

I. Colture legnose



A

Botanica, biologia, genetica

I. Colture legnose

1 - Selezione di cloni di pioppo per la destinazione da biomassa

Selection of Poplar clones for biomass production

Gianni Facciotto*, Sara Bergante*

Riassunto

I pioppi essendo specie pioniere a rapida crescita si sono dimostrati adatti alla coltivazione in cedui ad alta densità, tra 1000 e 10000 ed oltre piante per ettaro, a turno breve (2-5 anni) per la produzione di biomassa ad uso energetico. In natura esistono una trentina di specie distribuite prevalentemente nell'emisfero boreale, ma coltivate per la produzione di legno o a scopo ornamentale in tutti i continenti. Per l'ambiente italiano si prestano alla produzione di biomassa genotipi delle specie pure *Populus alba*, *P. deltoides*, della specie ibrida *P. ×canadensis* e ibridi complessi ottenuti incrociando tre o più specie. Presso il CRA-PLF il miglioramento genetico è basato prevalentemente sulla selezione semireciproca ricorrente delle specie parentali *P. deltoides* e *P. nigra* utilizzati per la creazione di ibridi di *P. ×canadensis*. L'ibridazione può avvenire solo tra femmine della prima specie e i maschi della seconda essendo il reciproco non fertile. Recentemente, sono stati selezionati, sia dal CRA-PLF che da privati, ed iscritti al Registro nazionale dei materiali di base, quindi commercializzabili, 9 cloni; altri sono in corso di selezione. I caratteri considerati per la selezione sono la resistenza alle avversità biotiche (Defogliazione primaverile, Bronzatura, Ruggini, Virus del Mosaico del pioppo e Afide lanigero) ed abiotiche (vento), l'elevata produzione di materiale ligno-cellulosico in tempi molto brevi (2-5 anni), la capacità di ricaccio dopo ripetute ceduzioni e una elevata densità basale del legno. L'obiettivo è quello di rendere questo tipo di coltura economicamente, ecologicamente ed energeticamente sostenibile. I pioppi per dare buone produzioni necessitano di almeno 700 mm di pioggia annuale, di cui 450 mm distribuiti nella stagione vegetativa, e di suoli sciolti e profondi; essi rifuggono i suoli salini o con

* CRA - Unità di ricerca per le Produzioni Legnose fuori Foresta (PLF).

elevati contenuti di calcare attivo. Le produzioni di biomassa, espressa come sostanza secca, sono passate dalle 6-10 t·ha⁻¹·anno⁻¹ degli impianti degli anni '90 costituiti con i cloni della pioppicoltura tradizionale, alle 10-15 delle coltivazioni fatte con i primi cloni appositamente selezionati e messi in commercio nel 2003 fino alle 15-20 t·ha⁻¹·anno⁻¹ e oltre delle piantagioni sperimentali e commerciali costituite su terreni di buona fertilità con i cloni di ultima selezione.

Parole chiave: Pioppo, cloni, biomassa, cedui a turno breve, produzione

Abstract

The genus Populus, with 30 species, have a wide natural range in North emisphere mainly in flooding lowlands, only two species extended their range in south emisphere. It shows therefore a notable adaptability to different ecological environments, so, it's extremely versatile. The poplar species, thanks to the quality of wood (light and white), easy vegetative propagation, growth rapidity, resprouting ability after coppicing are grown all over the world broadly for industrial purposes (plywood, particle board, pulp and paper, packaging) and recently for energy (heat and power cogeneration). The Research Unit for Intensive Wood Production of Italian Agricultural Research Council (CRA-PLF), former Poplar research Institute, carried out breeding, selection and conservation of poplar clones of different species, particularly P. alba, P. nigra, P. deltoides and P. ×canadensis. In Italy poplars were selected for industrial uses mainly for plywood and paper production and more recently for biomass production too. The best results for biomass were obtained with P. deltoides and P. ×canadensis clones. The clonal varieties characterized by good growth rate, better disease (Marssonina brunnea, Venturia populina, Melampsora spp) and pests (Phloeomyzus passerinii) resistance/tolerance and sprouting ability after repeated coppicing. are selected. Currently 9 clones: AF2, AF8, Imola (ex 83.160.029), Marte, Monviso, Orion (ex 83.148.041), Pegaso, Saturno and Sirio are registered in National register of base material. In Italy poplars for biomass production are cultivated in Short Rotation Coppice (SRC) with high planting density (1000 - 10000 trees ha⁻¹) and harvested every two-three or five-six years. For SRC is necessary to choice a deep medium textured soil (sandy loam) with high fertility; saline or calcareous soil must be avoided. An amount of 700 mm of yearly precipitation (450 mm during growing season) are necessary to have a good productivity and stump survival during the life cycle. In Italy the annual mean of yield achieved by the poplar clones increase from 6 -10 oven dry tons (ODt) ha⁻¹ year⁻¹ of the plantation established in '90 years with clones utilized for traditional poplar plantation to 10-15 of SRC established from 2003 with the first clone selected for biomass. With the clones, selected in the last years, the biomass productions of experimental and commercial stand range from 15 to 20 ODt ha⁻¹ year⁻¹ in suitable soil with good water availability.

Keywords: Poplar, clones, biomass, short rotation coppice, production.

Sistematica del genere *Populus*

Il genere *Populus* appartiene, insieme al genere *Salix*, alla famiglia delle *Salicaceae* (Tab. 1). Questo genere si suddivide in sei sezioni, le quali a loro volta comprendono complessivamente trenta specie pure, che hanno un areale naturale situato prevalentemente nei differenti ambienti dell'emisfero boreale. Solo due specie, appartenenti alla sezione *Turanga*, estendono il proprio areale oltre l'Equatore, nell'emisfero australe: *P. ilicifolia* (Engler) Rouleau e *P. euphratica* Olivier.

Tabella 1. Classificazione del genere *Populus* L. (Eckenwalder, 1996)

Sezione	Specie
<i>Abaso</i> Eckenwalder	<i>P. mexicana</i> Wesmael
<i>Turanga</i> Bunge	<i>P. euphratica</i> Olivier
	<i>P. ilicifolia</i> (Engler) Rouleau
	<i>P. pruinosa</i> Schrenk
<i>Leucoides</i> Spach	<i>P. lasiocampa</i> Olivier
	<i>P. glauca</i> Haines
	<i>P. heterophylla</i> L.
<i>Aigeiros</i> Duby	<i>P. nigra</i> L.
	<i>P. deltoides</i> L.
	<i>P. fremontii</i> S. Watson
<i>Tacamahaca</i> Spach	<i>P. angustifolia</i> James
	<i>P. balsamifera</i> L.
	<i>P. ciliata</i> Royle
	<i>P. laurifolia</i> Ledebour
	<i>P. simonii</i> Carrière
	<i>P. suaveolens</i> Fischer
	<i>P. szechuanica</i> Schneider
	<i>P. trichocarpa</i> Torr. e Gray
	<i>P. yunnanensis</i> Dode
<i>Populus</i>	<i>P. adenopoda</i> Maximowicz
	<i>P. alba</i> L.
	<i>P. gamblei</i> Haines
	<i>P. grandidentata</i> Michaux
	<i>P. guzmanantlensis</i> Vasquez and Cuevas
	<i>P. monticola</i> Brandegees
	<i>P. sieboldii</i> Miquel
	<i>P. simaroa</i> Rzedowski
<i>P. tomentosa</i> Carrière	
	<i>P. tremula</i> L.
	<i>P. tremuloides</i> Michaux

Al sottogenere *Populus* appartengono, tra le altre specie meno note, *P. tremula* L., e *P. alba* L. *P. tremula* ha un areale che coincide con l'Europa e si estende verso l'Asia. Cresce e si sviluppa però ad altitudini differenti, in base alla latitudine: in Italia *P. tremula* (pioppo tremulo) cresce nella zona prealpina, oltre i 600 m di quota, fino a 1100 m, mentre nei Paesi del Nord Europa ed in Russia, si trova nelle zone pianeggianti, sui bordi di laghi, corsi d'acqua e in zone umide.

L'altra specie appartenente a questo sottogenere, *P. alba* (pioppo bianco), occupa il bacino del Mediterraneo, il centro Europa fino all'Asia centrale, si sviluppa prevalentemente in zone di pianura, lungo i fiumi e nelle zone umide, fino a 600 m circa di quota. Dove gli areali di queste due specie si incontrano è possibile trovare ibridi, denominati *P. ×canescens* (pioppo grigio) i quali mostrano un fenotipo con caratteri intermedi, con varianti più simili all'una o all'altra specie, a volte difficili da riconoscere.



Figura 1 - Pioppi e salici lungo le rive del Mincio nei pressi di Mantova.

Alla sezione *Aigeiros* appartengono *P. nigra*, (pioppo nero europeo) e *P. deltoides* (pioppo nero americano) due specie con areali evidentemente molto lontani, l'uno nella zona eurasiatica fino ai 64° Lat N, l'altro nel nord America, ma con una speciazione recente tanto da essere ancora interfertili, nell'incrocio tra individui di *P.*

deltoides femmina e *P. nigra* maschio. Dall'incrocio di queste due specie si ottengono individui attribuiti alla specie *P. ×canadensis*, generalmente molto produttivi, con crescita rapida, con differenti caratteristiche e fenotipo intermedio tra le due specie parentali.

I sottogeneri *Tacamahaca*, *Leuroides*, *Turanga* e *Abaso* sono stati utilizzati nella selezione di individui da destinare alla produzione in particolare in Nord America, Nord Europa e in Cina per ambienti molto diversi da quelli italiani. Solo recentemente alcune specie asiatiche sono state introdotte nel programma di miglioramento genetico del CRA-PLF per ottenere ibridi più rustici. Nella sezione *Tacamahaca* è opportuno ricordare *P. trichocarpa* Torr. e Gray, e *P. suaveolens* Fischer (che comprende anche la specie precedentemente denominata *P. maximowiczii* A. Enry) spesso utilizzati, sia in nord America che in Europa, in incroci con altre specie ed in particolare con *P. deltoides*, nella continua ricerca di nuovi genotipi resistenti e rustici, in genere adatti a climi più freddi di quelli italiani.

Altri genotipi sono meglio conosciuti ed utilizzati a scopo ornamentale come la varietà di pioppo bianco *P. bolleana* (*P. alba* var. *pyramidalis* Bunge), il pioppo cipressino (*P. nigra* var. *italica*) diffuso in tutto il mondo o il pioppo cinese *P. simonii* Carrière.

Clima

In Italia i pioppi sono diffusi in tutto il territorio nazionale, in particolare lungo i corsi d'acqua (Fig. 1). Essi vengono coltivati per la produzione di legno ad uso industriale o utilizzati per rinaturalizzazioni di coltivi abbandonati nell'ambito dei parchi fluviali, per la costituzione di reti ecologiche che mettono in comunicazione aree naturali frammentate e infine come fasce tampone per limitare l'inquinamento dei corsi d'acqua. I pioppi, essendo igrofilo ed eliofilo, necessitano di una piovosità annua di almeno 700 mm, di cui almeno 450 mm durante la stagione vegetativa (aprile – settembre) possibilmente ben distribuiti. Prediligono una temperatura media annua superiore agli 8-10°C. Alcune varietà clonali possono subire danni (cretti da gelo) durante inverni particolarmente rigidi; in genere sopportano minime di oltre -15°C. Nelle zone più calde del nostro paese si sviluppano con difficoltà, soprattutto per insufficienza di acqua.

Suolo

La tessitura del suolo rappresenta la caratteristica ambientale maggiormente limitante per i pioppi in genere, in quanto influisce sulla disponibilità di ossigeno per l'attività biologica e sulla disponibilità di acqua. Ha notevole importanza anche la pro-

fondità utile alle radici i risultati migliori si ottengono con profondità elevate (>100 cm); mentre di secondaria importanza sono le variabili chimiche (pH, disponibilità di nutrienti, ecc) con l'esclusione di salinità e calcare attivo che invece possono provocare pesanti limitazioni. I pioppi, che sono piante pioniere, riescono a sviluppare un poderoso apparato radicale seguendo la stratigrafia del suolo: le radici tendono a colonizzare gli strati di suolo più favorevole in genere fino alla frangia capillare. In tabella 2 sono sintetizzati i fattori pedologici che possono limitarne la coltivazione secondo le indicazioni riportate in AA.VV (2006) e in Scotti *et al.*, (2010).

Tabella 2 - Limitazioni pedologiche alla crescita del pioppo coltivato come ceduo a turno breve (da Scotti *et al.*, 2010 mod).

Caratteristiche Pedologiche (1)	Grado di Importanza (2)	Intensità delle limitazioni		
		Assenti, lievi (3)	Moderate (4)	Severe (5)
Profondità utile alle radici (cm) (6)	**	>100, 50-100	25-50	<25
Tessitura	***	media, moderatamente grossolana, moderatamente fine	grossolana, fine	grossolana, fine
Disponibilità di ossigeno (7)	***	buona, moderata	imperfetta	Scarsa, molto scarsa
Reazione (pH)	*	5,5 – 8,5	4,5 – 5,5	< 4,5 e > 8,5
Salinità (EC1:5 dS m ⁻¹)	***	<0,15	0,15-0,4	>0,4
Calcare attivo (%)	***	<8	8-12	>12
Rischio di inondazione (inondabilità)	*	Nessuno, occasionale, frequente	-	-
Rischio di inondazione (durata)	**	<1 mese	>1 mese	-

- (1) Riferite allo strato esplorabile dall'apparato radicale.
- (2) * poco, ** mediamente, *** molto importante;
- (3) suoli che assicurano produzioni legnose in genere non inferiori al 80% di quella massima potenziale senza particolari interventi colturali;
- (4) suoli appartenenti a questa classe possono indurre riduzioni di produzione fino al 60% di quella massima e/o richiedere particolari pratiche colturali;
- (5) suoli non destinabili a uso pioppicolo;
- (6) Intesa come profondità a strati limitanti gli apparati radicali (es. orizzonti induriti, orizzonti di accumulo di carbonati, orizzonti argillici impermeabili).
- (7) buona: l'acqua è rimossa dal suolo prontamente; moderata: l'acqua è rimossa lentamente in alcuni periodi e i suoli sono bagnati solo per un breve periodo durante la stagione vegetativa; imperfetta: l'acqua è rimossa lentamente ed il suolo è bagnato per lunghi periodi durante la stagione vegetativa; scarsa e molto scarsa: il suolo è saturo periodicamente o per la maggior parte della stagione vegetativa.

Risorse genetiche

Presso il CRA-PLF del CRA (ex Istituto di Sperimentazione per la Pioppicoltura), fin dal 1939, anno di fondazione, è stata iniziata la collezione di specie ed ecotipi di pioppo provenienti da tutto il mondo e l'attività di ricerca è stata soprattutto finalizzata all'individuazione di cloni adatti alla coltivazione intensiva per la produzione di cellulosa, di segati e di pannelli di compensato. La collezione dei genotipi, oltre mille delle diverse specie, è conservata negli "archivi": piantagioni particolari allevate a capitozza, potate annualmente prima della ripresa vegetativa, dalle quali è possibile in ogni momento estrarre materiale vegetale per la riproduzione agamica.

Selezione clonale

Presso il CRA-PLF il miglioramento genetico è basato prevalentemente sulla selezione semireciproca ricorrente delle specie parentali *P. deltoides* e *P. nigra* utilizzati per la creazione di ibridi di *P. ×canadensis* (Bisoffi e Gullberg, 1996). L'ibridazione può avvenire solo tra femmine della prima specie e i maschi della seconda essendo il reciproco non fertile. Tra gli individui ottenuti dagli incroci intraspecifici di *P. deltoides* vengono selezionate femmine con alta capacità di accrescimento e di propagazione vegetativa; mentre tra quelli di *P. nigra* i maschi vengono valutati per la ramificazione (basso numero di rami sillettici) e la resistenza alle due principali malattie fogliari la Bronzatura del pioppo (*Marssonina brunnea*) e le Ruggini (*Melampsora* spp). Tale selezione avviene sulla base di test di progenie e di capacità combinatoria. Gli individui di alto valore genetico selezionati da entrambe le specie parentali vengono tra loro incrociati per ottenere cloni della specie ibrida che vengono valutati con appositi protocolli.

L'intensa attività di selezione del pioppo, in passato era finalizzata alla creazione di individui con caratteristiche tali da rispondere alle esigenze della pioppicoltura tradizionale ovvero resistenza alle malattie fogliari, elevate produzioni associate a caratteristiche legate alla produzione di legno di qualità: dirittezza del fusto, legno di colore chiaro, facilità di potatura. Nel corso del tempo, con l'estendersi delle coltivazioni di pioppo anche in zone geografiche meno adatte alla pioppicoltura, o con climi differenti rispetto alla pianura Padana, e con l'intenso scambio di legname proveniente da altri continenti, sono aumentate le avversità per il pioppo (malattie ed insetti) dapprima limitate a piccole aree geografiche e poi estese a tutto il paese. A titolo d'esempio ultimamente è stato introdotto un nuovo insetto parassita il *Platypus mutatus* dall'Argentina per ora limitato ad una ristretta area di coltivazione del pioppo in Campania. L'attività di selezione si è così via via adattata alle nuove esigenze selezionando individui tolleranti o resistenti alle principali avversità e soprattutto ai funghi (*Marssonina brunnea*, *Venturia populina*, *Melampsora* spp), ai virus

(PMV-Virus del Mosaico del Pioppo), ma anche ad insetti, come l'afide lanigero (*Phleomyzus passerinii*).

Negli ultimi due decenni sono venute in auge le coltivazioni dedicate alla produzione di biomassa ad uso energetico; finora sono stati selezionati, sia dal CRA che da privati, in particolare la Ditta Franco Alasia Vivai di Cavallermaggiore CN che ha operato in collaborazione con Università di Torino e della Toscana, una decina di cloni alcuni specificamente per questo fine, altri a "duplice attitudine" (uso industriale ed energetico).

La selezione di cloni per produzione di biomassa in impianti di arboricoltura a ciclo breve denominati cedui a turno breve o Short Rotation Coppices (SRC) si basa sugli stessi requisiti utilizzati per la pioppicoltura tradizionale, ma oltre alla resistenza alle avversità i caratteri più importanti diventano l'elevata produzione di materiale ligno-cellulosico in tempi molto brevi (2-5 anni), la capacità di ricaccio dopo ripetute ceduzioni e la densità basale più elevata; mentre la dirittezza del fusto, così come la facilità di potatura o la colorazione del legno sono del tutto ininfluenti. La selezione di cloni per biomassa è finalizzata a individuare soggetti molto produttivi ma rustici, al fine di rendere le coltivazioni SRC più redditizie riducendo gli input colturali: fitofarmaci, concimi e lavorazioni del suolo e rendendo la coltura allo stesso tempo ecologicamente ed energeticamente sostenibile. I cloni recentemente selezionati a questo scopo appartengono alla specie *P. alba*, *P. ×canadensis*, o sono ibridi complessi tra più specie, il dettaglio è riportato in tabella 3.

Per essere commercializzati i cloni devono essere iscritti al Registro Nazionale dei Materiali di Base, introdotto con il dlgs 386/2003 che ha sostituito il precedente Registro Nazionale dei Cloni Forestali (RNCF). Tale attività è affidata alla Commissione Nazionale del Pioppo che prima di iscrivere un clone oltre ad esaminare tutta la documentazione predisposta dal selezionatore secondo le norme riportate nel decreto, avvia una sperimentazione *ad hoc* affidata a Enti pubblici di ricerca nel settore. Se la documentazione fornita dal selezionatore è giudicata sufficiente il clone viene iscritto in via provvisoria per un decennio, durante il quale viene portata avanti la sperimentazione "ufficiale". Al termine di questo periodo il clone, se ha superato positivamente l'iter, verrà iscritto definitivamente al Registro con un decreto ministeriale, altrimenti verrà ritirato dal commercio (Facciotto, 2008a). Attualmente tra la produzione del seme da un incrocio controllato e la registrazione provvisoria al Registro Nazionale dei Materiali di Base, quindi alla commercializzazione, passano almeno 8 anni; per la registrazione definitiva vanno aggiunti altri 10 anni, quindi in totale 18 anni. I tempi sono abbastanza lunghi perché sono stati modulati per la pioppicoltura tradizionale con turno intorno ai dieci anni. Per l'iscrizione di cloni per la produzione di biomassa si dovrebbero utilizzare procedure più rapide però a questo punto è necessario un intervento di tipo legislativo di cui dovrebbe farsi carico la Commissione Nazionale del Pioppo. Si potrebbero inoltre abbreviare anche i tempi della selezione utilizzando i mezzi recentemente offerti dalla genetica molecolare (Bisoffi *et al.*, 2009). Il pioppo è stata infatti la prima tra le specie legnose ad avere

il genoma completamente sequenziato e disponibile in banche dati pubbliche (Keller *et al.*, 2007).

Tabella 3 – Cloni di pioppo selezionati in Italia per la produzione di biomassa.

CLONE	Sesso	Specie	Selezionatore
AF2	M	<i>P. ×canadensis</i>	Franco Alasia, Cavallermaggiore (CN)
AF8	F	<i>P. ×generosa</i> × <i>P. nigra</i>	Franco Alasia, Cavallermaggiore (CN)
Imola (ex 83.160.029)	F	<i>P. ×canadensis</i>	CRA-PLF Casale Monferrato (AL)
Marte	M	<i>Populus alba</i>	Franco Alasia, Cavallermaggiore (CN), Sabatti e Scarscia Mugnozza Università della Tuscia Viterbo
Monviso	F	<i>P. ×canadensis</i>	Franco Alasia, Cavallermaggiore (CN)
Orion (ex 83.148.041)	M	<i>P. ×canadensis</i>	CRA-PLF Casale Monferrato (AL)
Pegaso	M	<i>P. ×generosa</i> × <i>P. nigra</i>	Franco Alasia, Cavallermaggiore (CN)
Saturno	M	<i>P. alba</i>	Franco Alasia, Cavallermaggiore (CN), Sabatti e Scarscia Mugnozza Università della Tuscia Viterbo
Sirio	M	<i>P. ×canadensis</i>	Franco Alasia, Cavallermaggiore (CN)

I cloni appositamente selezionati per i cedui a turno breve sono resistenti o tolleranti le principali malattie fogliari, l'afide lanigero (*Phleomyzus passerinii*), unico insetto per il quale è possibile fare selezione, e al vento; il dettaglio è sintetizzato in tabella 4.

Tabella 4. Comportamento dei cloni selezionati per la produzione di biomassa nei confronti delle principali avversità del pioppo: defogliazione primaverile (Defog.), ruggini (Rugg), bronzatura (Bronz.), necrosi corticali (Necr.), macchie brune (Macch.), virus del mosaico del pioppo (PMV), afide lanigero (Afide) e del vento.

Cloni.	Defog	Rugg	Bronz	Necro	Macch	PMV	Afide	Vento
AF2	*****	***	*****	***	***	*****	*****	****
AF8	*****	****	****	****	****	*****	****	*****
Imola	*****	*****	*****	***	***	*****	*****	***
Marte	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	****
Monviso	*****	*****	*****	*****	*****	****	****	***
Orion	*****	****	*****	***	***	*****	*****	***
Pegaso	*****	****	*****	*****	*****	***	***	****
Saturno	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	****
Sirio	*****	*****	*****	****	****	*****	***	***

Produzioni

Nelle prove impostate nei primi anni '90 con cedui a turno biennale e densità di 5000-7500 piante per ettaro ($p\ ha^{-1}$), dato che non erano ancora disponibili cloni selezionati *ad hoc*, sono stati utilizzati i cloni della pioppicoltura tradizionale caratterizzati da accrescimento giovanile elevato e buona capacità di ricaccio tra questi *P. deltoides* 'Lux', *P. ×canadensis* 'Luisa Avanzo', 'Cima', 'BL Costanzo', 'I-214', *P. alba* 'Villafranca'. Le produzioni parcellari ottenute variavano mediamente intorno a $6-10\ t\ ha^{-1}\ anno^{-1}$ di sostanza secca (s.s.) (Facciotto, 2008b). In seguito alla messa a punto, grazie anche alla sperimentazione finanziata dal MiPAAF, di tecniche colturali più adeguate e alla selezione di cloni adatti ai cedui a turno breve, con elevate capacità di crescita, ricaccio e resistenza alle principali avversità, le produzioni medie, di impianti con densità tra 6700 e 10000 $p\ ha^{-1}$, sono aumentate intorno alle $12-15\ t\ ha^{-1}\ anno^{-1}$, con punte massime, nelle migliori condizioni di crescita fino a $20 - 25\ t\ ha^{-1}\ anno^{-1}$ di biomassa anidra al primo turno (Facciotto e Bergante, 2011; Paris *et al.*, 2010).

Nella piantagione sperimentale costituita con densità di 8300 $p\ ha^{-1}$ ad Anzola dell'Emilia (BO) presso l'azienda sperimentale del Centro di Ricerca per le Colture Industriali (CIN) del CRA (Tab. 5) dopo tre ceduzioni biennali, 6 anni, la produzione media è risultata molto buona in particolare i cloni migliori hanno prodotto tra le $16,1\ t\ ha^{-1}\ anno^{-1}$ del clone AF2 e le $19,3\ t\ ha^{-1}\ anno^{-1}$ del clone Orion.

Tabella 5 - Anzola (BO). ANOVA e SNK test della produzione media cumulata di biomassa secca in $t\ ha^{-1}\ anno^{-1}$ (B.s.) ottenuta in tre cicli biennali da diversi cloni di pioppo sia sperimentali che già iscritti al Registro dei materiali di base.

Cloni	B.s.	SNK
I-214	14,63	BC
Pegaso	9,69	DE
Monviso	16,82	AB
AF2	16,06	AB
AF6	12,62	CD
Orion	19,27	A
83.039.018	16,31	AB
Baldo	17,08	AB
84-078	17,51	AB
Villafranca	8,35	E
Jean-Pourtet	11,55	DE
Media generale	14,535	
Valori di F	13,40 **	

Tra i cloni commerciali selezionati per la produzione di biomassa solo il clone Pegaso ha prodotto una quantità significativamente inferiore di sostanza secca rispetto agli altri: $9,7 \text{ t ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$; essendo un incrocio complesso con ‘sangue’ di *P. trichocarpa* (specie che ha il suo areale tra il Nord degli Usa ed il Canada) non risulta molto adatto alla calda pianura emiliana (Facciotto *et al.*, 2009).

Esiste in genere una certa differenza tra le produzioni ottenute dai diversi cloni in parcelle sperimentali, per quanto di grandi dimensioni, e le produzioni commerciali di pieno campo. In una recente indagine condotta dagli autori in Veneto sulla produttività dei cedui a turno breve di pioppo con densità iniziale di impianto compresa tra 5556 e 6667 p ha⁻¹, finanziati con una legge regionale, le produzioni medie alla fine del primo ciclo biennale risultano di $6,5 \text{ t ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$ di s.s per il clone Pegaso (97 piantagioni) e di $9 \text{ t ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$ per il clone Sirio (53 piantagioni); nelle 59 piantagioni del clone Pegaso per le quali erano disponibili dati sia sul primo che sul secondo ciclo di raccolta la produzione media cumulata alla fine del quarto anno risultava di $9,2 \text{ t ha}^{-1} \cdot \text{anno}^{-1}$ di s.s, molto vicina a quella ottenuta nella sperimentazione effettuata ad Anzola riportata in tabella 5. Nei sessanta impianti cedui realizzati nel 2008 per lo più nella regione Emilia Romagna con densità di 5556 p ha⁻¹, dalle società saccarifere coinvolte nel progetto SUSPACE, con i cloni di pioppo Monviso e AF2, alla prima ceduzione biennale si sono ottenute rese medie in sostanza secca di circa $9 \text{ t ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$, dati molto vicini a quelli ottenuti in Veneto con il clone Sirio, con produzioni di AF2 mediamente superiori del 10% rispetto a quelle di Monviso. Nei migliori appezzamenti sia in Veneto che in Emilia Romagna le produzioni di questi cloni sono risultate prossime alle $16 \text{ t ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$ di s.s.



Figura 2 - Casale Monferrato. Ceduo a turno breve (8333 p ha^{-1}) del clone Imola durante la seconda stagione vegetativa.

Nelle coltivazioni sperimentali con cicli di raccolta bi-triennale, testate per una decina di anni a Casale Monferrato (Fig. 2) le produzioni vanno a regime tra il secondo e il terzo turno, aumentano tra il 50 ed il 67% rispetto a quelle ottenute alla prima ceduzione; al quarto turno invece la produttività comincia a calare, intorno al 25% rispetto al terzo turno, soprattutto perché la mortalità delle ceppaie è tale da non essere più controbilanciata dalla maggior produttività di quelle sopravvissute (Tab. 6).

Tabella 6 - Casale Monferrato (AL). Produzioni di biomassa secca in ceduo a turno breve di pioppo, espressa in $t \cdot ha^{-1} \cdot anno^{-1}$, nei primi quattro cicli di produzione; primo, secondo e quarto di durata biennale (2a), il terzo di durata triennale (3a).

Specie	Ciclo di raccolta			
	1 (2a)	2 (2a)	3 (3a)	4 (2a)
Pioppo	6,0	9,0	10,0	7,5



Figura 3 - Cremona. Ceduo a turno breve (densità di $1143 p \cdot ha^{-1}$) del clone AF2 alla fine del 4° anno del primo turno.

Risultati analoghi si possono ottenere in impianti cedui con densità tra 1000 e 1700 $p \cdot ha^{-1}$ e turno di 5-6 anni. In un impianto messo a dimora con cloni di pioppo bianco, I-214 e Lux, alla fine del primo turno quinquennale le produzioni espresse in biomassa anidra erano comprese tra le 5 e le 8,3 $t \cdot ha^{-1} \cdot anno^{-1}$, mentre al secondo turno

sempre di cinque anni variavano tra 10 e 22,6 t ha⁻¹ anno⁻¹. In impianti messi a dimora con semenzali di *Populus alba* alla densità di 1667 p ha⁻¹ la produzione migliore al primo turno è stata di 7,9 t ha⁻¹ anno⁻¹. Con il clone di pioppo ‘Monviso’, alla stessa densità, si sono raggiunte le 10,1 t ha⁻¹ anno⁻¹ al primo turno (5 anni). Su terreno fertile, in provincia di Cremona con densità di 1143 p ha⁻¹ con i cloni ‘I-214’ e ‘AF2’ (Fig 2.) si sono raggiunte rispettivamente 16 e 25 t ha⁻¹ anno⁻¹ di s.s. già al 4° anno dall’impianto.

Considerando tutte le esperienze sia parcellari che di impianti commerciali si può notare un certo miglioramento delle produttività medie, si è passati dalle 7-10 t ha⁻¹ anno⁻¹ dei primi cloni utilizzati, quelli della pioppicoltura tradizionale, alle 10-15 t ha⁻¹ anno⁻¹ delle coltivazioni fatte con i primi cloni appositamente selezionati fino alle 15-20 e oltre t·ha⁻¹·anno⁻¹ di biomassa anidra delle piantagioni sperimentali e di quelle commerciali con densità intorno a 1100 p ha⁻¹ e turno quinquennale costituite su terreni di buona fertilità con i cloni di ultima selezione, AF2, Monviso, Orion (Facciotto, 2010).

Considerando il materiale genetico attualmente ancora in corso di selezione si potrebbe arrivare in tempi relativamente brevi ad ottenere produzioni medie prossime alle 25 t ha⁻¹ ·anno⁻¹ di s.s in impianti coltivati correttamente su terreni vocati.

Bibliografia

- AA.VV., 2006. Appendice: specifiche delle proprietà e qualità dei suoli. In: Costantini, E.A.C. (Ed.), *Metodi di valutazione dei suoli e delle terre*, Cantagalli, Siena, p. 18.
- Bisoffi S., Gullberg U., 1996. Poplar breeding and selection strategies. In “Biology of *Populus* and its implications for management and conservation. Part I, Chapter 6” Edited by R.F. Stettler, H.D. Bradshaw, Jr., P.E. Heilman, and T.M. Hinckley. NRC Research Press, National Research Council of Canada, Ottawa, ON, Canada. pp. 139-158.
- Bisoffi S., Minotta G., Paris P., 2010. Indirizzi colturali e valorizzazione delle produzioni legnose fuori foresta. In: *Atti del III Congresso Nazionale di Selvicoltura 'Per la conservazione e il miglioramento dei boschi'*. Taormina, 16-19 ottobre 2008, pp. 729-736.
- Eckenwalder., 1996. Systematics and evolution of *Populus*. In “Biology of *Populus* and its implications for management and conservation. Part I, Chapter 1” Edited by R.F. Stettler, H.D. Bradshaw, Jr., P.E. Heilman, and T.M. Hinckley. NRC Research Press, National Research Council of Canada, Ottawa, ON, Canada. pp. 18-19.
- Facciotto G., 2008a. Cloni coltivati. In “Il libro bianco della pioppicoltura”, Suppl. Agrisole n. 26/2008, pp. 25-28.

- Facciotto G., 2008b. Cedui a turno breve per produzione di biomassa. In: 'Il libro bianco della pioppicoltura' Supplemento Agrisole. n. 26/2008 del 27 giugno 2008, pp. 42-44.
- Facciotto G., 2010. Estudiando la posibilidad de los cultivos de corta rotación (CCR). In: 1er Encuentro de populicultores de Europa' Valladolid, Spain 18 may 2010. 49-51.
- Facciotto G., Bergante S., 2011. Evaluation of poplar and willow performances for biomass production in Northern Italy. Actas del Tercer Congreso Internacional de las Salicáceas en Argentina 'Los álamos y los sauces junto al paisaje y el desarrollo productivo de la Patagonia' Neuquen, Argentina 16-19 Marzo 2011. 8 pp.
- Facciotto G., Di Candilo M., Bergante S., Diozzi M., 2009. Biomass production of new Italian poplar clones. Poster Presentato al 2° Convegno Nazionale SIBA. Roma, 4-5 maggio 2009.
- Kelleher C.T., Chiu R., Shin H., Bosdet I.E., Krzywinski M.I., Fjell C.D., Wilkin J., Yin T., DiFazio S.P., Ali J., Asano J., Chan S., Cloutier A., Girn N., Leach S., Lee D., Mathewson C.A., Olson T., O'Connor K., Prabhu A-L., Smailus D., Stott J.M., Tsai M., Wye N.H., Yang G.S., Zhuang J., Holt R.A., Putnam N.H., Vrebalov J., Giovannoni J.J., Grimwood J., Schmutz J., Rokhsar D., Jones S.J. M.2, Marra M.A., Tuskan G.A., Bohlmann J., Ellis B.E., Ritland K., Douglas C.J., Schein J.E., 2007. A physical map of the highly heterozygous *Populus* genome: integration with the genome sequence and genetic map and analysis of haplotype variation. *The Plant Journal* 50: 1063-1078.
- Paris P., Facciotto G., Nervo G., Minotta G., Sabatti M., Scaravonati A., Turchi M., Scarascia Mugnozza G., 2010. Short Rotation Forestry of poplar in Italy: current situation and prospect. In: Fifth International Poplar Symposium 'Poplars and willows: from research models to multipurpose trees for a a bio-based society' 20-25 September 2010 Orvieto, Italy. Book of Abstracts. 105-106.
- Scotti C., Facciotto G., Canestrone R., 2010. Soil map of pedological limitations to the growth of poplar clones for biomass production in Emilia-Romagna Region (Italy). In: Proceedings of the 18th European Biomass conference and Exhibition, Lyon, France. 3-7 May 2010. 448-451.

2 - Selezione di cloni di eucalitto per la destinazione da biomassa

Eucalyptus spp. clonal selection for biomass

Giovanni Mughini*, Laura Rosso*, Sara Bergante*

Riassunto

Il genere *Eucalyptus* è originario dell'Oceania e comprende oltre 700 entità genetiche. Nel nostro Paese buone produzioni si ottengono nel centro-sud con *Eucalyptus globulus* subsp. *bicostata* (Maiden, Blakely & J.Simm.) J.B. Kirkp ed *E. camaldulensis* Dehnh., provenienza 'Lago Albacutya'. Gli eucalipti prediligono temperature medie annue tra 12 e 18 °C, la richiesta di acqua è di circa 700 mm annui. Sono molto rustici per quanto riguarda le preferenze edafiche. L'attività di ricerca ha individuato le specie più interessanti per l'Italia: *E. globulus* ssp. *globulus*, ssp. *bicostata*, *E. camaldulensis*, *E. gunnii*, *E. gomphocephala*, *E. maidenii*, *E. occidentalis*, *E. × trabutii*, *E. vicinali*. Negli anni '90 con un programma di miglioramento genetico, 15 nuovi cloni sono stati selezionati dal CRA-PLF di Roma, nell'ambito di incroci tra *E. camaldulensis* con *E. globulus* Labill. subsp. *globulus*, *E. globulus* ssp. *bicostata*, *E. viminalis* Labill. ed *E. grandis* Hill ex Maiden. Nel primo decennio del XXI secolo si sono diffusi nel bacino del Mediterraneo degli insetti galligeni, *Ophelimus maskelli* Ashmead e *Leptocybe invasa* Fisher & La Salle, parassiti della maggior parte delle specie di eucalipto coltivate. Con la lotta biologica ai due insetti, utilizzando un loro parassito ide, il problema sembra in via di soluzione. Nel 2010 è stato segnalato un nuovo parassita (*Glycaspis brimblecombei* Moore) dannoso allo stato larvale. Anche in questo caso l'unica soluzione è la lotta biologica. Nei campi sperimentali del CRA-PLF viene svolta attività di identificazione di cloni maggiormente produttivi, utilizzando due densità d'impianto (1.600 e 5.500 p·ha⁻¹) riferibili ai due modelli colturali, 'rado' e 'fitto'. Con semenzali di *E. camaldulensis* posti alla densità di 1.600 p·ha⁻¹ e allevati con turno triennale le produzioni sono variate tra 3 e 12,8 t·ha⁻¹·anno⁻¹ di s.s.; nelle stesse località con

* CRA – Unità di ricerca per le Produzioni Legnose fuori Foresta (PLF).

le migliori varietà clonali di eucalipto si sono raggiunte produzioni tra 22 e 27 t·ha⁻¹·anno⁻¹ di s.s. Nelle prove sperimentali in cui sono a confronto i vari cloni col estimone *E. camaldulensis*, le produzioni medie sono comprese tra 4 e 22 t·ha⁻¹·anno⁻¹. Le differenze sono dovute alla densità d'impianto, alle caratteristiche stazionali, e alla presenza degli insetti nocivi; i 6 cloni che hanno dato migliori risultati sono stati proposti per la 'brevetazione'.

Parole chiave: eucalyptus, biomassa, cedui a turno breve, produzione

Abstract

Eucalyptus is native of Oceania and it includes more than 700 species. In Italy good growth results are obtained in Central-South regions with some species as: Eucalyptus globulus subsp. bicostata (Maiden, Blakely & J.Simm.) J.B. Kirkp and E. amaldulensis Dehnh., 'Lago Albacutya' provenance. The most part of these Eucalyptus species growth in climate with an average temperature between 12 e 18°C, and request a minimum of 700 mm of rain. They can growth also in less fertile soils, and E. camaldulensis 'Lago Albacutya' provenance, can survive also in light salty soils. Obviously the productions are lower in difficult conditions. A breeding Italian program start in '90 years and lead to identifications of best species and provenances for South Regions: 15 new clones were selected, that derive from hybridation of E. camaldulensis and E. globulus Labill. subsp. globulus, E. globulus ssp. bicostata, E. viminalis Labill. and E. grandis Hill ex Maiden. The problems for biomass production were caused, in the last years, by two pests, in all over the Mediterranean basin: Ophelimus maskelli Ashmead e Leptocybe invasa Fisher & La Salle. The solution was found in biologic pest control using parasitoids of the two insects. The selected clones are tested in trials of CRA-PLF with E. camaldulensis as comparison. Plantations have two different densities: 1.600 and 5.500 trees·ha⁻¹ that correspond to 'high' and 'very high' plantation model, also utilized for poplar, willow and black locust. With E. camaldulensis seedling as plantation material at 1.600 trees·ha⁻¹ growth with triennial cycle, the productions change from 3 and 12,8 Odt·ha⁻¹·y⁻¹ (Oven Dry Ton per Hectare and per Year). In the same trials with new clones selected productions reach 22 and 27 Odt·ha⁻¹·y⁻¹. The most important differences in production are due to 1) plantation density; 2) site factors; 3) presence of harmful insects. Good results was obtained particularly with the following clones: 7; 14; 20; 40; 44; 45; 65; 358. The first best 6 clones are hybrids of E.camaldulensis × E.globulus ssp bicostata. The 65 is hybrid of E.camaldulensis × E.grandis, and 358 is a pure clone of E. grandis.

Keywords: eucalyptus, clones, biomass, short rotation coppice, production

Eco-fisiologia

Il genere *Eucalyptus*, originario dell'Oceania, comprende oltre 700 entità genetiche. Ormai molte specie di eucalipto sono diffuse come coltura industriale in tutto il

mondo; avendo esigenze termiche piuttosto elevate possono essere coltivate nelle zone più calde del centro-sud Italia. Attualmente nel nostro Paese la superficie occupata dagli eucalipti ammonta a 72.000 ha, di cui 54.000 coltivati in purezza e 18.000 misti con altre specie (Boggia, 1987).

Tra le varie conosciute e testate, buoni risultati di crescita si ottengono in Italia con le specie *Eucalyptus globulus* subsp. *bicostata* (Maiden, Blakely & J.Simm.) J.B. Kirkp ed *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh., da quest'ultima si possono ottenere buoni risultati con la provenienza 'Lago Albacutya' che riesce a crescere anche in zone con scarsa piovosità e suoli salini (Mughini *et al.*, 2007- a). Naturalmente nelle condizioni più difficili le produzioni sono abbastanza scarse.

Gli eucalitti prediligono stazioni con temperature medie annue comprese tra 12 e 18 °C ma con minime assolute non inferiori a -3 °C. La richiesta di acqua è pari a circa 700 mm annui e possono sopportare una breve siccità estiva. Generalmente sono molto rustici per quanto riguarda le preferenze edafiche, ma possono soffrire terreni calcarei e con ristagno idrico (Berti *et al.*, 1992).

Recentemente si sono diffusi in tutto il bacino del Mediterraneo insetti galligeni ai quali sono risultate resistenti solo le specie *E. occidentalis* Endl. ed *E. gomphocephala* A. DC. che tuttavia hanno esigenze termiche superiori a *E. camaldulensis*. La specie *E. gomphocephala* è stata utilizzata negli anni 2007-2010 per la costituzione di alcune piantagioni di ceduo a turno breve (CTB) in Sardegna poiché il suo accrescimento risultava superiore a quello delle piante di *E. camaldulensis* attaccate dai parassiti.

Attività di miglioramento genetico

Le prime attività di ricerca nel nostro Paese, intensificatesi dopo la II Guerra Mondiale, hanno permesso di individuare alcune specie interessanti, tra cui: *E. globulus* ssp. *globulus*, ssp. *bicostata*, *E. camadulensis*, *E. gunnii*, *E. gomphocephala*, *E. maidenii*, *E. occidentalis*, *E. × trabutii*, *E. vicinali*. In base ai risultati ottenuti in una ampia serie di confronti di provenienze, le più idonee per le condizioni pedoclimatiche dell'Italia centro meridionale sono risultate *E. globulus* ssp. *globulus*, ssp. *bicostata*, *E. camadulensis*, *E. occidentalis*, *E. vicinali*, *E. nitens*, *E. gunni*.

Negli anni '90 è iniziato un programma di miglioramento genetico volto alla costituzione e selezione di cloni, anche ibridi, dalle migliorate capacità produttive e di resistenza alle avversità; una quindicina di cloni sono stati selezionati presso la sede di Roma del CRA-PLF, nell'ambito di incroci tra individui di *E. camaldulensis* con *E. globulus* Labill. subsp. *globulus*, *E. globulus* ssp. *bicostata*, *E. viminalis* Labill. ed *E. grandis* Hill ex Maiden (Mughini, 1997). Questi cloni hanno *performance* superiori a quelli delle specie parentali pure e presentano anche promettenti capacità fitoestrattive di metalli pesanti, ma al momento non sono ancora disponibili sul mercato (Mughini *et al.*, 2007-b). In base alle nuove prospettive di utilizzo dell'eucalitto e

alle avversità presentatesi recentemente, i principali caratteri da esaltare nei cloni dovrebbero essere: 1) adattabilità alle situazioni pedoclimatiche tipiche delle zone a clima mediterraneo dell'Italia centro-meridionale; 2) incremento della produttività qualitativa e quantitativa; 3) resistenza ai principali nuovi patogeni; 4) elevata efficienza nell'impiego degli elementi nutritivi e dell'acqua; 5) elevata capacità fitoestrattiva di metalli pesanti e nutrienti e fitodegradativa di composti chimici organici per l'impiego nel fitorimedio.

Coltivazione

Le giovani piantine ottenute da seme, oppure da talea radicata, allevate in contenitore alveolare vengono messe a dimora manualmente o meccanicamente in autunno, se la stazione presenta inverni miti, oppure in primavera (Facciotto *et al.*, 2007). Come visto non ha particolari esigenze idriche, ma è stato verificato che in fase giovanile, nei primi tre anni, le esigenze di azoto ammontano a circa $100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$, per le piante ormai affermate invece le necessità annue risultano di 210 kg ha^{-1} di azoto, 40 kg ha^{-1} di fosforo, 100 kg ha^{-1} di potassio, 90 kg ha^{-1} di calcio e 30 kg ha^{-1} di magnesio.

Come per le altre specie, soprattutto nei periodi successivi all'impianto e dopo ogni ceduazione, il controllo delle infestanti risulta importante per una buona produzione. Questo può essere effettuato meccanicamente (erpicoltura o triturazione dell'erba) oppure chimicamente con il principio attivo *Oxifluorfen* subito dopo l'impianto. In un impianto già esistente sono state confrontate 3 strategie di intervento di post-ceduazione per il controllo delle infestanti, utilizzando *Glufosinate d'ammonio*, *Glufosinate d'ammonio* + *Oxifluorfen* e nessun trattamento (testimone). Dai primi risultati è emerso che i prodotti impiegati non determinano fitotossicità su eucalipto ma sono in grado di contenere efficacemente la flora infestante. Tuttavia è da sottolineare che anche nelle parcelle non trattate la ripresa vegetativa è stata vigorosa e paragonabile a quella delle parcelle trattate. Un aspetto interessante a favore degli interventi con diserbanti deriva dalla eliminazione della copertura erbacea che nel periodo estivo, disseccandosi, favorisce lo sviluppo e la diffusione degli incendi. Fino a poco tempo fa gli impianti di eucalipto non mostravano particolari problemi fitosanitari. Nel primo decennio del XXI secolo si sono diffusi in tutto il bacino del Mediterraneo degli insetti galligeni, *Ophelimus maskelli* Ashmead e *Leptocybe invasa* Fisher & La Salle, parassiti della maggior parte delle specie di eucalipto coltivate. Con la lotta biologica ai due insetti, avviata tempestivamente, utilizzando un loro parassitoide (Laudonia *et al.*, 2006; Rizzo *et al.*, 2006), il problema sembra in via di soluzione. Purtroppo nella primavera 2010 sia in Sardegna che in Campania è stato segnalato un nuovo parassita australiano fitomizo *Glycaspis brimblecombei* Moore estremamente dannoso allo stato larvale, che dopo attacchi ripetuti può portare a

morte le piante (Laudonia *et al.*, 2010). Anche in questo caso l'unica soluzione sembra quella della lotta biologica.

Nelle stazioni del Nord Italia non sono state effettuate prove di piantumazione per via delle temperature non adeguate, perciò la maggior parte dei test sperimentali è collocata nel Centro e nel Sud della Penisola, isole comprese.



Figura 1 - Piante di eucalitto di 4 anni allevate presso l' Azienda 'ARSSA' a Mirto-Crosia (CS).

Produzioni

Nella sottostante tabella 1 sono elencati i campi sperimentali allestiti dal CRA-PLF, nei quali viene svolta la sperimentazione per l'identificazione dei cloni maggiormente produttivi. Come si può osservare nella tabella 1, la sperimentazione è stata svolta prevalentemente utilizzando due densità d'impianto (1.600 e 5.500 p ha⁻¹) riferibili ai due modelli colturali, 'rado' e 'fitto'. Diversamente dalla sperimentazione svolta per pioppo, salice e robinia, in cui le densità d'impianto possono raggiungere anche $8.000 \div 10.000$ p ha⁻¹, per gli eucalipti si tende a mantenere una densità inferiore per evitare una competizione troppo forte tra le piante che già possono trovarsi in condizioni pedo-climatiche difficili.

Tabella 1 - Campi sperimentali allestiti in diverse località del Centro-Sud Italia

Località	Anno impianto	n. cloni	Densità (p·ha ⁻¹)	Disegno sperimentale	ha
Az. ARSSA Mirto Crosia (CS)	2004	15	1.600 ÷ 5.500	Blocchi completamente randomizzati	1
Az. CRA-PLF Ovile (RM)	2004	15	1.600 ÷ 5.500	Blocchi completamente randomizzati	1
Az. EFS Campolungu (OR)	2005	15	1.600 ÷ 5.500	Blocchi completamente randomizzati	1
Az. ARSIAL Capocotta (RM)	2005	15	1.600 ÷ 5.500	Blocchi completamente randomizzati	1

Con semenzali di *E. camaldulensis* posti alla densità di 1.600 p ha⁻¹ e allevati con turno triennale (Fig. 2) le produzioni sono variate tra 3 e 12,8 t ha⁻¹·anno⁻¹ di sostanza secca (s.s.); nelle stesse località si sono raggiunte produzioni tra 22 e 27 t ha⁻¹·anno⁻¹ di s.s. con le migliori varietà clonali di eucalipto.

**Figura 2** - Piante di eucalipto di 2 anni presso l'Azienda 'Ovile' di Roma.

Considerando la media generale delle prove parcellari di confronto tra i cloni di eucalipto e il testimone *E. camaldulensis* le produzioni, espresse in t ha⁻¹ anno⁻¹ di biomassa anidra (Tab. 2) sono comprese tra 4 e 22 t ha⁻¹ anno⁻¹. Le differenze sono dovute alla densità d'impianto, alle caratteristiche stazionali, ma principalmente alla presenza di attacchi degli insetti. Infatti basse produzioni si registrano anche in si-

tuazioni dove vi è buona disponibilità idrica ma gli attacchi degli insetti sono forti. Le produzioni più basse sono poi state rilevate nelle stazioni in cui oltre ai forti attacchi degli insetti si aggiunge anche la scarsa disponibilità idrica nel periodo estivo.

I migliori risultati sono stati ottenuti con i cloni selezionati presso il CRA-PLF tra i 20 provati si sono evidenziati: 7; 14; 20; 40; 44; 45; 65; 358 (Tab. 2). I primi 6 cloni riportati sono ibridi di *E.camaldulensis* × *E.globulus* ssp *bicostata*, il 65 è un ibrido di *E.camaldulensis* × *E.grandis*, il 358 è un clone di *E.grandis* puro. Quest'ultimo risulta avere interessanti caratteristiche tecnologiche simili al faggio che lo rendono adatto per la produzione di legname di qualità.

Tabella 2 - Produzione di biomassa secca in piantagioni sperimentali di eucalitto.

Stazione	Densità (p·ha ⁻¹)	Età rilievo	<i>E. camal.</i> ¹	Media ²	Tre migliori cloni ³
ARSSA CS	<i>Stazione con elevata disponibilità idrica e limitati attacchi degli insetti</i>				
	5.500	2	18,77	22,24	31,52 (40); 27,99 (358); 27,26 (14)
	1.600	3	12,80	16,06	26,74 (40); 21,92 (358); 21,33 (44)
ARSIAL RM	<i>Stazione con elevata disponibilità idrica e forti attacchi di insetti</i>				
	5.500	2	7,46	10,96	16,62 (45); 16,61 (358); 15,87 (14)
	1.600	2	3,62	5,24	8,94 (65); 7,75 (358); 6,61 (44)
<i>Stazioni con scarsa disponibilità idrica e forti attacchi di insetti</i>					
EFS OR	5.500	3	4,86	5,20	11,20 (65); 9,70 (358); 7,58 (45)
CRA RM	5.500	3	2,98	4,77	7,61 (65); 6,50 (20); 6,43 (7)

⁽¹⁾ *E. camal* = *E. camaldulensis* (prov. Lago Albacutya); ⁽²⁾ media di 20 cloni URF in selezione più *E.camaldulensis*; ⁽³⁾ tra parentesi la sigla del clone in selezione.

Bibliografia

- Berti S., Corona P., Facciotto G., Mannucci M., Mariano A., 1992. Note tecniche orientative su alcune specie impiegabili in arboricoltura da legno. Atti del convegno Nazionale: "Più verde e più legno: dal set-aside ai rimboschimenti". Bologna, 7 febbraio 1992. SAF, gruppo E.N.C.C.; 50 pp.
- Boggia L., 1987. Conclusioni sull'eucalitticoltura nazionale. *Cellulosa e Carta*, 5: 11-17.
- Mughini G., Gras M. A., Facciotto G., 2007, (a). Eucalyptus clones selection in Central - South Italy for biomass production. In proceedings of 15th European Biomass Conference and Exhibition. Berlin, Germany 7-11 May 2007: 711-713.
- Mughini G., 1997. Production of hybrid clones: Italy. In: Improvement of eucalypt management and integrated approach: breeding, silviculture and economics.

- Final Report (01.11.1993-31.10.1996), AIR-CT93-1678, pp10. Commission of the European Communities, Brussels.
- Facciotto G., Bergante S., Mughini G., Gras M.A., Nervo G., 2007. Tecnica e modelli culturali per cedui a breve rotazione. *L'Informatore Agrario* 63: (40) 38-42.
- Laudonia S., Viggiani G., Sasso R., 2006. Parassitoide esotico in aiuto degli eucalip- ti. *L'Informatore Agrario* 40:74.
- Rizzo M. C., Lo Verde G., Rizzo R., Buccellato V., Calca V., 2006. Introduzione di *Closterocerus* sp. in Sicilia per il controllo biologico di *Ophelimus maskelli* Ashmead (Hymenoptera Eulophide) galligeno esotico sugli eucalip- ti. *Boll. Zool. Agr. Bachic. Sez. II*, 38 (3): 237-248.
- Laudonia S., Garonna A.P., 2010. The red gum lerp psyllid, *Glycaspis brimblecom- bei*, a new exotic pest of *Eucalyptus camaldulensis* in Italy. *Bulletin of Insec- tology* 63(2): 233-236.
- Mughini G., Gras M., Facciotto G., Annunziati M., 2007 (b). Produttività di selezio- ni di cloni di eucalitto in alcuni ambienti dell'Italia centro-meridionale. In: VI Congresso Nazionale SISEF. La gestione delle foreste tra cambiamenti globali e azioni locali. Arezzo, 25-27 Settembre 2007.

3 - Selezione di cloni di *Robinia pseudoacacia* L. per la produzione di biomassa

Selection of Robinia pseudoacacia L. clones for biomass production

Laura Rosso*, Sara Bergante*, Maria de Los Angeles Gras*

Riassunto

Robinia pseudoacacia L. è una specie originaria dell'America nord orientale. Nel 1601 viene portata in Francia, da dove è poi diffusa come infestante in tutto il continente Euroasiatico. Attualmente, si stima che, a livello mondiale, siano coltivati a robinia oltre un milione di ettari. In Italia fu introdotta intorno al XVIII secolo. La sua diffusione è stata sorprendente soprattutto in alcuni terreni marginali poverissimi. La robinia può avere portamento sia arboreo che arbustivo e può raggiungere i 25-30 metri di altezza. È una specie molto frugale che predilige climi umidi e temperati ma tollera un'ampia varietà di suoli. La rapida diffusione di questa pianta pioniera è dovuta, oltre che alla versatilità degli impieghi del legno, anche al fatto che essa è di notevole importanza per l'apicoltura, e più recentemente, l'interesse per la Robinia è stato dirottato anche nell'impiego nei cedui a turno breve per la produzione di biomassa a scopo energetico. Il miglioramento genetico della robinia a livello europeo e internazionale ha riguardato finora quattro filoni di ricerca per la selezione di varietà: 1) ornamentali; 2) mellifere; 3) da legno; 4) da foraggio.

