla produzione di biomassa per energia deve comunque rispondere a obiettivi di natura agronomica (nuove colture e sistemi colturali in rapporto alle nuove direttive della Politica Agricola Comunitaria), di natura energetica (in rapporto all'energia ottenibile e a quella impiegata per il suo ottenimento), di natura ambientale, dal momento che i risvolti positivi sulla riduzione delle emissioni, con particolare riferimento all'anidride carbonica nell'atmosfera, richiedono un contestuale rispetto dei parametri dell'agricoltura sostenibile.

La rassegna che segue fa il punto delle ricerche italiane dell'ultimo decennio nel settore delle colture da biomassa per energia, delle tecniche colturali relative, della resa energetica e i risvolti sull'ambiente. La trattazione segue la classica suddivisione in filiere – precedente l'avvento dei carburanti di secon-

---

viene utilizzato per ricavare dal syngas (derivante dalla gassificazione della biomassa) una serie di carburanti e oli di sintesi lubrificanti.

da generazione – per le quali sono state specificamente studiate colture destinate a questo scopo. Con riferimento alla produzione di biogas che impiega generalmente la coltura del mais, non vengono riportati risultati di attività di ricerca, dal momento che questa risulta carente.

## 2. ASPETTI AGRONOMICI

### 2.1 *Filiera bioetanolo*

Le colture utilizzabili sono quelle alimentari che accumulano amido o zuccheri fermentescibili negli organi di riserva: frumento (*Triticum* spp.), mais (*Zea mais* L.), sorgo zuccherino e da granello (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), barbabietola da zucchero (*Beta vulgaris* L.), ecc. Considerate le consolidate conoscenze sulla tecnica agronomica della maggior parte di queste specie, l'attenzione della ricerca europea si è incentrata principalmente sul sorgo zuccherino. Questa specie, come è noto, coniuga l'elevata produttività alla capacità di resistere per periodi più o meno prolungati alla carenza idrica, trovando, di fatto, spazi per la sua coltivazione in tutta Europa (Dalianis, 1996; AIR CT92 0041; FAIR CT96-1913). Nel nostro Paese, la produttività in condizioni di soddisfacimento idrico ottimale si aggira intorno a 30 t ha<sup>-1</sup> di s.s. con punte di oltre 40 t ha<sup>-1</sup> di s.s. nelle regioni meridionali (Cosentino et al., 1996; Foti et al., 1996; Cosentino et al., 1997a; Patanè et al., 1997; Mastroianni et al., 1999). La variabilità registrata deriva oltre che dalle condizioni climatiche e pedologiche, dai livelli di input, dall'acqua somministrata e/o dalle riserve idriche del suolo, ma anche dal genotipo e dall'epoca di semina. Dalle prove effettuate emerge la superiorità dei tipi a ciclo lungo che presentano contenuti di zuccheri fermentescibili superiori al 16% della biomassa fresca del culmo e rese in zuccheri fino a 18 t ha<sup>-1</sup> (Copani et al., 1989; Cosentino et al., 2003a; Perniola et al., 1999). Emerge anche il vantaggio in termini produttivi della semina precoce rispetto alla tardiva; quest'ultima, tuttavia, apre interessanti scenari nelle regioni del sud in relazione alla possibilità di risparmiare l'acqua di irrigazione dal momento che procrastinando al periodo autunnale il ciclo colturale può essere valorizzata la normale piovosità stagionale (Mantineo et al., 2005). Ricerche sulla possibilità di anticipare l'epoca di semina attraverso trattamenti di pre-condizionamento osmotico del seme o di genotipi resistenti alle basse temperature sono state sviluppate da Foti et al. (2002) e Patanè et al. (2006).

I vantaggi legati alla coltivazione del sorgo zuccherino a fini energetici derivano dalla facilità con cui esso può essere introdotto negli ordinamenti colturali in atto applicando l'ordinaria tecnica colturale e il parco macchine aziendale. I punti di debolezza riguardano allo stato attuale il reperimento del seme. Gli aspetti problematici derivano dalla necessità dell'irrigazione negli ambienti meridionali, dalla suscettibilità all'allettamento, che si controlla in parte attraverso la tecnica agronomica (concimazione, irrigazione, densità di semina), in parte con la scelta dei genotipi. A questo proposito un'ampia sperimentazione e programmi di selezione genetica per la costituzione di ibridi (da fibra), di tipi resistenti alle basse temperature, all'allettamento e precoci è stata condotta da Lorenzoni et al. (2005). Dal punto di vista tecnico, è stato segnalato che la presenza di elevate quantità di silice nelle foglie pregiudica l'efficienza della camera di combustione (Venturi e Bentini, 2005).

## 2.2 *Filiera biodiesel*

La filiera biodiesel trova ampi spazi di diffusione in tutte le aree del nostro Paese, dal momento che le colture interessate sono largamente conosciute e coltivate a fini alimentari. Si tratta di specie annuali quali girasole (*Helianthus annuus* L.), colza (*Brassica napus* L. var. *oleifera* D.C.), soia (*Glicine max* L.) e altre *Brassicaceae* alimentari e non, appartenenti ai generi *Sinapis*, *Crambe*, *Brassica*. Tra le specie poliennali il carciofo (*Cynara cardunculus* var. *scolymus* L.) e il cardo (*Cynara cardunculus* var. *altilis* D.C.) possono essere impiegati per l'estrazione dell'olio contenuto negli acheni.

Il colza in Italia è specie a diffusione alquanto limitata se paragonata all'enorme sviluppo registrato nei Paesi dell'Europa continentale; essa può contare comunque su una ricerca agronomica che ha efficacemente analizzato e risolto i principali quesiti posti nel momento del suo ingresso nel panorama colturale italiano. I risultati produttivi relativi alle tre zone geografiche del Paese, riportano forti oscillazioni tra gli anni (tab. 3) (Toniolo et al., 1992; Abbate et al., 1993; De Mastro et al., 1999; Mazzoncini et al., 2002; Onofri et al., 2005; Zanetti et al., 2005; De Mastro et al., 2006); le produzioni di seme oscillano tra 1,2 e 4,1 t ha<sup>-1</sup> al Nord, e tra 0,7 e 4,9 t ha<sup>-1</sup> al Centro. Al Sud produzioni analoghe a quelle del Nord si alternano a rese aleatorie inferiori a 1 t ha<sup>-1</sup> (0,8-3,8 t ha<sup>-1</sup>). Il contenuto di olio nei semi risulta superiore di alcuni punti percentuali al Centro-Nord rispetto al Sud (39-46% contro 34-43%). A partire dagli anni '90 l'attenzione è stata rivolta alle *Brassicaceae* contenenti acidi grassi a catena lunga quali l'acido erucico (C22:1), per il

quale esiste un forte interesse da parte dell'industria nei settori della motoristica e della lipochimica. Sono state valutate a questo scopo varietà e linee HEAR (High Erucic Acid Rapeseed) di *Brassica napus* L. var. *oleifera* D.C., varietà di *Brassica carinata* A. Braun, *Brassica juncea* L. Czern, *Brassica rapa* L., *Sinapis alba* L. e *Crambe abyssinica* Hochst ex Fries. La sperimentazione condotta in Italia (Mosca 1998; Venturi et al., 1998; Copani et al., 1999; De Mastro et al., 1999; Errani et al., 1999; Fontana et al., 1999; Lazzeri et al., 1999; Mazzoncini et al., 2002; Cosentino et al., 2004; Di Candilo et al., 2005a; Zanetti et al., 2006) ha messo in evidenza soddisfacenti livelli produttivi delle cultivar di *Brassica napus*. *Brassica carinata* ha manifestato ottima adattabilità specie negli ambienti meridionali, grazie alla precocità di fioritura, alla resistenza alla deiscenza delle silique e all'allettamento, alla resistenza alle principali avversità biotiche e allo stress idrico, che si sono tradotte nella maggiore stabilità produttiva rispetto al colza (Mazzoncini et al., 2002; Zanetti et al., 2006). Il contenuto di olio nei semi e di acido erucico nell'olio è risultato quasi sempre inferiore nella *B. carinata* rispetto alla *B. napus*, ma la resa in olio non si è discostata da quella del colza. Maggiori limitazioni in relazione alla scelta dell'areale di coltivazione hanno posto *Crambe abyssinica*, *Brassica juncea* e *Sinapis alba*. In particolare, per *Crambe* è stata sottolineata la scarsa resistenza alle basse temperature, che ne consiglierebbe la semina primaverile al Centro-Nord (Fontana et al., 1999; Lazzeri et al., 1998).

Il girasole, per le sue caratteristiche morfofisiologiche, può adattarsi a condizioni di scarsa e irregolare piovosità; è coltivato prevalentemente negli ambienti della cosiddetta "fascia del girasole", dalla Toscana al versante adriatico (Monotti, 2002) e nelle aree con limitate disponibilità idriche del Nord. Per la filiera biodiesel vengono proposti genotipi (varietà e ibridi selezionati soprattutto all'estero) ad alto oleico, con contenuto acidico compreso tra 45 e 52% (Monotti, 2002). Sono preferite le semine anticipate alla fine dell'inverno e/o varietà a ciclo breve. La tecnica agronomica convenzionale consente produzioni di seme superiori a 3,0 t ha<sup>-1</sup> al Centro, con una modesta variabilità tra i genotipi, e intorno a 2,7 t ha<sup>-1</sup> al Nord.

Nel cardo il seme rappresenta il 30% circa della biomassa secca del capolino (intorno al 26% nel carciofo) (Curt et al., 2002; Foti et al., 1999) e il 10% della biomassa complessiva; il contenuto di olio si aggira intorno al 25% con punte del 33% del peso secco del seme. La composizione di quest'olio è simile a quella del girasole (Fernandez e Curt, 2005). Entrambe le specie sono native del bacino del Mediterraneo e adatte alle condizioni di aridità del Centro e Sud Italia dove sono coltivate in ciclo autunno-vernino e raccolte nella tarda estate (Foti e Cosentino, 2001; Cosentino et al., 2005a). La resa

SPECIE	PROPAGAZIONE	REGIONI ITALIANE	SEMINA/ TRAPIANTO (mese)	RACCOLTA (mese)	RESA (t ha <sup>-1</sup> s. s.)	CONTENUTO DI ZUCCHERO O OLIO (%)	RIFERIMENTO BIBLIOGRAFICO
FILIERA BIOETANOLO							
Sorgo zuccherino	Seme	Nord Centro	V	XI-XII	16-38	44 % ◇	<i>Cosentino et al., 2005b</i>
			V		28		<i>Dolciotti et al., 1998</i>
			V	IX	18-26		<i>Barbanti et al., 2006</i>
		Sud	IV-V	IX	20-34		<i>Cosentino et al., 2005b</i>
			VI	XI	6§-28 *		<i>Foti et al., 2004</i>
			V-VII	X-XI	14§-45 *		<i>Cosentino et al., 1996</i>
			IV-V	X	30-32 †		<i>Mastorilli et al., 1999</i>
			VI	IX-XI	22-34 †	9-18 % √	<i>Copani et al., 1989</i>
V - VI	X	30 †	8,8-14,4 √	<i>Abbate e Patanè, 1996</i>			
	V		15-36 †	12-16,9 √	<i>Patanè et al., 1997</i>		
	V		IX-X	20§-42*		<i>Cosentino et al., 1997</i>	
FILIERA BIODIESEL							
Rapeseed	Seme	Nord	IX-X	V-I	2,4-3,2‡; 3,2- 3,5‡	42-44	<i>Zanetti et al., 2005</i>
			X	V-I	2,5-2,6	40-45	<i>Zanetti et al., 2005</i>
							<i>Toniolo et al., 1992 (dati rielaborati)</i>
		Centro	IX	V-I	1,2-4,1	40-48	<i>Onofri et al., 2005</i>
			X	V-I	2,0-2,9	40-47	<i>Toniolo et al., 1992 (dati rielaborati)</i>
		Sud	X	V-I	0,7-1,9‡; 1,3-2,4‡	39-42	<i>Zanetti et al., 2005</i>
			IX	V-I	3,6-4,2		<i>Zanetti et al., 2005</i>
			X	V-I	1,1-2,0		<i>Onofri et al., 2005</i>
			X	V-I	3,2-4,9	38-43	<i>Onofri et al., 2005</i>
					2,3-3,2	39-44	<i>Mazzoncini et al., 2002</i>
			X-XI	V-VI	0,8-3,1	34-44	<i>Toniolo et al., 1992 (dati rielaborati)</i>
			X-XI	V-VI	1, 0-3,8 1,6-2,2	41-43	<i>Abbate et al., 1993</i>
					2,5♣-2,9∞ 2,1±0,8		<i>Mazzoncini et al., 2002</i>
			Autunno			33	<i>De Mastro et al., 2006</i>
			Primavera		1,6±0,9	32	<i>De Mastro et al., 1999</i>
†in irriguo; # in asciutto; § 25% ETM; *100% ETM; ◇ % su s.; √ % su s.; † % su s. f.; ♣ biologico; ∞convenzionale; ‡ t ha <sup>-1</sup> anno <sup>-1</sup> bassi input; ‡ t ha <sup>-1</sup> anno <sup>-1</sup> alti input							

Tab. 3 (segue)

SPECIE	PROPAGAZIONE	REGIONI ITALIANE	SEMINA/ TRAPIANTO (mese)	RACCOLTA (mese)	RESA (t ha <sup>-1</sup> s. s.)	CONTENUTO DI ZUCCHERO O OLIO (%)	REFERIMENTO BIBLIOGRAFICO
Brassica juncea	Seme	Nord	IX	V-VI	0,8-2,9	30-42	Zanetti et al., 2006
		Centro			1,67-2,20	31-39	Mazzoncini et al., 2002
		Sud	X	V-VI	1,2	34	Cosentino et al., 2004
			XI-XII	VI	0,7-2,1	31-42	Copani et al., 1999
			Autunno		1,6±0,7	31	De Mastro et al., 1999
Brassica carinata	Seme		Primavera		0,9±0,7	29	De Mastro et al., 1999
		Nord	IX	V-VI	0,4-3,1	32-38	Zanetti et al., 2006
		Centro			3,2-3,3	33-39	Mazzoncini et al., 2002
		Sud	X	V-VI	2,7	34	Cosentino et al., 2004
			Autunno		1,9-3,5	34-38	Mazzoncini et al., 2002
Crambe abyssinica	Seme		Primavera		3,4±1,0	31	De Mastro et al., 1999
					3,5±0,6	30	De Mastro et al., 1999
		Nord	IV	V-VI	1,0	26	Zanetti et al., 2006
					1,0	26	Mazzoncini et al., 2002
		Centro	III	VII	1,3-3,0	33-37	Lazzeri et al., 1999
			III	VII	1,4-2,2	27-28	Di Candilo et al., 2005a
			III	VI	2,4-3,5	33-38	Fontana et al., 1999
					1,9-2,6	35	Mazzoncini et al., 2002
		Sud			1,5-2,1	33-34	Mazzoncini et al., 2002
			XII	V	1,6	30	Copani et al., 1999
Girasole	Seme		Autunno		2,4±0,9	33	De Mastro et al., 1999
			Primavera		1,0±1,0	21	De Mastro et al., 1999
		Nord	Primavera		2,1♣-2,7∞	44-56	Baldini et al., 2005
		Centro	Primavera		2,8-3,6		Monotti, 2002
		Sud	Primavera		5,5	41-45	Anastasi et al., 2001
Cardo	Seme		Autunno		4,1-4,6	45-53	Anastasi et al., 2001
		Sud	VII	VII	1,1 – 2,8	24-27	Foti et al., 1999
			V	VIII	0,4-1		Gherbin et al., 2001a
			V-XI		0,4- 1,4	18-23	Piscioneri et al., 2000
†in irriguo; # in asciutto; § 25% ETM; *100% ETM; ◇ % su s. s.; √ % su s. f.; ♣ biologico; ∞convenzionale; ‡ t ha <sup>-1</sup> anno <sup>-1</sup> bassi input; † t ha <sup>-1</sup> anno alti input							

Tab. 3 Aspetti agronomici di alcune colture alcoligene e da olio per energia studiate in ambienti italiani

in seme risulta più elevata nel cardo e nei tipi selvatici (*Cynara cardunculus* L. var. *sylvestris* Lam) che nel carciofo, ma comunque alquanto variabile (tra 0,4 e 2 t ha<sup>-1</sup>), decrescente a partire dal secondo anno di coltivazione (Gherbin et al., 2001a; Foti et al., 1999). Il numero di genotipi disponibili risulta più elevato nel carciofo che nel cardo.

### 2.3 *Filiera lignocellulosica per calore ed elettricità*

Dopo una prima selezione operata sul finire degli anni '90 grazie ai programmi di ricerca promossi dalla UE (FAIR CT96-2028; AIR CT92-0294; FAIR CT96-1704; AIR CT93-1089), maggiore attenzione è stata rivolta a canna comune (*Arundo donax* L.), miscanto (*Miscanthus* spp.), panico (*Panicum virgatum* L.), cardo (*Cynara cardunculus* var. *altilis* D.C.), sorgo da fibra (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) (Foti e Cosentino, 2001; Venturi e Bonari, 2004). A questo elenco negli ultimi anni si è aggiunto quello delle specie forestali a ciclo breve (*Short Rotation Forestry*, S.R.F.) (Bonari, 2001, 2005; Bonari e Villani, 2004; Bonari et al., 2005). Si tratta nella maggior parte dei casi di colture che non hanno trovato ancora diffusione nell'ambito dei sistemi colturali attualmente praticati.

Per le tante implicazioni agronomiche che la durata del ciclo colturale comporta, una prima suddivisione può essere fatta in riferimento al carattere di annualità (sorgo) o poliennalità (tutte le altre specie). L'orientamento della ricerca verso il sorgo da fibra (che rispetto a quello zuccherino accumula nel culmo soprattutto fibre cellulosiche piuttosto che zuccheri solubili) ha motivazioni generali analoghe a quelle indicate per il sorgo zuccherino (filiera bioetanolo). Rispetto a quest'ultimo, i vantaggi specifici del sorgo da fibra riguardano il facile reperimento del seme, che attualmente viene prodotto e distribuito in Europa e la minore suscettibilità all'allettamento rispetto al tipo zuccherino, aspetto che costituisce, tra l'altro, uno degli obiettivi del miglioramento genetico a cui, come accennato, si sta lavorando in Italia (Lorenzoni et al., 2005).

Relativamente alle specie poliennali, se ne sottolinea la sostenibilità agroeconomica e ambientale, poiché limitano le lavorazioni del terreno, con le note implicazioni sul potenziale rischio erosivo, sulla fertilità del suolo e sul contenimento della CO<sub>2</sub>; richiedono minore impiego di fitofarmaci con particolare riferimento agli erbicidi; presentano minori esigenze nutritive grazie al "riciclo" dei nutrienti nelle specie ad apparato radicale rizomatoso (Foti e Cosentino, 2001; Monti et al., 2002; Lewandowski et al., 2003; Ventu-



ri e Bonari, 2004; Cosentino et al., 2005a); consentono, inoltre, la raccolta annuale della biomassa, contrariamente a quanto avviene nelle S.R.F. I principali inconvenienti segnalati fino a questo momento riguardano le basse produzioni di biomassa nell'anno di impianto (Angelini et al., 2005a; Cosentino et al., 2006a) e le difficoltà di meccanizzazione per canna comune, cardo e miscanto, con particolare riferimento alla mancanza di macchine per la raccolta (esistono solo dei prototipi) (Venturi e Bentini, 2005), il reperimento di materiale di propagazione agamica per canna comune e miscanto (rizomi, talee, piante micropagate) (Cosentino et al., 2003b). Sul versante della conversione termica un problema rilevante è rappresentato dall'elevato contenuto di ceneri, che determinano formazione di depositi nella camera di combustione e il non corretto funzionamento dell'impianto; a questo proposito, è stato stimato che il valore calorifico della biomassa decresce di  $0,2 \text{ MJ kg}^{-1}$  per ogni aumento di  $10 \text{ g kg}^{-1}$  di ceneri (Monti et al., 2005). Il più elevato contenuto in ceneri si riscontra nel cardo (8-14%), segue la canna comune (4-7%), il panico (3-6%), il miscanto (da 2 a 3%). Per un confronto del contenuto in ceneri delle specie poliennali con le annuali e le S.R.F. si rimanda alla tabella 2.

La sperimentazione italiana sulle poliennali erbacee è stata realizzata in tutte le aree geografiche del Paese. Sono state costituite collezioni di canna comune (39 genotipi) (Cosentino et al., 2006), miscanto (5 genotipi) (Cosentino et al., 2006b, 2007) e cardo (17 genotipi) (Gherbin et al., 2001). Sono stati affrontati i principali temi della pratica agronomica quali la densità di impianto (Angelini et al., 2005a), le modalità di propagazione (Cosentino et al., 2003b l.c., Copani et al., 2006), la concimazione azotata e l'irrigazione (Cosentino et al., 2005a; Cosentino et al., 2007), quelli fisiologici legati allo stress idrico (Foti et al., 2003), come pure gli effetti di alcuni di questi fattori sulle caratteristiche meccaniche della canna comune (Cosentino et al., 2003c).

Il cardo è una specie a semina autunnale e raccolta estiva. In relazione al periodo di raccolta e all'ambiente, la biomassa presenta una umidità variabile tra il 16% e il 64% (tab. 4); non richiede normalmente l'irrigazione, ma come tutte le piante che crescono con la sola disponibilità delle piogge, la resa è legata alla disponibilità di acqua nel suolo. Buone "performance" si ottengono con una disponibilità idrica di circa 450 mm nel periodo compreso tra l'emissione dei germogli e la differenziazione dei capolini (Fernandez e Curt, 2005). È stato accertato che la produttività può variare tra 6 e 30 t ha<sup>-1</sup> di s.s. in relazione agli ambienti di coltivazione e alla quantità di concime azotato impiegato (Ceccarini et al., 1999; Foti et al., 1999; Piscioneri et

SPECIE	PROPAGAZIONE	REGIONI ITALIANE	SEMINA/TRA-PIANTO (mese)	RACCOLTA (mese)	RESA (t ha <sup>-1</sup> s. s.)	UMIDITÀ (%)	CENERI (%)	RIFERIMENTO BIBLIOGRAFICO
FILIERA LIGNOCELLULOSICA								
Sorgo da fibra	Seme	Nord Centro	V	XI-XII	16-28	35-41		<i>Cosentino et al., 2005b</i>
			IV-V	IX	29-32	65-68		<i>Cosentino et al., 2005b</i>
			V	IX	18-26			<i>Barbanti et al., 2006</i>
Miscanthus	Rizomi	Sud	IV	X	29	65-73	4,5	<i>Di Candilo et al., 2005b</i>
			IV-VI	VIII-IX	24-26 †			<i>Monti et al., 2002</i>
			Primavera	VIII-IX	27	60-70	6,0	<i>Angelini et al., 1999</i>
			V-VI	VIII-IX	20§-24~	70-73		<i>Cosentino et al., 2005b</i>
			V-VI	IX-X	16§-31~		6,0	<i>Cosentino et al., 2002</i>
		Nord Centro	V-VI	XI	17-24§-5-37 *	70-75		<i>Gherbin et al., 2001b</i>
			V	XI-XII	34 †			<i>Abbate e Patanè, 1996</i>
			Primavera	IX-X	14-24	28-48		<i>Cosentino et al., 2005 b</i>
			IV	X	22-48	52-56	2,8	<i>Ceccarini et al., 1999</i>
			III	I-II	17-24 # 17-34 †	65 foglie 47 culmi		<i>Ercoli et al., 1999</i>
Canna comune	Tale di culmo, rizomi	Sud	IV	II	14-29	42-50		<i>Cosentino et al., 2005 b</i>
			VI	II	30-32	42-46	2-3	<i>Di Candilo et al., 2005a</i>
			III	II - III	11-24§ 19-30~	30-48		<i>Cosentino et al., 2005 b</i>
					14-21§ 15-27*		2,2-2,8	<i>Cosentino et al., 2007b</i>
					13-15 †			<i>Cosentino et al., 2007</i>
		Nord Centro	V	XI-XII	33-51	33-47		<i>Abbate e Patanè, 1996</i>
			III	X-XI	20-41	58		<i>Cosentino et al., 2005 b</i>
				I-III	23-37	52		<i>Angelini et al., 2005a</i>
			III	I-II	25-42	42-55	5,0	<i>Angelini et al., 2005b</i>
			III	Autunno	29-31		7,0	<i>Cosentino et al., 2005 c</i>
Canna comune	Tale di culmo, rizomi	Sud	IV	Inverno	42-44	52-58	4-6	<i>Monti et al., 2005</i>
			Primavera	IX-X	41-53	52-63	5,0	<i>Di Candilo et al., 2005b</i>
			IV	II	26§-37 ~	50-53		<i>Ceccarini et al., 1999</i>
			III		33-48 †			<i>Cosentino et al., 2005b</i>
								<i>Abbate et al., 1996</i>

† in irriguo; # in asciutto; § 25% ETM; ~ 75% ETM; \* 100% ETM; ◊ % su s.s.; √ % su s. f.; ‡ t ha<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup> bassi input; ¶ ha<sup>-1</sup> anno alti input; §biologico; ∞ convenzionale; ≈ t ha<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup> turno taglio annuale; ◊ t ha<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup> turno taglio biennale; ^ t ha<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup> turno taglio triennale

Tab. 4 (segue)

SPECIE	PROPAGAZIONE	REGIONI ITALIANE	SEMINA/TRAPIANTO (mese)	RACCOLTA (mese)	RESA (t ha <sup>-1</sup> s. s.)	UMIDITÀ (%)	CENERI (%)	RIFERIMENTO BIBLIOGRAFICO
Cardo	seme	Centro	III	Autunno	6-9		8,0	<i>Monti et al., 2005</i>
	trapianto		III	VIII-IX	9-13	16-40		<i>Cosentino et al., 2005b</i>
	seme	Sud	Primavera		8-21	56-62	13,9	<i>Ceccarini et al., 1999</i>
	trapianto		V	VII-VIII	14-21§ 23-26~	35-55		<i>Cosentino et al., 2005b</i>
	trapianto		VII	VII	27-36			<i>Foti et al., 1999</i>
Panico	trapianto		V	VII-VIII	5-14	15-20		<i>Gherbin et al., 2001</i>
	trapianto		V		7-13			<i>Piscioneri et al., 2000</i>
	seme	Centro	IV	Autunno	19-22			<i>Abbate et al., 1996</i>
					9-23		6,0	<i>Monti et al., 2005</i>
			V	Inverno	8-21 media 6 anni		3-5	<i>Monti et al., 2004</i>
Pioppo		Nord Centro	V	II	11-12	25-40	4-6	<i>Grigatti et al., 2004</i>
				VII	17	55	6,0	
			VII	XII-I	0,8-16 †	14-71		<i>Piscioneri et al., 2001</i>
			Primavera		0,9-26 †			<i>Sharma et al., 2003</i>
					3-25			<i>Facciotto et al., 2005</i>
Salice		Nord Centro	Inverno	Inverno	1-25			<i>Facciotto et al., 2005</i>
					17‡ - 22 ¶;			<i>Bonari, 2005;</i>
			IV		9≈, 15◊, 22 ^			<i>Bonari et al., 2005</i>
					14 media annua	56-58	2-4	<i>Di Candilo et al., 2005b</i>
					3-26			<i>Facciotto et al., 2005</i>
Robinia		Nord Centro			1-19			<i>Facciotto et al., 2005</i>
			IV		13 media annua	53-56	2-4	<i>Di Candilo et al., 2005b</i>
		Centro			10 media	41-48	2-3	<i>Di Candilo et al., 2005b</i>
†in irriguo; # in asciutto; § 25% ETM; ~ 75% ETM; ◊ % su s.s.; √ % su s. f.; ‡ t ha <sup>-1</sup> anno <sup>-1</sup> bassi input; ¶ t ha <sup>-1</sup> anno <sup>-1</sup> alti input; ≈biologico; ∞ convenzionale;≈ t ha <sup>-1</sup> anno <sup>-1</sup> turno taglio annuale; ◊ t ha <sup>-1</sup> anno <sup>-1</sup> turno taglio biennale ^ t ha <sup>-1</sup> anno <sup>-1</sup> turno taglio triennale								

Tab. 4 Aspetti agronomici di colture da biomassa per energia studiate in ambienti italiani (le rese di miscanto, canna comune, cardo sono riportate a partire dal II anno)

al., 2000; Gherbin et al., 2001; Cosentino et al., 2005a; Mauromicale et al., 2004; Monti et al., 2005; Nassi o di Nasso et al., 2006). Le produzioni di biomassa crescono fino al terzo anno, per poi subire un rallentamento più o meno significativo (Cosentino et al., 2005a; Gherbin et al., 2001; Nassi o di Nasso et al., 2006).

L'impianto di canna comune, miscanto e panico si realizza in primavera; la raccolta avviene normalmente alla fine dell'inverno quando il contenuto di umidità scende al di sotto del 40% nel miscanto e panico e del 50% nella canna. L'irrigazione è una pratica necessaria nella fase di impianto e nel corso del ciclo in relazione all'area geografica.

La canna comune mostra in tutti gli ambienti la maggiore stabilità produttiva e le rese più elevate. Tra il secondo e il terzo anno la resa al Sud varia tra 26 e 37 t ha<sup>-1</sup> di s.s. in relazione al soddisfacimento idrico del 25% e 75% dell'ETM rispettivamente (Cosentino et al., 2005a). Rese comprese tra 39 e 21 t ha<sup>-1</sup> di s.s. vengono segnalate da Angelini et al. (2005a) tra il secondo e il sesto anno dall'impianto. A Bologna e Udine sono state registrate rese crescenti dal primo al terzo anno, con valori massimi di 42 e 51 t ha<sup>-1</sup> di s.s., rispettivamente (Cosentino et al., 2005a). Anche il miscanto fornisce cospicue produzioni: al Sud, in condizioni irrigue la produttività oscilla tra 11 e 30 t ha<sup>-1</sup> di s.s.; al Centro, sono state segnalate produzioni di biomassa variabili tra 14 e 32 t ha<sup>-1</sup> e al Nord tra 14 e 24 t ha<sup>-1</sup> (Ercoli et al., 1999; Cosentino et al., 2005a; Cosentino et al., 2007).

Con il termine di *Short Rotation Forestry* (SRF) si intende la coltivazione, per la produzione di biomassa a fini energetici, di specie forestali a rapido accrescimento (pioppo, salice, robinia, eucalipto, ecc.), con impianto di durata variabile tra 10 e 20 anni, con un sesto variamente fitto (oltre 10000 piante ha<sup>-1</sup>), ceduate e raccolte più frequentemente (a intervalli regolari di 2 o più anni) rispetto alle più tradizionali utilizzazioni di prodotto legnoso. In Italia, la sperimentazione condotta sulle S.R.F. è abbastanza recente e parca di informazioni se si eccettuano gli studi condotti da alcune istituzioni scientifiche e dall'Enel (Bonari e Villani, 2004). Secondo Bonari e Villani (2004) sono comunque ancora da valutare gli aspetti agronomici relativi alla scelta della specie e delle varietà più adatte alle differenti condizioni ambientali, alla gestione rispetto all'impianto (densità di piante), alla conduzione della coltura (ritmo di ceduazione) e al grado di meccanizzazione della stessa (Bonari e Villani, 2004). La scelta delle specie dipende dal tasso di crescita della coltura, dall'adeguata capacità di ricaccio della ceppaia, dall'adattabilità a condizioni sub-ottimali sia dal punto di vista pedoclimatico che di resistenza alle avversità biotiche (Bonari, 2001). Le specie più idonee appaiono il pioppo (*Popu-*

*lus alba*, *P. nigra*, *P. deltoides*, *P. x euramericana*) già utilizzato nella Pianura padana per la tradizionale arboricoltura da legno, il salice (*Salix alba*) adatto all'area del Po, l'eucalipto (*Eucalyptus globosus*, *E. bicostata*, *E. camaldulensis*) per le regioni del Centro-Sud, e la robinia (*Robinia pseudoacacia*) nelle condizioni marginali delle aree collinari interne del Sud come del Nord (Bonari, 2001).

Dalle esperienze condotte in Toscana sul pioppo (*Populus deltoides* cv. Lux) risulta che le rese medie più elevate si ottengono con sesti di impianto che permettono investimenti unitari oscillanti tra 10.000 e 13.500 piante ha<sup>-1</sup>. Il ritmo di ceduzione più soddisfacente sembra essere quello triennale (21,7 contro 9 t ha<sup>-1</sup>, rispettivamente con il taglio triennale e annuale). Problematiche da non sottovalutare sono quelle della produttività decrescente a partire dalla terza-quarta ceduzione, connessa probabilmente all'aumento delle fitopatie, e dell'accentuata mortalità delle ceppaie (prossima al 50% al settimo anno dall'impianto). Secondo stime di Bonari (2001) la produzione media annua nell'arco di 11 anni, con raccolte al 2°, 5°, 8° e 11° anno e un livello di produttività alto, sarebbe pari a 10,7, 9,5 e 13,2 t ha<sup>-1</sup> di s.s. rispettivamente per pioppo, robinia e eucalipto.

### 3. INDICI ENERGETICI

#### 3.1 *Contenuto energetico*

Tra le specie da biocombustibili ligno-cellulosici, la canna comune presenta un contenuto energetico compreso tra 14,6 MJ kg<sup>-1</sup> (Di Candilo et al., 2005b) e 19,1 MJ kg<sup>-1</sup> (Ghetti et al., 1995) (tab. 5). Per *Miscanthus* spp. sono riportati valori che variano tra 14,6 MJ kg<sup>-1</sup> (Di Candilo et al., 2005b) e 17,7 MJ kg<sup>-1</sup> (Venturi e Venturi, 2003). Il potere calorifico del cardo risulta più basso, tra 14,1 MJ kg<sup>-1</sup> (Nassi o Di Nasso, 2006) e 16,8 MJ kg<sup>-1</sup> (Venturi e Venturi, 2003), quello del sorgo da fibra risulta compreso tra 14,1 MJ kg<sup>-1</sup> (Di Candilo et al., 2005b) e 16,9 MJ kg<sup>-1</sup> (Cosentino et al., 2002; Venturi e Venturi, 2003) e quello del panico si aggira intorno a 17,4 MJ kg<sup>-1</sup> (Venturi e Venturi, 2003).