La selezione di varietà da legno è stata svolta in Ungheria, con particolare attenzione rivolta alla varietà *rectissima* ('shipmast') caratterizzata da fusti dritti, chioma stretta e rami sottili. Il problema maggiore per l'impiego di cloni risiede nella difficile propagazione da talea caulinare. L'individuazione di una metodologia di moltiplicazione più speditiva ed economica dell'attuale permetterebbe un maggior impiego dei cloni. Presso il CRA-PLF è in corso un programma di miglioramento genetico della robinia per au-

* CRA – Unità di ricerca per le Produzioni Legnose fuori Foresta (PLF).

mentare la qualità e la quantità della produzione legnosa. Il progetto di miglioramento genetico prevede l'opzione gamica affiancata all'opzione clonale, per produzione sia di legname da opera, sia di biomassa per uso energetico. Sono già stati selezionati genotipi con caratteristiche interessanti di accrescimento, forma e assenza di spine dotati di spiccata attitudine alla propagazione. Tra le provenienze italiane, quella di Casale Monferrato (AI) è risultata la migliore per accrescimento. Le produzioni dei cedui a turno breve variano tra le 4 e le 14 t ha⁻¹ anno⁻¹.

Parole chiave: robinia, miglioramento genetico, provenienze, cloni, produzioni

Abstract

Robinia pseudoacacia L. (black locust) is a native species of North America. In 1601 it was introduced in France, and subsequently it has spread all over Europe and Asia. Currently it is cultivated over a million of hectares. In Italy it was introduced around the XVIII century. Its diffusion has been ample, especially in some poor marginal soils. The black locust tree can have arboreal or shrubby shape and it can reach the 25-30 meters high. It is a very frugal species with preference for damp and moderate climates, and it can growth on an ample variety of soils. The rapids diffusion of this pioneer tree is due to the versatility of the employments of the wood, and for its notable importance in the beekeeping. More recently the interest for the black locust includes also the employment in the short rotation coppices for biomass production. The genetic improvement of the locust tree at European and international level has concerned four research area for the selection of variety, till now: 1) ornamental; 2) mel-liferous; 3) wood; 4) forage.

The selection of wood variety has been developed in Hungary, with particular attention to the variety rectissima ('shipmast') characterized by right stems, narrow head of hair and thin branches. Currently the most greater problem for the employment of clones is due to the difficult of vegetative propagation of young stem. The individualization of a multiplication methodology more easy, fast and economic to reply than the actual will lead to a greater clones employment. CRA-PLF has a program of breeding of black locust to increase the quality and the quantity of the woody production. The project of genetic improvement foresees the gamic and agamic option, for production both of lumber and biomass for energetic purposes. Genotypes have been selected based on interesting characteristics as: fast growth, straight form and strong attitude to the propagation. Among the Italian origins, 'Casale Monferrato' (AL) provenances shows the best results for growth. The productions of the short rotation coppices range between 4 and 14 t ha⁻¹ year⁻¹ of dry matter.

Keywords: black locust, breeding, provenance, clones, yield.

Sistematica e diffusione

Robinia pseudoacacia L. è una specie della famiglia delle Fabacee originaria dell'America nord orientale, dove è presente in più areali: uno corrispondente ai monti Appalachi e tre, più piccoli, identificabili con i singoli stati di Oklahoma, Arkansas e Missouri (Fig. 1).

La sua comparsa in Europa risale al 1601, in Francia, quando fu introdotta dal botanico Jean Robin nell'Orto Botanico di Parigi, da dove sembra si sia largamente diffusa in tutto il continente Euroasiatico, divenendo ben presto una specie considerata infestante. Attualmente, si stima che, a livello mondiale, siano coltivati a robinia oltre un milione di ettari, ed in particolare nella Repubblica di Corea, in Ungheria, nell'Ex Urss, Romania, Francia, Ex Jugoslavia, Repubblica Ceca, Repubblica Slovacca, Bulgaria, Spagna, Argentina e Cina.

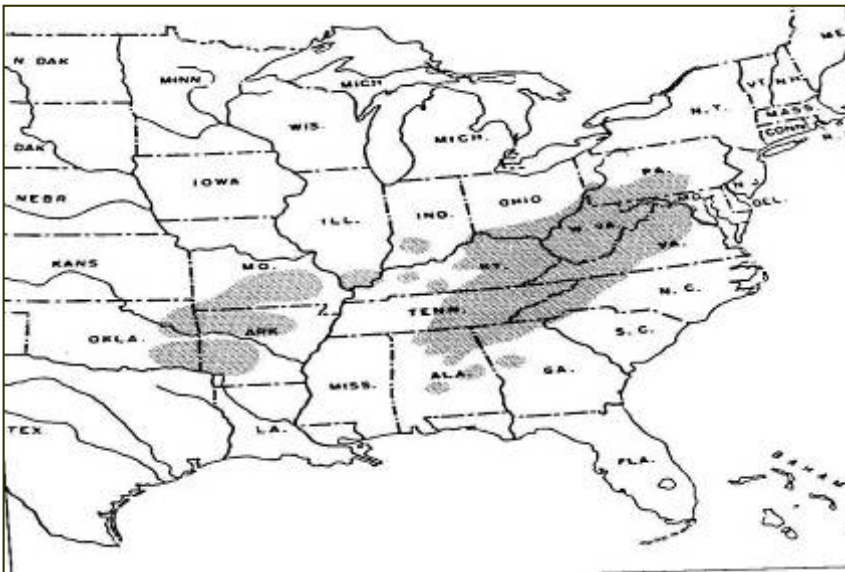


Figura 1 - Nord America. In grigio le zone geografiche occupate dall'areale primario della *Robinia pseudoacacia* L.

L'introduzione della Robinia in Italia risale intorno al XVIII secolo. La maggior diffusione dei soprassuoli di robinia si è avuta, comunque, a partire dall'ultimo conflitto mondiale, nelle radure dei boschi più degradati, a seguito di tagli sregolati effettuati durante il periodo bellico. La sua presenza è ormai considerata elemento comune nella vegetazione italiana, soprattutto nelle aree centro-settentrionali del Paese, dove si possono incontrare anche formazioni di notevole estensione. Nelle zone più meridionali e sulle isole maggiori invece, pur presente, risulta essere però sporadica e, con individui dal portamento cespuglioso, lascia il passo a formazioni lussureggianti di *Ailanthus altissima*. La sua diffusione è stata sorprendente soprattutto in

terreni marginali, come quelli delle brughiere lombarde, sostituendo addirittura alcune specie legnose autoctone. Attualmente quest'area rappresenta una delle maggiori superfici occupate da Robinia (11.500 ha di cui 3.500 ha di boschi puri). In Piemonte, invece, le superfici occupate da boschi con dominanza di robinia sono stimate intorno a 85.000 ha. Anche in Veneto la robinia si è diffusa facilmente in particolare nei boschi devastati e semidistrutti durante la guerra mondiale ed è stata impiegata dall'uomo con successo nella fissazione e nella messa a coltura di una vasta zona sabbiosa, che si estende lungo la spiaggia di Cavazuccherina. In Garfagnana (Toscana), i cedui di robinia rappresentano una delle più riuscite realizzazioni di rimboschimento, raggiungendo incrementi medi di oltre $20 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$. L'interesse per la Robinia è stato dirottato più recentemente nell'impiego in impianti fitti per la produzione di biomassa a scopo energetico, come alternativa al pioppo e all'euca-litto nelle zone collinari o su terreni di pianura non irrigui (Paris *et al.*, 2006).

Descrizione e Autoecologia

R. pseudoacacia può avere portamento sia arboreo che arbustivo e può raggiungere i 25-30 metri di altezza. Ha corteccia rugosa, grigio-bruna, che si fessura nelle piante adulte. I rami giovani sono spinosi. Ha foglie alterne, imparipennate, composte da 7-21 foglioline ovali, glabre, spesso dotate di stipole trasformate in spine. I fiori sono riuniti in racemi penduli, sono fogliosi alla base, hanno corolla papilionacea, bianca più raramente rosa. La fioritura avviene da maggio a giugno. I frutti sono legumi coriacei (5-10 cm), compressi, deiscenti a maturità, di colore rosso-bruno, che rimangono sulla pianta sino all'inverno. Contengono da 3 a 10 semi reniformi, molto duri di colore bruno.

La robinia predilige climi umidi e temperati e tollera un'ampia varietà di suoli, con l'eccezione di quelli estremamente secchi, sabbiosi oppure asfittici.

È una specie molto frugale, presente in boschi cedui puri, lungo scarpate, luoghi incolti, siepi, a margine dei boschi e, soprattutto in zone ruderali come lungo la rete ferroviaria e stradale, dove è stata abbondantemente introdotta per il consolidamento delle scarpate. In altitudine si spinge dal livello del mare fino a 1.300-1.500 m e, sull'Appennino, anche fino a 1.750 m di altitudine. Inoltre, è, ampiamente utilizzata a scopo ornamentale in ambienti urbani difficili, per la sua resistenza ad alti livelli di inquinamento. Non sopporta il ristagno idrico e la scarsa ossigenazione del terreno. Si adatta a diverse pendenze ed esposizioni e alla presenza di scheletro. Non si adatta alle condizioni ambientali dell'Italia Meridionale ed insulare, caratterizzate da lunghi periodi siccitosi estivi; in queste zone buoni risultati sono stati ottenuti solo in terreni di medio impasto o sciolti a reazione neutra o subacida e con una buona riserva idrica estiva, come nell'Appennino calabrese.

Come specie azotofissatrice svolge un importante ruolo di miglioramento del terreno, fungendo spesso da specie pioniera. Grazie alla presenza di noduli radicali del

batterio *Rhizobium* la robinia può avere un'attività nitrogenasica molto elevata, a tratti superiore rispetto ad altre specie arboree azotofissatrici. Si stima che un bosco di robinia sia in grado di apportare circa 60 kg ha⁻¹ anno⁻¹ di azoto al suolo tramite decomposizione della lettiera (Gras, 1991).

Descrizione dei programmi di miglioramento genetico

Il miglioramento genetico della robinia a livello europeo e internazionale ha riguardato finora quattro filoni di ricerca principali per la selezione di varietà: 1) ornamentali; 2) mellifere; 3) da legno; 4) da foraggio (Fig. 2).

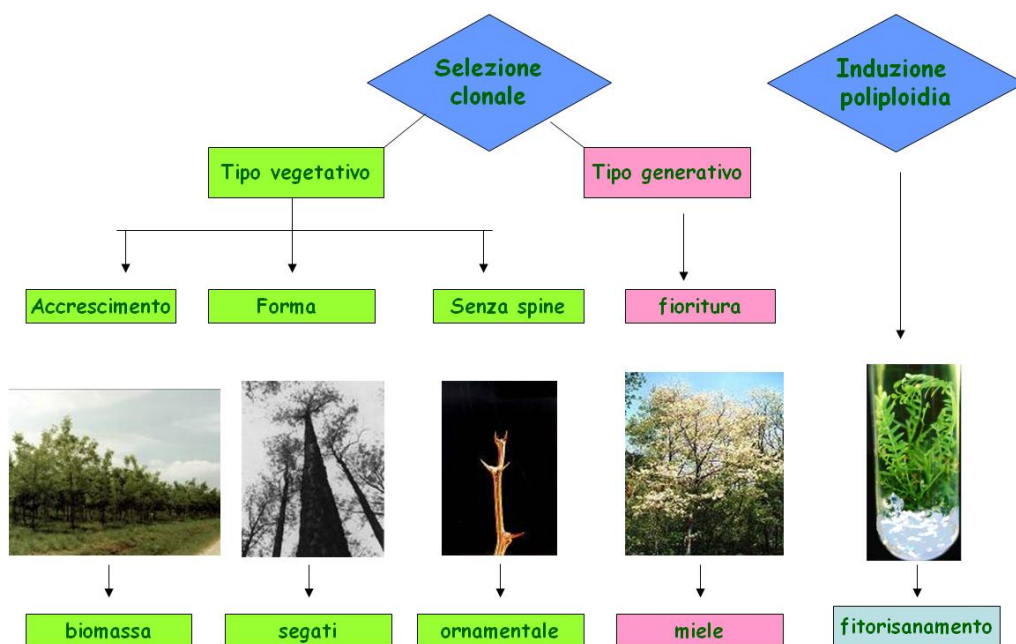


Figura 2 - Programma di selezione di nuovi genotipi di *Robinia pseudoacacia*. (da Gras, 1991 mod.).

Per quanto riguarda la selezione di varietà da legno, il lavoro più interessante è stato svolto in Ungheria dove la specie ha una notevole importanza economica. Particolare attenzione è stata rivolta verso la varietà *rectissima* (particolare tipo di robinia caratterizzata da fusti dritti, chioma stretta e rami sottili) meglio conosciuta come 'shipmast' che si distingue nettamente dalla robinia tipica che invece ha fusti spesso storti e biforcati. Un elevato numero di cloni della varietà *rectissima* sono stati selezionati a partire dagli anni 50.

Il problema maggiore per l'impiego di cloni di robinia in forma massale deriva dal sistema di propagazione. La forma tradizionale di moltiplicazione della robinia per la produzione di legname è per seme; per la propagazione vegetativa, al fine di riprodurre caratteristiche note, si impiegano talee radicali la cui produzione non è facile per: il ristretto periodo di raccolta, la facilità di disidratazione e la possibile presenza di marciumi, e in genere ha una più difficile gestione rispetto alle talee caulinari. Per scopi scientifici si usa la micropropagazione, ma non per la commercializzazione. L'individuazione di una metodologia di moltiplicazione più speditiva ed economica dell'attuale permetterebbe un maggior impiego dei cloni.

Negli USA le ricerche hanno riguardato soprattutto il campionamento dell'areale naturale e di quello di introduzione in Nord America nonché la costituzione di prove di discendenza, con alcuni confronti di famiglie di fratellastri. Le prove di progenie hanno così permesso di stimare l'ereditarietà genetica e la risposta alla selezione per caratteri di accrescimento (altezza, diametro a petto d'uomo), lunghezza spine, forma e peso specifico. Sempre negli USA sono stati selezionati in popolamenti alcuni individui 'shipmast'.

Le provenienze dell'areale primario sono frutto di raccolte effettuate da importanti istituti di Ricerca e Università americane nella seconda metà degli anni ottanta. Lo stesso vale per provenienze secondarie di Argentina, Cile, Canada, Ungheria e Corea. Per l'Italia è stato effettuato un campionamento *ad hoc* raccogliendo semi di popolamenti significativi in 14 regioni. Questo materiale è stato inserito in confronti sperimentali, replicati in diverse località italiane, per poter valutare l'interazione genotipo-ambiente. In base all'elaborazione dei dati sugli accrescimenti, è emerso che le provenienze dell'Oklahoma sono le migliori tra quelle saggiate. All'interno di questo gruppo di provenienze sono stati selezionati genotipi con caratteristiche interessanti di accrescimento, forma e assenza di spine che, quindi, sono stati avviati alla micropropagazione. Tra le provenienze italiane, invece, quella di Casale Monferrato (AL) è risultata la migliore per accrescimento.

Anche l'Istituto per le Piante da Legno e l'Ambiente (IPLA) di Torino ha lavorato nel miglioramento della robinia individuando varietà particolarmente interessanti per la forma del fusto. Analogamente il CNR- Istituto di Biologia Agro-ambientale e Forestale IBAF di Porano ha svolto ricerche sulla robinia ponendosi l'obiettivo di coniugare la ricerca agroforestale di campo con contestuali specifiche indagini di genetica e di eco-fisiologia. In particolare sono stati affrontati studi sulla variabilità e il differenziamento genetico di diverse provenienze primarie e secondarie. Presso l'attuale CRA- Unità di ricerca per le produzioni legnose fuori foresta (PLF), sede di Roma, precedentemente Centro di Sperimentazione Agricola e Forestale dell'ENCC/SAF, nel 1988 è stato intrapreso un progetto di miglioramento genetico della robinia per la produzione quali-quantitativa di legno. Sono stati costituiti alcuni confronti di provenienza nel 1989 e nel 1991 in diverse stazioni italiane con un numero considerevole di provenienze primarie e secondarie. Complessivamente il CRA-PLF, nelle sue Aziende sperimentali di Casale Monferrato (AL) e di Roma di-

sponde di 160 provenienze: 14 italiane, 125 degli areali primari (Stati Uniti) e 21 degli areali di introduzione, di cui 6 dell'Ungheria, per un totale complessivo di 6.561 genotipi (Gras *et al.*, 2009). Il progetto di miglioramento genetico prevede l'opzione gamica affiancata all'opzione clonale, per produzione sia di legname di qualità, sia di biomassa per uso energetico. Presso l'Azienda Sperimentale Ovine di Roma del CRA-PLF è presente inoltre un *Robinetum* con funzione di collezione di cloni tetraploidi e cloni ornamentali. In questo modo è possibile disporre di geni utili per programmi controllati di incrocio per la produzione di triploidi. Il programma di miglioramento genetico prevede anche l'induzione di mutanti poliploidi mediante l'impiego di colchicina, che ha consentito di selezionare alcuni cloni interessanti dal punto di vista ornamentale (mutanti clorofilliani e forme nane) e altri impiegabili per il recupero delle cave (forma prostrata).

Per quanto riguarda l'individuazione di materiale da utilizzare specificamente per la produzione energetica è in corso, presso il CRA-PLF, la selezione di differenti provenienze di *Robinia pseudoacacia*, raccolte ed allevate in arboreti situati in diverse aziende sia del CRA, che di altri enti pubblici e privati. Oggetto di selezione sono: la capacità di propagazione vegetativa, la rapidità di crescita, la resistenza alle avversità e la buona adattabilità all'ambiente. Dagli individui più interessanti sono state effettuate raccolte di seme e avviati programmi di moltiplicazione vegetativa. Utilizzando tali materiali si stanno realizzando impianti sperimentali allo scopo di approfondire la valutazione delle caratteristiche tecnologiche del legno oltre che dei comportamenti fenotipici ed agronomici. In particolare si prevede di poter valutare oltre ai caratteri sopra riportati anche quelli importanti per la combustione come il contenuto in sostanza secca e ceneri, o per la produzione dei biocarburanti come il contenuto in cellulosa, emicellulosa e lignina.

Produzioni

Dal 1973 al 1982 sono stati registrati in Ungheria i seguenti cloni: 'Zalai', 'Nyirsegi', 'Rozsaszin AC', 'Jaszkiserti', 'Kiskunsagi', 'Penzesdombi', 'Csaszartoltesi', 'Appalachia', 'Ulloi', 'Szajk' (Gras, 1991). Oltre alle miglior qualità tecnologiche i cloni selezionati presentano produzioni superiori anche del 48% (piantagioni governate a fustaia con turni di 30-35 anni) rispetto ad individui non selezionati. Questo accade anche in impianti costituiti per la produzione di biomassa con turni di 5 anni. Le prove di questo tipo hanno evidenziato che le *cultivar* selezionate sono più produttive del testimone di robinia tipica (Rédei *et al.*, 2008).

In una sperimentazione effettuata dal CRA-PLF, una provenienza Ungherese, posta a due diverse densità all'impianto: 8.000 e 12.000 p ha⁻¹, ha prodotto al primo taglio biennale rispettivamente 11,1 e 12,5 t ha⁻¹ anno⁻¹ di s.s. mentre al secondo turno le produzioni di biomassa anidra sono risultate rispettivamente di 12,5 e 9,1 t ha⁻¹ anno⁻¹ (Facciotto *et al.*, 2007). La Robinia non sembra sopportare densità troppo ele-

vate; la competizione tra i ricacci dopo la prima ceduzione ha influito negativamente sulla sopravvivenza delle ceppaie e sulla produzione.

In un altro impianto con densità iniziale intorno alla 8.000 p ha⁻¹ situato presso l'azienda sperimentale Mezzi e già ceduto quattro volte con turno bi-triennale (Tab. 1) si osserva che la produzione, dopo un leggero aumento tra il primo ed il secondo raccolto, tende a rimanere costante nel tempo con variazioni in più o in meno a seconda dell'andamento climatico poiché viene condotta con bassi input culturali.

Tabella 1 - Casale Monferrato (AL). Produzioni di biomassa di un ceduo a turno breve di robinia, espressa in t·ha⁻¹·anno⁻¹ di sostanza secca, nei primi quattro cicli di produzione; primo, secondo e quarto di durata biennale (2a), il terzo di durata triennale (3a) (da Facciotto *et al.*, 2011).

Specie	Ciclo di raccolta			
	1(2a)	2 (2a)	3 (3a)	4 (2a)
Robinia	11,6	12,4	12,2	14,4

In una prova condotta in Ungheria con 5 cultivar di Robinia allevate alla densità di circa 6.670 p·ha⁻¹ le produzioni sono risultate crescenti con l'allungamento del turno di taglio. Nella *cultivar* 'Üllői', la più produttiva in quell'ambiente, l'incremento annuale di biomassa anidra alla fine del terzo, quinto e settimo anno è risultata rispettivamente di 3,0; 8,0 e 9,7 t·ha⁻¹·anno⁻¹ (Rédei *et al.*, 2010); l'allungamento dei turni in questa specie consente di massimizzare le produzioni.

In impianti con 1.500 p ha⁻¹, su terreni non irrigui di fondovalle collinare del Monferrato (AL) sono state misurate produttività di 6,6 t·ha⁻¹·anno⁻¹ di s.s. In piantagioni di robinia situate in Italia centrale, con densità di 1.100 p ha⁻¹, ma con turni più lunghi oltre i 14-15 anni, le produzioni di sostanza secca si avvicinano a quelle ungheresi sopra riportate (Tab. 2).

Tabella 2 - Produzione di biomassa secca in t ha⁻¹ anno⁻¹ di piantagioni sperimentali di robinia situate in Italia Centrale.

Densità Piante ha ⁻¹	età rilievi anni	media ¹	massimo ²	migl. prov. ³
1.100	17	4,65	6,60	Italia (AL)
1.100	15	4,81	6,95	Ungheria
1.100	16	3,83	6,56	Ungheria
1.100	14	4,81	7,20	Oklahoma

(¹) media delle provenienze a confronto; (²) provenienza più produttiva; (³) migliore provenienza.

Nell'ambito del progetto Suscace sono state costituite dalle aziende saccarifere partecipanti al progetto poco più di una decina di piantagioni per complessivi 55 ha e, al termine del primo turno biennale, le quantità di biomassa anidra prodotte risultano

particolarmente variabili tra i vari appezzamenti, vanno da circa 6 t·ha⁻¹·anno⁻¹ a oltre 17 t·ha⁻¹·anno⁻¹; in media si sono ottenuti 8,10 t·ha⁻¹·anno⁻¹.

Bibliografia

- Facciotto G., Bergante S., Mughini G., Gras M.A., Nervo G., 2007. Tecnica e modelli colturali per cedui a breve rotazione. L'Informatore Agrario 63: (40) 38-42.
- Gras, M.A., 1991. *Robinia pseudoacacia* L. Annotazioni da una ricerca bibliografica. SAF Roma.
- Gras M.A., Mughini G., 2009. *Robinia pseudoacacia* L.. In: Risorse Genetiche Forestali in Italia. Arezzo; Centro per la Ricerca in Selvicoltura. Cap. 4 1-4 [It]
- Paris P, Gras M.A., Malvolti M.E., Ecosse A., Cannata F., 2006. La robinia coltivata a turno brevissimo (black locust SRC). Bioenergy World Exhibition, Verona, 9-12 febbraio.
- Rédei K., Osváth-Bujtás Z., Veperdi I., Orlović S., 2008. Improvement of black locust (*Robinia pseudoacacia*) stands. Proceedinf of International conference: "Forestry in achieving millennium goals", Novi sad, 2009; pp. 41-45.
- Rédei K., Veperdi I., Csiha I., Keseru Z., Gyori J., 2010. Yield of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) Short-Rotation energy crops in Hungary: case study in a field trial. Lesnícky časopis – Forestry Journal 56(4): 327-335.

B

Tecnica colturale

I. Colture legnose

1 - L'impianto del pioppeto: riduzione dei costi attraverso la lavorazione del terreno in bande

Poplar planting: cost reduction through reduced tillage on strips before planting

Luigi Pari*, Alberto Assirelli*

Riassunto

Obiettivo della ricerca è stato quello di affrontare alcune problematiche della fase di impianto del pioppeto, concentrando l'attenzione su aspetti innovativi. Il CRA-ING, nell'ambito del progetto SUSCACE, ha promosso un'attività di ricerca mirata alla messa a punto di un prototipo di aratro rotativo in grado di eseguire, in un unico passaggio, sia una profonda fessurazione del suolo sia l'affinamento superficiale della banda di terreno in cui verranno trapiantate le talee.

L'attecchimento del pioppo introdotto in nuovi areali viene spesso ostacolato dalla presenza di un crostone di lavorazione che impedisce la formazione e l'allungamento dell'apparato radicale. Il CRA-ING ha sviluppato un prototipo per la preparazione del terreno mediante lavorazione ridotta (RT) finalizzata alla rottura della suola di lavorazione e alla riduzione sia del carico di traffico sul terreno che del costo delle lavorazioni. La macchina (un aratro rotativo modificato mediante l'inserimento di una lama verticale) è in grado di eseguire, con una sola operazione, la rottura profonda del suolo e l'affinamento dello strato superficiale, interessando solo la striscia di terreno in cui verranno trapiantate le talee. L'esperimento ha confrontato la tecnica convenzionale (CT) impiegata per la preparazione del terreno (ripuntatura, aratura e due erpicature) con quella ridotta, effettuata con l'aratro rotativo modificato. Quest'ultimo ha permesso la riduzio-

* CRA-ING – Unità di ricerca per l'Ingegneria Agraria, Monterotondo (Roma).

ne del numero di operazioni sul campo creando, allo stesso tempo, le migliori condizioni per il processo di radicazione senza effetti significativi sulla resa.

Parole chiave: pioppo, *Short rotation forestry*, lavorazione ridotta, biomasse

Abstract

Poplar planting, an important phase for crop success, can be considered not limited to the mere transplanting of cuttings, but thought as a complex chain in which stands the cuttings production (particularly onerous because done almost by hand), the soil tillage and the cuttings plantation.

Frequently the poplar has been introduced on soils managed with conventional farming practices, which determine the formation of a hardpan. This constitutes a serious obstacle for the lengthening of rooting apparatus, the water availability and, hence, for the successful establishment of poplar grove. To this end CRA-ING, within the SUS-CACE project, has developed a new system for reduced tillage (RT) during the soil preparation of poplar planting aimed at the breaking of tillage pan and at the reduction of both the traffic load on soil and the cost of tillage. The machine (a modified rotary plow adding one shank subsoiler) is able to execute in a single operation both the deep cracking of the soil and the superficial thinning of the area where the cuttings will be transplanted. The experiment compared the conventional (subsoiling, plowing and two harrowings) tillage (CT) with the RT carried out with the modified rotary plow. The work has evidenced that RT performed by Falc/Cra-Ing prototype allowed the reduction of the number of field operations and, consequently, all the problems related (soil compaction, need to found the soil in good conditions for accessibility, reduction of energy input due to the cultural techniques), creating, at the same time, the better conditions for poplar rooting without meaningful effects on yield.

Keywords: *poplar, Short rotation forestry, reduced tillage, biomass.*

1. Introduzione

In Italia, negli ultimi anni, si è assistito, grazie anche agli incentivi previsti dai programmi regionali per lo sviluppo rurale, ad un'estensione delle superfici destinate a cedui a turno breve (*Short Rotation Forest - SRF*), con progressiva diffusione delle coltivazioni dal Nord (dove la Lombardia è la regione con la maggiore superficie investita) alle regioni dell'Italia Centrale (Umbria, Emilia Romagna, Toscana, Marche, Abruzzo, Lazio). La specie maggiormente utilizzata è il pioppo (*Populus* spp.), in quanto presenta alta produzione di biomassa, facilità di propagazione, crescita rapida, limitate esigenze termiche (Salvati *et al.*, 2007).

In relazione al bilancio economico della coltura, il costo di impianto unitamente al costo di raccolta sono le voci che possono arrivare a costituire quasi l'80% del totale dei costi colturali (Manzone *et al.*, 2009), da cui ne consegue la necessità di individuare forme di meccanizzazione finalizzate alla loro riduzione. Relativamente alle operazioni di raccolta, le diverse soluzioni già sviluppate e testate hanno confermato un'ideale produttività (Pari e Fredrizzi, 2005; Pari *et al.*, 2010; Pari e Civitarese, 2010; Verani *et al.*, 2010).

Un aspetto di criticità, legato soprattutto al successo del futuro impianto, riguarda la preparazione del terreno che ospiterà il pioppeto. La diffusione delle SRF ha portato all'introduzione del pioppo in aree meno vocate per la sua coltivazione ed in cui le tradizionali pratiche agricole prevedono il ricorso a frequenti arature profonde. Ciò determina la formazione di un crostone di lavorazione che costituisce un serio ostacolo allo sviluppo di un apparato radicale ampio e funzionale. La fase di impianto, che si può stimare vada dall'inizio della preparazione del terreno fino al completo attecchimento degli astoni, è fondamentale per il successo della SRF, in quanto percentuali di sopravvivenza inferiori all'80% sono considerati troppo bassi e una scarsa produzione di biomassa nel primo anno influenzerà negativamente l'intero andamento produttivo del pioppeto. Le diverse soluzioni comunemente adottate per la preparazione del terreno (di norma una lavorazione principale seguita da lavori complementari di affinamento) richiedono diversi passaggi durante l'inverno (con tempi e modalità dettati dall'andamento termopluviometrico) fino a poco prima del trapianto (Bonari *et al.*, 2004), con un conseguente rischio di alterazione della struttura del suolo (compattamento), un aumento dei costi di produzione ed un'elevata domanda energetica. Dal punto di vista economico, inoltre, la preparazione del terreno risulta nettamente sfavorevole per il numero di cantieri coinvolti ed il numero di passaggi richiesti.

Il CRA-ING, nell'ottica di ridurre il costo di impianto del pioppeto, nell'ambito del progetto SUSFACE, ha promosso un'attività di ricerca mirata a valutare l'impiego di un aratro rotativo (Falc Land 1500), macchina già nota per le sue prestazioni di lavoro (Pezzi, 2004), su cui sono state progettate e realizzate alcune modifiche in grado di far eseguire, in un unico passaggio, sia una profonda fessurazione del suolo che l'affinamento superficiale della banda di terreno in cui verranno trapiantate le talee.

Nel presente lavoro vengono riportati i primi risultati delle prove effettuate dal CRA-ING, illustrando i dati ottenuti dal confronto tra la preparazione del terreno effettuata con il prototipo CRA-ING della Falc Land 1500 (*Reduced tillage* - RT) e la preparazione effettuata secondo l'approccio tradizionale (*Conventional Tillage* - CT), caratterizzato da ripuntatura, aratura e due erpicature.

2. Materiali e metodi

a) Descrizione del sito

Il confronto tra il sistema di lavorazione ridotta (*Reduced Tillage* - RT) effettuata con il prototipo CRA-ING dell'aratro rotativo Falc Land 1500 ed il sistema di lavorazione tradizionale (*Conventional Tillage* - CT) è stato condotto da febbraio a ottobre a Vergiano (44° 02'N, 12° 29'E, 36 m slm), in provincia di Rimini. Si è operato su un terreno limo-argilloso avente le seguenti proprietà chimico-fisiche: 21% sabbia, 39% limo, 40% argilla, pH 8,1, 2,42% di sostanza organica, 1,53% di azoto totale, 11 ppm P disponibile e 489 ppm K scambiabile, C/N 9,17. In precessione era stata seminata cicoria da seme.

Il trapianto è stato effettuato il 28 febbraio 2008 utilizzando una trapiantatrice semiautomatica. Le talee dei due cloni di pioppo previsti per l'impianto, AF2 e Monviso® (Franco Alasia Vivai, Savigliano, Cuneo, Italia), avevano una lunghezza di circa 22 cm, con un diametro compreso tra 10 e 25 mm e sono state conservate a 3-4°C. Il confronto delle due differenti preparazioni del terreno (CT e RT) è stato effettuato per entrambi i cloni. Subito dopo la messa a dimora si è proceduto al diserbo chimico utilizzando oxifluorfen (1 L ha⁻¹), pendimetalin (2,5 L ha⁻¹) e glufosinate ammonio (3 L ha⁻¹). Durante il periodo di prova non sono stati eseguiti trattamenti antiparassitari né interventi di concimazione.

Il disegno sperimentale era costituito da uno split-plot dove il trattamento principale era la preparazione del terreno ed i cloni le sub-parcelle. Il sesto di impianto era a file singole distanziate 3 m e con piante distanti 0,57 m sulla fila, per un investimento di 5800 talee ha⁻¹. Le sub-parcelle erano composte da due file (ognuna corrispondente ad una replica) di 614 piante (lunghezza complessiva, 350 m); il campo sperimentale era delimitato da due file di bordo e la superficie totale investita per la prova è risultata essere di 1,05 ettari.

L'effetto della preparazione del terreno sullo sviluppo vegetativo delle talee è stato valutato calcolando, in due epoche diverse (giugno e ottobre 2008), la percentuale di sopravvivenza delle piante (considerando l'intero campo sperimentale) e l'altezza della pianta, quest'ultima su un sottocampione di 35 piante per fila.

b) Lavorazione ridotta (RT) e convenzionale (CT)

Sono state confrontati due tipi di preparazione del terreno per l'impianto del pioppeto, un sistema tradizionale (CT) ed una soluzione innovativa, utilizzando un prototipo messo a punto dal CRA-ING per l'effettuazione di una lavorazione ridotta (RT). Gli aspetti dimensionali delle macchine utilizzate per il confronto sono riportati nella tabella 1.

Il prototipo è basato sull'aratro rotativo Falc Land 1500 opportunamente modificato e prodotto attraverso una collaborazione tra il CRA-ING e la società Falc di Faenza (Ravenna, Italia). Il Falc Land 1500 originale era formato da un aratro rotativo

fornito di 12 lance montate su un asse orizzontale su cui è possibile distinguere tre settori, distanziati 35 cm, ciascuno composto da quattro lance. La larghezza di lavoro era di 1,5 m, ed i settori centrale e laterale raggiungevano una profondità rispettivamente di 55 e 45 cm.

Tabella 1 – Caratteristiche principali delle macchine utilizzate nella prova.

Lavorazione	Macchina	Modello	Potenza (CV)	Peso totale (Mg)	Aspetti dimensionali	
					Profondità (m)	Larghezza (m)
Preparazione tradizionale (CT)						
Ripuntatura	Trattore	John Deere 7810	185	6,74	0,5	
	Ripuntatore	Rinieri		0,87		
Aratura	Trattore	John Deere 7810	185	6,74		
	Aratro	Mattioli		1,30	0,4	
Prima erpicatura	Trattore	John Deere 6400	100	4,63		
	Erpice rotativo	Maschio 3000		1,01		3
Seconda erpicatura	Trattore	John Deere 7810	185	6,74		
	Erpice a denti	Fraternali		1,08	0,25	3
Lavorazione ridotta (RT)						
	Trattore	John Deere 3050	115	5,54		
	Prototipo Falc/Cra-Ing	Lance rotative con discissore centrale		1,90	0,84	1,5

Anteriormente all'albero di supporto e azionamento delle lance, il CRA-ING ha installato una lama verticale ripiegabile durante il trasporto e regolabile in profondità, che permette di eseguire una pre-fessurazione profonda, fino ad oltre 0,8 m. La lama è fissata con perno articolato per permettere una facile regolazione e rimozione della stessa. In questo modo il profilo originale della lavorazione effettuata viene significativamente modificato da una fessurazione verticale centrale, profonda oltre 0,8 metri e, quindi, al di sotto della suola di lavorazione (Fig. 1).



Figura 1 - Prototipo Falc/Cra-Ing: apparato rotativo e lama per la pre-fessurazione profonda (sinistra); il prototipo al lavoro (destra).

I trattamenti sono stati applicati prima dell'impianto del pioppeto, nelle seguenti date:

- relativamente al RT, prototipo Falc/Cra-Ing, 16 settembre 2007;
- relativamente al CT, ripuntatura, 30 agosto 2007; aratura, 4 settembre 2007; prima erpicatura, 10 Settembre 2007; seconda erpicatura, 25 febbraio 2008.

Le condizioni climatiche sono state rilevate mediante una stazione meteorologica situata nei pressi del campo sperimentale adeguatamente attrezzata. Le capacità di lavoro delle macchine sono state determinate attraverso lo studio dei tempi secondo il metodo ufficiale della Commition Internationale de l'Organisation Scientifique du Travail en Agriculture (C.I.O.S.T.A.) in accordo con le raccomandazioni dell'Associazione Italiana di Ingegneria Agraria (A.I.G.R.) 3A R1. Il costo macchine è stato stimato con il metodo riportato da Baraldi e Capelli (1973).

3. Risultati e discussione

a) Sopravvivenza e sviluppo delle talee

La lavorazione del terreno prima del trapianto di pioppo può svolgere un ruolo fondamentale sul futuro sviluppo della coltura: la sua funzione principale è quella di creare le condizioni più adatte per un veloce radicamento, favorendo al contempo la disponibilità di acqua e di nutrienti. La promozione di un rapido approfondimento delle radici a partire dai primi mesi dopo l'impianto, negli strati di terreno al di sotto del crostone di lavorazione, spesso presente nei terreni pesanti del Nord e Centro Italia, aumenta la sopravvivenza della pianta durante il primo anno di sviluppo evitando il ricorso all'irrigazione di soccorso e permettendo così la crescita della coltura in ambienti dove il soccorso idrico non sempre viene praticato.

Nella presente prova è stata valutata anche la possibilità di procedere alla contemporanea lavorazione del terreno e trapianto delle talee in un unico passaggio. Nel settembre 2007 è stato effettuato un primo impianto mettendo a dimora gli astoni di pioppo subito dopo l'intervento con il prototipo Falc/Cra-Ing (per quel che concerne il RT) oppure la prima erpicatura (per il CT). La prova non ha avuto esito positivo in quanto dopo nove mesi si è registrato un tasso di mortalità variabile dal 50% al 92% per le tesi a confronto (dati non riportati).

Le condizioni ambientali ed il grado di affinamento del terreno sembrano essere le principali cause che hanno contribuito al fallimento del trapianto autunnale. Le temperature progressivamente decrescenti associate all'aumento delle precipitazioni e, di conseguenza, ad un eccesso di umidità del suolo possono aver ridotto gli effetti strutturanti attesi con la lavorazione del terreno (mancanza di un adeguato sostegno, ridotta assunzione di nutrienti, ritardi nella formazione ed espansione delle radici e degli abbozzi radicali), influenzando negativamente la fisiologia delle piante e, quindi, lo stimolo al processo di radicazione. A conferma di ciò, nel mese di giugno è stato osservato un considerevole aumento della larghezza della ceppaia basale, probabilmente imputabile all'aborto dei germogli dell'anno precedente, percepito dalla pianta come una sorta di ceduzione che ha successivamente stimolato la ripresa vegetativa a livello del colletto.

Per quanto riguarda il trapianto primaverile, le talee hanno beneficiato di temperature miti progressivamente crescenti, con una buone condizioni di umidità del suolo derivanti dal verificarsi di precipitazioni abbondanti (Fig. 2). In questo caso le talee hanno radicato e si sono sviluppate omogeneamente come si può dedurre dall'altezza della piante rilevata quattro (giugno) e otto (ottobre) mesi dopo il trapianto (Fig. 3). La mancanza di differenze statistiche tra RT e CT ha dimostrato l'equivalenza, in termini di sviluppo delle piante, dei due sistemi di lavorazione del terreno.

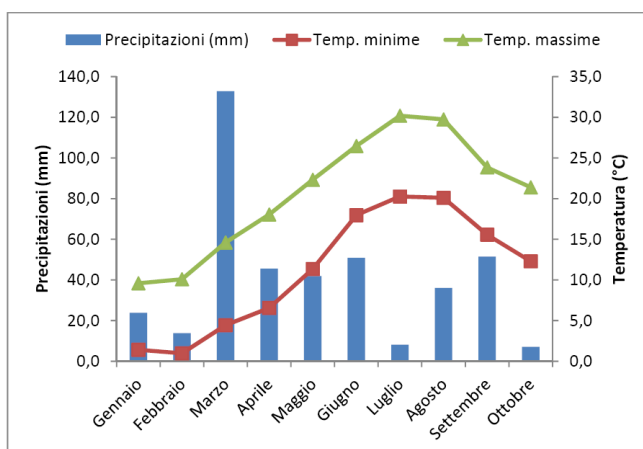


Figura 2 - Medie mensili delle precipitazioni (mm) e delle temperature minime e massime (°C) registrate durante lo svolgimento della prova (gennaio-ottobre 2008).

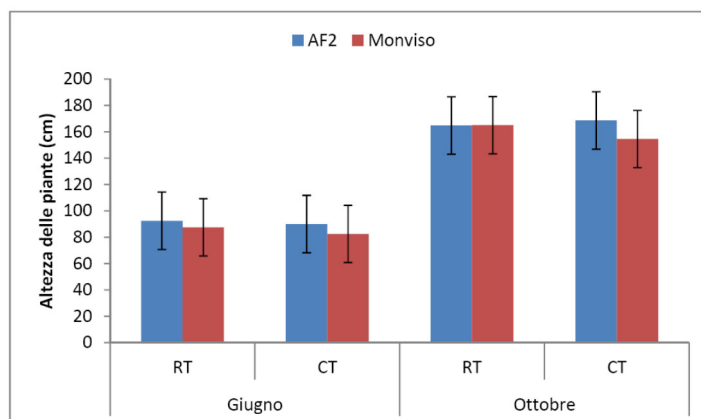


Figura 3 - Altezze medie delle talee dei cloni di pioppo AF2 e Monviso rilevate quattro (giugno) e otto (ottobre) mesi dopo la messa a dimora e trapiantate su terreno sottoposto a lavorazione ridotta (RT) o convenzionale (CT). Le barre verticali rappresentano l'errore standard delle medie.

Un risultato particolarmente importante riguarda il tasso di sopravvivenza delle piante (Fig. 4), in quanto le talee di entrambi i cloni hanno mostrato una più alta percentuale di sopravvivenza per quel che riguarda la lavorazione ridotta (RT). Le ripetute sollecitazioni meccaniche a cui è sottoposto il suolo ricorrendo alla preparazione tradizionale (CT) determina evidentemente condizioni strutturali non del tutto favorevole per la radicazione, mentre l'azione concomitante di rottura del suolo, rimescolamento e discissura eseguiti dal prototipo Falc/Cra-Ing con un solo passaggio ha migliorato l'omogeneità dello strato superficiale del terreno e una struttura più

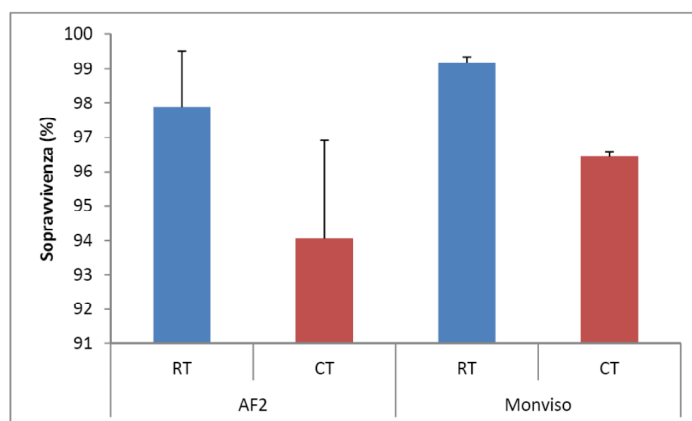


Figura 4 - Sopravvivenza (%) delle tale dei cloni di pioppo AF2 e Monviso osservata due mesi (aprile) dopo la messa a dimora e trapiantate su terreno sottoposto a lavorazione ridotta (RT) o convenzionale (CT). Le barre verticali rappresentano l'errore standard delle medie.

aperta alla penetrazione di aria e acqua negli strati profondi conseguente alla rottura della suola di aratura. Tale osservazione riprende le conclusioni di Balbuena *et al.* (2002) che, studiando l'effetto di diverse intensità di traffico in impianti di pioppo di un anno, ha mostrato come queste non influenzino l'altezza dei germogli, quanto piuttosto la mortalità delle piante (che aumenta dal 42,3 al 51,5% con l'aumentare del numero dei passaggi), effetto questo che gli autori attribuiscono al compattamento del suolo.

Va messo, infine, in evidenza l'influenza positiva svolta dalla contemporanea azione di rottura profonda e affinamento superficiale effettuata dal prototipo Falc/Cra-Ing sulla sopravvivenza delle piante durante l'estate, un periodo durante il quale, per il pioppo, spesso non è prevista l'irrigazione. A conferma di ciò, va sottolineato come gli impianti sperimentali abbiano fatto registrare alla fine del turno (due anni) un rendimento di 27,2 e 28,4 t ha⁻¹ rispettivamente per RT e CT, con una differenza che non è risultata statisticamente significativa dopo il test ANOVA.

b) Capacità operative e convenienza economica

I dati operativi in termini di velocità ed il tempo effettivo di lavoro del prototipo sono risultati intermedi tra quelli dell'aratro e dell'erpice rotativo usato nella prima erpicatura (Tab. 2). Considerando l'effetto frenante della lama verticale, è stata osservata una prevedibile riduzione della velocità rispetto sia ai due erpici che al ripuntatore, senza, tuttavia, effetti negativi sull'efficacia del lavoro. Infatti, sebbene esegua contemporaneamente le funzioni di un aratro rotativo e di un ripuntatore, il prototipo Falc/Cra-Ing ha mostrato tempi effettivi di lavoro inferiori solo all'erpice rotativo, con conseguente, riduzione dei ritardi (tempo di lavoro per le svolte e la regolazione di campo). Sempre il prototipo ha presentato una velocità di lavoro di 1,8 km/h che, rapportata alla larghezza di lavoro coperta, determinata dall'interfilare di trapianto (3m), si traduce in una capacità di lavoro effettiva di 0,54 ha h⁻¹;

Tabella 2 - Risultati operative delle machine impiegate.

	U.M.	Lavorazione ridotta (RT) Prototipo Falc/Cra-Ing	Preparazione tradizionale (CT)			
			Ripuntatore	Aratro	Prima erpicatura	Seconda erpicatura
Velocità effettiva	km h ⁻¹	1,91	2,66	1,51	2,20	4,28
Velocità operative	km h ⁻¹	1,80	2,48	1,37	2,09	4,00
Capacità di lavoro	ha h ⁻¹	0,54	0,75	0,41	0,63	1,20
Tempo effettivo di lavoro	%	94,93	94,12	91,38	96,17	93,10
Tempo accessorio	%	5,07	5,88	8,62	3,83	6,90
Totale	%	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

poiché i rendimenti riscontrati sono stati dell'ordine del 94,93% la capacità di lavoro operativa è risultata di circa due ore ad ettaro (1,51').

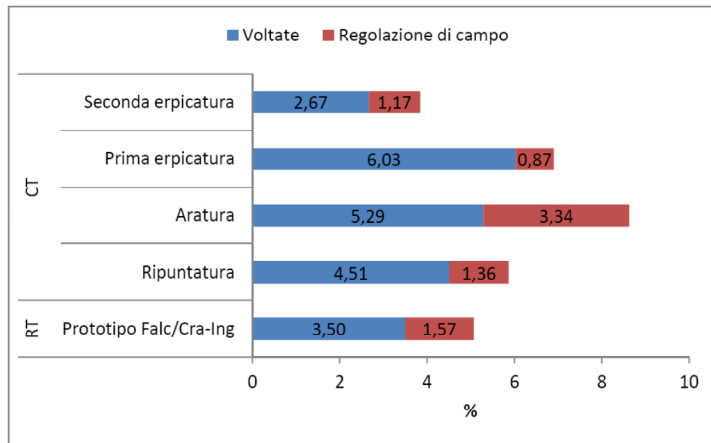


Figura 5 - Dettaglio di tempi morti per volate e regolazioni di campo registrati per la preparazione del terreno mediante lavorazione ridotta (RT) o tradizionale (CT).

Nel dettaglio (Fig. 5), il prototipo ha mostrato una buona flessibilità e manovrabilità richiedendo il 3,5% del tempo totale di lavoro per i ritardi e le svolte, con dei tempi per le regolazioni di campo superiori rispetto ai due erpici e all'aratro reversibile (ripuntatore).

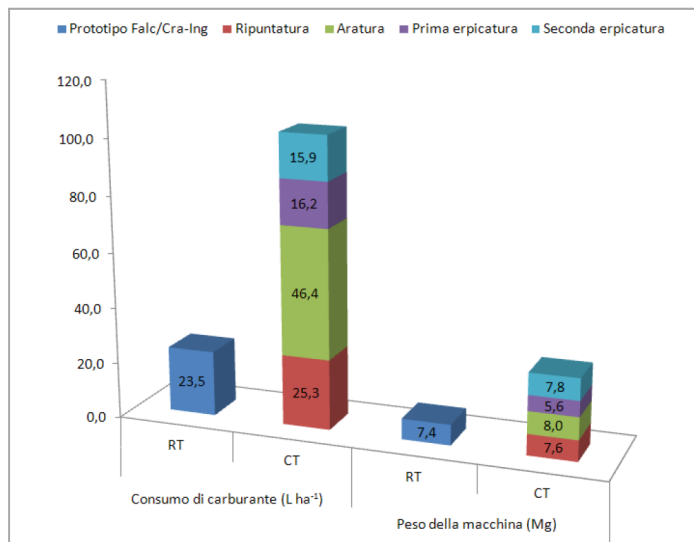


Figura 6 - Consumo di carburante (L ha⁻¹) e peso delle macchine (Mg) relativi ai cantieri di lavoro usati nella lavorazione ridotta (RT) o tradizionale (CT).

Dal punto di vista dell'impatto ambientale dei due sistemi di coltivazione, è chiaro che lo stesso obiettivo in termini di risultato agronomico è stato raggiunto attraverso una riduzione del consumo di carburante e dell'intensità di traffico con un conseguente minor carico delle macchine sul suolo (Fig. 6). Per quel che concerne i consumi, si è avuto un risparmio di 80,3 L ha⁻¹ (103,8 l ha⁻¹ come somma del consumo di carburante con il CT vs 23,5 L ha⁻¹ con RT) pari al 77% del combustibile totale richiesto per la preparazione del terreno con il CT. In relazione al carico del traffico, la preparazione per l'impianto è stata effettuata sottoponendo il terreno ad un peso di 7,4 Mg con la lavorazione ridotta (RT) contro un peso complessivo di 29,0 Mg (seppure differito in quattro passaggi) registrato con la preparazione tradizionale (CT). Ciò riduce fortemente il calpestio del terreno (Tab. 3).

Tabella 3 - Superficie di suolo interessata dal calpestio dei cantieri utilizzati nella prova.

Lavorazione	Larghezza dei pneumatici del trattore (mm)		Peso della macchina (Mg)	Larghezza		
	Anteriori	Posteriori		Calpestate ^a (m)	Lavorata (m)	Rapporto calpestate/lavorata (%)
Preparazione tradizionale (CT)						
Ripuntatura	540	710	7,60	1,42	2,0	71,0
Aratura	540	710	8,04	1,42	1,2	118,3
Prima erpicatura	380	420	5,64	0,84	3,0	28,0
Seconda erpicatura	540	710	7,82	1,42	3,0	47,3
Lavorazione ridotta (RT)						
Prototipo Falc/Cra-Ing	380	420	7,44	0,84	3,0	28,0

^a Calcolata per gli pneumatici posteriori

Il costo orario del prototipo è risultato in linea con i valori calcolati per gli altri trattamenti, con la sola eccezione dell'erpice rotativo (Tab. 4). Tenendo conto della sua capacità di lavoro (0,54 ettari h⁻¹ – Tab. 2), il costo per unità di superficie del RT è risultato piuttosto alto (109,46 € ha⁻¹), appena inferiore al valore osservato per l'aratura (139,44 € ha⁻¹). Tuttavia, poiché per la lavorazione ridotta (RT) la preparazione del terreno prevede l'utilizzo solo del prototipo, il costo per unità di superficie è limitato a questo intervento con una riduzione di circa il 65,8% dei costi di preparazione del terreno rispetto al CT.

Tabella 4 – Aspetti economici dei cantieri analizzati nella prova.

Operazione	Costo orario (€ h⁻¹)	Costo per unità di superficie (€ ha⁻¹)
Preparazione tradizionale (CT)		
Ripuntatura	54,23	72,31
Aratura	57,17	139,44
Prima erpicatura	40,20	63,81
Seconda erpicatura	53,87	44,89
Lavorazione ridotta (RT)		
Prototipo Falc/Cra-Ing	54,97	109,46

4. Conclusioni

I due sistemi di lavorazione (lavorazione convenzionale vs lavorazione ridotta) hanno mostrato profonde differenze in termini di produttività delle macchine e di convenienza economica. Il punto di forza del prototipo Falc/Cra-Ing è costituito dalla possibilità di ridurre il numero di operazioni in campo con tutti i problemi ad essa legati: rischio di un eccessivo compattamento del suolo, necessità di trovare il terreno in buone condizioni per l'accessibilità delle macchine, aumento delle emissioni a causa di tecniche colturali intensive, aumento dei consumi.

Il prototipo ha messo in evidenza la scelta strategica di combinare un ripuntatore profondo, che richiede un notevole sforzo di trazione, con un rotoaratro, il quale, utilizzando l'energia fornita dalla presa di potenza, imprime una spinta favorevole all'avanzamento. Rispetto alla tecnica tradizionale la lavorazione del terreno con l'aratro rotativo modificato ha permesso uno sviluppo comparabile delle piante, ma con un miglioramento della loro percentuale di sopravvivenza dopo l'impianto. Ciò è probabilmente dovuto ad una maggiore facilità di approfondimento delle radici, quest'ultima favorita dalla possibilità di posizionamento delle talee in corrispondenza delle fessurazioni profonde, condizione non sempre ottenibile ricorrendo alla tradizionale discissura profonda prima dell'aratura.

L'utilizzo del prototipo rende, così, possibile l'introduzione del pioppo ad uso energetico nelle aree del Nord e Centro Italia dove le pratiche agricole tradizionali hanno causato la formazione di un crostone di lavorazione in grado di influenzare negativamente il successo dell'impianto. La sopravvivenza delle talee durante il pri-

mo anno vegetativo può aver luogo senza ricorrere ad irrigazioni di soccorso, permettendo la diffusione della coltura anche in realtà non facilmente irrigabili.

La preparazione del terreno in un unico passaggio è sicuramente vantaggiosa anche da un punto di vista agronomico, economico e ambientale e può essere considerata una valida alternativa al lavoro tradizionale in termini di risparmio energetico.