Per quanto riguarda le colture da cui si ricavano combustibili liquidi, si riscontrano in letteratura valori compresi tra 25 MJ kg<sup>-1</sup> (Baldini et al., 2005) e 27,2 MJ kg<sup>-1</sup> per il girasole (Venturi and Venturi, 2003). Colza, soia e barbabietola fanno registrare valori rispettivamente pari a 24,0 MJ kg<sup>-1</sup>; 20,5 MJ

	OUTPUT (gJ ha <sup>-1</sup> )	INPUT (gJ ha <sup>-1</sup> )	POTERE CALORIFICO (mJ kg <sup>-1</sup> )	RESA ENERGETICA NETTA (gJ ha <sup>-1</sup> ) (o-i)*	EFFICIENZA ENERGETICA (o/i)*	RIFERIMENTO BIBLIOGRAFICO
BIOCOMBUSTIBILI SOLIDI						
Canna co- mune	294,6 ð -473 f	14,9 ð -10,5 g f	18	280 ð - 463 f	20,5 ð - 77 f	<i>Angelini et al., 2005b</i>
	285,8‡-531,1α	39,2 ‡72,4α	17,7	345 (II anno)	7,36 (IIanno)	<i>Cosentino et al., 2007b</i>
	240-600		14,6	118-592	11-75	<i>Venturi e Venturi, 2003</i>
			19,1			<i>Ghetti et al., 1995</i>
Miscanthus	179,1‡-351,6α	39,2‡ - 72,4α	17,1	198,7 (II anno)	4,5 (II anno)	<i>Cosentino et al., 2007b</i>
	260-530		17,6-17,7	238-522	5-20	<i>Venturi e Venturi, 2003</i>
	291‡- 564α	12,8-26,5 ð 4,1-17,9 (dal II anno)	16,5	291‡- 564α	22-47	<i>Ercoli et al., 1999</i>
			14,6			<i>Di Candilo et al., 2005c</i>
Cardo	179,1‡-351,6α	28,9‡ - 48α	16,5	312	9,43 ð	<i>Cosentino et al., 2007b</i>
		8-22	15,5-16,8	133-344	7-31	<i>Venturi e Venturi, 2003</i>
		13,2	14,1-15	180		<i>Nassi o Di Nasso et al., 2006</i>
Sorgo da fibra	270‡-524α	31,4-71,1	16,7-16,8	238‡-453α 245-300	6,8-8,5 16,5-20	<i>Cosentino et al.,2002</i> <i>Monti and Venturi, 2003</i>
	334-507	13-25	16,7-16,9 14,1	309-494	13-39	<i>Venturi and Venturi, 2003</i> <i>Di Candilo et al., 2005 c</i>
Panico	174-435		17,4	152-427	8-54	<i>Venturi e Venturi, 2003</i>
Pioppo		14,2 per anno			13	<i>Balsari e Airolidi, 2002</i>
BIOCOMBUSTIBILI LIQUIDI						
Sorgo zuccherino	337‡-423α(z.)	31,4-71,1	16,7-16,8	295‡-365α(z.)	6-11,7 (z.)	<i>Cosentino et al.,2002</i>
	132,5‡140,6α	13,8‡-19,1α		118,7‡-121,5 α	7,4‡ -9,6 α	<i>Monti e Venturi, 2003</i>
	250-422	13-25	16,7-16,9	225-409	10-32	<i>Venturi e Venturi, 2003</i>

\*O= output; I= input

z. = sorgo zuccherino; f.= sorgo da fibra, §biologico; ∞ convenzionale; ‡ bassi input; αalti input; ð I anno; f II-VI anno

Tab. 5 (segue)

	OUTPUT (g j ha <sup>-1</sup> )	INPUT (g j ha <sup>-1</sup> )	POTERE CALORIFICO (m j kg <sup>-1</sup> )	RESA ENERGETICA NETTA (g j ha <sup>-1</sup> ) (o-i)*	EFFICIENZA ENERGETICA (o/i)*	RIFERIMENTO BIBLIOGRAFICO
Colza	16,6-18,8 ‡ 65,2-45,3 □	14,7-14 ‡ 39,1-33,4 □	24,0	54,8∞ - 56,3 ♣  3,8-44,4  52,9 (con farine) 13,6	4,8∞-13,4 ♣  1,38-2,21; 1,36‡ - 1,67□ 4,3 (con farine); 1,8	<i>De Mastro et al., 2006</i>  <i>Venturi e Venturi, 2003</i> <i>Cardone et al., 2003</i> <i>Bona et al., 1999</i>
Brassica carinata	38,2‡ 31,8-48,7 □	23,5-24,2‡ 29,4-36,6 □			1,6□-1,2 ‡	<i>Cardone et al., 2003</i>
Girasole				10-20	0,68-1,79 1,03 (con farine) 0,7 5	<i>Bona et al., 1999</i> <i>Bona, 2001</i>  <i>Baldini et al., 2005</i> <i>Venturi e Venturi, 2003</i>
Soia			25 27,2	51,5-57,3 -6,4-30		<i>Venturi e Venturi, 2003</i>
Barbabietola		33,3	20,5	-0,6-38,8	0,96-2,11	<i>Venturi e Venturi, 2003</i>
Mais			16,9	45-130	2,8-3,2	<i>Venturi e Venturi, 2003</i>
				10-110	1,4-3,8; 3,5	<i>Venturi e Venturi, 2003</i> <i>Baldini et al., 2005</i>
*O= output; I= input z. = sorgo zuccherino; f.=sorgo da fibra, ♣biologico; ∞ convenzionale; ‡ bassi input;□alti input; ∂ I anno; † II-VI anno						

Tab. 5 *Indici energetici di alcune colture per energia studiate in ambienti italiani*

$\text{kg}^{-1}$  e  $16,9 \text{ MJ kg}^{-1}$  (Venturi e Venturi, 2003). Se si prende in considerazione invece solo il contenuto energetico dell'olio, questo sarebbe pari a 37,4, 38,4 e  $36,4 \text{ MJ kg}^{-1}$ , rispettivamente per colza, girasole e soia (Venturi e Venturi, 2003).

### 3.2 *Resa energetica*

La resa energetica, espressa come differenza tra il contenuto energetico complessivo della biomassa prodotta (output) e l'ammontare dell'energia ausiliaria immessa nel sistema colturale (input), si aggira per la canna comune intorno a  $280 \text{ GJ ha}^{-1}$  in una coltura di primo anno (Angelini et al., 2005b) ma raggiunge valori di  $592 \text{ GJ ha}^{-1}$  a partire dal secondo anno (Venturi e Venturi, 2003). Il miscanto fa registrare valori di  $200 \text{ GJ ha}^{-1}$  circa nell'anno di impianto (Cosentino et al., 2007b), fino a un massimo di  $564 \text{ GJ ha}^{-1}$  ottenuto con la dose massima di azoto di  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  e l'irrigazione (Ercoli et al., 1999). Nel cardo, i valori di resa energetica oscillano tra 133 e  $344 \text{ GJ ha}^{-1}$  (Venturi e Venturi, 2003). La resa energetica del sorgo da fibra varia tra  $238 \text{ GJ ha}^{-1}$  (Cosentino et al., 2002) e  $494 \text{ GJ ha}^{-1}$  (Venturi e Venturi, 2003) e quella del sorgo zuccherino tra  $118 \text{ GJ ha}^{-1}$  (Monti e Venturi, 2003) e  $409 \text{ GJ ha}^{-1}$  (Venturi e Venturi, 2003). Per il panico viene indicata una resa energetica compresa tra 152 e  $427 \text{ GJ ha}^{-1}$  (Venturi e Venturi, 2003).

La resa energetica del colza è di circa a  $53 \text{ GJ ha}^{-1}$  se si conteggiano anche le farine di estrazione, e scende a  $13,6 \text{ GJ ha}^{-1}$  se si conteggia solo l'olio (Bona, 2001). Sempre per il colza, in relazione alle tecniche colturali adottate, Venturi e Venturi (2003) indicano valori compresi tra di 3,8 e  $44,4 \text{ GJ ha}^{-1}$ . De Mastro et al. (2006) riportano una resa di  $54,8 \text{ GJ ha}^{-1}$  e di  $56,3 \text{ GJ ha}^{-1}$  rispettivamente con tecnica colturale convenzionale e biologica. Per il girasole e la soia, sono state rilevate da Venturi e Venturi (2003) rese energetiche negative pari, rispettivamente, a  $-6,4 \text{ GJ ha}^{-1}$  e  $-0,6 \text{ GJ ha}^{-1}$ , che potrebbero crescere fino a  $57,3 \text{ GJ ha}^{-1}$  per il girasole (Baldini et al., 2005) e  $38,8 \text{ GJ ha}^{-1}$  per la soia (Venturi e Venturi, 2003), adottando sistemi di coltivazione a bassi livelli di input.

### 3.3 *Rendimento energetico*

Il rendimento energetico è espresso dal rapporto tra il contenuto energetico complessivo della biomassa prodotta (output) e l'ammontare dell'energia



ausiliaria immessa nel sistema colturale (input). Nel caso di *Arundo* tale rapporto risulta pari a 7,4 nella coltura di secondo anno (Cosentino et al.) e di 77 nella fase di massima produzione (Angelini et al., 2005a); nel miscanto questo rapporto varia tra 4,5 (Cosentino et al.) del secondo anno e 47 (in media dal secondo al quarto anno) (Ercoli et al., 1999). Per il cardo, tale indice risulta compreso tra 7 e 31 in relazione a fattori colturali diversi (Venturi e Venturi, 2003).

Per il sorgo da fibra vengono indicati valori compresi tra 6,8 (Cosentino et al., 2002) e 39 (Venturi e Venturi, 2003); valori lievemente più elevati si registrano, sempre secondo gli stessi autori, per il sorgo zuccherino, con un campo di variabilità compreso tra 6 e 32, in relazione alle differenti tecniche colturali, sulle quali incide particolarmente l'uso di acqua per l'irrigazione. Un ampio campo di variabilità per l'efficienza energetica del panico, compresa tra 8 e 54, viene riportato da Venturi e Venturi (2003).

Per il colza, nel confronto tra sistemi colturali convenzionale, a basso input e biologico, vengono riportati incrementi di efficienza energetica da 4,8 a 13,4 (De Mastro et al., 2006). Valori sensibilmente più bassi, pari a 1,67 e 2,21, sono riportati rispettivamente da Cardone et al. (2003) e Venturi e Venturi (2003). Per il girasole, Baldini et al. (2005) indicano un'efficienza energetica pari a 5, mentre Bona (2001) rileva un valore di poco superiore all'unità (1,03). Per le S.R.F. di pioppo, Balsari e Airoidi (2002) hanno calcolato un indice di efficienza di poco superiore a 13.

#### 4. ASPETTI AMBIENTALI

L'aspetto che viene sempre più spesso invocato nella scelta delle fonti energetiche rinnovabili riguarda il positivo impatto delle bioenergie sull'ambiente. Sotto questo profilo, alla bioenergia viene generalmente riconosciuto, rispetto ai combustibili fossili, il vantaggio del bilancio "nullo" dell'anidride carbonica, nel senso che il carbonio emesso nel processo di combustione è completamente riutilizzato nella fotosintesi per la costruzione della biomassa vegetale.

##### 4.1 *Anidride carbonica conservata (CO<sub>2</sub> saved)*

Il risparmio in termini di emissioni di anidride carbonica verso l'atmosfera, favorevole ai biocombustibili, può contribuire in maniera consistente al contenimento dell'effetto serra e del paventato riscaldamento globale del nostro

	Categorie di impatto						CO2 “saved” (t CO2 equiv. ha-1)	Bilancio della CO2 (t ha-1)
	Differenze tra i valori delle categorie di impatto della filiera riscaldamento, biodiesel e della filiera ETBE rispetto alle corrispondenti filiere fossili (valori negativi indicano un vantaggio per i biocombustibili e viceversa)							
Biocombustibili	Consumo di risorse abiotiche (MJ MJ <sup>-1</sup> )	Effetto serra (g CO <sub>2</sub> equiv./MJ)	Acidificazione (g SO <sub>2</sub> equiv./MJ)	Eutrofizzazione (g NO <sub>3</sub> equiv./MJ)	Land use m2ha	Incidenza fase agricola (%)		
Biomasse	-1,12	-76	0,13	0,20-0,29	167-227	5,3‡ - 28,4□	37,7	31,1-46,3
<i>Canna comune</i>					229-646		17,5	11,2-29,4
<i>Miscanto</i>					229-737		19,1	31,6-41,7
<i>Cardo</i>					265-416		25,1	
<i>Sorgo da fibra</i>								
Biodiesel	-1,36	-80,9	0,40	0,81	452-842	29,7	15,8-7,5	2,55
<i>Colza</i>								2,73
<i>Girasole</i>								
Bioetanolo	-4,06	-157,9	0,07	1,13	308-488	6,6‡ -14,1□	14,4-27,4	18,9-33,0
<i>Sorgo zuccherino</i>								
Life cycle assessment (dati tratti da Cosentino et al., 2005a) CO <sub>2</sub> “saved” = CO <sub>2</sub> emessa fossile - CO <sub>2</sub> emessa biocombustibile (dati tratti da Cosentino et al., 2005a). Bilancio CO <sub>2</sub> = CO <sub>2</sub> sottratta - CO <sub>2</sub> emessa (dati tratti da Bona, 2001) ‡ bassi input;□ alti input;								

Tab. 6 Life cycle assessment, 'CO<sub>2</sub> "saved" e bilancio della CO<sub>2</sub>

Pianeta. Questo aspetto può essere considerato, probabilmente, il più significativo, per l'attenzione riservata al contenimento delle emissioni della CO<sub>2</sub> a seguito del "protocollo di Kyoto" e, soprattutto, delle recenti direttive nazionali e comunitarie in questo contesto (Ministero dell'Ambiente, 2002). Il calcolo prende in considerazione la quota di CO<sub>2</sub> fissata nella biomassa quale *input* positivo, e la quota di CO<sub>2</sub> emessa nell'atmosfera durante tutto il processo produttivo, sia durante la fase agricola che durante quella industriale quale *output* negativo. Si rileva che i biocombustibili liquidi permettono un risparmio nelle emissioni di CO<sub>2</sub> di gran lunga inferiore a quello dei biocombustibili solidi. La produzione di biodiesel da olio di colza ed energia termica dai co-prodotti consente un risparmio di CO<sub>2</sub> variabile tra 15,8 e 7,5 t CO<sub>2</sub> equivalenti ha<sup>-1</sup>, rispettivamente per la produzione ottenuta al Nord, con un itinerario tecnico ad alti livelli di input, e al Sud (tab. 6). La produzione di bioetanolo dal sorgo zuccherino e la bagassa utilizzata per la produzione di elettricità comporta un risparmio più consistente, compreso fra 14,4 e 27,4 t di CO<sub>2</sub> equiv. ha<sup>-1</sup>, nell'ordine negli ambienti meridionali e centro-settentrionali (Cosentino et al., 2005b). Nel caso della produzione di biodiesel, nonostante la fase industriale non determini elevate emissioni di CO<sub>2</sub>, tuttavia la produzione è sostanzialmente contenuta (2-3 t ha<sup>-1</sup>).

Ben più cospicua risulta l'entità della CO<sub>2</sub> conservata per ettaro e per anno della filiera biocombustibili solidi, quando questa venga utilizzata per la produzione di elettricità e calore attraverso la combustione diretta. La canna comune consente un risparmio medio di 37,7 t ha<sup>-1</sup> per anno di CO<sub>2</sub>; segue il sorgo da fibra (25,1 t CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> per anno), cardo (19,1 CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> per anno) e miscanto (17,5 CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> per anno) (Cosentino et al., 2005b).

#### 4.2 *Life Cycle Assessment*

Tra le metodologie proposte per valutare l'impatto ambientale delle nuove fonti energetiche rispetto a quelle tradizionali, l'analisi del ciclo di vita (LCA, *Life Cycle Assessment*) ha riscosso il più largo interesse da parte degli studiosi. Tale metodologia è stata impiegata in occasione del progetto di ricerca TISEN del Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali, che nell'arco del triennio 2001-2004 ha valutato in tre ambienti del Nord, Centro e Sud Italia l'entità della CO<sub>2</sub> risparmiata e l'impatto ambientale di colture energetiche afferenti alle tre filiere prima descritte (Cosentino et al., 2005b).

A prescindere dal significato specifico da attribuire ai valori calcolati, le categorie “consumo di risorse abiotiche” ed “effetto serra” hanno fatto rilevare significativi vantaggi a carico dei bio-combustibili rispetto all’impiego dei combustibili fossili. Questi vantaggi possono rivestire, rispetto a quelli di altre categorie di impatto, una maggiore rilevanza. La riduzione del consumo delle risorse abiotiche, oltre a consentire la salvaguardia dell’agroecosistema, corrisponde a una esigenza di diversificazione strategica delle fonti energetiche e in particolare di quelle rinnovabili. Va ricordato che, per l’elevato costo energetico richiesto dai combustibili fossili per sviluppare un MJ di energia meccanica, il bioetanolo, con la produzione di elettricità dalla bagassa e dalla biomassa residua, ha fatto registrare un risparmio energetico quasi quattro volte maggiore rispetto ai bio-combustibili solidi ( $4,06 \text{ MJ MJ}^{-1}$  energia meccanica per il bioetanolo, l’ETBE, contro valori compresi tra 1,11 e  $1,14 \text{ MJ MJ}^{-1}$  energia termica per la filiera riscaldamento), mentre la filiera biodiesel comprendente l’energia termica delle biomasse ha fatto rilevare un risparmio energetico intermedio ( $1,36 \text{ MJ MJ}^{-1}$ ). Sulla categoria effetto serra, legata al ciclo del carbonio, si è riferito nel paragrafo precedente.

Sono stati posti in evidenza, tuttavia, una serie di categorie di impatto che risultano a favore del combustibile fossile (acidificazione dell’atmosfera, eutrofizzazione delle acque, esaurimento dell’ozono atmosferico), da attribuire essenzialmente al contributo di alcune operazioni colturali (impiego di macchine e attrezzi, uso di concimi minerali e presidi fitosanitari). Ne è conferma il fatto che nelle tesi sperimentali a ridotti input agronomici, l’incidenza della fase agricola si contrae, in alcuni casi anche sensibilmente, riducendo, pertanto, l’impatto complessivo delle categorie sopra citate. Una attenta analisi ed eventuale revisione di alcune attività agricole potrebbe contribuire a ridurre l’impatto di questi processi.

Gli impatti di altre categorie (ecotossicità, tossicità umana, ozono fotochimico) in generale non si sono discostati dagli impatti che si originano dai corrispettivi combustibili fossili. In ogni caso, essi vanno attentamente analizzati per valutare quale sia il loro reale significato e quale sia il peso da attribuire in funzione del loro potenziale. Per alcune di queste categorie di impatto (tossicità umana, ecotossicità), non è ancora chiaro il significato da attribuire ai loro effetti in termini di importanza sugli equilibri degli ecosistemi e sulla salute umana, dal momento che queste ricerche risultano ancora oggetto di indagine da parte degli studiosi, con risultati spesso fra loro contrastanti.

La filiera biocombustibili solidi ha fornito, nel complesso, risultati più vantaggiosi in termini di impatto sull’ambiente rispetto alla filiera bioetanolo, che risulta penalizzata da una fase industriale molto complessa. La filiera

biodiesel, se basata esclusivamente sull'utilizzo dell'olio, presenta un impatto ambientale nettamente superiore alle altre due filiere, l'utilizzo dell'intera pianta a fini energetici potrebbe contribuire a mitigare questo impatto.

## 5. PROSPETTIVE DELLA RICERCA

La Piattaforma Europea dei Biocarburanti ([www.biofuelstp.eu](http://www.biofuelstp.eu)), nell'ambito delle sue attività ha sviluppato il documento *Strategic Research Agenda* nel quale, nella parte relativa alle colture da energia si sottolinea che queste sono «effettuate allo scopo precipuo di produrre biomassa che, per specifiche caratteristiche, agisce quale vettore che rilascia energia sia attraverso combustione diretta che attraverso la conversione in altri vettori quali biogas o biocarburanti liquidi». In relazione al nuovo ruolo che tali colture possono rivestire nel contesto dell'agricoltura europea, alcuni aspetti richiedono attenta considerazione:

- la possibilità di coltivare nuove specie destinate alla produzione di energia rappresenta una opportunità per l'economia delle aree rurali e per la invocata multifunzionalità dell'agricoltura;
- le colture da energia consentono la diversificazione delle produzioni (alimentari/non alimentari) con un migliore impatto sul mercato;
- le specie poliennali da biomassa per energia allevate in condizioni di bassi input colturali accrescono la “sostenibilità” del settore agricolo e offrono la possibilità della messa a coltura di terreni marginali con benefici indiretti derivanti dal miglior uso del territorio;
- dovrebbero essere assicurate stesse opportunità alle colture alimentari e a quelle non alimentari, in accordo con le posizioni strategiche e politiche;
- la coltivazione di specie da biomassa per energia dovrebbe essere strettamente connessa alla fase industriale di trasformazione energetica attraverso accordi di filiera.

Come è stato posto in evidenza, le colture da energia attualmente impiegate sono colture alimentari, (colza, frumento, mais, ecc.), coltivate con tecniche agronomiche convenzionali. La necessità di superare le perplessità rilevate e di impostare un'attività di ricerca che risulti decisiva per una soluzione della problematica, passa attraverso una migliore definizione delle caratteristiche dell'ideotipo di specie per energia:

- elevate rese prossime a quelle potenziali per ciascuna regione;
- elevata efficienza di uso della radiazione solare in relazione all'ambiente

(temperatura, fotoperiodo, disponibilità idrica);

- resistenza a stress biotici;
- resistenza a stress abiotici (idrico, da alte a basse temperature, salino);
- in grado di valorizzare le risorse naturali disponibili;
- con specifiche caratteristiche qualitative per ciascun uso (biogas, biodiesel, bioetanolo di prima generazione, bioetanolo di seconda generazione da cellulosa, BTL, bioidrogeno);
- bilancio energetico positivo.

Alla definizione dell'ideotipo dovrebbe corrispondere la messa a punto di un dettagliato archivio di informazioni in grado di supportare le decisioni e le scelte:

- caratterizzazione agro-ecologica dei comprensori da destinare a colture da energia in una data regione;
- individuazione e caratterizzazione di specie da biomassa per energia;
  - valutazione di specie di nuova introduzione;
  - valorizzazione di specie locali con elevata resa in biomassa;
  - selezione di specie per differenti regioni e condizioni pedoclimatiche;
  - sviluppo di colture alternative con provato potenziale per la produzione di etanolo per ambienti irrigui e asciutti (es. sorgo zuccherino);
- programmi di miglioramento genetico e di selezione (sviluppo di specifiche colture da energia adattate a una particolare regione agro-ecologica) e sviluppo di nuovi strumenti e processi per il sostegno della 'Research and Development' (R&D) delle piante coltivabili (biologia molecolare);
  - miglioramento genetico di specie coltivate per altri usi;
  - miglioramento genetico di specie spontanee (es. canna comune);
  - sviluppo di varietà transgeniche e non transgeniche con caratteri specifici;
  - genomica per il miglioramento dei cereali per uso non alimentare;
  - incroci di nuove specie arboree forestali;
  - miglioramento delle colture tradizionali basate sulla produzione di zucchero (es. barbabietola);
  - riduzione del contenuto di ceneri e di alcuni microelementi;
  - modifica della struttura della parete cellulare per l'incremento dell'efficienza di conversione dei biocarburanti nelle biomasse ligno-cellulosiche;
  - miglioramento dell'efficienza d'uso dell'acqua e degli elementi nutritivi;
  - incremento dell'efficienza d'uso della radiazione solare;

- incremento della resa in biomassa lignocellulosica rispetto alla biomassa totale;
- messa a punto di una appropriata tecnica agronomica per una produzione sostenibile;
  - coltivazione a “bassi input”;
  - miglioramento della efficienza d’uso dell’acqua e degli elementi nutritivi;
  - sistemi pluricolturali: sistemi agricoli e forestali, specie annuali e poliennali; specie erbacee, arbustive e arboree;
- problemi logistici: raccolta, pre-trasformazione in relazione alla tipologia di prodotto, stoccaggio della biomassa in rapporto al contenuto di umidità, logistica in vista della multifunzionalità;
- sviluppo di “bioraffinerie” (*Biorefinery*) cioè di utilizzazione completa dell’energia contenuta nella biomassa attraverso un “gruppo integrato di bioindustrie che usa un insieme di tecnologie per produrre prodotti chimici, biocarburanti, alimenti” (Soetaert, 2006);
- valutazione dell’impatto ambientale e sociale;
  - sostenibilità delle coltivazioni: impatto ambientale, biodiversità, erosione del suolo;
  - strategie d’uso del territorio;
  - accettabilità da parte del mondo agricolo;
  - passaggio da una agricoltura tradizionale a un’agricoltura multifunzionale;
- sviluppo di modelli di simulazione e di sistemi di supporto alle decisioni;
  - modelli per la definizione delle potenzialità delle specie coltivate e dei territori agro-forestali;
  - sistemi di supporto alle decisioni per la valutazione complessiva degli aspetti agronomici, energetici, ambientali ed economici.

## 6. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Le filiere agronergetiche rappresentano per il nostro Paese una reale opportunità che va inserita in un progetto più ampio di multifunzionalità dell’agricoltura che abbia per riferimenti la sostenibilità economica, ambientale e sociale.

Dalla rassegna degli aspetti agronomici, energetici e ambientali delle colture da biomassa per energia per l’ambiente italiano e delle nuove prospettive

che si aprono in vista dell'introduzione di nuove tecnologie capaci di ottenere biocarburanti anche da colture lignocellulosiche, emerge un quadro variegato in relazione ai contesti territoriali e ambientali in cui si opera.

La produzione di biocarburanti (bioetanolo e biodiesel) può essere assicurata in questa prima fase da colture consolidate di origine agro-alimentare (frumento, mais, colza, soia, girasole) sebbene presentino limitazioni e inefficienze intrinseche (la coltivazione richiede elevati input energetici, il rapporto "output/input" è sfavorevole, l'impatto ambientale rispetto ai combustibili fossili non è sempre positivo, la resa di biomassa convertibile è limitata).

La valutazione dell'impatto ambientale tramite la LCA pone in evidenza, comunque, che un vantaggio di queste colture rispetto ai carburanti fossili si realizza nelle categorie di impatto "risparmio energetico" e "bilancio dell'anidride carbonica". In particolare, potrebbe essere interessante valorizzare la quantità di "CO<sub>2</sub> conservata" che queste colture consentono di ottenere, ai fini di una loro considerazione fra le misure di contenimento delle emissioni previste nell'ambito del "protocollo di Kyoto".

In una prospettiva di più lungo periodo la filiera lignocellulosica appare assai promettente grazie all'elevata produttività delle colture polienni (S.R.F., canna comune, miscanto, cardo). Queste colture presentano indici energetici e ambientali più favorevoli rispetto a quelle di origine agro-alimentare, ma la loro coltivazione richiede ancora approfondimenti e studi.

Le principali prospettive che la ricerca si pone riguardano, nel breve periodo, il miglioramento delle attuali filiere (tecniche colturali a "bassi input"; logistica della raccolta e dello stoccaggio della biomassa; trasformazione in ambito aziendale per l'attuazione della filiera corta). Nel medio periodo i vantaggi possono derivare dalla selezione e propagazione di genotipi di specie di elevata capacità produttiva, dall'individuazione e caratterizzazione di nuove specie per questo scopo e dalla definizione di disciplinari di coltivazione a bassi "input" in relazione all'ideotipo di pianta-coltura da energia, dalla diffusione delle tecnologie per l'ottenimento dei biocarburanti di seconda generazione e per l'attuazione delle bioraffinerie.

#### RIASSUNTO

La relazione, dopo una breve introduzione sulle tendenze della politica comunitaria nel settore dei biocarburanti, descrive gli aspetti agronomici, energetici e ambientali delle colture da biomassa per energia in rapporto alla sperimentazione condotta negli ultimi anni in Italia in questo settore, distinguendo le colture sulla base della filiera energetica principale: biodiesel, bioetanolo, calore ed elettricità.



Allo stato attuale molte delle colture di possibile utilizzazione a fini energetici sono mutate dal comparto agroalimentare (frumento, orzo, mais, colza, soia, girasole, sorgo da granella, barbabietola da zucchero) e destinate alla produzione di biocarburanti (bioetanolo e biodiesel) grazie alle consolidate conoscenze agronomiche e tecniche che ne permettono una immediata applicazione. Le colture annuali (sorgo zuccherino e da fibra) e quelle arboree a breve rotazione (S.R.F.) sono state anch'esse oggetto, nel nostro Paese, di attenta sperimentazione. Alla luce delle nuove tecnologie in grado di ricavare combustibili da biomasse lignocellulosiche, si aprono interessanti prospettive per alcune specie che si sono rivelate particolarmente promettenti per le caratteristiche di poliennalità e produttività: canna comune, miscanto, cardo; queste ultime presentano, tuttavia, ancora alcuni punti di debolezza legati alle tecniche di propagazione, alle tecniche di raccolta e stoccaggio, alla disponibilità di genotipi, alla meccanizzazione.

Le colture provenienti dal settore agroalimentare presentano indici energetici e impatti ambientali (sequestro del carbonio, *Life Cycle Assessment*) spesso sfavorevoli, legati alla loro bassa produttività. Al contrario, le colture a elevata produzione di biomassa fanno rilevare, in genere, bilanci energetici e impatti ambientali più favorevoli.

Infine, la relazione, dopo aver sottolineato come le filiere agrienergetiche rappresentino per il nostro Paese una reale opportunità che va inserita in un progetto più ampio di multifunzionalità dell'agricoltura, richiama i suggerimenti presenti nella "Piattaforma europea sui biocarburanti" e nell'ambito di queste vengono prospettate linee guida per la ricerca scientifica nel breve e medio periodo per il miglioramento delle attuali filiere, per la definizione dei disciplinari di coltivazione in relazione all'ideotipo di pianta-coltura da energia, alla diffusione delle tecnologie per l'ottenimento dei biocarburanti di seconda generazione e per l'attuazione delle bioraffinerie.

#### ABSTRACT

This review, after a short introduction about tendencies of the European Community Policy in biofuels, describes the agronomic, energetic and environmental aspects of biomass crops for energy in relation to the research activity carried out in Italy in this topic, differentiating the crops basing on the main energetic destination: biodiesel, bioethanol, heating and electricity.

Currently, many crops which could be used for energetic purposes are food crops (wheat, barley, corn, rapeseed, soybean, sunflower, grain sorghum, sugar beet), that could be used as biofuel (bioethanol and biodiesel) since their agronomic and technical aspects are well known and consequently they are soon applicable. Other species that could be used, highly productive in biomass, such as herbaceous perennial crops (*Arundo donax*, *Miscanthus* spp., cardoon), annual crops (sweet sorghum), short rotation arboreal crops (S.R.F.) have been accurately considered, in Italy, but they still exhibit critical aspects joined to the propagation technique, the low-input response, harvest and storage technique, cultivars, mechanization.

Crops for food, however, have often negative energetic indices and environmental impacts (carbon sequestration, *Life Cycle Assessment*), consequent to their low productivity. Conversely, crops which are high productive in biomass, show both a more favourable energetic balance and environmental impact.

Finally, the review, after having pointed out as the agro-energetic chains may repre-

sent in Italy a real opportunity to be included in a wider programme of multifunctionality of the agriculture, recalls the "European Biofuel Platform" Strategic Research Agenda. Within this document the guidelines for the scientific research in the short, and medium term are defined, in order to draw methods of cultivation in relation to the ideotype of energy plant/crop, to the spread of the technologies to obtain the second generation biofuel and to the setting up of biorefineries.

#### BIBLIOGRAFIA

- ABBATE V., COSENTINO S., COPANI V. (1993): *La produzione di colza* (Brassica Napus L. var. oleifera DC.) in ambiente mediterraneo, «Riv. Agron.», 2, pp. 125-134.
- ABBATE V., PATANÈ C. (1996): *Biomass crops for energy of possible introduction to Sicily*, Proceedings of the 9<sup>th</sup> European Bioenergy Conference, pp. 622-627.
- AIR CT92 0294 (1997): *Miscanthus productivity network*, Coordinatore McCarthy S. Final Report, Ireland.
- AIR CT93-1089 (1999): *Cynara cardunculus network*, Coordinatore Fernandez J. Final Report, Spain.
- ANASTASI U., CAMMARATA M., SORTINO O., ABBATE V. (2001): *Comportamento agronomico e composizione lipidica degli acheni di due ibridi di girasole (convenzionale e ad alto oleico) in risposta ai fattori ambientali*, «Riv. di Agron.», pp. 76-86.
- ANGELINI L., CECCARINI L., BONARI E. (1999): *Resa, composizione chimica e valutazione energetica della biomassa di specie erbacee annuali per la produzione di energia*, Atti del xxxiii Convegno Annuale della Società Italiana di Agronomia, Legnaro (PD), 20-23 settembre, pp. 84-85.
- ANGELINI G.L., CECCARINI L., BONARI E. (2005a): *Biomass yield and energy balance of giant reed (Arundo donax L.) cropped in central Italy as related to different management practices*, «European J. Agronomy», 22, pp. 375-389.
- ANGELINI G.L., CECCARINI L., NASSI O DI NASSO N., BONARI E. (2005b): *Long term evaluation of biomass production of Giant reed (Arundo donax L.) to different fertilization input, plant density and harvest time in a Mediterranean environment*, Proceedings of the 14<sup>th</sup> European Biomass, Paris, pp. 141-144.
- BALDINI M., TURI M., GIOVANARDI R. (2005): *Confronto tra sistemi culturali a ridotto impatto ambientale per il girasole destinato alla produzione di biodiesel*, «Agroindustria», 4, pp. 71-79.
- BALSARI P., AIROLDI G. (2002): *Valutazione energetica ed economica di una coltivazione di pioppo per la produzione di biomassa*, «Riv. Agron.», 36, pp. 163-169.
- BARBANTI L., GRANDI S., VECCHI A., VENTURI G. (2006): *Sweet and fibre sorghum (Sorghum bicolor (L.) Moench), energy crops in the frame of environmental protection from excessive nitrogen loads*, «Europ J. Agron.», 25, pp. 30-39.
- BONA S. (2001): *Biodiesel e bioetanolo: bilanci energetici e della CO<sub>2</sub>*, «Riv. Agron.», 35, pp. 219-229.
- BONA S., MOSCA G., VAMERALI T. (1999): *Oil crops for biodiesel production in Italy*, «Renewable energy», pp. 1053-1056.
- BONARI E. (2001): *Potenzialità e problematiche agronomiche della silvicoltura a breve rotazione come coltura da energia negli ambienti mediterranei*, «Riv. Agron.», 35, pp. 188-199.

- BONARI E. (2005): *Risultati produttivi del pioppo da biomassa*, «Terra e vita», 10, pp. 69-73.
- BONARI E., VILLANI R. (2004a): *La produzione di biomassa a destinazione energetica dal S.R.F. di pioppo, prime esperienze in Toscana*, Convegno di studio: “Le biomasse agricole e forestali nello scenario energetico nazionale”, Verona, 18-19 marzo.
- BONARI E., PICCHI G., GINANNI M., FRAGA A., GUIDI W. (2004b): *Poplar short rotation coppice behavior under different harvesting treatments*, 2<sup>nd</sup> World Conference on Biomass for energy, Industry and climate Protection, 10-14 May, Rome, pp. 237-238.
- BONARI E., MAZZONCINI M., GINANNI M., PICCHI G., SILVESTRI N. (2005): *Colture legnose a breve rotazione nella pianura padana*, «Agroindustria», 4, 1, pp. 49-54.
- CARDONE M., MAZZONCINI M., MENINI S., ROCCO V., SENATORE A., REGGIANI M., VITOLO S. (2003): *Brassica carinata as an alternative oil crop for the production of biodiesel in Italy: agronomic evaluation, fuel production by transesterification and characterization*, «Biomass and Bioenergy», 25, pp. 623-636.
- CECCARINI L., ANGELINI L., BONARI E. (1999): *Caratteristiche produttive e valutazione energetica della biomassa di Miscanthus sinensis Anderss, Arundo donax L. e Cynara cardunculus L. in prove condotte nella Toscana litoranea*, Atti del xxxiii Convegno Annuale della SIA, Legnaro (PD) 20-23 settembre 1999, pp. 82-83.
- COMMISSIONE DELLE COMUNITÀ EUROPEE (2005): *Piano d'azione per la biomassa*, Bruxelles, 1-46.
- COPANI V., PATANÈ C., TUTTOBENE R. (1989): *Potenzialità produttiva del sorgo zuccherino (Sorghum bicolor (L.) Moench) quale fonte di biomassa a fini energetici*, «Riv. agron.», pp. 428-434.
- COPANI V., CAMMARATA M., ABBATE V., RUBERTO G. (1999): *Caratteristiche biologiche e qualità dell'olio di Crocifere diverse in ambiente mediterraneo*, Atti xxxiii Convegno Società Italiana di Agronomia, Legnaro (PD) 20-23 settembre 1999, pp. 233-234.
- COPANI V., COSENTINO S. L., MANTINEO M., SORTINO O. (2006): *La propagazione della canna comune (Arundo donax L.) mediante talee di culmo*, iii Convegno Nazionale “Piante Mediterranee”, Bari, 27 settembre-1 ottobre 2006, p. 163.
- COSENTINO S., PATANÈ C., GUARNACCIA P. (1996): *Biomass, leaf area index and water use efficiency of sweet sorghum (Sorghum bicolor (L.) Moench) in limited water availability in Mediterranean environment*, Atti del Convegno “First European Seminar on Sorghum”, Tolosa, 1-3 Aprile 1996, pp. 228-235.
- COSENTINO S. L., RIGGI E., MANTINEO M. (1997a): *Sweet sorghum (Sorghum bicolor (L.) Moench) performance in relation to soil water deficit in the South of Italy*, Proceedings First international sweet sorghum conference, Li Dajue Ed., pp. 430-442.
- COSENTINO S., COPANI V., MANTINEO M., FOTI S. (2002): *Risposta di una coltura di sorgo (Sorghum Bicolor L. Moench) a diversi livelli di energia ausiliaria*, «Riv. di Agron.», 36, pp. 357-365.
- COSENTINO S.L., D'AGOSTA G., PATANÈ C., COPANI V. (2003a): *Ecofisiologia e qualità di genotipi di sorgo (Sorghum bicolor (L.) Moench) a differente attitudine produttiva*, Atti xxxv Convegno SIA, Portici, 16-18 Settembre, pp. 327-328.
- COSENTINO S.L., COPANI V., D'AGOSTA G., SANZONE E. (2003b): *La propagazione di una coltura di canna comune (Arundo donax L.) mediante talee di culmo*, Atti del xxxv Convegno della Società Italiana di Agronomia, Portici, 16-18 Settembre, pp. 165-166.
- COSENTINO S.L., SANZONE E., COPANI V., MANTINEO M. (2003c): *Effetti della disponibilità idrica e del contenuto di azoto del terreno sulle caratteristiche morfobiometriche e*

- tecnologiche in Miscanthus e Arundo*, Atti xxxv Convegno SIA, Portici, 16-18 settembre, pp. 161-162.
- COSENTINO S.L., COPANI V., MANTINEO M., D'AGOSTA G. (2004): *Relazione annuale progetto TISEN*.
- COSENTINO S., FOTI S., VENTURI G., GIOVANARDI R., COPANI V., MANTINEO M., D'AGOSTA G., BEZZI G., TASSAN MAZZOCCO G. (2005a): *Colture erbacee annuali e poliennali da biomassa per energia di possibile coltivazione in Italia*, «Agroindustria», 4, 1, pp. 35-48.
- COSENTINO S. L., FOTI S., D'AGOSTA G.M., MANTINEO M., COPANI V. (2005b): *Confronto tra gli impatti ambientali di biocombustibili e di combustibili fossili per mezzo della "Life Cycle Assessment" (LCA)*, «Agroindustria», 4, 1, pp. 109-128.
- COSENTINO S.L., COPANI V., D'AGOSTA G.M., SANZONE E., MANTINEO M. (2006a): *First results on evaluation of Arundo donax L. clones collected in Southern Italy*, «Industrial Crops and Products», pp. 212-222.
- COSENTINO S., COPANI V., D'AGOSTA G.M., MANTINEO M., LITRICO A. (2006b): *Valutazione di germoplasma di specie del genere Miscanthus e Saccharum per la produzione di biomassa*, «Italus Hortus», 13, 2, pp. 433-436.
- COSENTINO S., PATANÈ C., SANZONE E., COPANI V., FOTI S. (2007a): *Effects of soil water content and nitrogen supply on the productivity of Miscanthus x giganteus Greef et Deu. in a Mediterranean environment*, «Ind.Crops and Prod», 25, pp. 75-88.
- COSENTINO S., D'AGOSTA G. M., PATANÈ C., COPANI V., COSENTINO A. (2007b): *Energetic yield in perennial crops in the semi-arid environment of Sicily (South of Italy)*, Proceedings of 15<sup>th</sup> European Biomass Conference & Exhibition, Berlin, 7-11 May.
- CURT M.D., SANCHEZ G., FERNANDEZ J. (2002): *The potential of Cynara cardunculus L. for seed oil production in a perennial cultivation system*, «Biomass and Bioenergy», 23, pp. 33-46.
- DALIANIS C. D. (1996): *Adaptation, productivity and agronomic aspects of sweet sorghum under EU conditions*, Proceedings of First European Seminar on Sorghum, Toulouse, 1-3 Aprile, pp. 15-25.
- DECRETO LEGISLATIVO n. 128 (2005): *Attuazione della direttiva 2003/30/CE relativa alla promozione dell'uso dei biocarburanti o di altri carburanti rinnovabili nei trasporti*.
- DE MASTRO G., TEDONE L., ROTONDO G., MARZI V. (1999): *Valutazione bioagronomica di Crocifere ad alto erucico in Basilicata*, Atti xxxiii Convegno Società Italiana di Agronomia. Legnaro (PD) 20-23 settembre, pp. 237-238.
- DE MASTRO G., GRASSANO N., VERDINI L., MANOLIO G. (2006): *Confronto tra sistemi colturali per la produzione di colza (Brassica napus L. var. oleifera) ad uso energetico*, «Congresso piante mediterranee», Bari, 27-28 Ottobre.
- DI CANDILO M., RANALLI P., PASINI P. (2005a): *Esperienze di coltivazione di Crambe abyssinica in Emilia Romagna*, «Agroindustria», 4, 1, pp. 101-107.
- DI CANDILO M., CESARETTI C., RANALLI P., DIOZZI M., PASINI P. (2005b): *Colture da biomassa nel bolognese: produzione e conversione energetica*, «Agroindustria», 4, 1, pp. 27-34.
- DI CANDILO M., RANALLI P., CESARETTI C., PASINI P. (2005c): *Biomass production and energy trasformation trial in Po Valley*, Proceedings of the 14<sup>th</sup> European Biomass Conference, 17-21 October 2005, Paris, pp. 363-366.
- DIRETTIVA 2003/30/CE del Parlamento europeo e del Consiglio dell'8 maggio 2003 sulla "Promozione dell'uso dei biocarburanti di altri carburanti nei trasporti".
- DOLCIOTTI I., MAMBELLI S., GRANDI S., VENTURI G. (1998): *Comparison of two Sor-*

- ghum genotypes for sugar and fiber production*, «Industrial Crops and Products», 7, pp. 265-272.
- EPOBIO (2006): *Epobio Workshop*, 22-24 May, Wageningen, 1-68, European Conference on Biorefinery Research, 19-20 October 2006 – Helsinki [http://ec.europa.eu/research/energy/gp/gp\\_events/biorefinery/article\\_3764\\_en.htm](http://ec.europa.eu/research/energy/gp/gp_events/biorefinery/article_3764_en.htm)
- ERCOLI L., MARIOTTI M., MASONI A., BONARI E. (1999): *Effect of irrigation and nitrogen fertilization on biomass yield and efficiency of energy use in crop production of Miscanthus*, «Field Crop Research», 63, pp. 3-11.
- ERRANI M., LAZZERI L., AMADUCCI MT., PALMIERI S., PIARANI V. (1999): *Prima caratterizzazione agronomica e tecnologica di una nuova cultivar di Sinapis alba*, Atti xxxiii Convegno della SIA, Padova, 20-23 settembre, pp. 229-230.
- FACCIOOTTO G., BERGANTE S., LIOIA C., MUGHINI G., NERVO G., GIOVANARDI R., MANAZZONE S., CARRETTI R. (2005): *Short rotation forestry in Italy with poplar and willow*, 14<sup>th</sup> European Biomass Conference, 17-21 October, Paris, France, pp. 320-323.
- FAIR CT96 1704 (1998): *Concerted action on Miscanthus*, Coordinatore McCarthy S. Final Report, Ireland.
- FAIR CT96 2028 (2001): *Giant reed (Arundo donax L.) network: improvement, productivity and biomass quality*, Coordinatore Christou M. Final Report, Greece.
- FAIR CT96-1704 (1998): *Concerted action on Miscanthus*, Coordinatore McCarthy S., Final Report, Ireland.
- FAIR CT96-1913 (2000): *Environmental studies on sweet and fiber sorghum, sustainable crops for biomass and energy*, Coordinatore Foti S., Final Report, Italia.
- FERNANDEZ J., CURT M.D. (2005): *State of the art of Cynara cardunculus L. as energy crop*, Proceedings of the 14<sup>th</sup> European Biomass Conference, 14-21 October, Paris France, pp. 22-27.
- FONTANA F., LAZZERI L., MALAGUTI L., CREMASCHI D. (1999): *Potenzialità agronomiche e principali caratteristiche tecnologiche del Crambe abyssinica*, Atti xxxiii Convegno della SIA, Legnaro (PD), 22-23 settembre, pp. 203-204.
- FOTI, S., COSENTINO, S., COPANI, V., PATANÈ, C., GUARNACCIA, P. (1996): *Growth and yield of C4 species for biomass production in Mediterranean Environment*, Proc. 9<sup>th</sup> European Bioenergy Conference “Biomass for Energy and the Environment”, pp. 616-621.
- FOTI S., MAUROMICALE G., RACCUA S.A., FALLICO B., FANELLA F., MACCARONE E. (1999): *Possible alternative utilization of cynara spp. I. Biomass, grain yield and chemical composition of grain*, «Ind. Crops Prod.», 10, pp. 219-218.
- FOTI S., COSENTINO S. (2001): *Colture erbacee annuali e poliennali da energia*, «Riv. di Agron.», 35, pp. 200-215.
- FOTI S., COSENTINO S., PATANÈ C., D’AGOSTA G. (2002): *Effects of osmo-conditioning upon seed germination of sorghum (Sorghum bicolor (L.) Moench.) under low temperatures*, «Seed Science and Technology», 30, pp. 521-533.
- FOTI S., COSENTINO S., PATANÈ C., COPANI V., SANZONE E. (2003): *Plant indicators of available soil water in Miscanthus x giganteus Greef et Deu*, «Agronomie», 23, pp. 29-36.
- FOTI S., COSENTINO S.L., PATANÈ C., MANTINEO M. (2004): *Sweet sorghum in Mediterranean environment*, Proceedings of II World Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, 10-14 May, Rome, Italy, pp. 391-394.
- GHERBIN P., MONTELEONE M., TARANTINO E. (2001a): *Five year evaluation on Cardoon (Cynara cardunculus L. var. altilis) biomass production in a Mediterranean Environment*, «Italian Journal of Agronomy», 5, pp. 11-19.



- GHERBIN P., MONTELEONE M., TARANTINO E. (2001b): *Influenza del regime irriguo sulla produzione di biomassa del sorgo da carta in ambiente mediterraneo*, «Riv. di Agron.», 35, pp. 126-127.
- GHETTI P., RICCA L., ANGELINI L. (1995): *Thermal analysis of biomass and corresponding pyrolysis products*, «Fuel», 75, 5, pp. 565-573.
- GRIGATTI M., BARBANTI L., PRITONI G., VENTURI G. (2004): *Comparison of switchgrass (Panicum virgatum L.) genotypes as potential energy crop*, Proceedings of 2<sup>nd</sup> World Conference on Biomass for Energy, «Industry and Climate Protection», 10-14 May, Rome, pp. 261-264.
- LAZZERI L., GALLETTI S., MALAGUTI L. (1998): *Evaluation of the main physiological and agronomic parameters of six Crambe abyssinica varieties after three years of cultivation in Po Valley Crambe abyssinica, a comprehensive programme*, Workshop part 2, Agronomy and Breeding.
- LAZZERI L., MALAGUTI L., PATALANO G., BUCELLI F. (1999): *Prime prove di coltivazione di pieno campo del Crambe abyssinica coltura oleaginosa ad utilizzazione non alimentare*, Atti xxxiii Convegno Società Italiana di Agronomia, Legnaro (PD) 20-23 settembre, pp. 241-242.
- LEWANDOSWIKI I., SCURLOCK J.M.O., LINDVALL E., CHRISTOU M. (2003): *The development and current status of perennial rhizomatous grasses as energy crops in the US and Europe*, «Biomass & Bioenergy», 25, pp. 335-361.
- LORENZONI C., COSENTINO S., FOTI S., HABYARIMANA E. (2005): *Selezione di nuovi genotipi di sorgo per la produzione di biomassa*, «Agroindustria», 4, 1, pp. 17-25.
- MANTINEO M., COPANI V., PATANÈ C., TESTA G. (2005): *Riduzione dei livelli di input agronomico nella coltivazione del sorgo zuccherino (Sorghum bicolor (L.) Moench)*, Atti del xxxvi Convegno della Società Italiana di Agronomia, Foggia, 20-22 settembre, pp. 252-253.
- MASTRORILLI M., KATERJI N., RANA G. (1999): *Productivity and water use efficiency of sweet sorghum as affected by soil water deficit occurring at different vegetative growth stages*, «European Journal of Agronomy», 11, pp. 207-215.
- MAUROMICALE, G., IERNA A. (2004): *Biomass and grain yield in Cynara cardunculus L. genotypes grown in a permanent crop with low input*, «Acta Horticulturae», 660, pp. 593-598.
- MAZZONCINI M., ANGELINI L. (2002): *Brassicaceae e nuove specie oleaginose per usi industriali non alimentari*, «Riv. Agron.», 36, 1, pp. 53-68.
- MINISTERO DELL'AMBIENTE E TUTELA DEL TERRITORIO, MINISTERO DELL'ECONOMIA E FINANZE (2002): *Piano Nazionale per la riduzione delle emissioni di gas responsabili dell'effetto serra: 2003-2010*, pp. 50.
- MONOTTI M. (2002): *Tecniche agronomiche per il miglioramento della produzione di olio di girasole ad alto contenuto di acido oleico*, «Riv. Agron.», 36, pp. 69-76.
- MONTI A., VENTURI G., AMADUCCI M.T. (2002): *Confronto fra sorgo, kenaf e miscanto a diversi livelli di disponibilità idrica e azotata per la produzione di energia*, «Rivista di Agronomia», 36, pp. 213-220.
- MONTI A., VENTURI G. (2003): *Comparison of the energy performance of fibre sorghum, sweet sorghum and wheat monocultures in Northern Italy*, «European Journal of Agronomy», 19, pp. 35-43.
- MONTI A., PRITONI G., VENTURI G. (2004): *Evaluation of 18 genotypes of switchgrass for energy destination in Northern Italy*, Proceedings of 2<sup>nd</sup> World Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, 10-14 May, Rome, pp. 240-243.

- MONTI A., VENTURI G., AMADUCCI M.T. (2005): *Biomass potential and ash content of switchgrass, giant reed and cardoon in North Italy*, Proceedengs of 14<sup>th</sup> European Biomass Conference, 17-21 October, Paris, France, pp. 261-263.
- MOSCA G. (1998): *Oleaginose non alimentari*, a cura di G. Mosca, Edagricole, Bologna.
- NASSI O DI NASSO N., CECCARINI L., ANGELINI G.L., BONARI E. (2006): *Cynara cardunculus L. valutazione della produzione di biomassa per usi energetici durante undici anni di sperimentazione*, Convegno Piante mediterranee, Bari 27-28 ottobre.
- ONOFRI A., LAURETI D., PECCETTI G., ZANETTI F. (2005): *Panorama varietale del colza*, «Agroindustria», 4, 1, pp. 81-90.
- PATANÈ C., COPANI V., COSENTINO S. L. (1997): *Yield potential evaluation of sweet sorghum (Sorghum bicolor (L.) Moench) genotypes in the Mediterranean environment of the South of Italy*, Proceedings of First international sweet sorghum conference, Li Dajue Ed., pp. 352-362.
- PATANÈ C., CAVALLARO V., AVOLA G., D'AGOSTA G. (2006): *Seed respiration of sorghum [Sorghum bicolor (L.) Moench] during germination as affected by temperature and osmo-conditioning*, «Seed Science Research», 16, pp. 251-260.
- PERNIOLA M., LOVELLI S., POSCA G., COPPOLA E., TARANTINO E. (1999): *Effetto del regime idrico e azotato sulle perdite e sulle asportazioni dell'azoto in coltura di sorgo zuccherino*, «Irrigazione e drenaggio», 2, pp. 52-57.
- PISCIONERI I., SHARMA N., BAVIELLO G., ORLANDINI S. (2000): *Promising industrial energy crop, Cynara cardunculus: a potential source for biomass production and alternative energy*, «Energy Conversion & Manag.», 41, pp. 1091-1105.
- PISCIONERI I., PIGNATELLI V., PALAZZO S., SHARMA N. (2001): *Switchgrass production and establishment in the Southern Italy climatic conditions*, «Energy Conversion and Management», 42, pp. 2071-2082.
- SHARMA N., PISCIONERI I., PIGNATELLI V. (2003): *An evaluation of biomass yield stability of switchgrass (Panicum virgatum L.) cultivars*, «Energy Conversion and Management», 44, pp. 2953-2958.
- SOETAERT W. (2006): *Success factors and differences between petrochemical refineries and biorefineries*, European Conference on Biorefinery Research, 19-20 October 2006 Helsinki.
- SUN Y., CHENG J. (2002): *Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review*, «Bioresource Technology», 83, pp. 1-11.
- TONIOLO L., MOSCA G., BERTI A., MICELI F., FONTANA F., PARADISI U., LAURETI D., CIRICIOFOLO E., BONARI E., MARZI V., SARLI G., PERNIOLA M., COPANI V., LETO C. (1992): *Risultati della rete nazionale di valutazione varietale del colza (1980-89)*, «Agricoltura e ricerca», 134, pp. 9-18.
- VENTURI G., AMADUCCI M.T., MOSCA G. (1998): *Obiettivi perseguiti e risultati agronomici raggiunti dal PrisCA*, in Atti Convegno Nazionale Oleaginose ad uso non alimentare, AISO, Roma, 12 marzo, pp. 5-13.
- VENTURI G. (1999): *Colture erbacee da biomassa*, Biomasse Agroforestali. Sviluppo Energ. Sosten., Avenue Media.
- VENTURI P., VENTURI G. (2003): *Analysis of energy comparison for crops in European agricultural systems*, «Biomass & Bioenergy», 25, pp. 235-255.
- VENTURI G., BONARI E. (2004): *Produzione di biomasse da colture dedicate e non*, Convegno nazionale sulla Bioenergia, Roma 12 Maggio.
- VENTURI P., BENTINI M. (2005): *La logistica delle biomasse: tecnologie di raccolta e stoccaggio*, «Agroind.», 4, 1, pp. 55-60.

ZANETTI F., BEZZI G., PANNACCI E., AMADUCCI M.T., CIRICIOFOLO E. (2005): *Itinerari colturali sostenibili in colza invernale*, «Agroindustria», 4, 1, pp. 91-100.

ZANETTI F., CAMERALI T., BONA S., MOSCA G. (2006): *Can we "cultivate" erucic acid in Southern Europe?*, «Ital. J. Agron.», 1, pp. 3-10.



STEFANO BONA\*, LUCIA COLETTI\*, SARA GABRIELLA SANDRINI\*,  
ANDREA CALGARO\*, ALESSANDRA BRIGI\*

## Olio grezzo come combustibile

### INTRODUZIONE

La situazione agricola italiana vede di fronte notevoli cambiamenti. Le aziende agricole si stanno sempre più orientando verso una polifunzionalità per cercare di mantenere un livello di redditività che consenta loro di garantirsi la sopravvivenza.

Le aziende agricole perciò si rivolgono a nuovi indirizzi produttivi che, a seguito della variata condizione del mercato mondiale e delle recenti legislazioni sia a livello europeo che nazionale, possano far incrementare il reddito.

A tal proposito la produzione e l'utilizzo di olio vegetale puro come biocarburante sembra essere particolarmente interessante e può rappresentare un'ottima opportunità per il settore agricolo per ottenere una interessante integrazione al reddito aziendale.

L'olio vegetale puro entra nella legislazione nazionale per la prima volta con il Dl n. 128 del 30 maggio 2005 a seguito di un recepimento della direttiva europea 2003/30/CE sulla promozione all'uso dei biocarburanti rinnovabili nel settore dei trasporti. Prima di questo Dl questo prodotto veniva utilizzato da molti possessori di veicoli diesel eludendo le tassazioni previste per il settore dei trasporti nonostante molti paesi europei vantassero già notevoli esperienze e avessero da tempo legiferato in materia.

Successivamente con la legge finanziaria del 2007 è stato introdotto il primo contingente esentato dall'accisa per un importo pari a 1 milione di euro per il 2007 per l'olio destinato all'autoconsumo nel comparto agricolo. Vi

\* *Dipartimento di Agronomia Ambientale e Produzioni Vegetali, Agripolis, Università degli Studi di Padova*

sono alcuni aspetti normativi nella legislazione italiana che lasciano ancora delle incertezze negli operatori anche se le prospettive sono positive.

Una forma interessante di incentivazione prevista dalle recenti normative è legata alla possibilità di ottenere i certificati verdi per la produzione di energia elettrica ottenuta da impianti alimentati con olio vegetale puro. Attualmente il valore di questo incentivo è molto interessante dato che è pari a circa una volta e mezza il prezzo corrisposto per la vendita di energia elettrica.

Altra situazione favorevole per gli imprenditori agricoli è rappresentata dalla possibilità di considerare la produzione e cessione di energia elettrica da fonti rinnovabili agroforestali come attività agricola e perciò soggetta a reddito agrario. Così la produzione di energia elettrica a partire da olio grezzo e la vendita di energia termica a seguito della cogenerazione può essere considerata come attività agricola sempre che venga rispettato il principio di prevalenza: almeno il 51 % dei semi delle oleaginose destinate alla produzione dell'olio devono provenire dalla stessa azienda agricola.

La cogenerazione di energia elettrica e termica a partire da olio puro può essere effettuata tramite convenzionali impianti industriali o attraverso piccoli impianti decentralizzati e localizzati in ambiti rurali, possibilmente gestiti dagli stessi agricoltori.

La regione europea dove maggiormente si è sviluppato questo modello di oleificio decentralizzato è la Germania meridionale. Questo sviluppo decentralizzato ha avuto origine dalla necessità di ovviare ai grandi costi di trasporto necessari per raggiungere gli impianti di trasformazione industriale presenti nel nord del paese. Nel 2007 il numero di oleifici decentralizzati presenti nel territorio tedesco è di poco inferiore alle 600 unità e il volume di semi di colza lavorati si aggira intorno al milione di tonnellate per anno con rese in olio di poco superiori alle 300.000 t/anno (Emberer e Remmele, 2007).

Questa proliferazione ha contagiato anche la vicina, geograficamente e culturalmente, Austria dove sono presenti, al momento 7 oleifici decentralizzati ma in grado di dare lavoro a più di 1500 persone e a produrre intorno a 3.000.000 di litri di olio per anno (Breinsberger, 2006).

Quali sono le motivazioni che spingono gli agricoltori a produrre direttamente l'olio puro e a utilizzarlo tal quale?

Gli oleifici presentano importanti vantaggi pratici. Come si è detto precedentemente, presentano minori costi di trasporto essendo diffusi nel territorio, valorizzano localmente la materia prima e i prodotti del frantoio, possono essere utilizzati direttamente in loco. Questo comporta però la necessità di realizzare un'ottima strutturazione del mercato locale in modo da avere una produzione di semi di oleaginose proporzionata al consumo dei prodotti del frantoio (olio

e pannello). Generalmente la distanza massima di trasporto dei semi si aggira intorno ai 50 chilometri e quindi è essenzialmente su scala regionale.

La strutturazione dei frantoi decentralizzati è prevalentemente consortile o in forma di cooperativa mentre molto più rara si presenta l'azienda individuale privata. Normalmente il frantoio viene ubicato in prossimità dei centri di produzione delle oleaginose e perciò in zone prevalentemente rurali contribuendo a incrementare il reddito agricolo di tali zone. Gli agricoltori si impossessano di un segmento della filiera di trasformazione della materia prima che producono. Normalmente il prezzo pagato per i semi oleosi agli agricoltori, nelle forme cooperative è superiore al prezzo di vendita nel mercato interno e a questo va aggiunto il valore del risparmio nei costi di trasporto.

I principali obbiettivi di un oleificio decentralizzato ubicato in zone rurali si possono riassumere in un aumento del valore aggiunto a disposizione degli agricoltori, dato che lo stesso aumenta il suo controllo di una porzione significativa della produzione di energia, e un indubbio vantaggio ambientale. Esempi di realizzazione di impianti del genere non sono rari a nord delle Alpi. A titolo di esempio si riportano i dati relativi a un caso di una cooperativa di agricoltori (INNÖL CoKG) di Braunau-Mining (Austria). La cooperativa nasce come *Maschinenring* (gestione comunitaria di macchine e attrezzi agricoli) e associa 89 agricoltori che coltivano annualmente circa 370 ha di colza con una produzione media di olio di circa 1000 litri per ettaro. Questo olio viene ceduto agli associati a un prezzo di 0.55 € per litro e agli esterni a 0.77 € per litro. Modelli di questo tipo però non sono facilmente applicabili ovunque dato che presuppongono l'utilizzazione in loco di tutti i prodotti e sottoprodotti dell'oleificio. Le dimensioni medie aziendali dei soci della cooperativa sono di 25 ha e sono presenti allevamenti di bovini e suini che possono essere alimentati con i pannelli di estrazione. Tale situazione non è ovviamente estendibile direttamente alla situazione italiana dato che le dimensioni medie aziendali sono molto più contenute e che non sempre sono presenti allevamenti in grado di assorbire il pannello di estrazione prodotto.

Si deve ricordare che il pannello di estrazione, prodotto per semplice estrazione, contiene una certa quantità di olio residuo che varia in funzione del seme spremuto e della tipologia del frantoio. Questa quota residua non permette una utilizzazione semplice del pannello che risulta essere molto energetico, inoltre la proteina non è perfettamente bilanciata e non può sostituirsi ai comuni concentrati proteici impiegati nell'alimentazione animale. Per questo si consiglia di far entrare nella composizione della dieta solo una quota di questo prodotto e di fare attenzione, in modo particolare, agli animali che possono andare incontro a dismetabolie quali le vacche da latte.

Queste caratteristiche negative non sono però così drammatiche in quanto una corretta formulazione della dieta garantisce l'impiego del pannello ricco in olio per quasi tutti gli animali. Unica eccezione può essere per gli avicoli e i cunicoli a causa della tipologia di somministrazione degli alimenti. Infatti per questi animali il prodotto viene pellettato e comprato direttamente dai mangimifici e quindi non può essere miscelato in azienda.

Importante risulta essere una ottima pianificazione della gestione dell'intera fase di produzione dell'olio. Anche le fasi più semplici possono creare dei problemi.

Si ricorda che al momento del conferimento dei semi il prodotto può essere particolarmente sporco e perciò è da prevedere all'interno del frantoio di un sistema di pulizia meccanico/pneumatico che consenta la separazione di eventuali corpi metallici che potrebbero compromettere la funzionalità della pressa e l'eliminazione delle impurità che diminuirebbero la resa in olio.

Per il seme di girasole si presenta, inoltre, un problema legato alla presenza di tegumenti esterni che riducono fortemente la resa in olio e rappresentano una fonte importante di fibra non digeribile che può entrare a far parte del pannello. Questa difficoltà può essere superata operando una decorticazione del seme. Tale operazione consente anche di ottenere un olio con caratteristiche tecniche migliori dato che viene asportata la porzione dell'achenio che contiene la maggior parte delle cere le quali rappresentano un problema sia in fase di filtrazione che, soprattutto, nella fase di utilizzazione.

Un altro accorgimento da tenere presente è relativo all'umidità del seme. Come si può ben comprendere dopo aver spremuto il seme ed estratto l'olio, tutta l'acqua rimane nel pannello e quindi la percentuale di umidità aumenta creando problemi di irrancidimento proprio nel prodotto destinato all'alimentazione zootecnica.

Durante la fase di spremitura diventa indispensabile un condizionamento del seme per incrementare la percentuale di estrazione di olio dallo stesso. Questo può essere fatto portando lo stesso a temperature prossime ai 40°C. Tale preconditionamento non comporta alcuna modificazione alla qualità dell'olio, ma implica la necessità di riscaldare il seme con conseguente spesa energetica. Si deve ricordare però che il motore dell'estrusore e l'estrusore stesso durante il loro funzionamento producono grandi quantità di calore che deve essere smaltito per evitare che vi possa essere una degradazione qualitativa rilevante dell'olio (irrancidimento) e del pannello (denaturazione delle proteine, reazione di maillard, ecc.). Questo calore può essere, almeno in parte, utilizzato per il condizionamento del seme.

Nei comuni frantoi decentralizzati diffusi a nord delle Alpi l'olio viene spremuto da una comune pressa meccanica a freddo e in questi impianti il contenuto di olio residuo si aggira fra l'11 e il 18%. La resa alla spremitura si aggira quindi sul 60/80%.

Ma come va scelta la capacità di lavoro di una pressa? Come vanno dimensionati gli impianti?

Un parametro da tenere in considerazione è senza dubbio la qualità del pannello di estrazione che si vuole produrre. Sicuramente questo non è il motivo principale per cui si spremono i semi ma rappresenta un coprodotto che, se di elevata qualità, può essere valorizzato in senso economico. Si deve ricordare che il pannello deve essere somministrato ad animali che possono ricevere elevati apporti di "energia", quantitativi frequenti qualora il pannello contenesse concentrazioni troppo elevate di olio. Generalmente, anche nelle presse più comuni, esiste la possibilità di regolare ampiamente la capacità produttiva e questo consente una notevole adattabilità di tali impianti per le più differenti condizioni di utilizzo.

Per definire però la quantità di prodotto gestibile da un frantoio conviene fare un banale calcolo. Una pressa molto semplice ed economica è in grado di spremere 100 kg di semi per ora. Questo significa che, utilizzandola per 24 ore al giorno per 300 giorni all'anno (due mesi per manutenzioni varie e feste) si possono spremere 720 t all'anno di seme. Considerando che un ettaro di oleaginose può produrre una media di 3 t si comprende che una macchina di queste dimensioni può gestire un numero considerevole di ettari (240). Infatti presumendo che l'oleaginosa ritorni nello stesso appezzamento dopo almeno 4 anni si può considerare che una macchina del tipo proposto può, se correttamente gestita, essere utilizzata per circa 1000 ettari di terreno. Si pensi a tutto quello che rimane connesso alla gestione di una tale mole di materiale: magazzini, serbatoi, filtri, coclee ecc. Una tale capacità di lavoro, anche per una pressa relativamente piccola, coinvolge una superficie agricola di dimensioni non trascurabili e capacità imprenditoriali importanti. Va da sé che una struttura del genere può essere gestita, nelle condizioni italiane, da strutture di tipo associativo dato che la superficie media aziendale risulta essere molto inferiore alle dimensioni proposte per questo impianto.

Dopo la fase di spremitura è necessario purificare l'olio ottenuto, il quale risulta caratterizzato da una certa torbidità che, oltre a essere fonte di incrostazioni in fase di combustione in un eventuale motore diesel, rende l'olio soggetto a irrancidimenti. Negli oleifici decentrati la pulizia dell'olio avviene in due fasi: la prima per separare le particelle più grossolane e la seconda più accurata per rimuovere le particelle più fini e rendere l'olio utilizzabile nei motori diesel.

Negli impianti di piccole dimensioni può essere utilizzata, per la pulizia primaria, la sedimentazione. Ovviamente tale sistema prevede che l'olio "sporco" venga stoccato in contenitori per lunghi periodi di tempo in modo che le particelle in sospensione possano sedimentare ed essere separate successivamente. Se la capacità di lavoro dell'impianto è elevata i contenitori devono essere necessariamente molto grandi creando problemi dal punto di vista della logistica del sistema per cui la sedimentazione può essere utilizzata solo nel caso di "relativamente" piccole produzioni di olio. I sistemi a sedimentazione possono essere anche costituiti da più contenitori messi in serie e collegati fra loro. Si deve ricordare che i "fanghi" derivanti dalla sedimentazione sono ancora ricchi di olio e quindi si ha una perdita di olio quando questi vengono smaltiti. Possono tuttavia essere utilizzati, almeno in parte, per integrare l'alimentazione di animali in allevamento (si ricorda che più il prodotto è ricco di olio meno è gestibile per l'alimentazione).

Nella maggior parte dei casi la filtrazione viene fatta con comuni filtri a piastre del tipo di quelli utilizzati per la filtrazione del vino nelle cantine. In questo caso sono le stesse particelle in sospensione che formano la base filtrante e quindi necessitano di una fase di avvio, in cui l'olio viene fatto passare in un ciclo chiuso attraverso il filtro stesso, per poter filtrare adeguatamente. Dopo questa fase di avvio il filtro può funzionare in maniera molto efficace fino a quando la pressione necessaria per far passare il prodotto da filtrare non è talmente elevata da rendere necessaria una pulizia del filtro. Il processo è perciò discontinuo ma la fase di pulizia, automatica o manuale, è generalmente rapida. Nei frantoi più grandi si usano filtri verticali a pulizia automatica ma questi sistemi oltre a essere molto costosi sono da utilizzarsi solo per grossi impianti.

Il sistema di filtrazione primaria deve però essere necessariamente seguito da una filtrazione secondaria per rendere l'olio utilizzabile nei motori diesel. Dato che i motori hanno un filtro per il gasolio che trattiene particelle di diametro maggiore dei 3  $\mu\text{m}$  risulta necessario dotarsi di un sistema di filtrazione in grado di più trattenere impurità di diametro inferiore a quelle trattenibili dal filtro del motore.

Da un punto di vista pratico deve essere prestata particolare attenzione alla conservazione del prodotto dato che la qualità dell'olio ricavabile varia in funzione del grado di ossidazione/irrancidimento degli acidi grassi presenti.

La gestione di tali impianti deve perciò tenere conto della possibilità di stoccare in modo adeguato i semi raccolti e i prodotti derivanti dalla loro trasformazione. Non va dimenticato che anche il pannello deve essere conservato in modo adeguato visto che viene destinato all'alimentazione zootecnica.

## CARATTERISTICHE TECNOLOGICHE DELL'OLIO DI GIRASOLE

Le caratteristiche chimico-fisiche dell'olio influiscono sulle sue performance come combustibile nei motori endotermici. In tabella vengono riportate le principali caratteristiche chimico-fisiche dell'olio di girasole e del gasolio in modo da poter fare un confronto diretto delle loro proprietà.

La *massa volumica* è funzione della temperatura (si riduce di circa un decimo al raddoppiare della temperatura). La più elevata massa volumica dell'olio di girasole rispetto al gasolio determina per un motore, a parità di consumo orario ( $\text{dm}^3 \text{ h}^{-1}$ ), un maggiore consumo in termini di massa.

La *viscosità* esprime la fluidità di un liquido e comprende sia l'attrito tra i diversi strati del fluido che l'attrito esercitato tra gli strati esterni del fluido e le pareti del tubo o della superficie che lo accoglie. Rispetto al gasolio, a  $38^\circ\text{C}$  l'olio di girasole ha una viscosità circa 14 volte superiore. L'elevata viscosità influenza il sistema d'iniezione, a causa della scarsa atomizzazione del combustibile a livello della camera di combustione, provocando una combustione "sporca" che incide negativamente sulla durata del motore. Dato che la viscosità decresce all'aumentare della temperatura essa può essere ridotta riscaldando l'olio prima dell'iniezione oppure scaldando filtri, serbatoi o i condotti prima dell'iniettore. I motori diesel di nuova generazione (Common Rail), presentando una elevata compressione del carburante prima dell'iniezione sono in grado di ridurre notevolmente tale svantaggio.

Il *potere calorifico inferiore* (PCI) è quello che si realizza quando il calore dei gas di combustione non viene recuperato (non considera la frazione di energia impiegata per l'evaporazione dell'acqua di combustione). Il potere calorifico dell'olio di girasole risulta essere inferiore a quello del gasolio: ciò significa un maggiore consumo specifico per ottenere la medesima potenza erogabile.

PROPRIETÀ	OLIO DI GIRASOLE	GASOLIO
Massa volumica a $20^\circ\text{C}$ ( $\text{kg dm}^{-3}$ )	0,915	0,82
Viscosità a $38^\circ\text{C}$ (cSt)	37,1	2,7
PCI Volumico ( $\text{MJ dm}^{-3}$ ) (Potere Calorifico Inferiore)	32,9	35,8
(CN) Numero di Cetano	37	47
(FP) Flash Point ( $^\circ\text{C}$ )	274	68
Punto di solidificazione ( $^\circ\text{C}$ )	-18	
Numero di iodio (IV)	110-143	

Tab. 1 *Principali proprietà dell'olio di girasole e del gasolio (fonte: CTI, 1993)*

Il *numero di cetano* (CN) indica il comportamento di un combustibile all'accensione. È un numero proporzionale alla pressione cui è necessario portare la miscela aria-combustibile perché questa si autoaccenda. Influenza l'avviamento a freddo, la combustione, la pressione massima e la rumorosità del motore. Più è alto il valore del CN, maggiore è la prontezza del combustibile all'accensione. Il range ottimale si aggira tra 40 e 50 e quindi l'olio di girasole non ne è molto lontano.

Il *flash point* (FP) rappresenta la temperatura minima alla quale i vapori di un combustibile si accendono in presenza di una fiamma. L'olio vegetale presenta un flash point molto più elevato di quello del gasolio comportando così più sicurezza nello stoccaggio, nel trasporto e nella manipolazione. Un valore basso può rilevare la presenza di composti volatili e infiammabili come, per esempio, metanolo nel biodiesel.

Il *punto di solidificazione* rappresenta la temperatura alla quale un olio si presenta in forma solida. Gli oli vegetali presentano una notevole variabilità nei punti di solidificazione: l'olio inizia a opacizzarsi e ad aumentare il suo spessore fino a diventare completamente solido. Questo parametro influenza il limite di filtrabilità e di scorrimento del combustibile: le particelle solide sospese nell'olio fluido potrebbero essere catturate dal filtro del carburante e provocare così la sua otturazione. Anche in questo caso diventa importante il preriscaldamento dell'olio prima di lasciare il serbatoio o prima di entrare nella pompa di iniezione.

Il *numero di iodio* (IV) ci fornisce informazioni sul grado di insaturazione. Più è alto l'indice, maggiore è l'insaturazione. Valori troppo elevati compromettono la stabilità (i doppi legami sono deboli e spesso gli acidi polimerizzano) causando la formazione di gomme, fattore altamente indesiderabile nel motore. Valori, invece, troppo bassi (indicativi di un alto contenuto di acidi saturi) influenzano il comportamento a basse temperature. Per poter usare un olio vegetale puro per lunghi periodi senza avere problemi è richiesto un numero di iodio minore di 25. L'olio di girasole presenta un elevato numero di iodio e quindi il suo uso prolungato può provocare un deterioramento precoce del motore e in particolare ridurre la vita della pompa dell'iniettore e dell'iniettore stesso. A tutt'oggi sono disponibili nel mercato varietà di girasole ad alto oleico che forniscono un olio a basso valore di IV.

#### UTILIZZAZIONE DELL'OLIO DI GIRASOLE NEI MOTORI DIESEL

Date le caratteristiche dell'olio puro sopra riportate sono stati fatti alcuni studi sulla possibilità di utilizzare l'olio di girasole, puro e modificato, come



combustibile nei motori diesel in sostituzione al gasolio (Scrosta, 2005; Araya et al., 1987).