Bibliografia

- Baraldi G., Capelli G., 1973. Elementi tecnici per il calcolo del costo di esercizio delle macchine agricole. *Genio Rurale* 36, 37-76.
- Bonari E., Picchi G., Guidi W., Piccioni E., Fraga A., Villani R., 2004. Le colture da energia. In: *Quaderno ARSIA "Le colture dedicate ad uso energetico: il progetto Bioenergy Farm"*, Ed. ARSIA, Firenze, pp. 29-78.
- Balbuena R., Mac Donagh P., Marquina J., Jorajuria D., Terminiello A., Claverie J., 2002. Wheel traffic influence on poplar regeneration and grass yield. *Bio-systems engineering* 81(4), 379-384.
- Manzone M., Airoldi G., Balsari P., 2009. Energetic and economic evaluation of a poplar cultivation for the biomass production in Italy. *Biomass and Bioenergy* 33, 1258-1264.
- Pari L., Fredrizzi M., 2005. Migliora l'efficienza del pioppo a ciclo annuale. *L'Informatore Agrario* 30, 54-58.
- Pari L., Civitaresse V., Del Giudice A., 2010. Abbattitrice andanatrice. Versione pre-commerciale della macchina. In: *Innovazioni tecnologiche per le agro energie. Sinergie tra ricerca e impresa. Sherwood 168, supplemento 2*, pp. 6-10.
- Pari L., Civitaresse V., 2010. Una semovente per la raccolta e la cippatura. Sviluppo di una macchina dedicata alle colture da biomassa. In: *Innovazioni tecnologiche per le agro energie. Sinergie tra ricerca e impresa. Sherwood 168, supplemento 2*, pp. 11-13.
- Pezzi F., 2004. Regolazioni e prestazioni di un coltivatore rotativo. *Riv. di Ing. Agr.* 1, 43-50.
- Salvati R., Chirici G., Corona P., 2007. Modello di valutazione dell'attitudine fisica del territorio per la realizzazione di impianti cedui da biomassa in Italia. *L'Italia forestale e Montana* 5/6, 399-410.
- Verani S., Sperandio G., Di Matteo G., 2010. Analisi del lavoro della Claas Jaguar 880 con testata GBE-1 nella raccolta di un pioppeto da biomassa. *Forest@* 7, 22-27.

2 - Concimazione ed irrigazione del pioppeto per produzione di biomassa

Fertilization and irrigation of poplar for biomass production

Gianni Faccioto*

Riassunto

Concimazione ed irrigazione sono due interventi colturali costosi in termini energetici ed economici per cui vanno effettuati con oculatezza poiché il legno sminuzzato sul mercato spunta prezzi piuttosto bassi. Anche se le prove di concimazione effettuate in cedui di pioppo costituiti su suoli di buona fertilità non hanno dato incrementi produttivi statisticamente significativi, con la rimozione periodica della biomassa lentamente si impoverisce il terreno. Per evitare ciò è necessario ricorrere alla concimazione di mantenimento al fine di restituire almeno le quantità di nutrienti asportati con la raccolta. In cedui di pioppo biennali o quinquennali con ciclo di vita di dieci anni, per non intaccare le riserve nutritive del suolo, è necessario somministrare complessivamente 350÷600 kg ha⁻¹ di N₂, 150÷200 kg ha⁻¹ di P₂O₅ e 350÷420 kg ha⁻¹ di K₂O. È consigliabile interrare il fosforo e il potassio con le lavorazioni di preparazione all'impianto. La concimazione azotata potrebbe essere effettuata ogni due anni nei cedui con raccolta biennale, appena dopo la ceduzione o all'inizio del secondo anno di ogni turno; nei primi tre anni dopo l'impianto o la ceduzione invece nei cedui a turno quinquennale. La dose d'azoto va frazionata in più applicazioni nel periodo compreso tra la germogliazione e l'inizio dell'estate localizzandola in prossimità della fila se l'operazione è svolta nell'anno dell'impianto, altrimenti va distribuita su tutta la superficie negli anni successivi quando ormai le piante o le ceppaie hanno un apparato radicale ben sviluppato. Il consumo idrico può essere stimato in riferimento alla quantità di acqua traspirata per elaborare l'unità di sostanza secca. Nel caso del clone di *Populus ×canadensis* 'I-214' è stato determinato spe-

* CRA –Unità di Ricerca per le Produzioni Legnose fuori Foresta.

rimentalmente che sono necessari circa 350 litri di acqua per produrre 1 kg di sostanza secca, altri cloni possono essere meno esigenti. L'irrigazione pur non essendo indispensabile nella pianura padana, se effettuata distribuendo complessivamente nel periodo estivo tra i 150 e 200 mm di acqua permette di aumentare la produzione di biomassa. I metodi d'irrigazione più diffusi sono essenzialmente due: a scorrimento e per aspersione; recentemente sono stati testati anche sistemi d'irrigazione a goccia che consentono un utilizzo razionale dell'acqua evitando gli sprechi.

Parole chiave: Pioppo, cedui a turno breve, irrigazione, concimazione, produzione.

Abstract

Fertilization and irrigation are two expensive operation from energetic and economic point of view particularly if we consider that the wood material produced has small economic value. The regular removal of woody biomass from the plantation site may result in a decrease in site fertility and crop yield. To maintain site productivity, it may be necessary to add fertiliser in either an organic or inorganic form. The need for fertiliser will depend on the initial nutrient status of the site and of the quantity of material being removed. Usually on land previously utilized to grow food crops, there is no significant increase in biomass production through fertilization in the first years of the rotation; only plantation established on less fertile sites like the soil characterized by low pH or sandy texture, may require the addition of fertilizer. On the basis of tests carried out in Italy we can state that the quantities of nutrients necessary to avoid fertility decrease range between 350 and 600 kg ha⁻¹ of N₂, from 150 and 200 kg ha⁻¹ of P₂O₅ and from 350 and 420 kg ha⁻¹ di K₂O according to the densities and rotation adopted. The addition of phosphorus and potassium is usually done before the ploughing. Nitrogen can be spread every two years in the coppices with biennial rotation, in the year after the harvest or at the beginning of the second growing season of each rotation. It can be spread in the spring of first three years after the establishment in coppices with 5 or 6 year rotation. For biological and particularly for environmental reasons nitrogen fertilizer should be divided in two or more applications during the period from April to June. In northern Italy water consumption of poplar can be estimated in reference to water quantity transpired to produce 1 kg of dry matter. In the case of the clone of Populus ×canadensis 'I-214' this value has experimentally been determined around 350 liters of water per kg of dry matter, for other clones should be different. The irrigation is not essential in the Po river plane. But if a plantation is irrigated with a total volume ranging from 150 to 200 mm of water distributed during Summer period the production of biomass increases. The more diffused methods of irrigation are essentially two: surface and sprinkler irrigation; recently also drip irrigation is utilized.

Keywords: Poplar, short rotation coppice, fertilization, irrigation, production.

Concimazione

Con la rimozione periodica della biomassa da destinare alla produzione energetica si determina a lungo andare una riduzione della fertilità del suolo e di conseguenza anche della produzione. Per evitare l'impoverimento del suolo è necessario ricorrere periodicamente alla concimazione, sotto forma organica o minerale, con quantitativi tali da restituire al terreno almeno le quantità di nutrienti asportati con la raccolta (Tab. 1).

Tabella 1 - Cedui a turno breve di pioppo. Asportazioni espresse in kg di nutrienti per tonnellata di sostanza secca (legno e corteccia).

Densità d'impianto (piante ha ⁻¹)	Ciclo di raccolta (anni)	N ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO
10.000	2	5,6	2,1	4,2	7,5
1.000÷2.500	5÷6	3,5	1,5	3,5	6,5

Considerando i dati di asportazione riportati in tabella 1 si può facilmente arguire che la quantità di elementi nutritivi rimossi dal suolo risulta correlata con la densità d'impianto e con la l'età delle piante alla raccolta. Con elevate densità e cicli di raccolta brevi le piante hanno dimensioni diametriche ridotte, quindi un maggior contenuto percentuale di corteccia e di conseguenza meno legno. Il maggior contenuto di corteccia ha un riflesso negativo anche sulla combustione della biomassa: il potere calorifico della corteccia è inferiore a quello del legno e l'elevata contenuto di nutrienti significa maggior produzione di ceneri..

Per mantenere la fertilità del suolo e per assicurare buone produzioni non è però sufficiente restituire solo ciò che si presume venga asportato. Il terreno non è infatti un substrato inerte ma sede di una complessa attività biotica e chimica, e occorre tener conto, oltre che della disponibilità di nutrienti rilevata con accurate analisi chimiche, anche delle perdite dovute ad immobilizzazioni, trasformazioni e dilavamento, fenomeni variabili a seconda della stagione, del tipo di suolo e di fertilizzante usato.

A titolo indicativo per una concimazione di mantenimento, di piantagioni con ciclo di vita decennale, sufficiente a non intaccare le riserve nutritive del suolo, si potrebbero somministrare complessivamente 350÷600 kg ha⁻¹ di N₂, 150÷200 kg ha⁻¹ di P₂O₅ e 350÷420 kg ha⁻¹ di K₂O. È consigliabile interrare il fosforo e il potassio con le lavorazioni di preparazione all'impianto; l'azoto va invece somministrato in superficie, frazionando la dose in più applicazioni nel periodo compreso tra la germogliazione e l'inizio della stagione estiva. La concimazione azotata potrebbe essere effettuata ogni due anni, appena dopo la ceduzione o all'inizio del secondo anno di ogni turno nei cedui con raccolta biennale; oppure nei primi tre anni dopo l'impianto e la ceduzione nei cedui a turno quinquennale. Il concime azotato va localizzato in prossimità della fila se l'operazione è svolta nell'anno dell'impianto altrimenti deve

essere distribuito su tutta la superficie negli anni successivi quando ormai le piante o le ceppaie hanno un apparato radicale ben sviluppato. Per evitare inquinamenti della falda, l'azoto deve essere distribuito in quantità annuali non superiori a 120 kg ha^{-1} ; ogni singola somministrazione non deve superare i 60 kg ha^{-1} .

Fra gli interventi colturali previsti per i cedui a turno breve, la concimazione è quello più impegnativo con elevati costi energetici, ambientali ed economici; questa pratica però non sempre è necessaria poiché da sperimentazioni svolte sia in Italia (Frison, 1987; AA.VV., 2006) che all'estero (Mitchell *et al.*, 1995) si evince che la fertilizzazione di impianti di pioppo, cedui a turno breve o pioppeti a turno decennale, costituiti su suoli precedentemente coltivati con colture tradizionali, abbondantemente concimate, per almeno alcuni anni non determina incrementi statisticamente significativi di produzione. Anche le piantagioni costituite su aree golenali, soggette a periodiche inondazioni e caratterizzate frequentemente da suoli sciolti, profondi, freschi, riescono a dare buone produzioni legnose senza l'apporto di fertilizzanti chimici.

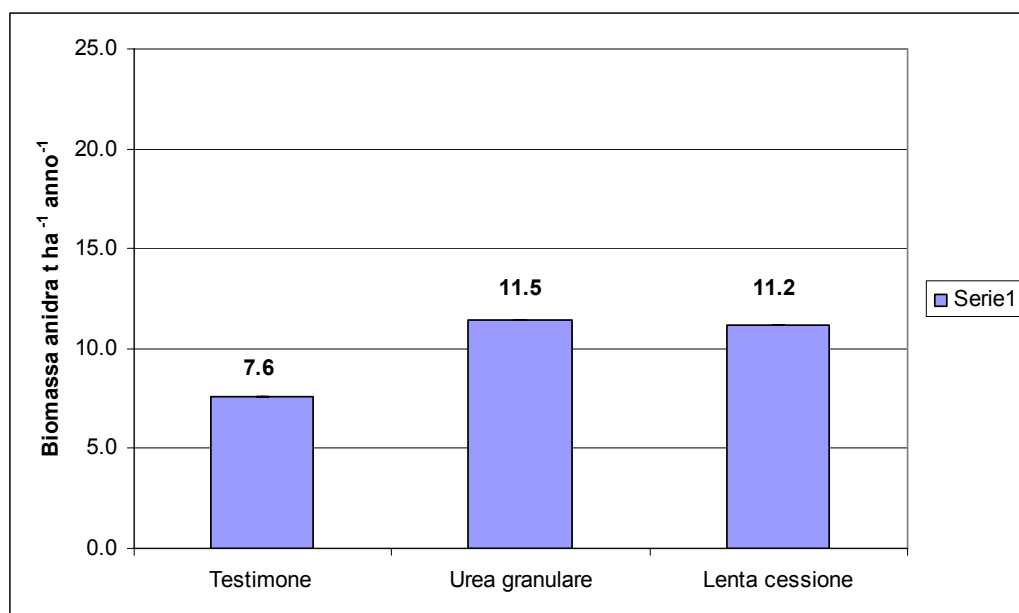


Figura 1 - Produzione di biomassa secca in $\text{t ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$ di un ceduo sperimentale di pioppo bianco con densità di 1.667 p ha^{-1} al sesto anno dall'impianto.

La fertilizzazione da, invece, risultati apprezzabili sui suoli con tessitura grossolana, o su quelli caratterizzati da pH acido, bassa capacità di scambio e con carenze di elementi nutritivi (Frison e Facciotto, 1992; Ledin and Willebrand, 1996). A titolo d'esempio in un impianto sperimentale di pioppo bianco situato in terreni sabbiosi della provincia di Pavia dove sono stati posti a confronto differenti tipi di concimi azotati (urea e un concime a lenta cessione) con un testimone non trattato, la conci-

mazione è stata iniziata al secondo anno dall'impianto e proseguita fino al quarto anno distribuendo nei tre anni rispettivamente 60, 90 e 120 Kg ha⁻¹ di N. Alla fine del 6° anno le differenze tra le parcelle testimone e quelle concimate sono evidenti (Fig.1), fatto 100 la produzione del testimone le parcelle trattate hanno prodotto circa il 50% in più; non risultano differenze significative invece tra i concimi azotati utilizzati.

Nel caso di carenze minerali, accertate in base a risultanze analitiche, è necessario intervenire con fertilizzazioni mirate, limitate al momento dell'impianto e dopo ogni ceduzione.

Gli effetti della concimazione, compresa quella azotata, possono annullarsi in caso di scarsa disponibilità idrica. Questo fenomeno è stato osservato nelle annate molto asciutte del 2003 e del 2006-2007 nelle concimazioni effettuate in impianti delle province di Alessandria e di Pavia. Molto indicata risulta in ogni caso la concimazione organica fatta con letame o sovescio di leguminose che contribuisce ad aumentare il contenuto di carbonio nel suolo.

Irrigazione

Anche l'irrigazione, come la concimazione è una pratica costosa in termini energetici e soprattutto economici, è perciò applicabile come intervento di soccorso nel primo anno di coltivazione per permettere l'affrancamento delle giovani piantine o nel quadro di modelli colturali intensivi. Negli ambienti padani, pur non essendo in assoluto indispensabile, è in grado di elevare la quantità della produzione di biomassa. Dato che il legno sminuzzato ha un prezzo di mercato abbastanza basso, per evitare che la coltura diventi antieconomica, l'irrigazione va attentamente gestita con interventi ben dosati ed effettuati al momento opportuno.

Il consumo idrico può essere stimato in riferimento alla quantità di acqua traspirata per elaborare l'unità di sostanza secca. Nel caso del clone di *Populus ×canadensis* 'I-214' è stato determinato sperimentalmente, presso il CRA-PLF, che sono necessari circa 350 litri di acqua per produrre 1 kg di sostanza secca (AA.VV, 2006). Altri cloni possono richiedere minori quantità di acqua però questo valore può essere considerato di riferimento; i 350 litri moltiplicati per la presumibile resa annua della coltura (per le coltivazioni arboree da biomassa la resa può essere identificata con l'incremento annuo) determinano il fabbisogno idrico annuale della coltura. Detraendo dal valore ottenuto la quantità di acqua fornita dalle piogge e tenendo conto dalla riserva idrica disponibile nel suolo e dell'eventuale apporto della falda si può quantificare la necessità di acqua da irrigazione. Normalmente in pianura padana distribuendo tra i 150 e 200 mm di acqua nel periodo estivo si riesce a mantenere un buon ritmo di accrescimento.

Nel caso di modelli colturali semiestensivi, in suoli con falda non raggiungibile da parte delle radici o nelle situazioni di prolungata siccità primaverile-estiva è ne-

cessario intervenire con irrigazioni di soccorso, al fine di evitare arresti di crescita nel periodo di più intensa attività vegetativa.

Per stabilire il momento di intervento si possono seguire diversi criteri; molto spesso si conducono osservazioni sommarie, a livello di pianta, terreno e andamento climatico stagionale; con l'ausilio di sensori di umidità del suolo o con il calcolo della quantità evapotraspirata, partendo dai dati climatici, si ottengono risultati migliori.

I metodi d'irrigazione più diffusi sono essenzialmente due: a scorrimento e per aspersione; recentemente sono stati testati anche sistemi di irrigazione a goccia che consentono un utilizzo razionale dell'acqua evitando gli sprechi per ruscellamento o percolazione negli strati profondi del suolo che si hanno con il sistema a scorrimento o la bagnatura delle chiome provocate dal sistema a pioggia, che può favorire lo sviluppo dei parassiti fogliari come le Ruggini.

La scelta del metodo dipende dalla sistemazione del terreno, dalla disponibilità di acqua irrigua e dalle attrezzature in dotazione all'azienda. Il metodo a scorrimento richiede grosse portate ($800 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ circa) e trova una limitazione nei terreni troppo sciolti o non pianeggianti. Il metodo per aspersione richiede portate inferiori ($300\text{-}400 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) e può essere utilizzato anche in terreni non pianeggianti. Quello a goccia è il più versatile, riduce al minimo i volumi di acqua e con l'automazione anche la manodopera; però i costi del materiale e dell'installazione pur essendosi ridotti rispetto a quelli di alcuni anni fa sono ancora tali da permetterne l'impiego solo nelle coltivazioni ad alto input dove le produzioni attese possono superare le $20\text{-}25 \text{ t ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$ di sostanza secca.

Di seguito si riportano i primi risultati di due esperienze di irrigazione con metodo a goccia ancora in corso. In un impianto sperimentale del clone 'Imola', con densità di 1.111 piante per ettaro, situato in un terreno a tessitura sabbiosa dell'azienda sperimentale Mezzi di Casale Monferrato del CRA-PLF, dove sono a confronto parcelle testimone ed irrigate con il metodo a goccia, dopo due anni di coltivazione le differenze tra le tesi sono molto evidenti (Fig 2). Quelle irrigate hanno prodotto quasi il doppio di sostanza secca delle testimone: $17,7$ contro $9,6 \text{ t ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$.

In una altra prova condotta in nell'azienda 'I Cigni', sita nel comune di Villanterio (PV), in un impianto sperimentale del clone 'AF2' con densità di 1.143 p ha^{-1} , dove erano a confronto parcelle testimone e parcelle irrigate con il metodo a goccia solo nei primi due anni dall'impianto, al quarto anno di coltivazione le produzioni di biomassa secca del testimone e dell'irrigato non differiscono in maniera statisticamente significativa, risultano rispettivamente 16 e $18 \text{ t ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$ (Fig. 3), anche se comunque quelle del testimone sono inferiori.

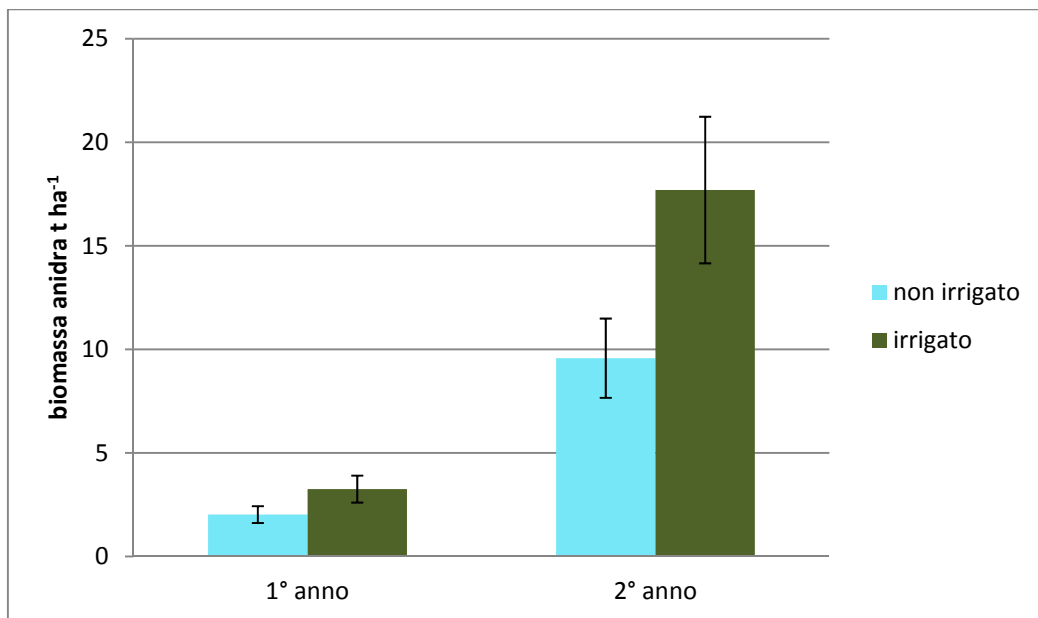


Figura 2 - Casale Monferrato (AL). Produzione annuale di biomassa secca epigea (fusto e rami) alla fine del 1° e del 2° anno in un impianto sperimentale del clone 'Imola'.

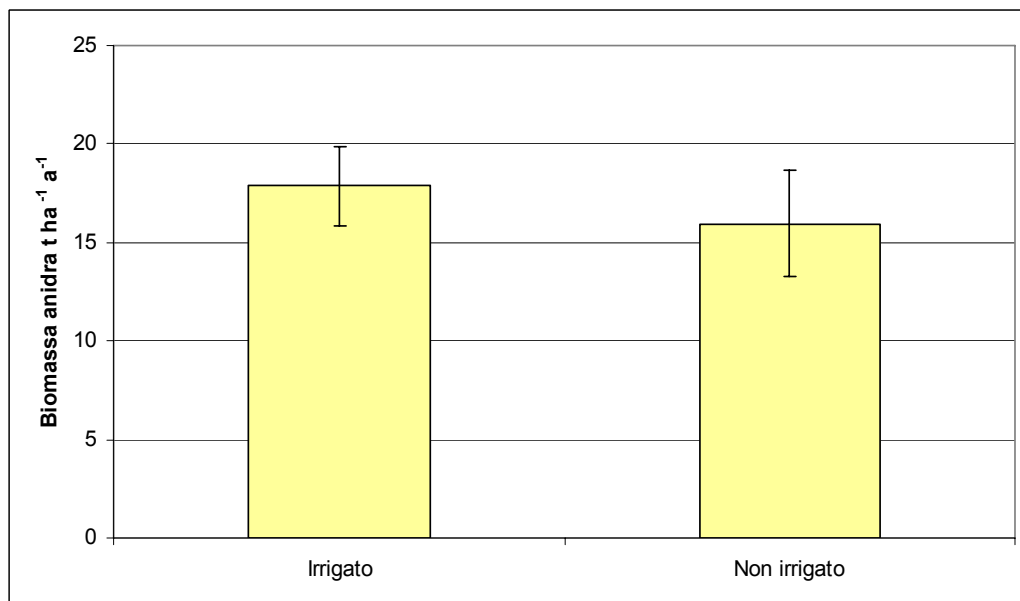


Figura 3 - Villanterio (PV). Produzione di biomassa secca in un impianto sperimentale del clone AF2 oggetto di prova d'irrigazione.



Figura 4 - Villanterio (PV): Piante del clone AF2 alla fine della quarta stagione vegetativa della parcella irrigata.

Si notano però differenze nello sviluppo delle piante irrigate e no. Poiché in fase d’impianto sono stati utilizzati taleoni di circa 1 metro di lunghezza posti alla profondità di 70-80 cm, questi hanno da subito sviluppato fino a due o tre ricacci ciascuno; a quattro anni di distanza, nelle parcelle irrigate (Fig. 4), uno dei ricacci ha preso il sopravvento sviluppando una pianta di buone dimensioni, quelli secondari sono rimasti dominati o addirittura sono morti; mentre nelle parcelle testimone sono rimasti vitali e si sono accresciuti anche i ricacci secondari. come si può notare osservando figura 5.

Bibliografia

- AA.VV., 2006. Pioppicoltura: produzioni di qualità nel rispetto dell’ambiente. Online URL:www.populus.it.
- Frison G., 1987. Recenti orientamenti sulla concimazione del pioppo nella Valle padana. Rivista di Economia e Attualità della Camera di Commercio Industria Artigianato e Agricoltura di Mantova n.148. 41-58.



Figura 5 - Villanterio (PV): Piante del clone AF2 alla fine della quarta stagione vegetativa della parcella non irrigata.

- Frison G., Facciotto G., 1992. Possibilities of poplar cultivation in acid, saline and calcareous soils. XIX Session FAO/IPC, Zaragoza 1992. 46 pp.
- Ledin S., Willebrandt E., 1996. Handbook on how to grow short rotation forests.
- Mitchell C.P., Stevens E.A., Watters M.P., 1999. Short-rotation forestry ± operations, productivity and costs based on experience gained in the UK. *Forest Ecology and Management* 121, 123-136.

3 - Guida al diserbo del pioppo in ambiente meridionale

A guide to Poplar weeding in the Mediterranean environment

Marcello Scarcella*, **A. Domenico Palumbo ****,
Achille Giorcelli***, **Massimo Gennaro*****

Riassunto

L'assenza di interventi erbicidi si traduce in perdite produttive elevatissime per il pioppo. Il diserbo nei cedui a turno brevissimo assume importanza cruciale nella gestione del pioppeto.

Anche quando il materiale di propagazione è affrancato, la presenza di infestanti deve essere controllata, in quanto può determinare irregolarità di accrescimento e perdita di produzione.

Il problema principale del diserbo consiste nel rintracciare erbicidi, in particolare dicotiledonici somministrabili alle talee germogliate.

I Principi attivi (p.a.) appartenenti al gruppo degli inibitori dell'acetil-CoA carbossilasi si possono utilizzare in campo pioppicolo in post-emergenza, perché consentono interventi anche tardivi di contenimento delle infestanti monocotiledoni, nonostante non assicurino anche la lotta alle dicotiledoni. A tal fine occorre unire l'utilizzo in pre-emergenza dei residuali dicotiledonici Isoxaben o Propyzamide, principi attivi impiegabili in vivaio, e Phenmedipham, Desmedipham e Ethofumesate in post-emergenza per

* CRA-CAR – Unità di ricerca per l'individuazione e lo studio di colture ad alto reddito in ambienti caldo-aridi.

** CRA-SCA – Unità di ricerca per i sistemi colturali degli ambienti caldo-aridi.

*** CRA-PLF – Unità di ricerca per le produzioni legnose fuori Foresta.

limitare le infestanti a foglia larga perché utilizzabili, sia pur con qualche margine di rischio, su piantine di pioppo ancora erbacee.

Parole chiave: erbicidi, Isoxaben, Propyzamide, *Populus*, fitotossicità, biomassa.

Abstract

The absence of specific herbicides causes very high productive losses in poplar orchard. The weeding of short rotation coppices is crucial for poplar management.

Even after the rooting of cuttings, the presence of weeds should be controlled because they can cause irregular growth and productive loss. The main problem of weeding is finding the dicotyledonicide herbicides, particularly those to be applied to sprouted cuttings.

The active principles (a.p.) belonging to the group of acetyl-CoA carboxylase inhibitors can be used in the poplar field after emergence. Moreover, they also allow late treatments for monocotyledon weed control, although they are not enough against the dicotyledonous species.

Therefore, it is necessary to combine the use of Isoxaben or Propyzamide, active principles used in the nursery, with Phenmedipham, Desmedipham and Ethofumesate in order to control the number of large leaf weeds, because they can be used -with some degree of risk- for poplar plantlets at the early herbaceous stages.

Keywords: herbicide, Isoxaben, Propyzamide, *Populus*, herbicides, phytotoxicity, biomass.

Introduzione

Il diserbo, specialmente in vivaio e nelle colture dedicate per la produzione di bioenergia, è uno dei punti critici per la coltivazione del pioppo.



Figura 1 - Troia (Fg), febbraio 2011, inerbimento in un pioppeto di un anno.



Figura 2 - Rutigliano (Ba), aprile 2011, pioppeto di un anno dopo l'ercpicatura tra i filari.

Infatti, nei cedui a turno brevissimo ed elevata densità utilizzati per la produzione di biomassa, questa operazione assume importanza cruciale in una gestione della coltura che tende ad ottenere una redditività accettabile.

Le infestanti, se non adeguatamente contenute nei primi stadi di sviluppo, possono competere con i germogli da poco emessi dalle talee per acqua, nutrienti e luce e limitarne, in seguito, l'accrescimento.



Figura 3 - Rutigliano (Ba), maggio 2010, germoglio di pioppo da talea frigo conservata (1 settimana dopo la messa a dimora).



Figura 4 - Troia (Fg), maggio 2011, talea germogliata di pioppo in un appezzamento senza controllo della flora avventizia.

Anche quando il materiale di propagazione è affrancato, la presenza di infestanti deve essere controllata, in quanto può determinare irregolarità di accrescimento e perdita di produzione (Anselmi e Giorcelli, 1983).



Figura 5 - Troia (Fg), maggio 2011, pioppeto al primo anno dall'impianto, in un appezzamento senza il controllo della flora avventizia.

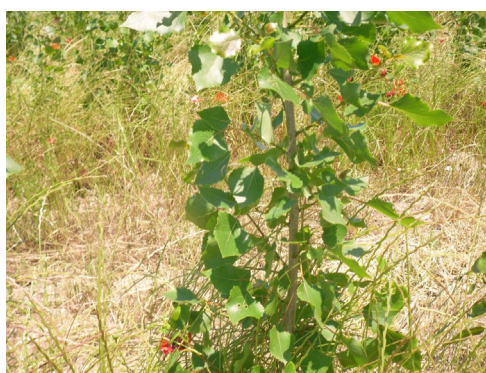


Figura 6 - Troia (Fg), maggio 2011, pioppeto al primo anno dall'impianto, in un appezzamento senza il controllo della flora avventizia.

Il problema principale del diserbo consiste nel rintracciare erbicidi, in particolare dicotiledonici somministrabili alle talee germogliate (Aird, 1962; Anselmi e Cellerno, 1980; Buhler *et al.*, 1998). I trattamenti di pre-emergenza al pioppo (ad oggi pra-

tica prevalente usata da tutti i pioppicoltori) non salvaguardano l'impianto fino all'affrancamento. Gli interventi sulla fila di sola sarchiatura meccanica o manuale, invece, risultano quasi sempre economicamente svantaggiosi.

Il controllo delle infestanti comincia con la preparazione del suolo prima dell'impianto e deve continuare per tutta la stagione vegetativa dell'anno d'impianto e in quelle successive ad ogni ceduzione combinando lotta chimica e meccanica. Mentre nel secondo, ed eventualmente nel terzo anno di ogni turno quando le chiome sono ben sviluppate, la lotta chimica non è necessaria ed il controllo delle infestanti si limita ad una o due erpicature.



Figura 7 - Rutigliano (Ba), aprile 2011, pioppeto dopo la sarchiatura.



Figura 8 - Rutigliano (Ba), aprile 2011, pioppeto prima della sarchiatura.

Si sottolinea, però, che i formulati commerciali autorizzati, specifici per il pioppo sono pochi. Gli erbicidi ammessi a volte manifestano fenomeni di tossicità sul pioppo (Giorcelli e Vietto, 1996; Giorcelli *et al.*, 2009). In particolare il pioppo mostra una spiccata sensibilità verso i dicotiledonici quando i germogli di pioppo sono già presenti (post-emergenza del pioppo). Infine si deve sottolineare che gli interventi chimici in pioppicoltura sono difficili da praticare.

Principi attivi per il diserbo

Seguendo la classificazione HRAC e WSSA (*Herbicide Resistance Action Committee - Weed Science Society of America*), si riportano qui di seguito le principali caratteristiche biochimiche e fitoiatriche, di alcuni tra i più diffusi principi attivi (p.a.) e le modalità di impiego (Giorcelli *et al.*, 2009). Si riportano solo quei principi attivi che, sulla base di specifiche sperimentazioni condotte recentemente, hanno dato buoni risultati in termini di non tossicità sul pioppo e efficacia nella lotta alle malerbe.

La lettera maiuscola e il numero in parentesi indicano, rispettivamente, la classificazione HRAC e WSSA (Cobb e Kirkwood, 2000; Mallory-Smith e Retzinger, 2003).

I due sistemi di classificazione sono abbastanza simili e condividono il criterio di integrare il loro bersaglio metabolico, la modalità di azione, le similitudini di azione, i sintomi indotti.

Inibitori dell'acetil-CoA carbossilasi (A, 1)

Interferiscono con la biosintesi dei lipidi. Appartengono a questo gruppo: arilossifenossipropionati ("FOPs") e cicloesandioni ("DIMs"). Sono principi attivi sistemici da distribuire in post-emergenza.

- **Arilossifenossipropionati**

DICLOFOP-METHYL; FLUAZIPOP-BUTYL (scadenza 31/12/2012) e FENOXA-PROP-P-ETHYL, efficaci sulle graminacee, anche perennanti.

- **Cicloesandioni**

CYCLOXYDIM, efficace sulle graminacee, anche perennanti.

Inibitori della fotosintesi al fotosistema II (C1-C2, 5-7)

Inibiscono il flusso di elettroni dall'acqua al NAPH. Quelli descritti appartengono al gruppo dei bis-carbammati e delle feniluree. Sono efficaci sulle dicotiledoni.

- **Bis-carbammati (C1, 5)**

DESMEDIPHAM, sistemico, distribuito in post-emergenza;
PHENMEDIPHAM, sistemico, distribuito in post-emergenza.

- **Feniluree (C2, 7)**

LINURON, residuale distribuito in pre-emergenza.

Inibitori della protoporfirinogeno ossidasi (E, 14)

Hanno un effetto fotodinamico (induzione al buio di accumulo di inibitori della clorofilla con danni foto-ossidativi dopo l'esposizione alla luce). Sono ammessi difenileteri e ossidiamoli.

- **Difenileteri**

OXYFLUORFEN, efficace su monocotiledoni e dicotiledoni, residuale e di contatto è utilizzato soprattutto in pre-emergenza (autorizzato in vivaio, scadenza 31/12/2012).

- **Ossidiazoli**

OXADIAZON, efficace su monocotiledoni e dicotiledoni di contatto è utilizzato in pre-emergenza (autorizzato in vivaio).

Inibitori della EPSP sintasi (G, 9)

Inibiscono l'enzima EPSP sintasi, con accumulo di acido scichimico, precursore della biosintesi degli aminoacidi aromatici fenilalanina e tiroxina, con conseguente blocco della produzione di composti fenolici. Questi erbicidi appartengono alla famiglia chimica delle glicine.

- **Glicine**

GLYPHOSATE, sistemico è usato in post-emergenza, attivo contro dicotiledoni e monocotiledoni, conduce al disseccamento entro un mese (autorizzato in vivaio e su pioppo).

Inibitori dell'assemblaggio dei microtubuli (K1, 3)

Interferiscono sulla mitosi. Appartengono a questo gruppo i principi attivi delle famiglie delle dinitroaniline e benzamidi. Attivi contro dicotiledoni e monocotiledoni, distribuiti in pre-emergenza.

- **Dinitroaniline**

PENDIMETHALIN, residuale utilizzato in certe circostanze in miscela con linuron e metolachlor. Nella sperimentazione questa miscela costituisce il 'testimone'.

- **Benzamidi**

PROPYZAMIDE, residuale (autorizzato in vivaio).

Inibitori della formazione dei VLCFAs, Very Long Chain Fatty Acids (K3, 15)

Interferiscono, ed inibiscono in seguito, la sintesi di acidi grassi a lunga catena provocando molteplici disordini. Sono descritti esponenti delle cloroacetamidie delle ossiacetamidie, attivi contro monocotiledoni e dicotiledoni, distribuiti in pre-emergenza.

- **Cloroacetamidie**

DIMETHENAMID-P, citotropico;
S-METOLACHLOR, citotropico.

- **Ossiacetamidie**

FLUFENACET, sistemico.

Inibitori della biosintesi della cellulosa (L, 21)

Interferiscono in vari stadi nella via metabolica di biosintesi della cellulosa. L'efficacia è in genere limitata alle dicotiledoni.

• **Benzamidi (L, 21)**

ISOXABEN, residuale, è distribuito in pre-emergenza (autorizzato in vivaio).

Inibitori della biosintesi dei lipidi che non inibiscono l'acetil-CoA carbossilasi (N, 8)

Sono composti di varia composizione chimica e il cui meccanismo di azione non è stato definito.

• **Benzofurani**

ETHOFUMESATE, sistemico efficace su monocotiledoni annuali e diverse dicotiledoni, distribuito in post-emergenza.

Diserbo primo anno

Nei cedui a turno breve come nei vivai il livello di competizione è più elevato, perciò le infestanti, in questo periodo, vanno controllate con una combinazione di interventi meccanici che garantiscono un adeguato controllo nell'interfila e chimici sulla fila per ridurre gli onerosi interventi manuali (Scarascia Mugnozza e Paris, 2007; Netzer e Hansen, 1994; Vietto e Giorcelli, 1997).

Gli interventi chimici possono essere effettuati in pre-impianto, pre-emergenza e post-emergenza (Hansen e Netzer, 1985; Hansen *et al.*, 1986).

- In pre-impianto, può essere utilizzata una vasta gamma di p.a. non selettivi, che vanno scelti in base alla composizione della flora infestante, per esempio il Linuron ed il Glyphosate per pre e post-emergenza delle infestanti rispettivamente.
- In pre-emergenza, oltre a pendimethalin, differenti p.a. possono essere usati dopo la messa a dimora delle talee e prima che germoglino, miscelandoli in base alle esigenze. Gli interventi possono essere effettuati con Isoxaben, Propyzamide e Dimethenamid-P e con cautela (elevati volumi e dosi minime) Oxadiazon e Oxyfluorfen.
- In post-emergenza, sulle infestanti già comparse con i germogli di pioppo già presenti, si possono usare i monocotiledonicidi Diclofop-Methyl, Fenoxaprop-P-Ethyl, Fluazipop-Butyl, e Cycloxydim con cautela (elevati volumi e dosi minime) ed i dicotiledonicidi Desmedipham, Ethofumesate e Phenmedipham, miscelando-li all'occorrenza per ampliare lo spettro d'azione.

Diserbo anni successivi

Per gli anni successivi nei periodi fra fine inverno e inizio primavera ai p.a. prima descritti per la pre-emergenza può essere aggiunto nelle miscele il Pendimethalin.

Per i trattamenti in fase vegetativa della coltura possono essere usati gli stessi p.a. del primo anno di post-emergenza.

Discussioni e conclusioni

I Principi attivi appartenenti al gruppo degli inibitori dell'acetil-CoA carbossilasi si possono utilizzare in campo pioppicolo in post-emergenza, perché consentono interventi anche tardivi di contenimento delle infestanti monocotiledoni, nonostante non assicurino anche la lotta alle dicotiledoni. A tal fine occorre unire l'utilizzo in pre-emergenza dei residuali dicotiledonici Isoxaben o Propyzamide, principi attivi impiegabili in vivaio, e Phenmedipham, Desmedipham e Ethofumesate in post-emergenza per limitare le infestanti a foglia larga perché utilizzabili, sia pur con qualche margine di rischio, su piantine di pioppo ancora erbacee.

Interessanti sono anche i p.a. appartenenti al gruppo degli inibitori della protoporphirinogeno ossidasi (Oxyfluorfen e Oxadiazon), che possono essere somministrati in pre-emergenza come alternativa o supporto all'uso di Isoxaben o Propyzamide.

In attesa di nuovi cloni di pioppo con resistenze ai p.a. esistenti o di p.a. adattabili alla coltura, un controllo razionale può essere effettuato integrando mezzi agronomici, lavorazioni meccaniche ed erbicidi.

Bibliografia

- Aird P.L., 1962. Fertilisation, weed control, and the growth of poplar. *Forest Science* 8: 413-428.
- Anselmi N., Cellerino G.P., 1980. Selettività verso il pioppo di 32 diserbanti chimici (primo contributo). *Atti Giornate Fitopatologiche* 195-202.
- Anselmi N., Giorcelli A., 1983. Indagine sui danni delle erbe infestanti nei vivai di pioppo di nuovo impianto. In: *Atti Convegno "Le erbe infestanti fattori limitanti della produzione agraria"*, Perugia 15-16 novembre 1983, pp. 10.
- Buhler D.D., Netzer D.A., Riemenschneider D.E., Hartzler R.G., 1998. Weed management in short rotation poplar and herbaceous perennial crops grown for biofuel production. *Biomass and Bioenergy* Vol. 14, No. 4, pp. 385-394.
- Cobb A.H., Kirkwood R.C., 2000. *Herbicides and their mechanisms of action*. Sheffield Academic Press, Sheffield, USA, pp. 295.
- Giorcelli A., Vietto L., 1996. Fitotossicità verso il pioppo di principi attivi diserbanti distribuiti in post-emergenza. *Atti Giornate Fitopatologiche*, 405-412.
- Giorcelli A., Deandrea G., Gennaro M., 2009. Indicazioni qualitative sul diserbo chimico del pioppo in vivaio e possibilità di miglioramento alla luce di quindici anni di sperimentazione. *Forest@*, 6, 202-214.

- Hansen E.A., Netzer, D.A., 1985. Weed control using herbicides in short rotation intensively cultured poplar plantations. Research Paper NC-260. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, North Central Forest Experiment Station.
- Hansen E.A., Netzer, D.A., Woods R.F., 1986. Tillage superior to no-till for establishing hybrid poplar plantations, *Tree Planters' Notes*, 37(1), 6-10.
- Mallory-Smith C.A., Retzinger E.J., 2003. Revised classification of herbicides by site of action for weed resistance management strategies. *Weed Technology* 17 (3): 605-619.
- Netzer D.A., Hansen E.A., 1994. Establishment and tending of poplar plantations in north-central U.S. In *Mechanization in Short Rotation, Intensive Culture Forestry*, 1-3 March, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Mobile, AL, pp. 79-87.
- Scarascia Mugnozza G., Paris P., 2007. Nuovi impieghi ambientali per il pioppo. In: "Il libro bianco della pioppicoltura- Aggiornamento 2007" (Nervo G ed). Commissione Nazionale per il Pioppo, Roma, pp. 90-94.
- Vietto L., Giorcelli A., 1997. La gestione delle infestanti in pioppicoltura. *Sherwood - Foreste e Alberi Oggi*, 22, 25-35.

4 - Tecnica colturale della Robinia per produzione di biomassa

Agronomic technique of Robinia for biomass production

Sara Bergante*, Gianni Facciotto*, Maria de Los Angeles Gras*

Riassunto

La *Robinia pseudoacacia* è una specie adatta alla coltivazione in cedui a turno breve (CTB) per la produzione di biomassa. Cresce anche su terreni marginali, necessita di relativamente limitate quantità di acqua, non ha problemi fitosanitari ed è azotofissatrice. In Italia viene coltivata, come i genotipi selezionati di pioppo, salice, ed eucalipto per produrre biomassa, secondo due differenti modelli: ‘rado’, con spaziature d’impianto a 3×3 m o 2×3 m (densità di 1.111 -1.667 piante per ettaro - $p \cdot ha^{-1}$) e ceduzione dei fusti ogni 5-6 anni; ‘fitto’ con spaziature comprese tra 2 e 3 m tra le file e $0,40 \div 0,70$ m sulla fila (densità da 6.000 a 10.000 $p \cdot ha^{-1}$), e ceduzione ogni 2 anni. I due modelli si diversificano per il tipo di materiale che è possibile ottenere: nel primo caso legno per segati, carta, pallets, tronchetti e chips per energia; nel secondo caso cippato per energia oppure per pannelli di particelle. Il materiale di impianto è costituito da semenzali a radice nuda. Il controllo delle infestanti nei CTB con robinia può essere effettuato tramite discatura solo nel primo anno di impianto mentre, negli anni successivi è consigliato proseguire con la semplice triturazione dell’erba per evitare di stimolare l’apparato radicale a produrre ricacci indesiderati. Nelle prove sperimentali del CRA-PLF sono state confrontate 4 provenienze: ‘Energy’, ‘Belgio’, ‘Mantova’ e ‘Calabria’, con densità di 8.333 $p \cdot ha^{-1}$. Durante il primo turno biennale sono state riscontrare differenze di produzione in favore della robinia ‘Mantova’; dopo la prima ceduzione tutti i genotipi hanno dato produzioni simili (media di 26,6 t ha^{-1} s.s). In un’altra prova una quinta provenienza di origine ungherese posta a due densità d’impianto: 8.000 e 12.000 $p \cdot ha^{-1}$, ha prodotto rispettiva-

* CRA– Unità di ricerca per le Produzioni Legnose fuori Foresta (PLF).

mente 11,1 e 12,5 t ha⁻¹ anno⁻¹ di s.s al primo turno, e 12,5 e 9,1 t ha⁻¹ anno⁻¹ al secondo turno. In altre prove la robinia è stata testata insieme a pioppo e salice con i due modelli produttivi ‘rado’ (1.667 p ha⁻¹) e ‘fitto’ (8.333 p ha⁻¹) in 3 differenti località piemontesi. Le produzioni sono risultate solo leggermente inferiori a quelle dei cloni selezionati di pioppo e salice, e nella prova effettuata su terreno sabbioso, in assenza di irrigazione e concimazione, la robinia ha prodotto più del pioppo.

Parole chiave: robinia, ceduo a turno breve, coltivazione, produzioni

Abstract

Black locust is considered a promising woody species for biomass production in Short Rotation Coppice (SRC) stands. The reasons are: high adaptability to different site conditions: poor soils and dry conditions, and minimum level inputs needs. In many Countries it is cultivated for wood production (Hungary, Corea), surface mine reclamation (Germany, USA), afforestation (Argentina), honey production (Hungary, China) and many others purposes. In Hungary black locust is widely studied and selected also for biomass. In Italy, black locust biomass production, is studied in experimental plots with poplar, willow and eucalyptus selected genotypes. For plantation establishment generally were utilized seedlings, one year old, manually or mechanically planted in spring. Soil is ploughed and harrowed. The irrigation is necessary only during the establishment year in case of drought; fertilization is not necessary thank to nitrogen-fixing nodule bacteria (Rhizobium). Cultivation models are the same for poplar, willow and eucalyptus: There are two different model: a) ‘high density’, with spacing of 3 × 3 m or 3 × 2 m (ranging from 1111 trees per hectare to 1666 trees-ha⁻¹) and harvest every 5 years; b) ‘very high density’ with spacing of 2 or 3 m between rows and 0,40-0,70 m on the rows (corresponding to 6.000 ÷ 10.000 trees-ha⁻¹) and harvest every 2 years. The two models produce different quality wood: for industry (pallets, paper, sawlogs and energy) in the first case, and only for energy or particle board in the second case. Four black locust provenances: ‘Energy’, ‘Belgium’, ‘Mantova’ and ‘Calabria’ were compared in experimental trial. Productions were different during first biennial cycle, with best production for ‘Mantova’ but after the first harvest all genotypes produce a similar quantity of biomass, with in average 26,6 Oven dry (Od) t ha⁻¹ in two years. Another Hungarian provenance was tested with two densities: 8.000 and 12.000 trees-ha⁻¹; during first biennial cycle productions were respectively 11,1 and 12,5 Odt ha⁻¹ y⁻¹ and during second cycle 12,5 and 9,1 Odt ha⁻¹ y⁻¹, showing a negative influence of higher density on yield. ‘Energy’ provenance was also tested with the two models and compared with poplar and willow selected clones (P. ×canadensis ‘83.141.020’ and S. matsudana hybrid ‘S76-008’), in three different sites of Piedmont (Northern Italy). Productions was only a little lower than selected clones: 6,3 Odt ha⁻¹ y⁻¹ in ‘high density’ model compared with the best poplar production of 11,3 Odt ha⁻¹ y⁻¹ and 7,1 Odt ha⁻¹ y⁻¹ in ‘very high density model’ compared with best poplar production of 9,8 Odt ha⁻¹ y⁻¹. Significant results were found in site with difficult soil conditions and without irrigation and fertilization:

black locust have produced as willow, more than poplar both in high end very high density model, confirming their utility in marginal sites.

Keywords: *black locust, short rotation coppice, cultivation, yields*

Alcune caratteristiche eco-fisiologiche della robinia la rendono una specie adatta alla coltivazione in cedui a turno breve (CTB) per la produzione di biomassa.

La sua rusticità in particolare ne permette la coltivazione anche su terreni difficili, con elevata pendenza o scarsità d'acqua, dove il pioppo o altre specie non sarebbero in grado di sopravvivere. Tuttavia elevate produzioni si ottengono su suoli di medio impasto, ben areati e profondi (Keresztesi, 1988). Non teme la competizione con erbe infestanti, inoltre nel nostro Paese fino ad ora non ha mostrato problemi fitosanitari gravi e quindi non necessita di trattamenti antiparassitari.

La robinia, diversamente da pioppo e salice, si propaga con difficoltà da talea di fusto; questo tipo di propagazione, supportata dall'utilizzo di ormoni radicanti, o particolari tecniche di allevamento viene utilizzata per riprodurre genotipi con particolari caratteristiche; per scopi ornamentali si usa anche la tecnica dell'innesto su selvatico (Grass, 1991). Migliori risultati per attecchimento, sopravvivenza e riproducibilità dei caratteri, si ottengono con la propagazione tramite talea radicale, anche se questa tecnica ha costi elevati. Mentre in Italia, in passato, la robinia è stata considerata una specie infestante, in altri Paesi da tempo viene coltivata per vari scopi: dall'utilizzo del legno nell'industria del mobile e dei pavimenti (Ungheria, Corea), alla produzione di paleria (Argentina, Francia), di miele o per ornamento (Ungheria, Cina), al recupero di cave dismesse e di terreni inquinati (Germania, U.S.A.).

In particolare è molto studiata ed utilizzata in Ungheria, Paese in cui si selezionano anche molti genotipi adatti ai differenti scopi, inclusa la produzione di biomassa. In una prova condotta in Ungheria con 5 cultivar di robinia allevate alla densità di circa 6.670 piante per ettaro ($p\ ha^{-1}$) le produzioni sono risultate crescenti con l'allungamento del turno di taglio. Nella cultivar 'Üllői', la più produttiva in quell'ambiente, l'incremento annuale di biomassa anidra alla fine del terzo, quinto e settimo anno è risultata rispettivamente di 3,0; 8,0 e 9,7 $t\ ha^{-1}\ anno^{-1}$ (Redei *et al.*, 2010); l'allungamento dei turni in questa specie consente di massimizzare le produzioni, così come densità non troppo elevate facilitano l'attecchimento e la produzione (Halupa *et al.*, 1991).

In Italia, negli impianti sperimentali di ceduo a turno breve la robinia viene testata accanto a genotipi selezionati di pioppo, salice, ed eucalipto (quest'ultimo solo nel Centro-Sud della Penisola) per la produzione di energia. Generalmente vengono utilizzati per l'impianto semenzali di una anno di età, a radice nuda con il fusto ridotto a 15-20 cm di altezza per facilitare la piantumazione meccanica anche con macchine

pensate per la viticoltura o i vivai ornamentali (trapiantatrice Berto). Per la costituzione di un ceduo a turno breve, il terreno viene preventivamente liberato dalla presenza di infestanti perennanti con l'uso di disseccanti, successivamente viene arato ad una profondità di 30 cm ed affinato. All'impianto, è possibile utilizzare anche per questa specie una miscela di prodotti con effetto antigerminello (*Metholactor* + *Pendimethalin*) per facilitare così l'attecchimento e la sopravvivenza delle giovani piantine. I due modelli di coltivazione utilizzati sono gli stessi per pioppo, salice, robinia ed eucalipto, con lievi differenze negli interventi colturali dovute alle differenti necessità delle specie. Si distinguono un modello denominato 'rado', che prevede l'impianto con spaziature a 3×3 m oppure 2×3 m, corrispondenti a densità di 1.111 p ha⁻¹ oppure 1.667 p ha⁻¹ e la ceduzione dei fusti ogni 4 o 5 anni, e un modello denominato 'fitto', che prevede densità più elevate, da 6.000 a 10.000 p ha⁻¹, con spaziature comprese tra 2 e 3 m tra le file, 0,40 – 0,70 m sulla fila, e ceduzione ogni 2 anni. I due modelli si diversificano inoltre per il tipo di materiale che è possibile ottenere: nel primo caso è possibile produrre anche legno di qualità buona da destinare alla produzione di segati (se le dimensioni sono appropriate), oppure alla produzione di carta, pallets, tronchetti o chips per pannelli o per energia; ovviamente questi assortimenti possono richiedere una certa cura delle piante, anche se nel caso della robinia ciò si traduce al massimo in una potatura veloce di formazione del fusto, solo se necessario, visto che la specie non viene attaccata da insetti xilofagi. Col modello 'fitto' l'impianto è finalizzato alla sola produzione di cippato per energia oppure per pannelli di particelle. In questo caso, per la robinia non sono richiesti particolari interventi al di fuori del controllo delle infestanti durante il primo anno e dopo ogni ceduzione e all'irrigazione in caso di necessità. Il controllo delle infestanti nei CTB con robinia può essere effettuato tramite erpice a disco solo nelle fasi giovanili (primavera ed estate del primo anno di impianto) per favorire l'insediamento delle giovani piantine mentre, negli anni successivi è meglio proseguire con la semplice triturazione dell'erba per evitare di stimolare l'apparato radicale a promuovere la nascita disordinata di ricacci nell'interfila; le spine dei ricacci sono in grado di danneggiare gli pneumatici dei mezzi agricoli. Nel primo anno dell'impianto o in suoli con tessitura molto grossolana può essere necessaria l'irrigazione di soccorso; occorre però fare attenzione a non generare ristagni d'acqua che provocano soffocamento dell'apparato radicale e possibile morte delle piante. Non sono necessarie le concimazioni azotate, essendo la robinia una specie azotofissatrice (Fig. 1), né i trattamenti fitosanitari; al momento non sono stati segnalati parassiti tali da provocare danni alle colture di questa specie. Anche durante la ceduzione, soprattutto negli impianti più fitti, è consigliato non tagliare il fusto troppo vicino alla base per evitare ricacci dal colletto o dalle radici più superficiali che possono essere d'intralcio per le future operazioni colturali.



Figura 1 - Noduli radicali contenenti *Rhizobium* in radici di una giovane piantina prelevata nell'azienda sperimentale 'Mezzi' di Casale Monferrato del CRA-PLF.

Nelle prove sperimentali effettuate dal CRA-PLF vengono attualmente testate 4 differenti provenienze; per provenienza si intende una linea genetica derivante da un gruppo più o meno ampio di individui, selezionati per alcune eccellenti caratteristiche eco-fisiologiche dai quali vengono prelevati i semi per la generazione di nuove piantine. Le provenienze utilizzate sono: 'Energy' di origine ungherese selezionata per la buona attitudine alla produzione di materiale per energia, 'Belgio', 'Mantova' e 'Calabria'. Di seguito vengono riportate le produzioni ottenute presso l'azienda sperimentale "Mezzi" in alcuni impianti sperimentali con robinia.

Le quattro provenienze sono state confrontate tra loro (Tab. 1) con densità d'impianto di 8.333 p ha⁻¹ (modello 'fitto') e uno schema sperimentale a blocchi completi randomizzati con 4 replicazioni. L'impianto risale al 2007 e ha già sostenuto due cequazioni.

Tabella 1 - Casale Monferrato Produzioni di biomassa secca in tonnellate per ettaro ($t\ ha^{-1}$) rilevate nei primi due turni in un ceduo sperimentale di robinia.