I maggiori inconvenienti riscontrati nell'uso dell'olio grezzo al 100% sembrerebbero essere legati principalmente all'elevata viscosità; nel momento dell'iniezione il fluido non viene spruzzato in modo ottimale e non si forma la giusta miscela aria-combustibile. I depositi carboniosi si producono proprio per l'incompleta combustione delle gocce di olio di grandi dimensioni. L'abbassamento dell'efficienza termica che ne consegue è il risultato di un peggioramento del cono di spruzzata al momento dell'iniezione e dell'abbassamento della pressione di compressione dovuto a una maggiore adesività del pistone. Il grande sforzo richiesto per far scorrere questo fluido all'interno dei canali e dei filtri di alimentazione può causare uno stress aggiuntivo anche al sistema di distribuzione causandone sfalsamenti nella regolazione. Anche residui presenti nell'olio dopo la filtrazione potrebbero essere causa importante di danneggiamenti al motore ma si possono correggere, almeno parzialmente, con interventi meccanici non particolarmente complessi (McDonnell et al., 2000).

Dato che la viscosità diminuisce con la temperatura, a elevate temperature questi inconvenienti sono ridotti al minimo così che le prestazioni motoristiche ottenute con olio grezzo possono essere paragonate a quelle con olio esterificato o con gasolio. In particolare le soluzioni proponibili per superare il problema dell'elevata viscosità possono riguardare:

- modifiche al sistema di distribuzione per migliorare la combustione;
- modifiche al motore al fine di poter riscaldare l'olio grezzo prima che venga iniettato nella camera di combustione;
- modifiche nella composizione dell'olio in quanto influente sul comportamento di questo durante la combustione;
- aggiunta di additivi;
- miscele olio-gasolio (le miscele si possono ottenere facilmente, non si richiedono modifiche al motore né processi industriali aggiuntivi).

L'olio di girasole estratto con sistema a freddo mediante pressa meccanica presenta caratteristiche chimico-fisiche compatibili con il suo utilizzo come biocombustibile nei motori endotermici.

L'olio di girasole delle varietà alto oleico, pur presentando elevati valori di viscosità, ha bassi valori del numero di iodio. Quindi la scelta di varietà ad alto oleico può essere un giusto compromesso, infatti l'elevata viscosità viene ovviata attraverso il preriscaldamento dell'olio senza modificare le proprietà chimiche del prodotto, in particolare il basso valore del numero di iodio. Inoltre il potere calorifico (PCI) dell'olio di girasole non è troppo diverso da quello tipico del gasolio essendo inferiore a questo del 7-8%.

Ai fini della ricerca del miglioramento delle caratteristiche dell'olio di girasole a scopo energetico ci si può orientare verso diverse possibilità operative che riguardano:

- le tecniche di estrazione;
- la scelta varietale;
- i processi di raffinazione dell'olio vegetale.

In particolare il miglioramento genetico può diventare un campo di ricerca interessante per lo studio di varietà adatte alla produzione di olio a uso energetico.

Si deve tener conto anche della non convenienza all'impiego dell'olio in miscela con il gasolio. Infatti, sebbene le condizioni tecniche consentano questa possibilità, anzi siano piuttosto favorevoli, da un punto di vista pratico è poco funzionale in quanto complica molto l'organizzazione aziendale senza dare tutti i vantaggi di una sostituzione completa del gasolio con il biocarburante in questione. Ad esempio se si volesse considerare l'opportunità di far funzionare il trattore con una miscela di gasolio/olio si dovrebbe considerare che:

- si dovrebbe modificare il trattore, come per l'utilizzazione dell'olio puro;
- si dovrebbe realizzare un serbatoio ad hoc dove stoccare la miscela olio/gasolio, come per l'utilizzazione dell'olio puro;
- si dovrebbe costruire un ricovero di tutti i macchinari per la spremitura/filtrazione come per l'utilizzazione dell'olio puro.

Queste complicazioni renderebbero i costi molto simili a quelli relativi all'utilizzazione dell'olio puro e si avrebbe un vantaggio aziendale (e ambientale) solo parziale. Per questa serie di considerazioni l'analisi proposta in seguito scarta anche questa possibilità anche se in qualche caso potrebbe essere praticabile e conveniente. Si pensi ad esempio alle aziende di ridotte dimensioni dove una sostituzione completa del gasolio con l'olio implicherebbe una drastica riduzione della superficie aziendale per far fronte alle esigenze energetiche dell'azienda stessa.

L'unica soluzione alternativa al gasolio presa in considerazione è l'utilizzazione dell'olio puro di girasole anche se, come verrà illustrato in seguito, per le aziende di piccole dimensioni (vicine a 1 ha), non è conveniente sostituire le colture tradizionali con il girasole specie nel caso delle orticole.

#### ANALISI LCA SULL'UTILIZZAZIONE DI OLIO PURO IN DIFFERENTI TIPOLOGIE AZIENDALI

Sono state considerate differenti categorie di aziende ma per tentare di semplificare la suddivisione si è fatto riferimento a 4 tipologie con due distinte

TIPOLOGIE AZIENDALI	PICCOLE DIMENSIONI	GRANDI DIMENSIONI
Seminativi	1.72	84.0
Orticola	1.20	22.5
Allevamento bovini all'ingrasso	1.70	53.0
Policoltura	1.56	35.0

Tab. 2 SAU (ha) delle aziende considerate per la simulazione

dimensioni (tab. 2). L'ipotesi di sostituzione della trazione con combustibili fossili con quella a olio di girasole non risulta praticabile nelle aziende di piccole dimensioni in quanto si sottrarrebbe una quota rilevante della superficie alla produzione con conseguente diminuzione del reddito. Inoltre risulterebbe eccessivamente oneroso il costo dei macchinari per la spremitura e lo stoccaggio dell'olio. Anche per l'azienda con dimensioni più grandi non è possibile ottimizzare l'utilizzo di tale macchinario. Di qui la necessità di pensare a forme di gestione di tipo consorziale/cooperativo. Nelle simulazioni si è ipotizzato di utilizzare un impianto in grado di spremere il prodotto di circa 350 ha per anno.

Perché un prodotto sia definito adeguato dal punto di vista ambientale non è sufficiente che il suo utilizzo non crei inquinamento o ne crei in misura minore rispetto ad altri, ma è necessario che anche il suo processo produttivo comporti ridotti impatti sull'ambiente. In questa sezione quindi si sono analizzati tutti gli aspetti relativi alla filiera produttiva dell'olio di girasole come biocombustibile da utilizzare in azienda, a partire dall'attività agricola di produzione dei semi per arrivare poi alle tecnologie di estrazione e lavorazione dell'olio e al suo utilizzo come carburante aziendale. Si sono confrontate quindi due possibilità di gestione aziendale valutando in entrambi i casi gli aspetti che possono in qualche misura influenzare l'ambiente, sia per quanto riguarda il consumo di risorse fossili (non rinnovabili) sia per quanto riguarda l'emissione di sostanze inquinanti. Nello specifico, per poter affermare che utilizzare olio di girasole è più o meno inquinante dell'utilizzo del gasolio, è necessario studiare il suo intero ciclo di vita. Questo può essere fatto utilizzando la metodica LCA<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> La *Life Cycle Assessment* (LCA), traducibile in Italiano come "Analisi del ciclo di vita dei processi produttivi", può essere considerata l'evoluzione della tecnica di analisi energetica, i cui primi esempi applicativi risalgono alla fine degli anni '60, quando alcune grandi industrie iniziarono a interessarsi ai temi del risparmio delle risorse e del contenimento delle emissioni inquinanti nell'ambiente. È un approccio totalmente nuovo all'analisi dei sistemi industriali: si considera una visione globale del sistema produttivo senza fermarsi all'analisi separata dei singoli elementi produttivi che sono considerati come parte realizzativa della funzione per cui sono progettati.

I due metodi di gestione messi a confronto per le quattro tipologie aziendali mostrate nella tabella 2 sono:

1. gestione tradizionale: l'energia necessaria proviene totalmente dall'utilizzo del gasolio;
2. gestione rinnovabile: l'energia necessaria proviene completamente dall'utilizzo di olio di girasole puro.

Il confronto tra le aziende è stato fatto sull'ettaro, quindi l'*unità funzionale* considerata in questa analisi è l'ettaro di azienda per ogni tipologia e per ogni gestione messa a confronto.

Per le tipologie aziendali analizzate nella tabella sottostante (tab. 3) si riportano le ripartizioni della superficie (%) utilizzate nell'analisi LCA.

#### CONFINI DEL SISTEMA

La catena agricola di produzione del girasole e delle altre colture all'interno dell'azienda sono state analizzate dalla produzione delle materie prime fino alla loro prima trasformazione fuori dell'azienda, e cioè la produzione di ogni coltura è suddivisa nelle seguenti unità di processo:

- *Produzione e reperimento delle sementi*: comprende tutte le operazioni necessarie per la produzione del seme; è importante in quanto influisce sull'impatto che l'utilizzo della semente ha sull'intera filiera. In generale questa unità influisce molto come impatto ambientale anche nella *gestione rinnovabile* in quanto le sementi utilizzate ovviamente sono prodotte sempre con l'utilizzo di combustibili fossili.
- *Lavorazioni del terreno*: comprende tutte le lavorazioni del terreno necessarie alla preparazione del letto di semina e alla gestione successiva, escludendo i trattamenti chimici.

---

Inoltre l'LCA non utilizza né variabili economiche, né grandezze sociali ma soltanto flussi di materia ed energia.

L'analisi LCA qui di seguito proposta è stata fatta adottando il software SimaPro 6. È il software per lo studio e il calcolo dell'LCA più usato al mondo, esso è costituito da due componenti principali: un database per la fase di inventario (costituito dai processi e dagli inputs e outputs associati a questi) e un database per l'analisi dell'impatto ambientale e l'analisi dei punti critici. Con il software SimaPro è possibile analizzare e confrontare prodotti con cicli di vita anche molto complessi, in quanto le banche dati di cui dispone, oltre a contenere un numero molto ampio di dati, possono essere modificate e completate in modo molto flessibile e senza limitazioni da parte dell'utente. Inoltre SimaPro è conforme alle regole di ISO 14000, quindi è già strutturato per rispettare i 4 passi della metodologia dell'LCA: obiettivo e campo di applicazione, analisi dell'inventario, valutazione degli impatti e interpretazione.

RIPARTIZIONE SUPERFICIE AZIENDALE		SEMINATIVI PICCOLA		SEMINATIVI GRANDE		ORTICOLA PICCOLA		ORTICOLA GRANDE		ALLEVAMENTO PICCOLA		ALLEVAMENTO GRANDE		POLICOLTURA PICCOLA		POLICOLTURA GRANDE	
	u.m.	Trad	Rinn	Trad	Rinn	Trad	Rinn	Trad	Rinn	Trad	Rinn	Trad	Rinn	Trad	Rinn	Trad	Rinn
FRUMENTO	%	15	11	15	11	0	0	20	13	25	10	20	8	20	14	10	8
MAIS GRANELLA	%	85	63	40	30	0	0	10	8	0	0	0	0	40	28	40	30
MAIS TRINCIATO	%	0	0	0	0	0	0	0	0	53	22	52	22	0	0	0	0
SOIA	%	0	0	25	19	0	0	5	4	9	4	15	6	0	0	13	10
ORTICOLE	%	0	0	0	0	100	69	65	47	0	0	0	0	25	18	9	7
BARRABIETOLA	%	0	0	15	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	9
GIRASOLE	%	0	26	0	25	0	31	0	28	0	59	0	58	0	30	0	24
MEDICA	%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
VITE	%	0	0	0	0	0	0	0	0	13	5	0	0	15	10	0	0
PIOPPO	%	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	6	0	0	11	8
SET-ASIDE (NUDO)	%	0	0	5	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	4
TOTALE	%	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
SUPERFICIE AZIENDALE	ha	1.72	1.72	84	84	1.2	1.2	22.5	22.5	1.7	1.7	53	53	1.56	1.56	35	35

Tab. 3 Ripartizione della superficie aziendale nella fase a gestione tradizionale (Trad) e a gestione rinnovabile (Rinn) delle aziende considerate

- *Semina*: comprende esclusivamente le operazioni di semina escludendo i trattamenti chimici.
- *Fertilizzazione*: comprende le operazioni di fertilizzazione includendo la produzione dei fertilizzanti utilizzati.
- *Trattamenti chimici*: comprende le operazioni di trattamento chimico della coltura includendo la produzione dei composti utilizzati.
- *Raccolta*: comprende le operazioni di raccolta senza il trasporto.
- *Trasporto in azienda*: comprende le operazioni di trasporto mediante trattore e carro dal campo all'azienda.
- *Stoccaggio*: comprende le operazioni di immagazzinamento in azienda e i relativi fabbricati.
- *Trasporto fuori azienda*: comprende le operazioni di trasporto mediante trattore e carro dall'azienda al luogo di prima trasformazione fuori dell'azienda.
- *Prima trasformazione del prodotto*: comprende le procedure per la trasformazione del prodotto (es. macinazione della farina al mulino; produzione dello zucchero da barbabietola; ecc.).

Ci si è fermati a questo punto in quanto tutto quello che succede oltre non dipende dalla diversa gestione aziendale: il metodo di produzione (se a gasolio o a olio) di un kg di frumento non influisce sul suo destino al di fuori dell'azienda, mentre diventa importante per la valutazione dell'impatto ambientale all'interno dei confini designati.

Per ogni unità di processo sono stati valutati:

- Input
  - Energia fossile e rinnovabile utilizzata
  - Macchinari (produzione e uso)
  - Fabbricati (produzione)
  - Fertilizzanti (produzione e uso)
  - Fitofarmaci (produzione e uso)
- Output
  - Emissioni in atmosfera
  - Rese colturali
  - Sottoprodotti.

## ANALISI DELL'INVENTARIO

Per il reperimento dei dati utili alla costruzione dei processi e quindi dei modelli delle diverse gestioni aziendali ci si è basati principalmente sui dati e sui processi disponibili all'interno dei database di SimaPro 6. Alcune volte è stato

necessario modificare alcuni valori, come le rese delle colture o l'utilizzazione della terra o valori di emissione, in modo da rendere i processi il più possibile vicini alle realtà aziendali da noi analizzate (AA.VV., 1996; Bertocco, 2005; Bedendo, 2005; Artoni, 2005). Quindi basandosi quanto più possibile sui processi forniti dal programma e cercando di mantenerne le strutture, si sono modificati solo i valori che sarebbero risultati completamente non adatti al nostro ambiente e dei quali se ne possedeva una fonte certa.

## I PROCESSI E IL MODELLO

I processi che entrano a fare parte delle diverse tipologie aziendali prese in considerazione riguardano la coltivazione delle colture (vedasi tabella 2) presenti nelle aziende stesse e cioè:

- seminativi piccola e grande;
- orticola piccola e grande;
- allevamento bovini all'ingrasso piccola e grande;
- policoltura piccola e grande.

La gestione delle colture nelle diverse tipologie aziendali risulta essere diversificata, dato che ogni coltura si caratterizza per il numero delle operazioni colturali effettuate, per l'intensità delle stesse (Bertocco, 2005; Bedendo, 2005; Artoni, 2005), per il tipo di energia utilizzata, ecc. Quindi, per una stessa coltura, a seconda dell'azienda in cui è inserita e della gestione considerata (tradizionale o rinnovabile), è necessaria la creazione di due o più processi tra loro diversi: i *processi coltura*. Nella figura 1 vengono evidenziati gli input di materia ed energia utilizzati per la produzione in azienda di 1 kg di *Fruento granella* per la tipologia aziendale *Az Piccola*, a gestione rinnovabile.

Una volta completati, tutti i *processi coltura* necessari all'implementazione del modello aziendale vengono assemblati per dare una descrizione dell'azienda nella gestione considerata. In figura 2 sono evidenziati i *processi coltura* che vanno a costituire l'azienda *seminativi piccola* nella fase a gestione rinnovabile. Nell'azienda viene coltivato il frumento, il mais e ovviamente il girasole. Tutte e tre le colture sono gestite a olio di girasole come fonte energetica (gestione rinnovabile) e quindi, in questa fase, viene inserito anche il magazzino necessario allo stoccaggio del girasole e delle macchine utili alla spremitura e filtrazione dell'olio.

Ogni processo coltura, però, è costituito a sua volta da altri sotto-processi necessari per la descrizione dei flussi di materia ed energia all'interno dei confini del sistema definito precedentemente, generando così una struttura a cascata che viene evidenziata dal modello finale (fig. 3).

Input noti da natura (risorse)						
Nome	Sottocompartimento	Quantità	Unità	Distribuzione SD <sup>2</sup> o 2°SI/Min	Max	Commento
Carbon dioxide, in air	in air	1,33	kg	Lognormal	1,07	(2,2,1,1,1,na)
Energy, gross calorific value, in biomass	biotic	15,4	MJ	Lognormal	1,07	(2,2,1,1,1,na)
Occupation, arable, non-irrigated	land	1,069	m <sup>2</sup> a	Lognormal	1,77	semina 1 ott- racc 29 giu
Transformation, from arable, non-irrigated	land	1,44	m <sup>2</sup>	Lognormal	2,67	resa 6,944 ton
Transformation, to arable, non-irrigated	land	1,44	m <sup>2</sup>	Lognormal	2,67	resa 6,944 ton

Input noti da tecnosfera (materiali/combustibili)						
Nome	Quantità	Unità	Distribuzione SD <sup>2</sup> o 2°SI/Min	Max	Commento	
Ammonium nitrate, as N, at regional storehouse/RER U	0,00967	kg	Lognormal	1,07	(2,1,1,1,1,na)	
Ammonium sulphate, as N, at regional storehouse/RER U	0,000732	kg	Lognormal	1,07	(2,1,1,1,1,na)	
Calcium ammonium nitrate, as N, at regional storehouse/RER U	0,00486	kg	Lognormal	1,07	(2,1,1,1,1,na)	
Diammonium phosphate, as N, at regional storehouse/RER U	0,00101	kg	Lognormal	1,07	(2,1,1,1,1,na)	
Diammonium phosphate, as P2O5, at regional storehouse/RER U	0,00256	kg	Lognormal	1,07	(2,1,1,1,1,na)	
Potassium chloride, as K2O, at regional storehouse/RER U	0,00647	kg	Lognormal	1,07	(2,1,1,1,1,na)	
Potassium sulphate, as K2O, at regional storehouse/RER U	0,000424	kg	Lognormal	1,07	(2,1,1,1,1,na)	
Single superphosphate, as P2O5, at regional storehouse/RER U	0,000153	kg	Lognormal	1,07	(2,1,1,1,1,na)	
Thomas meal, as P2O5, at regional storehouse/RER U	0,000477	kg	Lognormal	1,07	(2,1,1,1,1,na)	
Triple superphosphate, as P2O5, at regional storehouse/RER U	0,00377	kg	Lognormal	1,07	(2,1,1,1,1,na)	
[sulfonyl]urea-compounds, at regional storehouse/RER U	0,000183	kg	Lognormal	1,13	(2,2,3,1,1,na)	
Cyclic N-compounds, at regional storehouse/RER U	8,79E-5	kg	Lognormal	1,13	(2,2,3,1,1,na)	
Nitrile-compounds, at regional storehouse/RER U	2,74E-5	kg	Lognormal	1,13	(2,2,3,1,1,na)	
Pesticide unspecified, at regional storehouse/RER U	3,75E-5	kg	Lognormal	1,13	(2,2,3,1,1,na)	
Phenoxo-compounds, at regional storehouse/RER U	4,47E-5	kg	Lognormal	1,13	(2,2,3,1,1,na)	
Wheat seed IP, at regional storehouse/CH U	0,0259	kg	Lognormal	1,07	(2,1,1,1,1,na) da controllare se ok la q <sup>ta</sup> 38 kg	
OLIO Application of plant protection products, by field spray	0,000144	ha	Lognormal	1,13	(2,2,3,1,1,na)	
OLIO Combine harvesting/CH U	0,000144	ha	Lognormal	1,07	(2,1,1,1,1,na)	
OLIO Fertilising, by broadcaster/CH U	0,000288	ha	Lognormal	1,07	(2,1,1,1,1,na)	
OLIO Sowing/CH U	0,000144	ha	Lognormal	1,07	(2,1,1,1,1,na)	
OLIO Tillage, currying, by weeder/CH U	0,000144	ha	Lognormal	1,07	(2,1,1,1,1,na)	
OLIO Tillage, harrowing, by spring tine harrow/CH U	0,000144	ha	Lognormal	1,07	(2,1,1,1,1,na)	
OLIO Aratura superficiale/ITALY U	0,000144	ha	Lognormal	1,07	(2,1,1,1,1,na)	
OLIO Transport, tractor and trailer/CH U	2,17E-6	tkm	Lognormal	1,07	(2,1,1,1,1,na)	
Phosphate rock, as P2O5, beneficiated, dry, at plant/MA U	0,0022	kg	Lognormal	1,07	(2,1,1,1,1,na)	
Urea, as N, at regional storehouse/RER U	0,0034	kg	Lognormal	1,07	(2,1,1,1,1,na)	
Transport, lorry 32t/RER U	0,00762	tkm	Lognormal	2,71	(4,5,na,na,na,na)	
Transport, lorry 32t/RER U	0,00138	tkm	Lognormal	2,71	(4,5,na,na,na,na)	
Transport, van <3,5t/RER U	0,000401	tkm	Lognormal	2,71	(4,5,na,na,na,na)	
Transport, barge/RER U	0,0779	tkm	Lognormal	2,71	(4,5,na,na,na,na)	
Transport, freight, rail/RER U	0,00967	tkm	Lognormal	2,71	(4,5,na,na,na,na)	

Fig. 1 *Processi inclusi nella produzione di 1 kg di granella di frumento a gestione rinnovabile (nome del processo coltura: OLIO Frumento granella Az Piccola, at farm/ITALY U)*

Una volta assemblati i vari *processi coltura*, si genera il modello che simula il ciclo di vita dell'unità funzionale considerata. Il modello è un diagramma di flusso nel quale si possono vedere tutti i singoli processi e sotto-processi che entrano a far parte della produzione di quella unità funzionale. Nella figura 3 sono riportati alcuni dei processi (17 dei circa 1600) che generano l'unità funzionale finale: *un ettaro di azienda seminativi piccola a gestione rinnovabile*. La dimensione delle frecce dà un'idea dell'importanza dei vari processi e sotto-processi nella produzione dell'unità funzionale. Nella figura compare, tra le varie colture, solo il girasole e, come struttura, il magazzino: il mais e il frumento non vengono riportate perché, a questo livello di dettaglio, pesano molto poco rispetto al girasole.

#### VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI

Definiti i processi e i modelli delle singole tipologie aziendali nelle due situazioni messe a confronto si è effettuata l'analisi LCA che come output dà




Nome Ass Seminativi Piccola finale	Immagine 	Commento <input type="text"/>				
Materiali/assemblaggi	Quantità	Unità	Distribuzione	SD*2 o 2*SI/Min	Max	Commento
Processi	Quantità	Unità	Distribuzione	SD*2 o 2*SI/Min	Max	Commento
OLIO Spazio Barbabietola\ U Italy	0	ha	Undefined			
OLIO Spazio Frumento Az grande at food mill\ U it\	0	ha	Undefined			
OLIO Spazio Frumento Az Piccola at food mill\ U it\	0,191	ha	Undefined			
OLIO Spazio Frumento Az Allevamento at food mill\	0	ha	Undefined			
OLIO Spazio Mais Granello Seminativi at feed mill\	1,083	ha	Undefined			
OLIO Spazio Mais Insilato Allevamento\ U Italy	0	ha	Undefined			
OLIO Spazio Orticola Piccola\ U Italy	0	ha	Undefined			
OLIO Spazio Orticola Grande\ U Italy	0	ha	Undefined			
OLIO Spazio Set Aside\ at farm U Italy	0	ha	Undefined			
OLIO Spazio Soia Allevamento oil+meal\ U Italy	0	ha	Undefined			
OLIO Spazio Soia Seminativi oil+meal\ U Italy	0	ha	Undefined			
OLIO Spazio Pioppo\ U Italy	0	ha	Undefined			
OLIO Spazio Vite\ U Italy	0	ha	Undefined			
OLIO Spazio Girasole\ U Italy	0,446	ha	Undefined			
OLIO Alimentazione animali	0	l	Undefined			
Magazzino 212 m2 + spremioio + filtriolio + serbat	1	p	Undefined			

Fig. 2 Tutti i processi coltura all'interno dell'azienda seminativi piccola nella gestione rinnovabile

appunto la valutazione degli impatti. Le categorie di impatto analizzate sono date da:

- effetto serra (*global warming*);
- assottigliamento della fascia di ozono (*stratospheric ozone depletion*);
- acidificazione (*acidification*);
- eutrofizzazione (*nutrient enrichment*);
- formazione di smog fotochimico (*photosmog formation*);
- tossicità per l'uomo e per l'ambiente (*human and eco-toxicity*);
- consumo di risorse non rinnovabili, in termini di energia e materiali (*resources depletion*).

Per ogni tipologia aziendale nelle due situazioni (tradizionale e rinnovabile) è possibile avere a disposizione un grafico che mette in evidenza quanto quella determinata gestione aziendale influisce sull'ambiente. I confronti sono sempre relativi, in quanto i valori nei grafici sono in percentuale rispetto al valore massimo dell'impatto raggiunto.

Per effettuare paragoni e meglio interpretare i dati le varie tipologie aziendali sono state confrontate, tra loro, a gruppi.

Allo scopo di rendere più chiaro e comprensibile il testo seguente si considerino le superfici aziendali che vengono riportate in tabella 3. I grafici riportati di seguito fanno riferimento all'unità funzionale e quindi a un ettaro di azienda.

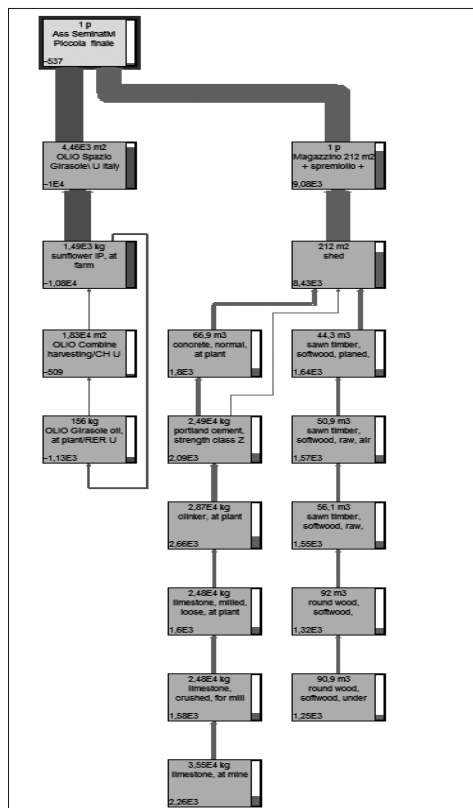


Fig. 3 Alcuni processi del diagramma di flusso dell'azienda seminativi piccola a gestione rinnovabile

Dall'analisi degli impatti della situazione a gestione tradizionale, si nota che le aziende di dimensioni ridotte si differenziano in modo notevole. In particolare l'azienda a *seminativi piccola* si dimostra essere quella che ha un effetto meno impattante su tutte le categorie considerate (fig. 4). Il basso numero di specie coltivate e i bassi input adottati in questa azienda consentono performance estremamente interessanti difficilmente raggiungibili per le altre tipologie aziendali che con le colture orticole, l'allevamento o la vite necessitano di elevati input. Nonostante ciò, tale azienda non presenta un contributo significativo, se paragonato alle altre aziende, alla riduzione dei composti a impatto sul cambiamento climatico.

La tipologia che mediamente ha più impatto sull'ambiente risulta essere quella con la presenza di allevamenti seguita da quella orticola. Queste due categorie di aziende però, per la presenza di un'agricoltura di tipo intensivo, consentono un incremento rilevante, rispetto alle altre due tipologie, degli effetti di riduzione dei composti a effetto climatico.

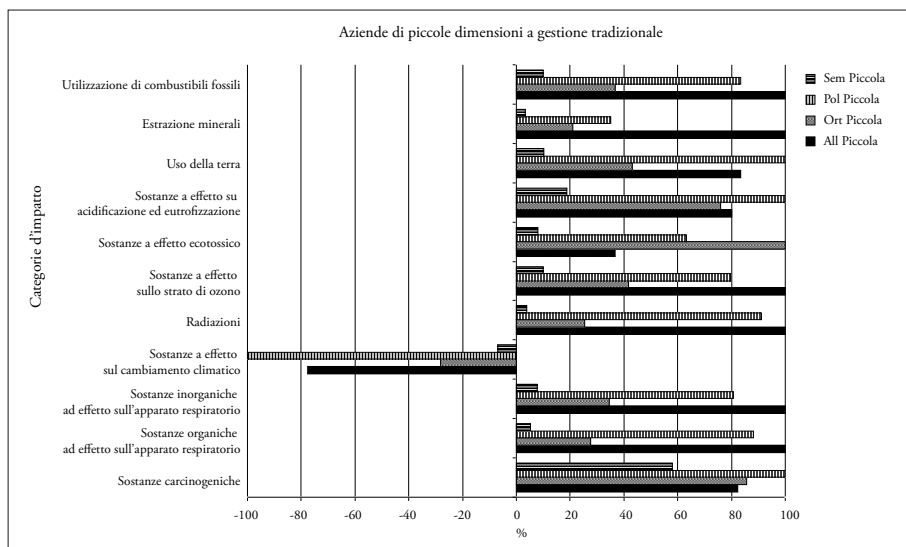


Fig. 4 *Impatto ambientale per le categorie riportate in ordinata della gestione tradizionale (ante utilizzo dell'olio di girasole per le esigenze energetiche) delle aziende piccole considerate nella simulazione. I valori per ciascuna categoria sono riportati rispetto al valore massimo delle aziende (comprese quelle di grandi dimensioni). I valori negativi esprimono un vantaggio ambientale della coltivazione*

Da sottolineare come per le aziende orticole di piccole dimensioni non vi siano particolari attività negative se non per le sostanze a effetto ecotossico. Ad una accurata disaggregazione dei dati si è osservato come la principale causa di questo effetto negativo sia da ricercarsi nella presenza in falda di nitrati e di residui di fitofarmaci.

Confrontando i dati presentati in figura 4, relativi alle aziende di piccole dimensioni nella gestione tradizionale, con quelli riportati nella figura 5, relativi alle aziende di grandi dimensioni sempre nella stessa gestione, si può notare come i valori percentuali siano generalmente inferiori nel secondo caso. La presenza di manufatti, le operazioni colturali condotte in modo più oculato e soprattutto l'ottimizzazione dei trasporti interni ed esterni, consentono alle aziende più grandi di "diluire" gli effetti negativi sull'ambiente. Da rilevare come l'azienda a indirizzo zootecnico risulta essere quella che ha maggiore impatto ambientale per quasi tutte le categorie. Questa tipologia però, a causa della coltivazione di ampie superfici a silomais (52% della superficie aziendale, tabella 3), stocca nel terreno grossi quantitativi di biomassa a fronte di lavorazioni contenute per ridurre i costi di produzione. Quindi nonostante gli indubbi svantaggi ambientali per gran parte delle

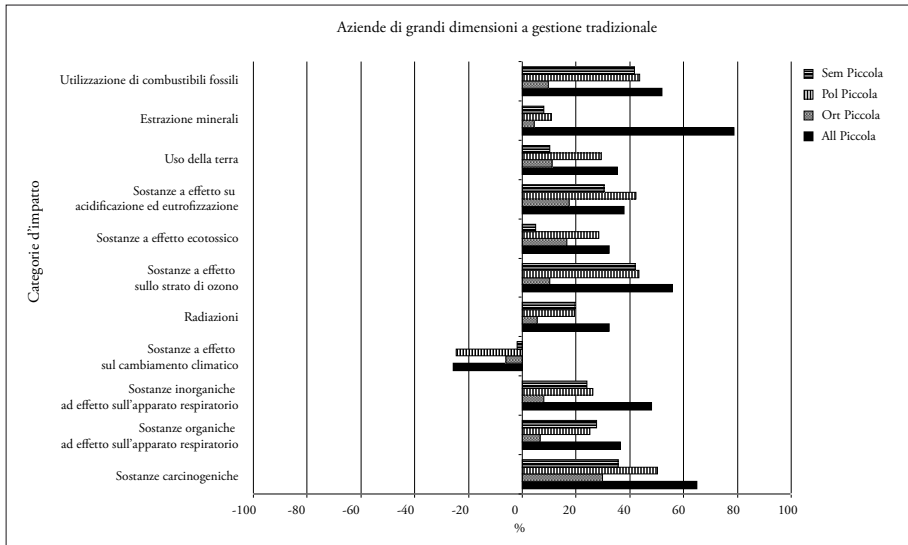


Fig. 5 *Impatto ambientale per le categorie riportate in ordinata della gestione tradizionale situazione iniziale (ante utilizzo dell'olio di girasole per le esigenze energetiche) delle aziende di grandi dimensioni considerate nella simulazione. I valori per ciascuna categoria sono riportati rispetto al valore massimo delle aziende (comprese quelle di piccole dimensioni). I valori negativi esprimono un vantaggio ambientale della coltivazione*

categorie di impatto, sul fronte dell'effetto serra questa tipologia aziendale risulta essere interessante.

Per analizzare i relativi vantaggi (o svantaggi) ambientali derivati dal passaggio dell'azienda dalla gestione a gasolio a quella a olio di girasole si è calcolato il seguente rapporto che definisce, appunto, il *vantaggio relativo della conversione* rispetto alla situazione tradizionale:

$$IMP_{i,j} = \frac{Vrinn_{i,j}}{Vtrad_{i,j}} \cdot 100$$

dove:

- $IMP_{i,j}$  è il valore di impatto relativo della gestione rinnovabile (rinn) rispetto alla tradizionale (trad) per la categoria  $j$  e per la tipologia aziendale  $i$ ,
- $Vrinn_{i,j}$  è il valore di impatto della gestione rinnovabile per la categoria  $j$  e per la tipologia aziendale  $i$ ,
- $Vtrad_{i,j}$  è il valore di impatto a gestione tradizionale per la categoria  $j$  e per la tipologia aziendale  $i$ .

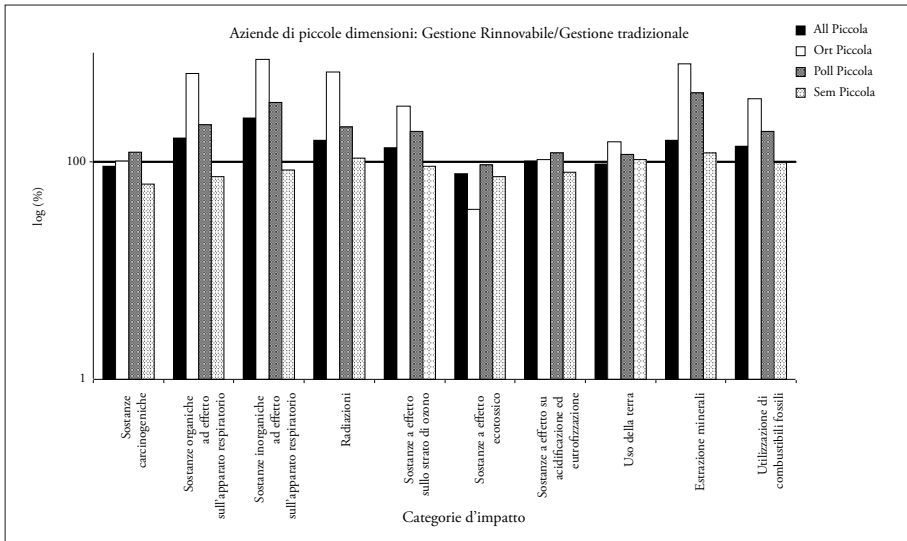


Fig. 6 Vantaggio relativo della conversione dalla gestione tradizionale alla gestione rinnovabile per le categorie riportate per le aziende di piccole dimensioni

Anche qui per rendere più comprensibili i grafici si è deciso di isolare la categoria di impatto legata ai composti a *effetto climatico*, che data la complessità dell'argomento viene trattata a parte (fig. 8).

Le figure riportate qui di seguito rappresentano il *vantaggio relativo della conversione* calcolato come detto sopra e trasformato in logaritmo, dato che per alcune categorie e tipologie aziendali il vantaggio della situazione finale è estremamente elevato. Quindi gli istogrammi che, nella figura 6 e nella figura 7, superano il valore del 100% sono quelli per cui esiste un vantaggio nel passare dalla *gestione tradizionale* alla *gestione rinnovabile*, mentre per valori al di sotto di tale soglia è vero il contrario.

Da quanto riportato (fig. 6) si evince che non tutte le categorie di impatto mostrano variazioni positive in seguito alla sostituzione del gasolio con l'olio di girasole. Le variazioni negative sono da imputare (dati non riportati in questo testo ma forniti nel database del software SimaPro 6) principalmente all'utilizzazione (e quindi alla costruzione) di macchinari specifici per l'estrazione e filtrazione dell'olio, alla necessità di realizzare manufatti per il ricovero di questi macchinari e infine alle modifiche dei mezzi meccanici per consentire l'impiego di olio.

I principali vantaggi vengono a essere realizzati dalle tipologie aziendali *orticoltura piccola* e *policoltura piccola* (fig. 6). Nel primo caso la forte riduzione

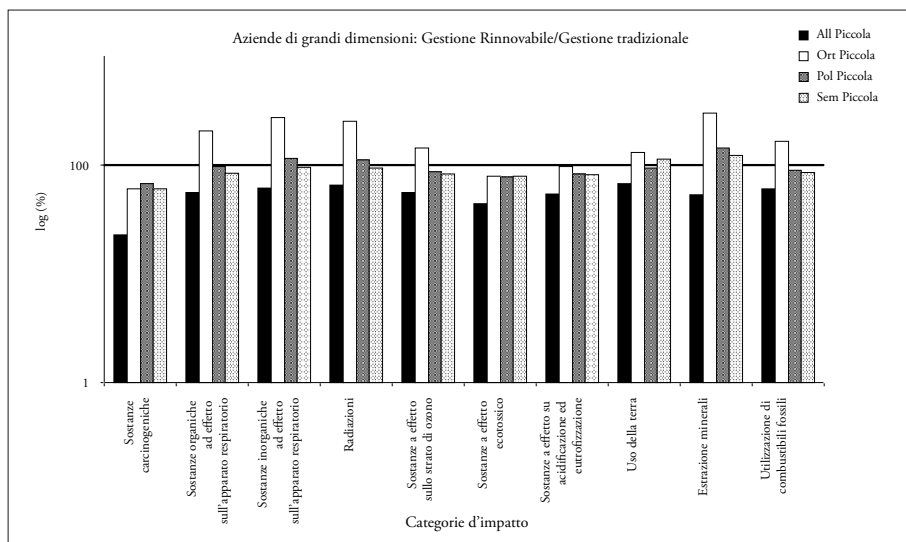


Fig. 7 Vantaggio relativo della conversione dalla gestione tradizionale alla gestione rinnovabile per le categorie riportate per le aziende di grandi dimensioni

percentuale di superficie dedicata alle colture orticole consente di diminuire l'impatto di queste colture che impiegano consistenti input. Per la *policoltura piccola* si ha una contemporanea riduzione delle orticole e del mais. Per entrambe le tipologie analizzate sarebbe interessante però verificare la sostenibilità economica di una tale variazione e determinare le eventuali variazioni e redistribuzioni della manodopera aziendale in seguito all'utilizzo di olio di girasole.

Per la tipologia *seminativi piccola* le variazioni per le differenti categorie di impatto sono quasi sempre negative, questo è imputabile al fatto che non avvengono sostanziali modificazioni della gestione delle colture, pur variandone la ripartizione, ma si rende necessario che l'azienda si doti di strutture in grado di "gestire" il nuovo combustibile, con conseguente incremento dell'impatto ambientale.

Considerazioni analoghe a quelle effettuate per la figura 6 possono essere fatte se si considerano le aziende di grandi dimensioni presentate nella figura 7. In questo caso però l'introduzione della coltivazione del girasole sconvolge in misura meno importante la ripartizione colturale delle singole aziende (tab. 3) e quindi gli effetti positivi tendono a essere "diluiti" su superfici aziendali più ampie. In questo caso, come per le aziende di ridotte dimensioni, i principali vantaggi, anche se in questo caso di minor rilevanza, sono da considerarsi per le tipologie aziendali che riducono la loro quota di orticole e cioè *orticoltura grande* e *policoltura grande*. Queste tipologie aziendali, in modo particolare la prima, presentano vantaggi per molte delle categorie di impatto prese in considerazione. Da rilevare

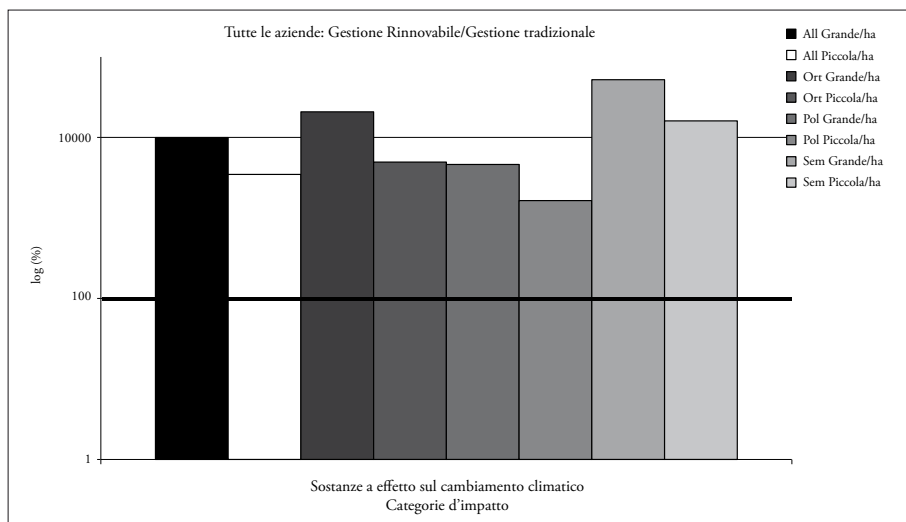


Fig. 8 *Vantaggio relativo della conversione dalla gestione tradizionale alla gestione rinnovabile per la sola categoria "Sostanze a effetto sul cambiamento climatico" riportate per tutte le tipologie aziendali*

come la tipologia *allevamento grande* presenti solamente svantaggi ambientali nella variazione di utilizzazione del gasolio a favore dell'olio di girasole, dovuti alla drastica riduzione della coltura a silomais in favore del girasole.

Il più importante effetto che si manifesta per tutte le tipologie aziendali considerate, passando dall'utilizzazione del gasolio a quella dell'olio di girasole, è, come ci si aspettava, un notevolissimo decremento delle emissioni delle sostanze a effetto sul cambiamento climatico (fig. 8). La riduzione risulta essere notevolissima: nella situazione meno favorevole (*policoltura piccola*) si ottiene una diminuzione di un ordine di grandezza delle emissioni, mentre in condizioni di *orticoltura grande*, *seminativi grande* e *seminativi piccola*, la variazione è superiore ai due ordini di grandezza. In altri termini per queste tre tipologie aziendali le emissioni di gas serra si riducono a meno dell'1% passando all'utilizzazione di combustibile vegetale.

#### INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI

Per alcune tipologie aziendali la sostituzione del gasolio con l'equivalente energetico dell'olio di girasole è una strategia interessante da quasi tutti i punti di vista (i.e., categorie di impatto), mentre per la maggior parte di queste tale vantaggio si esprime solo per alcune categorie. Questo non consente

di fare affermazioni univoche circa il vantaggio della sostituzione del gasolio con il biocombustibile in questione.

Si potrebbe prevedere di stilare un bilancio economico, ante e post sostituzione del gasolio, e rapportarlo ai bilanci ambientali in modo da stabilire, così, il costo economico della riduzione di una categoria di impatto. Questo potrebbe essere utile al decisore politico nel momento in cui, a seconda delle priorità di ogni singola zona si vogliano adottare misure atte a contenere l'impatto ambientale di una particolare categoria tramite il finanziamento specifico agli agricoltori. Per esempio, in un areale, quale il bacino scolante della laguna di Venezia, si potrebbero privilegiare tutte quelle azioni che mirino a contenere le emissioni in ambiente acquatico delle sostanze ecotossiche, mentre in prossimità dei centri urbani sarebbe più interessante ridurre tutti gli inquinanti dell'aria. Valutando quali sono le aziende che rispondono a questi criteri si potrebbe pensare di effettuare per loro un finanziamento ad hoc. Ancora, per soddisfare le priorità stabilite dal protocollo di Kyoto potrebbe essere utile rapportare il bilancio economico al valore di riduzione delle *sostanze a effetto sul cambiamento climatico* e quindi dare priorità alle variazioni che "costano meno". Nel presente lavoro non sono stati affrontati temi di carattere economico ma le variazioni di ordinamento colturale delle aziende *seminativi grande* e *orticola grande* sono quelle che in termini economici sono le più vantaggiose: ossia costa meno finanziare queste tipologie aziendali per ottenere un vantaggio in termini ambientali.

Un ulteriore passo interessante potrebbe essere un'analisi territoriale che ipotizzi la sostituzione dell'utilizzazione del gasolio con l'olio di una quota di tutte le aziende, suddivise secondo le tipologie riportate in questo testo, in modo da verificare gli effetti che potrebbe avere una pratica "diffusa" dell'utilizzo dei biocarburanti sull'ambiente. In particolare, ipotizzare di sostituire l'utilizzo di gasolio nel territorio del bacino scolante della laguna di Venezia potrebbe risultare interessante per valutarne i possibili effetti ambientali e per consentire al decisore politico di valutare i benefici che potrebbero essere ricavati dalle sovvenzioni erogate in questo ambito.

## CONCLUSIONI

Il presente lavoro ha riguardato la valutazione ambientale di un possibile utilizzo in azienda di biocombustibili di origine vegetale. Durante il corso del lavoro il punto di vista da cui fare tale valutazione è variato: l'attenzione è stata portata dal sistema agricolo in generale alle realtà aziendali presenti nel



territorio Veneto. A questo cambio di prospettiva è conseguito l'abbandono dell'idea di utilizzare il biodiesel, in quanto, da un lato, il vantaggio di tale biocarburante si ha solo per la parte industriale e dall'altro, tale prodotto ha già una sua filiera di utilizzazione e produzione (si ricorda anche che la sua produzione è contingentata per legge) che non consente margini di variazione importanti. Il vantaggio, quindi, per un'azienda agraria si ha solo nel caso che il biocarburante proposto venga utilizzato direttamente nell'azienda stessa. Per questo l'attenzione del presente lavoro si è rivolta all'impiego di olio vegetale puro principalmente per vantaggi legati a:

- diminuzione delle emissioni di CO<sub>2</sub>;
- minor impatto ambientale delle aziende agrarie;
- riduzione dei costi dell'energia (per l'azienda e per chi, eventualmente, ne potesse utilizzare l'olio);
- incremento del reddito aziendale.

L'utilizzo di olio vegetale è una soluzione già adottata in molte parti del mondo e abbondantemente sperimentata. In particolare la Germania è il paese europeo in cui è presente il maggior grado di sviluppo nell'uso di questo biocombustibile rinnovabile. Ovviamente per arrivare a ciò sono stati utilizzati incentivi di natura economica: fino al 2009 tutti i biocombustibili saranno esenti dalle accise, è stato fissato per 20 anni il prezzo dell'energia elettrica ceduta alla rete pubblica prodotta da impianti alimentati a olio puro, inoltre gli agricoltori tedeschi non ricevendo il gasolio defiscalizzato si sono organizzati per produrre autonomamente olio vegetale da destinare ai motori dei loro trattori (Francescato e Boschetti, 2005). Come in Germania anche in Austria esistono numerosi piccoli frantoi cooperativi per la produzione dell'olio vegetale a scopo energetico e numerose società che si occupano delle modifiche ai motori per renderli adatti all'uso dell'olio.

Sulla base di queste esperienze e delle analisi fatte, nel 2005-2006 a Padova è partito un progetto per la creazione di una filiera dell'olio di girasole puro a scopo dimostrativo. Il progetto è coordinato da Aiel (Associazione Italiana Energia da Legno) con la partecipazione anche del Dipartimento di Agronomia Ambientale e Produzioni Vegetali dell'Università di Padova. Tale progetto, in collaborazione con tre aziende della provincia di Padova, prevede la produzione e l'utilizzo dell'olio di girasole sia per la produzione di energia elettrica sia per l'alimentazione dei motori dei trattori aziendali.

Da un punto di vista tecnico l'utilizzo dell'olio vegetale puro in motori diesel, come fonte rinnovabile è di fatto possibile, non resta che renderlo concorrenziale al gasolio. Con il petrolio a quasi 100 euro al barile la compe-

tizione fra biocombustibili e petrolio è aperta, o forse è meglio dire, chiusa. È necessario, comunque procedere sulla strada della defiscalizzazione dei biocombustibili, in particolare dell'olio puro, che rappresenta l'unica possibilità di evitare il trasferimento del vantaggio economico agli agricoltori stranieri presso cui si approvvigiona l'industria del biodiesel. Si intravede perciò una concreta possibilità per l'agricoltura di diventare un vero motore, magari "pulito", dell'intera economia del paese. Si deve ricordare che per ogni euro di aumento del PIL agricolo il sistema Paese fa registrare un incremento complessivo di 1,8-1,9 euro (Francescato e Boschetti, 2005).

#### ABSTRACT

The main objective of this work was to evaluate the possibility of using sunflower as energy crop and as renewable resource at farm level, in comparison with traditional diesel oil.

The analysis has been applied to 8 different farm types, in order to evaluate the different environmental impact of diesel oil or biofuels use. The main factor to consider was the need to avoid underutilization of the machinery (for their high costs) for oil extraction and purification. The transformation of oil to biodiesel appeared not achievable because of the large number of hectares necessary for the optimization in the use of the apparatuses for transesterification. The blending PVO/diesel oil (50/50) appeared not feasible in consequence of the complication in farm organization.

Environmental analysis (LCA) has been performed simulating only the complete replacement of diesel oil with PVO (sunflower). The results were not univocal because, considering all the impact category of LCA, some of them turned to be worse than the original situation (use of diesel oil). There was, instead, a substantial advantage in terms of reduction of substances having effects on climate change for all the farm types.

The use of PVO in diesel engines leads to a decrease of CO<sub>2</sub> emissions and from a technical point of view is feasible since there are many examples in Germany and Austria. This biofuel is not yet competitive as there is not a free market for it. Furthermore, it can be a practical choice for avoiding the transfer of economic benefits from agricultural to industry as it happens for biodiesel production.

#### BIBLIOGRAFIA

- AA.VV. (1996): *Manuale dell'Agronomo*, Reda ed.  
 AA.VV. (1993): *Principali proprietà dell'olio di girasole e del gasolio*, [www.cti2000.it](http://www.cti2000.it).  
 ARAYA K., MAEKAWA T., KITAYAMA M. (1987): *Diesel engine performance with sunflower oil*, «Journal of Hokkaido Junior College», Senshu University Natural Sciences, 20, pp. 137-154.  
 ARTONI G. (2005): Personal communication.

- BEDENDO P. (2005): Personal communication.
- BERTOCCO M. (2005): Personal communication.
- BREINSBERGER W. (2006): Personal communication.
- EMBERER A. e REMMELE F. (2007): Personal communication.
- FRANCESCATO V., BOSCHETTI A. (2005): *Produrre energia pulita nei campi è già possibile*, «L'Informatore Agrario», vol. 42, pp. 23-34.
- MCDONNELL K. P., WARD S. M., McNULTY P. B., HOWARD HILDIGE R. (2000): *Results of engine and vehicle testing of semirefined rapeseed oil*, «Transactions of the ASAE», 43, 6, pp. 1309-1316.
- SCROSTA V. (2005): *Potenzialità delle biomasse per uso energetico nella regione Marche: aspetti generali ed analisi della filiera del girasole*, Tesi di dottorato di ricerca in "Organizzazione degli Agro-Ecosistemi e Produttività Vegetale", Università Politecnica delle Marche, Facoltà di Agraria, pp. 106.
- UNI EN ISO 14040 (1998): *Gestione Ambientale. Valutazione del ciclo di vita: principi e quadro di riferimento*.
- UNI EN ISO 14041 (1999): *Gestione Ambientale. Valutazione del ciclo di vita: definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione ed analisi dell'inventario*.
- UNI EN ISO 14043 (2001): *Gestione Ambientale. Valutazione del ciclo di vita: interpretazione del ciclo di vita*.



ENRICO BONARI\*, EMILIANO PICCIONI\*, GIORGIO RAGAGLINI\*,  
RICARDO VILLANI\*

## Colture dedicate e “vocazionalità” delle aree

È già stato sottolineato come per offrire agli imprenditori agricoli italiani ulteriori alternative alle tradizionali produzioni mercantili non sempre adeguatamente remunerative, accanto alla migliore valorizzazione energetica dei residui delle varie produzioni agroforestali e agroindustriali, si possano oggi valutare anche le nuove opportunità offerte dalla coltivazione di alcune colture “dedicate” alla produzione di biomassa a destinazione energetica.

Alcune di queste coltivazioni sono state da tempo studiate anche nel nostro Paese, ma per un motivo o per l'altro non sono mai state valorizzate dal sistema agricolo e agroindustriale nazionale nel suo complesso; tanto che la produzione nazionale di biomasse da energia da colture dedicate non è oggi molto diversa da quella che registrammo in una giornata di lavoro che i Georgofili dedicarono nel 1999 a questo stesso argomento. E ciò nonostante che l'obiettivo dichiarato della programmazione nazionale (PNERB) fosse già allora quello di incrementare la produzione annua di biomasse dalle circa 3,5 Mtep della fine degli anni '90, alle 8-10 Mtep (del 2010-2012) tramite una decisa espansione delle coltivazioni dedicate (di circa 200-250 mila ettari nel breve-medio periodo e fino a 500-600 mila ettari alla fine del decennio), espressamente destinate per metà alla produzione di biocarburanti liquidi e per metà alla produzione di biomasse lignocellulosiche.

Al riguardo è già stato ricordato che in termini di colture agrarie “dedicate” a destinazione energetica possono essere considerate almeno tre grandi “filie-re”: (1) colture erbacee oleaginose per la produzione di biodiesel (girasole, colza ecc.), (2) colture erbacee zuccherine per la produzione di bioetanolo (cereali, barbabietola ecc.) e (3) colture erbacee e legnose da biomassa ligno-

\* *Land Lab (Agricoltura, Ambiente e Territorio), Scuola Superiore Sant'Anna, Pisa*

cellulosica (diverse erbacee annuali e poliennali, SRF). In linea di massima è comunque possibile affermare che per le colture delle prime due filiere (bio-diesel e bioetanolo) il livello delle conoscenze acquisite, sia in campo agronomico-produttivo che per le relative tecnologie di trasformazione, è senz'altro sufficiente per consentire sin da adesso una più ampia diffusione delle stesse sul territorio nazionale; di contro, per le colture dedicate della terza filiera (biomasse lignocellulosiche) le conoscenze agronomiche acquisite e opportunamente validate da esperienze e sperimentazioni di lungo periodo sono – almeno negli ambienti più squisitamente mediterranei – decisamente molto più modeste e frammentarie.

Inoltre, per le colture destinate alla produzione di biocarburanti liquidi è altresì possibile affermare che:

- queste sono assai ben conosciute dai nostri agricoltori e dagli altri operatori a monte e a valle del processo produttivo agricolo;
- anche a livello territoriale non appare particolarmente complesso stimare il livello delle rese medie attese con le diverse specie coltivabili nei differenti ambienti agropedoclimatici del nostro Paese;
- sotto il profilo della logistica, dello stoccaggio, delle diverse tecnologie di trasformazione del prodotto agricolo – e per la successiva movimentazione e distribuzione dei biocarburanti – non vi sono particolari problemi tecnici da risolvere; e anche le condizioni “a contorno”, sia sul piano degli indirizzi politici ed economici che sul piano dell’“accettabilità” ambientale e sociale delle filiere non esistono sostanziali problemi da risolvere;
- una maggiore attenzione deve essere semmai dedicata alla messa a punto, sia a scala aziendale che a livello “territoriale” di distretto agroenergetico, di più moderne strategie produttive e organizzative per una ulteriore riduzione dei costi di produzione lungo tutta la filiera e per un deciso accorciamento della stessa e una adeguata valorizzazione “aziendale” degli olii vergini prodotti.

Di contro, nel contesto delle colture dedicate da biomassa “lignocellulosica” la situazione è assai differente:

- a livello industriale l'utilizzazione di biomassa è per ora sostanzialmente limitata alla combustione di quella di origine forestale, o residuale, ed è soprattutto realizzata in impianti di dimensioni di 10-20 MW elettrici (per i quali occorrono almeno 100-200.000 t s.s./anno);
- la “sola” produzione di energia elettrica – senza recupero di calore – risulta in genere conveniente solo se realizzata in impianti di taglia piuttosto elevata; di contro, la “cogenerazione” (energia elettrica + calore) o anche la “trigenerazione” (energia elettrica + calore + frigorifici) con impianti di piccola taglia,

senz'altro più accettabili a livello territoriale, sembrano al momento più problematiche sul piano del controllo delle emissioni in atmosfera;

- le centrali esistenti sono spesso costrette a cercare la biomassa loro necessaria anche a notevoli distanze dall'impianto (e anche all'estero), originando una logistica assai complicata, alti costi di trasporto, lavorazione e stoccaggio della materia prima, di dubbia validità ecologico-ambientale e poco accetta alle popolazioni. Molti degli impianti in funzione sono stati costruiti con criteri che rendono problematica l'alimentazione con biomasse ricche di ceneri “basso fondenti” e richiedono pressoché esclusivamente biomasse legnose (a più basso contenuto in ceneri rispetto a quelle erbacee);
- inoltre, sul piano agronomico, le tecniche produttive e le possibilità di scelta delle colture sono assai meno perfezionate e meno “mature” in rapporto ai diversi areali di possibile coltivazione (e appaiono ancor meno conosciute dagli agricoltori);
- di contro però in termini di bilancio energetico (e/o di quantità di energia termica ricavabile per unità di superficie agraria e/o di produzione di biocarburanti di II° generazione) le colture da biomassa lignocellulosica risultano decisamente più appetibili rispetto alle coltivazioni erbacee annuali oggi destinate alla produzione di biocarburanti liquidi;
- i costi di produzione delle differenti colture da biomassa possono già risultare di un certo interesse per i nostri agricoltori, sia rispetto al prezzo già oggi pagato dagli acquirenti per il cippato (da 50 a 70 €/t con umidità del 40% circa) che ai redditi lordi medi ricavabili nello stesso ambiente dalle colture erbacee; e ciò, senza considerare gli interventi finanziari regionali a sostegno della S.R.F. e quelli dell'UE (45 €/ha) per le colture *no-food*; e/o quelli che potrebbero derivare da una intelligente applicazione delle misure incentivanti il contenimento delle emissioni di gas-serra e per lo “stoccaggio” della CO<sub>2</sub>.

La sperimentazione direttamente condotta in condizioni reali di pieno campo nella pianura pisana, presso il Centro Interdipartimentale di Ricerche Agroambientali “E. Avanzi” dell'Università di Pisa, nel corso dell'ultimo quindicennio ha riguardato sia colture erbacee annuali (sorgo) e poliennali (miscanto, canna e cardo), sia la SRF di pioppo (al momento ritenuta la specie legnosa più adatta sotto il profilo agronomico-produttivo all'ambiente da noi considerato).

Molti dei risultati conseguiti sono già stati pubblicati (AA.VV., 2004) e a quelli rimandiamo per maggiori dettagli; in questa sede abbiamo ritenuto opportuno riassumere solo i principali risultati produttivi medi pluriennali, sia delle colture erbacee da biomassa (fig. 1) che della SRF di pioppo (fig. 2). A questi dati abbiamo fatto anche riferimento nel lavoro di analisi della “vocazionalità” delle aree per il territorio regionale.

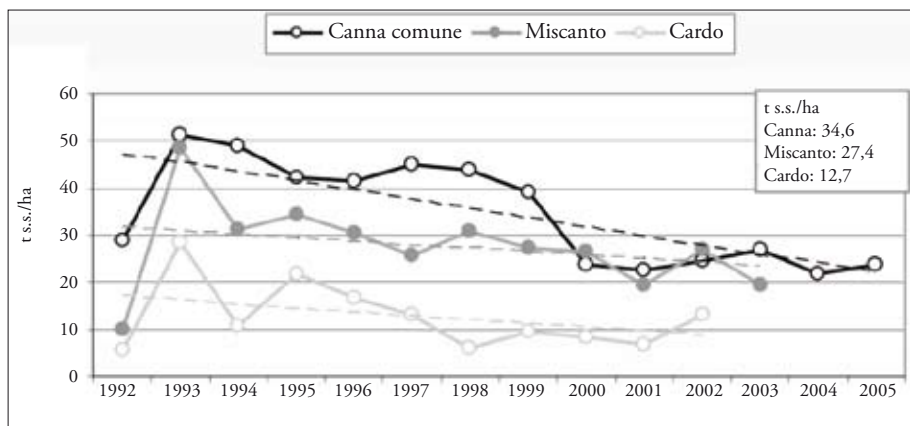


Fig. 1 Resa media e andamento temporale delle rese unitarie delle colture erbacee poliennali da biomassa nella pianura pisana

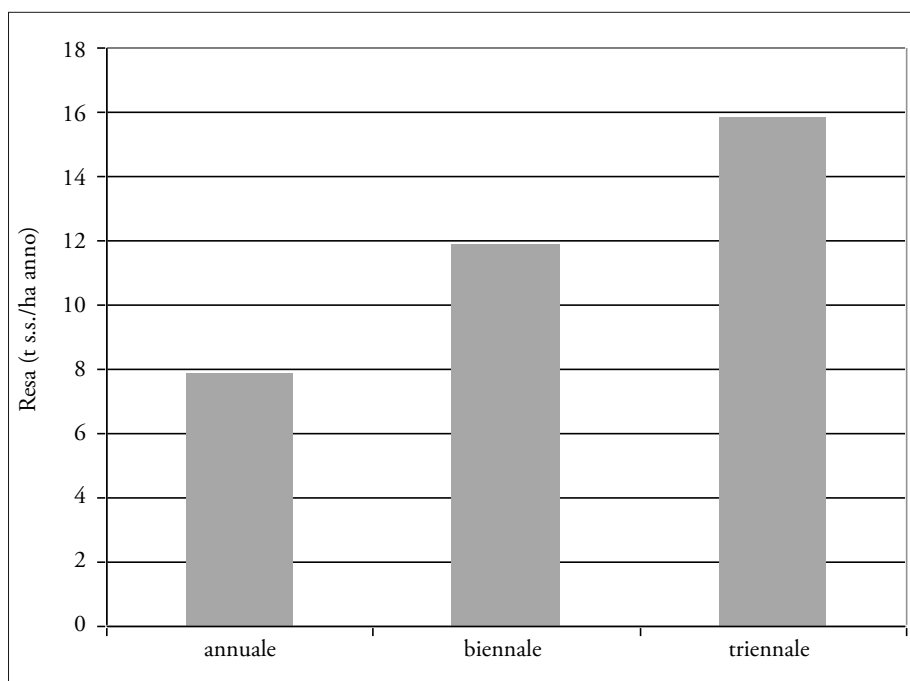


Fig. 2 Rese medie unitarie della SRF di pioppo nella pianura pisana (periodo 1996-2006) in funzione del turno di ceduzione



Tutto ciò premesso, appare evidente come uno degli elementi di indispensabile valutazione sia quello di verificare a scala territoriale – e progressivamente per tutto il territorio nazionale – i limiti e le effettive consistenze dei comprensori di interesse per le colture dedicate e di prima trasformazione delle biomasse. E ciò al fine di individuare, sia sul piano delle caratteristiche degli specifici agroecosistemi diffusi sul territorio, sia sul piano delle caratteristiche socio-economiche e organizzative del comparto agroforestale attualmente in essere, quegli areali che risultino più adatti alla realizzazione di nuove iniziative produttive.

Nell'ambito della stima della “vocazionalità” delle aree, occorre però tenere in debita considerazione anche l'esigenza di tutelare il complesso dei modelli agricoli in essere nei nostri territori rurali ed evitare che – sull'onda di una contingente ricerca “spasmodica” di trovare alternative percorribili per le aziende agricole alle tradizionali colture erbacee di pieno campo e, contemporaneamente, per la crescente domanda di biomasse – il sistema produttivo nel suo complesso finisca con il cedere in “maniera sbagliata” a una “pressione” complessiva che, se non guidata, può correre il rischio di risultare eccessiva e controproducente, sia sul piano agronomico-organizzativo ed economico che dal punto di vista ecologico-ambientale e sociale.

Le possibilità di una attivazione “sostenibile” di filiere agroenergetiche in un dato comprensorio e la costruzione di un corrispondente “distretto agroenergetico” sono determinate, oltre che dal tipo di sistema produttivo agricolo oggi in essere in quel dato territorio, anche dalla effettiva propensione dello stesso a favorirne un effettivo e duraturo sviluppo; ciò rende a nostro avviso indispensabile programmare – accanto alla attenta valorizzazione delle biomasse agroforestali residuali già disponibili – una eventuale introduzione complementare di colture dedicate attraverso un complesso percorso di valutazioni pluridisciplinari in grado di stimare la effettiva vocazionalità dei luoghi; e ciò anche attraverso l'allestimento di specifici sistemi informativi territoriali (quaderno Arsia), l'implementazione di modelli previsionali per la stima delle potenzialità produttive e, infine, l'utilizzo di sistemi di analisi multicriteriale (conferenza di Roma).

Ed al riguardo si può facilmente intuire come la “vocazionalità” di un'area venga sostanzialmente determinata, da un lato, dall'insieme delle sue componenti socio-economiche e culturali e, dall'altro lato, dall'interazione delle risorse biofisiche che la caratterizzano. Le prime sono espresse soprattutto dalle attività complessive che definiscono l'uso attuale delle risorse del territorio (e non solo di quelle prettamente agricole), le seconde rappresentano soprattutto la potenzialità “nuda e cruda” della medesima area di riferimento; e appare

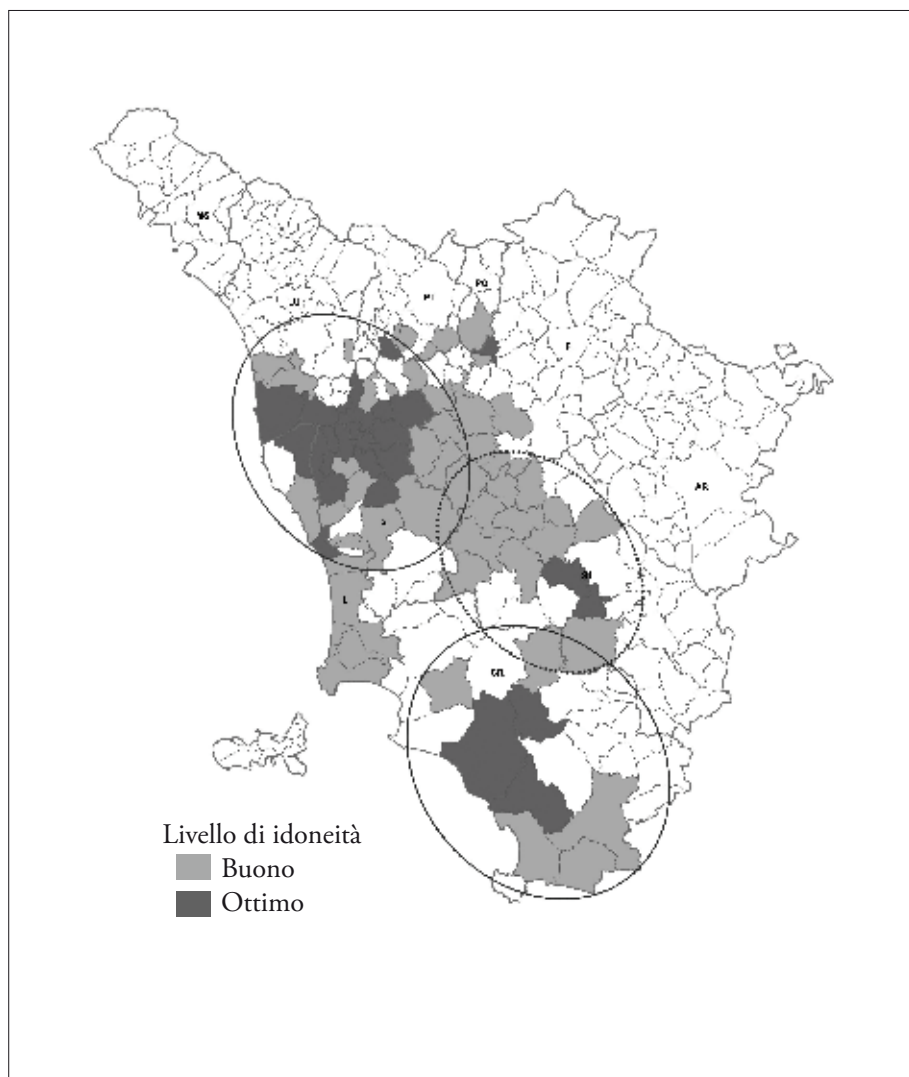


Fig. 3 *Rappresentazione territoriale dei potenziali distretti agrienergetici (quaderno ARSIA)*

evidente che introdurre attività e coltivazioni “alternative” senza tener conto della realtà attuale comporterebbe stime fuori misura e previsioni irreali.

Il Laboratorio di Ricerca Land Lab della Scuola Superiore Sant’Anna al quale apparteniamo ha affrontato questa problematica già da alcuni anni – soprattutto nel progetto “Bioenergy Farm” cofinanziato, nell’ambito di PROBIO, dal MiPAF e dall’ARSIA della Regione Toscana - e questo ha portato, attraverso una prima sovrapposizione di strati informativi diversi, sia di tipo qualitativo

che quantitativo, a una iniziale e inevitabilmente sommaria individuazione di alcuni potenziali distretti agroenergetici nella nostra regione (fig. 3). A questa prima valutazione abbiamo fatto seguire un ulteriore non indifferente impegno (di recente sostenuto finanziariamente anche dalla Camera di Commercio di Grosseto) per elaborare una metodologia di analisi e di valutazione che, tentando di superare i non pochi problemi derivanti dalle incomplete conoscenze delle caratteristiche agropedoclimatiche dei territori studiati e dalle modeste conoscenze in essere sui vari aspetti specifici delle singole colture da biomassa, potesse comunque condurci a un livello accettabile di stima delle potenzialità produttive.

Il processo analitico messo a punto nello studio relativo alla Provincia di Grosseto ha previsto in primo luogo l'organizzazione sistemica delle informazioni esistenti attraverso la realizzazione di database georeferenziati, cui ha fatto seguito – nell'ambito delle tecniche di analisi multicriteriali – la scelta dei criteri di valutazione e degli indicatori più adatti e la successiva attribuzione dei pesi dei diversi indicatori.

Infine l'attribuzione dei pesi è stata effettuata secondo più scenari definiti in base all'opportunità di privilegiare lo sfruttamento di una fonte di biomassa rispetto alle altre, così da poter classificare le unità territoriali di riferimento (ad es. i comuni) secondo una graduatoria che rappresenta il livello di vocazionalità per lo sviluppo della filiera (fig. 4).

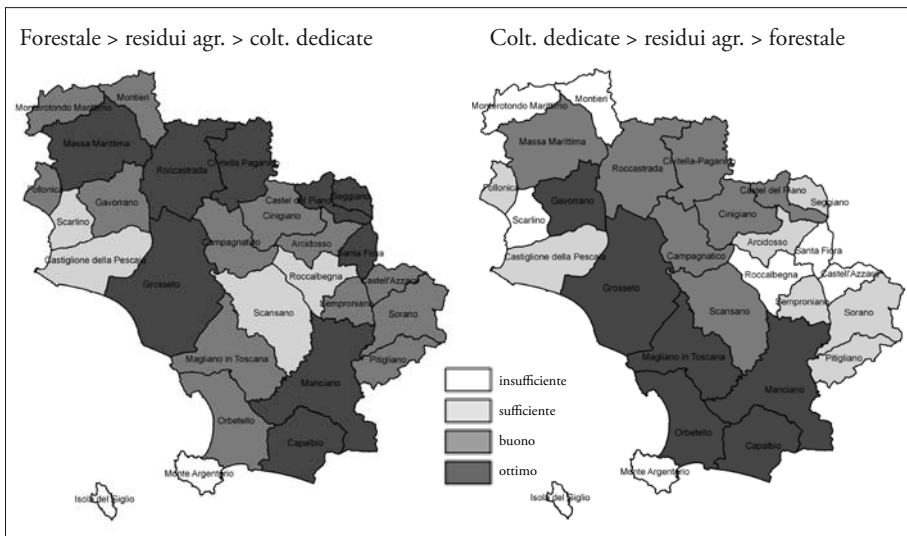


Fig. 4 Vocazionalità per lo sviluppo della filiera delle biomasse lignocellulosiche secondo due scenari ipotizzati

La successiva analisi quantitativa riguardo alla biomassa potenzialmente producibile nel contesto territoriale di che trattasi ha tenuto conto del prevedibile apporto di tre principali possibili fonti di approvvigionamento: i residui forestali, quelli agricoli e le colture dedicate.

Per le prime due fonti la stima si è basata sui quantitativi effettivamente esistenti che sono apparsi valutabili, pur con qualche difficoltà, attraverso quanto contenuto nell'inventario forestale (AA.VV., 1998), da un lato, e quanto reperito nelle statistiche ufficiali relative al riparto delle colture agrarie, dall'altro, e dalla successiva applicazione ai dati rilevati (superfici e rese utili) di appositi algoritmi reperiti in letteratura per la stima delle biomasse residuali. Di contro, la stima delle produzioni potenzialmente realizzabili per le colture dedicate comporta, soprattutto nel caso delle colture lignocellulosiche pluriennali, alcune problematiche non indifferenti; ciò in quanto queste non sono affatto presenti sul territorio e non risultano quasi mai disponibili neppure dati di prove sperimentali. Queste ultime, infatti, sono state allestite solo recentemente e spesso riguardano soltanto alcune specie; inoltre, la carenza di una sperimentazione diffusa negli ambienti a clima mediterraneo non ha permesso per ora lo sviluppo di modelli di crescita ad hoc; né si può trascurare una oggettiva difficoltà nell'utilizzazione dei pochi modelli esistenti quando impiegati per indagini a scala territoriale.