Provenienza	1° turno		2° turno	
	1° anno	2° anno	3° anno	4° anno
Energy	5,87	14,66	13,70	23,14
Calabria	3,42	24,65	14,70	28,46
Mantova	6,82	23,06	14,51	25,97
Belgio	2,66	13,42	13,93	29,18

Mentre durante il primo turno biennale sono state riscontrare differenze di produzione in favore della provenienza ‘Mantova’, dopo la prima ceduazione tutte le provenienze hanno dato produzioni simili con una media di $26,6\ t\ ha^{-1}$ s.s in due anni.



Figura 2 - Casale Monferrato (AL). Impianto SRC con robinia, pioppo e salice durante la prima stagione vegetativa.



Figura 3 - Cavallermaggiore (CN). Robinia in modello 'fitto'. Piante F2R6, due anni di fusto e sei anni di radice, prima della terza ceduzione.

Sempre all'interno dell'Azienda "Mezzi", in una sperimentazione effettuata con una quinta provenienza anch'essa di origine ungherese, posta a due diverse densità dl'impianto: 8.000 e 12.000 p ha⁻¹, questa ha prodotto al primo taglio biennale rispettivamente 11,1 e 12,5 t ha⁻¹ anno⁻¹ di s.s. mentre al secondo turno le produzioni di biomassa anidra sono risultate rispettivamente di 12,5 e 9,1 t ha⁻¹ anno⁻¹. La Robinia, non sembra sopportare densità troppo elevate; la competizione tra i ricacci dopo la prima ceduzione ha influito negativamente sulla sopravvivenza delle ceppaie e sulla produzione. Nell'ambito di sperimentazioni sulla fattibilità di una filiera di produzione della biomassa per energia in cedui a turno breve (Busti *et al.*, 2007), la robinia è stata testata insieme a pioppo e salice con i due modelli produttivi 'rado' e 'fitto', in tre differenti località del Piemonte (Casale Monferrato AL, Lombriasco TO, e Cavallermaggiore CN). Il modello 'rado' prevedeva 1.667 p ha⁻¹ (spaziatura di 3 x 2 m), utilizzo di pioppelle (per le salicacee), semenzali di un anno di età a radice nuda per la robinia e ceduzione ogni 5 anni; il modello 'fitto' prevedeva 8.333 p ha⁻¹, (spaziatura di 3 m x 0,40), utilizzo di talee della lunghezza di 20 cm (per le salicacee), gli stessi semenzali a radice nuda per la robinia, e ceduzione ogni 2 anni. (Bergante *et al.*, 2008). In questa prova per il genere *Populus* è stato scelto il clone di *P. ×canadensis* '83.141.020', per il genere *Salix* il clone ibrido di *S. matsudana* 'S76-008', mentre per la specie *Robinia pseudoacacia* la provenienza 'Energy'.

A Casale Monferrato (Fig. 2) la robinia ha dato la produzione media annua più bassa nel modello rado, con 6,3 t ha⁻¹ anno⁻¹ s.s (pari a 31,5 t ha⁻¹ per l'intero turno quinquennale) contro 11,3 t ha⁻¹ anno⁻¹ s.s del pioppo (pari a 56,5 t ha⁻¹ per l'intero turno quinquennale), ma nel modello 'fitto' ha dato una produzione leggermente superiore al clone di salice con 7,1 t ha⁻¹ anno⁻¹ s.s (pari a 35,5 t ha⁻¹ complessive di cui buona parte raccolte durante le prime due ceduzioni ed una parte prodotta in un anno, la ricrescita successiva alla seconda ceduzione). Anche a Cavallermaggiore la robinia si è comportata in modo simile (Fig. 3), mentre a Lombriasco, su un terreno più povero, senza concimazione né irrigazione, dove il pioppo ha mostrato maggiori problemi di crescita, il salice e le robinia hanno dato le produzioni migliori: rispettivamente 7 e 4,6 t ha⁻¹ a⁻¹ s.s nel modello 'rado', 9,3 e 8,4 t ha⁻¹ a⁻¹ nel modello 'fitto'. Riassumendo quindi, almeno per quanto riguarda i quattro genotipi testati, le produzioni della robinia rimangono solo leggermente inferiori a quelle dei cloni selezionati di pioppo e salice mentre non bisogna dimenticare che questa specie, oltre ad avere un legno con minor contenuto di acqua rispetto a pioppo e salice (40% rispetto a 50 - 55%) nel periodo invernale, può essere utilizzata anche su terreni marginali e non necessita di concimazioni e trattamenti fitosanitari.

Infine si riportano le produzioni di due impianti commerciali di robinia, provenienza 'Energy' uno al nord in zona vocata e uno nell'Italia meridionale in ambiente caldo-arido. Nel primo impianto, costituito a Castellamonte (TO), in zona pedemontana, con 3.500 p ha⁻¹ e turno quinquennale, quindi con densità intermedia rispetto a quelle considerate precedentemente, alla prima ceduzione si sono ottenute produzioni di 8,9 t ha⁻¹ a⁻¹. Nel secondo impianto costituito nel comune di Troia (FG) con

densità di 6667 p ha⁻¹ e turno ancora da definire, probabilmente di tre o quattro anni, alla fine del secondo anno, campionando aree di saggio, la produzione è stata stimata intorno alle 6,6 t ha⁻¹ di biomassa anidra corrispondenti a 3,3 t ha⁻¹ a⁻¹.

Bibliografia

- Bergante S., Facciotto G., Annunziati M., Minotta G., 2008. The Biofil project. Proceedings of '16° European Conference & Exhibition, From Research to Industry and Markets'. Valencia, Spain 2-6 June 2008. [En]
- Busti M., Facciotto G., Coaloa D., Balsari P., Airoldi A., Manzone M., Mosso A., Brun F., Don Tarasco G., Don Barra S., Filipponi E., Dezzutto S., Allasia E., Regione Piemonte, 2007. Study, experimentation and feasibility analysis for biomass Energy production from short rotation tree crops in Piemonte's farmlands: the Biofil project (1 ARB04). Proceedings of 15° European Conference & Exhibition, From Research to Industry and Markets, held in Berlin, Germany – 5-8 May 2007. 1230-1232.
- Gras M. d.l. A., 1991. La Robinia pseudoacacia L.: annotazioni da una rassegna bibliografica. Roma; RESS S.p.A. 50 pp. [It]
- Halupa L., Rédei K., 1992. Establishment of forests primarily for energetic purpose. Erdészeti Kutatások. Vol 82-83 :267-244.
- Rédei, K., e I. Veperdi, I. Csiha, Z. Keseru, J. Gyori, (2010). Yield of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) Short-Rotation energy crops in Hungary: case study in a field trial. Lesnický časopis – Forestry Journal 56(4): 327-335.
- Keresztesi B., 1988. Black locust: the Tree of Agriculture. Outlook on Agriculture, 2: 77-85.

C

Coltivazione nel Sud Italia

1 - Coltivazione e adattamento di cloni di pioppo (*Populus* spp.) da biomassa nel Sud Italia (Puglia)

Growth and adaptation of Poplars clones (Populus spp.) for biomass in Southern Italy (Puglia)

Alejandra Navarro García*, **Gianni Facciotto****,
Francesca Modugno*, **Pompeo Maggio***, **Marcello Mastrorilli***

Riassunto

Tra le specie legnose da destinare alla produzione di biomassa a fini energetici, i pioppi (*Populus* spp.) sono ritenuti tra i più sensibili alle condizioni di carenza idrica e la loro produttività è associata al soddisfacimento del fabbisogno idrico. Negli ambienti mediterranei, i principali limiti per la coltivazione sono legati alla domanda evapotraspirativa non bilanciata dalla pluviometria e al rischio di mortalità, soprattutto durante la fase di impianto del pioppeto.

L'interesse per il pioppo come coltura energetica potrebbe aumentare anche negli areali meridionali qualora siano selezionati nuovi ibridi con elevato ritmo di crescita e resistenza allo stress idrico. Per verificare questa ipotesi, sono stati considerati tre cloni di recente selezione ('Neva', 'Dvina' e 'Lena') e due cloni tradizionali ('Luisa Avanzo' e 'Bellini'), al fine di individuare quelli con caratteristiche fisiologiche associate alla tolleranza alla siccità.

Tra i cinque cloni a confronto, 'Lena' e 'Dvina' hanno mostrato scarso accrescimento e basso grado di attecchimento. 'Bellini' ha una scarsa sensibilità degli stomi all'acqua nel terreno (elevata conduttanza anche durante il periodo di maggiore doman-

* CRA-SCA, Unità di ricerca per i sistemi colturali degli ambienti caldo-aridi, Bari, IT.

** CRA-PLF, Unità di ricerca per le Produzioni Legnose fuori Foresta, Casale Monferrato, IT.

da evapotraspirativa) e modeste performance produttive. ‘Luisa Avanzo’ e ‘Neva’ hanno manifestato, invece, un buon grado di attecchimento delle talee, elevati valori di accrescimento e di SPAD, e bassi valori di conduttanza stomatica durante il periodo estivo.

Parole chiave: deficit idrico, ambiente mediterraneo, conduttanza stomatica, relazioni idriche nelle piante.

Abstract

The poplars (Populus spp.) are considered the most sensitive to water deficit condition among the woody species for biomass production for energetic purposes, and their productivity is associated to water supply. In the Mediterranean environment, the main crop limits are connected to evapotranspiration demand, not balanced by the rainfall supply, and to death risk especially after the poplar rooting.

The interest for poplar as energy crop may also increase in southern areas if new hybrids with high growth rate and resistance to water stress would be selected. To confirm this hypothesis, three recent selected clones (‘Neva’, ‘Dvina’ and ‘Lena’) and two traditional ones, (‘Luisa Avanzo’ and ‘Bellini’), were considered in order to identify those with physiological characteristics associated with drought tolerance.

Among the five clones compared, ‘Lena’ and ‘Dvina’ showed low growth and rooting. “Bellini” has low stomata sensitivity to soil water content (high conductance during the period of higher evapotranspirative demand) and a moderate productive performance. On the contrary, ‘Luisa Avanzo’ and ‘Neva’ showed a good degree of rooting, high values of growth and SPAD, and low stomatal conductance values during summer months.

Keywords: water deficit, Mediterranean environment, stomatal conductance, plant water relations.

Introduzione

L'utilizzo delle biomasse a fini energetici è una delle possibili strategie per ridurre le emissioni di CO₂, limitando così l'effetto serra. La tecnica di coltivazione di specie arboree con turni brevi di ceduzione per la produzione di biomassa lignocellulosica ha avuto diffusione soprattutto a seguito delle prime crisi petrolifere. La loro principale caratteristica agronomica ed economica si esprime attraverso l'elevato tasso di crescita, l'adeguata capacità al ricaccio della ceppaia, l'adattamento a condizioni ambientali sub-ottimali. La tolleranza richiesta dalle specie legnose da biomassa riguarda sia l'ambiente pedoclimatico che le avversità biotiche. In altri termini si richiede un grado di rusticità il più alto possibile (Sage e Tucker, 1995; Pei *et al.*, 1997) per contenere l'apporto di input energetici esterni (pesticidi, fertilizzanti).

Tra le specie legnose da destinare alla produzione di biomassa a fini energetici, i pioppi (*Populus spp.*) sono ritenuti tra i più sensibili alle condizioni di carenza idrica e la loro produttività è proporzionale al consumo idrico (Monclus *et al.* 2006). Negli ambienti mediterranei, i principali limiti per la coltivazione sono legati (i) alla domanda evapotraspirativa ($> 1100 \text{ mm anno}^{-1}$) non bilanciata dalla pluviometria ($< 600 \text{ mm anno}^{-1}$) e (ii) al rischio di mortalità degli impianti nel primo anno.

L'interesse per il pioppo come coltura energetica potrebbe aumentare anche negli areali meridionali qualora vengano selezionati nuovi ibridi con elevato ritmo di crescita e resistenza allo stress idrico. Per verificare questa ipotesi, dalla collezione varietale del CRA-PLF (Unità di ricerca per le produzioni legnose fuori foresta) sono stati considerati tre cloni di recente selezione ('Neva', 'Dvina' e 'Lena') e due cloni della pioppicoltura 'tradizionale' ('Luisa Avanzo' e 'Bellini') che avevano già dato buoni risultati nell'Italia meridionale scelti come testimoni. L'obiettivo finale è individuare i cloni con caratteristiche fisiologiche associate alla tolleranza alla siccità e ad alti rendimenti al momento della raccolta.

Metodologia

Con lo scopo di individuare un possibile modello di Short Rotation Forestry per la produzione di biomassa valido per gli ambienti meridionali, è stato realizzato un dispositivo sperimentale con cinque cloni di pioppo (*Populus x canadensis* e *P. deltoides*) e due sesti di impianto. Le prove sperimentali sono state eseguite in due annate (2010 e 2011) presso l'azienda sperimentale del CRA-SCA, a Rutigliano (Ba) (lat: $40^{\circ}59'$, long: $17^{\circ}59'$, alt: 147 m s.l.m.). La località è caratterizzata da clima marittimo-mediterraneo, pluviometria media annua di circa 600 mm e precipitazioni concentrate durante il periodo autunnale e primaverile.



Foto 1a e 1b - Rutigliano (Bari): talee di pioppo con le prime foglie.

Partendo da talee frigo-conservate provenienti dalla collezione varietale del CRA-PLF (Foto 1a e 1b), sono stati messi a confronto cinque cloni di pioppo (*Populus x canadensis* ‘Luisa Avanzo’, ‘Bellini’, ‘Neva’ e *P. deltoides* ‘Dvina’ e ‘Lena’ – Foto 2) impiantati con un sesto di 3 x 0,5 (Foto 3a) e di 3 x 2 (Foto 3b) a fine marzo 2010, su una superficie di 850 m², secondo un dispositivo sperimentale a blocco completo randomizzato, ripetuto 4 volte (Foto 4a e 4b).



Bellini

Luisa Avanzo

Neva

Dvina

Lena

Foto 2 - Rutigliano (Bari): cloni di Pioppo (*Populus spp.*) in aprile 2011.



Foto 3a - Sesto 3 x 0,5 m.



Foto 3b - Sesto 3 x 2 m.



Foto 4a - Il pioppeto ad aprile 2011.



Foto 4b - Il pioppeto ad agosto 2011.

Per valutare il grado di adattamento dei pioppi alle condizioni semi-aride, nell'autunno 2010 sono stati rilevati la percentuale di sopravvivenza e alcuni parametri biometrici (diametro e altezza del fusto principale, numero di polloni e percentuale di fusti ramificati). Durante la primavera e l'estate del 2011 (maggio, giugno, luglio ed agosto) sono stati determinati tra le 10:00 e le 13:00 i seguenti parametri eco-fisiologici: a) potenziale idrico fogliare (Ψ_1); b) contenuto relativo d'acqua (RWC); c) conduttanza stomatica (g_s); d) contenuto relativo di clorofilla (SPAD), in 5 esemplari per trattamento.

- a) Il potenziale idrico fogliare (Ψ_1) si utilizza per definire inequivocabilmente lo stato idrico delle piante. Il potenziale idrico per l'acqua libera è pari a zero e scende a valori negativi in presenza di fattori fisico-chimici che riducono la disponibilità dell'acqua. Il potenziale idrico fogliare (Ψ_1) è stato misurato usando una camera di pressione (Mod. 3000, Soil Moisture Equipment Co., Santa Barbara, CA, USA), in accordo con la tecnica descritta da Scholander *et al.* (1965) (Foto 5). In pratica, una foglia completamente distesa della parte apicale (tra la 6^a e la 12^a) della pianta viene tagliata con una lama e avvolta in un sacchetto di plastica. Il picciolo si inserisce rapidamente nella guarnizione che sigilla la camera di pressurizzazione. All'interno della camera si aumenta la pressione ad un ritmo di 0,03 MPa s⁻¹ immettendo azoto allo stato gassoso, fino a quando non compare un menisco di acqua sulla superficie di taglio del picciolo.
- b) La quantità di acqua presente nei tessuti vegetali è probabilmente la misura più semplice per definire lo stato idrico della pianta. Il contenuto di acqua del tessuto vegetale solitamente si esprime in rapporto al peso dell'acqua a completa saturazione del tessuto (RWC, relative water content). Il contenuto relativo d'acqua (RWC) dei tessuti fogliari è stato determinato secondo l'equazione riportata da Barrs e Weatherley (1962):

$$RWC = 100 \times (P_f - P_s / P_t - P_s)$$

dove P_f è il peso fresco fogliare iniziale, P_s è il peso secco e P_t corrisponde al peso fresco a piena saturazione (peso turgido).

- c) Il grado di apertura degli stomi è un buon indicatore dello stato idrico delle piante. Attraverso gli stomi le piante perdono la maggior parte dell'acqua ed immagazzinano la CO₂. Il rapporto tra traspirazione e fotosintesi è regolato dall'apertura degli stomi (Schulze *et al.*, 1987). L'attività stomatica è influenzata da numerosi fattori interni ed esterni, come lo stato idrico e la temperatura della foglia, la concentrazione interna ed esterna di CO₂, i regolatori di crescita, la radiazione e l'umidità. La conduttanza stomatica (g_s) è stata misurata su foglie adulte esposte al sole usando un porometro a diffusione (Delta-T AP4, Delta-T Devices Ltd, Cambridge, UK) (Foto 6a), il quale misura la diffusione del vapore d'acqua dalle cavità substomatiche.

d) Il contenuto relativo di clorofilla (SPAD) è stato misurato con un Chlorophyll Meter Minolta SPAD-502 (Foto 6b). Per ottenere questa misura è stato posto il sensore dello strumento al centro di foglie completamente sviluppate sul secondo nodo (dall'apice del fusto). Sono state misurate 3 foglie per albero e 5 alberi per trattamento.



Foto 5 - Misura del potenziale idrico con camera di pressione tipo Scholander.



Foto 6a - Porometro a diffusione (Delta-T AP4) per misurare la conduttanza.



Foto 6b - Misuratore (Minolta SPAD-502) del contenuto relativo di clorofilla (SPAD).

Risultati

I primi germogli e le prime foglioline sono apparsi nei cloni 'Neva', 'Luisa Avanzo' e 'Bellini' (fine marzo), e gli ultimi a germogliare sono stati 'Dvina' e 'Lena' (metà

aprile) (Foto 2). Per quanto riguarda le caratteristiche morfologiche delle foglie, ‘Neva’ e ‘Luisa Avanzo’ si distinguono per avere foglie piccole, coriacee e di colore verde scuro (Foto 7), mentre che ‘Lena’ e ‘Dvina’ le hanno grandi, sottili e di colore verde chiaro (Foto 7). ‘Bellini’ si trova nel mezzo sia per quanto riguarda le dimensioni che il colore delle foglie (Foto 7).

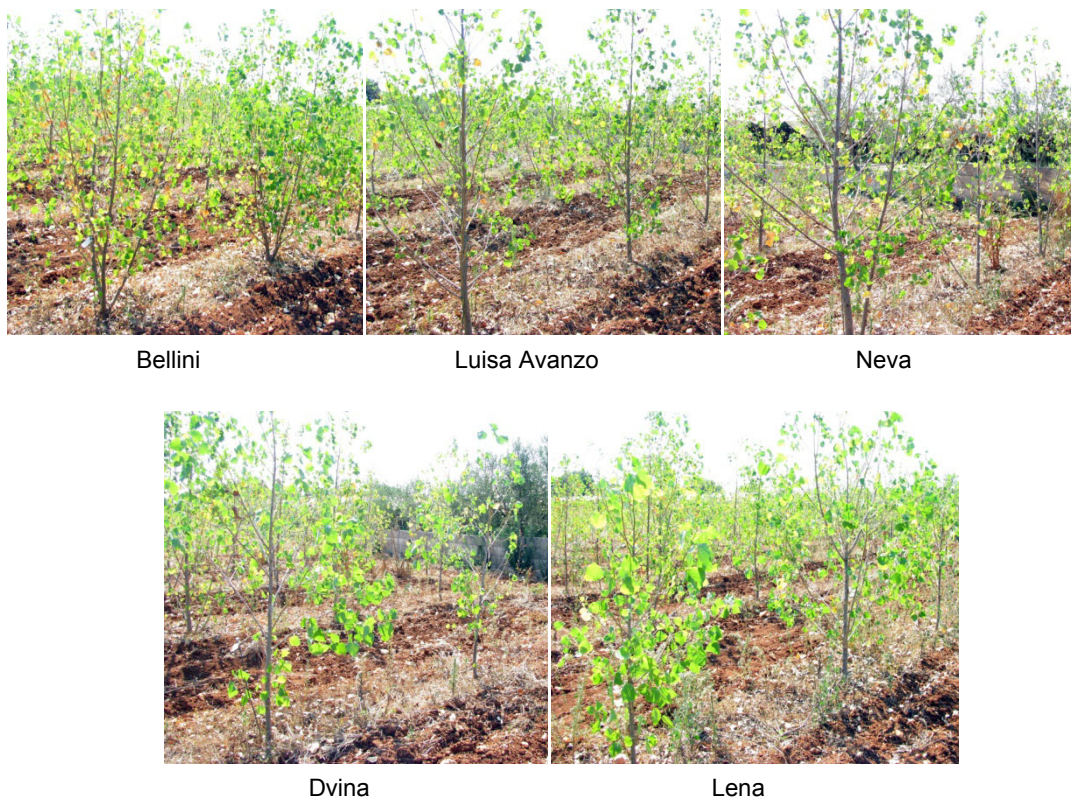


Foto 7 - Agosto del 2011: cloni di Pioppo (*Populus spp.*) allevati con sesto d’impianto 3 x 2 m ad un anno dall’impianto.

Nell’autunno 2010, dopo la caduta delle foglie, sono stati realizzati sui cloni i rilievi biometrici e di sopravvivenza (Tab. 1). Il sesto di impianto non ha influenzato significativamente la % di sopravvivenza, il numero di polloni e le ramificazioni sul fusto. I valori di altezza e diametro del fusto sono stati modificati dal sesto d’impianto: rispetto al sesto 3 x 0,5, il sesto 3 x 2 m è associato ad alberi di taglia inferiore però di maggior diametro (Tab. 1). Il clone ‘Neva’ si è distinto per i valori più elevati di % di sopravvivenza, diametro del fusto principale e altezza (Tab. 1). Il clone ‘Luisa Avanzo’ ha mostrato una maggiore attitudine a ramificare e buoni valori di attecchimento e di altezza (Tab. 1). ‘Dvina’, ma soprattutto ‘Lena’, sono stati invece caratterizzati da bassi valori di sopravvivenza, altezza e ramificazioni (Tab. 1).

Tabella 1 - Rilievi biometrici e sopravvivenza in pioppo all'inizio dell'autunno 2010.

Trattamenti		% sopravvivenza		D (cm)		H (m)		n° polloni		% fusti con rami	
Clone (C)	Luisa Avanzo	90.24	ab	2.30	b	2.35	b	2.35	a	85.41	a
	Bellini	83.40	ab	2.46	ab	2.45	b	1.9	abc	87.92	a
	Neva	97.27	a	2.75	a	2.62	a	2.1	ab	90.83	a
	Dvina	78.52	bc	2.66	a	2.11	c	1.4	bc	94.17	a
	Lena	65.82	c	2.65	a	1.92	d	1.5	c	87.92	a
Densità (D)	3 x 0,5	86.72	a	2.44	b	2.34	a	1.82	a	85.0	a
	3 x 2	79.38	a	2.69	a	2.24	b	1.88	a	89.5	a
Clone		**		*		***		**		ns	
Densità		ns		**		*		ns		ns	
C x D		ns		ns		ns		ns		ns	

*, **, *** e ns indicano il livello di significatività a 0,05, 0,01, 0,001 e assenza di significatività.

Nelle figure 1 e 2 vengono riportati gli indicatori di stato idrico della pianta (potenziale idrico, Ψ_1 ; contenuto relativo d'acqua, RWC; conduttanza stomatica, g_s). Gli andamenti di questi parametri indicano che durante la primavera le piante si trovano in ottime condizioni idriche, valori meno negativi di Ψ_1 (Figg. 1a e b), ed alti valori di RWC (Figg. 1c e d) e g_s (Figg. 2a e b). Nei mesi successivi, a causa della forte richiesta evapotraspirativa dell'ambiente e delle scarse precipitazioni, le riserve idriche del terreno si esauriscono e lo stato idrico delle piante peggiora progressivamente. Infatti si constata che i valori di Ψ_1 diventano più negativi (Figg. 1a e b), quelli di RWC (Figg. 1c e d) e di g_s (Figg. 2c e d) più bassi. Nel caso della conduttanza stomatica, nel mese di agosto gli stomi di tutti i cloni sono risultati chiusi, a prescindere dal sesto di impianto (Fig. 2c). Ciò è dovuto alle condizioni climatiche (alte temperatura e radiazione e scarsità di pioggia) che hanno provocato la riduzione dell'acqua nel terreno, la diminuzione del Ψ_1 e, di conseguenza, la chiusura degli stomi.

Nel mese di maggio si osserva come i valori di Ψ_1 nei cloni 'Dvina' e 'Lena' sono meno negativi rispetto agli altri 3 cloni (Figg. 1a e b). Più che a un migliore stato idrico, questi valori si devono attribuire allo sviluppo delle foglie: i cloni 'Dvina' e 'Lena' essendo più 'tardivi' nello sviluppo fogliare, al momento della misura di Ψ_1 a maggio avevano meno intaccato il contenuto di acqua del terreno. In genere il sesto di impianto non influisce sul valore di Ψ_1 , ma è interessante notare come, tra i 5 cloni confrontati, si distingue 'Neva' che mostra valori di Ψ_1 meno negativi durante i mesi di maggio, giugno ed agosto, se impiantato con sesto 3 x 0,5 m (Fig. 1a).

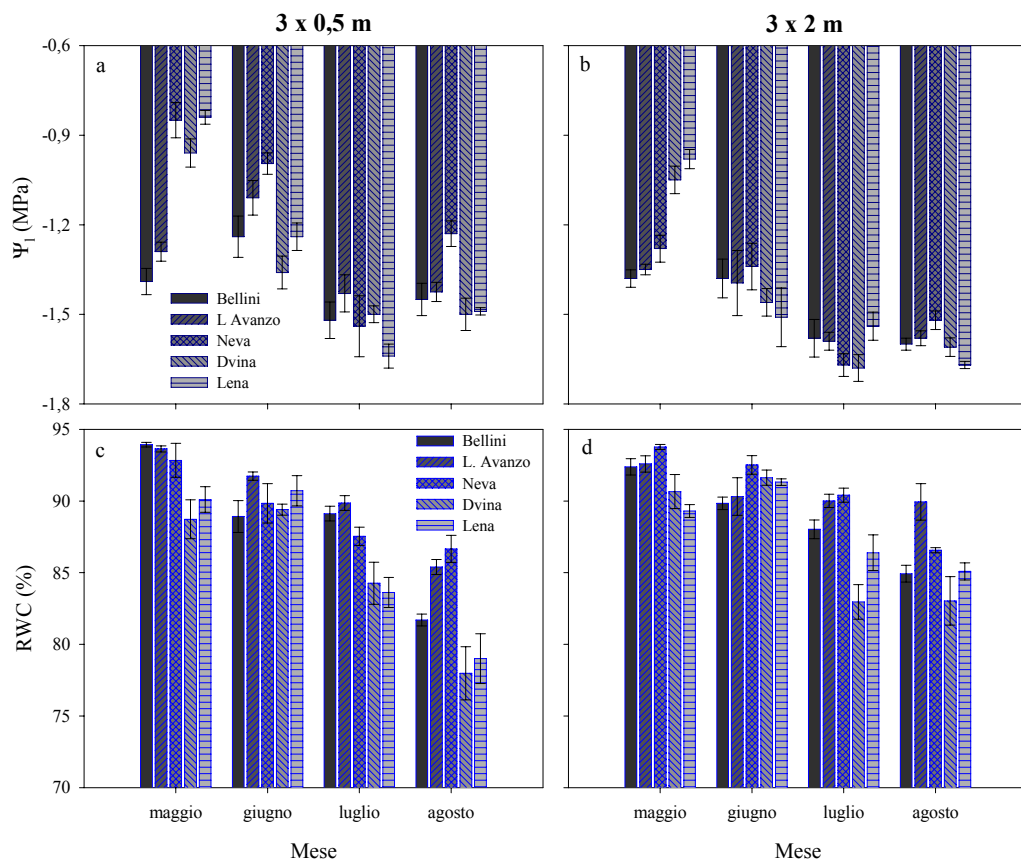


Figura 1 - Potenziale idrico fogliare (Ψ_l ; MPa) (a; b) e contenuto relativo d'acqua (RWC; %) (c; d) in cinque cloni di pioppo (Bellini, Luisa Avanzo, Neva, Dvina e Lena) a due sesti di impianto 3 x 0,5 m (a; c) e 3 x 2 m (b; d). Rilievi giornalieri a mezzogiorno durante i mesi di maggio, giugno, luglio ed agosto di 2011.

I valori più alti di g_s del pioppo corrispondono alle misure in primavera per diminuire in estate e raggiungere valori minimi in agosto con la chiusura stomatica (Fig. 2). 'Dvina' e 'Lena' (Fig. 2) sono stati caratterizzati in tutte le stagioni dai più bassi valori di g_s , mentre 'Bellini' ha presentato quelli più alti con il sesto di 3 x 2 (Fig. 2b). Pertanto, questo clone potrebbe essere più facilmente esposto a stress idrici, poiché, mantenendo aperti gli stomi, tende a 'dissipare' la riserva idrica del terreno, anche quando questa si trova a livelli minimi (luglio-agosto). 'Luisa Avanzo' e 'Neva' con sesto 3 x 2, adeguano l'apertura stomatica alla disponibilità idrica del terreno: valori di g_s costanti ed elevati in primavera (con buone condizioni idriche del terreno - fig. 2b) e minimi in estate (condizioni idriche limitate- fig. 2d). A differenza del sesto 3 x 2, con il sesto d'impianto 3 x 0,5 m non sono state trovate grandi differenze di conduttanza stomatica tra i cloni (Figg. 2a e 2c).

Il comportamento stomatico del clone ‘Luisa Avanzo’ (con sesto 3 x 2) lascia ipotizzare un migliore adeguamento alle condizioni idriche del terreno. Infatti, con l’arrivo delle alte temperature (mese di giugno) questo genotipo adatta l’apertura stomatica alla disponibilità idrica del terreno: gli stomi tendono a chiudersi e di conseguenza si riduce la traspirazione (bassi valori di conduttanza stomatica - fig. 2d). Questo comportamento può essere interpretato come un meccanismo utile a ridurre le perdite di acqua attraverso la traspirazione e, pertanto, ottimizzare le risorse idriche quando la domanda evapotraspirativa è elevata (Navarro *et al.*, 2009; Tenhunen *et al.*, 1990). Questo comportamento indica un miglior adattamento di ‘Luisa Avanzo’ alle condizioni semi-aride. Comunque l’adattamento è la risultante di altri fattori concomitanti che sono stati riscontrati dalle osservazioni su questo clone, quali lo stato fitosanitario delle piante e la morfologia delle foglie. Per quanto riguarda quest’ultimo carattere, rispetto agli altri cloni, Luisa Avanzo presenta foglie più piccole e coriacee che permettono di mantenere elevati e costanti i valori di RWC durante l’estate, a prescindere dai sestri di impianto (Fig. 1c).

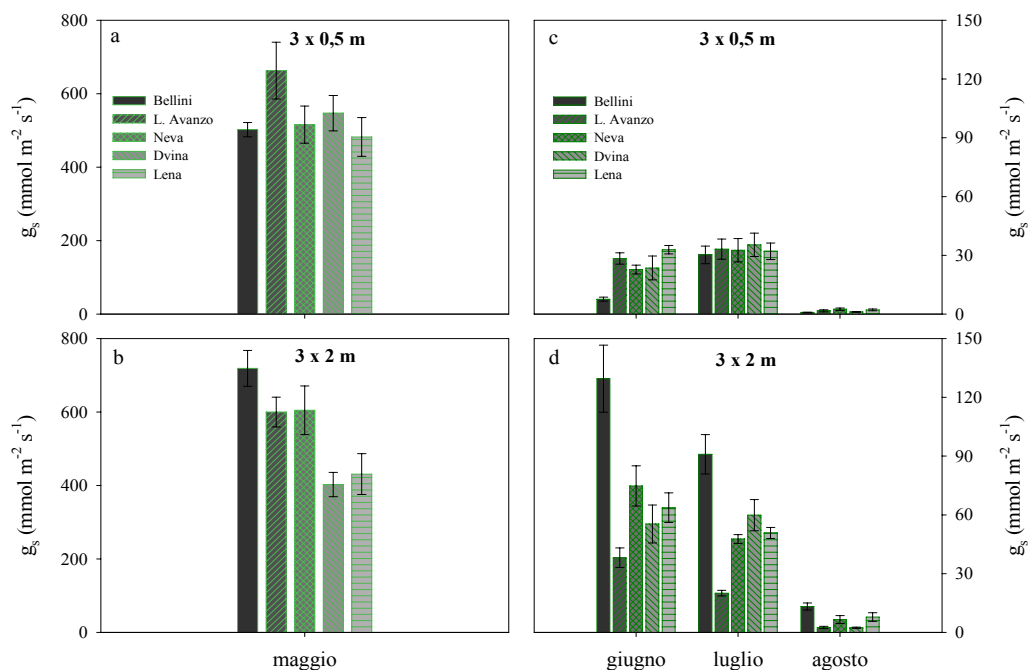


Figura 2. Conduttanza stomatica (g_s ; $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) in cinque cloni di pioppo (Bellini, Luisa Avanzo, Neva, Dvina e Lena) a due sestri di impianto 3 x 0,5 m (a; c) e 3 x 2 m (b; d). Rilievi giornalieri a mezzogiorno durante i mesi di maggio (a; b), giugno, luglio ed agosto di 2011 (c; d).

L’andamento di SPAD (clorofilla - indicatore del colore verde) corrisponde a bassi valori in primavera, quando le foglie sono ancora giovani e di colore verde chiaro, soprattutto nei cloni ‘Dvina’ e ‘Neva,’ che sono gli ultimi a germogliare (Foto 2),

elevati in giugno (verde intenso) e di nuovo bassi nei mesi estivi di luglio ed agosto (inizio senescenza - foto 7).

In generale, i cloni con sesto d'impianto 3 x 2 hanno avuto valori più bassi di SPAD rispetto a quelli del sesto 3 x 0,5 m (Figg. 3a e b). Questo fatto è sicuramente dovuto alla maggiore esposizione solare alla quale sono stati sottoposti gli alberi con sesto d'impianto largo. I cloni 'Bellini' e 'Neva' hanno mostrato i valori più alti di SPAD con il sesto 3 x 0,5 (Fig. 3a) e 'Luisa Avanzo' e 'Neva' con sesto il 3 x 2 (Fig. 3b), mentre che con entrambi i sestri d'impianto 'Lena' e 'Dvina' hanno avuto i valori più bassi (Figg. 3a e b).

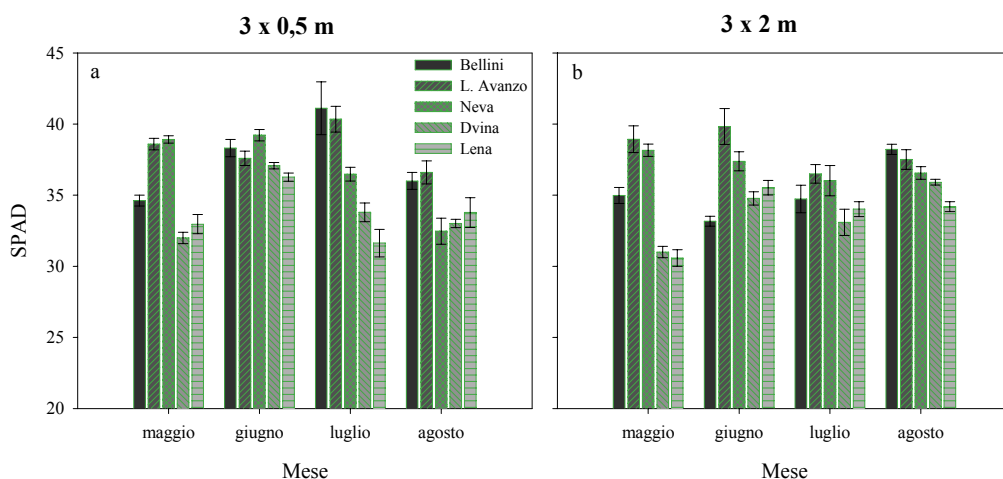


Figura 3. Contenuto relativo di clorofilla (SPAD) nelle foglie dei cinque cloni di pioppo (Bellini, Luisa Avanzo, Neva, Dvina e Lena) a due sestri di impianto 3 x 0,5 m (a) e 3 x 2 m (b). Rilievi a mezzogiorno durante i mesi di maggio, giugno, luglio ed agosto di 2011.

Conclusioni

In base ad alcune caratteristiche eco-fisiologiche, dal confronto tra cinque cloni di Pioppo condotto nel Sud Italia al termine del primo anno di sperimentazione si possono già fare alcune interessanti considerazioni che riguardano il loro adattamento all'ambiente:

- 'Lena' e 'Dvina' hanno mostrato scarso accrescimento e basso grado di attecchimento.
- 'Bellini' ha una scarsa sensibilità degli stomi al contenuto di acqua nel terreno (elevata conduttanza anche durante il periodo di maggiore domanda evapotraspirativa) e modeste performance produttive (dati biometrici in tab. 1).
- 'Luisa Avanzo' e 'Neva' hanno manifestato, invece, un buon grado di attecchimento delle talee, elevati valori di accrescimento e di SPAD. Queste caratteristi-

che si associano a bassi valori di g_s durante il periodo estivo e, nel caso di ‘Luisa Avanzo’, ad alti valori di RWC. Per questi due cloni, la chiusura stomatica e la morfologia delle foglie indicano la capacità di adattamento agli ambienti semi-aridi.

La risposta produttiva dei cloni di pioppo, in termini di biomassa, potrà essere fornita solo al secondo o al terzo anno di sperimentazione quando le piante avranno sviluppato completamente il loro apparato radicale e le chiome.

Bibliografia

- Barrs H.D., Weatherley P.E., 1962. A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. *Austr. J. Biol. Sci.* 15, 413-428.
- Monclus R., Dryer E., Villar M., Delmotte F.M., Delay D., Petit J-M., Barbaroux C., Le Thiec D., Brechet C., Brignolas F., 2006. Impact of drought on productivity and water use efficiency in 29 genotypes of *Populus deltoides* x *Populus nigra*. *New Phytol.* 169, 765-777.
- Navarro A., Álvarez S., Castillo M., Bañón S., Sánchez-Blanco M.J., 2009. Changes in tissue-water relations, photosynthetic activity, and growth of *Myrtus communis* plants in response to different conditions of water availability. *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 84(5), 541-547.
- Pei M.H., Parker S.R., Hunter T., Royle D.J., 1997. Variation in populations of *Melampsora* willow rust and the implication for design of short rotation coppice plantations. *Asp. App. Biol.* 49, 91-96.
- Sage R.B., Tucker K., 1995. Integrated flora management and pest control in short rotation coppice. In: *Wood fuel. The green debate.* Harwell Laboratories, Oxford.
- Scholander P.F., Hammel H.T., Bradstreet E.D., Hemmingsen E.A., 1965. Sap pressure in vascular plants. *Science.* 148, 339-346.
- Schulze E.D., Robichaux R.H., Grace J., Rundel P.W., Ehleringer J.R., 1987. Plant water balance. *BioScience* 37, 30-37.
- Tenhunen J.D., Sala Serra A., Harley P.C., Dougherty R.L., Reynolds J.F., 1990. Factors influencing carbon fixation and water used by Mediterranean sclerophyll shrubs during summer drought. *Oecologia.* 82, 381-393.

2 - Prove di adattamento di cloni di pioppo (*Populus* spp.) in Sicilia

*Comparison for adaptability of poplar (*Populus* spp.) clones in Sicily*

Gianni Facciotto*, Giuseppe Nervo*

Riassunto

Oltre all'eolico e al solare, anche le biomasse, in particolare le lignocellulosiche potrebbero trovare un utilizzo in Sicilia. Recentemente una società energetica tedesca ha annunciato di aver firmato un accordo per la costruzione del primo impianto di cogenerazione da biomassa della potenza di 18,7 MW in questa regione. In una recente indagine la disponibilità regionale di biomasse residuali di origine agricola: potatura di colture arboree, paglie, sanse e vinacce, è stata stimata pari a 640 Ktep; a questi vanno aggiunti circa 11 Ktep provenienti dagli scarti delle utilizzazioni forestali. La maggior parte di questi residui attualmente viene bruciata in campo. La biomassa può anche essere prodotta con colture dedicate come i cedui a turno breve. Questi, secondo uno studio dell'Università di Palermo potrebbero occupare una superficie di circa 350.000 ha. Per verificare la produttività dei cedui a turno breve il CRA-PLF ha avviato una sperimentazione *ad hoc* e in questo lavoro vengono riportati i primi risultati. Nella primavera 2008 sono stati costituiti 4 impianti in tre località della Sicilia Centrale: San Cataldo, Mussomeli e Caltanissetta loc. Misteci. Nelle ultime due località oltre ai pioppi sono state testate anche altre specie: robinia, eucalitti ed acacia saligna. Il suolo è stato arato ed erpicato prima dell'impianto, effettuato con una trapiantatrice. Per i pioppi sono state utilizzate talee di 22 cm, piantate alla densità di 6667 p ha⁻¹. Per le altre specie sono stati impiegati semenzali di un anno piantati alla densità di 3333 p ha⁻¹. Solo al primo anno in tutti i campi è stata effettuata l'irrigazione, in quantità buone solo a Mussomeli dove la

* CRA-PLF, Unità di ricerca per le produzioni legnose fuori Foresta (PLF), Casale Monferrato, IT.

piantagione era prossima a un impianto di fitodepurazione. A San Cataldo tra i pioppi il clone *P × canadensis* 'Orion' ha avuto una produzione interessante, 3,8 t ha⁻¹ di s.s. in 2 anni. A Misteci le produzioni variano tra le 0,05 t ha⁻¹ di s.s. di robinia e le 4,2 t ha⁻¹ s.s. di acacia saligna; i pioppi hanno prodotto solo 0,08 t ha⁻¹. A Mussomeli, dove la produzione è stata discreta, pioppo e robinia, hanno raggiunto le 2,9 t ha⁻¹ di s.s.; l'acacia saligna invece 12,4 t ha⁻¹ anno⁻¹ di s.s. Il pioppo nell'ambiente siciliano può essere impiegata in maniera conveniente solo dove viene effettuato lo smaltimento di acque reflue; altrove si potrebbero utilizzare eucalitti ed acacia saligna.

Parole chiave: Pioppo, cloni, biomassa, cedui a turno breve, produzione, Sicilia

Abstract

*Besides wind and sun (photovoltaic and thermal) also biomasses, particularly the lignocellulosic ones, could be used in Sicily. Last year a German energy company has announced that it signed an agreement for the construction of the first biomass cogeneration plant in Sicily (18,7 MW). In a recent investigation the regional availability of residual biomasses of agricultural origin: pruning of grapevines, olive trees, citrus orchards, straws of cereal crops and the waste of agro-industry (husk and dregs of pressed grapes) has been assessed near to 640 Ktpe; other 11 Ktpe, coming from forestry waste must be added. Currently the most part of these residues are burnt near the field. The biomass can also be produced with energy crops, like short rotation coppices (SRC). According to a study of the University of Palermo that utilised the geographical information system (GIS) methodology, considering the currently use of the soil, slopes of the field, climatic condition, etc, SRC could be extended to around 350.000 hectares with an annual dry biomass production around 1,32 Mt. To verify the actual production of poplar species and clones SRC, the Research unit of Intensive wood production of Agricultural Research Council (CRA-PLF), in Spring 2008, established four field trials in three different sites of Caltanissetta province, in the center of the Sicily: San Cataldo, Mussomeli, and Caltanissetta loc. Misteci. In the last two sites besides the poplars other species are been tested: black locust, eucaliptus and acacia saligna. Soils were ploughed (25-30 cm deep) and harrowed before planting. The poplar clones were planted as cuttings (22 cm long) at a density of 6667 cuttings per hectare; black locust, eucalyptus and acacia saligna as 1-year-old seedlings at a density of 3333 trees per hectare. A semi-automatic transplanting machine was used for all the species and clones. No fertilizer was applied. During the first year all the fields were irrigated with drip system. The Mussomeli trial is located near a municipal waste water treatment plant, so 450 mm of water were distributed during the first growing season. Disk-harrowing was carried out two times at Mussomeli and San Cataldo and one time at Misteci only in the first year of cultivation. During the second year any treatment was applied. At San Cataldo among the poplars only the *P × canadensis* 'Orion' clone had an interesting production around 3,8 Oven Dry tons per hectare (ODt ha⁻¹) in two years. At Caltanissetta loc. Misteci the biomass production ranged among the 0,05 ODt ha⁻¹ of the black locust and the 3.14*

ODt ha⁻¹ of the E. camaldulensis and the 4.2 ODt ha⁻¹ of the acacia saligna; the poplars produced only 0,08 ODt ha⁻¹. At Mussomeli, where the irrigation has been effected, poplar and black locust produced around to 2,9 ODt ha⁻¹; excellent the performance of the acacia saligna, 12,4 ODt ha⁻¹ year⁻¹. The productivity of the poplar clones compared in these trials, including also P. alba ones, a species that is considered water stress tolerant, resulted rather low. To produce biomass poplars need an annual rainfall of 700 mm, 350-450 during the growing season. This condition is occurred only during the first year at Mussomeli. Even if the trials are still in progress, and normally the second cycle productions increases of over 50% we can already affirm that in the most part of the Sicily, where annual rainfall are under 500 mm, particularly during autumn-winter period, the cultivation of poplar SRC is possible only with irrigation; considering the high cost of this practice poplar could be grown in a sustainability way only near waste water treatment plant.

Keywords: *Poplar, clones, biomass, short rotation coppice, production, Sicily.*

Le disponibilità di biomassa in Sicilia

Nell'ultimo decennio c'è stato un notevole interesse per la produzione di energia da fonti rinnovabili sia a livello nazionale che regionale. Nelle zone caratterizzate da clima mediterraneo con elevata insolazione e buona ventilazione durante tutto l'anno le fonti preferite sono senz'altro l'eolico e il solare, sia fotovoltaico che termico. Considerando l'elevata estensione della superficie agricola utilizzabile, anche le biomasse possono trovare spazio e tra queste quelle derivate dal settore agro-forestale. Con materiale lignocellulosico è possibile la produzione di energia termica, sia per riscaldamento che per raffrescamento, elettrica, eventualmente in cogenerazione e infine dei biocarburanti di seconda generazione. Tra i materiali utilizzabili ci sono i sottoprodotti del settore agricolo, residui di potatura di viti, ulivi, agrumi e altre colture arboree, le paglie delle colture cerealicole ed i sottoprodotti dell'industria alimentare (sanse e vinacce). I quantitativi di biomasse residuali potenzialmente disponibili in Sicilia ed in tutto il Paese sono riportati in tabella 1. Le biomasse residuali agricole è auspicabile vengano utilizzate a scopo energetico perché al momento secondo una indagine di Itabia (2009) sono prevalentemente bruciate in campo, fino al 90-100%; il loro potenziale energetico viene sprecato e l'anidride carbonica immagazzinata durante la coltivazione è reimpressa direttamente in atmosfera.

A questi si possono aggiungere i sottoprodotti della produzione forestale riportati in tabella 2. Tutti questi dati sono tratti da un recente rapporto edito da ENEA (Motta *et al*, 2009). La biomassa legnosa annualmente disponibile è stata calcolata, al netto delle limitazioni, su scala territoriale. Per le fustaie di conifere o latifoglie la biomassa legnosa per usi energetici è stata quantificata sulla base degli scarti delle utilizzazioni forestali (rami e cimale), vale a dire circa il 30-35% del volume den-

drometrico totale nei boschi a prevalenza di latifoglie e il 15-20% nei boschi a prevalenza di conifere; per i cedui la produttività potenziale annua sostenibile è stata destinata interamente per scopi energetici, fatta eccezione per i cedui di castagno dove è stato ipotizzato un uso del 50% di massa per la produzione di paleria.

Tabella 1 - Riepilogo dei potenziali della biomasse residuali agricole o agro-industriali espresse in t di sostanza secca e di petrolio equivalente in Sicilia e sull'intero territorio nazionale (da Motola *et al.*, 2009 mod).

Localizzazione	Paglie		Potature		Sanse + Vinacce	
	t	tep	t	tep	t	tep
Sicilia	731.970	280.450	597.920	258.840	186.350	103.530
Totale nazionale	15.710.890	6.019.520	4.906.410	2.123.990	1.319.880	733.280

Tabella 2 - Biomassa legnosa, in tonnellate di sostanza secca e di petrolio equivalente (tep), potenzialmente ritraibile annualmente dalle foreste della Sicilia e dell'intero territorio nazionale (da Motola *et al.*, 2009 mod).

Localizzazione	Biomassa	tep
Sicilia	25.580	11.070
Totale nazionale	2.180.590	943.970

Complessivamente potrebbero essere disponibili in Sicilia poco più di 650 ktep, però questo tipo di materiale deve essere raccolto, eventualmente lavorato (ad esempio sminuzzato nel caso dei residui legnosi) e immagazzinato. Al momento pur essendo state messe a punto tecniche di raccolta e conservazione e immesse sul mercato varie macchine per effettuare questo tipo di operazioni viene ancora preferito l'interramento o la bruciatura.

La biomassa può essere prodotta anche con colture dedicate; nel caso delle specie arboree si sono sviluppati in tutto il mondo i cedui a turno breve o Short Rotation Coppices (SRC). Si utilizzano specie arboree a rapido accrescimento: salice (*Salix* spp), pioppo (*Populus* spp.), robinia (*Robinia pseudoacacia* L.), eucalitto (*Eucalyptus* spp.) ed altre; coltivate su terreni agricoli in piantagioni con elevate densità d'impianto (1000 – 15000 piante per ettaro), e ceduzioni ripetute a distanze ravvicinate, ogni 2-6 anni.

In un recente studio effettuato in Sicilia dall'Università di Palermo (Beccali *et al.*, 2009) utilizzando la metodologia GIS e tenendo conto dell'attuale utilizzo del suolo, set-aside, colture di pregio ecc, delle condizioni climatiche, almeno 500 mm annuali

di pioggia per evitare l'irrigazione, della pendenza del terreno, inferiore al 10% per rendere possibile una elevata meccanizzazione di tutte le operazioni colturali e della raccolta, è stata calcolata una disponibilità di circa 350.000 ha con una produzione annuale stimata di circa 1,32 Mt di biomassa legnosa anidra.

Nell'autunno 2010 una società energetica tedesca ha annunciato di aver firmato un accordo per la costruzione in Sicilia del primo impianto di cogenerazione da biomassa da 18,7 MW; dovrebbe produrre 128.000 MWh di energia, quantità sufficiente a soddisfare il fabbisogno di energia elettrica annuale di 30.000 residenti.

Sperimentazione effettuata con pioppo in Sicilia

Al fine di valutare la possibilità di coltivazione dei cedui di pioppo in Sicilia ed eventualmente identificare le più appropriate varietà clonali, nella primavera 2008 sono stati messi a dimora quattro campi sperimentali in tre differenti località della provincia di Caltanissetta: Mussomeli (fig. 1), San Cataldo, e Caltanissetta loc. Misteci (fig. 2); tutti e tre i siti sono localizzati in area collinare; le precipitazioni medie annuali ammontano a circa 500 mm concentrati per lo più nel periodo autunno invernale.



Figura 1 - Mussomeli (CL). Ceduo a turno breve di pioppo al secondo anno dall'impianto.



Figura 2 - Caltanissetta località Misteci. Ceduo a turno breve di varie specie a rapido accrescimento.

Il campo sperimentale di Mussomeli è localizzato in prossimità di un impianto di depurazione delle acque reflue e viene irrigato con le acque in uscita dal depuratore tramite il sistema a goccia. Nel campo di località Misteci l'irrigazione può essere effettuata solo per soccorso anche in questo caso tramite impianto a goccia prelevando l'acqua da un laghetto collinare aziendale. Entrambi i campi sono situati su versanti collinari con leggera pendenza. Nei due campi sono stati testati una decina di cloni di pioppo delle specie *Populus deltoides* Marshall e *P. ×canadensis* Mönch. In queste due prove oltre al pioppo sono testate anche altre quattro specie: la robinia (*Robinia pseudoacacia* L.), due specie di eucalitto (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnn and *E. globulus* Labill.) e l'*Acacia saligna* (Labill.) H.L.Wendl. Il disegno sperimentale è il blocco completo randomizzato con due replicazioni per ogni specie. Per i cloni di pioppo le replicazioni sono cinque.



Figura 3 - San Cataldo (CL). Confronto cloni di pioppo in ceduo a turno breve.



Figura 4 - San Cataldo (CL). Confronto tra cloni di *P.alba* e *P. xcanadensis* 'Orion' in ceduo a turno breve.

A San Cataldo sono invece stati messi a dimora due campi sperimentali solo con pioppo, in uno (Fig. 3) sono a confronto gli stessi cloni testati nei due precedenti impianti, nell'altro sono confrontati 9 cloni di pioppo bianco (*P. alba* L.) e il clone *P. ×canadensis* 'Orion' selezionato ed iscritto al Registro Nazionale dei Materiali di Base appositamente per la produzione di biomassa ad uso energetico (fig 4). I due campi si trovano in leggera pendenza trasversale al senso delle file. Analogamente agli impianti delle altre località anche in questi, lungo le file, sono state stese le ali gocciolanti per effettuare l'irrigazione. Il disegno sperimentale è sempre il blocco completo randomizzato con cinque replicazioni.

Prima della messa a dimora è stata effettuata l'aratura (25-30 cm di profondità) seguita da una erpicatura per raffinare le zolle. Per i cloni di pioppo sono state utilizzate talee di 22 cm di lunghezza. Le talee di pioppo sono state messe a dimora ad una densità di 6667 piante per ettaro.

Per le altre specie sono stati impiegati semenzali di circa un anno di età e la densità d'impianto è stata ridotta a 3333 alberi per ettaro. L'impianto è stato effettuato su file singole distanziate di 3 metri, la distanza sulla fila è di 0,5 m per il pioppo e di 1 m per le altre specie. Le piantagioni sono state effettuate utilizzando una trapiantatrice semi-automatica sia per le talee che per i semenzali.

Non è stata effettuata la fertilizzazione di fondo. Durante il primo anno in tutti i campi è stata effettuata l'irrigazione; in tabella 3 sono riportati il numero di interventi irrigui e le quantità di acqua complessivamente distribuita durante tutta la stagione vegetativa. Le lavorazioni del suolo nell'interfila, per il controllo delle infestanti e la rottura della crosta superficiale per limitare l'evaporazione, sono state effettuate due volte a Mussomeli e San Cataldo ed una volta a Misteci soltanto durante la prima stagione vegetativa. Durante il secondo anno di coltivazione non sono stati effettuati interventi culturali se si esclude qualche intervento irriguo a Mussomeli.

Tabella 3 - Numero di interventi irrigui (N°) e quantità di acqua (mm) distribuita complessivamente durante la prima stagione vegetativa.

Località	N°	mm
Mussomeli	15	450
San Cataldo	4	80
Caltanissetta loc. Misteci	2	30

Al termine della prima stagione vegetativa, dato l'accrescimento limitato, sono state misurate solo le altezze delle piante; mentre alla fine del secondo anno, in ogni parcella, sono state misurate le seguenti variabili:

- sopravvivenza delle piante,
- numero di piantine/polloni con altezza maggiore di 150 cm,
- diametro a 130 cm di altezza di tutte le piante con altezza superiore a 150 cm,
- diametro a 10 cm da terra solamente per l'acacia saligna,
- altezza totale.