Nel "caso di studio" oggetto del presente lavoro è stato adottato un approccio metodologico di tipo "sistemico/deduttivo" che considera, da un lato, le principali "esigenze" bio-agronomiche e le caratteristiche produttive delle specie da biomassa già registrate nel corso dell'ultimo ventennio nei nostri siti sperimentali in essere nella pianura pisana e, dall'altro, le principali caratteristiche agropedoclimatiche del territorio grossetano e le sue peculiari attitudini produttive relativamente ad alcune delle più diffuse e consolidate colture agrarie tradizionalmente presenti, sia nei siti sperimentali delle due province che nelle potenziali aree agricole della provincia di Grosseto in cui sia prevedibile l'inserimento delle colture dedicate da biomassa. La successiva stima delle produzioni potenziali a livello territoriale trova quindi le sue radici, da un lato, nella individuazione e classificazione agronomica delle aree destinabili alle differenti colture da energia e, dall'altro, nella stima delle rese unitarie per queste prevedibili a partire dall'"attitudine" produttiva del territorio stesso.

Per l'individuazione e la classificazione agronomica delle aree destinabili alle differenti colture da energia è stata effettuata la caratterizzazione pedoclimatica dei seminativi facilmente meccanizzabili nell'ambito dell'intera provincia utilizzando gli opportuni strati informativi relativi (1) all'uso del suolo, per estrapolare i seminativi (corine land cover), (2) la giacitura dei suoli, per

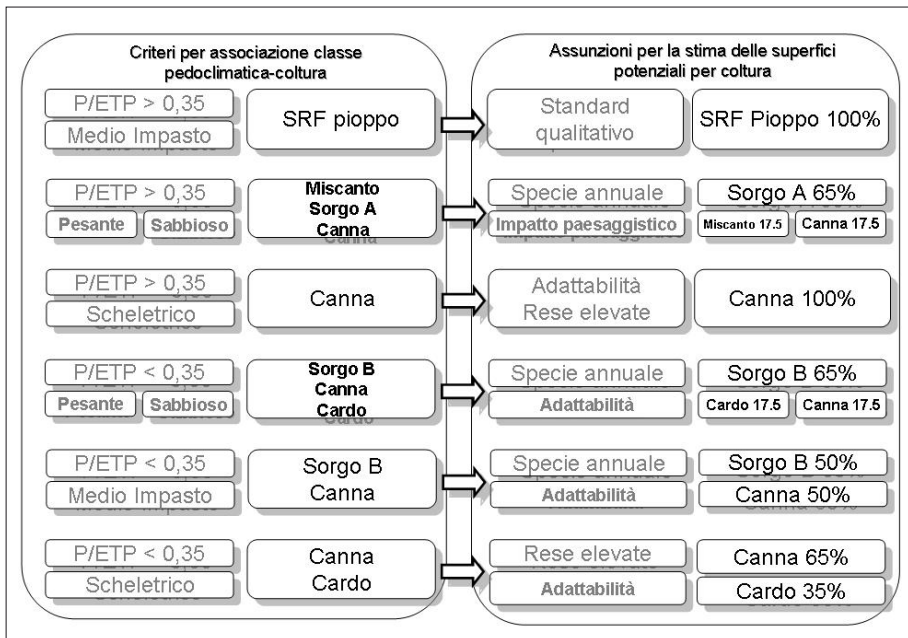


Fig. 5 Rappresentazione schematica del protocollo di analisi adottato per la stima delle superfici potenzialmente destinabili a ciascuna coltura dedicata: l'associazione tra classe pedoclimatica e coltura è stata effettuata sulla base della combinazione tra classe di tessitura prevalente e del valore dell'indice di aridità stagionale calcolato come il rapporto tra la pioggia e l'evapotraspirazione potenziale (P/ETP) nel periodo aprile-ottobre; per ipotizzare le probabilità di coltivazione di ciascuna specie sono state definite regole basate su assunzioni di tipo agronomico ed ambientale

individuare i seminativi meccanizzabili (DTM), (3) il clima (dati bacino idrografico) (4) la pedologia dei seminativi meccanizzabili (carta pedologica scala 1:250000 dell'Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo).

Per determinare la probabile “attitudine produttiva” del territorio è stato invece necessario intraprendere un'indagine diretta, a campione, per raccogliere a livello aziendale (n° 29 aziende rappresentative del comprensorio) tutte le informazioni necessarie per stimare le rese medie delle principali colture di pieno campo (girasole, cereali ed erba medica) considerate come “test” per il “confronto agronomico” fra l'areale maremmano e la pianura pisana. Le rese di cui sopra sono state poi confrontate con quelle registrate, per le medesime colture erbacee di pieno campo, nei centri sperimentali in cui sono state realizzate anche le sperimentazioni sulle colture dedicate da biomassa (preziosissima l'esperienza maturata soprattutto nell'ambito del Centro “Avanzi” dell'Università di Pisa).

Il rapporto numerico calcolato come media pluriennale fra le rese delle colture è stato successivamente “spazializzato” attraverso l'uso di modelli geo-

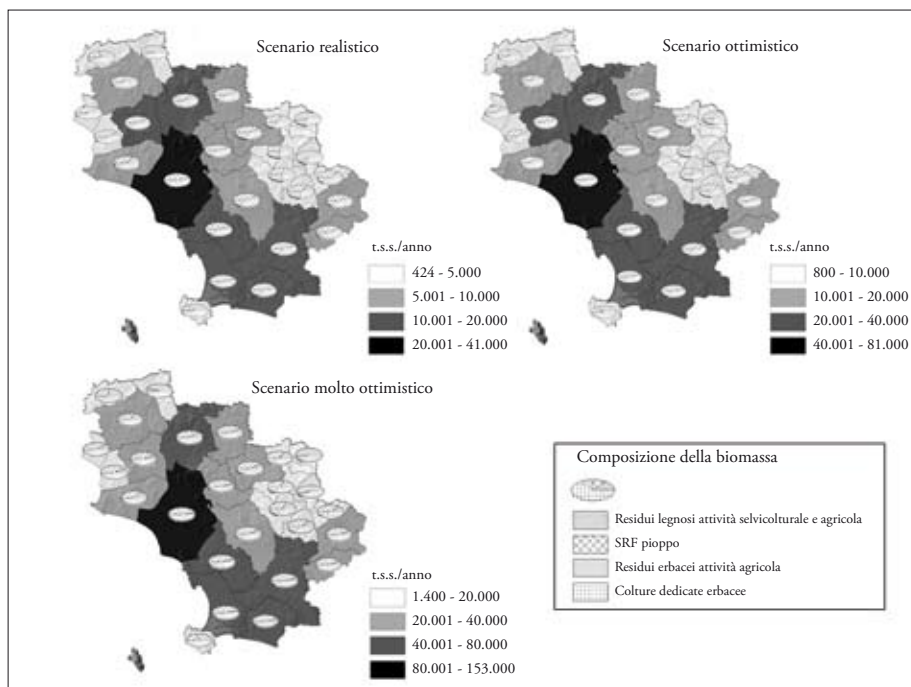


Fig. 6 *Produzione di biomasse lignocellulosiche a livello comunale per i tre scenari ipotizzati: scenario realistico (produzione totale ~ 200.000 t s.s./anno), scenario ottimistico (produzione totale ~ 400.000 t s.s./anno) e scenario molto ottimistico (produzione totale ~ 750.000 t s.s./anno)*

statistici basati sull'analisi della semivarianza; il coefficiente spazializzato così determinato è stato considerato come l'espressione dell'attitudine produttiva del territorio allo studio rispetto a quella dei siti sperimentali; ed è stato quindi considerato come un fattore di correzione delle rese unitarie medie pluriennali delle colture dedicate registrate a livello sperimentale nella pianura pisana.

Sulla base delle caratteristiche agropedoclimatiche del territorio grossetano – e in particolare della granulometria dei terreni e dell'indice di aridità stagionale – e delle esigenze in tal senso evidenziate per le principali specie coltivate, è stata quindi realizzata l'associazione, a scala "territoriale", fra i potenziali areali e le più opportune colture dedicate. Successivamente sulla base di alcune "regole" definite a partire da assunzioni di carattere agronomico e ambientale (fig. 5) è stata effettuata la stima delle superfici potenzialmente destinabili a ciascuna coltura con un livello di approssimazione accettabile soprattutto in considerazione della scala spaziale considerata.

I quantitativi di biomassa lignocellulosica producibili annualmente sono stati infine stimati in relazione a tre ipotetici “scenari” (realistico, ottimistico, molto ottimistico) basati su diversi livelli di utilizzo delle disponibilità “potenziali” dei residui di origine agricola e forestale (stimati con riferimento ai confini amministrativi del comune) e dei seminativi effettivamente destinabili alle colture dedicate sul territorio (fig. 6).

Per ognuno dei tre scenari si è ipotizzato di produrre quantitativi di biomassa con un contenuto minimo in legno non inferiore al 50% del totale, al fine di garantire un minimo standard qualitativo legato proprio alle migliori caratteristiche del legno, sia in termini di potere calorifico che di produzione di ceneri.

I tre scenari prevedono i seguenti livelli di utilizzo delle disponibilità potenziali di residui agricoli e forestali e di seminativi facilmente meccanizzabili:

1. scenario realistico – 5% dei seminativi, 25% dei residui legnosi da attività silvicolturale e agricola e 10% dei residui erbacei da attività agricola;
2. scenario ottimistico – 10% dei seminativi, 50% dei residui legnosi da attività silvicolturale e agricola e 20% dei residui erbacei da attività agricola;
3. scenario molto ottimistico – 20% dei seminativi, 75% dei residui legnosi da attività silvicolturale e agricola e 20% dei residui erbacei da attività agricola.

I risultati riportati, ottenuti attraverso due percorsi di indagine diversi, ma complementari, hanno permesso:

1. di analizzare il livello di vocazionalità allo sviluppo della filiera delle biomasse lignocellulosiche in funzione della fonte di approvvigionamento da privilegiare;
2. di stimare i quantitativi di biomassa producibile annualmente ipotizzando diversi livelli di sfruttamento delle risorse del territorio.

Nel primo caso l'analisi multicriteriale integrata al GIS ha consentito, partendo da indicatori facilmente reperibili, di caratterizzare il territorio in merito alla probabile attitudine produttiva e all'attivazione di filiere agrienergetiche nelle singole unità territoriali esaminate. In maniera complementare lo studio mirato alla stima dei quantitativi ha permesso di determinare la biomassa potenzialmente producibile, in base a diverse ipotesi di impiego delle risorse. Tale processo di stima, basato in questo caso su ipotesi di scenario, potrebbe in futuro essere invertito partendo dal livello dei consumi energetici nel medesimo contesto territoriale, favorendo un approccio ancor più compiuto all'elaborazione degli strumenti di programmazione territoriale.

Nell'ambito delle colture dedicate da biomassa infatti, la liberalizzazione



dei mercati agricoli e l'introduzione di nuove specie fanno prevedere un significativo sviluppo del settore delle agrienergie che, se pur coerente con i principali obiettivi comunitari e nazionali in campo energetico, deve però a nostro avviso essere coscientemente veicolato anche attraverso l'utilizzo di strumenti che permettano di "prevedere" la sostenibilità delle filiere agrienergetiche. Si deve soprattutto evitare che un incremento della produzione di biomassa di origine agricola si traduca in un abuso delle risorse del territorio, nonché in un'eccessiva competizione con le produzioni alimentari per i suoli agricoli "migliori" (Pimentel e Patzek, 2005).

Il nostro maggiore sforzo è attualmente indirizzato alla messa a punto di metodologie e strumenti di stima che siano di supporto ai processi di programmazione a scala territoriale e che consentano ai soggetti decisori di quantificare, in termini di sfruttamento delle superfici agricole e dei residui agro-forestali disponibili, l'impatto che potrebbe derivare dallo sviluppo delle filiere agrienergetiche in un determinato contesto territoriale.

Uno studio condotto a scala continentale dall'European Environmental Agency, identifica, per ogni paese dell'UE-25, le colture a destinazione energetica più idonee da un punto di vista ambientale ("environmentally compatible crop mix") e come follow-up di tale studio, raccomanda di condurre approfondimenti a livello locale (EEA, 2006). Paradossalmente però negli studi a carattere territoriale spesso accade che aumentando il dettaglio spaziale delle indagini, e quindi la necessità di ottenere risultati più accurati, aumentino le probabilità di incorrere in errori di stima, derivanti dalla disuniformità e dalla carenza di informazioni reperibili in maniera capillare sul territorio oggetto dello studio. Il necessario ricorso all'utilizzo di modelli o criteri di previsione e a tecniche di spazializzazione deve essere comunque assecondato dalla possibilità di validare i risultati ottenuti attraverso l'analisi di casi rappresentativi e di progetti pilota. Quindi ad integrazione di uno studio, come quello da noi presentato in questa sede, la possibilità di poter condurre indagini valutative a livello aziendale o di comprensorio potrebbe agevolare la "lettura" dei risultati ottenuti anche e soprattutto in funzione delle assunzioni che sono alla base del nostro approccio metodologico.

Non è affatto ridondante rimarcare che in questa fase di studio sulle possibilità di diffusione delle agrienergie, non ci si può limitare soltanto a prevedere l'inserimento di nuove colture nell'ordinamento produttivo di una azienda agricola, ma in maniera molto più conveniente c'è necessità di consentire all'azienda agricola di inserirsi in un processo di filiera dimensionato in funzione dello sfruttamento sostenibile ed efficiente delle risorse del territorio al fine di consentirne l'effettiva "rinnovabilità".



## BIBLIOGRAFIA

- AA.VV (2004): *Le colture dedicate ad uso energetico: il progetto Bioenergy Farm*, Quaderno ARSIA, 6, pp. 160.
- AA.VV (1998): *L'Inventario Forestale*, Serie Boschi e Macchie di Toscana, pp. 219.
- BONARI E. (2005): *Risultati produttivi del pioppo da biomassa*, «Terra e Vita», 10, pp. 69-73.
- BONARI E., SABBATINI T., VILLANI R., PICCHI G. (2004): *A model of GIS-based land suitability analysis for energy crops*, Proceedings della Seconda Conferenza Mondiale sulle Biomasse, pp. 510-513.
- EEA (2006): *How much bioenergy can Europe produce without harming the environment?*, EEA Report 7/2006.
- PICCIONI E., BONARI E. (2006): *SRF di pioppo nella pianura litoranea toscana, principali risultati di alcune esperienze a lungo periodo*, «Sherwood», 128, pp. 31-36.
- PIMENTEL D., PATZEK T.W. (2005): *Ethanol production using corn, switchgrass, and wood; biodiesel production using soybean and sunflower*, «Natural Resources Research», 14 (1), pp. 65-75.
- VILLANI R., PICCIONI E., RAGAGLINI G., SABBATINI T., BONARI E. (2007): *GIS-based land suitability evaluation for bioenergy chains: a multidisciplinary approach applied to Mediterranean regions*, Proceedings della 15° Conferenza Europea sulle Biomasse, pp. 222-227, in press.



## Biocarburanti e bilanci di emissione di gas a effetto serra: il ruolo del protossido di azoto (N<sub>2</sub>O)

### INTRODUZIONE

L'aumento della concentrazione atmosferica di anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) dovuta all'utilizzo di carburanti di origine fossile, gli impatti del cambiamento climatico direttamente connesso con gli aumentati livelli di CO<sub>2</sub> e soprattutto l'analisi sulla crisi petrolifera, che sta preoccupando analisti ed economisti, sono solo alcuni degli aspetti che hanno rinnovato l'interesse sui biocarburanti. La crescita demografica mondiale, il mantenimento degli attuali livelli di crescita industriale e di benessere, l'aumento della domanda di energia delle economie in crescita nello scacchiere mondiale, pone al centro dell'interesse dell'umanità la necessità di reperire fonti energetiche alternative ai combustibili fossili, i quali saranno sufficienti a mantenere lo standard attuale di crescita per un periodo di tempo che non va oltre questo secolo, nelle stime migliori. I biocarburanti, come fonte di energia, sono l'oggetto di valutazioni e interessi che spesso divergono molto fra loro. La più ovvia delle contrapposizioni a cui assistiamo oggi è quella fra gli imprenditori agricoli e le loro organizzazioni che vedono nei biocarburanti una opportunità per rendere remunerativa l'attività agricola e chi invece si occupa di ambiente e sostenibilità, che vede i biocarburanti come una scelta con chiari impatti ambientali negativi. Non è certamente facile prendere una posizione in questa contrapposizione che riguarda così da vicino anche noi ricercatori, ma è molto utile e importante cercare di far chiarezza su tutti gli elementi del dibattito. Questo è l'obiettivo del nostro contributo, che cercherà di esaminare un aspetto meno noto della questione.

\* *Istituto di Biometeorologia, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Firenze*

\*\* *Dipartimento di Scienze Ambientali, Seconda Università degli Studi di Napoli*

## BIOCOMBUSTIBILI ED EMISSIONI DI GAS-SERRA

La rinnovabilità dei combustibili di origine vegetale, che è data per scontata nella direttiva comunitaria (2003/30/CE) e nella legge di recepimento italiana (Legge n. 81 dell'11 marzo 2006), è insita, in linea di principio, nel processo di crescita di tutti gli organismi vegetali. Le piante, attraverso il processo fotosintetico sono in grado di assimilare il carbonio atmosferico, sfruttando l'energia solare e liberando allo stesso tempo ossigeno. In sintesi, quindi la fotosintesi contribuisce in modo rilevante a "sequestrare" il carbonio atmosferico. Utilizzando i biocarburanti, analogamente a quanto succede quando bruciamo il legno, si libera in atmosfera parte del carbonio che la pianta ha assorbito nel suo ciclo di crescita. Per questo motivo i biocarburanti vengono definiti a impatto zero sull'emissioni di CO<sub>2</sub>, nel senso che non vanno a incrementare il tasso di emissione dell'anidride carbonica, ma si inseriscono in un ciclo che vede da una parte la produzione della biomassa vegetale e la sua trasformazione e dall'altra la sua utilizzazione per scopi energetici. Ovviamente, la condizione perché questa affermazione resti vera, è che per la parte del ciclo produttivo destinata a crescita e trasformazione si consumi una frazione di energia trascurabile o almeno inferiore rispetto al contenuto energetico della biomassa prodotta. Ciò è quasi sempre vero, ad esempio, per quanto riguarda il biodiesel da semi oleosi (girasole, colza), mentre è ampiamente contestato da numerosi esperti per quanto riguarda la produzione di bioetanolo da granturco.

L'Unione Europea ha pubblicato, nel febbraio 2006, la "Strategia dell'UE sui biocarburanti" che prevede la produzione di 17.5 Mt (M=mega=milioni) di biocarburanti al 2010, e la destinazione a coltivazioni energetiche di una superficie agricola compresa tra 5 e 10 Mha (ha=ettaro), sui quasi 140 Mha complessivamente coltivati nell'Unione. Al 2020 questi valori dovrebbero raddoppiare. Nel 2004 la produzione di biocarburanti comunitaria è stata di 2.4 Mt, pari allo 0.8% dei consumi della Unione Europea in benzina e diesel. La produzione di bioetanolo ammonta a 0.5 Mt e quella del biodiesel a 1.9 Mt. La direttiva europea sui biocarburanti stabilisce infatti obiettivi per una copertura del 2% del mercato nel 2005 e del 5.7% nel 2010. Il 1° luglio 2006, in Italia, è entrata in vigore la legge n°81 dell'11 marzo 2006 inerente a interventi urgenti per i settori dell'agricoltura e dell'agroindustria, dove nell'art. 2 si legge: «dal 1° luglio 2006 i produttori di carburanti diesel e di benzina sono obbligati ad immettere al consumo biocarburanti di origine agricola oggetto di un'intesa di filiera, o di un contratto quadro, o di un contratto di programma agroenergetico, stipulati ai sensi del presente articolo,

in misura pari all'1 per cento dei carburanti diesel e della benzina immessi al consumo nell'anno precedente. Tale percentuale, espressa in potere calorifico inferiore, è incrementata di un punto per ogni anno, fino al 2010».

Negli Stati Europei, c'è una forte spinta verso le politiche agricole che favoriscano la conversione a biocarburanti di aree "messe a riposo" (set-aside). Ma tali colture richiedono, per essere economicamente vantaggiose, una gestione agricola di tipo intensivo, che comporta soprattutto l'uso di fertilizzanti azotati, principale fattore di stimolo delle emissioni di protossido di azoto ( $N_2O$ ). La conversione di aree set-aside in aree per la produzione di colture per biocarburante, rischia quindi di portare a un incremento delle emissioni di questo importante gas a effetto serra, e stimolare la perdita di carbonio (C) dal suolo come  $CO_2$ , con riduzione della quantità e alterazione della stabilità del carbonio organico del suolo, con implicazioni significative per la qualità del suolo e il ruolo dei terreni come serbatoi di carbonio. Entrambe le cose potrebbero influire negativamente sul bilancio degli impatti ambientali della coltura da biocombustibile.

Gli studi disponibili sull'impatto delle coltivazioni di biocarburanti sulle emissioni di  $N_2O$  e sulle alterazioni della sostanza organica del suolo non hanno ancora portato a risultati conclusivi. Questo è ancora più evidente in ambiente Mediterraneo, dove tali studi sono scarsi e dove le previsioni sugli impatti non possono essere estrapolate da risultati ottenuti su ecosistemi del Nord e Centro Europa che presentano tipi di suolo e clima, e quindi anche di gestione, del tutto differenti.

#### EMISSIONI DI PROTOSSIDO DI AZOTO ( $N_2O$ ) DAL SISTEMA AGRICOLO

Il protossido di azoto ( $N_2O$ ) è uno dei più importanti gas a effetto serra, il quale, sebbene presente in atmosfera a una concentrazione più bassa dell'anidride carbonica ( $CO_2$ ), ha un potere radiativo (Global Warming Potential, GWP), di circa 310 volte più grande di quello della  $CO_2$  e un tempo di vita in atmosfera di circa 120 anni (IPCC, 2006). L' $N_2O$  ha anche un ruolo importante nel chimismo dell'ozono stratosferico (Crutzen, 1970). La sua attuale concentrazione è di circa 314 ppbv (stima totale di 1510 Tg N) e incrementa a una velocità di circa 0.8% all'anno (IPCC, 2006). Gli ecosistemi terrestri agricoli rappresentano la principale fonte di  $N_2O$  (IPCC, 2000, 2006), dove l' $N_2O$  è prodotto nel suolo dai processi microbici di nitrificazione e denitrificazione (Granli & Bockman, 1994). Il principale fattore che regola tale processo è la disponibilità di azoto minerale, che funge da substrato per i

processi microbici. La frazione di azoto persa come  $N_2O$  dal suolo, derivante dall'applicazione diretta di fertilizzanti in agricoltura, si avvicina, in media, all'1% dell'azoto fissato (Bouwman et al., 2002; Stehfest & Bouwman, 2006), sebbene tale quantità possa variare significativamente in funzione del tipo di fertilizzante azotato utilizzato e in funzione dei fattori ambientali che influenzano i processi microbici di nitrificazione e denitrificazione. Oltre alle perdite dirette dovute all'aggiunta di fertilizzanti, c'è anche un'ulteriore emissione di fondo di  $N_2O$  dai suoli agricoli derivante dal ciclo naturale dell'azoto nell'ecosistema, attraverso la decomposizione della sostanza organica morta e la mineralizzazione dell'azoto organico. Questo contributo è alquanto variabile e dipende dal tipo di gestione agronomica del suolo, dalle condizioni climatiche, dal tipo di suolo e altro, ma esso può rappresentare più di 1 kg di  $N_2O-N/ha/anno$ . Altre emissioni di  $N_2O$  "indirette" sono associate ad altre perdite di N dal sistema sotto forma di lisciviati o emissioni di ossidi di azoto ( $NO_x$ ) e  $NH_3$  (Minami & Ohsawa, 1990; Duxbury et al., 1993; Mosier, 1993).

Non vi è dubbio alcuno che la produzione di biocarburanti è normalmente il frutto di un'agricoltura intensiva, che implica ampio utilizzo di fertilizzanti azotati. La parola d'ordine di chi si occupa professionalmente di produzioni bioenergetiche è che l'unica soluzione possibile per ottenere vantaggi economici è quella di aumentare le rese unitarie della materia prima. E più si aumentano le rese unitarie, si sostiene spesso, maggiore è la quantità di carbonio atmosferico fissato dalle piante per unità di superficie. Ma se nel conteggio della quantità totale di gas a effetto serra prodotta/consumata nel processo di produzione e utilizzo dei biocarburanti, si considerano anche le emissioni di  $N_2O$  dal suolo, espresse in equivalenti di  $CO_2$ , il risultato può essere che l'effetto di "risparmio" in termini di emissioni di  $CO_2$  derivante dall'uso di biocarburante, è controbilanciato "negativamente" dalle emissioni di  $N_2O$ , con un bilancio netto radiativo positivo (incremento di gas a effetto serra, i.e. riscaldamento). Tale bilancio è ovviamente influenzato dal tipo di coltivazione, quantità di N richiesta dalla coltura per unità di biomassa, efficienza di utilizzazione dell'azoto della coltura (Crutzen et al., 2007). Usando queste due semplici variabili Crutzen et al., (2007) hanno proposto differenti bilanci, in termini di GWP, per differenti specie utilizzabili per la produzione di biocarburanti. Tuttavia, come gli stessi autori affermano, per produrre un bilancio abbastanza preciso delle perdite/guadagni di equivalenti di  $CO_2$ , includendo la produzione di  $N_2O$ , è necessario disporre di:

a) un maggior numero di informazioni sulla produzione potenziale di  $N_2O$  relativa a specifici tipi di colture, suoli, regioni climatiche e tipi di gestione agricola, per produrre un appropriato coefficiente di emissione;

b) un più completo approccio che possa includere le emissioni dirette e indirette di  $N_2O$ , calibrate in funzione delle caratteristiche ambientali su scala locale e regionale.

L'impegno preso dal Governo italiano, relativamente alle fonti di energia rinnovabile, prevede l'impiego di 1 Mha di territorio nella coltivazione di specie utili ai fini della produzione di biocarburanti entro il 2010, in modo da raggiungere al meno l'obiettivo minimo dell'1% di biocarburanti per litro di carburante, con un obiettivo finale fissato al 5%. Al momento, in Italia, la produzione di energia da biomasse corrisponde a 5 Mt di petrolio e le proiezioni per l'anno 2030 sono 25 Mt, dando per assunto un forte contributo del settore agricolo. Una tale politica verrebbe supportata da contributi finanziari pari a 45 euro per ettaro. Relativamente all'anno 2007, circa 45.000 ettari sono stati utilizzati per la produzione di biocarburanti, con circa 22.000 ettari utilizzati nella coltivazione del girasole, seguito da soia e colza.

Il dibattito sulle superfici da impiegare per produrre biocarburanti in Italia è tuttora aperto. Come già accennato in precedenza, una soluzione spesso proposta è quella di utilizzare le aree agricole attualmente "messe a riposo" (set-aside), attualmente incentivate dalla Comunità Europea, che in Italia ammontano circa a 80.000 ettari. Tali superfici, non più sottoposte alla pressione derivante dall'attività agricola (fitofarmaci, fertilizzanti, lavorazioni del suolo, ecc.), sono considerate una strategia di gestione che favorisce l'incremento di sostanza organica del suolo, favorendo quindi il sequestro di carbonio negli ecosistemi terrestri (Paustian et al., 1997; Rasmunssen et al., 1998; Conant et al., 2001; Clifton-Brown et al., 2004; Garcia-Olivia et al., 2006) il mantenimento della riserva di nutrienti e il miglioramento dei processi biologici e la sostenibilità del suolo (Lal et al., 1998). Se da un lato la quantità di carbonio accumulata nel sistema set-aside (vegetazione e suolo) è minore di quella immobilizzata nella biomassa nel corso di una produzione agricola di biocarburanti; la quantità di  $N_2O$  emessa in tali sistemi semi-naturali è di gran lunga inferiore a quella delle produzioni attive, così come inferiori sono le perdite di carbonio dal suolo, tipicamente accelerate dalle pratiche agricole che favoriscono decomposizione, destabilizzazione degli aggregati di carbonio organico, e mineralizzazione.

Per valutare se la scelta di convertire i set-aside in aree da produzione di biocarburante sia realmente opportuna in termini di impatti ambientali relativi al riscaldamento globale, si rende quindi necessario un approccio ecosistemico completo per stimare le emissioni totali di gas a effetto serra, il sequestro di C nel suolo e le perdite di N in maniera comparativa nelle aree

coperte da vegetazione naturale o rinaturalizzate e nelle aree convertite e a colture di biocarburanti.

I dati di letteratura disponibili, soprattutto per gli agroecosistemi Mediterranei, sono insufficienti per dare indicazioni conclusive sugli impatti delle coltivazioni da biocarburante sulle emissioni di gas a effetto serra e sulla sostanza organica del suolo (Dalal & Mayer, 1987; Granatstein et al., 1987; Bouwman, 1996; Hénault et al., 1998, Fließbach & Mäder, 2000; Castillo & Joergensen, 2001; Pro et al., 2005; Blanco-Canqui & Lal, 2007). Lo stesso metodo IPCC (IPCC/OECD, 1997) utilizzato per calcolare le emissioni di  $N_2O$  dagli agroecosistemi stabilisce un unico calcolo per le diverse coltivazioni. Anche gli studi disponibili di “ciclo di vita” dei differenti tipi di colture da biocarburante non prendono sempre in considerazione le perdite di gas, N e C associate al suolo (Adler et al., 2007; Kaltschmitt et al., 2000; von Blottnitz et al., 2006; Farrell et al., 2006; Hill et al., 2006), e portano a conclusioni a volte discordanti. D'altra parte, estrapolare gli impatti da risultati ottenuti in ecosistemi del Nord e Centro Europa che presentano tipi di suolo e clima, e quindi una gestione, del tutto differente, sarebbe non corretto.

## CONCLUSIONI

La valutazione complessiva dell'impatto della produzione agricola di biocarburanti in termini di bilancio di gas a effetto serra, prendendo in considerazione i flussi biogenici di  $N_2O$  e  $CO_2$  associati all'intero processo di produzione, deve essere una priorità di qualsiasi politica di implementazione dello sfruttamento di bioenergie. Le informazioni derivanti da questo tipo di studi consentiranno di meglio definire se l'utilizzo di coltivazioni agricole per la produzione di energia potrà portare di fatto a emissioni di  $N_2O$  tali da causare un incremento delle emissioni nette di gas serra climalteranti piuttosto che a una riduzione di emissioni di  $CO_2$  da combustibili fossili.

Un approccio serio al problema implica la quantificazione delle emissioni totali di  $N_2O$  dal suolo associate alla produzione agricola includendo:

- a) le emissioni dirette derivanti dall'aggiunta di fertilizzanti azotati;
- b) le emissioni indirette derivanti dall'incremento del flusso di N nel sistema indotti dalla fertilizzazione (lisciviazione, volatilizzazione, ecc);
- c) le emissioni “background” di  $N_2O$  derivante dal ciclo naturale dell'azoto nell'ecosistema agricolo, attraverso la decomposizione della sostanza organica morta e la mineralizzazione dell'azoto.

Ma è anche necessario quantificare in modo attendibile le perdite di C dal



suolo associate all'attività agricola intensiva, che potrebbe avere come effetto una riduzione della quantità e qualità della sostanza organica del suolo e un incremento dei flussi netti di carbonio dal suolo all'atmosfera. Tali analisi possono essere fatte solo mettendo a confronto, in esperimenti dedicati, differenti tipi di gestione agricola delle produzioni energetiche al fine di identificare la gestione agricola che pur consentendo una produzione agricola, limita al massimo i flussi di  $\text{CO}_2$  e  $\text{N}_2\text{O}$  dal suolo. In questa stessa prospettiva assume particolare importanza la valutazione delle emissioni nette di  $\text{CO}_2$  equivalenti associate alla produzione di biocarburanti quando la scelta agronomica è la conversione di terre "set-aside".

Con una visione prospettica più ampia, ci preme sottolineare il fatto che l'analisi della sostenibilità è, in campo agricolo, un'arma importante che deve essere usata, nel medio e lungo periodo per coniugare in modo favorevole le giuste opportunità di guadagno e sopravvivenza per gli imprenditori agricoli e un ruolo positivo dell'agricoltura rispetto alle tematiche ambientali. L'agricoltura può tornare a essere il sostegno della civiltà moderna se riuscirà a uscire dalla logica della mono-produzione: prima solo produzione di alimenti, ora solo produzione di energia. Da sempre l'agricoltura è stata la fonte di cibo, materiale da costruzione, fibre, prodotti chimici e medicinali, servizi ambientali e anche energia. L'avvento del petrolio, nell'ultimo secolo, ne ha stravolto le caratteristiche, ma forse è inutile e fuorviante chiedere all'agricoltura di diventare oggi il nuovo "giacimento di petrolio" capace di alimentare una società inconsapevole del valore dell'energia. Una simile richiesta porterebbe a degradare sempre di più la fertilità dei suoli e il tessuto sociale e culturale del mondo agricolo, favorendo la concentrazione delle aziende e lo sfruttamento intensivo dei suoli. L'agricoltura può assumere un ruolo ben più rilevante che non quello marginale cui la si vuole relegare: essere il tessuto connettivo di una società moderna e innovativa, che dal recupero del suo rapporto con il territorio e con l'energia solare trovi nuova linfa per un nuovo modo di vivere e di crescere. Una azienda agricola capace di generare una molteplicità di prodotti ad alto valore aggiunto e a basso costo energetico contribuirebbe contemporaneamente all'aumento del reddito per gli operatori del settore e alla riduzione dei consumi energetici e dell'inquinamento connessi alla produzione di beni non biodegradabili e ad alta intensità energetica, come oggi avviene nella moderna società industriale. I combustibili dalle biomasse non sono e non possono essere la risposta ai problemi energetici della moderna società industriale. Tuttavia, processi di poligenerazione (bioenergie e biomateriali) dall'agricoltura possono invece essere lo strumento per rilanciare l'agricoltura e mantenere sul territorio il presidio ambientale e sociale diffuso

costituito dalle aziende agricole. Quest'ultimo obiettivo, molto più importante del primo, merita uno sforzo e un investimento.

#### ABSTRACT

The increase of the atmospheric CO<sub>2</sub> concentration due to fossil fuels, the impacts of climate change connected with the enhanced levels of atmospheric CO<sub>2</sub> concentration and the oil crisis, are only some issues that have renewed the interest on biofuels. There is a general debate on biofuels production and this contribute will try to examine some aspects about the agriculture production of species that will be use for biofuels production.

#### BIBLIOGRAFIA

- ADLER P.R., DEL GROSSO S.J., PARTON W.J. (2007): *Life-cycle assessment of net greenhouse-gasflux for bioenergy cropping systems*, «Ecol Appl», 17, pp. 675-691.
- BLANCO-CANQUI H., LAL R. (2007): *Soil and crop response to harvesting corn residues for biofuel production*, «Geoderma», 141, pp. 355-362.
- BOUWMAN A.F., BOUMANS L.J.M., BATJES N.H. (2002): *Modelling global annual N<sub>2</sub>O and NO emissions from fertilized fields*, Global «Biogeochem Cy», 16, 28-1, p. 12.
- CASTILLO X., JOERGENSEN R.G. (2001): *Impact of ecological and conventional arable management system on chemical and biological soil quality indices in Nicaragua*, «Soil Biol Biochem», 33, pp. 591-597.
- CRUTZEN P.J. (1970): *The influence of nitrogen oxides on the atmospheric ozone content*, «Q J Roy Meteor Soc», 96, pp. 320-325.
- CRUTZEN P.J., MOSIER A.R., SMITH K.A., WINIWARTER W. (2008): *N<sub>2</sub>O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels*, «Atmos Chem Phys Discuss», vol. 8, Issue 2, pp. 389-395.
- CLIFTON-BROWN J.C., STAMPFL P.F., JONES M.B. (2004): *Miscanthus biomass production for energy in Europe and its potential contribution to decreasing fossil fuel carbon emissions*, «Global Change Biol», 10, pp. 509-518.
- DALAL R.C., MAYER R.J. (1987): *Long term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in southern Queensland, VII, Dynamics of nitrogen mineralization potentials and microbial biomass*, «Austr J Soil Res», 25, pp. 461-472.
- DUXBURY J.M., HARPER L.A. and MOSIER A.R. (1993): *Contributions of agroecosystems to global climate change*, in *Agricultural Ecosystems Effects on Trace Gases and Global Climate Change*, Harper A.R., Mosier J.M., Duxbury J.M. and Rolston D.E. (Eds.), ASA special Pub. 55, Am. Soc. Agron. Inc. Madison, WI, pp.1-18.
- FARRELL A.E. (2006): *Ethanol Can Contribute to Energy and Environmental Goals*, «Science», 311, pp. 506-508.
- FLIESSBACH A., MÄDER P. (2000): *Microbial biomass and size-density fractions differ between soils of organic and conventional agricultural systems*, «Soil Biol Biochem», 32, pp. 757-768.
- GARCIA-OLIVA F., LANCHO J.F.G., MONTANO N.M., ISLAS P. (2006): *Soil Carbon and nitrogen dynamics followed by a forest-to-pasture conversion in western Mexico*, «Agrof Sys», 66, pp. 93-100.

- GRANATSTEIN D.M., BEZDICEK D.F., COCHRAN V.L., ELLIOTT L.F., HAMMEL J. (1987): *Long-term tillage and rotation effects on soil microbial biomass, carbon and nitrogen*, «Soils Biol Fert», 5, pp. 265-270.
- GRANLI T., BÖCKMAN O.C. (1994): *Nitrous oxide from agriculture*, «Norw J Agric Sci», 12, pp.128.
- HENAULT C., DEVIS X., LUCAS J.L., GERMON J.C. (1998): *Influence of different agricultural practices (type of crop, form of N-fertilizer) on soil nitrous oxide emissions*, «Biol Fert Soils», 27, pp. 299-306.
- HILL J., NELSON E., TILMAN D., POLASKY S., TIFFANY D. (2006): *Environmental, economic, and energetic costs and benefits of biodiesel and ethanol biofuels*, «Proc Natl Acad Sci», 103, pp. 11206-11210.
- IPCC/OECD (1997): *Revised 1997 IPPC guidelines for national greenhouse gas inventories*, OECD, Paris.
- IPCC (2006): *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, edited by: Eggleston HS, Buendia L.
- IPCC (2000): *Emissions Scenarios. 2000. Special Report on the International Panel on Climate Change*, eds N. Nakicenovic and R.Swart, pp. 570, Cambridge University Press, UK.
- LAL R., KIMBLE J., FOLLET R.F. (1998): in Lal R, Kimble J, Follett RF, Stewart BA (eds.), *Management of Carbon Sequestration in Soil*, CRC Lewis Publishers, Boca Raton. Smith P, Paul EA, Clark FE. Academic Press, San Diego Usa.
- MINAMI K. and OHSAVA A. (1990): *Emissions of nitrous oxide dissolved in drainage water from agricultural land*, in *Soil and the Greenhouse Effect*, Bouwman A.F. (Ed.), John Wiley and Sons, New York, NY, pp. 503-509.
- MOSIER A.R., KROEZE C., NEVISON C., OENEMA O., SEITZINGER S., and VAN CLEEMPUT O. (1997): *Closing the global atmospheric N<sub>2</sub>O budget: nitrous oxide emissions through the agricultural nitrogen cycle*, «Nutr.Cycl. Agroecosystems», 52, pp. 225-248.
- MOSIER A.R. (1993): *Nitrous oxide emissions from agricultural soils*, in *Methane and nitrous oxide: methods in national emission inventories and options for control proceedings*, Van Amstel A.R. (Ed.), National Institute of Public Health and Environmental Protection, Bilthoven, Netherlands, pp. 273-285.
- PAUSTIAN K., ANDREN O., JANZEN H.H., LAL R., SMITH P., TIAN G., TIESSEN H., VAN NOORDWIJK M., WOOMER P.L. (1997): *Agricultural soils as a sink to mitigate CO<sub>2</sub> emissions* «Soil Use and Manag», 13, pp. 230-244.
- PRO B.H., HAMMERSCHLAG R., MAZZA P. (2005): *Energy and land use impacts of sustainable transportation scenarios*, «J Cleaner Production», 13, pp. 1309-1319.
- RASMUSSEN P.E., ALBRECHT S.L., SMILEY R.W. (1998): *Soil C and N changes under tillage and cropping systems in semi-arid Pacific Northwest agriculture*, «Soil Tillage Res», 47, pp. 197-205.
- STEHFEST E. AND BOUWMAN L. (2006): *N<sub>2</sub>O and NO emission from agricultural fields and soils under natural vegetation: summarizing available measurement data and modeling of global annual emissions*, «Nutr. Cycl. Agroecosys.», 74, pp. 207-228.
- VON BLOTTNITZ H., RABL A., D. BOIADJIEV, TAYLOR T., ARNOLD S. (2006): *Damage Costs of Nitrogen Fertilizer in Europe and their Internalization*, «J. Environ Plan Manag», 49, pp. 413-433.



SANZIO BALDINI\*, CHIARA ARTESE\*, GIUSEPPE LAUDATI\*,  
RODOLFO PICCHIO\*, FILIPPO STIRPE\*

## Individuazione, quantificazione e localizzazione delle biomasse forestali utilizzabili

### INTRODUZIONE

I boschi italiani sono una risorsa primaria rinnovabile, che produce annualmente circa 30 milioni di m<sup>3</sup> di legno attraverso il processo di fotosintesi, oltre a una serie complessa di funzioni utili alla società (Baldini et al., 2003). La risorsa legnosa, infatti, assume al giorno d'oggi una serie di valenze, sia nel momento in cui il bosco è “ancora in piedi”, sia quando esso è stato utilizzato. Nel primo caso, infatti, una sua corretta gestione selvicolturale assicura: un'adeguata protezione del suolo dai dissesti idrogeologici, un'elevata efficienza nell'assorbimento di CO<sub>2</sub> dall'atmosfera, un minor pericolo nei confronti degli incendi boschivi e degli attacchi parassitari, una migliore regimazione del ciclo dell'acqua, oltre ad aspetti sociali di natura turistico-ricreativa (foto 1). Nel secondo caso, il legno utilizzato è una risorsa economica, impiegata per costruire case, infissi, mobili, ecc., contribuendo a “intrappolare” la CO<sub>2</sub> nei manufatti, oppure per uso energetico.

L'utilizzo energetico del legno risale, come noto, alla storia stessa dell'uomo, ma è solo negli ultimi decenni, e nei paesi industrializzati, che si è cercato di razionalizzare l'impiego di questa risorsa in modo più efficiente, sviluppando tecnologie che superano di gran lunga il tradizionale caminetto.

Le forme in cui si può utilizzare la legna sono diverse: tal quale, oppure ridotta in scaglie o sotto forma di pellets o bricchette, ossia di agglomerati di legna ricostruiti in genere partendo dalla segatura. Il termine di biomassa comprende tutte le sostanze di origine biologica in forma non fossile, le biomasse forestali sono materiali legnosi che derivano da: utilizzazione dei boschi

\* *Dipartimento di Tecnologie, Ingegneria e Scienze dell'Ambiente e delle Foreste, Università degli Studi della Tuscia di Viterbo*



Foto 1 *Fustaia di Quercus cerris L. (cerro) correttamente gestita, in cui sono stati effettuati interventi di gestione selvicolturale*

cedui, conversione degli stessi in fustaie, residui degli interventi selvicolturali delle fustaie e residui di potatura delle alberate, oltre ai tagli di maturità dei popolamenti specializzati alla produzione di biomasse. Il mercato delle caldaie a legna, sotto diverse forme di assortimento per la produzione di energia termica o elettrica, sta evolvendosi anche in Italia e spesso è necessario affrontare problemi di reperibilità del combustibile. La ricerca di fonti energetiche alternative ai combustibili fossili è un impegno sostenuto sia a livello mondiale che comunitario, oltre che nazionale (Corona e Nocentini, 2002), ciò rende l'interesse per questi aspetti sempre molto crescente. In Italia vi è grande *mobilitazione* sia per il recupero dei residui delle utilizzazioni forestali nella gestione dei boschi, sia nell'ipotesi di nuove coltivazioni *ad hoc* dedicate (SRF). Il principale ostacolo non è la "disponibilità", della materia prima, ma la sua raccolta, che non viene fatta per una serie di ostacoli che questo lavoro intende affrontare e cercare di proporre delle possibili soluzioni.

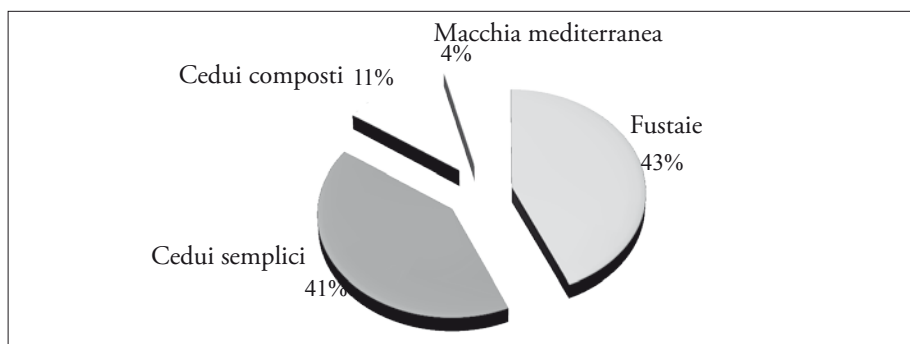
## 1. LA RISORSA LEGNO NELLA SELVICOLTURA ITALIANA

Nel nostro Paese non esiste una stima aggiornata delle risorse forestali e dei quantitativi estratti, ma una serie di dati ufficiali (a volte contrastanti), come riportato di seguito (tab. 1).

TIPOLOGIA DI BOSCO	IFN <sup>1</sup> (1985)	ISTAT <sup>2</sup> (2003)	CORINE LAND COVER <sup>3</sup> (1989-1996)	TBFRA <sup>4</sup> (2000)
Boschi di latifoglie	4.809	4.785	4.902	7.071
Boschi di conifere	1.332	1.441	1.309	2.094
Boschi misti	n.d.	364	974	692
Totale boschi	6.141	6.856	7.185	9.857
Arbusteti e altre aree forestali	2.161	266	2.536	985

<sup>1</sup> Inventario Forestale Nazionale Italiano.  
<sup>2</sup> Istituto Nazionale di Statistica.  
<sup>3</sup> Coordinated Information on the European Environment, Land Cover Map.  
<sup>4</sup> Temperate and Boreal Forest Resources Assessment (UN/ECE-FAO).

Tab. 1 *Superficie forestale italiana (Corona, Nocentini, 2002) Dati in migliaia di ettari*



Graf. 1 *Suddivisione della superficie forestale (nostre elaborazione dati ISTAT 2004)*

Dati più aggiornati sulle superfici forestali con i relativi dati provvigionali e incrementali, saranno disponibili con il nuovo INFC<sup>1</sup>, che già nei dati provvisori, relativi alla superficie forestale totale, confermano l'aumento dei boschi italiani. I dati riportati (tab. 1) sono utili per fornire un ordine di grandezza, ma essendo delle stime, anche se con un buon grado di attendibilità, possono essere soggetti a errori, soprattutto nella diversità metodologica di rilevamento del grado di copertura vegetale arborea. Dalle statistiche ufficiali pubblicate dall'Istituto Nazionale di Statistica relative all'anno 2004, risulta che la superficie totale forestale è di 6,8 milioni di ha, ripartiti come in (graf. 1).

Nella successiva (tab. 2), invece, è possibile verificare i dati della superficie forestale nazionale disaggregati per regione e per tipologia di bosco.

Il tutto conferma, comunque, che la superficie forestale italiana è in lenta ma costante espansione (Corona e Nocentini, 2002) se si confrontano i dati

<sup>1</sup> Al momento del presente lavoro i dati ufficiali ancora non erano stati ufficializzati.

REGIONE	FUSTAIE	CEDUI	TOTALE
Piemonte	231.700	438.702	670.402
Valle d'Aosta	69.940	8.055	77.995
Lombardia	208.560	285.544	494.104
Trentino-Alto Adige	545.474	86.542	632.016
Veneto	147.196	125.074	272.314
Friuli-Venezia G.	123.715	62.991	186.746
Liguria	87.411	197.052	288.406
Emilia-Romagna	97.222	307.697	404.919
Toscana	210.835	580.722	890.569
Umbria	25.933	238.446	264.379
Marche	30.034	129.902	160.075
Lazio	97.969	266.078	382.492
Abruzzo	104.692	122.557	227.652
Molise	21.091	49.940	71.031
Campania	101.175	181.779	289.155
Puglia	51.407	50.010	116.529
Basilicata	123.205	56.371	191.918
Calabria	303.055	166.380	480.528
Sicilia	142.441	75.952	222.743
Sardegna	250.405	187.610	533.096
<b>Italia</b>	<b>2.973.460</b>	<b>3.617.404</b>	<b>6.857.069</b>

Tab. 2 *Suddivisione delle superfici forestali regionali in ha. (ISTAT 2004)*

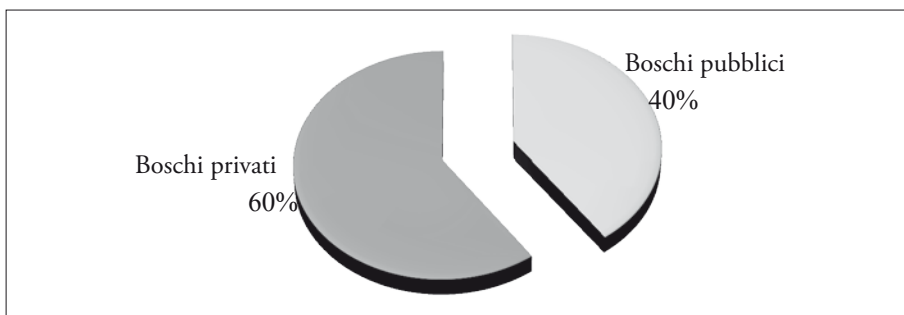
statistici degli anni precedenti, con i dati del nuovo IFNC, questa ipotesi viene del tutto confermata. Le foreste italiane presentano un volume di legname di 1,5 miliardi di m<sup>3</sup>, che si accresce annualmente di circa 30 milioni di m<sup>3</sup> (UNECE/FAO, 2000).

Tale produzione biologica viene solo parzialmente utilizzata (foto 2) a causa di vari fattori: scarsa accessibilità dei boschi, rispetto delle aree protette, boschi caratterizzati da un limitato numero di piante, scarso valore economico del legname ritraibile, alti costi di utilizzazione, ecc. I privati, che rappresentano circa il 60% della superficie del territorio forestale nazionale (graf. 2), raramente sottopongono i loro boschi a cure selvicolturali per due motivi: spesso la legislazione che regola la gestione dei boschi non è facilmente interpretabile, viste anche le competenze regionali in materia; inoltre, per molti interventi, il privato non è in grado di sopportare spese più elevate del prezzo di vendita del prodotto ricavato in quanto molte Regioni, pur concedendo incentivi, bloccano le richieste di contributi per carenze strutturali o burocratiche.

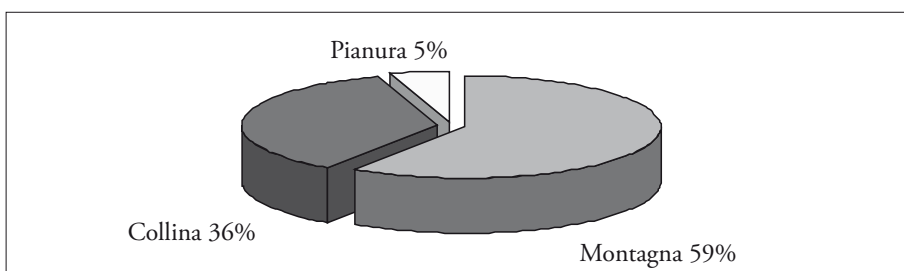




Foto 2 *Pineta di Pinus nigra subsp. laricio (Poirot) Maire, (pino laricio) che necessiterebbe di un secondo diradamento*



Graf. 2 Suddivisione della proprietà dei boschi italiani (ns elab. dati ISTAT 2004)



Graf. 3 Percentuale della distribuzione orografica dei boschi italiani (ns elab. dati ISTAT 2004)

La problematica è anche legata alle caratteristiche orografiche del territorio: i boschi italiani si trovano per il 35% tra la I e la II classe di pendenza, per il 40% fra la II e la III classe di pendenza e il 25% oltre la III classe (con pendenze superiori al 60%). Nel grafico 3 è riportata la ripartizione, secondo i dati ISTAT, dei boschi in base alla loro localizzazione in: pianura, collina e montagna.

Va sottolineato, inoltre, che la politica forestale italiana, rispetto ad altri paesi della UE, è ancora centrata sulla legge forestale quadro del 1923 (R.D. 3267 meglio conosciuta come legge Serpieri) che rappresenta a livello nazionale il testo fondamentale, ancora vigente, nel settore forestale. Si tratta di una legge che pone l'accento soprattutto sulle zone montane, con particolare attenzione alla difesa del suolo e alla protezione delle pendici montane (CIPE)<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> Testo tratto in sintesi dal rapporto di ricerca del CIPE (Comitato Interministeriale per la Programmazione Economica) "Il sistema foresta legno italiano – problemi e prospettive per il 2000 di una politica dell'offerta interna di legname".



Foto 3 *Catasta di legna da ardere a ciglio strada*

Il primo inventario forestale, organo importantissimo per il monitoraggio delle superfici boscate e delle sue produttività risale al 1985, mentre l'unico PNF<sup>3</sup> al 1988, primo documento nazionale che riconosce propri obiettivi, autonomia e specificità al settore forestale separandolo dal Piano Agricolo Nazionale. In esso il bosco viene inteso come risorsa naturale rinnovabile in grado di svolgere molte funzioni oltre la produzione legnosa. La gestione del nostro patrimonio boschivo è generalmente orientata a continuare quella azione di risparmio di una buona parte dell'incremento legnoso, che iniziata negli anni del *boom* economico, ha portato un notevole incremento delle provvigioni dei nostri boschi. Il materiale asportato proviene in genere da tagli di maturità nelle fustaie, dai diradamenti nelle piantagioni artificiali, che spesso sono effettuati in maniera minore del dovuto, e dalla utilizzazione dei cedui. Le superfici utilizzate annualmente ammontano, secondo una nostra elaborazione dei dati ISTAT 2004, a circa 120 mila ettari, ossia solo l'1,7% di tutta la superficie forestale nazionale.

Il volume legnoso asportato (tab. 3), secondo i dati ISTAT del 2004, è di circa 8 Mm<sup>3</sup>, di cui 2,4 Mm<sup>3</sup> nella categoria statistica denominata "legname

<sup>3</sup> Piano forestale Nazionale, il nuovo è da poco partito ed è ancora in fase di stesura delle varie parti programmatiche (MIPAAF).

REGIONE	LEGNAME DA LAVORO	LEGNA PER COMBUSTIBILI	TOTALE
Piemonte	125.505	179.574	305.079
Valle d'Aosta	5.719	11.867	17.586
Lombardia	530.839	355.256	886.095
Trentino-Alto Adige	595.790	318.275	914.065
Veneto	64.882	177.694	242.576
Friuli-Venezia G.	80.345	68.061	148.406
Liguria	31.215	40.958	72.173
Emilia-Romagna	39.002	235.934	274.936
Toscana	225.113	1.376.027	1.601.140
Umbria	3.947	401.299	405.246
Marche	3.534	195.203	198.737
Lazio	161.373	575.638	737.011
Abruzzo	18.116	200.091	218.207
Molise	3.622	157.701	161.323
Campania	137.221	300.725	437.946
Puglia	356	93.848	94.204
Basilicata	3.065	346.532	349.597
Calabria	333.861	420.571	754.432
Sicilia	17.381	26.327	43.708
Sardegna	6.465	80.859	87.324
<b>Italia</b>	<b>2.387.351</b>	<b>5.562.440</b>	<b>7.949.791</b>

Tab. 3 *Utilizzazioni forestali espresse in m<sup>3</sup> (ISTAT 2004)*

da lavoro” e 5,6 Mm<sup>3</sup> in quella “legna per combustibili”, suddivisa a livello regionale come riportato.

Le percentuali di legna per combustibile sono assorbite interamente da un mercato consolidato formato da piccoli utenti, che la impiegano per attività commerciali (pizzerie, forni a legna, abitazioni ecc.) o per il riscaldamento e le attività ricreative di privati.

La scarsa pianificazione del settore forestale, la mancanza di interventi mirati, e l'assenza di adeguate infrastrutture, soprattutto la viabilità forestale, ha portato nei decenni a un accumulo di biomassa forestale (foto 4), cosa che spesso si traduce in una struttura poco funzionale, con piante deperienti, accumuli di necromassa, soggetta facilmente a eventi distruttivi come incendi boschivi ed epidemie (foto 5).



*Foto 4 Alberi schiantati in un rimboschimento di conifere di 40 anni, per la mancanza di interventi selvicolturali, si notino le disformità dei diametri*



*Foto 5 Incendio di vaste proporzioni*

Solo a titolo di esempio si cita la situazione instabile di molti cedui invecchiati che, avendo superato il turno, necessiterebbero di un intervento di conversione in fustaia per garantirne una migliore funzionalità ecologica.





Foto 6 *Andane di ramaglia che attualmente restano in bosco*

L'adozione di sistematiche cure colturali, cioè delle pratiche selvicolturali, consentirebbe quindi di ottenere non solo quantità ingenti di biomassa forestale, ma anche di rendere i boschi più stabili rispetto agli attuali. Dalle fustaie e dai cedui, dopo l'estrazione del tronco i residui di lavorazione restano in bosco, questa biomassa forestale potrebbe anch'essa essere estratta per scopi energetici o industriali (foto 6).

Una maggiore qualità del legno da opera, inoltre, si può ottenere intervenendo con tagli intercalari durante il turno delle fustaie, operazioni colturali che attualmente non vengono effettuate o rimandate con altri interventi a causa dei costi delle operazioni non compensati da ricavi adeguati.

Questi interventi, che produrrebbero come residuo biomassa di scarso valore e pertanto destinabile al mercato dell'energia, vanno programmati con i gestori del bosco con turni decennali, ma attualmente sono applicati solo in una parte limitata di fustaie.

## 2. LE STIME EFFETTUATE

La metodologia *normale* adottata per la stima delle biomasse forestali destinate al mercato della produzione di energia, è stata condotta confrontando

la situazione attuale riportata dall'ISTAT con la possibilità di migliorare gli interventi di manutenzione, valorizzazione del bosco e recupero dal materiale legnoso dalle utilizzazioni forestali ordinarie. Dalle nostre elaborazioni dei dati relativi alle superfici forestali, alle superfici annualmente tagliate e alle quantità di legname ricavato, si è ipotizzato un diverso scenario relativo alla potenzialità del prodotto legnoso ricavabile, senza andare a intaccare il “capitale” legnoso, cioè l'utilizzo dell'intero incremento totale.

Secondo i dati forniti dall'ISTAT relativi al 2004, già presentati in (tab. 3), la quantità di “legna per combustibili” ammonterebbe a circa 5,6 Mm<sup>3</sup>.

Con questo termine vengono indicati «gli assortimenti ricavati, sul luogo dell'abbattimento, della massa legnosa grezza e destinati direttamente alla combustione (...) la quantità è quella valutata dopo le operazioni di allestimento ed esbosco».

Questi quantitativi sono, come detto in precedenza, totalmente assorbiti dal mercato e sono molto inferiori a quelli potenzialmente disponibili, per i seguenti motivi:

- l'effettiva superficie forestale stimata annualmente dall'ISTAT risulta inferiore a quella realmente presente, non contemplando tutte quelle formazioni minori al mezzo ettaro, le formazioni ripariali, le formazioni cespugliose e arboree presenti sui terreni agricoli abbandonati; del resto tale maggiore superficie è confermata dai dati provvisori dell'INFC;
- non vengono considerate le operazioni colturali diverse dal taglio finale delle fustaie e dei cedui, che producono legname di scarsa qualità abbandonato in bosco e non utilizzato per scopi diversi;
- nella stima delle produzioni legnose, in particolar modo per la legna da combustibili, sfuggono tutte quelle proprietà che ricavano piccole quantità di legna da ardere a uso privato, nonché tutte le quantità di legna da ardere dagli usi civici del bosco, ancora molto presenti nel nostro paese soprattutto nell'Italia centro-meridionale (Baldini et al., 2006);
- nella stima dei volumi di legna per combustibili si tiene conto solamente di quegli assortimenti direttamente destinabili alla combustione, ma non di tutti gli altri effettivamente impiegabili per uso energetico che non vengono esboscati, ma restano, generalmente, nei boschi.

## 2.1 *Biomasse forestali attualmente disponibili*

Questa categoria è rappresentata da tutte le biomasse che non vengono asportate dal bosco e lì rimangono per motivi diversi. La maggior parte di questa



Foto 7 *Operazione di sminuzzatura in bosco di piante intere di rami*

risulta essere lasciata dalle utilizzazioni effettuate nelle fustaie, dove l'assortimento principale è il legname da lavoro. Nei cedui invece la biomassa non asportata è in quantità minore, anche se attualmente si cerca di prelevare anche la ramaglia minuta, che inizia a trovare un suo mercato (foto 7).

Attribuendo dei valori percentuali a queste quantità (tab. 3), in base a molti studi in corso, a queste considerazioni è plausibile ritenere che si possa recuperare, per destinarli a scopi energetici, dai volumi di materiale attualmente utilizzato, i seguenti valori: dalla fustaia il 30% e dal ceduo il 20% dei rispettivi volumi.

Si fa presente che nell'ambito di questo studio è stata assunta come "massa prelevata" nei cedui la categoria ISTAT "Legna per combustibili", mentre per le fustaie la categoria "Legname da opera".

Utilizzando quindi i dati ISTAT (tab. 3), si otterrebbero dalle utilizzazioni forestali attuali, se recuperati i quantitativi di biomassa forestale, effettivamente disponibili riportati in tabella 4 che ammonterebbero a 2.413.760 m<sup>3</sup>/anno.

## 2.2 *Biomasse forestali potenzialmente disponibili*

Per stimare la vera potenzialità delle biomasse forestali occorre considerare una serie di aspetti legati alle utilizzazioni, all'orografia e alla superficie forestale, in un'ipotesi di una maggiore quantità da destinare a scopi energetici o industriali.



Regione	FUSTAIE		CEDUI		TOTALI	
	Superficie utilizzata	Massa destinabile a energia	Superficie utilizzata	Massa destinabile a energia	Superficie utilizzata	Massa destinabile a energia
	ha	m <sup>3</sup>	ha	m <sup>3</sup>	ha	m <sup>3</sup>
Piemonte	3.476	53.788	4.826	44.894	8.302	98.681
Valle d'Aosta	1.818	2.451	72	2.967	1.890	5.418
Lombardia	6.048	227.502	7.424	88.814	13.472	316.316
Trentino-Alto Adige	20.728	255.339	3.635	79.569	24.363	334.907
Veneto	3.827	27.807	4.503	44.424	8.330	72.230
Friuli- Venezia G.	5.320	34.434	1.134	17.015	6.454	51.449
Liguria	874	13.378	1.182	10.240	2.056	23.617
Emilia- Romagna	778	16.715	2.462	58.984	3.240	75.699
Toscana	2.108	96.477	8.711	344.007	10.819	440.484
Umbria	130	1.692	4.530	100.325	4.660	102.016
Marche	180	1.515	2.598	48.801	2.778	50.315
Lazio	98	69.160	5.055	143.910	5.153	213.069
Abruzzo	1.466	7.764	858	50.023	2.324	57.787
Molise	253	1.552	1.149	39.425	1.402	40.978
Campania	1.012	58.809	5.090	75.181	6.102	133.990
Puglia	206	153	1.200	23.462	1.406	23.615
Basilicata	616	1.314	620	86.633	1.236	87.947
Calabria	7.273	143.083	2.662	105.143	9.935	248.226
Sicilia	712	7.449	380	6.582	1.092	14.031
Sardegna	4.507	2.771	2.064	20.215	6.571	22.985
<b>Italia</b>	<b>61.430</b>	<b>1.023.150</b>	<b>60.155</b>	<b>1.390.610</b>	<b>121.585</b>	<b>2.413.760</b>

Tab. 4 *Superfici attualmente utilizzate e massa residuale potenzialmente utilizzabile dai boschi italiani e che attualmente restano sul letto di caduta. (ns elab. dati ISTAT 2004)*

Sulla base dei dati ISTAT 2004, le utilizzazioni forestali asportano in media 1,2 m<sup>3</sup>/ha per anno di massa legnosa, mentre l'accrescimento medio nazionale stimato dall'IFN è di 3 m<sup>3</sup>/ha per anno. Questo significa che anche aumentando il prelievo medio dal bosco sulle stesse superfici, fino al valore di 1,8 m<sup>3</sup>/ha per anno, i nostri boschi continueranno a crescere senza intaccare l'azione di risparmio del loro capitale legnoso. In questo caso sarebbero le fustaie a essere interessate a un maggior prelievo per ettaro di materiale legnoso anche attraverso altri interventi diversi dal taglio finale.

Va inoltre considerato che attualmente non vengono svolte una serie di operazioni colturali in bosco finalizzate a migliorarne le sue condizioni e in particolare l'accessibilità, la prevenzione e la protezione dagli incendi, lo stato



Foto 8 *Innesto di una pista principale con una camionabile secondaria a destra*

vegetativo nonché la produttività. La realizzazione di queste operazioni porterebbe ad aumentarne i quantitativi, difficilmente stimabili, anche di legname di scarso valore per l'industria, ma utilizzabile dal settore energetico. Si avrebbe quindi nel breve-medio periodo un aumento delle quantità di biomassa che nel corso degli anni andrebbero poi a scendere una volta che sia stata normalizzata l'attuale condizione dei boschi italiani.

La viabilità forestale, costituita da tutta una serie di collegamenti principali e secondari che permettono di intervenire nei boschi è altamente carente rispetto alle situazioni presenti in altri paesi dell'arco alpino con orografia simile alla nostra. Questa condizione, presente in particolar modo nel Centro-Sud Italia dove sono localizzate la maggior parte dei boschi di latifoglie e in particolare dei cedui, non consente l'utilizzo di sistemi di lavoro diversi da quelli tradizionali e pertanto l'introduzione di innovazioni gestionali e tecnologicamente avanzate (foto 8).

In base a tali considerazioni e tenendo contemporaneamente conto delle necessità non solo di non intaccare con il prelievo il patrimonio boschivo nazionale ma anzi, di migliorarne quantità e qualità, si stima che nel breve-medio periodo, la quantità di legname e di biomassa forestale residuale per energia potrebbe aumentare incrementando la "superficie utilizzabile".

Per i calcoli della "massa potenzialmente prelevabile" è stato applicato alle superfici totali delle fustaie l'incremento medio nazionale di  $7,9 \text{ m}^3/\text{ha/anno}^4$ .

<sup>4</sup> Dati riportati nell'IFNI del 1985.

Regione	SUPERFICIE FORESTALE IN HA			VOLUMI TOTALI IN M <sup>3</sup>		
	Totale	Fustaie	Cedui	Fustaie	Cedui	Totale
Piemonte	670.402	231.700	438.702	1.098.258	1.210.818	2.309.076
Valle d'Aosta	77.995	69.940	8.055	331.516	22.232	353.747
Lombardia	494.104	208.560	285.544	988.574	788.101	1.776.676
Trentino-Alto Adige	632.016	545.474	86.542	2.585.547	238.856	2.824.403
Veneto	272.314	147.196	125.074	697.709	345.204	1.042.913
Friuli-Venezia G.	186.746	123.715	62.991	586.409	173.855	760.264
Liguria	288.406	87.411	197.052	414.328	543.864	958.192
Emilia-Romagna	404.919	97.222	307.697	460.832	849.244	1.310.076
Toscana	890.569	210.835	580.722	999.358	1.602.793	2.602.151
Umbria	264.379	25.933	238.446	122.922	658.111	781.033
Marche	160.075	30.034	129.902	142.361	358.530	500.891
Lazio	382.492	97.969	266.078	464.373	734.375	1.198.748
Abruzzo	227.652	104.692	122.557	496.240	338.257	834.497
Molise	71.031	21.091	49.940	99.971	137.834	237.806
Campania	289.155	101.175	181.779	479.570	501.710	981.280
Puglia	116.529	51.407	50.010	243.669	138.028	381.697
Basilicata	191.918	123.205	56.371	583.992	155.584	739.576
Calabria	480.528	303.055	166.380	1.436.481	459.209	1.895.690
Sicilia	222.743	142.441	75.952	675.170	209.628	884.798
Sardegna	533.096	250.405	187.610	1.186.920	517.804	1.704.723
<b>Italia</b>	<b>6.857.069</b>	<b>2.973.460</b>	<b>3.617.404</b>	<b>14.094.200</b>	<b>9.984.035</b>	<b>24.078.235</b>

Tab. 5 *Superfici forestali e volumi totali calcolati nelle singole regioni (ns elab. dati istat 2004 e ifni 1985)*

Per i cedui, non avendo un valore dell'incremento, ma i valori dei volumi a ettaro per singola regione<sup>5</sup>, è stato preso il valore medio nazionale pari a 115 m<sup>3</sup>/ha e diviso per un turno di utilizzazione di 25 anni, per ottenere l'incremento di 4,6 m<sup>3</sup>/ha/anno e poi applicato alle superfici forestali dei cedui. Nel calcolo dei volumi di biomassa totale asportabile si è preso in considerazione il 60% dei valori totali calcolati, per non intaccare il capitale legnoso dell'incremento totale dei boschi italiani.

La biomassa forestale totale potenzialmente disponibile (legname da lavoro più legna per combustibile) risulterebbe, nelle singole regioni italiane, distribuita come in tabella 5; mentre in tabella 6 sono riportati i valori totali ottenuti e quelli della biomassa forestale da destinare solo a energia.

<sup>5</sup> Dati riportati nell'IFNI del 1985.

Regione	VOLUMI TOTALI IN M <sup>3</sup>			VOLUMI DESTINABILI A ENERGIA IN M <sup>3</sup>		
	Fustaie	Cedui	Totale	Fustaie	Cedui	Totale
Piemonte	1.098.258	1.210.818	2.309.076	329.477	242.164	571.641
Valle d'Aosta	331.516	22.232	353.747	99.455	4.446	103.901
Lombardia	988.574	788.101	1.776.676	296.572	1.57.620	454.193
Trentino-Alto Adige	2.585.547	238.856	2824.403	775.664	47.771	823.435
Veneto	697.709	345.204	1042.913	209.313	69.041	278.354
Friuli-Venezia G.	586.409	173.855	760.264	175.923	34.771	210.694
Liguria	414.328	543.864	958.192	124.298	108.773	233.071
Emilia-Romagna	460.832	849.244	1310.076	138.250	169.849	308.098
Toscana	999.358	1602.793	2602.151	299.807	320.559	620.366
Umbria	122.922	658.111	781.033	36.877	131.622	168.499
Marche	142.361	358.530	500.891	42.708	71.706	114.414
Lazio	464.373	734.375	1198.748	139.312	146.875	286.187
Abruzzo	496.240	338.257	834.497	148.872	67.651	216.523
Molise	99.971	137.834	237.806	29.991	27.567	57.558
Campania	479.570	501.710	981.280	143.871	100.342	244.213
Puglia	243.669	138.028	381.697	73.101	27.606	100.706
Basilicata	583.992	155.584	739.576	175.198	31.117	206.314
Calabria	1.436.481	459.209	1895.690	430.944	91.842	522.786
Sicilia	675.170	209.628	884.798	202.551	41.926	244.477
Sardegna	1.186.920	517.804	1.704.723	356.076	103.561	459.637
<b>Italia</b>	<b>14.094.200</b>	<b>9.984.035</b>	<b>24.078.235</b>	<b>4.228.260</b>	<b>1.996.807</b>	<b>6.225.067</b>

Tab. 6 *Raffronto tra i volumi calcolati totali e i volumi potenziali da destinare a energia, formati da ramaglia e cimali*

Dalle due tipologie di bosco si avrebbe un volume complessivo potenziale pari a 24.078.235 m<sup>3</sup> (tab. 5); nella tabella 6 si ha un volume di 6.225.067 m<sup>3</sup> destinabile esclusivamente a energia

Dai dati illustrati nella tabella 6 emerge che rispetto alla quantità di biomassa disponibile e non utilizzata, riportata in tabella 4 (2.413.760 m<sup>3</sup>), potrebbero essere recuperabili altri 3.811.307 m<sup>3</sup>, attraverso la realizzazione di diverse tecniche di lavoro in bosco, ma soprattutto con il superamento delle barriere oggi troppo spesso pregiudicanti. Questo dato è ottenuto sottraendo al volume totale calcolato (6.225.067 m<sup>3</sup>) la quantità di biomassa che attualmente resta in bosco (2.413.760 m<sup>3</sup>).