Tabella 4 - Mussomeli (CL). Media di sopravvivenza (%), numero di ricacci per talea o semenzale (Ri), diametro a petto d'uomo in mm (D130), altezza totale in cm (Ht), biomassa anidra in t ha⁻¹ (BS) and in t ha⁻¹ anno⁻¹ (BSa) delle differenti specie al termine della seconda stagione vegetativa.

Specie	%	Ri	D130	Ht	BS	BSa
<i>A. saligna</i>	99	2,5	30	321	24,8	12,4
<i>E. camaldulensis</i>	71	1,7	30	298	10,6	5,3
<i>E. globulus</i>	85	1,1	31	331	7,8	3,9
Robinia	95	1,6	17	227	2,9	1,4
Pioppi	57	1,4	22	272	2,9	1,5

Per stimare la produzione di biomassa sono state raccolte tra le 10 e le 30 piante per ogni specie/clone. Su ogni pianta sono stati rilevati i diametri a 10 e 130 cm di altezza, l'altezza totale il peso fresco e su un sottocampione il peso secco dopo essiccazione in stufa a 103±1°C.

Per l'analisi statistica è stato utilizzato il programma STATISTICA 6.0 per Windows (StatSoft). Sono state calcolate equazioni di regressione per mettere in relazione il peso secco delle piante intere con il diametro. La produttività di biomassa espressa in sostanza secca per ettaro è stata calcolata tenendo conto del numero di ricacci prodotto dalle talee/semenzali e dalla loro sopravvivenza. I dati di sopravvivenza sono stati elaborati dopo trasformazione in arcoseno $\sqrt{\%}$.

La sopravvivenza e gli accrescimenti dell'impianto di Mussomeli sono riportati in tabella 4 e quelli di Misteci in tabella 5.

Tabella 5 - Caltanissetta loc. Misteci. Media di sopravvivenza (%), numero di ricacci per talea o semenzale (Ri), diametro a petto d'uomo in mm (D130), altezza totale in cm (Ht), biomassa anidra in t ha⁻¹ (BS) and in t ha⁻¹ anno⁻¹ (BSa) delle differenti specie al termine della seconda stagione vegetativa.

Specie	%	Ri	D130	Ht	BS	BSa
<i>A. saligna</i>	100	1.0	18	245	4,20	2,10
<i>E. camaldulensis</i>	100	1.0	13	228	3,14	1,57
<i>E. globulus</i>	90	1.1	-	129	0,16	0,08
Robinia	84	1.6	-	68	0,05	0,03
Pioppi	85	1.4	-	101	0,08	0,04

Nelle tabelle 6 e 7 invece sono riportati i risultati ottenuti nelle due prove di San Cataldo condotte con specie e cloni diversi di pioppo.

Tabella 6 - San Cataldo (CL). Prova di confronto tra cloni di *P. deltoides* e *P. ×canadensis*. Media di sopravvivenza (%), numero di ricacci per talea o semenzale (Ri), diametro a petto d'uomo in mm (D130), altezza totale in cm (Ht), biomassa anidra in t ha⁻¹ (BS) and in t ha⁻¹ anno⁻¹ (BSa) delle differenti specie al termine della seconda stagione vegetativa.

Cloni	%	Ri	D130	Ht	BS	BSa
Media generale	61	1,1	15	231	1,09	0,55
Miglior clone	85	1,0	23	308	2,97	1,50

Tabella 7 - San Cataldo (CL). Prova di confronto tra cloni di *P. alba* and *P. ×canadensis* 'Orion'. Media di sopravvivenza (%), numero di ricacci per talea o semenzale (Ri), diametro a petto d'uomo in mm (D130), altezza totale in cm (Ht), biomassa anidra in t ha⁻¹ (BS) and in t ha⁻¹ anno⁻¹ (BSa) delle differenti specie al termine della seconda stagione vegetativa.

Species/cloni	%	Ri	D130	Ht	BS	BSa
Media cloni <i>P. alba</i>	57	1,1	-	116	0,12	0,06
Miglior clone <i>P. alba</i>	56	1,3	12	189	0,55	0,27
Orion	94	1,7	18	292	3,81	1,90

Tra i pioppi allevati a San Cataldo (tabelle 6 e 7) solamente il clone *P. ×canadensis* 'Orion' ha avuto un accrescimento interessante, anche se in due anni ha raggiunto le dimensioni che le piante allevate in pianura padana raggiungono in un anno; di conseguenza anche le produzioni di sostanza secca di questo clone sono abbastanza basse comprese tra 1,5 e 1,9 t ha⁻¹ anno⁻¹. Per avere produzioni più consistenti è necessario allungare il turno.

A Caltanissetta loc. Misteci (Tab. 5) la produzione di biomassa anidra varia tra le 0,05 t ha⁻¹ della robinia e le 3,14 t ha⁻¹ del *Eucalyptus camaldulensis* o le 4,2 t ha⁻¹ dell'acacia saligna. Le produzioni risultano proporzionate al diverso adattamento delle specie testate all'aridità; i pioppi pur avendo una densità d'impianto pressoché doppia rispetto alle altre specie hanno prodotto solamente 0,08 t ha⁻¹, superando però la robinia.

A Mussomeli, dove l'irrigazione è stata effettuata con regolarità al primo anno, mentre al secondo si sono avuti problemi di distribuzione dell'acqua specialmente nel periodo più arido, la produttività (Tab. 4) è stata sei volte superiore a quella di Misteci e la *performance* dell'acacia saligna (12,4 t ha⁻¹ anno⁻¹ di s.s.), si avvicina a

quella ottenuta nelle piantagioni commerciali di pioppo della pianura padana. Anche in questa località il pioppo aveva una densità iniziale doppia di quella delle altre specie, purtroppo la carenza idrica dovuta alla sospensione dell'irrigazione nel periodo più arido del secondo anno ha provocato un'elevata mortalità delle piantine riducendo alla fine del secondo anno la sopravvivenza al 57%. Le produzioni del pioppo e della robinia sono le più basse e si attestano a 2,9 t ha⁻¹ molto vicine, come d'altronde gli accrescimenti in diametro ed altezza, alle produzioni dei cedui di pioppo alla fine del primo anno nel Nord Italia.

La produttività dei cloni di pioppo comparati in queste prove, compresi quelli di *P. alba* specie considerata relativamente tollerante le condizioni di stress idrico, sono risultate piuttosto basse, probabilmente in questi ambienti è necessario allungare il turno a tre-quattro anni. D'altronde i pioppi per poter crescere e produrre biomassa necessitano di una piovosità di almeno 700 mm annui, di cui almeno 350-450 durante la stagione vegetativa (Bergante *et al.*, 2010); se le piogge non sono sufficienti è necessario intervenire con l'irrigazione. Questa condizione si è verificata solo al primo anno nell'impianto di Mussomeli, purtroppo al secondo specialmente nel periodo più arido l'irrigazione è stata sospesa per problemi all'impianto di distribuzione; altrimenti le produzioni sarebbero state molto più alte.

Anche se le prove sono ancora in corso, e normalmente al secondo turno le produzioni aumentano di oltre il 50% o più si può già affermare che nella maggior parte del territorio siciliano, dove la precipitazione sono prossime ai 500 mm annui concentrati nel periodo autunno-invernale, la coltivazione del pioppo a scopi produttivi può essere effettuata solo con irrigazione e dato il costo elevato di questa pratica solo dove viene effettuato lo smaltimento di acque reflue.

Bibliografia

- Bergante S., Facciotto G., Minotta G., (2010). Identification of the main site factors and management intensity affecting the establishment of Short-Rotation-Coppices (SRC) in Northern Italy through Stepwise regression analysis, *Cent. Eur. J. Biol.* 5(4), 522-530.
- Itabia, (2009). *Rapporto 2008, I traguardi della bioenergia in Italia elementi chiave per gli obiettivi al 2020*. www.itabia.it
- Motola V., Colonna N., Alfano V., Gaeta M., Sasso S., De Luca V., De Angelis C., Sda A., Braccio G. (2009). *Censimento potenziale energetico biomasse, metodo indagine, atlante Biomasse su WEB-GIS*. ENEA Report RSE/2009/167.

D

Meccanizzazione

1 - Lavorazione del terreno nel pioppeto dall'impianto alla raccolta

Soil tillage of poplar: from planting to harvest

Alberto Assirelli*

Riassunto

La lavorazione del terreno riveste fondamentale importanza nella fase di impianto e nella gestione della coltura. Gli aspetti pedoclimatici specifici dell'areale rivestono anche per le operazioni di lavorazione del terreno una notevole importanza richiedendo un'attenta programmazione delle modalità operative e delle attrezzature da utilizzare. L'esecuzione di interventi non adeguatamente ponderati può ridurre notevolmente l'efficienza originariamente attesa. Una buona conoscenza tecnico-funzionale delle macchine, del terreno da preparare ed agronomica della futura coltura da gestire sono solo alcuni degli elementi da considerare per poter razionalmente scegliere la tecnica di preparazione del terreno più opportuna. La conoscenza delle esigenze della coltura che si intende mettere a dimora e delle tecniche di lavorazione seguite negli anni per le colture precedenti possono essere considerati i due aspetti principali da esaminare. Potrebbe inoltre essere consigliabile, prima dell'introduzione di tecniche innovative, valutare la formazione/aggiornare degli operatori addetti alla conduzione delle macchine per ridurre le probabilità che l'efficienza di tali soluzioni possa essere compromessa da errate modalità d'impiego. La preparazione del terreno per colture arboree richiede interventi abbastanza standardizzati per cui può frequentemente accadere che soluzioni radicate da tempo (lavorazioni convenzionali) ed altre più o meno innovative (se. macchine combinate) possano coesistere, fornendo entrambe buoni risultati operativi nelle rispettive condizioni di lavoro. La coesistenza di diverse tipologie di attrezzature e modalità ope-

* CRA-ING - Unità di Ricerca per l'Ingegneria Agraria, Monterotondo (Roma).

native per la lavorazione del terreno ha rappresentato spesso una fonte di possibili alternative alla quale poter attingere per rispondere all'imprevedibilità delle condizioni di lavoro, a partire dalla raccolta della coltura precedente e dalla gestione dei residui a terra fino alla messa a dimora di quella successiva.

Le lavorazioni ordinarie di gestione dell'impianto rivestono un'importanza molto più contenuta soprattutto superata la fase di impianto della coltura.

Parole chiave: SFR (*Short Rotation Forestry*), lavorazione pre-impianto, lavorazione ordinaria, colture bioenergetiche

Abstract

The soil tillage is of fundamental importance in the process of planting and crop management. The specific aspects of soil and climate of the area, are important too for tillage operations requiring a careful planning and operating procedures of equipment to be used. The implementation of interventions can not adequately weighted, significantly reduce the efficiency originally expected. A good knowledge of the technical-functional machines, to prepare the soil for future crop and agronomic management are just some of the considerations to rationally choose the most appropriate technique for the soil preparation. The knowledge of the needs of the crop you intend to be planted and processing techniques applied in the previous crop year can be considered the two main aspects to be examined. It might also be advisable, before the introduction of innovative techniques, evaluate training/upgrading of the workers to run the machines to reduce the likelihood that the efficiency of these solutions can be compromised by incorrect instructions for use. The preparation of land for tree crops require fairly standardized interventions for which it frequently happen that solutions rooted for a long time (conventional processes) and other more or less innovations (se. combined machines) can coexist, providing both good operating results in their working conditions. The coexistence of different types of equipment and operating procedures for the processing of land has often represented a source of alternatives to which they can draw upon to respond to the unpredictability of working conditions, starting from the harvest of previous crop residues and management of ground up the planting of the next. The ordinary processes of planting management have a minor importance once passed the planting phase post-planting of the crop.

Keywords: SRF (*Short Rotation Forestry*), pre-plant tillage, ordinary tillage, bioenergy crops.

1. Le lavorazioni del terreno in pioppeti da biomassa

La lavorazione del terreno per impianti arborei da biomassa può considerarsi suddivisibile in lavorazioni per la messa a dimora della coltura, talee od astoni a seconda

dell'indirizzo produttivo prescelto, e lavorazioni ordinarie di manutenzione dei filati e degli interfilari.

Per quanto riguarda le lavorazioni per la messa a dimora della coltura o preimpianto le tecniche di lavorazione più tradizionali, incentrate su lavorazioni principali e secondarie, presentano il principale vantaggio della versatilità, e del generale apprezzamento da parte degli agricoltori consentendo soddisfacenti risultati anche nelle condizioni più sfavorevoli. Anche nella lavorazione del terreno negli ultimi anni non solo per colture energetiche, più che ad una ricerca di nuove macchine operatrici, si è assistito ad un perfezionamento delle soluzioni esistenti, specialmente per quanto riguarda l'affidabilità, la funzionalità, l'usura, le modalità d'impiego, gli allestimenti e l'applicazione alle diverse tecniche colturali.

Fra le lavorazioni principali possono essere considerate l'aratura, la discissura, la rotoaratura e la vangatura.



Figura 1 - L'aratura alla pari sta riscuotendo un crescente interesse anche per l'impianto di colture arboree ad uso energetico.

L'aratura (Fig. 1) rappresenta ancora un intervento generalmente piuttosto apprezzato in grado di consentire un rapido impianto della coltura creando un sufficiente strato di terreno esplorabile dalle radici del nuovo impianto, una buona aereazione e capacità di immagazzinamento delle acque meteoriche. Considerando che l'aratura profonda oltre 60 cm frequentemente definita con il termine di "scasso" sta ormai interessando un ridotto numero di utilizzatori soprattutto per via degli elevati costi necessari, negli ultimi anni l'aratura ha avuto un proprio percorso evolutivo assistendo ad una progressiva riduzione della profondità di lavoro che a partire dai primi anni '80 ha visto un progressivo ridimensionamento delle profondità fino agli attuali 30-40 cm ed alla sostituzione delle macchine motrici dalla propulsione cingolata a quella gommata con definitiva affermazione dell'aratura alla pari eseguita con aratri reversibili polivomeri, relegando maggiori profondità solo a colture di pregio, capaci

di valorizzarne i maggiori costi. L'aspetto economico ha sicuramente influito su tale percorso soprattutto operando con colture di limitato pregio o nei casi di marcata esigenza di riduzione dei costi. Fra i principali vantaggi dell'aratura occorre annoverare anche il controllo meccanico sulle malerbe soprattutto nelle prime fasi di impianto e una buona distribuzione degli elementi fertilizzanti distribuiti nel profilo interessato dall'intervento se sparsi precedentemente all'operazione. Il principale limite dell'aratura è comunque caratterizzato dalla pressione sul piano orizzontale del vomere in lavoro che sommato dalla pressione della ruota della trattrice nel caso di lavorazione entro solco, operazione ormai in via di esaurimento, determina la formazione della cosiddetta suola di aratura che soprattutto per il pioppo rappresenta un limite ad una pronta radicazione delle talee. Tale aspetto rappresenta un elemento spesso determinante per il successo della coltura soprattutto estendendo gli areali di coltivazione anche in zone meno favorevoli quali il centro/sud Italia. L'impossibilità della radice appena emesse di superare la suola di lavorazione limita la capacità della coltura di superare eventuali stress idrici. Altro limite capace comunque di incidere in modo diversificato a seconda della tipologia di terreno e della presenza di sostanza organica riguarda il rimescolamento profondo che può portare in superficie terreni di minor fertilità ed allo stesso tempo collocare in profondità terreni qualitativamente migliori. Tale limite risulta comunque ridotto dalla generale tendenza alla riduzione della profondità di lavorazione, essendo più marcato in operazioni di aratura eseguite a profondità superiori a 40-50 cm. L'aratura estiva presenta inoltre il limite di favorire i fenomeni di mineralizzazione che portano nel tempo ad una riduzione del contenuto di sostanza organica dei suoli, aspetto che sta progressivamente interessando areali sempre più vasti in cui risulta preferibile in presenza di suola di lavorazione effettuare la lavorazione a due strati con discissura profonda senza rimescolamento e aratura superficiale.



Figura 2 - La discissura trova una favorevole applicazione insieme all'aratura superficiale per effettuare la lavorazione a doppio strato.



Figura 3 - La forma dell'elemento terminale influisce notevolmente sugli aspetti operativi ed economici dell'intervento.

La discissura o ripuntatura profonda (Fig. 2) viene eseguita a diverse profondità, con diverse tipologie di operatrici ed in modo differenziato a seconda degli utensili di lavoro adottati (Fig. 3). L'operazione consente una fessurazione verticale del terreno senza determinare rimescolamenti fra strati collocati a diverse profondità, la conformazione degli utensili terminali e la presenza di utensili intermedi lungo il discissore principale possono variare notevolmente l'efficienza dell'operazione e gli aspetti energetici dell'intervento. Nel caso dell'impianto di colture arboree per la produzione di energia lo scopo principale dell'intervento discissura è rappresentato dalla rottura degli eventuali strati compattati in profondità, tipici di rotazioni eseguite con frequenti interventi di aratura; in questi casi è consigliabile privilegiare nell'esecuzione della lavorazione la profondità di lavoro, limitando l'impiego di elementi esplosori terminali od intermedi che determinerebbero maggiori assorbimenti energetici. La discissura presenta i vantaggi di non causare suola di lavorazione anzi di rompere quella eventualmente presente agevolando l'approfondimento radicale della coltura ma i principali limiti sono dovuti al ridotto contenimento delle infestanti, ridotto interrimento dei fertilizzanti e capacità di immagazzinamento dell'acqua, non operando omogenea frantumazione dello strato di terreno interessato. La discissura trova una buona applicazione se seguita da aratura superficiale consentendo vantaggi sul piano economico ed agronomico per via dell'assenza di suola di lavorazione tipica di un'aratura profonda, pur eliminando la pericolosa suola di aratura tipica di ordinamenti colturali ripetuti in terreni caratterizzati da ridotta componente sabbiosa.



Figura 4 - La rotoaratura rappresenta un'operazione di lavorazione principale eseguita in particolari condizioni operative.



Figura 5 - La vangatura rappresenta un'operazione di lavorazione principale poco utilizzata per l'impianto di arboreti.

Altri interventi di lavorazione principale disponibili ma non di ordinario impiego possono considerarsi la rotoaratura eseguita con operatrice ad elementi di lavoro rotanti su asse orizzontale (Fig. 4) e la vangatura eseguita con apposita operatrice a diversa larghezza operativa (Fig. 5).

Nel caso della rotoaratura l'intervento consente l'esecuzione anche in caso di condizioni pedoclimatiche sfavorevoli e soprattutto in presenza di elevati livelli di umidità, permette di eseguire un discreto rivoltamento del profilo del terreno trattando eliminando il pericolo di creazione di suola di aratura grazie alla non continuità dei settori di lavoro interessati dai diversi organi rotanti. Le profondità di lavoro raggiungono ed a volte superano quelle di un'ordinaria aratura eseguita con aratri polivomeri raggiungendo ed a volte superando i 40 cm. Il fronte di lavoro spesso superiore ai due metri e compreso fra i 2,5 e 3 m consente capacità di lavoro spesso superiori all'ettaro ora risultando facilmente competitivo con l'aratura.

Relativamente alla vangatura l'operazione eseguita meccanicamente riunisce molti positivi aspetti dell'operazione manuale non creando suole di aratura, e realizzando un buon rimescolamento degli strati di terreno interessati. La profondità di lavoro può ritenersi leggermente inferiore ad un'aratura classica, difficilmente raggiunge i 40 cm, il fronte di lavoro generalmente superiore ai 2,5 metri ed una velocità di avanzamento prossima ai 3-3,5 km h⁻¹ consente una capacità di lavoro spesso inferiore ad 1 ha h⁻¹. L'assenza di significativi sforzi di trazione consente positive ripercussioni anche sul compattamento del terreno nonostante l'impiego di macchine motrici di medio alta potenza.

Occorre comunque riconoscere come le tecniche di lavorazione principale alternative all'aratura quali rotoaratura e vangatura, anche se applicate in areali piuttosto contenuti e per determinate esigenze culturali difficilmente interessano importanti superfici aziendali.

Nell'ambito delle lavorazioni secondarie rivolte all'ottenimento di un adeguato livello di affinamento superficiale del profilo del terreno sono riunite tutte le erpicature eseguibili con le diverse operatrici disponibili a partire da quelle ad utensili rigidi, elastici, folli od azionati dalla presa di potenza della trattrice. Considerando che la maggior parte dell'apparato radicale sia di talee sia di astoni si sviluppa entro i 60-80 cm (Facciotto, 1998) riveste una certa importanza riuscire a creare le migliori condizioni di contatto con il terreno ed aereazione per favorire i fenomeni di radicazione. Nell'ambito del vasto gruppo di erpici disponibili le soluzioni maggiormente utilizzate sono rappresentate dagli erpici azionati dalla presa di potenza della trattrice, dagli erpici a dischi e dagli erpici ad elementi elastici.



Figura 6 - L'erpatura con operatrice azionata dalla presa di potenza rappresenta una delle operazioni di lavorazione secondaria di maggior versatilità.

Per quanto riguarda gli erpici azionati dalla presa di potenza della trattrice (Fig. 6) la maggior parte dei modelli riguarda la soluzione ad elementi rotanti su asse orizzontale con utensili di diversa conformazione e dimensioni. La profondità di lavoro è di solito limitata a 15-20 cm e la possibilità di intervento con un buon grado di efficienza anche direttamente sulle zolle di aratura od in presenza di infestanti ne consentono una buona versatilità. Le larghezze di lavoro sono comprese fra 2,5 e 6 metri che a velocità di avanzamento comprese fra 2,5 e 3,5 km h⁻¹ consentono interessanti capacità di lavoro. La capacità di rimescolamento del terreno può considerarsi buona anche se la capacità di interrimento non si presenta particolarmente efficiente. Le epoche di intervento consigliabili possono spaziare da pochi giorni successivi

alla lavorazione principale soprattutto se eseguita in estate con pericolo di eccessivo asciugamento dello strato interessato con indurimento delle zolle fino a pochi giorni prima dell'impianto nel caso si volesse effettuare anche un certo controllo delle infestanti. In presenza di elevate infestazioni sono spesso consigliabili più di un intervento prima di procedere alla messa a dimora della coltura.

Gli erpici a disco trovano frequente applicazione negli interventi di gestione ordinaria di filari ed interfilari, lasciando agli erpici a denti elastici maggior possibilità di impiego per l'affinamento pre-impianto in alternativa agli erpici azionati dalla presa di potenza della trattrice. L'intervento su terreno già trattato con operatrici per la lavorazione principale non rappresenta una pratica consigliabile soprattutto per l'elevata aggressività dei dischi i quali operando su substrato già mosso possono facilmente essere soggetti ad eccessivo affondamento od irregolarità di funzionamento soprattutto operando a velocità superiori a 3 km h^{-1} .



Figura 7 - L'erpatura con operatrice ad elementi elastici trova maggior possibilità d'impiego nelle operazioni pre-impianto invernali e primaverili.

Gli erpici a denti elastici (Fig. 7) trovano applicazione nelle condizioni già viste per gli erpici ad utensili azionati dalla pdp con maggiori limitazioni negli impieghi autunnali o prima che i rigori invernali abbiano già influito sulla consistenza delle zolle risultanti dalla lavorazione principale. In applicazioni primaverili pre-impianto trovano generale apprezzamento per via del buon livello di rimescolamento degli strati superficiali e del controllo delle infestanti soprattutto se equipaggiato con utensili terminali a zappetta ed impiegato a velocità di lavoro superiori a 4 km h^{-1} valore che oltre a consentire una buona capacità di lavoro consente anche un buon rimescolamento ed interrimento di eventuali ammendanti o fertilizzanti.

Ormai definiti e conosciuti i limiti prevalentemente economici delle lavorazioni tradizionali e spesso agronomici delle soluzioni più economiche (es. minime lavora-

zioni), sono in via di affermazione metodologie che prevedono percorsi intermedi o non rigorosamente definiti quali lavorazioni a bande, fessurazioni profonde solo dietro specifica necessità, ecc. L'adozione di tecniche più innovative (riduzione profondità di lavoro, minime lavorazioni o semina diretta sui residui della coltura precedente), cosiddette anche a minor impatto ambientale, richiede preventivamente una quantità di nozioni che, se disattese, possono elevare pericolosamente il rischio d'insuccesso dell'intero ciclo colturale. La riduzione degli interventi preparatori rispetto ad una corretta programmazione tecnico-culturale aziendale, fenomeno accaduto in passato ed ancora riscontrabile prevalentemente per ragioni climatiche, ha spesso rappresentato un errore che ha poi portato ad improvvisate valutazioni sull'efficienza della tecnica utilizzata, senza le opportune considerazioni sulla correttezza delle modalità applicative seguite.

L'esecuzione di più operazioni in un solo passaggio, obiettivo ricercato con l'adozione delle macchine combinate, non può prescindere dalla considerazione che in una qualsiasi combinazione di più operatrici, quella a minor capacità di lavoro limita tutte quelle ad essa abbinata, da cui un particolare richiamo nella scelta delle macchine da collegare, evitando quelle fra loro a capacità molto diversificata. Sono inoltre da non trascurare i vantaggi derivanti dall'interposizione di alcuni giorni di tempo sia fra operazioni di preparazione, che fra preparazione e semina. Specialmente nella preparazione del terreno, le lavorazioni secondarie sortiscono maggior effetto dopo un certo periodo di riposo, così come in molti casi avviene per la semina.

Può infatti accadere, specialmente negli impianti primaverili, ancor più se in stagione avanzata, che se non si lascia agli strati superficiali la possibilità di stabilizzarsi, specialmente sotto l'aspetto del contenuto di umidità, possano poi sorgere complicazioni all'emergenza della coltura. La massa complessiva dei cantieri di lavoro può presentare limiti legati al compattamento o al danneggiamento della struttura del suolo, apportando quindi riduzioni al periodo utile di esecuzione delle lavorazioni.

Per quanto riguarda la tendenza all'aumento spesso generalizzato delle potenze motrici delle trattrici, se un lato può presentare il vantaggio di permettere l'intervento anche nelle condizioni di lavoro più difficili, dall'altro occorre però tenere presente che tale possibilità ha in più occasioni portato ad interventi forzati spesso negativi sia sotto l'aspetto agronomico che economico, con ripercussioni sulla produttività colturale soprattutto in presenza di impianti poliennali.

La preparazione dei terreni per la messa a dimora delle colture agro energetiche ha rappresentato in molti casi il campo prove di attrezzature per la lavorazione legate a tecniche colturali più o meno innovative. Sperimentazioni condotte nei primi anni '90 (Colorio *et al.*, 1996) mettendo a confronto diverse tipologie di intervento (scasso-aratura superficiale, lavorazione doppio strato e sola discissura) hanno evidenziato come la preparazione del terreno rivesta particolare importanza nella fase di impianto della coltura e nei primi anni di vegetazione, tendendo progressivamente a livellarsi oltre il 3° anno vegetativo.

Se da un lato l'estrema adattabilità di alcune colture agro energetiche può aver spinto anche troppo rapidamente la riduzione degli interventi di lavorazione, in altri casi senza le comuni attenzioni sul compattamento del terreno, sull'esigenza di affinamento richiesto o sull'efficienza della rete di allontanamento delle acque meteoriche hanno in più casi costretto ad improvvisi cambi di tecnica.

La tessitura del terreno, l'andamento climatico, la rotazione colturale e la conseguente epoca di raccolta della coltura precedente rappresentano solo alcuni degli elementi da valutare prima della scelta della tecnica di lavorazione da adottare, con la considerazione che più favorevoli sono le condizioni di partenza, migliori saranno i risultati di qualunque soluzione adottata, mentre condizioni progressivamente più sfavorevoli a volte riducono le possibilità di applicazione e di successo delle tecniche disponibili, spesso in modo inversamente proporzionale alla loro semplicità applicativa. Riconoscendo come raramente una specifica tecnica di lavorazioni può essere genericamente applicabile, ancor meno lo può essere in condizioni operative sfavorevoli.

Una rotazione colturale ben programmata prima dell'impianto della coltura poliennale, lasciando intervalli di tempo sufficiente fra le varie fasi colturali, spesso rappresenta il miglior compromesso anche in caso di condizioni avverse. L'adozione ad anni alterni di tecniche di lavorazione differenziate per profondità o tipo di operatrice dà più possibilità di scelta, anche di fronte a rapidi mutamenti climatici. Se l'anno precedente per la coltura da rinnovo sono state eseguite lavorazioni più approfondite, non necessariamente andranno ripetute per la nuova coltura ed ancor meno se le condizioni dovessero divenire meno favorevoli. Dalle esperienze condotte per molte colture legnose agro energetiche può risultare sufficiente la sola fessurazione profonda in prossimità dell'impianto della nuova talea/astone.

L'esecuzione di operazioni al di fuori di accettabili condizioni pedoclimatiche quali ripetuti interventi di affinamento su terreni non in tempera, con aggravio di costi dovuto a maggiori sollecitazioni, con riduzione delle capacità di lavoro dei cantieri, oppure l'adozione di tecniche non concepite per un determinato uso es. aratri rotativi, costruiti per operare su terreni ad elevata umidità, in alcuni casi impiegati su terreni tenaci ove risultava inapplicabile anche l'aratura tradizionale se sono ritenuti scarsamente giustificabili per colture di maggior pregio (es. colture orticole o da riproduzione) ancor meno lo potranno divenire per le colture agroenergetiche. L'impianto di coltivazioni arboree ad uso energetico su terreni ordinariamente coltivati a colture erbacee con frequenti interventi di aratura possono presentare vere e proprie suole di lavorazione alle profondità normalmente interessate dalla lavorazione principale che se non fessurate possono creare serie complicazioni per le colture messe a dimora soprattutto nei primi anni di insediamento o nelle fasi di approfondimento radicale, impedendo alla pianta di acquisire sufficiente resistenza ai primi stress idrici. Per ridurre questo inconveniente rilevato in più occasioni sui suoli nazionali anche l'Unità di Ricerca per l'Ingegneria Agraria del Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura ha svolto diverse sperimentazioni mettendo a punto un cantiere idoneo per la lavorazione in banda del terreno.

2. Lavorazioni ordinarie di manutenzione di filari ed interfilari

Il controllo meccanico delle infestanti rappresenta un aspetto di notevole importanza soprattutto nei primi anni di impianto della coltura fino a quando lo sviluppo vegetativo raggiunto non garantisce un sufficiente limite all'accrescimento vegetale sottostante. Per permettere la valutazione delle diverse soluzioni disponibili verso la fine degli anni '90 l'Istituto Sperimentale di Pioppicoltura ha svolto prove sperimentali volte alla valutazione dell'accrescimento in diverse gestioni degli interfilari mettendo a confronto lavorazione terreno per un numero variabile di anni successivamente seguita da sfalcio in diverse località (Cremona, Firenze, Grosseto) dalle quali si rilevava come la differenza di accrescimento fra particelle inerbite e lavorate superficialmente nelle medesime condizioni sono risultate nulle o statisticamente non significative. Tralasciando le macchine impiegate per lo sfalcio/trinciatura della parte aerea delle infestanti relativamente alle macchine per la lavorazione del terreno sono interessate prevalentemente tre tipologie di operatrici ricadenti nelle categorie degli erpici, delle zappatrici e dei coltivatori. Una prima distinzione occorre effettuarla per suddividere le macchine in grado di operare nell'interfila rispetto a quelle capaci di intervenire anche nella zona interceppo dotate cioè di dispositivi scavallatori dei fusti.



Figura 8 - L'erpicazione con erpici a dischi può considerarsi prevalentemente applicabile nelle lavorazioni ordinarie degli interfilari.



Figura 9 - La zappatrice rotativa per la sua ridotta profondità di lavoro pur essendo un'operatrice per la lavorazione principale trova frequente impiego nelle operazioni di gestione degli interfilari ed interceppi.

Per quanto riguarda le operatrici prive di dispositivi scavallatori una tipologia di macchina frequentemente impiegata per il controllo delle infestanti, l'interramento di ammendanti e fertilizzanti ed un certo rimescolamento degli strati superficiali è rappresentata dagli erpici a dischi (Fig. 8) che trovano nell'elevata aggressività degli elementi di lavoro rappresentati da dischi affilati le ragioni dell'elevato apprezza-

mento dovuto alla buona capacità di intervento anche su terreni compattati ed in presenza di elevati volumi di infestanti. Le ridotte larghezze di lavoro in questo caso limitate dalle interfile di semina rispetto alle versioni da pieno campo trovano nelle discrete velocità di avanzamento ($>4 \text{ km h}^{-1}$) una buona capacità di lavoro. Sono disponibili sia in versione trainata sia in versione portata dall'attacco a tre punti della trattrice ed il diametro dei dischi rappresenta un importante aspetto per le capacità operative soprattutto intese come profondità di lavoro e capacità di recisione degli steli delle infestanti. I dischi sono comunemente riuniti in moduli da 4-5-6 elementi e per gli aspetti funzionali il numero e disposizione dei moduli riveste un aspetto piuttosto importante. L'azione di scorrimento dei dischi nel terreno inoltre consente di evitare la formazione di profili inferiori compattati riducendo gli scambi di aria ed acqua con gli strati più profondi di terreno.

Le zappatrici rotative (Fig. 9), frequentemente classificate come operatrici per la lavorazione principale essendo in grado di operare anche su terreni non preventivamente lavorati trovano un certo apprezzamento anche nella gestione degli arboreti da biomassa anche se le ridotte capacità operative difficilmente risultano compensate dal maggior grado di affinamento raggiungibile. La macchina consente un efficace rimescolamento dello strato di terreno interessato anche se l'azione degli utensili tende a creare uno strato sottostante di maggior densità con problematiche in parte simili a quanto già citato per la suola di aratura riguardo alle lavorazioni principali. L'azione di taglio e frantumazione della fetta di terreno e delle infestanti presenti risultano molto energiche come anche l'effetto di rimescolamento ed interrimento di prodotti eventualmente distribuiti precedentemente all'intervento. La velocità di lavoro generalmente più contenuta rispetto agli erpici a dischi unita ad un maggior assorbimento energetico e suscettibilità all'usura degli utensili riducono gli aspetti positivi dell'operatrice.



Figura 10 - Le zappatrici rotative con elemento traslante per la gestione degli interceppi trovano frequenti limiti nella distanza d'impianto dell'arboreto lungo la fila.

I coltivatori/estirpatori (Fig. 11) rappresentano un'ulteriore categoria di operatrici atte alla lavorazione degli interfilari volte al controllo infestanti, rimescolamento superficiale con interruzione della capillarità responsabile della perdita di umidità del terreno. Possono presentare diverse tipologie di utensili di varia forma e dimensioni, l'effetto diserbante risulta favorito da utensili a profilo basale molto allargato che però tendono a limitare la profondità di lavoro se non a discapito di un aumento dell'energia necessaria per l'operazione; l'effetto di rimescolamento seppur superficiale può ritenersi piuttosto scarso soprattutto per via dell'azione di taglio orizzontale che su suoli compattati porta frequentemente al distacco di zolle successivamente di complessa frantumazione.

Relativamente alle operatrici dotate di dispositivi atti ad operare anche nella zona interceppi non si possono distinguere principi funzionali dedicati ma piuttosto interventi di adeguamento effettuati sulle operatrici precedentemente descritte magari modificando gli aspetti dimensionali degli organi di lavoro. Sono disponibili operatrici interceppi con dispositivo di lavoro a dischi multipli paralleli, a zappatrice rotativa e ad elementi fissi con utensili terminali di diversa conformazione oltre ad alcuni di struttura molto più semplificata in cui l'elemento mobile è rappresentato da una singola lama orizzontale che recide a pochi centimetri di profondità gli apparati radicali delle infestanti operando anche un parziale rimescolamento del terreno interessato.



Figura 11 - Coltivatori ed estirpatori trovano nella semplicità costruttiva e praticità d'impiego le ragioni del loro apprezzamento per gli interventi di gestione degli interfilari nei primi anni d'impianto.

Aspetto molto importante per l'impiego di queste tipologie di macchine è rappresentato dalla distanza di impianto adottata lungo la fila tenendo ben presente che distan-

ze inferiori al metro possono creare poi complicazioni a livello di sistemi di controllo della posizione dell'elemento scavallatore o ridurre eccessivamente la velocità di lavoro dell'operatrice con serie ripercussioni sugli aspetti economici dell'intervento.

Conclusioni

Le operazioni di lavorazione dei terreni per l'impianto di colture arboree da biomassa frequentemente non richiedono interventi particolari rispetto alle comuni tecniche adottate per la realizzazione di impianti arborei per altre destinazioni.

Le lavorazioni principali vedono l'impiego delle comuni operatrici di frequente dotazione nei parchi macchine delle aziende agricole ed agromeccaniche fra le quali gli aratri in versione polivomere rappresentano la soluzione maggiormente utilizzata soprattutto in funzione della buona versatilità d'impiego.

Le lavorazioni secondarie diversamente da quanto necessario per colture particolarmente esigenti non richiedono un grado di frantumazione degli strati superficiali molto spinto soprattutto per via della modalità d'impianto prescelta che frequentemente ricorre a talee od astoni per la cui radicazione non è richiesta un'eccessiva frantumazione superficiale.

L'epoca di esecuzione delle operazioni riveste particolare importanza per cui eseguendo gli impianti a primavera è piuttosto importante effettuare le lavorazioni principali a fine estate e quelle secondarie di affinamento in autunno o per un miglior contenimento della flora infestante qualche settimana prima dell'impianto.

Le operazioni di gestione dell'impianto soprattutto nei primi anni di sviluppo si può suddividere fra gestione interfilare ove possono essere impiegate le operatrici di larghezza inferiore ormai in via di progressivo abbandono per i lavori di pieno campo (< 2,5-3 metri di larghezza), mentre per la gestione delle aree interceppo, se la distanza di impianto non è inferiore al metro, trovano buone possibilità applicative le operatrici disponibili per frutteti e vigneti dotate di dispositivi scavallatori ad azionamento meccanico/idraulico (Es. zappatrici interfilari).

Una corretta valutazione degli aspetti pedoclimatici e culturali dell'area interessata all'impianto riveste una notevole importanza per il successo della coltura spesso in modo ancor più incisivo rispetto alla scelta della singola tecnica di lavorazione.

Anche nel campo delle colture agro energetiche differenze produttive fra le varie tecniche disponibili (tradizionale con aratura e successive erpicature, ripuntature ed erpicatura, minime lavorazioni e semina diretta), purché correttamente applicate, possono considerarsi molto contenute, divenendo in alcuni casi anche non significative (Vedi esperienze CRA-ING su lavorazioni in banda), giustificando quindi con sufficiente margine le ragioni spesso economiche della loro applicazione. L'operatore stesso, conoscendo personalmente vantaggi e limiti delle proprie attrezzature, do-

vrebbe essere in grado di applicare alla propria realtà aziendale le adeguate tecniche di preparazione disponibili.

Bibliografia

- Assirelli A., Bovolenta S., 2002. Si può lavorare il terreno salvaguardando l'ambiente. *Rivista Agricoltura* 10, 21-27.
- Assirelli A., 2004. Le soluzioni innovative nella preparazione del suolo agrario. *Rivista Agricoltura* 7/8, 78-80.
- Colorio G., Beni C., Facciotto G., Allegro G., Frison G., 1996. Influenza del tipo di lavorazione preimpianto su accrescimento e stato sanitario del pioppo. *L'Informatore Agrario* 22, 51-57.
- Corona P., Facciotto G., Lucci S., Mariano A., 1992. Contributo alla conoscenza delle tecniche colturali in piantagioni da legno. *Quaderni di ricerca SAF* 33, 42.
- Facciotto G., 1998. Le lavorazioni del suolo in pioppicoltura. *Rivista Sherwood Foreste ed Alberi Oggi* 31 febbraio, 39-44.

2 - Il trapianto meccanico del pioppeto per produzione di biomassa, strategie finalizzate alla riduzione dei costi di produzione

The transplanting of poplar for biomass production, strategies for reduction of production costs

Luigi Pari*, Vincenzo Civitarese*

Riassunto

La coltivazione di specie arboree a ceduzione rapida (*Short Rotation Forestry* – SRF) per la produzione di biomassa a destinazione energetica presenta, attualmente, margini di convenienza economica piuttosto ridotti e dipendenti da interventi pubblici. Al fine di incrementare tali margini è necessario incidere sui costi di produzione della coltura operando anche sulla possibile meccanizzazione di alcune fasi del ciclo colturale.

Al fine di contribuire alla sostenibilità economica della filiera agro energetica, attraverso la riduzione dei costi di impianto, si è provveduto ad analizzare ed ottimizzare sia la fase di produzione del materiale di propagazione, attraverso la selezione ottica delle talee, sia la fase di trapianto, attraverso lo studio e la progettazione di un dispositivo per l'alimentazione automatica delle talee da equipaggiare su una trapiantatrice commerciale.

Parole chiave: trapiantatrici, pioppo, SRF.

Abstract

The cultivation of tree species for Short Rotation Forest (SRF) for biomass production destined to energy use, due to the poor quality of product yielded, has low margins of

* CRA-ING - Unità di Ricerca per l'Ingegneria Agraria, Monterotondo (Roma).

economic convenience, frequently relying of public contributions. For increasing such margins the lowering of production costs is required intervening on the mechanization of several phases of cultural cycle.

In order to contribute to the economic sustainability of agro energy chain by reducing planting costs, steps were taken to analyze and optimize both the production phase of the propagation material, through optical selection of cuttings, and the transplantation of cuttings, through the study and design of a device for automatic feeding of the cuttings, the latter to be equipped on a commercial transplanter

Keywords: *transplanters, poplar, SRF.*

1. Introduzione

La recente diffusione, anche negli areali mediterranei, dei cedui a breve rotazione (*Short Rotation Forestry – SRF*) ha determinato la necessità di analizzare in dettaglio i costi di produzione. Tali modelli colturali, pur garantendo un'elevata sostenibilità ambientale associata a buone potenzialità economiche, presentano margini di convenienza ancora piuttosto ridotti e fortemente dipendenti da interventi pubblici.

L'impianto e la raccolta incidono pesantemente sul bilancio economico della coltura arrivando a coprire quasi l'80% dei costi di produzione (Pari e Fredrizzi, 2004). L'impiego di manodopera incide per oltre il 35% (Manzone *et al.*, 2009) ed è dunque auspicabile, al fine di incrementare la produttività del lavoro e contenere i costi di produzione della biomassa, ricercare soluzioni efficaci per la meccanizzazione delle operazioni che richiedono una forte componente manuale.

Mentre lo sviluppo tecnologico e innovativo del settore della raccolta meccanizzata è a buon punto e si sta già operando sul miglioramento ingegneristico delle soluzioni individuate (Pari *et al.*, 2010; Pari e Civitarese, 2010; Verani *et al.*, 2010), la meccanizzazione del trapianto appare ancora in fase evolutiva e certamente migliorabile.

Al fine di contribuire alla sostenibilità economica della filiera agro energetica, attraverso la riduzione dei costi di impianto, si è provveduto ad analizzare ed ottimizzare sia la fase di produzione del materiale di propagazione, attraverso la selezione ottica delle talee, sia la fase di trapianto, attraverso lo studio e la progettazione di un dispositivo per l'alimentazione automatica delle talee da equipaggiare su una trapiantatrice commerciale.

2. L'impianto del pioppeto

Il pioppo è una delle specie più impiegate per la costituzione di impianti a turno breve e l'impianto viene eseguito con talee prodotte in vivaio. Le talee sono porzioni di

fusto ottenute dalla suddivisione degli astoni (fusti di un anno) in segmenti di 20-30 cm di lunghezza.

Il materiale di propagazione viene conservato in cella frigorifera a 0-2°C e due o tre giorni prima dell'impianto viene immerso in acqua per favorirne una rapida ripresa vegetativa e la radicazione. La messa a dimora viene eseguita in autunno o inizio primavera e il sesto di impianto varia in funzione di diversi fattori: caratteristiche pedoclimatiche del sito, clone utilizzato, ritmo di ceduzione, tipo di cantiere di raccolta adottato, destinazione del prodotto finale (industria energetica o industria dei pannelli).

Dal 1995, anno in cui in Italia sono state condotte le prime esperienze di raccolta di colture forestali a rapida rotazione, ad oggi, il settore ha subito una costante evoluzione. Si è passati, difatti, da coltivazioni con turni annuali a turni biennali, da impianti a file binate ad impianti a file singole, da interfile comprese tra 1,60 e 2,80 m ad interfile di 3 m - 3,5 m (nel caso di raccolta in due fasi con andanatura tra le file) (Pari e Civitarese, 2010). La tendenza attuale in Italia è dunque quella di mantenere la densità ad ettaro della coltura impiantata tra le 5.700 e le 6.700 piante ha⁻¹.

Densità superiori a 10.000 piante ha⁻¹ vengono, invece, adottate nei paesi nord europei con specie diverse dal pioppo (Bonari *et al.*, 2004).

2.1 Le esperienze di meccanizzazione del trapianto

La meccanizzazione dell'impianto di colture per SRF deve necessariamente tenere conto della tipologia del materiale di propagazione impiegato. Sono state così messe a punto e studiate macchine in grado di operare sia con talee (inserite verticalmente nel terreno) sia con astoni orizzontali, sia con piantine radicate (Manzone *et al.* 2006; Bonari *et al.*, 2009).



Figura 1 - Trapiantatrice TTP monofila in fase di lavoro.

Il CRA ING ha seguito lo sviluppo della trapiantatrice Spapperi TPP/1 (Fig. 1), una macchina semiportata posteriormente da una trattrice, della larghezza, lunghezza, altezza e massa pari rispettivamente a 1540 mm, 2100 mm, 1300 mm e 580 kg (Pari e Fredrizzi, 2004; Pari, 2005). La macchina è in grado di effettuare in successione le fasi di livellamento del terreno, posa di un film plastico, inserimento della talea al centro del film pacciamante e rincalzatura. La messa a dimora della talea viene effettuata mediante una ruota di metallo (diametro 1300 mm e larghezza 125 mm) sulla quale si trovano 8 elementi iniettori disposti radialmente ed equidistanti tra loro. Questi presentano una pinza a molla dove la talea da trapiantare viene posizionata da un operatore che la preleva dall'apposita cassetta. La macchina può operare su fila singola (in questo caso è necessaria la presenza di un trattorista e di un operatore), oppure su due file con l'aggiunta di un ulteriore elemento trapiantatore e relativo operatore.

La trapiantatrice monofila ha raggiunto una capacità di lavoro effettiva di 0,334 ha h⁻¹ e una capacità operativa di 0,257 ha h⁻¹ (3,89 ore h ha⁻¹). In un ora la macchina riesce a inserire 1.794 talee (Tab. 1).

Tabella 1 - Tempi di lavoro e prestazioni operative della trapiantatrice TTP monofila.

Tempi di lavoro (%)	
- Tempo effettivo	75,9
- Tempo per voltate	3,2
- Tempo per rifornimenti o scarichi	8,4
- Tempo per manutenzione	3,6
- Tempo accessorio	15,2
- Tempo operativo	91,1
- Tempo di preparazione sul luogo	8,9
- Tempo di impiego o utenza	100,0
Rendimento operativo (%)	83,3
Velocità effettiva (m/s)	0,332
Velocità operativa (m/s)	0,255
Capacità di lavoro effettiva (ha/ora)	0.334
Capacità di lavoro operativa (ha/ora)	0.257
Capacità di lavoro effettiva (talee/ora)	2.333
Capacità di lavoro operativa (talee/ora)	1.794



Figura 2 - Trapiantatrice TTP bifila in fase di lavoro.

Simulazioni fatte sull'opzione bifila (Fig. 2) fanno prevedere un incremento della capacità operativa fino a 3.386 talee h^{-1} . Il costo di esercizio per l'impianto di una talea è risultato pari a $0,012$ euro.

Da un punto di vista qualitativo, la macchina ha provveduto a stendere in maniera corretta il film pacciamante, con una ridotta percentuale di fallanze e posizionamenti non corretti, dovuti essenzialmente alla disformità di diametro delle talee impiegate. La macchina, infatti, è progettata per operare con talee del diametro compreso tra 12 e 28 mm. Talee troppo piccole sfuggono alla presa della pinza e tendono a cadere sul terreno prima dell'inserimento, talee troppo sviluppate tendono invece ad incastrarsi nell'organo di presa con conseguente non perfetto inserimento perpendicolare rispetto al terreno. Al fine di migliorare la qualità del lavoro svolto e prevedere lo sviluppo di sistemi automatici di alimentazione delle trapiantatrici, risulta essenziale disporre di materiale perfettamente calibrato.

3. La selezione ottica delle talee

Le fasi di produzione, selezione e insaccamento delle talee partendo dall'astone presentano una serie di problematiche risolvibili operando sul profilo delle meccanizzazione. Gli astoni possono appartenere a cloni diversi e, quindi, avere dimensioni (diametro basale compreso tra 5 mm e 30 mm, altezza compresa tra $1,5$ m e 4 m) e con-

formazione (presenza di rami laterali e di curvature del fusto) variabili. A ciò si aggiunge il fatto che, indipendentemente dal clone, l'astone ha forma conica che si traduce in talee che avranno un diametro maggiore se provenienti dalla parte basale ed uno più ridotto se ottenute dalla regione apicale.

Il materiale di propagazione viene attualmente suddiviso ad opera di una macchina dotata di lame circolari poste ad una distanza di 215 mm, che permette di ottenere talee della stessa lunghezza, ma di diverso diametro. La calibrazione a valle della segmentazione viene eseguita a mano con grande dispendio di manodopera e scarsa omogeneità nel risultato finale. Risulta necessario provvedere ad una suddivisione delle talee in classi di diametro il più possibile esatta affinché si possa provvedere allo sviluppo di sistemi di alimentazione automatica della trapiantatrice. Inoltre, va preservata e garantita la vitalità delle gemme, evitando abrasioni e contusioni, nonché mantenuta la polarità della talea per il successivo corretto posizionamento nel terreno.

Al fine di ridurre il costo di impianto del pioppo, voce che incide per quasi 2000 €/ha nel bilancio economico (Pari e Sissot, 2009), il CRA ING, in collaborazione con la Ditta Agrimat di Tortona (AL) e Franco Alasia Vivai di Savignano (AL) e con il supporto finanziario di Enama, ha realizzato una macchina per la selezione ottica delle talee in base al diametro, adattando un sistema di calibrazione già utilizzato per l'asparago.

3.1. La selezionatrice ottica

La macchina, montata a valle del sistema di taglio delle talee, è costituita dai seguenti componenti:

- un nastro con cinghie a “V” da 500 cm, che preleva le talee di pioppo (tutte tagliate ad una lunghezza di 215 mm) all'uscita del sistema per il taglio delle talee;
- un nastro a “V” da cm 200 a velocità variabile atto ad allineare, singolarizzare e distanziare le talee fra di loro di circa 4-5 cm (Fig. 3);
- una calibratrice elettronica ottica dotata di telecamera per la lettura dei diametri (Fig. 4). Le talee vengono trasportate da rullini biconici, che servono a centrare il prodotto sotto la telecamera di lettura;
- un sistema pneumatico (gestito da un software) che, attraverso un soffio d'aria inviato da ugelli erogatori azionati da una valvola elettro-pneumatica, indirizza le talee verso una specifica uscita;
- quattro uscite, una per ciascuna classe di diametro (A, B, C, D), ognuna delle quali scarica alternativamente in due vasche insaccatrici. L'alternanza serve per dar modo e tempo ad un solo operatore, addetto al riempimento manuale dei sacchi, di eseguire tale operazione su tutte e quattro le classi dimensionali.



Figura 3 - Panoramica della macchina per la selezione ottica delle talee. In primo piano le vasche di raccolta delle talee in funzione della classe di diametro.

Le talee fuori misura (diametro < 10 mm) o non riconosciute cadono in un raccogli-tore a fine percorso.

3.2. Prestazioni operative

La prova è stata effettuata utilizzando astoni di un anno di età appartenenti al clone AF2, di altezza media pari a circa 2500 mm e diametro basale medio pari a 35 mm.

Ciascun astone produce mediamente 12 talee (compresi i fuori misura). La macchina calibratrice è stata fatta lavorare con i nastri trasportatori delle talee sotto il sistema ottico con una capacità operativa di 6.240 talee h⁻¹. Il software è stato programmato in modo da suddividere le talee in 4 classi di diametro da inviare a 4 corrispondenti uscite (Tab. 2).

Tabella 2 - Classi dimensionali delle talee.

Uscita (vasche)	Diametro (mm)	n. max talee per vasca
A (1-2)	>25	150
B (3-4)	20-25	250
C (5-6)	15-20	400
D (7-8)	10-15	600
Fuori misura	6-10	Illimitato
Fuori misura	< 6	Illimitato

In corrispondenza dell'uscita A, venivano inviate prima alla vasca 1 e, successivamente alla vasca 2, 150 talee di diametro superiore ai 25 mm. Seguendo lo stesso principio, alla uscita B venivano inviate alle vasche 3 e 4, 250 talee di diametro compreso tra i 20 e i 25 mm, alla uscita C venivano inviate alle vasche 5 e 6, 400 talee di diametro compreso tra i 15 e i 20 mm, mentre alla uscita D venivano alle vasche 7 e 8, 600 talee di diametro compreso tra i 10 e i 15 mm.

Si è provveduto a far operare la macchina, rilevando gli errori commessi dal sistema e la tabella 3 riassume i risultati della prova. Il software ha registrato e contato come validi solo le porzioni di astone idonee ad essere impiegati come talea. Il fuori diametro minimo è risultato pari al 22% dei pezzi prodotti.

Tabella 3 - Risultati della prova.

Uscita (vasche)	Diametro (mm)	% talee rilevate dal software	% pezzi contati manualmente	% errore software	% talee perse
A (1-2)	>25	0,8	0,6	0,0	0,0
B (3-4)	20-25	6,3	5,1	0,0	0,2
C (5-6)	15-20	39,9	31,2	1,4	2,0
D (7-8)	10-15	53,0	41,2	2,2	0,0
Totale talee caratterizzate		100,0	78,1	3,6	2,2
Fuori misura al fondo		0,0	19,3		
Fuori misura da rulli		0,0	2,6		
Totale fuori misura			21,9		

Alcune talee, nell'ordine del 3,6% di quelle prodotte, pur essendo caratterizzate diametralmente in modo corretto dalla macchina, non riescono ad essere spinte dal sistema pneumatico alla corrispondente uscita. Inoltre, circa il 2% delle talee caratterizzate cadono a terra o sono convogliate in una vasca della stessa classe dimensionale, ma non in quella corretta.

Non sono stati registrati errori, invece, nella calibratura e nella polarità delle talee.

Un aspetto critico del sistema valutato è costituito dal sistema di alimentazione della selezionatrice. La taglierina attualmente utilizzata non si è rilevata adatta ed ha capacità operative che non consentono di utilizzare al massimo le potenzialità della macchina selezionatrice. Allo scopo, è in fase di progettazione un sistema di taglio degli astoni basato su coltelli controrotanti, in grado di garantire una alimentazione omogenea delle talee opportunamente distanziate.

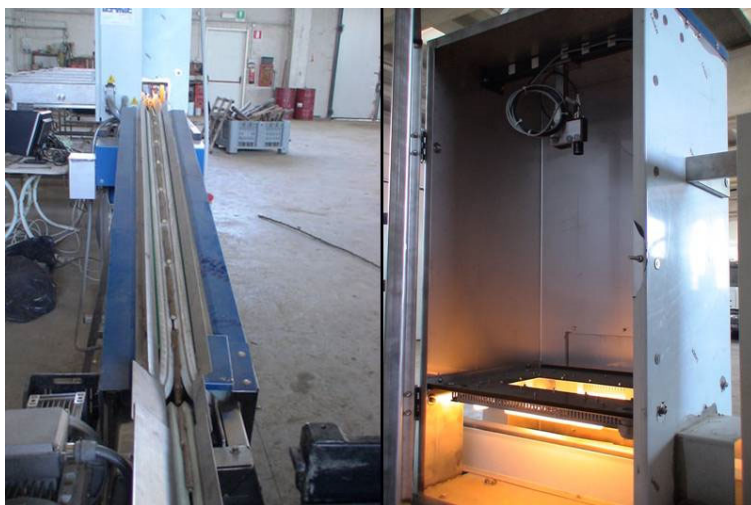


Figura 4 - Nastro trasportatore a “V” (a sinistra) e sistema ottico di calibratura (a destra).