Si ha ragione di credere che dal volume totale di legna ricavata dai boschi cedui (9.984.035 m<sup>3</sup>), detraendo la quantità di ramaglia e cimali destinabili a energia (1.996.807 m<sup>3</sup>) e rimanendo costante il volume attuale di legna per

Regione	Volumi totali di biomassa attuale non prelevata	Volumi totali di biomassa potenziale	Volumi totali di biomassa per sola energia
	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
Piemonte	98.681	2.309.076	571.641
Valle d'Aosta	5.418	353.747	103.901
Lombardia	316.316	1.776.676	454.193
Trentino-Alto Adige	334.907	2.824.403	823.435
Veneto	72.230	1.042.913	278.354
Friuli-Venezia G.	51.449	760.264	210.694
Liguria	23.617	958.192	233.071
Emilia-Romagna	75.699	1.310.076	308.098
Toscana	440.484	2.602.151	620.366
Umbria	102.016	781.033	168.499
Marche	50.315	500.891	114.414
Lazio	213.069	1.198.748	286.187
Abruzzo	57.787	834.497	216.523
Molise	40.978	237.806	57.558
Campania	133.990	981.280	244.213
Puglia	23.615	381.697	100.706
Basilicata	87.947	739.576	206.314
Calabria	248.226	1.895.690	522.786
Sicilia	14.031	884.798	244.477
Sardegna	22.985	1.704.723	459.637
<b>Italia</b>	<b>2.413.760</b>	<b>24.078.235</b>	<b>6.225.067</b>

Tab. 7 *Raffronto fra la disponibilità di biomassa forestale attuale non prelevata quella potenziale totale (fusto con chioma) e quella per energia per singole regioni. Quest'ultima è costituita dalle ramaglie e cimali, a cui dovrà aggiungersi la differenza della legna per combustibile ritratta dai cedui.*

combustibile (5.562.440 m<sup>3</sup>) riportato in tabella 3, possano essere indirizzati a energia altri 2.424.595 m<sup>3</sup> che andrebbero così a sommarsi ai 6.225.067 m<sup>3</sup>, per un totale complessivo di 8.649.885 m<sup>3</sup>.

La localizzazione delle biomasse forestali potenzialmente disponibile è ben inquadrata nel grafico 4, in cui si possono vedere i valori di volume nelle diverse regioni italiane, queste valutazioni però non possono prescindere da considerazioni generali di ordine tecnico, economico e ambientale. La loro distribuzione evidenzia, come del resto è emerso già in molti altri studi, la prevalenza nel nord delle fustaie e nel centro-meridione, salvo delle eccezioni, dei popolamenti forestali governati a ceduo. Dal dato nazionale le superfici forestali dei cedui (tab. 2) sono maggiori rispetto alle fustaie, ma nelle Regio-



Graf. 4 *Schema delle tipologie di boschi da cui ottenere biomasse forestali nelle singole regioni italiane*

ni in cui queste risultano inferiori, sono la tipologia di governo più utilizzata (Baldini et al., 2006).

Dal confronto delle quantità attuali di biomasse ricavate dai dati relativi al prelievo eseguito nei boschi e quelle potenziali effettuando le elaborazioni, si è ottenuto l'equivalente energetico derivato dai rispettivi scenari.

I valori sono stimati sulla base delle seguenti considerazioni:

- per le elaborazioni sono stati utilizzati i dati ISTAT delle superfici forestali, anziché i dati del nuovo IFNC<sup>6</sup> dei quali non si conoscono le produttività;
- l'incremento corrente annuo delle fustaie è stato considerato quello medio per tutte le Regioni;
- l'incremento corrente annuo dei cedui è stato calcolato e poi considerato medio per tutte le Regioni;
- il 30 % della massa legnosa asportata dalla fustaia e il 20 % della massa

<sup>6</sup> Al momento del presente lavoro i dati dell'inventario relativi alle superfici forestali, erano ancora quelli provvisori, sono stati ufficializzati il 28 maggio 2007; mentre i dati provvisionali e le stime sul carbonio fissato dai boschi italiani, saranno disponibili alla fine della quarta fase ancora in svolgimento.

ATTUALE			POTENZIALE		
Superficie Forestale	6.857.069	ha	Superficie Forestale	6.857.069	ha
Superficie utilizzata a fustaia	61.430	ha	Biomassa forestale totale	40.130.392	m <sup>3</sup>
Superficie utilizzata a ceduo	60.155	ha	Biomassa prelevabile (60% di quella totale)	24.078.235	m <sup>3</sup>
Massa totale prelevata da fustaie	1.023.150	m <sup>3</sup>	Massa totale prelevata da fustaie	4.228.260	m <sup>3</sup>
Massa totale prelevata da cedui	1.390.610	m <sup>3</sup>	Massa totale prelevata da cedui	1.996.807	m <sup>3</sup>
Totale	2.413.760	m <sup>3</sup>	Totale <sup>1</sup>	8.649.855	m <sup>3</sup>
In tonnellate sul tal quale	1.689.632	t	In tonnellate sul tal quale	6.054.899	t
In tonnellate di s.s.	844.816	t	In tonnellate di s.s.	3.027.449	t
Equivalente energetico (15% umidità)	2.787.893	MWh	Equivalente energetico (15% umidità)	13.018.032	MWh
	0,24	Mtep		1,12	Mtep
<sup>1</sup> La somma riguarda i volumi destinabili a energia (fustaie e cedui) più i 2.424.788 m <sup>3</sup> come descritto precedentemente.					

Tab. 8 *Equivalente energetico annuo relativo alle disponibilità di biomassa forestale attuali e potenziali, senza aumentare l'intensità dei tagli*

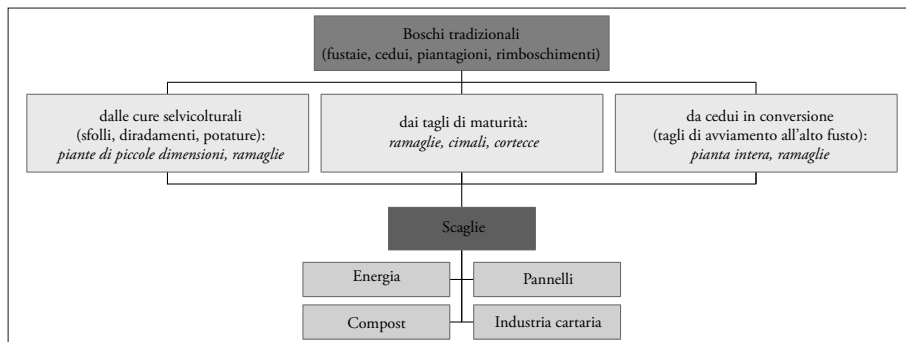
legnosa asportata dal ceduo potrebbero essere utilizzate come biomassa per energia;

- il valore medio della massa volumica del legno è stata considerata di 0,7 t/m<sup>3</sup>;
- il contenuto idrico del legno è stato considerato del 50%.

Tale disponibilità potenziale potrebbe essere la conseguenza diretta e indiretta dell'aumento delle superfici dei boschi cedui sottoposte a taglio, del prelievo della ramaglia nelle fustaie; oltre a tutta quella serie di azioni, come il miglioramento della viabilità forestale e lo svolgimento delle operazioni colturali svolte per entrambe le tipologie di governo, per aumentare la quantità di biomassa forestale utilizzabile.

Ulteriori quantità possono ottenersi da piantagioni legnose fuori foresta, quali: appezzamenti di estensioni troppo piccole per essere classificate “boschi”, siepi, alberature, fasce frangivento, verde urbano. Per quest'ultime la loro stima risulta difficilmente valutabile, ma rappresenterebbe una ulteriore fonte di approvvigionamento di biomassa.

Va ribadito che, per raggiungere queste disponibilità potenziali occorre eseguire una serie di azioni, che non possono prescindere dal coinvolgimento di vari soggetti pubblici e privati, e che inoltre tali iniziative hanno bisogno di un certo periodo di tempo, per arrivare a costituire una realtà consolidata di gestione programmatica del bosco.



Graf. 5 Schema della provenienza delle scaglie e del loro impiego

Nell'attuale prospettiva, al di là di tali auspicabili interventi e ottimizzando i sistemi di lavoro, è possibile ottenere biomassa forestale dalle attuali utilizzazioni, se si considera che generalmente vengono lasciati sul letto di caduta, oppure bruciati in bosco, rami, cimali, piante piccole o malformate per il mercato tradizionale, contravvenendo spesso alla legislazione nazionale e regionale in vigore, creando possibili esche in caso di incendio.

Il materiale “di scarto” che può essere ottenuto dall'utilizzazione delle piante, trova un mercato più innovativo rispetto a quello tradizionale: scaglie per uso energetico ad alta efficienza e scaglie per pannelli (ad es. pannelli MDF) che possono sostituire alcuni manufatti in legno massiccio.

Tale mercato si sta ormai consolidando negli ultimi anni e va affermandosi sempre di più, ma l'offerta delle aziende selvicolturali italiane continua a essere insoddisfacente, per l'inadeguatezza delle imprese forestali, sia come macchine che organizzazione di lavoro che costringe all'importazione di materia prima legno, anche per materiali di seconda scelta come le scaglie. La filiera bosco-legno nazionale può essere schematicamente riassunta come nel grafico 5.

### 3. CANTIERI FORESTALI

Il punto critico che limita le operazioni selvicolturali per il prelievo della biomassa forestale dai boschi è dato da barriere tecniche che condizionano i lavori nei cantieri forestali.

Queste risultano da:

- ridotta superficie delle aziende forestale, che si attesta in media sui 3,5 ha;
- mancanza di adeguata formazione professionale per gli operatori forestali



ZONA	STRADE m/ha	PISTE m/ha
Italia Nord-Est	20-25	30-50
Italia Appennini	3-10	5-15
Paesi UE	10-30	70-100

Tab. 9 *Densità, in metri lineari/ha delle infrastrutture forestali rilevate nel nostro Paese e in quelli della UE*

- all'impiego di macchine e attrezzature tecnologicamente avanzate;
- carenza di programmazione forestale nella gestione dei nostri boschi;
  - sistemi di lavoro legati più alla tradizione che all'innovazione tecnologica;
  - infrastrutture, e in particolare viabilità forestale insufficiente, rispetto ad altri paesi della UE, che riescono così ad avere costi di utilizzazione inferiori a quelli italiani.

Riferendoci alla viabilità forestale, nella letteratura forestale vi sono diversi autori (Leonardi, Habsburg, ecc.) che definiscono il concetto di densità ottimale di strade forestali: «quella che minimizza la somma del costo di esbosco più il costo di costruzione e manutenzione delle strade per ettaro». Nella tabella 9 viene raffrontata la densità, delle infrastrutture, nei paesi della UE con quella riscontrata nelle nostre realtà forestali.

Dopo decenni di lavoro scientifico nel settore, si ha ragione di credere che l'impiego di nuove tecnologie di lavoro inserite in un migliore contesto infrastrutturale nazionale, consentirebbe, pur mantenendo costante la massa prelevata per ettaro, di utilizzare una maggiore quantità di materiale legnoso con una maggiore produttività di chi opera nei cantieri forestali. Nel contempo si attuerebbero pratiche selvicolturali sostenibili e metodologie di lavoro a basso impatto ambientale con bilanci energetici positivi in relazione alle emissioni di CO<sub>2</sub> in atmosfera e una azione preventiva allo sviluppo degli incendi boschivi.

Nei cinque cantieri sperimentali studiati sono stati utilizzati schemi di lavorazione diversi, applicati nella realtà con l'obiettivo di ottimizzare il lavoro in bosco e ridurre al minimo gli impatti negativi al suolo forestale e alle piante che restavano in piedi.

I tempi di lavoro di ogni fase sono stati rilevati con tabella a tre cronometri meccanici centesimali, mentre le pendenze delle stazioni con un clisimetro.

I consumi di carburanti e lubrificanti sono stati valutati dal peso del numero di rifornimenti fatti. Per le stime degli input energetici è stato adottato il metodo della Richiesta Lorda di Energia (RLE o GER, ossia *Gross Energy Requirement*). La RLE è un criterio operativo abbastanza pratico, che considera

solo il calcolo dei flussi di energia fossile, diretta e indiretta, in un determinato sistema, tralasciando l'input energetico dovuto alla manodopera.

Per i combustibili e i lubrificanti, ossia l'energia diretta impiegata, è stato usato il potere calorifico superiore come misura dell'energia utilizzabile nel processo di conversione termica. Per la stima degli input indiretti (relativi alle macchine e alle attrezzature) sono stati usati dei valori energetici espressi in MJ h<sup>-1</sup>, che caratterizzano il valore energetico del materiale di cui è fatta la macchina impiegata nella operazione, considerando il suo peso e la sua durata tecnica.

Per ogni cantiere si riportano in apposite tabelle di riepilogo le principali caratteristiche degli aspetti tecnici, ambientali ed economici.

### 3.1 *Descrizione dei cantieri forestali sperimentali*

#### Cantiere 1

*Abetina alpina di Abete rosso (Picea abies (L.) Kasrt.) di 30-35 anni.*

*Superficie dell'area utilizzata: 1,06 ha*

È stato effettuato un diradamento con sistema di lavoro FTS ("Full Tree System", esbosco degli alberi interi).

È stata asportata una massa di 50,43 t ha<sup>-1</sup>, portando il popolamento a una



Foto 9 *Abetelle concentrate, dopo l'abbattimento, per facilitare l'esbosco*



Foto 10 *Sramatura e sezionatura con macchina combinata applicata a trattore agricolo*

INTERVENTO SELVICOLTURALE E SISTEMA	OPERAZIONE	N° OPERAI	PRODUTTIVITÀ MEDIA LORDA [m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> op. <sup>-1</sup> ]	CONSUMO ENERGETICO MEDIO		OUTPUT [MJ ha <sup>-1</sup> ]	OUTPUT/ INPUT	COSTO DI UTILIZZAZIONE [€ m <sup>-3</sup> ]	PREZZO DI MACCHIATICO [€ m <sup>-3</sup> ]
				[MJ m <sup>-3</sup> ]	[MJ ha <sup>-1</sup> ]				
Diradamento fis	Abbattimento con motosega	1	2,7	12,47				5,48	
	Concen. ed esbosco con tratt. e verr.	2	0,94	70,82	7680	470511	61	22,87	-4,49
	Allestimento con macc. stram.- sezioni.	1	3,55	33,23				6,14	

Tab. 10 *Fasi di lavoro, consumo energetico medio e prezzo di macchiatico*

INTERVENTO SELVICOLTURALE E SISTEMA	OPERAZIONE	N° OPERAI	PRODUTTIVITÀ MEDIA LORDA [m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> op. <sup>-1</sup> ]	CONSUMO ENERGETICO MEDIO		OUTPUT [MJ ha <sup>-1</sup> ]	OUTPUT/ INPUT	COSTO DI UTILIZZAZIONE [€ m <sup>-3</sup> ]	PREZZO DI MACCHIATI- CO [€ m <sup>-3</sup> ]
				[MJ m <sup>-3</sup> ]	[MJ ha <sup>-1</sup> ]				
taglio di semen- tazione TLS	Abbattimento e sramatura con motosega	1	1,5	67,27				9,87	
	Concen. ed esbosco con tratt. e verri- cello	1	2,01	51,26				15,17	
	Sezion.e accatas. con motos.e pinze	2	4,07	31,59	5749	327359	57	28,39	11,61
								3,35	

Tab. 11 *Fasi di lavoro, consumo energetico medio e prezzo di macchiatici*

densità di 1.427 piante ha<sup>-1</sup>. La stazione apparteneva alla II classe di pendenza ed era scarsamente accidentata.

Prezzo di vendita del materiale all'imposto 30 €/m<sup>3</sup>.

## Cantiere 2

*Pineta di Pino marittimo (Pinus pinaster Aiton) di 50-55 anni.*

*Superficie dell'area utilizzata: 4,3 ha.*

È stato eseguito un taglio di sementazione, con sistema di lavoro TLS ("Tree Length System", esbosco dei fusti sramati ma non depezzati).

È stata asportata una massa di 60 t ha<sup>-1</sup>.

La stazione apparteneva alla II classe di pendenza ed era scarsamente accidentata.

Prezzo di vendita del materiale all'imposto 40 €/m<sup>3</sup>.

## Cantiere 3

*Pineta di Pino marittimo (Pinus pinaster Aiton) di 50-55 anni.*

*Superficie dell'area utilizzata: 4,0 ha.*

È stato eseguito un taglio a raso con Sistema di lavoro TLS, come nel cantiere precedente.

È stata asportata una massa di 280 t ha<sup>-1</sup>.



Foto 11 *Pineta di Pino marittimo prima dell'intervento*

Foto 12 *Esbosco dei fusti interi sramati di Pino nel taglio di sementazione*

Foto 13 *Accatastamento manuale dei tronchetti*

INTERVENTO SELVICOLTURA- LE E SISTEMA	OPERAZIONE	N° OPERAI	PRODUTTI- VITÀ MEDIA LORDA [m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> <sup>1</sup> op. <sup>-1</sup> ]	CONSUMO ENERGETICO MEDIO		OUTPUT [MJ ha <sup>-1</sup> ]	OUTPUT/ INPUT	COSTO DI UTILIZZAZIONE [€ m <sup>-3</sup> ]	PREZZO DI MACCHIATICO [€ m <sup>-3</sup> ]
				[MJ m <sup>-3</sup> ]	[MJ ha <sup>-1</sup> ]				
taglio raso TLS	Abbattimento e sramatura con motosega	1	2,77	30,86				5,34	
	Concen. ed esbosco con tratt. e verricello	1	4,12	21,39	7778	1552498	200	7,40	25,62
	Sezion.e accatas. con motos.e pinze	2	8,37	15,1				1,63	

Tab. 12 Fasi di lavoro, consumo energetico medio e prezzo di macchiatico

INTERVENTO SELVICOLTURALE E SISTEMA	OPERAZIONE	N° OPERAI	PRODUTTI- VITÀ MEDIA LORDA [m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> <sup>1</sup> op. <sup>-1</sup> ]	CONSUMO ENERGETICO MEDIO		OUTPUT [MJ ha <sup>-1</sup> ]	OUTPUT/ INPUT	COSTO DI UTILIZZAZIONE [€ m <sup>-3</sup> ]	PREZZO DI MACCHIATICO [€ m <sup>-3</sup> ]
				[MJ m <sup>-3</sup> ]	[MJ ha <sup>-1</sup> ]				
conversione sws	Abbatt. e allestimento con motosega Concen., esbos. e accatastam. con canalette In PVC e pinze	2	2,05	15,10				6,67	
		4	1,82	29,16	5136	744813	145	7,00	46,33

Tab.13 Fasi di lavoro, consumo energetico medio e prezzo di macchiatico



Foto 14 Sramatura in bosco delle piante di Pino



Foto 15 Esbosco con trattore e verricello forestale di fusti interi sramati di Pino

La stazione apparteneva alla II classe di pendenza ed era scarsamente accidentata.

Prezzo di vendita del materiale all'imposto 40 €/m<sup>3</sup>.

#### Cantiere 4

*Ceduo matricinato (Fagus sylvatica L.) di 32 anni.*

*Superficie dell'area utilizzata: 1,30 ha.*

È stato eseguito un taglio di avviamento all'alto fusto con sistema di lavoro sws ("Short Wood System" allestimento sul letto di caduta delle piante ed esbosco legno corto). Il taglio di avviamento all'alto fusto è stato essenzialmente un diradamento selettivo dal basso, con il quale si è asportato il 53% dei polloni, corrispondenti a 5.608 polloni ha<sup>-1</sup>, asportando 120 t ha<sup>-1</sup>. Stazione appartenente alla II classe di pendenza e scarsamente accidentata. Prezzo di vendita all'imposto del materiale 60 €/m<sup>3</sup>.

#### Cantiere 5

*Ceduo semplice di eucalitto (Eucalyptus occidentalis Endl.) di 20 anni.*

*Superficie dell'area utilizzata: 1,20 ha.*



Foto 16 *Concentramento della legna da ardere con canalette in PVC*



Foto 17 *Accatastamento manuale della legna con l'uso delle pinze*

È stato eseguito un taglio a raso, con sistema di lavoro FTS (“Full Tree System”, esbosco degli alberi interi, non sramati).

È stata asportata una massa legnosa di 135 t ha<sup>-1</sup>.

La stazione apparteneva alla II classe di pendenza ed era scarsamente accidentata. Prezzo di vendita all'imposto del materiale 80 €/m<sup>3</sup>.



Foto18 *Piante di Eucalipto affastellate, dopo l'abbattimento e direzionate secondo le linee di esbosco*



INTERVENTO SELVICOULTURA- LE E SISTEMA	OPERAZIONE	N° DI OPERAI	PRODUTTI- VITÀ MEDIA LORDA [m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> <sub>op. -1</sub> ]	CONSUMO ENERGETICO MEDIO		OUTPUT [MJ ha <sup>-1</sup> ]	OUTPUT/ INPUT	COSTO DI UTILIZ- ZAZIONE [€ m <sup>-3</sup> ]	PREZZO DI MACCHIATICO [€ m <sup>-3</sup> ]
				[MJ m <sup>-3</sup> ]	[MJ ha <sup>-1</sup> ]				
taglio raso fts	Abbattimento con motosega e affastellamento manuale	3	0,93	22,54				14,21	
	Concen. ed esbo- sco con impianto di gru a cavo	4	0,47	244,24	72973	1735935	24	35,03	5,46
	Sminuzzatura con alimentazione manuale	4	0,83	346,15				25,30	

Tab. 14 Fasi di lavoro, consumo energetico medio e prezzo di macchiatico





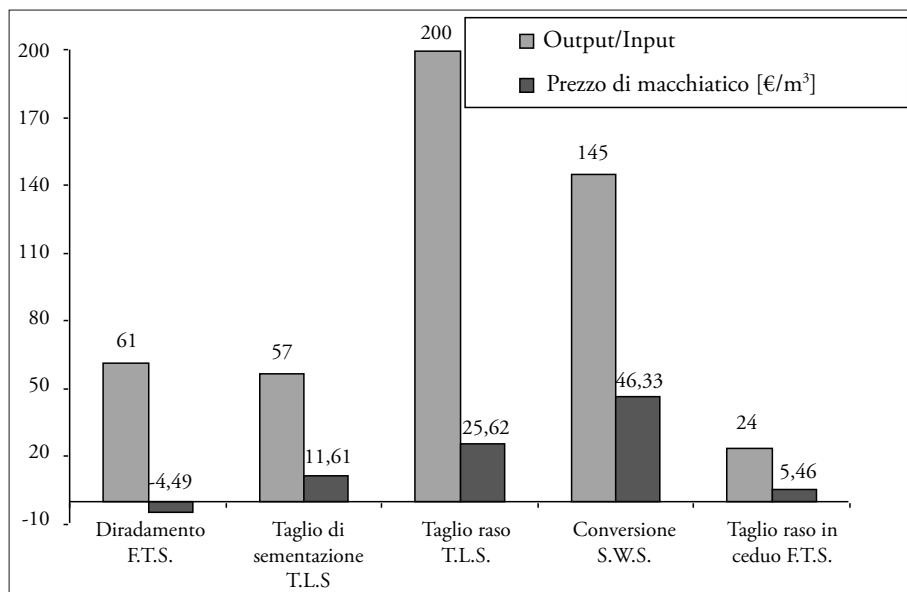
Foto 19 *Esbosco delle piante intere con minigru a cavo*



Foto 20 *Sminuzzatura della pianta intera*

### 3.2 *Discussione sui dati*

Dal confronto di questi cantieri forestali si nota, come i fattori che influenzano le utilizzazioni boschive, sono molteplici e di varia natura. Essi variano



Graf. 6 *Confronto fra bilanci energetici e prezzi di macchiatico nei cinque cantieri sperimentali descritti*

in funzione dell'orografia, del clima, del soprassuolo, del tipo di macchina e attrezzatura utilizzati, delle metodologie di lavoro, del sistema di trasformazione e destinazione del prodotto e dallo stesso fattore umano. È stato evidenziato (graf.6) il confronto tra i bilanci energetici e i prezzi di macchiatico di ogni singolo cantiere.

## CONCLUSIONI

Le scelte che saremo chiamati a fare nei prossimi anni richiedono sempre di più una seria e qualificata pianificazione del territorio forestale, dove in quello montano e pedemontano siano distinti in maniera chiara i differenti ambiti d'uso del suolo relativi: alla conservazione, alle cure selvicolturali e alle coltivazioni specializzate produttive.

Tutto questo comporta un costo che a volte l'impresa forestale, anello debole della filiera bosco-legno nazionale (Baldini et al., 2002), non riesce a coprire con il materiale venduto. In questo caso dovrebbero essere previsti incentivi differenziati in quanto, lavorare in modo professionale costa di più che non farlo, come capita di vedere oggi in molte zone del nostro paese (Bal-

dini et al., 2006). Questi maggiori costi però vanno ad aumentare le positività ambientali quali: la migliore captazione di CO<sub>2</sub> e l'emissione di ossigeno, la regimazione e qualità delle acque, nonché l'effetto socio-economico e ricreativo dei popolamenti forestali a favore della popolazione.

Il valore della biomassa forestale per impieghi energetici, inoltre, risulta estremamente variabile e dipendente dalla tipologia del prodotto finito offerto sul mercato, dal tipo di utilizzatore che la impiega e dalla tecnologia interessata nella filiera di produzione (Petenella, 2003).

In sintesi, a fronte delle interessanti potenzialità dei boschi italiani a fornire biomassa forestale, come risorsa biologica primaria e rinnovabile da destinarsi alla produzione energetica, si suggerisce di favorire le seguenti azioni:

a) un miglioramento dei programmi di pianificazione forestale, attraverso la realizzazione dei piani di gestione, previsti sia dalla legislazione nazionale sia da quella regionale per tutte le proprietà boschive pubbliche e già avviati da alcuni anni con buoni risultati in molte realtà, mentre in altre è ancora carente. Solo con essi è possibile sviluppare una conoscenza dettagliata dei sistemi forestali e promuovere un generale miglioramento selvicolturale, perché rappresentano un efficace strumento programmatico per favorire l'incremento della disponibilità di approvvigionamento della biomassa forestale;

b) ai fini dell'affermazione di una efficace pianificazione forestale, può essere opportuna la promozione della costituzione di consorzi forestali o altre forme associative, che aggregino in una gestione unitaria le piccole proprietà private, per cui non vi è un *obbligo legislativo* di pianificazione, rispetto a quelle pubbliche. Una forma unitaria sarebbe in grado di affrontare meglio le barriere, acquisendo anche i numerosi vantaggi dati dalla programmazione forestale;

c) costituzione di strutture tecniche negli Enti delegati (Regioni, Province, Comunità Montane e Comuni) che sappiano indirizzare, in sede locale, i proprietari dei boschi verso l'acquisizione degli strumenti e dei finanziamenti utili a conseguire la migliore tutela, valorizzazione e gestione dei complessi boscati;

d) una corretta progettazione e programmazione della viabilità forestale in modo da aumentare l'approvvigionamento della biomassa forestale, migliorare le fasi di raccolta del legno, ridurre i costi di gestione dei boschi e di trasporto della materia prima legno. Ciò non può prescindere dal fatto che i boschi siano adeguatamente accessibili, anche da mezzi di discrete dimensioni e peso per la lavorazione e l'esbosco del materiale. I dati sull'acclività e l'accidentalità delle stazioni forestali, soprattutto nell'Appennino italiano, pongono evidenti riserve per diverse porzioni



*Foto 21 Alla base di una gestione sostenibile della filiera foresta- legno ci deve essere una efficace formazione professionale*

di territorio nazionale. La rete viaria di servizio (strade e piste forestali) dovrebbe quindi essere adeguatamente sviluppata, per poter consentire una razionale organizzazione dei lavori e accesso alle persone incaricate alla gestione;

e) promuovere una incentivazione della meccanizzazione forestale a basso impatto ambientale, per il miglioramento qualitativo e quantitativo delle operazioni e degli interventi colturali nelle aree forestali. Un livello medio di meccanizzazione sarà più che sufficiente per i tipi di boschi e le loro superfici presenti nella nostra penisola, soprattutto nel centro-sud; livelli superiori, oltre a risultare molto costosi, potrebbero provocare danni al suolo, al soprassuolo, alle ceppaie e alle piante, quindi da prendere in

esame solo nel caso in cui i quantitativi di legname raccolti siano davvero molto elevati in modo da ammortizzare, in tempi ragionevoli, l'iniziale spesa e di avere manodopera altamente specializzata, che abbia frequentato corsi di formazione con un adeguato numero di ore formative, tenute da istruttori che conoscano a fondo le problematiche dell'ecosistema bosco.

f) una ulteriore problematica che richiede di essere adeguatamente affrontata è legata alla disponibilità di manodopera forestale specializzata nelle operazioni di lavorazione del materiale in bosco, nonché alla presenza di imprese forestali adeguatamente attrezzate da un punto di vista tecnico e finanziario. Si renderebbe quindi necessario lo sviluppo di attività di formazione e aggiornamento continuo del personale, per ottenere una corretta educazione alla conoscenza del bosco e all'uso delle macchine, come avviene per altre categorie di manodopera (foto 21).

I boschi, essendo una risorsa primaria rinnovabile naturalmente a costo zero, sono paragonabili a un motore a *basso rendimento* che però necessita di un continuo apporto di *energia di ingresso*, la quale viene restituita attraverso il ciclo biologico dei popolamenti forestali, sotto forma di beni (prodotti legnosi e non legnosi) e servizi (ambientale, protettivo, ecc.), per tenere acceso il *motore biologico* della natura.

La disciplina che insegna come meglio gestire questo motore è la selvicoltura, che vuol dire coltivazione dei boschi sia per mantenerli sia per utilizzarne i prodotti, che rispetto alle necessità del mercato, non solo energetico, risultano spesso inferiori; Di Tella<sup>7</sup> già nel 1932 per descrivere questa carenza scriveva: «la chiave della restaurazione della nostra economia forestale non dobbiamo cercarla tanto nell'aumento estensivo dei nostri boschi, quanto in una migliore coltivazione di quelli che ancora possediamo» che spesso però risultano, anche alla luce di questo lavoro mal gestiti, mal coltivati e quindi scarsamente efficienti. La scarsa pianificazione forestale per una corretta gestione del patrimonio boschivo nazionale è frutto, come lo stesso Di Tella *stigmatizzava* «di una politica forestale negativa» che non considera la «esauribilità dell'utilizzo dei boschi», senza riuscire a promuovere o incentivare concrete azioni, tali da potenziare efficacemente il patrimonio boschivo italiano.

<sup>7</sup> Riferimenti tratti dai suoi scritti e fedelmente citati dal Prof. Camillo Castellani, in una delle sue numerose pubblicazioni riportata in bibliografia.



## ABSTRACT

*Identification, quantification and localization of usable forest biomasses.* The use for energy purposes of forest biomasses can assume a strategic role, contributing to a sustainable and balanced development, because it could have a positive advantage to economic level, occupational and especially environmental, since they can ensure: the exploitation of the residues of wood harvesting; the possibility of developing new initiatives; zero contribution to the increase of CO<sub>2</sub> rate in the atmosphere; the greater energy independence from traditional energy sources.

Although Italy is a country, compared to its reliefs and surface, enough rich of forests, about 30% of Italian surface is covered by forests, their potential to energetic use are only minimally exploited. The difficulty is linked mainly to the overcoming of bureaucratic, technical and economic barriers: lack of coordination between the national forestry policy and regional levels, a lack of at least a ten years planning of forest operations and few forest infrastructures; also exists a low technological innovation in working methods, few funding for the costs of technological investment, lack of a true market for forest biomasses, high costs of forest harvesting and the diffusion of information, often too distorted. Through the existing forest areas and their use, has assessed the amount currently obtained, the potential, and their location.

The description of five experimental forest yards, different woody species and working methods, has analysed the main technical, environmental, economic characteristics of the stations, as well as the input energy consumption of fuel and lubricants, to describe how best to optimize the work in forest and minimise the environmental impacts to the ground and the forest stand.

The work describes as that the potentialities to obtain forest biomasses from the Italian forests subsists, if overcame described obstacles, and if the suggested actions will be considered.

## BIBLIOGRAFIA

- BAGNARESI U., CIANCIO O., PETENELLA D. (2000): *Il settore forestale italiano: linee guida e strumenti di politica forestale*, CNEL, Roma.
- BALDINI S. (1988): *Potenzialità e possibilità di recupero della biomassa forestale in Italia*, Accademia Economico-Agraria dei Georgofili, vol. 35, pp. 3-19, Firenze.
- BALDINI S., BARBAGALLO A., BRUCCHIONI M. (1999): *Biomasse forestali per uso energetico*, in *Valorizzazione energetica delle biomasse agro-forestali*, «I Georgofili. Quaderni», iv, pp. 45-134.
- BALDINI S., BERNABEI M., PICCHIO R. (2000): *Harvesting of Eucalyptus plants with simple methods and analysis of the chips obtained*, Atti del Convegno internazionale "Eucalyptus in the Mediterranean Basin: Perspectives and new utilisations", Taormina (2000), pp. 87-109.
- BALDINI S., CALVANI P., CECCHI P., PICCHIO R. (2002): *L'evoluzione delle utilizzazioni forestali in Italia: macchine, infrastrutture e formazione*, «Mondo Macchine», n. 7/8, pp. 18-27.

- BALDINI S., CENERINI M., DELUCA E., POLLINI C., RESIC L., SPINELLI R. (1994): *Indagine sulle imprese di utilizzazioni boschive italiane*, «EM – Linea ecologica», 5, pp. 49-55.
- BALDINI S., HIPPOLITI G. (1998): *Utilizzazioni legnose e Selvicoltura*, Atti del Secondo Congresso Nazionale di Selvicoltura, per il miglioramento e la conservazione dei boschi italiani, Venezia.
- BALDINI S., LAUDATI G., PICCHIO R. (2006): *Indagine sulle utilizzazioni forestali degli ultimi cinquanta anni nell'Italia centro-meridionale*, «Silvae», II, n. 4, pp. 189-212.
- BALDINI S., PICCHIO R., PIOVESAN G. (2003): *La produzione primaria di legno da boschi e da coltura specializzata*, «I Georgofili. Quaderni», VIII, pp. 37-88.
- BALDINI S., PICCHIO R., ROCCO T. (2001): *Analisi delle produttività e dei bilanci energetici in tre cantieri di utilizzazione*, Atti del VII Convegno nazionale A.I.I.A. "Ingegneria agraria per lo sviluppo dei Paesi Mediterranei", Vieste (2001), CD-rom.
- BALDINI S., PICCHIO R., SAVELLI S. (2007): *Produttività ed energetica nell'utilizzazione di un ceduo di Eucalipto (*Eucalyptus occidentalis* Endl)*, «Rivista Scherwood», 134, pp. 43-47.
- BALDINI S., RESIC L., SPINELLI R. (1993): *La forza lavoro nelle imprese di utilizzazioni forestali risultati di un'indagine su scala nazionale*, «Monti e boschi», n. 1, pp. 30-34.
- BIONDI P., PANARO V., PELLIZZI G. (1989): *Le richieste d'energia del sistema agricolo italiano*, Progetto finalizzato energetica, 79.
- BRUN F., CORONA P., PETTENELLA D. (1997): *Il bosco privato in Italia: caratteristiche organizzative, problemi e prospettive*, Atti del Convegno Associazione Nazionale dei Dottori in Scienze Forestali "Boschi privati: tutela e valorizzazione", Firenze 02/10/1997, in Economia Montana – Linea Ecologica, 1998, n.1, pp. II-XII.
- CESARO L., MERLO M. (1990): *Il sistema delle utilizzazioni forestali e delle prime trasformazioni del legno in Italia*, Atti del convegno "Recenti Sviluppi nelle politiche per il settore forestale", Milano, 27 aprile, pp. 65-92.
- CICCAROSE L., PETTENELLA D., SPEZZATI E. (2003): *Le biomasse legnose: una indagine sulle potenzialità del settore italiano nell'offerta di fonti di energia*, APAT.
- CORONA P., NOCENTINI S. (2002): *Biomasse e residui legnosi dai boschi italiani*, Atti del Convegno: Biomasse agricole e forestali a uso energetico, Allerona (TR), 2000, pp. 24-34.
- DI TELLA G. (1932): *Sulla necessità di migliorare la produzione legnosa nazionale*, in *I problemi di gestione dei boschi italiani*, a cura di Camillo Castellani, seconda edizione, Fondazione CARIRI, Rieti, 2001, p. 135 e p. 144.
- GIORDANO E. (2003): *La gestione forestale sostenibile nel quadro degli accordi internazionali sulle risorse naturali*, Seminario: Gestione dei sistemi forestali e risorse idriche, Università della Calabria, Arcavacata di Rende.
- HIPPOLITI G., PIEGAI F. (2000): *La raccolta del legno*, Compagnie delle Foreste Editore, Arezzo.
- IFN (1985): Ministero Agricoltura e Foreste e Istituto Sperimentale per l'Assessmentamento forestale e l'alpicoltura di Trento.
- ISTAT (2004): *Annuari di Statistica Forestale*, Roma.
- PIUSSI P. (1994): *Selvicoltura generale*, UTET, Torino.
- VOLPI R. (1992): *Bilanci energetici in agricoltura*, Laruffa Editore, Reggio Calabria.

Finito di stampare in Firenze  
presso la tipografia editrice Polistampa  
nel settembre 2008