4. Automazione del trapianto

L’esperienza condotta sulle trapiantatrici e sulla selezionatrice ottica delle talee ha consentito la prosecuzione dell’attività sperimentale che si è conclusa con lo studio e la progettazione di un dispositivo automatico di alimentazione della talea che potrà essere abbinato a trapiantatrici monofila o bifila ad elementi iniettori radiali.

4.1. Il dispositivo per il trapianto automatico

Tale dispositivo sarà costituito da una cassetta per il contenimento del materiale di propagazione, da un sistema di distribuzione ed uno di alimentazione (Fig. 5) e consentirà di effettuare il prelievo della singola talea dalla cassetta, il suo trasporto fino al piano di inserimento e l’inserimento della stessa nella pinza dell’elemento iniettore.

La cassetta per il contenimento delle talee sarà realizzata in acciaio e avrà una lunghezza, una larghezza ed una altezza pari rispettivamente a 800 mm, 270 mm e 400 mm.

Considerando le dimensioni medie delle talee la cassetta sarà in grado di contenere circa 420 talee.

Il fondo della cassetta sarà inclinato di 75° rispetto al piano orizzontale al fine di favorire l’avanzamento delle talee verso il piano di carico. Un martinetto interno azionerà, invece, un pannello oscillante a posizionamento variabile in grado di regolare il rilascio delle singole talee fino al sistema di distribuzione.

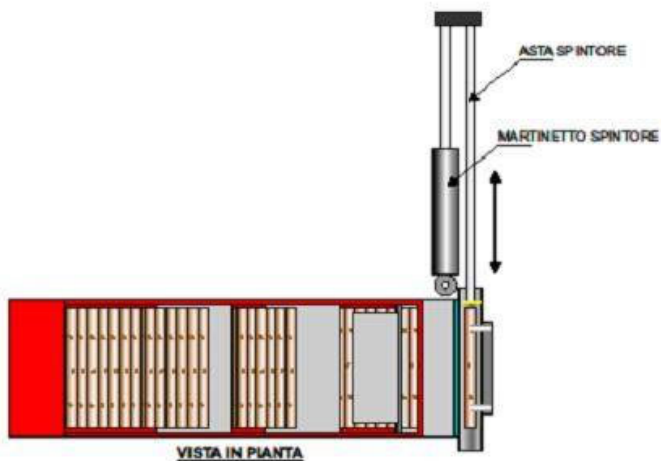


Figura 5 - Fasi di lavoro del martinetto spintore.

Il sistema di distribuzione sarà azionato da un martinetto idraulico e avrà la duplice funzione di provvedere a collocare le talee nella vasca dello spintore, durante il ciclo di andata, e favorire il rilascio delle talee sul piano del distributore, a conclusione del ciclo di ritorno.

Il dispositivo di alimentazione sarà costituito da un terzo martinetto idraulico che provvederà all'inserimento delle talee nelle pinze dei vari elementi iniettori. L'azionamento del martinetto sarà sincronizzato con la ruota della trapiantatrice grazie alla presenza di un sensore di prossimità (Fig. 6).

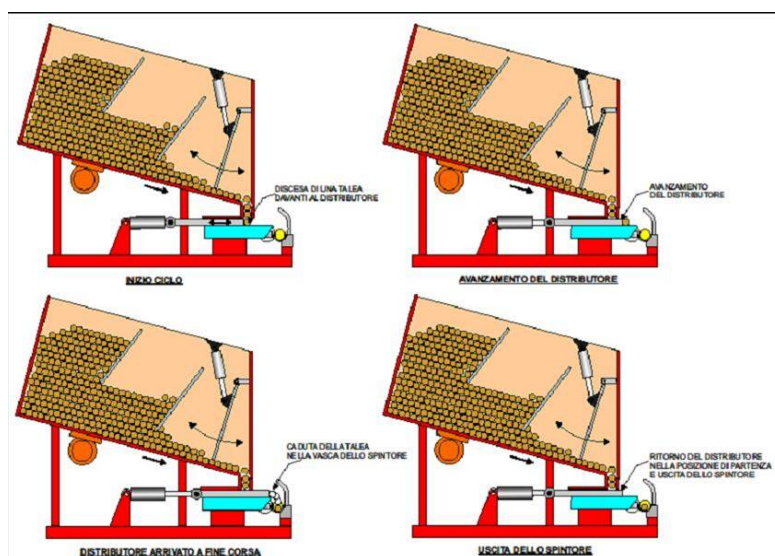


Figura 6 - Fasi di lavoro del dispositivo automatico di alimentazione delle talee.

Conclusioni

Il settore della meccanizzazione del trapianto del pioppeto (ma il discorso può essere esteso anche ad altre specie legnose per SRF) è in evoluzione e le soluzioni adottate appaiono particolarmente interessanti ai fini del raggiungimento dei principali obiettivi legati a tale operazione: incremento della produttività del lavoro, riduzione dei costi di manodopera e, conseguentemente, di impianto. Diverse sono le variabili che possono influenzare le performance delle singole trapiantatrici: il tipo di terreno, il suo stato fisico, la sua preparazione, le caratteristiche dimensionali del materiale di propagazione, ecc.

L'impianto e la raccolta incidono pesantemente sui costi di coltivazione arrivando a coprirne quasi l'80% (Pari e Fredrizzi, 2004) mentre l'impiego di manodopera incide per oltre il 35% (Manzone *et al.*, 2009). È dunque, auspicabile ricercare soluzioni innovative ed efficaci per la meccanizzazione delle operazioni che richiedono una forte componente manuale.

La corretta classificazione delle talee in base al diametro ed il rispetto della polarità della talea sono le condizioni necessarie per poter prevedere l'automazione dell'alimentazione della talea alla trapiantatrice. Lo sviluppo di una macchina selezionatrice ottica da usare in vivaio ha permesso non solo di ridurre i costi di produzione della talea ma anche di suddividere correttamente il materiale di propagazione per classi di diametro. Tale risultato ha permesso la prosecuzione dell'attività che è stata successivamente incentrata sulla progettazione di un dispositivo automatico di alimentazione delle trapiantatrici di talee. Una volta terminata la fase sperimentale sarà possibile ottenere una sostanziale riduzione della manodopera utilizzata, con benefici sia in termini economici, attraverso la contrazione dei costi di esercizio del cantiere, sia in termini di produttività, attraverso l'incremento della capacità operativa e della produzione oraria operativa.

Bibliografia

- Bonari E., Picchi G., Guidi W., Piccioni E., Fraga A., Villani R., 2004. Le colture da energia. In: Quaderno ARSIA "Le colture dedicate ad uso energetico: il progetto Bioenergy Farm", Ed. ARSIA, Firenze, pp 29-78.
- Bonari E., Ragaglini G., Tozzini C., Guidi W., Ginanni M., 2009. Protocollo di coltivazione e raccolta degli impianti di *Short Rotation Forest* di pioppo. In: "La filiera legno-energia. Risultati del progetto Woodland Energy", Ed. ARSIA, Firenze, pp 73-88.
- Manzone M., Airolti G., Balsari P., 2006. Trapiantatrici per impianto da biomassa. *Sherwood* 128, 49-55.
- Manzone M., Airolti G., Balsari, P. 2009. Energetic and economic evaluation of a poplar cultivation for the biomass production in Italy. *Biomass and Bioenergy* 33: 1258-1264.

- Pari L., Fredrizzi M., 2004. Provata una nuova trapiantatrice per le colture forestali energetiche. *L'Informatore Agrario* 43, 95-98.
- Pari L., 2005. Innovative short rotation forestry planter experimental tests. Proceedings of 14th European Biomass Conference, 17-21 October 2005, Paris, France: 402-405.
- Pari L., Sissot F., 2009. Con la selezione ottica le talee di pioppo costano meno. *L'Informatore agrario* 29, 26-27.
- Pari L., Civitarese V., Del Giudice A., 2010. Abbattitrice andanatrice. Versione pre-commerciale della macchina. In: *Innovazioni tecnologiche per le agro energie. Sinergie tra ricerca e impresa. Sherwood 168, supplemento 2*, pp 6-10.
- Pari L., Civitarese V., 2010. Una semovente per la raccolta e la cippatura. Sviluppo di una macchina dedicata alle colture da biomassa. In: *Innovazioni tecnologiche per le agro energie. Sinergie tra ricerca e impresa. Sherwood 168, supplemento 2*, pp 11-13.
- Verani S., Sperandio G., Di Matteo G., 2010. Analisi del lavoro della Claas Jaguar 880 con testata GBE-1 nella raccolta di un pioppeto da biomassa. *Forest@* 7, 22-27.

3 - Cantieri di raccolta delle colture legnose

Harvesting yards for woody crops

Luigi Pari*, Vincenzo Civitarese*

Riassunto

La raccolta del pioppo può avvenire secondo due differenti metodologie: raccolta e cippatura in un unico passaggio e abbattimento e cippatura in due fasi distinte.

Ciascuna tipologia di cantiere presenta vantaggi e svantaggi e la scelta del sistema ottimale sarà dettata da valutazioni di carattere logistico, gestionale ed economico.

Scopo del lavoro è quello di fornire una panoramica della meccanizzazione dedicata alla raccolta del pioppo con particolare riferimento ai vantaggi e svantaggi offerti da ciascuna tipologia di cantiere ed alle capacità operative delle diverse macchine coinvolte nelle operazioni di raccolta

Parole chiave: pioppo, raccolta, meccanizzazione, biomassa.

Abstract

Poplar harvesting may be carried out using two different approaches: harvest and chipping in a single step or cutting and chipping in two distinct phases.

Each type of yard has advantages and disadvantages and the choice of the more appropriate system will be dictated by logistic, management and economic evaluations.

Purpose of this work is to provide an overview of mechanical solutions available for poplar harvesting with particular reference to the emphasizing positive and negative aspects linked to different yards and the showing the operative capacities of the various machines involved in harvesting operations.

Keywords: *poplar, harvesting, mechanization, biomass.*

* CRA-ING - Unità di Ricerca per l'Ingegneria Agraria, Monterotondo (Roma).

1. Introduzione

Le specie impiegabili per la costituzione di impianti a Short Rotation Forestry (SRF) sono principalmente pioppo (*Populus* spp.), robinia (*Robinia pseudoacacia* L.), eucalipto (*Eucalyptus* spp.) e salice (*salix* spp.) (Paris *et al.*, 2011; ITABIA 1999; GCI 1999). In Italia la specie più diffusa è il pioppo e i nuovi cloni da biomassa, appositamente selezionati, hanno mostrato livelli di produttività interessanti (Paris *et al.*, 2011) raggiungendo le 17,5 t s.s./ha/anno (Bergante *et al* 2010).

La raccolta può incidere fino al 50% dei costi sostenuti nel processo produttivo (Christopherson and Mattson, 1990) e può avvenire secondo due differenti metodologie: raccolta e cippatura in un unico passaggio e abbattimento e cippatura in due fasi distinte. La raccolta e cippatura in un unico passaggio avviene ad opera di falciatrici-caricatrici, semoventi (Pari e Civitarese, 2008; Pari *et al.*, 2009a) o semiportate (Pari e Civitarese, 2009), equipaggiate con testate in grado di eseguire in sequenza le operazioni di taglio, cippatura e scarico del prodotto sui rimorchi trainati da trattrici agricole. I sistemi di lavoro che prevedono l'abbattimento e la cippatura in due fasi distinte, invece, sono attualmente due, entrambi sviluppati dal CRA-ING:

- abbattimento e accatastamento a bordo campo (Pari, 2000), per una successiva cippatura ad opera di cippatrice semovente dotata di braccio idraulico con pinza;
- abbattimento e andatura tra le file, per una successiva cippatura ad opera di cippatrice dotata di pick up rotativo (Pari *et al.*, 2009b).

Ciascuna tipologia di cantiere presenta vantaggi e svantaggi e la scelta del sistema ottimale sarà dettata da valutazioni di carattere logistico, gestionale ed economico.

Scopo del lavoro è quello di fornire una panoramica della meccanizzazione dedicata alla raccolta del pioppo, con particolare riferimento ai vantaggi e svantaggi offerti da ciascuna tipologia di cantiere ed alle capacità operative delle principali macchine utilizzate nelle operazioni di raccolta.

2. Materiali e metodi

I rilievi sulla coltura sono stati effettuati secondo la metodologia pubblicata sulle “linee guida per l'esecuzione delle prove di raccolta in SRF” della Aberdeen University - Department of Forestry (Mitchell *et al.*, 1997) mentre i tempi di lavoro sono stati rilevati secondo la metodologia ufficiale della Commission Internationale de l'Organisation Scientifique du Travail en Agriculture (C.I.O.S.T.A.) e la raccomandazione dell'Associazione Italiana di Genio Rurale (A.I.G.R.) 3^A R1, provvedendo a registrare su un apposito software sviluppato in ambiente Visual Basic, i tempi necessari alle diverse operazioni durante la raccolta e ad eseguire le successive elaborazioni.

3. La raccolta in una fase

3.1. Descrizione delle macchine che compongono il cantiere

Le macchine più diffuse sono rappresentate da falciatrinciacaricatrici agricole equipaggiate con testate da biomassa, che raccolgono e cippano le piante scaricando il prodotto sui rimorchi delle trattrici agricole (Fig. 1).

Il CRA ING ha seguito diversi cantieri di raccolta del pioppo con diversi modelli di Claas Jaguar (860 e 890) equipaggiati con testata GBE-1 e rotore sperimentale CRA-ING montato in sostituzione di quello di serie.



Figura 1- Falciatrinciacaricatrice Claas Jaguar in raccolta di pioppo.

3.1.1 La testata GBE-1

La testata GBE-1 ha una massa di 1950 kg ed un ingombro esterno pari a 2800 mm di larghezza e 2000 mm di lunghezza e il baricentro è posizionato a 850 mm dai punti di attacco della Claas. L'apertura anteriore è di 1900 mm e il sistema di alimentazione del cippatore ha una larghezza di 670 mm.

Il diametro e lo spessore delle lame circolari che operano il taglio delle piante sono pari, rispettivamente, a 800 mm e 7 mm, con 80 denti distanziati di 31,5 mm. Il regime di rotazione delle lame è pari a 1700 giri/min, con una velocità periferica di 71,17 m/s.

Il gruppo di alimentazione risulta costituito da 3 rulli con lame a coltello, due nella parte inferiore e uno nella parte superiore, delle seguenti dimensioni:

- 1° rullo: diametro 290 mm, lunghezza 690 mm;
- 2° rullo: diametro 390 mm, lunghezza 690 mm;
- 3° rullo: diametro 390 mm, lunghezza 670 mm.

3.1.2 Il rotore CRA ING

Nella fase progettuale si è tenuto conto della ridotta pezzatura del prodotto ottenuto con il rotore di serie e della limitata capacità di cippare materiale con diametro superiore ai 12-15 cm. Il rotore CRA-ING (Fig. 2), diversamente da quello di serie che può ospitare un minimo di 12 coltelli (due serie da 6), è stato progettato per contenere cinque serie di doppi coltelli sfalsati, per un totale di 10 coltelli. È stato inoltre modificato l'angolo di inserzione dei portacoltelli sul cilindro.



Figura 2 - Rotore CRA ING.

Il nuovo rotore consta di un tamburo in acciaio del diametro di 403 mm e lunghezza di 670 mm, sul quale sono state eseguite un totale di 10 lavorazioni, 5 per parte, equamente distribuite sul mantello del tamburo. Le suddette lavorazioni consentono il corretto posizionamento dei portalama nella successiva fase di saldatura degli stessi e presentano un angolo di inclinazione, rispetto le generatrici del cilindro, di 5°. Il peso del tamburo è pari a 145 kg.

I portalama, della lunghezza di 320mm, sono dotati di una serie di 5 asole ciascuno, per il fissaggio e la regolazione dei coltelli. Le lame hanno una lunghezza mas-

sima di 380 mm, con un angolo di taglio pari a 32.5°, e sono dotate di una serie di 5 fori filettati che consentono il fissaggio sul portalama in corrispondenza delle asole.

3.2. Tempi di lavoro

Una precedente prova sperimentale, condotta su un impianto al secondo turno di ceduazione (R4F2), ha evidenziato per la Claas Jaguar 890 equipaggiata con testata da biomassa GBE-1 e rotore CRA-ING (Pari *et al.*, 2009c), una capacità di lavoro operativa pari a circa 1,50 ha/h con una produzione oraria operativa di 120 t/h (Tab. 1).

Tabella 1 - Tempi di lavoro e operatività della Claas Jaguar 890 equipaggiata con testata da biomassa e rotore CRA-ING.

Tipologia di impianto		R4F2
Produttività (t/ha)		79,66
Tempo standard TS		
Tempo effettivo (TE)	%	77,02
Tempo accessorio (TA)	%	22,98
- Tempo per voltate (TAV)	%	18,71
- Tempo per rifornim. o scarichi (TAS)	%	0
- Tempo per manutenzione (TAC)	%	4,27
Tempo di riposo (TR)	%	0
Tempo morto inevitabile (TMI)	%	0
Tempo standard	%	100
Operatività delle macchine		
Rendimento operativo Ro	%	77,02
Velocità effettiva ve	m/s	2,18
Velocità operativa vo	m/s	1,46
Capacità di lavoro effettiva	ha/h	2,25
Capacità di lavoro operativa	ha/h	1,51
Produzione oraria operativa	t/h	120,29

3.3. Vantaggi e svantaggi

I principali vantaggi offerti dalla raccolta e cippatura in una fase risiedono nel fatto che le raccogliatrici da foraggio presentano rendimenti elevati e il cippato può essere caricato direttamente sugli autotreni e trasportato in centrale. Le stesse macchine, inoltre, possono essere impiegate per altre colture in diversi periodi dell'anno. Il prodotto ottenuto si caratterizza, tuttavia, per un elevato contenuto di umidità (circa

il 55-60%) e, una volta stoccato, risulta soggetto ad inevitabili processi di fermentazione e perdita di sostanza secca. Altro aspetto da prendere in considerazione riguarda la finestra di raccolta piuttosto limitata (novembre-marzo). I cantieri si trovano spesso ad operare su terreni con bassa portanza, con inevitabili danni da compattamento e inverni particolarmente piovosi possono ridurre il numero di giorni di praticabilità dei campi, con ripercussioni di carattere logistico, economico e gestionale.

4. La raccolta in due fasi con stoccaggio a bordo campo

4.1. Descrizione delle macchine che compongono il cantiere

Il cantiere di raccolta risulta costituito da due macchine, una per il taglio e una per l'accumulo. L'abbattitrice effettua il taglio delle piante rilasciandole sul terreno perpendicolarmente alla direzione di avanzamento della trattrice. Le file abbattute vengono di volta in volta raccolte dalla trattrice abbinata al caricatore frontale e accumulate a bordo campo. Le piante verranno quindi cippate in una fase successiva e in funzione delle richieste energetiche della centrale, utilizzando cippatrici semoventi dotate di braccio idraulico con pinza.



Figura 3 - Macchina abbattitrice.

4.1.1. La macchina per il taglio

La macchina per il taglio (Fig. 3) è semiportata su slitte e collegata all'attacco a tre punti del trattore. Ha una massa complessiva di 580 kg e un ingombro massimo, in fase di lavoro, pari a 2600 mm di larghezza x 1600 mm di lunghezza.

Il principio di lavoro si basa su un organo di taglio a lama circolare in acciaio, del diametro di 600 mm e spessore di 4 mm, con denti di taglio rinforzati in widia riportati sul disco con saldo a brasatura. Il moto viene conferito dalla presa di potenza del trattore e il disco, grazie ad un moltiplicatore di giri, esegue il taglio delle piante con una velocità di rotazione di 2200 giri/min (velocità periferica 68,93 m/sec.) (Tab. 2).

Tabella 2 - Caratteristiche tecniche del dispositivo di taglio dell'abbattitrice.

Apparato di taglio	
Diametro lame (mm)	600
Circonferenza lame (mm)	1880
Spessore (mm)	4
Velocità (giri/min)	2200
Velocità periferica (m/sec)	68,93
denti/lama	56
Colpi di dente/sec	2053

L'organo di taglio è collegato al telaio della macchina in modo tale da poter essere ruotato di 90°, consentendo il trasporto su strada. Un martinetto idraulico permette di regolare l'escursione laterale in relazione alle caratteristiche dell'impianto.

L'altezza di taglio è regolata da due slitte laterali che scaricano parte del peso della macchina sul terreno.

Sulla trattrice è montato uno spingitore, costituito da una barra in metallo del diametro di 42 mm, a posizionamento regolabile (sia in altezza che lateralmente), che svolge la funzione di spostare lateralmente le piante prima che queste vengano tagliate. In questo modo si favorisce la loro caduta in posizione ortogonale alla direzione di avanzamento del mezzo (Fig. 4).

Un punto chiave è rappresentato dal fatto che tutte le piante vengono fatte cadere parallele l'una all'altra, al fine di favorire la successiva fase di raccolta e accatastamento a bordo campo.

4.1.2. La macchina per l'accumulo

La macchina per l'accumulo (Fig. 5) è una operatrice adibita alla raccolta delle piante abbattute e al loro posizionamento a bordo campo in cumuli ordinati, al fine di agevolare la successiva fase di cippatura dopo essiccazione, per mezzo di cippatrici mobili.

La macchina è montata su un elevatore frontale portato da una trattrice a 4 ruote motrici della potenza minima di 70 kW.



Figura 4 - Caduta delle piante in posizione ortogonale alla direzione di avanzamento della trattrice.



Figura 5 - Macchina per l'accumulo della biomassa a bordo campo.

Il prototipo è costituito da due puntali di 3130 mm di lunghezza, paralleli e distanti 1850 mm l'uno dall'altro. All'apice dei puntali è montato uno scalpello che ha la funzione di far sì che tutte le piante siano raccolte. Allo scopo di far scivolare i puntali sul terreno, dietro allo scalpello è posizionata una slitta dello spessore di 200 mm e ad altezza regolabile.

Nella parte prossimale i puntali si piegano verso l'alto fino a 1400 mm di altezza, in modo da favorire l'accumulo delle piante.

I puntali hanno una altezza da terra pari a 370 mm per far sì che le piante abbattute, in fase di caricamento e avanzamento della trattrice, non intacchino le ceppaie tagliate.

Il quantitativo massimo di biomassa che è possibile caricare sull'accumulatore frontale risulta pari a circa 1,4 t.

Poiché il prototipo a sega circolare opera iniziando dalle file esterne dell'apezzamento, l'accumulatore frontale crea ai bordi del campo due andane opposte costituite da singoli cumuli di piante tutte disposte nella stessa direzione.

4.2. Tempi di lavoro

La macchina abbattitrice ha evidenziato, in precedenti prove sperimentali (Pari *et al.* 2009d), una capacità di lavoro operativa pari a circa 0,50 ha/h, con una produzione oraria operativa di 25,80 t/h.

La macchina per la raccolta e accatastamento, invece, ha raggiunto una capacità di lavoro operativa di poco superiore a 0,50 ha/h, con una produzione oraria operativa di 29 t/h (Tab. 3).

Tabella 3 - Tempi di lavoro e operatività della abbattitrice e della accumulatrice.

Tipologia di impianto		R2F2	
Produttività (t/ha)		53	
Tempo standard TS			
		abbattitrice	caricatore
Tempo effettivo (TE)	%	78,55	44,96
Tempo accessorio (TA)	%	21,45	55,04
- Tempo per voltate (TAV)	%	21,45	24,18
- Tempo per rifornim. o scarichi (TAS)	%	0	30,86
- Tempo per manutenzione (TAC)	%	0	0
Tempo di riposo (TR)	%	0	0
Tempo morto inevitabile (TMI)	%	0	0
Tempo standard	%	100	100
Operatività delle macchine			
Rendimento operativo Ro	%	78,55	44,96
Velocità effettiva ve	m/s	0,80	1,58
Velocità operativa vo	m/s	0,63	0,71
Capacità di lavoro effettiva	ha/h	0,62	1,22
Capacità di lavoro operativa	ha/h	0,49	0,55
Produzione oraria operativa	t/h	25,80	29

4.3. Vantaggi e svantaggi

I principali vantaggi offerti da questa tipologia di cantiere risiedono nel fatto che la biomassa può essere stoccata nelle capezzagne di testa (che resterebbero altrimenti inutilizzate) e cippata in funzione delle richieste energetiche della centrale, incrementando, di fatto, il periodo utile per il conferimento del prodotto che potrà avvenire durante l'intero arco dell'anno. Le piante intere risentono in misura minore dei processi biologici di degradazione (con riduzione delle perdite complessive di sostanza secca) e durante la fase di stoccaggio vanno incontro ad un naturale processo

di disidratazione che consente di ottenere, nella successiva fase di cippatura, un prodotto più stabile e meno soggetto a processi fermentativi.

La cippatura a bordo campo può essere eseguita con macchine caratterizzate da elevate produttività e costi di esercizio orari inferiori a quelli delle trinciatrici da foraggio. Infine, occorre considerare il minore compattamento del terreno rispetto al cantiere in una fase, soprattutto in condizioni di elevata umidità dello stesso, per il ridotto peso delle operatrici.

Tale sistema impone, di contro, il passaggio di una macchina in più, la disponibilità di ampie superfici non sempre disponibili e la necessità di movimentare le piante abbattute dal letto di caduta alle capezzagne.

5. La raccolta in due fasi con stoccaggio nell'interfila

5.1. Descrizione delle macchine che compongono il cantiere

Il cantiere di raccolta risulta costituito da due macchine, un'abbattitrice che esegue il taglio e il rilascio delle piante nell'interfila (parallelamente alla direzione di avanzamento della trattrice) e una cippatrice equipaggiata con testata pick up per la raccolta e la cippatura delle piante andanate (Pari *et al.* 2009b; Pari *et al.*, 2010). L'abbattitrice andanatrice viene impiegata nel periodo di riposo vegetativo, posticipando l'ingresso della raccogliitrice con pick up e dei dumper tra la fine di aprile e i primi di giugno.



Figura 6 - Macchina abbattitrice andanatrice

5.1.1 La macchina abbattitrice andanatrice

La macchina abbattitrice è una macchina semiportata (Fig. 6) per il cui impiego è richiesta una trattrice della potenza minima di 60 kW (Tab. 4).

Tabella 4 - Dati tecnici del sistema di trasporto e del sistema di scarico della abbattitrice andanatrice.

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

La macchina, con massa complessiva di 1000 kg ed ingombro esterno, in fase di lavoro, di 3060 mm, monta su un telaio di profilati metallici una serie di dispositivi di taglio, convogliamento e trasporto, oltre agli organi per l'indirizzo della pianta nell'interfila.

Il sistema di taglio è costituito da una lama del diametro e spessore pari rispettivamente a 650 mm e 6 mm, con denti forniti di supporto indurito al videria. La lama deriva il proprio moto dalla presa di potenza del trattore attraverso un rinvio che ne moltiplica il numero di giri in modo che la lama possa operare a 2000-22000 giri/min. Le due ruote folli sulle quali poggia la macchina svolgono la triplice funzione di sorreggere la macchina in fase di lavoro, agevolare l'intercettazione della pianta da parte del sistema di convogliamento (essendo folli sul proprio asse), regolare l'altezza di taglio.

Il sistema di convogliamento è costituito da due catene dentate da 40 passi, posizionate a 1400 mm dal terreno.

La pianta, spinta verso il sistema di convogliamento dal trattore in fase di avanzamento, viene successivamente intercettata dal sistema di trasporto, costituito da due coppie di catene gommate contro rotanti accoppiate, una inferiore e una superiore, distanziate tra loro di 1130 mm. La coppia inferiore è posizionata a 610 mm da terra, quella superiore ad un'altezza di 1745 mm. Il sistema di trasporto svolge, in parte, anche la funzione di convogliamento grazie alla posizione più avanzata delle catene gommate poste sul lato destro.

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

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

Il dispositivo di trasporto è configurato in maniera tale da rilasciare le piante prima dalla parte basale e, successivamente, dalla parte apicale, grazie alla diversa lunghezza delle catene e al diverso posizionamento delle stesse sui due piani di riferimento. La catena superiore di destra ha una maggiore lunghezza, al duplice scopo di compensare la sua posizione più avanzata rispetto a quella adiacente (410 mm) e trattenere le piante più a lungo rispetto alla coppia di catene inferiori. Questo accorgimento fornisce la giusta inclinazione alla pianta per la successiva deposizione in andana. Le catene posizionate sul lato sinistro sono dotate di 41 tasselli gommati ed hanno una lunghezza di trasporto di 2070 mm. Le catene posizionate sul lato destro, invece, hanno una lunghezza diversa: la catena inferiore è dotata di 40 tasselli gom-

mati e ha una lunghezza di trasporto di 2030 mm, quella superiore è dotata di 46 tasselli gommati ed ha una lunghezza di trasporto di 2300 mm.

Alla fine di questo percorso la parte basale della pianta viene trattenuta leggermente mentre la parte apicale cade nelle interfila, guidata lateralmente da due profilati in metallo, parallelamente alla direzione di avanzamento della macchina (Fig. 7).



Figura 7 - Andana prodotta dal passaggio dell'abbattitrice andanatrice.



Figura 8 - Falciatrici-caricatrice Spapperi mod. RT equipaggiata con testata pick up.

5.1.2 La macchina per la raccolta e la cippatura delle piante andanate

La macchina per la raccolta e la cippatura delle piante andanate risulta costituita da una falciatrici-caricatrice Spapperi mod. RT equipaggiata con testata pick up (Pari *et al.*, 2009b).

La macchina è in grado di avanzare lungo le interfile cippando le piante precedentemente abbattute e deposte in andana. Il prodotto viene quindi scaricato su rimorchi trainati da trattore, analogamente a quanto avviene per la raccolta e cippatura in una fase (Fig. 8).

Il dispositivo pick up raccoglie le piante da terra sollevandone i calci, mentre il moto di avanzamento della trattore e il dispositivo di convogliamento a martelli flottanti favoriscono l'ingresso delle stesse verso i rulli di alimentazione del dispositivo cippatore. Il prodotto viene quindi cippato e scaricato sui rimorchi.

Il dispositivo raccoglitore è costituito da un pick up rotativo cilindrico del diametro e lunghezza pari rispettivamente a 110 mm e 1690 mm, dotato di quattro rilievi in acciaio dello spessore ed altezza di 10 mm e 30 mm, che svolgono la funzione di presa e sollevamento del calcio delle piante. Il suo asse di rotazione dista 540 mm dal sistema di alimentazione della cippatrice, con uno spazio utile allo scarico di eventuale materiale estraneo di 465 mm.

Il moto rotativo del pick up è derivato da una pompa idraulica posizionata sul lato sinistro e protetta da un carter in metallo. Una valvola consente di regolarne la velocità di rotazione in base alla velocità di avanzamento della macchina e al quantitativo di biomassa presente sul terreno.

Un sistema autolivellante “folle”, montato sui due lati del pick up, garantisce il contatto tra il dispositivo raccoglitore e il terreno, assecondandone le irregolarità.

Il dispositivo di convogliamento è stato ampliato tramite un dispositivo a forma di imbuto della larghezza di 1750 mm, che svolge la funzione di favorire l'indirizzamento dei calci delle piante, non perfettamente allineati nel centro dell'interfila, verso il sistema di alimentazione della cippatrice.

Tutti gli interventi eseguiti sulla macchina sono reversibili in modo tale da poter utilizzare la stessa macchina sia in raccolta di piante in piedi che di piante andanate.

5.2. Tempi di lavoro

La macchina abbattitrice andanatrice, nei test effettuati su impianti al primo (R2F2) e secondo turno di ceduzione (R4F2), ha evidenziato una capacità di lavoro operativa pari a circa 1,50 ha/h, con una produzione oraria operativa superiore a 77 t/h (Tab. 5).

Tabella 5 - Tempi di lavoro e operatività della macchina abbattitrice andanatrice su impianti biennali al I (R2F2) e II (R4F2) taglio.

Tipologia di impianto		R2F2	R4F2
Produttività (t/ha)		50	58
Tempo standard TS			
Tempo effettivo TE	%	82,30	77,75
Tempo accessorio TA	%	17,70	22,25
- Tempo per voltate TAV	%	15,31	20,73
- Tempo per rifornim. o scarichi TAS	%	0	0
- Tempo per manutenzione TAC	%	2,39	1,51
Tempo di riposo TR	%	0	0
Tempo morto inevitabile TMI	%	0	0
Tempo standard	%	100	100
Operatività della macchina			
Rendimento operativo Ro	%	82,30	77,75
Velocità effettiva ve	m/s	1,74	1,67
Velocità operativa vo	m/s	1,43	1,30
Capacità di lavoro effettiva	ha/h	1,89	1,80
Capacità di lavoro operativa	ha/h	1,55	1,40
Produzione oraria operativa	t/h	77,50	81,20

La macchina per la raccolta e la cippatura, invece, ha raggiunto una capacità di lavoro operativa pari a circa a 0,50 ha/h, con una produzione oraria operativa superiore a 18 t/h (Tab. 6).

Tabella 6 - Tempi di lavoro e operatività della cippatrice con pick up su impianti biennali al I (R2F2) e II (R4F2) taglio.

Tipologia di impianto		R2F2	R4F2
Produttività (t/ha)		50	58
Tempo standard TS			
		R2F2	R4F2
Tempo effettivo TE	%	80,81	79,62
Tempo accessorio TA	%	19,19	20,38
- Tempo per voltate TAV	%	15,15	14,81
- Tempo per rifornim. o scarichi TAS	%	0	0
- Tempo per manutenzione TAC	%	4,04	5,57
Tempo di riposo TR	%	0	0
Tempo morto inevitabile TMI	%	0	0
Tempo standard	%	100	100
Operatività della macchina			
Rendimento operativo Ro	%	80,81	79,62
Velocità effettiva ve	m/s	0,56	0,60
Velocità operativa vo	m/s	0,45	0,48
Capacità di lavoro effettiva	ha/h	0,61	0,65
Capacità di lavoro operativa	ha/h	0,49	0,51
Produzione oraria operativa	t/h	18,45	21,27

5.3. Vantaggi e svantaggi

I benefici offerti da questa tipologia di cantiere sono in parte assimilabili a quelli offerti dal cantiere che prevede lo stoccaggio a bordo campo. Lo stoccaggio nell'interfila, tuttavia, consente di migliorare la gestione di alcuni aspetti negativi insiti nella metodologia precedente:

- lo stoccaggio, avvenendo nell'interfila, non richiede la disponibilità di ampie cappezzagne;
- il prodotto stoccato non necessita di movimentazione prima della cippatura in quanto l'impiego di falciatrici-caricatrici con pick up consente di raccogliere il prodotto direttamente nell'interfila;

- la cippatura non avviene ad opera di macchine specializzate ma ad opera di falciatrici-caricatrici in grado di operare sia su prodotto andanato, sia direttamente sulle piante in piedi (sostituendo la parte frontale della testata pick up con appositi dispositivi per il taglio e il convogliamento).

L'abbattitrice andanatrice risulta molto leggera e, a parità di condizioni, è in grado di produrre una minore compattazione del terreno rispetto alle altre macchine che compongono i diversi cantieri. Il passaggio della cippatrice con pick up e dei trattori carichi di cippato viene rinviato tra la fine di aprile e i primi di giugno, periodo questo che garantisce, in linea di massima, condizioni ambientali tali da ritenere che il passaggio del cantiere non influisca negativamente sul compattamento del suolo.

Di contro occorre considerare che tale metodologia, al fine di evitare il danneggiamento delle ceppaie, impone una distanza tra le file non inferiore a 3,5 m (con una minore densità di piante ad ettaro) e la necessità di cippare il prodotto entro i primi di giugno, con un periodo utile per il conferimento del prodotto inferiore a quanto previsto con lo stoccaggio a bordo campo.

6. Discussioni e conclusioni

La fase di raccolta influenza pesantemente la redditività della coltura e per tale ragione occorre utilizzare una meccanizzazione razionale. Ciascuna tipologia di cantiere presenta vantaggi e svantaggi e la scelta del sistema ottimale dipende molto dalle circostanze e dal contesto produttivo in cui l'azienda è chiamata ad operare. Diversi fattori possono influenzare il metodo di raccolta: le condizioni climatiche (inverni piovosi o secchi), le caratteristiche delle piantagioni (età dell'impianto, tipo di ciclo, diametro del fusto), il terreno (struttura, composizione, localizzazione, presenza di un sistema di drenaggio efficiente), la struttura delle aziende agricole, il livello di meccanizzazione, la localizzazione degli impianti di trasformazione, nonché le proprietà chimiche e fisiche del prodotto. La flessibilità deve essere la parola "chiave". Il sistema di raccolta deve essere valutato caso per caso in modo da garantire una fornitura continua e dimensionata per le capacità di trattamento dell'impianto di trasformazione. La raccolta in una fase può fornire il prodotto durante l'inverno e dovrebbe essere utilizzato quando le condizioni pedologiche e climatiche sono tali da garantire la salvaguardia della risorsa suolo. Il cantiere in due fasi potrebbe essere una soluzione ottimale in inverni piovosi e per terreni con una tendenza alla compattazione. In questo caso l'alimentazione della centrale potrà avvenire tra aprile e giugno o per tutto l'arco dell'anno, a seconda del sistema di stoccaggio previsto (in capezzagna o nell'interfila), fornendo un prodotto a basso contenuto di umidità, meno soggetto a processi di fermentazione e a perdita di materia organica.

Bibliografia

- Bergante S., Facciotto G., Minotta G., 2010. Identification of the main site factors and management intensity affecting the establishment of Short-Rotation-Coppices (SRC) in Northern Italy through Stepwise regression analysis. *Central European Journal of Biology* 5(4), 522-530.
- Christopherson N.S., Mattson J.A. Mechanization of the operational aspects of short-rotation forestry. *Biomass* 1990; 22: 123-133.
- Gruppo di coordinamento italiano (GCI), 1999. Progetto ALTENER-BIOGUIDE. Le coltivazioni da biomassa per un'energia alternativa, *Agricoltura* 47, 57-99.
- ITABIA 1999. Guide book on how to grow Short Rotation Forestry to produce Energy in an environmentally sustainable manner. Altener Programme BIOGUIDE Project, Final Report of the Environmental Liaison Group, pp 1-40.
- Mitchell C.P., Kofman P.D., Angus-Hankin C.M., 1997. Guidelines for conducting harvesting trials in short rotation forestry, Aberdeen University, Forestry Research Paper:1, 1-50.
- Pari L., 2000. ISMA system for mechanical harvesting of short rotation woody crops (SRWC). 1st World Conference on Biomass for Energy and Industry, Sevilla.
- Pari L., Civitarese V., 2008. Nuova testata di raccolta in prova su pioppo biennale. *L'informatore Agrario* 35, 48-51.
- Pari L., Civitarese V., 2009. Falciatricaricatrice Spapperi riveduta e corretta. Energia rinnovabile, supplemento dell'Informatore Agrario 5, 18-22.
- Pari L., Civitarese V., Del Giudice A., 2009a. Claas Jaguar 890 e 860, prove di raccolta su pioppo. *Agroenergie dall'impianto alla raccolta*, supplemento n. 1 dell'Informatore Agrario 29, 31-33.
- Pari L., Civitarese V., Del Giudice A., 2009b. Cantiere innovativo di raccolta di pioppo a turno breve. *Agroenergie dall'impianto alla raccolta*, supplemento n. 1 dell'Informatore Agrario 29, 34-37.
- Pari L., Civitarese V., Gallucci F., Del Giudice A., Giannini E., 2009c. Un nuovo rotore per la Claas Jaguar 890. *Agroenergie dall'impianto alla raccolta*, supplemento n. 1 dell'Informatore Agrario 29, 41-43.
- Pari L., Civitarese V., Suardi A., 2009d. I vantaggi di stoccare il pioppo a bordo campo. *Agroenergie dall'impianto alla raccolta*, supplemento n. 1 dell'Informatore Agrario 29, 38-40.
- Pari L., Civitarese V., Del Giudice A., 2010. Abbattitrice andanatrice, versione pre-commerciale della macchina. *Innovazioni tecnologiche per le agroenergie, sinergie tra ricerca e impresa*, supplemento n. 2 a Sherwood - Foreste ed alberi oggi 168, 6-10.
- Paris P., Mareschi L, Sabatti M, Pisanelli A, Ecosse A, Nardin F, Scarascia, Mugnozza G., 2011. Comparing hybrid Populus clones for SRF across northern Italy after two biennial rotations: Survival, growth and yield. *Biomass and Bioenergy* 35, 1524-1532.

4 - Stoccaggio del cippato di pioppo a destinazione energetica

Storage of poplar wood chips for energetic use

Luigi Pari*, Francesco Gallucci*, Angelo Del Giudice*

Riassunto

La raccolta di legno da impianti di pioppo a turno breve (*Short Rotation Forest*) è limitata al periodo di riposo vegetativo coincidente con i mesi invernali. La stagionalità della produzione di cippato impone l'individuazione della migliore strategia per la conservazione del "biocombustibile" e per l'ottenimento di un prodotto che abbia caratteristiche fisiche idonee, con valori dei principali parametri qualitativi in accordo con le soglie riportate dalle norme europee. Poiché la destinazione del cippato è piuttosto diversificata, dall'impiego in utenze domestiche fino all'utilizzazione in grandi centrali, al fine di ottimizzarne le prestazioni è necessario utilizzare una biomassa di buona qualità in relazione soprattutto alla pezzatura, al contenuto idrico e alle ceneri.

Lo stoccaggio ha lo scopo di abbassare il contenuto di umidità per limitare la degradazione microbiologica e mantenere il potere calorifico, riducendo la produzione di vapore acqueo, che comporta problemi di depurazione dei fumi. La conservazione del cippato può aver luogo all'aperto o in locali chiusi. Nel primo caso le scelte di conservazione interesseranno la superficie di stoccaggio (su terra o su cemento), la protezione del cumulo (con copertura o senza copertura), la sua forma (es. conici) e dimensione (grandi, piccoli), nonché l'applicazione o meno del rimescolamento del cumulo. Nel secondo caso le variabili riguardano soprattutto le soluzioni tecniche legate al sistema di ventilazione.

Il CRA-ING, nell'ambito del progetto SUSFACE, ha impostato diverse sperimentazioni mirate all'identificazione delle condizioni migliori per lo stoccaggio naturale all'aperto, al fine di definire parametri di efficienza, economicità e funzionalità in grado di

* CRA-ING - Unità di Ricerca per l'Ingegneria Agraria, Monterotondo (Roma).

garantire alle aziende agricole la fornitura di biocombustibile in maniera continua e con il corretto tenore di umidità. Il presente lavoro discute le problematiche relative allo stoccaggio di cippato di pioppo e illustra alcuni dei risultati più salienti ottenuti nel corso della pluriennale attività dell'Unità di Ricerca.

Parole chiave: pioppo, *Short rotation forestry*, stoccaggio naturale, potere calorifico.

Abstract

The wood harvest from poplar grown as Short Rotation Forest (SRF) is restricted to the dormant season corresponding to the winter months. The seasonality of wood chips production requires the identification of the best strategy for the conservation of “biofuels” and for obtaining a product having suitable physical traits with values of the main parameters according to the European standards. Because the final destination of the chips is quite diverse, varying from domestic use to feeding large power plants, in order to optimize its performance, a biomass of good quality in relation to size, water and ashes content, should be used.

Purpose of the storage is to lower the moisture content for reducing microbiological degradation and maintaining the calorific value by lowering the production of water vapor, which leads to problems of fumes depuration. The chips storage can take place in open air or in closed environments. In the first case, the choices will affect the area of storage (on soil or on cement), the protection of the heap (with or without coverage), its shape (e.g. conical) and size (large, small), and the application whether or not of heap mixing. In the second case, the variables mainly concern the technical solutions related to the ventilation system.

The CRA-ING, within the SUSCACE project, has set up several experiments aimed at to identify the best conditions for natural storage in open air in order to define the parameters of efficiency, economy and functionality ensuring the supply of biofuel to farms in a continuous manner and with the proper moisture content. This paper argues the issues related to the storage of wood chips of poplar and illustrates some of the most salient results achieved during the long activity of Research Unit.

Keywords: *poplar, Short rotation forestry, natural storage, calorific value.*

1. Introduzione

La principale produzione della filiera legno-energia è costituita dal cippato, utilizzato tal quale oppure pre-essiccato per migliorarne la combustione oppure ancora trasformato in pellett (Bonari *et al.*, 2009). Il prodotto finale, ai fini della sua utilizzazione energetica, deve possedere determinate caratteristiche qualitative, quali pezzatura, contenuto idrico e ceneri, definite sulla base della norma europea EN 14961-4

(Tab. 1). Il cippato destinato alla produzione di energia può trovare utile impiego in svariati ambiti, da centrali elettriche di grandi dimensioni ad impianti medio-piccoli a livello locale fino alle utenze domestiche (Tab. 2).

Tabella 1 - Principali caratteristiche richieste per il cippato in base alla norma EN 14961-4 (modificato da Francescato e Antonini, 2009).

Dimensioni o pezzatura	
Codice	Frazione principale >80% (massa)
P16	3,15 mm ≤ P ≤ 16 mm
P45	3,15 mm ≤ P ≤ 45 mm
P63	3,15 mm ≤ P ≤ 63 mm
Contenuto idrico (M)	
Codice	
M20	≤20% essiccato
M30	≤30% stagionato all'aria ed adatto ad essere stoccato nel silo
M40	≤40% non stagionato e non adatto ad essere stoccato nel silo
Contenuto in cenere (%s.s.)	
Codice	
A0,7	≤0.7%
A1,5	≤1.5%
A3,0	≤3.0%

Tabella 2 - Principali caratteristiche qualitative del cippato richieste dalle caldaie automatiche a cippato (da Francescato e Antonini, 2009).

Tipo di caldaia	Classe di potenza (kWt)	Griglia	Sistema di alimentazione	Pezzatura (P)	Contenuto idrico (M)	Ceneri (A)
Manuale a legna	<100	Fissa	Manuale	P330-1000	M20	-
Automatica a cippato	<150	Fissa	Coclea	P16-45	M20-M30	A1,5
	150-1000	Fissa/semimobile	Coclea	P16-45	M20-M40	A1,5-3,0
	>1000	Mobile	Spintone	P16-100	M30-M55	A3,0-A10,0

Un aspetto fondamentale nella produzione di cippato è costituito dal suo stoccaggio, in quanto le scelte logistiche con cui viene gestita la fase post-raccolta influenzano in maniera determinante la qualità della biomassa finale. La conservazione della biomassa raccolta sotto forma di cippato consente di disporre del “biocombustibile” legnoso per tutto l’anno (la raccolta delle SRF è limitata al periodo di riposo vegetativo coincidente con i mesi invernali) ed, al contempo, le trasformazioni che avvengono nella massa riducono il suo tenore di umidità, che, al momento della raccolta, è generalmente superiore al 60% su base umida. Ai fini della conversione energetica, infatti, in funzione di quanto prescritto dalla tecnologia di combustione cui il materiale sarà destinato, l’umidità dovrà raggiungere valori dell’ordine del 30-35%.

Lo stoccaggio ha lo scopo di abbassare i livelli di umidità favorendo la riduzione dei fenomeni degradativi che ne determinerebbero il decadimento qualitativo. Inoltre, l’utilizzo di cippato con tenori di umidità elevati comporta una sostanziale riduzione del potere calorifico (2.44 MJ per Kg di H₂O evaporata) e una notevole produzione di vapore acqueo (con svantaggi legati alla depurazione del fumi ed ai fenomeni chimici corrosivi dovuti alla condensa).

L’essiccazione del cippato (e, nel caso specifico, quello di pioppo) è un fenomeno controllato da diversi fattori legati al microclima, alla pezzatura e alla modalità di conservazione. Il range di temperatura da 10 a 65°C rilevabile in un cumulo di cippato consente lo svolgimento di reazioni biochimiche ascrivibili alla microflora fungina o a reazioni biologiche. Se la temperatura supera i 65°C hanno luogo reazioni puramente chimiche ossidative, influenzate dal tenore di ossigeno e dal contenuto di umidità, che provocano la decomposizione della materia organica e, quindi, la perdita di sostanza secca (Pari *et al.*, 2008). Il processo di degradazione della biomassa può essere sicuramente rallentato e, probabilmente, quasi azzerato: la discriminante fondamentale è data dal sistema di stoccaggio e dai relativi costi, limitati, nel caso di essiccazione naturale, notevoli e con un elevato dispendio di risorse energetiche se con ventilazione forzata.

Sostanzialmente lo stoccaggio del cippato può aver luogo all’aperto o in locali chiusi. Nel primo caso le scelte di conservazione interesseranno la superficie di stoccaggio (su terra o su cemento), la protezione del cumulo (con copertura o senza copertura), la sua forma (es. conici) e dimensione (grandi, piccoli), nonché l’applicazione o meno del rimescolamento del cumulo. Per quel che concerne lo stoccaggio della biomassa in locali chiusi (diffusi soprattutto nei paesi del Nord Europa) le variabili di cui tener conto riguardano il sistema di ventilazione forzata adottato: con aria a temperatura ambiente, con aria riscaldata, senza ventilazione. Anche in questo caso l’essiccazione può essere effettuato con o senza rimescolamento. Lo stoccaggio al chiuso permette di limitare al massimo le perdite di prodotto, ma i vantaggi che ne derivano non sempre giustificano gli investimenti richiesti (Bonari *et al.*, 2009).

La scelta del metodo di stoccaggio è funzione di considerazioni logistiche (disponibilità di spazio o di strutture *ad hoc*) ed economiche. Soluzioni valide per l’efficiente riduzione del contenuto di umidità possono in realtà rivelarsi difficilmente realizzabili in quanto non convenienti da un punto di vista economico ed energetico.

Il CRA-ING ha posto in essere un'attività pluriennale, nell'ambito del progetto SUSFACE, mirata ad identificare le condizioni migliori per lo stoccaggio naturale all'aperto di cippato di pioppo, al fine di individuare parametri di efficienza, economicità e funzionalità in grado di garantire alle aziende agricole la fornitura di biocombustibile in maniera continua e con il corretto tenore di umidità.

2. Stoccaggio all'aperto

a) Essiccazione naturale

Nell'essiccazione naturale la riduzione della quantità di acqua contenuta nel legno avviene a seguito dell'instaurarsi di un gradiente tra il legno e l'aria circostante, fino al raggiungimento di un equilibrio tra la forza dissecante dell'atmosfera in normali condizioni igrometriche e il potere igroscopico della sostanza legnosa. Tale equilibrio viene raggiunto quando si arriva al più basso gradiente di umidità nelle condizioni ambientali a cui la biomassa legnosa viene esposta. La velocità del fenomeno è direttamente proporzionale alla differenza di contenuto idrico tra legno ed aria presente nel materiale in cumulo; quest'ultima è legata al suo ricambio (presenza di vento o ventilazione forzata) ed all'umidità e alla temperatura dell'aria esterna al cumulo.

Nello studio delle modalità con cui avviene l'essiccamento naturale è importante considerare gli aspetti che governano le dinamiche relative al contenuto di umidità della biomassa stoccata e che sono influenzate sia da caratteristiche intrinseche del materiale e del tipo di conservazione sia da variabili di tipo biologico e ambientale. Nel cumulo, la perdita di acqua procede gradualmente dall'esterno (la superficie esposta agli eventi atmosferici) verso l'interno (dove i processi fermentativi determinano temperature particolarmente elevate) con modalità non uniformi nel tempo e nello spazio. In genere, la perdita d'acqua segue un gradiente longitudinale e la velocità dell'allontanamento dell'acqua di imbibizione è maggiore rispetto a quella dell'acqua di saturazione.

La corteccia rappresenta una barriera importante per il movimento del vapore acqueo e, benché la porosità non sia un indice di permeabilità, la consistenza del legno entra a far parte degli elementi da considerare nei processi di disidratazione.

Non meno determinanti risultano essere i fattori ambientali: l'esposizione (posizione assoluta o in ombra), la scarsa ventilazione, l'andamento meteorico (frequenza di piogge abbondanti), il contatto con il suolo (in terreni pesanti potrebbero verificarsi problemi aggiuntivi a causa di fenomeni di risalita capillare), la presenza ed il contatto con erbe spontanee sono tutti elementi che non solo rallentano l'essiccazione naturale, ma favoriscono lo sviluppo di infezioni batteriche e fungine che portano a perdite di sostanza legnosa.

Dalle considerazioni appena esposte emerge un ulteriore elemento di analisi: il movimento dell'acqua è bidirezionale poiché nello stoccaggio all'aperto l'assenza di riparo dagli eventi meteorici (pioggia, neve, nebbia), genera un flusso inverso, dal-

l'ambiente al legno. In questo caso, la presenza della corteccia rallenta l'assorbimento dell'acqua, mentre i legni leggeri e più porosi si imbibiscono più facilmente.

La pezzatura del cippato riveste un ruolo di notevole importanza in quanto riducendo le classi dimensionali aumenta la percentuale esposta priva di corteccia e, quindi, con maggiore probabilità di riassorbimento di acqua. Aumentando il rapporto superficie/volume (S/V) aumenta il flusso di materia (acqua) verso l'esterno, con conseguente perdita di umidità da parte del materiale e disidratazione più rapida dello stesso. Dimensioni troppo fini delle scaglie legnose non solo aumentano la superficie disponibile ed esposta all'azione degradativa dei microorganismi, ma dal punto di vista dell'efficienza energetica del prodotto comportano problemi in fase di combustione, influenzando negativamente sia il rendimento che il costo di manutenzione dell'impianto (Pari e Sissot, 2009).

Lo stoccaggio all'aperto rappresenta una soluzione relativamente semplice ed economica per la disidratazione del cippato, molto diffusa nella realtà italiana. L'influenza dei fattori appena richiamati, alcuni difficilmente controllabili, legati all'essiccazione naturale, richiede, però, uno studio approfondito e puntuale delle soluzioni tecniche applicabili al metodo di stoccaggio del prodotto pezzato che consentano il contenimento dei fenomeni degradativi.

b) Effetto della copertura del cumulo

La quasi totalità delle valutazioni sperimentali relative allo stoccaggio di cippato di legno sono state condotte nel nord Europa, in condizioni climatiche quindi completamente diverse dalle nostre. Allo scopo di valutare quale, fra quelli ipotizzabili, fosse il sistema di stoccaggio che potesse permettere il contenimento dei fenomeni fermentativi, il CRA-ING ha iniziato nel 2007 prove sperimentali volte a valutare le temperature interne ai cumuli, le variazioni dei tenori di umidità, le variazioni del potere calorifico inferiore (PCI) e le perdite di sostanza secca in diverse condizioni operative.



Figura 1 - Allestimento delle prove per la comparazione dell'effetto della copertura in cumuli di cippato di pioppo sottoposti ad essiccazione naturale.



Figura 2 - Apertura dei cumuli di cippato di pioppo sottoposti ad essiccazione naturale.

Tenendo conto delle considerazioni riportate precedentemente sull'influenza che le condizioni climatiche esercitano sulle caratteristiche qualitative del cippato di pioppo, sono state condotte delle prove allo scopo di valutare l'effetto della copertura del cumulo di stoccaggio sui principali parametri fisici del prodotto finale (Figg. 1 e 2). I dati derivano da due diverse sperimentazioni effettuate nel 2007 a Savigliano (CN) e nel 2009 a Mantova (Gallucci *et al.*, 2010a). In entrambi i casi è stata seguita un'identica metodologia sperimentale formando due cumuli di cippato di pioppo di forma tronco-piramidale, posizionati su un piazzale asfaltato: uno dei due cumuli è stato lasciato scoperto, mentre l'altro è stato protetto con un telo geotessile Top-Tex®. Quest'ultimo è un tessuto non tessuto di polipropilene non attaccabile dagli agenti ambientali; è in grado di resistere alla degradazione e, grazie alla stabilizzazione ai raggi UV dei polimeri, può essere utilizzato per almeno 5 anni. La sua proprietà più interessante ai fini dello stoccaggio è la capacità di impedire l'entrata dell'acqua meteorica consentendo, allo stesso tempo, la fuoriuscita del vapore acqueo dal cumulo. Nel corso delle due sperimentazioni il monitoraggio delle temperature è stato effettuato posizionando all'interno di ogni cumulo 12 sonde a termoresistenza del tipo PT100 distribuite a tre livelli, L1, L2 ed L3, rispettivamente ad 1 m, 3 m e 4 m dal suolo.

Nei cumuli scoperti si è rilevata la formazione di una crosta secca, una barriera che protegge esternamente dalla penetrazione dell'acqua meteorica ed internamente dalla fuoriuscita di aria umida. Una delle differenze principali osservate nel confronto tra presenza e assenza di copertura è costituita dalla percentuale di volume di cippato risultato asciutto (e, quindi, con PCI potenzialmente superiore) dopo circa otto mesi di stoccaggio. Nel 2007 il volume di materiale asciutto, con un umidità del 37,5%, presente nel cumulo coperto era pari al 93% della massa, mentre tale volume, con umidità media del 35,5%, ammontava nel cumulo scoperto al 59%. Il dato indica chiaramente come la protezione del cumulo risulti raccomandabile quando si voglia ottenere del cippato qualitativamente superiore. Nelle prove del 2009, invece, l'umidità è scesa mediamente al 26,4% nel cumulo scoperto e al 25% in quello coperto, al di sotto dei limiti indicati per il cippato stagionato all'aria. In entrambe le sperimentazioni sono stati, comunque, raggiunti, sia per il cumulo scoperto che per quello coperto, valori particolarmente alti del potere calorifico ed un contenuto di ceneri che è risultato più basso nel cumulo coperto rispetto allo scoperto, probabilmente per un apporto di materiale inerte all'interno del cumulo non protetto (Fig. 3). Le ceneri rappresentano, infatti, i sali minerali presenti nei tessuti vegetali e quelli presenti negli inquinanti (terriccio, inerti in genere). Per quanto riguarda la biomassa legnosa, un contenuto in ceneri elevato è indice di una elevata quota di corteccia rispetto al durame ma, soprattutto, di inquinamento da inerti. Ciò si traduce in una maggiore manutenzione degli impianti e in maggiori quantità di ceneri da gestire.

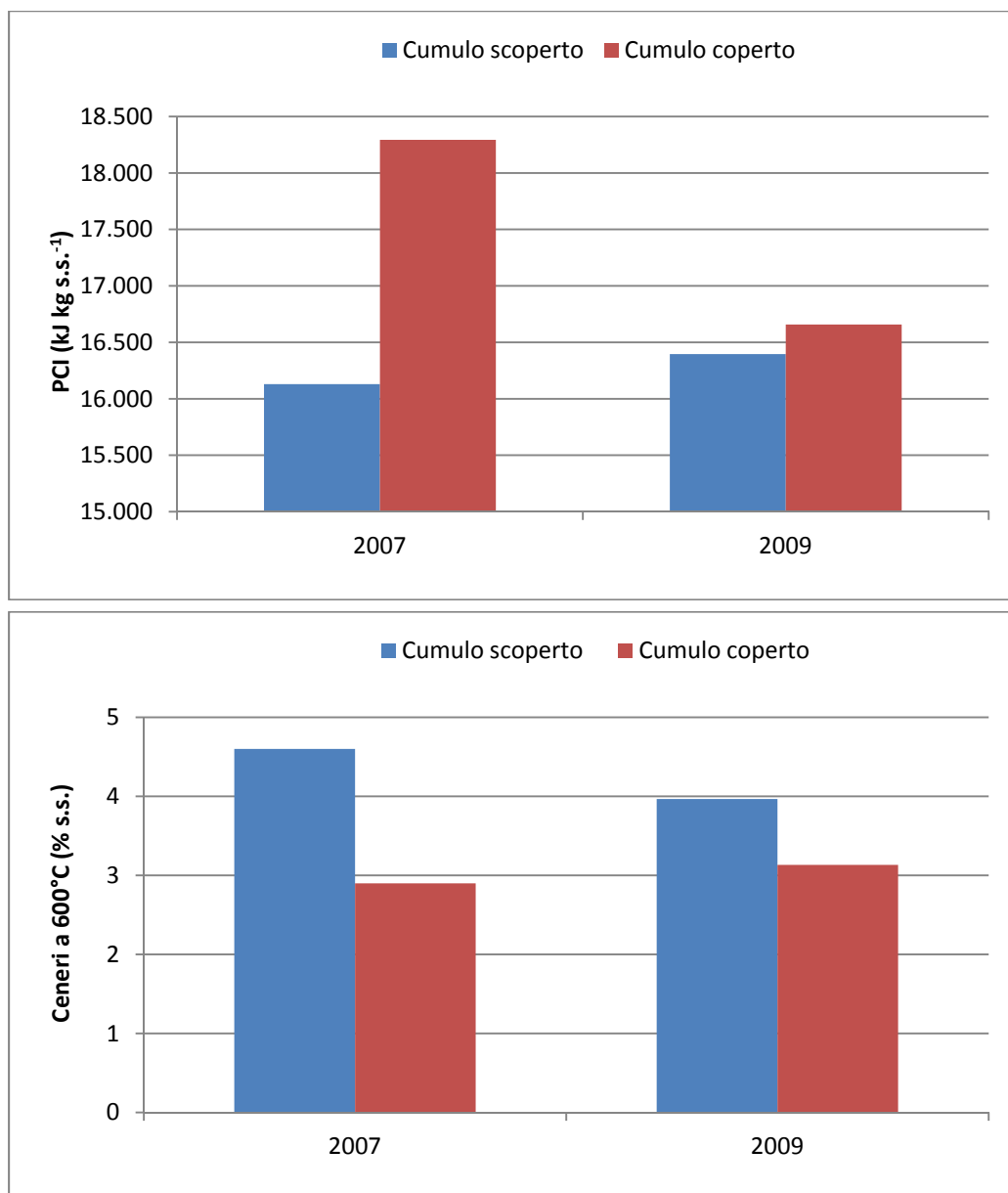


Figura 3 - Potere Calorifico Inferiore (PCI) e contenuto in ceneri rilevati in campioni di cippato conservato con cumuli coperti o scoperti.

Il sistema di stoccaggio con copertura appare, quindi, avere una certa convenienza, ma con risultati che possono variare in funzione delle condizioni ambientali. In annate in cui la copertura non determina un vantaggio in termini qualitativi, diventa discriminante l'investimento economico. Il telo del tipo TopTex® ha infatti un costo

orientativo di 2 € m⁻² ed una durata stimata di 5 anni. Ciò significa che il costo annuale per unità di superficie risulta di 0,4 € m⁻².

I vantaggi del ricorso al telo sono relativi ad un più pronto collocamento sul mercato di materiale di buona qualità. L'utilizzo della copertura sembra essere adatto per materiale destinato ad impianti presenti in aziende agricole o comunque di piccola taglia: la messa in opera del telo comporta operazioni che non sono ragionevolmente proponibili nel caso di grossi volumi, quali possono essere quelli propri della sezione di stoccaggio presso una centrale di notevole dimensione.

c) Effetto della pezzatura del cippato

Come discusso precedentemente, le caratteristiche dimensionali del cippato hanno un'importanza notevole sulle dinamiche legate alla perdita di umidità del cumulo ed anche sulla destinazione finale del prodotto. Da questo punto di vista un ruolo fondamentale è rivestito dalle caratteristiche delle macchine utilizzate per l'ottenimento del prodotto.

Sul cippato raccolto nell'inverno 2008, il CRA-ING ha condotto delle prove comparative di stoccaggio di materiale di diversa pezzatura (Gallucci *et al.*, 2010b), mettendo a confronto 2 cumuli scoperti di cippato di pioppo allevato a SRF: il primo raccolto con falciatrinciataricatrice Claas Jaguar 890; il secondo raccolto con Claas Jaguar 890 equipaggiata con rotore sperimentale sviluppato da CRA-ING. La modifica principale inserita in questa seconda macchina aveva lo scopo di produrre un cippato a granulometria maggiore ed era costituita dal montaggio di 10 coltelli fissi (nel rotore di serie sono 12), con una inclinazione di 5° rispetto l'asse di rotazione. Il cumulo a pezzatura più grossolana (rotore CRA-ING) è stato realizzato presso la Franco Alasia Vivai di Savigliano (CN), mentre il secondo a pezzatura più ridotta (rotore di serie), è stato realizzato presso la centrale San Matteo Bioenergie di Bando di Argenta (FE). Come per la prova precedentemente descritta, per il monitoraggio delle temperature interne dei due cumuli si è fatto ricorso a sonde a termoresistenza del tipo PT100 posizionate all'interno del cumulo e distribuite su tre livelli, lungo tre sezioni longitudinali (L1, L2 ed L3) e due diverse sezioni trasversali.

L'analisi granulometrica del cippato ha messo in evidenza come la modifica introdotta sulla macchina abbia determinato una rilevante variazione nella distribuzione delle classi dimensionali all'interno dei due cumuli: utilizzando il rotore CRA-ING la classe di pezzatura più fine si è quasi dimezzata rispetto all'impiego del rotore di serie, mentre la percentuale di quella intermedia (10-25 mm) è aumentata dal 49 al 65% e la percentuale volumetrica della classe più grossolana è raddoppiata (Fig. 4). In entrambi i casi è stata, comunque, rilevata la presenza di uno strato umido superficiale dello spessore di circa 30 cm, ad indicare che, nei cumuli scoperti, la presenza di tale strato non risulta influenzata dalle caratteristiche dimensionali del cippato.

Ciò che è importante sottolineare è l'influenza che la pezzatura del cippato ha sulle caratteristiche qualitative del prodotto finale (Tab. 3). Dopo 4 mesi di stoccaggio, le perdite di sostanza secca ed energia sono risultate mediamente più basse nel

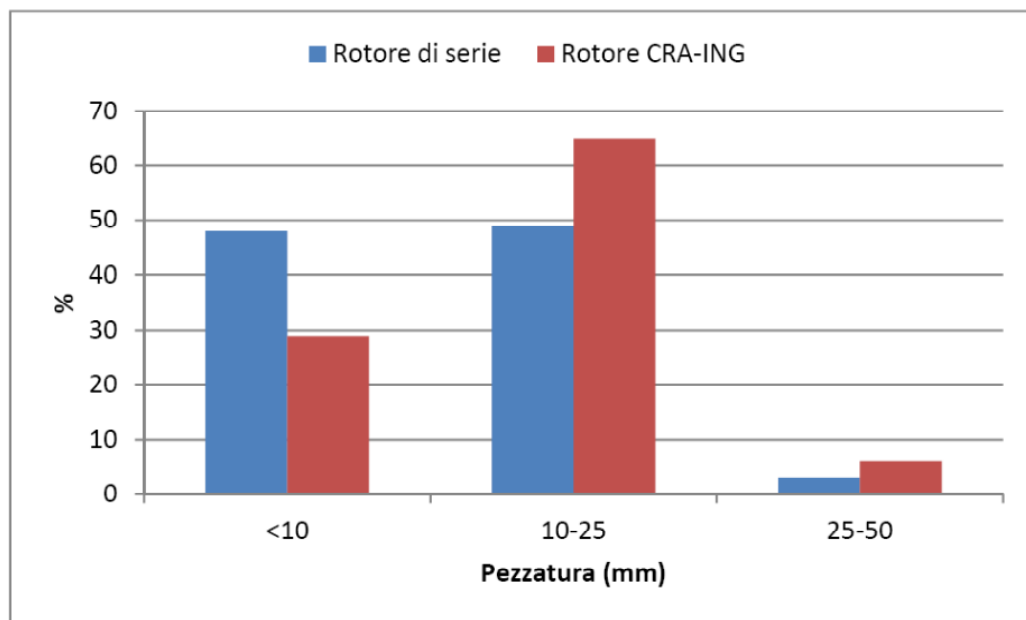


Figura 4 – Distribuzione percentuale delle classi dimensionali di cippato ottenuto con rotore di serie o rotore modificato dal CRA-ING.

Tabella 3 - Perdite di sostanza secca, energia e kJ kg^{-1} per g H_2O evaporata osservate dopo 4 mesi di stoccaggio per i cumuli di cippato di pino a diversa distribuzione di pezzatura ed ottenuti con i due rotori a confronto (modificato da Gallucci *et al.*, 2010).

Rotore	Sezione	Perdite		
		Sostanza secca (%)	Energia (%)	kJ kg^{-1} g H_2O evap. ⁻¹
di serie	L1	11,8	13,7	6,0
	L2	13,2	14,1	6,1
	L3	3,6	5,4	2,8
	<i>Media</i>	9,5	11,1	5,0
CRA-ING	L1	7,4	9,2	5,3
	L2	6,8	8,8	5,3
	L3	7,4	9,5	5,4
	<i>Media</i>	7,2	9,2	5,3

cippato ottenuto con il rotore CRA-ING, soprattutto nei livelli centrale (L2) e basso (L1) del cumulo. La misura della perdita di sostanza secca (con il suo contenuto energetico) per unità di peso di acqua evaporata rappresenta il “costo” che si è sostenuto per l’essiccazione. In media le perdite in kJ per g di acqua persa risultano com-

parabili, risultando, nel cippato a pezzatura più grossolana, più basse ai livelli L1 ed L2 e maggiori nella parte del cumulo più vicino alla superficie esposta all'aria. In questa seconda sperimentazione i valori di PCI e contenuto in ceneri si sono equivalsi tra le due tesi (16,4 e 16,3 MJ kg⁻¹ s.s., rispettivamente per il rotore di serie e quello CRA-ING, come PCI; 4,0 e 4,2% s.s., rispettivamente per il rotore di serie e quello CRA-ING, relativamente al contenuto in ceneri).

Anche se in maniera non così evidente, le sperimentazioni descritte hanno messo in luce la possibilità di migliorare le condizioni di stoccaggio del cippato di pioppo aumentandone la pezzatura, un carattere questo che ha mostrato una proporzionalità diretta con la velocità di essiccazione. Un aspetto importante emerso è quello relativo alla perdita di sostanza secca, che si traduce in perdita di energia chimica potenziale del combustibile e che, con pezzature più elevate è possibile ridurre. Le perdite di sostanza secca, se considerate in termini assoluti, sono direttamente proporzionali al tempo di stoccaggio, ma nello stoccaggio di materiale a pezzatura più elevata tali perdite comportano, soprattutto nei primi mesi, una più veloce essiccazione, ottenendo un prodotto prontamente collocabile sul mercato.

3. Considerazioni sull'utilizzazione

Al fine di ottimizzare le prestazioni di un impianto, le utenze aziendali/domestiche devono necessariamente utilizzare una biomassa di buona qualità.

In Figura 5 si riporta il rendimento termico di una piccola caldaia in funzione del contenuto di umidità del combustibile. All'aumentare dell'umidità della biomassa è richiesta una maggiore quantità di energia per vaporizzare l'acqua presente nel combustibile con conseguente una riduzione del suo rendimento.

Se si prende come riferimento un prodotto cippato ottenuto da un ettaro di impianto a SRF con produzione di 20 t ha⁻¹ anno⁻¹ di materiale tal quale (al 55% di umidità su base umida e considerato senza ceneri), utilizzando la curva di rendimento riportata (Fig. 5) è possibile simulare i risultati energetici ottenibili facendo riferimento anche alle valutazioni sperimentali ottenuti dal CRA-ING (Tab. 4).

Dopo quattro mesi di stoccaggio, la riduzione del tenore idrico, passato dal 55% al 22%, ha determinato modifiche di rilievo nella biomassa del cumulo. A fronte di perdite in sostanza secca del 15%, il quantitativo energetico della biomassa che l'unità di superficie è in grado di fornire passa da poco più di 17 MWh ha⁻¹ anno⁻¹ a circa 26 MWh ha⁻¹ anno⁻¹. Ciò significa che, anche in presenza di sostanziali perdite di sostanza secca, ciascun ettaro è in grado di fornire ogni anno il 35% in più energia se la biomassa raccolta e cippata viene stoccata e si riesce a ridurre efficientemente la sua umidità, in quanto, come visto, una riduzione del tenore idrico della biomassa si traduce in un aumento del rendimento in caldaia.

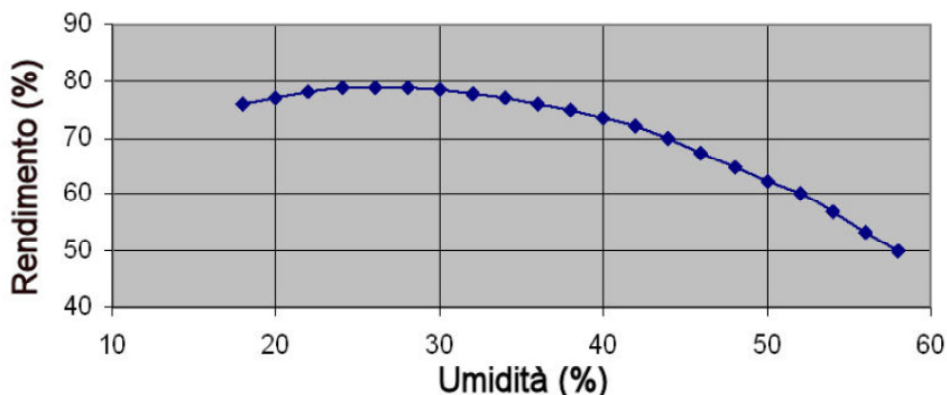


Figura 5 - Rendimento di una piccola caldaia in funzione dell'umidità della biomassa (modificato da Helin, 2005).

Tabella 4 - Energia prodotta da cippato dopo 4 mesi di stoccaggio con cumulo scoperto (modificata da Pari e Sissot, 2009).

Parametri	U.M.	Formazione del cumulo	Cippato dopo 4 mesi di stoccaggio
Umidità	(%)	55	22
Rendimento caldaia	(%)	55	78
Perdite ss	(%)	---	15,0
PCI senza ceneri	(MJ kg ⁻¹ t.q.)	5,7	12,5
Produzione t.q.	(t t.q. ⁻¹ ha ⁻¹ anno ⁻¹)	20,0	9,8
Energia teorica	(MJ ha ⁻¹)	113.291	122.243
Energia effettiva	(MJ ha ⁻¹ anno ⁻¹)	62.310	95.350
Energia effettiva	(MWh ha ⁻¹ anno ⁻¹)	17,31	26,49

Ciò suggerisce alcune considerazioni. Se ben condotto, lo stoccaggio, nonostante il processo di essiccazione determini inevitabili perdite di sostanza secca, permette di ottenere, un prodotto energeticamente valido e, quindi, la produzione di un maggior quantitativo di energia per unità. In altri termini, per avere la stessa quantità di energia, serve meno combustibile.

Lo stoccaggio può eventualmente essere evitato qualora il materiale vada a far parte di una miscela di biocombustibili solidi realizzata al fine di avvicinare le caratteristiche della stessa alle specifiche del progettista/costruttore della caldaia. Risulta evidente come tale soluzione sia sostanzialmente attuabile solo in centrali di grossa taglia per la produzione di energia elettrica dove è possibile miscelare materiale a bassissimo tenore di umidità con cippato di pioppo. Impianti di media taglia o utenze aziendali/domestiche, che in genere si approvvigionano di combustibile autoprodotta o comunque di origine locale, devono necessariamente tenere in considerazione la necessità di aumentare la qualità della biomassa attraverso la fase di stoccaggio.

Ulteriori aspetti da considerare durante la fase di stoccaggio sono le emissioni in ambiente di polveri e l'aumento degli inerti. Relativamente al primo aspetto, la polverosità del materiale, che è in relazione all'umidità dello stesso, può comportare eventuali dispersioni nell'ambiente. È il caso degli stoccaggi in impianti di grossa dimensione, dove a volte si rende necessario bagnare i cumuli per ottemperare alle prescrizioni di legge, mentre il problema generalmente non si pone, date le quantità stoccate, per gli impianti di piccola/media taglia.

Relativamente al secondo aspetto, lo stoccaggio comporta in genere un aumento del contenuto specifico di ceneri. Ciò è dovuto in parte alle perdite di sostanza secca (carbonio e idrogeno, la cui quota specifica aumenta), ma soprattutto alla movimentazione che, se non condotta con attenzione, aumenta inevitabilmente l'inquinamento della biomassa da parte di inerti.

4. Conclusioni

Come è possibile dedurre dalle brevi note esposte, la problematica dello stoccaggio è molto complessa e va affrontata con un approccio integrato che riunisca competenze agronomiche, meccaniche, microbiologiche ed ingegneristiche e che, allo stesso tempo, tenga conto dell'impianto legislativo nazionale ed europeo che la regola e che è in continua evoluzione.

Le esperienze condotte dal CRA-ING hanno sicuramente contribuito ad individuare le dinamiche relative allo stoccaggio del cippato di pioppo da SFR nel nord Italia. I dati ottenuti potranno risultare utili nelle valutazioni strategiche in ciascuna realtà operativa. Tuttavia, risulta evidente come ogni situazione necessiti di specifiche indagini in merito.

Bibliografia

- Bonari E., Ragolini G., Tozzini C., Guidi W., Ginanni M., 2009. Protocollo di coltivazione e raccolta degli impianti di *Short Rotation Forest* di pioppo. In: "La filiera legno-energia. Risultati del progetto Woodland Energy", Ed. ARSIA, Firenze, pp. 73-88.
- Francescato W, Antonini E., 2009. Requisiti qualitativi e norme di riferimento. In: "Legna e cippato. Produzione, requisiti qualitativi e compravendita", Ed. AIEL-Associazione Italiana Energie Agroforestali, Legnaro (PD), pp. 45-67.
- Gallucci F., Pari L., Croce S., 2010a. Stoccaggio del cippato di pioppo. Confronto tra due differenti metodologie di conservazione. In: Innovazioni tecnologiche per le agro energie. Sinergie tra ricerca e impresa. Sherwood 168, supplemento 2, pp. 39-42.

- Gallucci F., Pari L., Croce S., 2010b. Stoccaggio del cippato di pioppo. Variazione delle caratteristiche di prodotti a diversa granulometria. In: Innovazioni tecnologiche per le agro energie. Sinergie tra ricerca e impresa. Sherwood 168, supplemento 2, pp. 39-42.
- Helin, M. 2005. Moisture in wood fuels and drying of wood chips. <http://www.northernwoodheat.net/htm/news/Finland/Symposiumpres/Dryingofwoodchips.pdf>
- Pari L., Sissot F., Ciriello A., 2008. La migliore qualità del cippato si ottiene nel cumulo coperto. *L'Informatore Agrario* 39, 52-55.
- Pari L., Sissot F., 2009. Come migliorare il cippato attraverso lo stoccaggio. *L'Informatore agrario* 29, 47-50.

5 - Pianificazione delle operazioni di raccolta e conferimento delle biomasse

Planning of harvesting operations and biomass conferring

Luigi Pari*, Vincenzo Civitarese*, Massimo Pepe*

Riassunto

L'anello della filiera che collega la produzione agricola all'industria di trasformazione è il settore della logistica, in cui la meccanizzazione occupa un posto fondamentale da un punto di vista economico ed ambientale.

La riforma dell'OCM Zucchero e i piani di riconversione verso le agro energie a cui ha fatto seguito il settore bieticolo saccarifero hanno permesso, per la prima volta nel nostro paese, di seguire e monitorare un intero processo di riconversione industriale. Una delle società coinvolte in tale processo si appresta a realizzare una centrale da 30 MWe da alimentare con la biomassa prodotta da 7.000 ha di piantagioni di pioppo a turno breve.

L'Unità di ricerca per l'Ingegneria Agraria del Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura (CRA-ING), in collaborazione con la società PowerCrop, ha provveduto a rilevare nell'ambito del Progetto di Ricerca SUSPACE (Supporto scientifico alla Conversione Agricola verso le Colture Energetiche) i dati relativi alle caratteristiche degli impianti influenti la meccanizzazione della raccolta e la localizzazione delle colture energetiche impiantate per l'alimentazione della centrale. I dati raccolti sono stati inseriti in un database collegato all'applicativo "SW_SUSPACE_01" in fase di sviluppo. L'applicativo consente di gestire la logistica delle operazioni di raccolta e trasporto del prodotto alla centrale in relazione alle caratteristiche delle macchine operatrici ed ai parametri pedoclimatici e colturali presenti al momento dell'operazione.

Parole chiave: software, gis, logistica, biomasse, pianificazione.

* CRA-ING - Unità di Ricerca per l'Ingegneria Agraria, Monterotondo (Roma).

Abstract

The link connecting the agricultural production to the processing industry is the sector of logistic, in which the mechanization plays a pivotal role from an economic and environmental point of view.

The OCM sugar reform and the plans of agricultural conversion towards the agro-energies undergone by the sugar beet sector have allowed, for the first time in Italy, to follow and monitor the entire process of industrial restructuring. One of the companies involved in this process is going to build a power plant from 30 MW to be supplied with biomass produced from 7,000 ha of short rotation poplar plantations.

The Research Unit for Agricultural Engineering Council for Research and Experimentation in Agriculture (CRA-ING), in collaboration with the company Powercrop, within the Research Project SUSCACE (Scientific Support to Convert farmers into energy) collected the data concerning the characteristics of plants in order to dimensioning the mechanization of harvesting and the distribution of energy crops cultivations destined to supply the plant. The collected data were entered into a database linked to the application "SW_SUSCACE_01" under development. The application allows to manage the logistics of harvesting and transport of the product to the plant taking into account the characteristics of the machines, soil and climate characteristics and the agronomic parameters at harvest.

Keywords: *software, GIS, logistics, biomass, planning.*

1. Introduzione

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

La riforma dell'OCM Zucchero e i piani di riconversione verso le agro energie a cui ha fatto seguito il settore bieticolo saccarifero hanno permesso, per la prima volta nel nostro paese, di seguire e monitorare un intero processo di riconversione industriale. Una delle società coinvolte in tale processo, la PowerCrop, si appresta a realizzare una centrale da 30 MWe da alimentare con la biomassa prodotta da 7.000 ha di piantagioni di pioppo a turno breve. La centrale verrà realizzata nel comune di

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

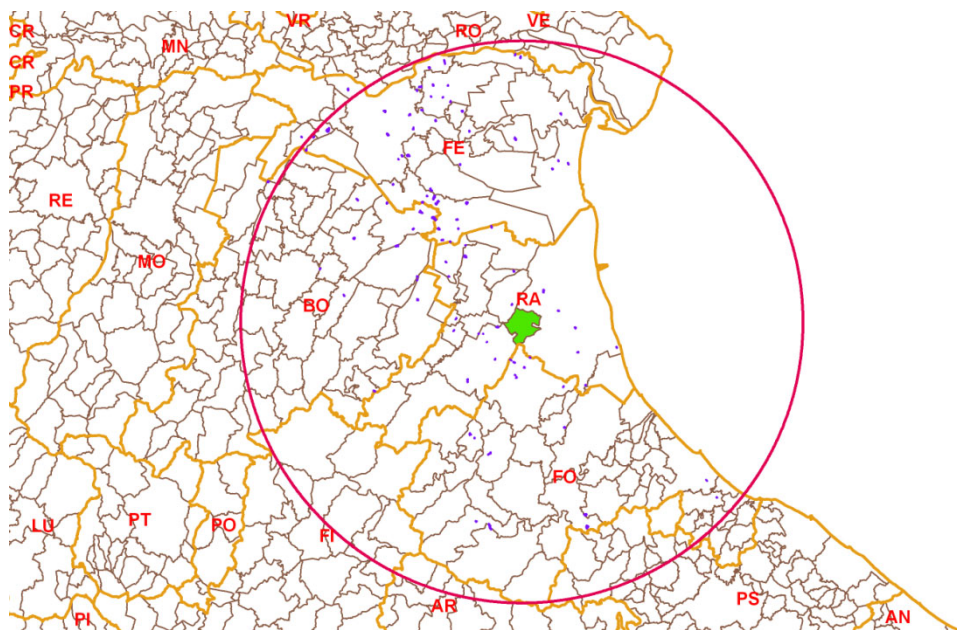


Figura 1 - Bacino di approvvigionamento della centrale a biomassa di Russi.

L'Unità di ricerca per l'Ingegneria Agraria del Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura (CRA-ING), in collaborazione con la società PowerCrop, ha provveduto a rilevare nell'ambito del Progetto di Ricerca SUSCACE (Supporto scientifico alla Conversione Agricola verso le Colture Energetiche) i dati relativi alle caratteristiche degli impianti influenti la meccanizzazione della raccolta e la localizzazione delle colture energetiche impiantate per l'alimentazione della centrale. I dati raccolti sono stati inseriti in un database collegato all'applicativo "SW_SUSCACE_01" in fase di sviluppo. L'applicativo consente di gestire sia la logistica delle operazioni di raccolta e trasporto del prodotto alla centrale, sia le informazioni relative alla produttività attesa, allo stato fitosanitario della coltura, al livello di sviluppo delle infestanti ecc.

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

2. Materiali e metodi

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

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

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

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

La situazione fitopatologica, la presenza di infestanti e la portanza del terreno vengono valutate in base ad una serie di indici sintetici allo scopo di programmare le operazioni di raccolta in funzione di fattori di priorità.

Le schede compilate dai tecnici della società PowerCrop vengono inviate al personale CRA-ING che provvede a verificarne la correttezza e ad inserire i dati nel geodatabase. L'applicativo SW_SUSCACE_01, oltre alle informazioni contenute nelle schede, utilizza anche gli shape file relativi ai limiti amministrativi (regionali, provinciali e comunali), al particellare catastale, al network stradale e le ortofoto digitali.

3. L'applicativo SW_suscace_01

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

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

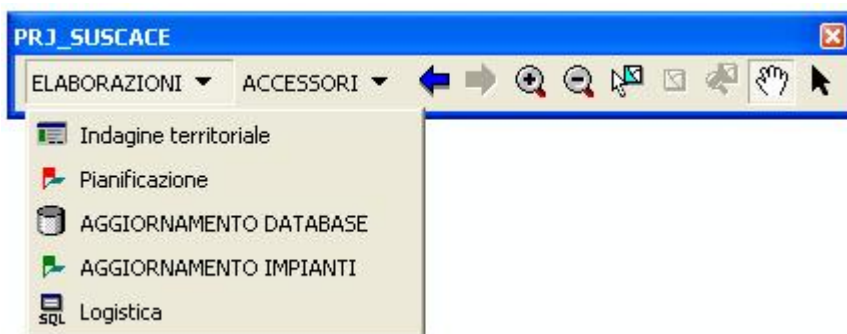


Figura 2 - Toolbar di lavoro del software SW_SUSPACE_01.

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

Il pulsante Google connette l'applicativo sw_suscace_01 col programma Google Earth visualizzando automaticamente le immagini satellitari dell'area oggetto di indagine.

Gli strumenti di gestione ed elaborazione sono rappresentati dai tools “Aggiornamento database”, “Indagine territoriale” e “Logistica”. Tali strumenti consentono di aggiornare il geodatabase ed estrarre le informazioni in esse contenute per eseguire una indagine territoriale, oppure per avere un quadro sullo stato attuale delle colture e dei mezzi tecnici a disposizione.

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

3.1. Aggiornamento database

Dal 2009 ad oggi sono stati impiantati circa 1000 ha di SRF e il quadro è in continua evoluzione. Il tool “Aggiornamento database” è in grado di gestire e aggiornare in tempo reale tutte le informazioni alfanumeriche contenute nel geodatabase. Tramite un apposito modulo e le relative combo box di sistema, funzioni select, insert, update e delete, è possibile visualizzare e/o aggiornare i dati di un impianto esistente (selezionandone il codice identificativo), caricare i dati di un nuovo impianto oppure cancellare definitivamente un impianto dal geodatabase.

3.2. Indagine territoriale

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



Figura 3 - Modulo di indagine territoriale.

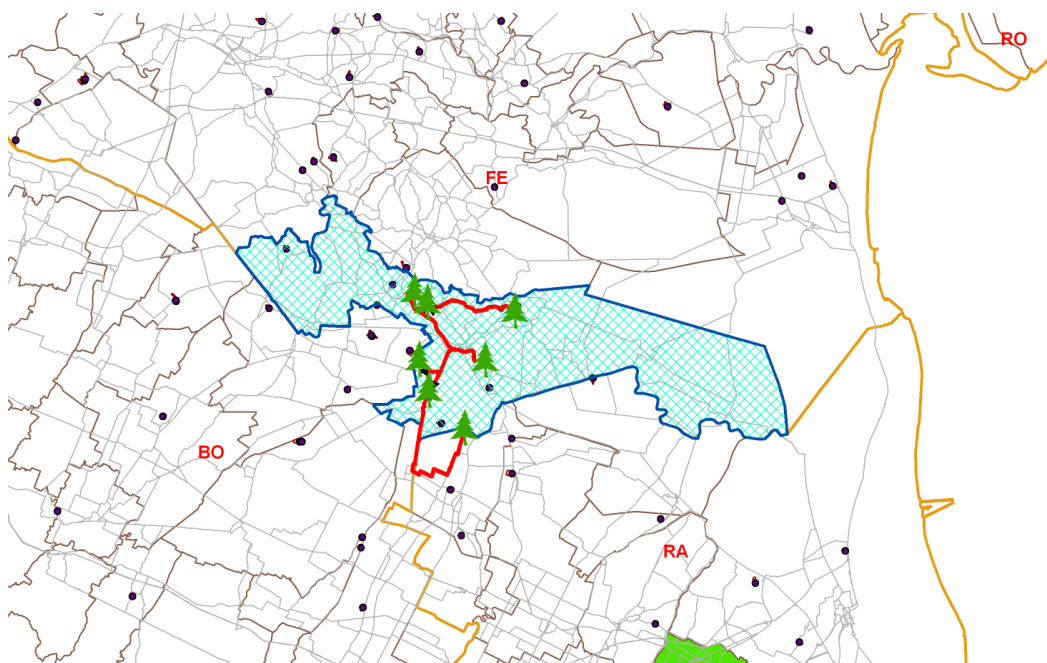


Figura 4 - Risultato grafico dell'elaborazione “Indagine territoriale”.

Occorre indicare l'anno di raccolta e il comune (o i comuni) oggetto di indagine; questi ultimi possono essere selezionati sia graficamente, cliccando i relativi poligoni rappresentati sulla mappa, sia tramite selezione da un menù a tendina. Il pulsante

“elabora” avvia la sessione di lavoro e i risultati vengono mostrati graficamente nel viewer principale (Fig. 4). La mappa evidenzia i comuni, gli impianti ed i relativi collegamenti stradali. Cliccando sul pulsante “Report” viene generata una scheda riepilogativa contenente le seguenti informazioni: comuni oggetto di indagine, anno di raccolta selezionato, codice identificativo della piantagione, coltura presente, superficie e sesto di impianto di ciascun appezzamento, numero di impianti complessivi presenti nel territorio oggetto di indagine, numero di impianti da raccogliere nell’anno selezionato, produttività attesa complessiva, superficie totale interessata dai cantieri, superficie minima, media e massima degli impianti ricadenti nel comprensorio, distanza complessiva che intercorre tra i vari impianti.

3.3. Logistica

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



Figura 5 - Modulo “Logistica”.

Per quanto concerne la sezione dedicata agli impianti, una volta selezionato l’anno di raccolta e l’impianto oggetto di indagine è possibile avviare l’elaborazione (pulsante “elabora”). Terminato il processo di elaborazione cliccando sul pulsante “Re-

port” viene generata una scheda riepilogativa contenente, per ciascuna piantagione, l’elenco di tutte le informazioni contenute nel geodatabase, dai dati del proprietario alla varietà impiantata, dalla data d’impianto, densità, giacitura ecc, ad informazioni riguardanti lo stato fitosanitario della coltura, la portanza del terreno e la tendenza dello stesso a preservare le infestanti.

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

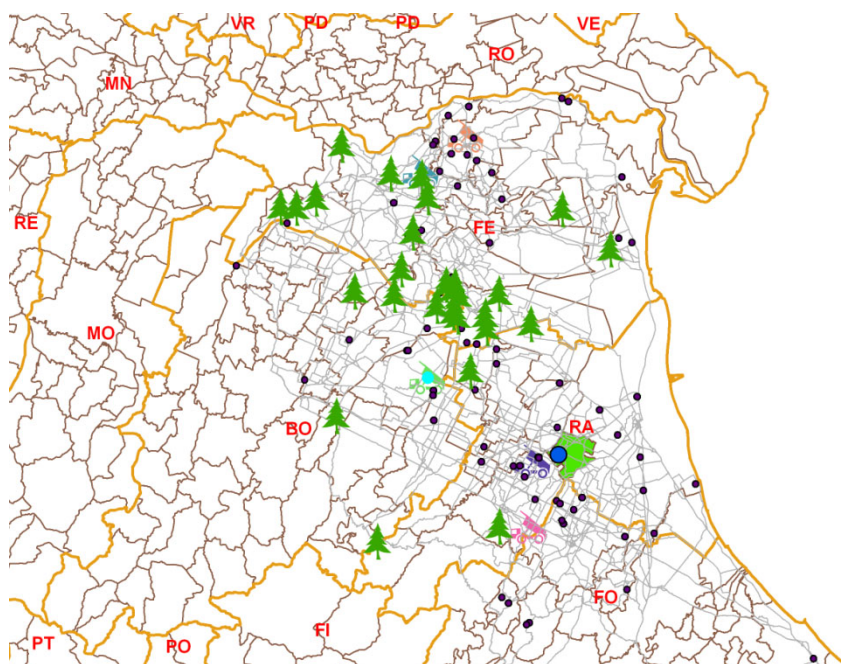


Figura 6 - Risultato grafico dell’elaborazione “Logistica – sez. terzista”.

3.4. Pianificazione

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

Il numero di impianti che è possibile raccogliere nel corso di una giornata viene valutato in funzione delle caratteristiche delle piantagioni, della viabilità, del tipo di

cantiere di raccolta e di macchine operatrici disponibili. Il trasporto del cippato in centrale, invece, viene valutato in funzione della produttività attesa dei campi, della portata dei rimorchi, della viabilità e del tempo tecnico di scarico in centrale.

Figura 7 - Modulo "Pianificazione".

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

Relativamente alle operazioni di raccolta vengono valutate due tipologie di cantieri:

- raccolta e cippatura in un unico passaggio, da effettuarsi con falciatriniciarcaratrici equipaggiate con testate per la raccolta delle piante in piedi;
- raccolta e cippatura in due fasi distinte (1).

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

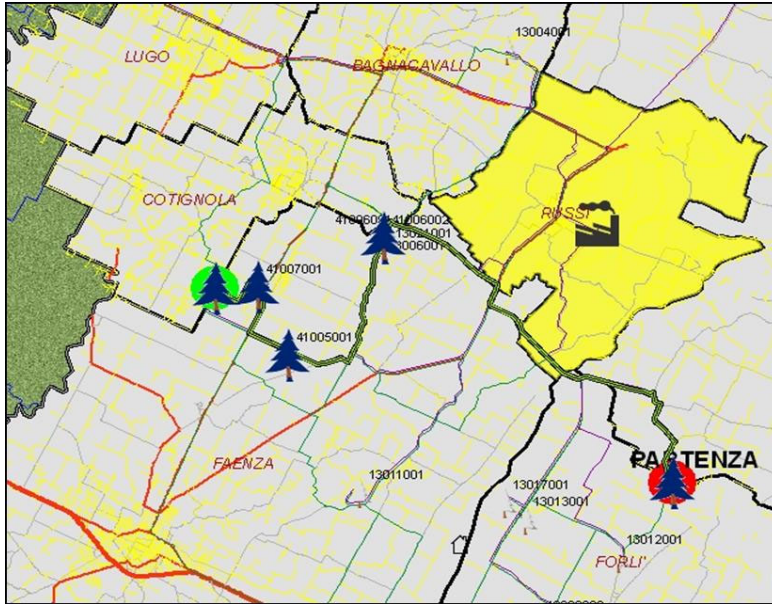


Figura 8 - Risultato grafico dell'elaborazione "Pianificazione".

Una volta inseriti i parametri di input è possibile avviare l'elaborazione dei dati cliccando sul pulsante "Stima". Gli output della simulazione sono evidenziati sia graficamente nel viewer principale (Fig. 8), sia attraverso un report (Tab. 1).

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

Il report della simulazione è diviso in due settori:

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

Il tempo di trasporto del cippato in centrale viene calcolato in funzione delle distanze esistenti tra il margine dell'appezzamento e la centrale a biomassa, sulla base del-

la viabilità ordinaria. I tempi di trasferimento delle macchine che compongono i cantieri di raccolta, invece, vengono valutati anche in funzione della viabilità non ordinaria, costituita da strade interpoderali e interaziendali, per la cui mappatura è stato necessario procedere alla foto interpretazione di immagini satellitari. I dati relativi ai collegamenti stradali vengono analizzati da un algoritmo che, per ciascuna coppia di nodi determina sia il percorso minimo che le singole tipologie dei tratti stradali.

Tabella 1 - Report elaborazione pianificazione operazioni di raccolta e conferimento.

Anno di raccolta	2011				
Tipologia di cantiere	Una fase				
Tipologia macchina	Trinciatrice				
Turno lavoro	8 ore				
Tempo di scarico in centrale	30 minuti				
Capacità camion	15 m ³				
Codice d'impianto	13010001	13011001	13014001	13021001	41002001
Coltura presente	Pioppo	Pioppo	Pioppo	Pioppo	Pioppo
Superficie netta (ha)	1	2,4	1	0,7	0,3
Tempo di raccolta (min)	100	240	100	70	30
Tempo di carico di un camion (min)	30	30	30	30	30
Produttività impianto (t)	50	120	50	35	15
Tempo singolo trasporto (min)	80	80	72	62	67
Trasporti necessari (n°)	4	8	4	3	1
Camion necessari (n°)	3	4	3	3	1
Impianti complessivi (n°)	5				
Superficie (ha)	5,4				
Produttività attesa (t)	270				
Superficie media (ha)	1,08				
Superficie minima (ha)	0,3				
Superficie massima (ha)	2,4				
Distanza complessiva (km)	33,86				
Tempo complessivo (min)	576,52				
Trasporti necessari (n°)	20				
Camion necessari (n°)	14				

4. Risultati

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

Il tool "Aggiornamento database", difatti, consente di aggiornare il geodatabase e i dati relativi alle piantagioni energetiche anche alla fine della fase sperimentale, in modo che lo strumento di programmazione possa essere utilizzato anche al termine del progetto di ricerca SUSFACE, dato che, per poter operare, il sistema deve basare le proprie elaborazioni su un dataset di informazioni costantemente aggiornate.

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

Il tool "Pianificazione" può essere utilmente impiegato sia dal personale di campo che gestisce la cantieristica in un determinato comprensorio energetico, sia dal personale che opera direttamente dalla centrale e che gestisce l'intero bacino di approvvigionamento. Il tool fornisce indicazioni su quanti e quali impianti, teoricamente, è possibile eseguire la raccolta nell'arco di una giornata. Ciò consente di pianificare e programmare quotidianamente le operazioni di raccolta e conoscere, per una determinata area, il numero di giorni necessari per completare la raccolta. Altro aspetto importante riguarda i conferimenti del prodotto in centrale. Il tool effettua sia la stima del numero di trasporti necessari per conferire il cippato prodotto da ciascun impianto e da tutti gli impianti raccolti nel corso della giornata, sia la stima del numero di mezzi necessari per queste operazioni. A seconda della distanza percorsa da ciascun veicolo e del tempo necessario per effettuare lo scarico in centrale, infatti, alcuni mezzi possono eseguire più trasporti giornalieri. Inoltre, la scelta dei mezzi e la loro programmazione permette di ridurre il numero complessivo di veicoli che si spostano sul territorio, con ripercussioni positive sul piano economico e ambientale.

In questa fase si sta valutando l'efficacia dello strumento attraverso uno studio pilota finalizzato alla valutazione preliminare delle potenzialità e del corretto funzionamento dello strumento stesso. Attualmente il tool "pianificazione", a differenza degli strumenti di elaborazione "Indagine territoriale" e "Logistica", effettua le proprie simulazioni su una superficie rappresentativa che comprende 14 comuni, distribuiti tra le province di Ferrara, Bologna, Ravenna e Forlì, per una superficie complessiva di 2138 km². Terminato il processo di verifica sarà possibile gestire in maniera razionale l'intero bacino di approvvigionamento, risolvendo le possibili problematiche che verranno evidenziate nel corso della sperimentazione.

Il tool “Logistica” può essere utilmente impiegato dal personale della centrale che gestisce l'intero bacino di approvvigionamento. Le due sezioni relative agli impianti ed ai CTR consentono di pianificare le operazioni di raccolta in funzione delle caratteristiche degli impianti, delle condizioni meteo, della portanza del terreno, della situazione fitopatologica o del livello di infestazione del terreno. Nel caso di precipitazioni intense, ad esempio, è possibile programmare la raccolta in un'area non interessata dalle precipitazioni, trasferendovi le macchine che compongono i cantieri di raccolta e contattando direttamente i proprietari degli impianti. In caso di precipitazioni poco intense è possibile individuare i terreni caratterizzati da una maggiore portanza e in grado di garantire comunque la praticabilità dei campi. Alcuni terreni tendono ad essere invasi in modo più evidente dalle infestanti e ciò ostacola la raccolta del pioppo andanato con falciatrici caricatori equipaggiate con testata pick up. In questi casi è possibile individuare i terreni critici e anticipare la raccolta delle andane programmando la movimentazione dei cantieri di raccolta in funzione di indici di priorità. La sezione terziisti fornisce anche importanti informazioni sui mezzi meccanici a disposizione e sugli impianti che ciascuna ditta provvederà a raccogliere. Ciò consente di individuare le aree scarsamente servite e di provvedere, pertanto, ad incrementare il numero di mezzi meccanici a disposizione e/o il numero di aziende di contoterzismo che operano sul territorio.

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

5. Conclusioni

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

Terminata la fase di riconversione delle ex superfici bieticole, la centrale di Russi si troverà nelle condizioni di dover gestire un elevato numero di piantagioni energetiche, variamente distribuite su un areale di circa 15.000 km². In tali condizioni le variabili in gioco sono diverse, da quelle di natura meccanica o agronomica a quelle di natura climatica e pedologica. Il software SW_SUSCACE_01 rappresenta uno strumento di analisi e supporto decisionale indispensabile per la corretta e razionale gestione della filiera agro energetica. L'organizzazione e la memorizzazione di informazioni territoriali e non, in una raccolta di strati tematici legati tra loro, consente di risolvere molteplici problemi legati alla gestione del territorio, riducendo al contempo gli impatti ambientali, per questo l'applicativo proposto è un importante esempio delle potenzialità offerte da un GIS.

Bibliografia

Pari L., Civitarese V., Del Giudice A. 2009. Cantiere innovativo di raccolta di pioppo a turno breve. Agroenergie dall'impianto alla raccolta, supplemento n. 1 al numero 29 dell'Informatore Agrario.

E

Eco-bilanci

I. Colture legnose

1 - Bilancio del carbonio e dei gas serra

Greenhouse Gases and Carbon balance

Gianni Facciotto *, **Sara Bergante***, **Enrico Ceotto****, **Mario di Candilo****

Riassunto

I principali gas serra legati alle attività agricole sono l'anidride carbonica (CO₂), il metano (CH₄) ed il protossido di azoto (N₂O). Tra i gas ad effetto serra, l'N₂O desta particolari preoccupazioni poiché il suo potere di riscaldamento globale è circa 300 volte maggiore rispetto alla CO₂. Le emissioni di N₂O sono imputabili all'uso dei fertilizzanti azotati. Oggetto di particolari critiche sono le colture annuali utilizzate ai fini energetici, in particolare il mais e la soia, poiché richiedono lavorazioni annuali del terreno nonché elevate quantità di energia fossile sotto forma di input agrotecnici necessari sia alla fertilizzazione, sia al controllo delle malerbe. Sotto questo profilo, invece, le colture perenni da energia, che notoriamente richiedono limitati apporti di azoto, e permettono una riduzione dei trattamenti con pesticidi, sono state suggerite allo scopo di limitare le emissioni in atmosfera. Le colture lignocellulosiche, erbacee poliennali e cedui a turno breve (2-5 anni) di specie arboree a rapida crescita, pur non essendo paragonabili alle coltivazioni di specie a ciclo lungo in grado di ricreare formazioni boschive stabili, possono comunque risultare vantaggiose se correttamente gestite, nell'assorbimento di gas serra. Nelle emissioni, e nel sequestro di CO₂ atmosferica gioca un ruolo chiave il tipo di uso del suolo. Terreni arati annualmente tendono ad avere una elevata mineralizzazione del carbonio organico, per contro, terreni sottratti alle lavorazioni tendono ad incrementare il loro contenuto di carbonio organico, e quindi a sequestrare carbonio dall'atmosfera, con effetti positivi sul contenimento del riscaldamento globale. Anche da questo punto di vista, il ruolo che le specie perenni da biomassa possono svolgere è di primario interesse poiché richiedono dopo il primo anno nulle o limitate lavorazioni del terreno. Nel

* CRA-PLF, Unità di ricerca per le Produzioni Legnose fuori Foresta, Casale Monferrato, IT.

** CRA, Centro di Ricerca per le Colture Industriali, Bologna.

lavoro sono riportati alcuni risultati recentemente ottenuti nell'ambito dei progetti finanziati da MiPAAF.

Parole chiave: cedui a turno breve, erbacee poliennali, bilancio gas serra, bilancio carbonio.

Abstract

The primary greenhouse gases (GHG) in the atmosphere are carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄), nitrous oxide (N₂O). Among the GHG considered, the N₂O has a long atmospheric lifetime and a global warming potential (GWP) that is around 300 times greater to the GWP of CO₂. N₂O emissions are imputable to the use of the nitrogenous fertilizers. Energy crop can play an important role for GHG reduction because the amount of CO₂ emitted during combustion of biomass or biofuel is absorbed during photosynthesis by replacement biomass growth. The annual crops used for energetic purpose, particularly for liquid fuel (bioethanol and biodiesel), like corn and soybean, are object of particular criticisms. In some studies the author contend that ethanol, and bio-fuels in general, are “energy negative”, meaning they take more energy to produce than is contained in the final product. Under this aspect, instead, the perennial crops dedicated for energy production, particularly short rotation coppices with poplar, black locust, eucalyptus and other fast growing species or perennial crops (giant reed, miscanthus) that notoriously require limited amount of nitrogen, and allow a reduction of the pest treatments, have the potential to displace fossil fuel and to mitigate CO₂ emission; naturally the potential is not so great as large-scale forest plantation. Also the soil can play a role as carbon sink. The rate of soil organic carbon sequestration depends on soil texture and structure, rainfall, temperature, farming system, and soil management. Strategies to increase the soil carbon content include, no-till farming, appropriate nutrient management, manuring and sludge application, efficient irrigation. Increasing carbon content means also to increase soil fertility. Italy must improve the reduction of GHG according to the goals of Kyoto Protocol, so the agricultural sector is expected to significantly contribute to climate change mitigation, specially with bio-energy crops cultivation. In this chapter are reported some results recently obtained within the project “Scientific support to the agricultural conversion toward the energetic crops” (SUSCACE) financed by the Italian Ministry of Agriculture (MiPAAF).

Keywords: Poplar, short rotation coppice, fertilization, irrigation, production.

Introduzione

Al fine di ridurre le emissioni di CO₂ e di altri gas serra in atmosfera e rallentare il conseguente cambiamento climatico, i settori agronomico, zootecnico e forestale,

con una corretta gestione delle colture, degli allevamenti e delle foreste possono contribuire molto, in misura diversa nelle varie realtà sociali e geografiche del Mondo (Kirschbaum, 2003). Nell'ambito dei settori agronomico e forestale, il cambiamento d'uso del suolo, da monoculture annuali intensive con elevate richieste energetiche (fertilizzanti, acqua, pesticidi, lavorazioni, ecc), a coltivazioni poliennali, diversificate e con ridotte richieste energetiche è in grado di contribuire al raggiungimento degli obiettivi mondiali di mitigazione delle emissioni di gas climalteranti. Con riferimento ai dati di emissione reperibili per l'anno 2009, l'Unione Europea ha ridotto le proprie emissioni del 12,7% (rispetto al 1990) con azioni non incluse nelle misure LULUCF (Land Use – Land Use Change and Forestry) e del 15% se, invece si calcolano anche le misure LULUCF; in particolare, tra i vari Paesi dell'UE, l'Italia ha diminuito le proprie emissioni di gas serra solo del 5,4 % se non si considerano le misure di afforestazione e riforestazione; considerandole invece la percentuale passa a 13,32 % e tra i vari settori (industria, energia, carburanti, ecc) le misure LULUCF sono state proprio quelle maggiormente utili; mentre altri settori, come quello dei trasporti hanno continuato nell'aumento di emissioni (EEA, 2011).

Nella letteratura scientifica è in atto un vivace dibattito sui vantaggi e sugli svantaggi della utilizzazione delle colture da energia come fonte di energia rinnovabile. Sebbene alcuni ricercatori siano convinti che le colture da biomassa costituiscano una preziosa opportunità per le nostre società, altri studiosi sono invece molto critici e mettono in guardia dai rischi di una diffusione su larga scala delle colture ad uso energetico.

Nella valutazione del contributo che le colture da energia possono fornire alla domanda di energia rinnovabile, assicurando al tempo stesso un limitato impatto ambientale, due aspetti devono essere considerati come prioritari: 1) la quantità di energia fossile richiesta per produrre ciascuna unità di energia rinnovabile; 2) le emissioni di gas serra che sono rilasciate direttamente ed indirettamente come conseguenza della coltivazione delle colture ad uso energetico. (Liebig *et al.*, 2008).

I principali gas serra legati alle attività agricole sono l'anidride carbonica (CO₂), il metano (CH₄) ed il protossido di azoto (N₂O). Tra i gas ad effetto serra, l'N₂O desta particolari preoccupazioni poiché il suo potere di riscaldamento globale è 296 volte maggiore rispetto alla CO₂. Le emissioni di N₂O sono una conseguenza indesiderata dell'uso dei fertilizzanti azotati. Oggetto di particolari critiche sono le colture annuali utilizzate ai fini energetici, in particolare il mais e la soia, poiché richiedono lavorazioni annuali del terreno nonché elevate quantità di energia fossile sotto forma di input agronomici necessari sia alla fertilizzazione, sia al controllo delle malerbe. Sotto questo profilo, invece, le colture perenni da energia, che notoriamente richiedono limitati apporti di azoto, e permettono una riduzione dei trattamenti con pesticidi, sono state suggerite allo scopo di limitare le emissioni in atmosfera (Crutzen *et al.*, 2008).

Le coltivazioni di pioppo, pioppeti tradizionali con turno tra 10 e 15 anni oppure i cedui a turno breve, pur non essendo paragonabili ad azioni di afforestazione e riforestazione con specie ad alto fusto a ciclo lungo in grado di ricreare formazioni boschive stabili, possono comunque risultare vantaggiose se correttamente gestite, nel-

l'assorbimento di gas serra e come freno all'erosione dei suoli, soprattutto se paragonate a incolti (*sed-aside*), o a coltivazioni annuali che richiedono elevati input energetici come ad esempio il mais. Il pioppo è una specie arborea a rapido accrescimento: circa il 50% della massa totale secca di un individuo, considerando anche foglie e apparato radicale, è costituito da carbonio; che tramite la fotosintesi, è stato estratto in forma di CO₂, dall'atmosfera. Da un interessante lavoro presentato di Seufert G. (2010) è possibile valutare la capacità di scambio (input/output) di C in un pioppeto tradizionale (330 piante ha⁻¹) negli ultimi anni del turno (9÷12 anni), coltivato in Pianura Padana. Le misure sono state effettuate grazie a sensori posizionati, per un'intera annata, appena al di sopra della chioma del pioppeto ed elaborate con la tecnica della "eddy covariance". I dati (figura 1) mostrano una intensa attività di assorbimento durante la stagione vegetativa (come si può notare il caldo e la siccità del 2003 hanno diminuito tale attività rispetto al 2002) mentre durante la stagione di riposo è stata rilevata una leggera emissione probabilmente prima dovuta alla più intensa attività di respirazione (più ore di buio, progressiva degenerazione delle strutture fotosintetizzanti) e poi alla decomposizione della lettiera e dei tessuti morti.

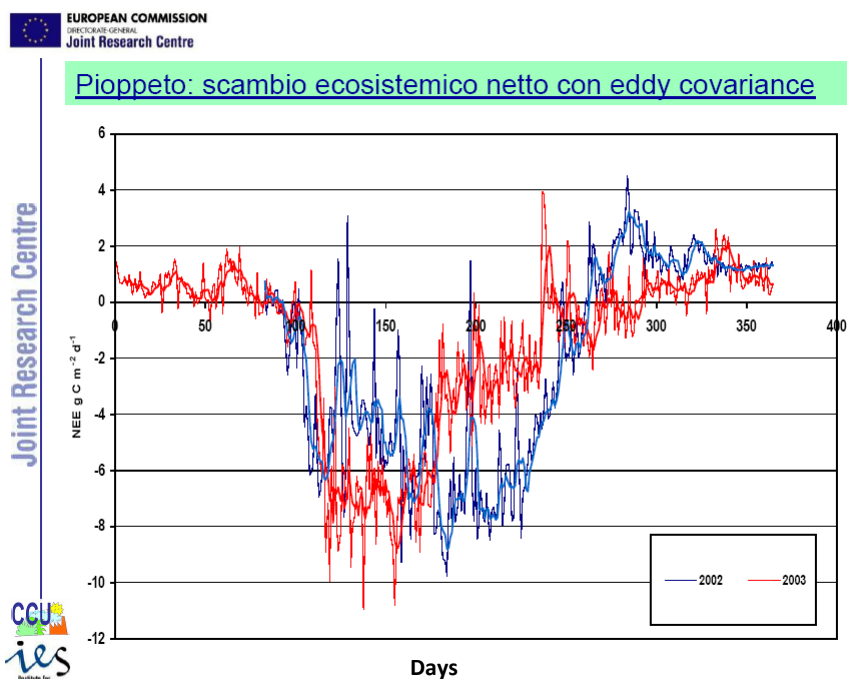


Figura 1 - Net Ecosystem Exchange (NEE) in grammi di carbonio per metro quadrato per giorno (g C m⁻² d⁻¹) durante le annate 2002 e 2003 di un pioppeto maturo.

Il bilancio risulta tuttavia molto spostato verso l'assorbimento, con un picco massimo di 11 g CO₂ per m² per giorno di assorbimento.

In un pioppeto tradizionale, dopo la raccolta, il fusto e i rami maggiori vengono trasformati in fogli, segati e chips per la produzione di mobili, oggetti vari, pannelli, pallets e carta, ovvero oggetti in cui il carbonio rimane imprigionato stabilmente. Infatti, solo nel caso della combustione diretta o della decomposizione questo viene riemesso in atmosfera. L'apparato radicale viene distrutto tramite triturazione (raramente prelevato dal terreno) ed interrato e come nel caso della decomposizione della lettiera contribuirà, in minima parte alle emissioni di CO₂ dal suolo e per una ulteriore parte allo sviluppo di organismi animali, vegetali e funghi nel suolo.

Nel caso dei cedui a turno breve anche se la biomassa epigea viene asportata periodicamente con frequenza biennale o quinquennale, l'apparato radicale non viene prelevato e rimane quindi nel suolo col suo stock di carbonio. Ovviamente un pioppeto tradizionale o un impianto ceduo sono in grado di stoccare meno carbonio rispetto ad un bosco misto, per via di molti fattori tra cui il numero di specie, la densità, le dimensioni delle piante, e l'età, anche se è stato dimostrato che una formazione giovane e in crescita è in grado di stoccare più carbonio rispetto ad una simile formazione stabile e matura.

Le coltivazione del pioppo e delle altre specie lignocellulosiche erbacee poliennali ed arboree pur essendo in grado di stoccare grandi quantità di anidride carbonica richiedono comunque l'energia per la loro coltivazione che si traduce in emissioni di gas serra.

Numerosi studi sono stati avviati sia a livello Comunitario (CCR, Ispra) che nei singoli Paesi, Europei e non, per comprendere quanto, in realtà, le biomasse arboree, con pioppo e con altre specie siano in grado di contribuire all'assorbimento e quindi alla riduzione delle emissioni in atmosfera. In un primo lavoro, effettuato in Italia sono stati confrontati pioppeti tradizionali con il ceduo a turno breve della stessa specie (Tedeschi *et al.*, 2005) considerando tutti gli input energetici e le produzioni legnose per ottenere un bilancio dei gas serra. Il bilancio è risultato spostato verso un netto assorbimento di gas serra per entrambe le coltivazioni con il risultato che per ogni tonnellata di CO₂ spesa per la coltivazione di biomassa ed emessa in atmosfera, da 16,8 a 18,1 tonnellate di CO₂ sono state sottratte all'atmosfera, conseguentemente anche il bilancio energetico è risultato positivo.

Sperimentazione nell'ambito del progetto SUSCACE

Gli effetti del cambiamento d'uso del suolo da coltivazioni annuali intensive a coltivazioni poliennali estensive sono suddivisibili in effetti diretti e indiretti, a breve e a lungo termine. Spesso, nel settore delle energie rinnovabili, si sente parlare di "emissioni di CO₂ equivalente evitate" intendendo la quantità di gas serra come CO₂, CH₄, N₂O, che sarebbero stati immessi in atmosfera per produrre la stessa quantità di energia con una tecnologia non rinnovabile. Allo stesso modo è possibile evitare emissioni di gas serra in atmosfera coltivando specie che da un lato non richiedono esagerati input colturali, dall'altro sono in grado di immagazzinare nei propri tessuti (epigei ed ipogei) e nel suolo in modo più o meno stabile elevate quantità di CO₂. Inoltre queste stesse specie potrebbero essere utilizzate per la produzione di energia

tramite combustione o gassificazione o produzione di biocarburanti di seconda generazione, in modo da immettere in atmosfera solo la quantità di CO₂ preventivamente assorbita e immagazzinata durante la crescita. Nel caso dei cedui a turno breve di pioppo, robinia, eucalitto o nelle colture di erbacee poliennali, l'apparato radicale non viene utilizzato, e rimane nel terreno, immagazzinando e trasferendo nel suolo in modo pressoché stabile la CO₂ assorbita. Tuttavia anche le colture lignocellulosiche dedicate richiedono un certo numero di operazioni colturali, seppur in quantità ridotta rispetto ad altre coltivazioni, e diversi modelli colturali (a ciclo biennale o quinquennale, monovalente o plurivalente) che in situazioni ambientali variabili si differenziano nel numero e nella tipologia delle operazioni colturali.

Al fine di valutare l'entità dell'effetto benefico delle colture lignocellulosiche dedicate sull'assorbimento di gas serra, sia in generale, sia rispetto alle coltivazioni tradizionali è opportuno effettuare per ogni situazione un bilancio del Carbonio strettamente connesso con il bilancio generale dei gas serra; in genere si usa la metodologia LCA (ISO, 2006). Poiché queste coltivazioni sono sistemi aperti è difficile effettuare un bilancio che tenga conto di tutte le matrici ambientali partecipanti ed inoltre, prima di iniziare è bene chiarire all'interno dell'intera filiera, il punto di partenza e il punto di arrivo nei calcoli da effettuare; ad esempio, in molti casi si parte dalle operazioni necessarie alla preparazione del materiale vegetale per l'impianto (talee nel caso del pioppo, rizomi per la canna comune), e si arriva fino al carico e al trasporto della biomassa raccolta alla centrale di utilizzo. Nel bilancio generalmente vengono conteggiate le emissioni di CO₂, CH₄, ed N₂O, ma poiché ci si sta riferendo al carbonio, unica moneta di scambio per i sistemi biologici, tutti i gas, attraverso il rispettivo *Global Warming Potential (GWP)* vengono fatti equivalere all'anidride carbonica.

Le emissioni, in un ceduo a turno breve, sono ovviamente dovute alle operazioni colturali e, in particolare l'utilizzo dei fertilizzanti azotati gioca un ruolo importante (Tedeschi *et al.*, 2005). Ciò è dovuto a più fattori: 1) nel bilancio vengono conteggiate anche le emissioni dovute alla produzione della dose di fertilizzante azotato utilizzato, che notoriamente richiede grandi quantità di energia; 2) la fertilizzazione azotata induce emissioni dirette dal suolo di N₂O; 3) la fertilizzazione richiede l'utilizzo di macchinari e quindi di combustibili fossili.

Le altre operazioni colturali possono essere più o meno incidenti sul bilancio, in base al modello colturale. Il taglio e la raccolta, ad esempio, sono generalmente molto influenti, per via dell'utilizzo di macchine dalla potenza e dai consumi elevati, ma in base al modello colturale, all'età delle piante e al tipo di terreno possono rendersi necessarie attrezzature differenti con conseguenti differenti consumi. Nelle figure 2 e 3 si riportano le emissioni dirette ed indirette delle diverse operazioni colturali effettuate nei primi due anni in un ceduo di pioppo e nei primi tre anni di uno di canna comune, fatti dalle industrie saccarifere coinvolte nel progetto SUSCACE; il pioppo ha ciclo di raccolta biennale la canna invece annuale, al primo anno le produzioni però sono molto basse e non sempre viene raccolta.

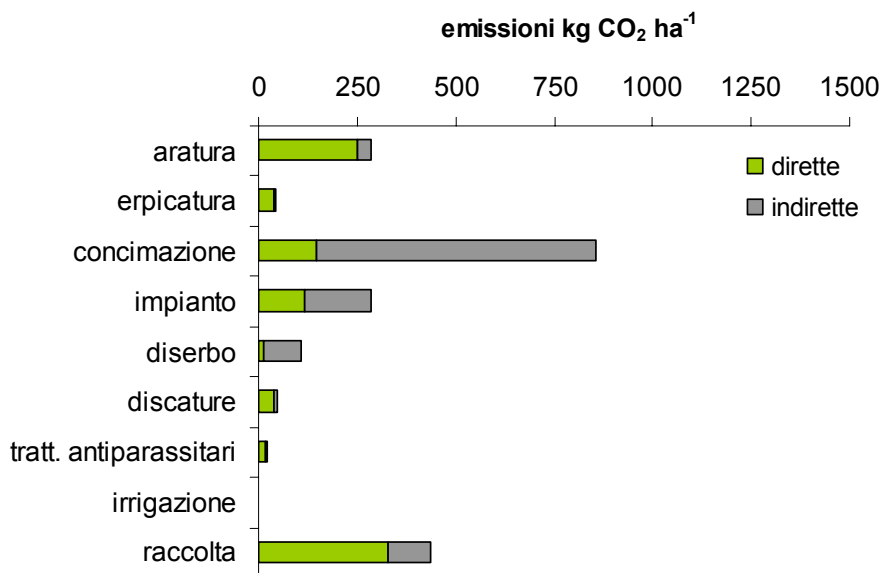


Figura 2 - Emissioni dirette ed indirette calcolate al fine del primo ciclo biennale di raccolta in un ceduo commerciale di pino monitorato nell'ambito del progetto Suscace.

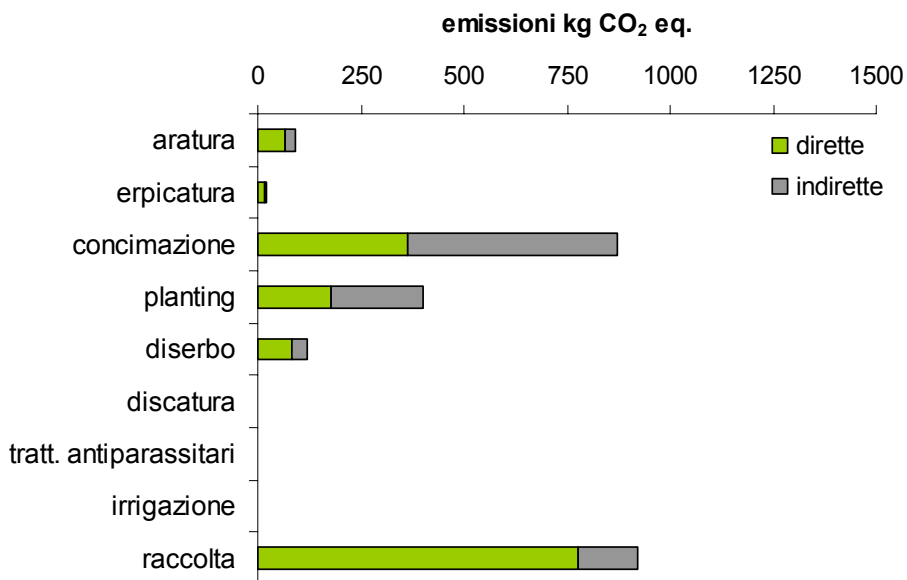


Figura 3 - Emissioni dirette ed indirette calcolate alla fine dei primi tre anni di coltivazione di canna comune in un impianto commerciale monitorato nell'ambito del progetto Suscace.

Nei grafici 4 e 5 è riportato il bilancio dei gas serra dei primi anni di coltivazione negli stessi impianti di pioppo e canna comune. Data l'elevata produttività la canna risulta immagazzinare nella biomassa epigea una quantità di CO₂ equivalente superiore a quella del pioppo; per la canna però sono stati considerati i primi tre anni (3 raccolti, di cui il primo molto basso) mentre per il pioppo solo due anni (1 raccolto).

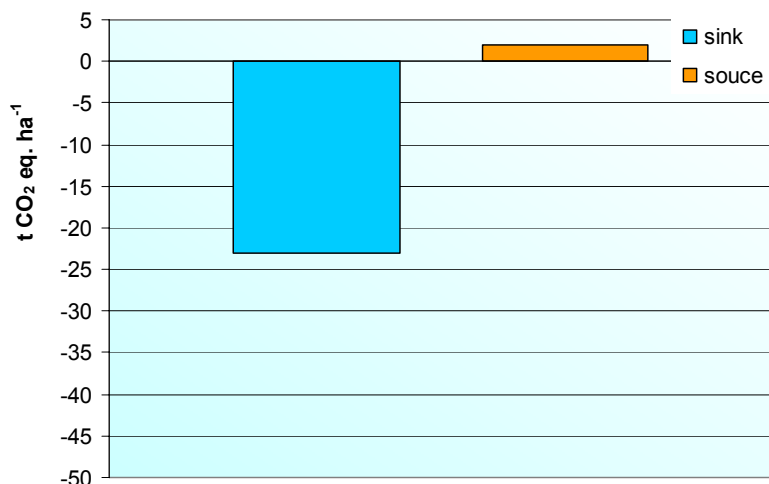


Figura 4 - Immagazzinamento (sink) ed emissioni (source) di CO₂ nella biomassa epigea del primo ciclo biennale di raccolta in un ceduo di pioppo commerciale monitorato nell'ambito del progetto Suscece.

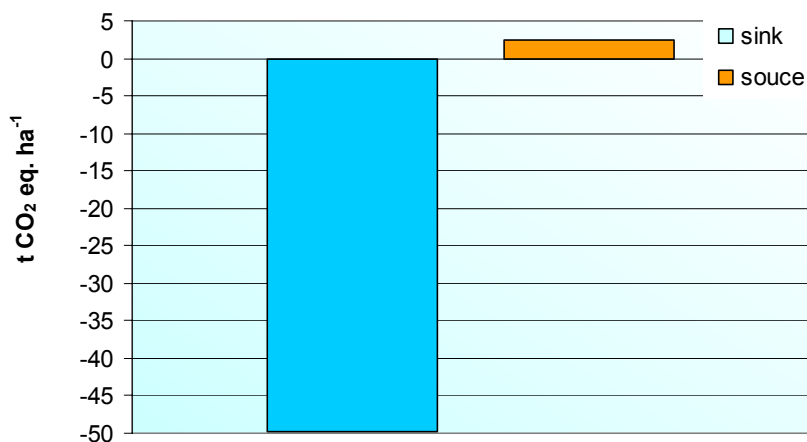


Figura 5 - Immagazzinamento (sink) ed emissioni (source) di CO₂ dei primi tre anni di coltivazione (2 raccolti) in un impianto commerciale di canna comune monitorato nell'ambito del progetto Suscece.

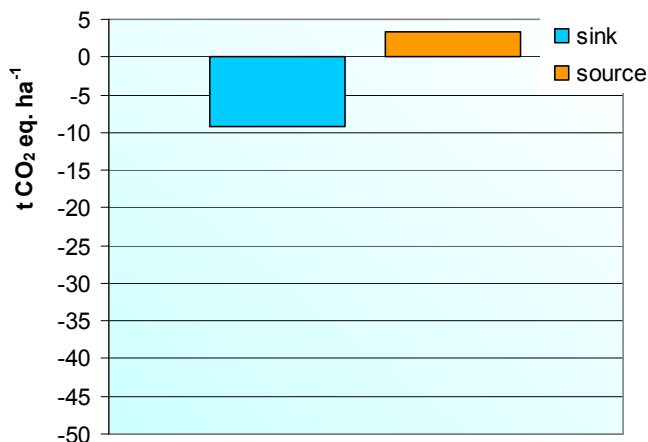


Figura 6 - Immagazzinamento (sink) ed emissioni (source) annuali di CO₂ in una coltivazione commerciale di colza monitorata nell'ambito del progetto Suscace.

Sul piatto opposto della bilancia, quello dell'assorbimento di gas serra, deve essere posta la produzione totale di biomasse epigea ed ipogea; nella prima sono comprese anche le foglie che non vengono conteggiate poiché, al termine della stagione vegetativa, cadono, non vengono raccolte per cui si decompongono producendo CO₂. L'apparato radicale, che non viene estratto dal suolo durante le ripetute raccolte, immagazzina, durante lo sviluppo, una quantità stimata tra il 40 e il 60 % del carbonio totale assimilato come CO₂ dalla pianta (Venturi *et al.*, 2005). Solo una piccola parte di C viene scambiata con il suolo mediante il *turn-over* delle radici fini. Come è possibile immaginare, le specie legnose a portamento arboreo e rapida crescita come il pioppo (la robinia, l'eucalipto e il salice) e le poliennali erbacee sono quindi eccellenti accumulatori di carbonio paragonate con le erbacee annuali come la colza (Fig. 6).

Di seguito vengono presentati alcuni dati ottenuti da impianti sperimentali situati presso l'Azienda "Mezzi" del CRA-PLF di Casale Monferrato (AL) costituiti nell'ambito del progetto Suscace.

Il campo sperimentale, di 1,54 ettari, è stato suddiviso in 4 appezzamenti, due coltivati rispettivamente a colture tipiche di un'azienda cerealicolo-zootecnica della pianura padana: erba medica (*Medicago sativa* L.) e mais (*Zea mais* L.) e due a pioppo da biomassa (*Populus* spp.). La prova è iniziata nella primavera 2009 mentre la medica, che precedentemente occupava l'intero campo, era già stata seminata nel 2008. Il pioppo per la produzione di biomassa a scopo energetico, è coltivato con due diversi modelli: ceduo a turno breve e brevissimo. Nel primo modello denominato 'rado' la densità è elevata (1111 piante per ettaro, p·ha⁻¹) e il ciclo di ceduzione è quinquennale; esso consente la produzione di diversi assortimenti di legno (segati per pallet, tronchetti per cartiera, cippato per energia). Nel secondo modello, denominato 'fitto', la densità è molto elevata (8333 p·ha⁻¹) e la produzione è destinata esclusivamente al settore energetico; in questo appezzamento la prima ceduzione

è stata effettuata alla fine del primo anno, per formare le ceppaie, mentre le cedua- zioni successive saranno biennali.

Erba medica e mais sono coltivati secondo le consuetudini aziendali, mentre per il pioppo sia ‘rado’ che ‘fitto’ è previsto il confronto tra quattro tesi: testimone non trattato, irrigato, irrigato e fertilizzato e solo fertilizzato. Ciascuno degli appezza- menti a pioppo occupa una superficie di 3780 m²; nel ‘rado’ le piante sono disposte in quadro con una spaziatura di 3 × 3 m, nel ‘fitto’ le piante sono disposte con sesto rettangolare ad una spaziatura di 3 m tra le file e 0,40 m sulla fila. Per la prova, è stato scelto il clone *P. ×canadensis* “Imola”.

Le cure colturali dedicate al pioppo sono molto simili per i due modelli: il terreno è stato arato e affinato appena prima della piantumazione. Le infestanti sono state con- trollate con interventi meccanici (discatura o triturazione) tra le file in entrambe le an- nate ed uno manuale sulla fila, solo al primo anno. Nell’impianto ‘fitto’ dopo la ce- duazione è stato fatto un trattamento diserbante con una miscela di prodotti antigermi- nello, *Metholaclor* e *Pendimethalin*, e disseccante, *Glufosinate d’ammonio*, per elimi- nare le erbe già sviluppate. Nell’impianto ‘rado’ è stato distribuito manualmente sulla fila (con pompa a spalla) lo stesso disseccante nell’estate del secondo anno.

Nel corso delle due stagione vegetativa sono stati effettuati trattamenti insetticidi all’occorrenza (*Clorpirifos-metile* + *Cipermetrina*) contro insetti defogliatori quali *Crisomela* (*Chrysomela populi* L.) e *Ifantria* (*Hyphantria cunea* L.), mentre alla fine del periodo di riposo invernale si è intervenuto contro lo xilofago Punteruolo del pioppo (*Cryptorhynchus lapathi* L.), con *Deltametrina*, solo nell’impianto ‘rado’. Un maggior dettaglio delle operazioni colturali è riportato in tabella 1.

Tabella 1 - Numero e tipo di operazioni colturali eseguite nei cedui a turno breve di pioppo: mo- dello fitto e rado.

Operazioni colturali	Pioppo 8.333 p·ha ⁻¹		Pioppo 1.111 p·ha ⁻¹	
	2009	2010	2009	2010
Aratura	1	-	1	-
Erpicatura	1	-	1	-
Fertilizzazione di fondo (NPK)	-	-	-	-
Messa a dimora	1	-	1	-
Diserbo all’impianto	-	-	-	-
Scerbatura manuale	1	-	1	-
Controllo meccanico infestanti	1	2	3	3
Diserbo chimico	-	2	-	1
Controllo defogliatori	4	3	4	2
Controllo xilofagi	-	-	1	-
Fertilizzazioni in copertura (N)	1	1	1	1
Irrigazione	25	22	24	24
Ceduazione e raccolta	1	-	-	-

L'irrigazione è stata effettuata tramite un impianto a goccia, con tre interventi settimanali da giugno a settembre di ogni anno, restituendo i quantitativi di acqua evapotraspirati nelle giornate precedenti l'irrigazione, calcolati sulla base dei dati rilevati da evaporimetro 'Class A'. In tabella 2 sono riportati i quantitativi totali di acqua erogata, in mm, nelle due annate.

Tabella 2 - Quantità di acqua (in mm) distribuita nelle parcelle irrigate dei cedui a turno breve di pioppo.

Modello	2009	2010
Rado	66	208
Fitto	94	175

La concimazione azotata è stata effettuata una volta per anno, all'inizio della primavera, distribuendo manualmente un concime azotato a lenta cessione. Sono state distribuite dosi corrispondenti a 60 unità di azoto per ettaro in entrambi i modelli. Il concime è stato successivamente interrato con un'erpicoltura fatta su tutto l'impianto. Nel modello fitto, alla fine del primo anno, sono state effettuate contemporaneamente la ceduzione e la raccolta, con una falcia-trincia-caricatrice da mais 'John Deere' con testata modificata per il taglio di giovani piante arboree. Le ceppaie nella primavera del secondo anno hanno ricacciato nuovi polloni che grazie all'apparato radicale già presente hanno avuto un accrescimento superiore alle piantine sviluppatasi da talea nel primo anno.

Tabella 3 - Numero e tipo di operazioni colturali eseguite negli appezzamenti coltivato a mais ed erba medica.

Operazioni colturali	Mais		Erba medica	
	2009	2010	2009	2010
Aratura	1	1	-	-
Erpicatura	2	1	-	-
Fertilizzazione di fondo (NPK)	1	1	-	-
Semina	1	1	-	-
Diserbo chimico	1	1	-	-
Controllo meccanico infestanti	1	1	-	-
Fertilizzazioni in copertura (N)	1	1	-	-
Irrigazione	2	1	2	1
Taglio	-	-	5	5
Raccolta	1	1	4	4

Il mais, che occupa una superficie di 3250 m², è stato seminato ogni anno previa aratura, fertilizzazione di fondo con ternario (alla dose per ettaro di 94 kg di N, 56 kg di P₂O₅, 150 kg di K₂O) ed erpicatura del terreno. È stato effettuato un diserbo in pre-

emergeza (miscela di *Mesotrione*; *S-Metolachlor*; *Terbutilazina* alla dose di $4 \text{ l}\cdot\text{ha}^{-1}$). Durante la primavera è stata effettuata una concimazione azotata con concime ureico alla dose di 215 kg di N per ettaro, mentre le irrigazioni a pioggia sono state effettuate in numero variabile nei due anni; un maggior dettaglio delle operazioni è riportato in tabella 3. Al termine della prima stagione vegetativa la granella è stata raccolta come di *routine*; nella seconda stagione vegetativa il mais invece è stato trinciato.

Nel quarto appezzamento, delle dimensioni di circa 4060 m^2 è stato mantenuto il medicaio già presente. Il medicaio, nei due anni di prova, non è stato concimato ed ha ricevuto lo stesso numero di irrigazioni del mais. Durante ciascuna stagione vegetativa sono state effettuate 5 sfalcature, 4 raccolte; l'ultimo sfalcio è stato lasciato in campo (Tab. 3).

Per ogni operazione colturale effettuata, seguendo la metodologia LCA ISO 14040:2006 (ISO, 2006), sono stati registrati: potenza delle macchine operatrici, tipo e peso degli attrezzi utilizzati, tempi di lavoro, quantità di carburante consumato, tipologia e quantità di prodotti chimici distribuiti, quantità di prodotto raccolto.

Con questi dati è stato possibile calcolare le emissioni di gas ad effetto serra, dirette ed indirette, per la coltivazione come riportato in bibliografia. Con i dati relativi alle produzioni è stata calcolata la quantità di C immagazzinata nella biomassa epigea (Fiala *et al.*, 2009).

Per monitorare le emissioni dal suolo dei principali gas ad effetto serra (CO_2 , N_2O e CH_4) sono state posizionate 24 camere nell'impianto di pioppo fitto: 12 più grandi per la misurazioni di N_2O e CH_4 12 più piccole per quella della CO_2 ; parte delle camere sono state poste sulla fila e le altre al centro dell'interfila per evidenziare l'eventuale effetto 'posizione'. Negli altri tre appezzamenti sono state posizionate 4 camere ciascuno per il rilevamento della sola CO_2 . Dalle camere più grandi sono stati estratti campioni d'aria, durante le ore centrali della giornata, ogni 15 giorni circa durante la stagione vegetativa e mensilmente durante la stagione invernale. Per poter soppesare il contributo degli organismi del suolo alle emissioni di CO_2 (respirazione eterotrofa) sono stati creati 8 *trench* sull'intero campo. Attorno ad uno scavo rettangolare che isola una porzione di suolo con superficie di $120 \times 80 \text{ cm}$ e profonda tra 70 e 100 cm è stato posto un telo di tessuto non tessuto permeabile all'acqua ma in grado di impedire l'intromissioni degli apparati radicali delle colture circostanti. La superficie è stata mantenuta diserbata.

Gli accrescimenti del pioppo, monitorati con regolarità nella stagione vegetativa non hanno mostrato differenze statisticamente significative tra i vari trattamenti né sul modello rado, né sul modello fitto. Tuttavia, anche se l'andamento della crescita è stato identico in tutte le tesi, si è notato un costante maggior accrescimento per le piante irrigate. Nel periodo estivo quelle dell'impianto fitto sono cresciute in altezza mediamente al ritmo di 40 cm ogni 15 giorni.

Tabella 4 - Medie ed ANOVA delle produzioni di biomassa anidra legnosa e fogliare durante i primi due anni, suddivisa per tesi di coltivazione nei due modelli di pioppo ceduo.

Tesi	Fitto				Rado			
	2009		2010		2009		2010	
	legno	foglie	legno	foglie	legno	foglie	legno	foglie
testimone	4,03	3,10	5,53	2,41	2,15	1,40	9,25	2,60
concimato	3,03	2,33	5,75	3,10	1,90	0,85	9,90	2,44
irrigato	5,13	3,63	8,98	3,69	3,81	1,43	19,81	4,35
irr. + conc.	5,63	3,31	10,18	3,75	2,70	1,28	15,58	3,75
media gen.	4,46	3,09	7,61	3,24	2,64	1,24	13,64	3,28
ANOVA:								
Conc	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Irrig	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	29,3**	n.s.	296,1**	33,2*
Irr. × Con	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Al primo anno l'impianto rado ha prodotto mediamente 2,64 t·ha⁻¹ di sostanza secca legnosa (fusto e rami) e 1,24 t·ha⁻¹ di s.s. fogliare, mentre l'impianto fitto ha prodotto rispettivamente 4,46 t·ha⁻¹ e 3,09 t·ha⁻¹ (Tab. 4). Durante il secondo anno le produzioni sono aumentate, sia per il rado che per il fitto ceduo. Infatti l'impianto rado ha raggiunto una media allo stato anidro di 13,64 t·ha⁻¹ di legno (con un incremento corrente di 11,0 t·ha⁻¹) e 3,28 t·ha⁻¹ di foglie; mentre il modello fitto, ripartendo da ceppaia ha dato una produzione media allo stato anidro di 7,61 t·ha⁻¹ di legno e 3,24 t·ha⁻¹ di foglie. In tabella 4 sono riportate le produzioni epigee separate per tesi nei due impianti con pioppo. Per l'impianto fitto tra le tesi non sono state riscontrate differenze significative nella produzione di biomassa legnosa in tutti e due gli anni (Tab. 5). Nell'impianto rado invece, sia durante il primo anno che durante il secondo anno di crescita le parcelle irrigate sono cresciute significativamente di più rispetto alle altre. La biomassa fogliare presenta differenze statisticamente significative solo al secondo anno nel rado. La biomassa ipogea del ceduo di pioppo, alla fine del primo anno, è pari a circa il 50 % della biomassa epigea.

Durante il primo anno il mais ha dato una produzione di granella nella media della zona: 7,12 t·ha⁻¹ di sostanza secca. La biomassa totale epigea anidra è stata di 14,25 t·ha⁻¹. Durante il secondo anno, il mais prometteva una buona produzione ma il forte temporale di fine luglio ne ha provocato un esteso allettamento, e alla trinciatura la granella è stata stimata in 4,07 t·ha⁻¹ di secco. La produzioni di biomassa epigea è risultata di 9,17 t·ha⁻¹ di sostanza secca.

Il medicaio si è rivelato la coltura più produttiva, nonostante le limitate irrigazioni. Sono state infatti effettuati 5 sfalci in entrambi gli anni. Il dettaglio delle raccolte è riportato in tabella 5.

Le produzioni del secondo anno sono state inferiori a quelle del primo, e questo a causa di una primavera fresca e piovosa che ha permesso di effettuare il primo raccolto solo in giugno, e al fortunale di fine luglio che ha allentato il terzo raccolto.

Tabella 5 - Dettaglio della produzione di erba medica.

2009	S.s. t·ha ⁻¹	2010	S.s. t·ha ⁻¹
19 maggio	5,42	7 giugno	4,50
25 giugno	4,01	8 luglio	3,10
30 luglio	3,62	4 agosto	1,46
28 agosto	3,56	13 settembre	2,52
16 ottobre	1,33	24 novembre	1,43
Totale	17,94	Totale	13,01

Emissioni di gas climalteranti dal suolo. Per quanto riguarda il rilevamento di N₂O nell'impianto di pioppo 'fitto' sono risultate statisticamente significative ($p=0,004$) le differenze tra testimone e tesi solo concimata e fra quest'ultima e la tesi irrigata e concimata ($p=0,035$). Il picco di emissione è stato rilevato a fine aprile nelle tesi concimate, subito dopo la distribuzione del concime azotato. Il test ANOVA conferma che non esistono differenze significative nei flussi di N₂O tra filare ed interfilare. Dai dati rilevati nel 2010 sembra che la parcella testimone ossidi più CH₄ rispetto alle altre tesi, ma l'analisi statistica non individua differenze significative. Infine anche la respirazione del suolo (CO₂) non risulta significativamente differente fra le varie parcelle sperimentali.

Bilancio dei gas serra (tabella 6). La coltivazione del mais ha emesso complessivamente nei due anni il maggior quantitativo di CO₂ equivalente, 8,5 t·ha⁻¹·anno⁻¹; la maggior parte delle quali dovute all'utilizzo dei fertilizzanti, alla loro produzione e alle emissioni dirette di N₂O dal suolo. Le altre coltivazioni hanno emesso minor quantità di gas ad effetto serra; in particolare per l'erba medica, non concimata, sono state riscontrate emissioni importanti solo nelle fasi di raccolta, che richiedono l'utilizzo di differenti macchinari e attrezzature. Nella coltivazione del pioppo sono state riscontrate solo lievi differenze di emissione tra gli stessi trattamenti dei due modelli. Le maggiori emissioni si sono verificate, come ci si poteva aspettare, nelle tesi irrigate e concimate, 3,9 t·ha⁻¹ in entrambi i modelli, contro 1,5 e 1,3 t·ha⁻¹ della tesi testimone rispettivamente per rado e fitto. Gli assorbimenti più elevati si riscontrano nell'erba medica (-51,1 t·ha⁻¹) e nella parcella solo irrigata del rado (-44,1 t·ha⁻¹). Tuttavia il bilancio va valutato nella sua completezza; i migliori rapporti tra assorbimento ed emissione si rilevano nella tesi irrigata del rado e nel testimone di entrambi i modelli del ceduo di pioppo, il peggiore rapporto nel mais.

Tabella 6 - Emissioni (source) e assorbimento (sink) nella biomassa epigea in t di CO₂ eq. totali dei due anni per coltura e trattamento.

	Mais	Erba medica	Pioppo rado				Pioppo fitto			
			test	fert	Irr	irr+fer	test	fert	irr	irr+fer
Source (so)	8,7	4,3	1,5	2,8	2,5	3,9	1,3	2,7	2,5	3,9
sink	-37,4	-51,1	-21,7	-22,5	-44,1	-34,3	-17,5	-16,1	-25,9	-29,0
sink/so	-4,3	-11,9	-14,7	-7,9	-17,5	-8,9	-13,2	-6,0	-10,1	-7,4

La parte di biomassa epigea solitamente non raccolta può avere un ruolo molto importante ai fini del recupero di CO₂: ad esempio la granella di mais assorbe circa un terzo della CO₂ contenuta nella biomassa epigea, mentre il resto rimane nei tessuti della pianta, compresi quelli ipogei, qui non considerati, che alla fine ritornano al suolo. Le foglie del pioppo, non considerate nel calcolo degli assorbimenti, possono costituire una frazione importante, come si vede dalle produzioni, per restituire carbonio e nutrienti al suolo. La porzione di biomassa residuale, di tutte le colture, che resta in campo contribuisce alle emissioni di CO₂ durante i processi di decomposizione nei quali è naturalmente coinvolta.

Dopo soli due anni di sperimentazione non è ancora possibile trarre delle conclusioni ma si possono già fare alcune considerazioni:

- Le colture erbacee, nei due anni, hanno prodotto complessivamente più sostanza secca epigea delle arboree. Ma per queste ultime ci si aspetta un incremento crescente negli anni a venire; infatti i primi due anni sono necessari alle piantine di pioppo per costituire chioma e apparati radicali estesi ed efficienti.
- Nelle colture poliennali, in particolare nelle arboree, la biomassa ipogea rappresenta comunque una quota significativa dell'immagazzinamento della CO₂ già nei primi anni di crescita.
- Il rapporto tra emissione ed immagazzinamento di CO₂ equivalente è a favore di quest'ultimo in tutte le colture. I valori meno favorevoli si riscontrano nella coltivazione del mais (rapporto *sink/source* -4,3), migliore ma di poco quello rilevato nelle parcelle di pioppo sia fitto che rado concimate (rapporto *sink/source* che varia tra -6,0 e -8,9). Questi valori sono imputabili soprattutto alla produzione dei fertilizzanti (emissioni indirette) e alle emissioni dirette dal suolo di N₂O rilevate dopo la concimazione.
- Per l'emissione dal suolo degli altri gas climalteranti, al momento, non sono state riscontrate differenze significative tra le tesi e le colture considerate.

I benefici ambientali della filiera di produzione della biomassa legnosa sono indubbi ma possono variare anche ampiamente a seconda delle condizioni ambientali (disponibilità idrica e fertilità del suolo) e soprattutto della intensità colturale.

Contributo del suolo all'immagazzinamento di CO₂

Nelle emissioni, e nel sequestro di CO₂ atmosferica gioca un ruolo chiave il tipo di uso del suolo. Terreni arati annualmente tendono ad avere una elevata mineralizzazione del carbonio organico, per contro, terreni sottratti alle lavorazioni tendono ad incrementare il loro contenuto di carbonio organico, e quindi a sequestrare carbonio dall'atmosfera, con effetti positivi sul contenimento del riscaldamento globale. Anche da questo punto di vista, il ruolo che le specie perenni da biomassa possono svolgere è di primario interesse. Poiché le colture perenni, sia erbacee che legnose, negli anni successivi all'impianto non richiedono lavorazioni del terreno, possono favorire il sequestro del carbonio nel suolo (Rowe *et al.*, 2009). In ragione di ciò, la quantità di carbonio organico rilasciato, o eventualmente sequestrato, dal profilo del suolo gioca un ruolo chiave nella valutazione del bilancio del carbonio delle colture da energia e, di conseguenza, nella formulazione del giudizio complessivo sulla sostenibilità ambientale dei sistemi agricoli destinati a produrre energia (Righelato e Spracklen, 2007). E tuttavia, poiché l'interesse per le colture da biomassa ad uso energetico è piuttosto recente, in letteratura ci sono ancora relativamente pochi studi che permettono di quantificare l'effetto delle colture da energia sul contenuto di carbonio organico del suolo.

Il suolo ha un ruolo importante nel bilancio dell'anidride carbonica poiché a livello globale il suo contenuto di carbonio è 3,3 volte quello dell'atmosfera e 4,5 volte quello dell'intera biosfera. Nel corso del tempo la sostituzione delle praterie e dei boschi e delle foreste naturali con le colture agrarie ha determinato una riduzione consistente del contenuto di sostanza organica del terreno. Circa il 30 % del carbonio contenuto nel terreno fino alla profondità di 100 cm viene perduto nei primi 30-50 anni dal momento in cui cambia l'uso del suolo (Post e Know, 2000). È stato stimato che a causa dell'espansione dell'agricoltura nel corso dei secoli sono stati emessi in atmosfera circa 450 Gt di carbonio, di cui 320 nel periodo preindustriale e 130 successivamente; mentre con l'utilizzo dei combustibili fossili negli ultimi 250 anni sono state stimate emissioni complessive di soltanto 270 Gt (Lal, 2004).

Accumulare carbonio nei suoli fortemente depauperati è possibile e le potenzialità sono elevate, purché si persegua un appropriato utilizzo del suolo e si adottino opportune pratiche gestionali. Le stime più credibili riportano valori di 55-78 Gt di C potenzialmente accumulabile nel terreno a livello globale. Non tutti i suoli però hanno le stesse potenzialità. La tessitura, le caratteristiche del profilo, il clima e l'uso precedente condizionano la quantità e la velocità con cui il terreno può accumulare carbonio. In generale, tutte le pratiche o gli usi del suolo che comportino un incremento delle quantità di biomassa residuale che rimane in campo, una riduzione delle lavorazioni, una migliore conservazione dell'acqua e degli elementi nutritivi, un miglioramento della struttura del terreno e un incremento della diversità specifica della pedofauna sono potenzialmente utili per sequestrare carbonio nel suolo (Tonon, 2004).

Le piantagioni di tipo forestale effettuate su larga scala possono dare un contributo importante al sequestro dell'anidride carbonica e alla riduzione dell'effetto serra; tra queste anche i cedui a turno breve e altre colture dedicate alla produzione di bioenergia (Tuskan e Walsh, 2001). Per le colture energetiche dedicate, cedui a turno breve con specie a rapido accrescimento, si assiste ad una iniziale perdita di carbonio organico del suolo in conseguenza delle operazioni di impianto (lavorazione del suolo, concimazione) seguita poi da un successivo incremento (Grigal e Berguson, 1998). Non è però facile verificare in maniera precisa il cambiamento del contenuto di sostanza organica a causa dell'eterogeneità del suolo, anche sullo stesso sito, delle variazioni ambientali e del diverso uso che ne è stato fatto nel tempo. Da uno studio fatto negli Stati Uniti da Coleman *et al.* (2004) su 27 siti dove erano a confronto colture di pioppo da biomassa e varie colture agricole sono state trovate poche differenze per quanto riguarda la variazione del contenuto di sostanza organica e di carbonio; un incremento nell'accumulo di carbonio organico nel suolo è stato verificato nella coltivazione di pioppo solo quando il suolo inizialmente ne era molto povero. Questo risultato dipende probabilmente dal fatto che la coltivazione del pioppo viene effettuata in maniera intensiva tanto quanto le colture agrarie. Risultati analoghi si stanno verificando anche nelle colture lignocellulosiche dedicate costituite nell'ambito del progetto SuSCACE dove alla fine del secondo anno di sperimentazione non si notano ancora variazioni nei contenuti in carbonio organico dei suoli. Invece da una prova condotte in Italia centrale (POP-EUROFACE) su ceduo di pioppo è stato invece registrato un accumulo di C organico nel suolo indipendentemente dai trattamenti effettuati: arricchimento della CO₂ atmosferica e concimazione azotata (Lagomarsino *et al.*, 2009).

Risultati interessanti sono stati ottenuti, dopo sette anni di coltivazione, in un impianto sperimentale del Centro di ricerca per le colture industriali (CRA-CIN) sito ad Anzola dell'Emilia (BO) in cui sono a confronto due specie erbacee poliennali: Miscanto e Canna comune, e tre arboree: Pioppo, Robinia e Salice. Le due specie erbacee vengono raccolte annualmente mentre le arboree ogni due anni. Il suolo è di tipo franco limoso e le precipitazioni annuali ammontano a circa 600 mm. Le erbacee poliennali vengono fertilizzate annualmente con 120 kg ha⁻¹ di N (urea) e con 120 kg ha⁻¹ di P₂O₅ (superfosfato), mentre pioppo e salice ricevono le stesse quantità di entrambi i fertilizzanti (120 kg ha⁻¹) soltanto una volta ogni due anni, dopo la raccolta. La robinia, leguminosa considerata autosufficiente per la nutrizione azotata, riceve solo la concimazione fosfatica nelle stesse dosi e modalità delle altre specie arboree. L'irrigazione e le lavorazioni ordinarie del suolo (erpature) sono state effettuate solo nel corso della prima stagione vegetativa per favorire un rapido insediamento delle diverse specie. Nel corso degli anni si è intervenuto, quando necessario, con insetticidi per proteggere le *Salicaceae* dai defogliatori.

Alla fine del settimo anno, nel mese di febbraio, sono stati prelevati campioni di suolo nei primi due strati superficiali: 0-20 cm e 20-40 cm sia parcelle delle cinque specie a confronto che su un seminativo ed un prato stabile coltivati in prossimità

dell'impianto sperimentale. Per la determinazione del carbonio organico è stato utilizzato il metodo Walkley-Black.

I dati medi del contenuto di carbonio organico nelle diverse specie a confronto è riportato in tabella 7. Dopo sette anni di coltivazione di canna comune e dei cedui a turno breve di pioppo e di salice si ha un incremento del contenuto di carbonio organico statisticamente significativo rispettivamente del 46% per le prime due colture e del 53% per il salice in confronto ad un seminativo soggetto ad aratura annuale. Anche per le altre colture considerate si ha un incremento che però non risulta statisticamente significativo. L'incremento dell'immagazzinamento di C organico nello strato più superficiale del suolo non risulta correlato alla produzione di biomassa lignocellulosica (Tab.7).

Infatti, sebbene la canna comune fornisca produzioni annue di biomassa nettamente superiori alle specie legnose, il contenuto di carbonio organico misurato sotto detta coltura è analogo a quello osservato nelle diverse specie legnose. Ciò probabilmente dipende dal turn-over delle radici fini e dalla maggiore produzione di lettiera delle specie legnose rispetto alla canna comune.

Tabella 7 - Medie della produzione media annuale di biomassa anidra delle colture energetiche e della quantità di carbonio organico rilevato nello strato superficiale del suolo, tra 0 e 20 cm di profondità, incremento medio annuale di carbonio e corrispondente immagazzinamento di CO₂ nel suolo alla fine del 7 anno di coltivazione di cinque colture bioenergetiche confrontate con un seminativo ed un prato stabile. Medie associate a lettere uguali non sono significativamente diverse per P<0,05 (LSD).

Coltura	Biomassa anidra in t ha ⁻¹ anno ⁻¹	C nel suolo in t ha ⁻¹	Incremento medio annuale di C in t ha ⁻¹	Immagazzinamento annuale di CO ₂ nel suolo in t ha ⁻¹
Canna comune	39,6 a	37,7 a	1,70	6,23
Miscanto	25,2 b	34,0 ab	1,18	4,32
Robinia	15,3 c	33,9 ab	1,15	4,23
Pioppo	12,0 c	37,7 a	1,70	6,23
Salice	10,8 c	39,4 a	1,94	7,12
Prato stabile	-	31,7 ab	0,84	3,07
Seminativo	-	25,8 b	0,00	0,00

Nessuna differenza invece è stata rilevata nello strato tra 20 e 40 cm di profondità.

Secondo recenti stime (Lal, 2004) nel settore agricolo, il passaggio da un sistema colturale tradizionale, basato sulla lavorazione del suolo, ad uno *no-till* permetterebbe di ridurre le emissioni in atmosfera di 30-35 kg C ha⁻¹ anno⁻¹. Analogamente una riduzione degli interventi colturali nelle colture energetiche dovrebbe favorire un maggior accumulo di carbonio come è avvenuto nella prova di Anzola (BO).

L'eventuale aumento del contenuto di carbonio organico nel suolo non riuscirà comunque a compensare l'incremento attuale di carbonio in atmosfera; secondo sti-

me affidabili il suolo potrebbe assorbire quantità comprese tra 0,4 e 1,2 Gt C anno⁻¹ mentre in atmosfera il carbonio cresce annualmente di 3,3 Gt anno⁻¹. Ai fini del bilancio del carbonio nel suolo è importante anche considerare se esso viene immagazzinato in forma labile, e quindi ritornerà in atmosfera nel giro di pochi anni o in forma stabile con ciclo di vita di secoli o millenni.

L'aumento del carbonio nel suolo non ha solo effetti sulla riduzione delle emissioni di gas ad effetto serra ma anche un effetto positivo sulla fertilità del terreno e quindi sulla produzione. Nel caso dei climi aridi un incremento della sostanza organica contribuisce alla riduzione dei rischi di desertificazione poiché permette di trattenerne con più efficienza l'acqua disponibile, e quindi di gestire meglio i periodi siccitosi (Tonon, 2004).

Bibliografia

- Ceotto E., Librenti I., Di Candilo M., 2010. Can bioenergy production and soil carbon storage be coupled? A case study on dedicated bioenergy crops in the Low Po Valley (Northern Italy). Proceedings of the 18th European Biomass Conference, 3-7 May 2010, Lyon, France. 2261-2264.
- Coleman M.D., Isebrand J.G., Tolsted D.N., Tolbert V.R., 2004. Comparing soil carbon of short rotation poplar plantation with agricultural crops and woodlots in north central United States. *Environmental Management* 33 (1): 299-308.
- Crutzen P.J., Mosier A.R., Smith K.A., Winiwarter W. (2008) N₂O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels. *Atmos. Chem. Phys.*, 8, 389-395.
- Grigal D. F., Berguson W.E., 1998. Soil carbon changes associated with short-rotation system. *Biomass and Bioenergy* 14: 371-377.
- EEA European Environment Agency, 2011. Annual European Union greenhouse gas inventory 1990–2008 and inventory report 2010. Submission to the UNFCCC Secretariat. Technical report No.2/2011.
- Fiala M., Bacenetti J., 2009. Filiera agro energetiche a confronto: bilancio economico, energetico e ambientale. Atti del IX Convegno Nazionale dell'Associazione Italiana di Ingegneria Agraria Ischia Porto. pp 10.
- ISO, 2006. International Organization for Standardization, ISO 14040-44. Url: www.iso.org.
- Kirshbaum M.U.F., 2003. To sink or burn? A discussion of the potential contributions of forests to greenhouse gas balances through storing carbon or providing biofuels. *Biomass and Bioenergy* 24 (2003); 297-310
- Liebig M.A., Schmer M.R., Vogel K.P., Mitchell R.B. 2008. Soil Carbon Storage by Switchgrass Grown for Bioenergy. *Bioenerg. Res.*, 1:215–222.
- Lagomarsino A., De Angelis P., Moscatelli M.C., Grego S., Scarascia Mugnozza G., 2009. Accumulo di C nel suolo di una piantagione di *Populus* spp. in condi-

- zioni di elevata CO₂ atmosferica e fertilizzazione azotata. *Forest@* 6: 229-239
on line URL: <http://www.sisef.it/forest@/>.
- Lal R. 2004. Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security. *Science*:Vol. 304, 1623-1627.
- Post W.M., Know K.C. 2000. Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential. *Global Change Biology* 6: 317-327.
- Righelato R., D.V. Spracklen (2007) Carbon Mitigation by Biofuels or by Saving and Restoring Forests? *Science*, 317, 902.
- Rowe R.L., Street N.R., Taylor G., 2009. Identifying potential environmental impacts of large-scale deployment of dedicated bioenergy crops in the UK. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13: pag 271- 290.
- Seufert G., 2010. Il “Kyoto Experiment” del CCR di Ispra: La Pioppicoltura come sequestratore di carbonio. Presentazione alla VII Edizione Vegetalia Agroenergie, 19-21 Marzo 2010, Cremona.
- Tedeschi V., Federici S., Zenone T., Facciotto G., Bergante S., Matteucci G., Lumicini A., Seufert G., 2005. Greenhouse gases balance of two poplar stands in Italy: a comparison of a Short Rotation Coppice and a Standard Rotation Plantation. In: ‘14^o European Conference & Exhibition, Biomass for Energy, Industry and Climate Protection’ Proceedings of the European Conference held in Paris, France. 17-21 October 2005. 2014-2016.
- Tonon G., 2004. Accumulare carbonio nel suolo è una strategia vincente contro i cambiamenti climatici e la fame nel mondo. *Forest@* 1(2): 76-77. online URL: <http://www.sisef.it/>.
- Tuskan G.A., Walsh M.E., 2001. Short rotation woody crop system, atmospheric carbon dioxide and carbon management: a U.S. case study. *Forestry Chronicle* 77: 259-264.
- Venturi G., Monti A., 2005. Energia da colture dedicate: aspetti ambientali ed agronomici. Conferenza Nazionale sulla Politica Energetica in Italia. Bologna 18-19 aprile 2005. [On-line: www.tecnosophia.org/documenti/2005_04_conferenza_energia_bologna.htm].

2 - Colture energetiche e cambio d'uso del suolo: criticità e sostenibilità

Energy crops and land use: criticity and sustainability

Luigi Pari*, Alessandro Suardi*

Riassunto

L'inarrestabile aumento dei prezzi dei combustibili fossili, unita alle sempre più preoccupanti conseguenze ambientali legate al loro impiego, in un sistema produttivo insostenibile, ormai da anni stanno spingendo la comunità scientifica e i governi, a puntare sull'impiego razionale delle fonti energetiche rinnovabili. Tra queste le biomasse rappresentano senza dubbio un'interessante risorsa energetica, sia termica che elettrica. Se da un lato però la coltivazione di colture dedicate alla produzione di biomassa per scopo energetico rappresenta, come detto, una possibilità di sviluppo, è altresì importante valutare i molteplici impatti ambientali che possono derivare da una loro vasta diffusione. La fase agricola rappresenta uno stadio del processo di produzione delle biomasse, estremamente vario e con impatti ambientali specifici. Gli impatti legati al cambio d'uso del suolo, ad esempio, risultano essere estremamente importanti da valutare, potendo rappresentare una causa di emissioni non trascurabili sia in atmosfera che in idrosfera; fertilizzazioni e lavorazioni del terreno possono comportare rilevanti emissioni sia dirette che indirette. Attraverso le concimazioni si ottiene un più rapido accrescimento delle colture ma questo comporta, allo stesso tempo, importanti ricadute a livello ambientale. Alla luce delle considerazioni fatte, il lavoro cercherà di toccare alcuni aspetti critici legati al cambio d'uso del suolo in agricoltura e all'utilizzo di azoto quale input più impattante. Partendo quindi dal dilemma esistente tra colture food e no-food, si daranno alcune indicazioni sui possibili scenari sostenibili possibili.

Parole chiave: colture energetiche, sostenibilità ambientale, cambio d'uso del suolo, Life Cycle Assessment.

** CRA-ING, Unità di Ricerca per l'Ingegneria Agraria, Monterotondo (Roma).

Abstract

With the relentless rise in prices of fossil fuels and increasingly troubling environmental consequences of their use, in a production system no longer sustainable, scientific communities and governments are pushing to focus on the rational use of renewable energy sources. Biomass, as an alternative energy source has emerged as the most appealing resource to produce heat and electricity. While the cultivation of dedicated energy crops to produce biomass is a probable direction for development, it is also important to evaluate the multiple environmental impacts that may result from its intense exploitation. The agricultural phase is one aspect of the production of biomass that is extremely diverse with different and specific environmental impacts. The impact from changes in land use, for example, is also connected to atmosphere and hydrosphere emissions, such as the amount of nitrogen released from the soil during tillage or fertilization. Fertilization achieves more rapid growth of the crop but this has important repercussions on the environment. In light of these considerations, this study analyzes the effects of the change of land use in agriculture as well as the major input and impacts (nitrogenous fertilizers and green house gases) connected to this change. Starting with the dilemma between food and non-food crops, the study will provide some indication of possible sustainable scenarios.

Keywords: *Energy crops, sustainability, land use, Life Cycle Assessment.*

Entro il 2020 l'Italia ha assunto l'obiettivo di coprire con l'energia da fonti rinnovabili il 17% dei suoi consumi finali lordi (Ministero dello Sviluppo Economico, 2010). Tra queste, le biomasse rappresentano una fonte di carbonio utilizzabile per la produzione di energia, sia termica che elettrica, su cui le politiche e i piani strategici italiani stanno puntando. L'interesse per lo sfruttamento della biomassa per la produzione di energia non è nuovo; in tutta la storia dell'umanità il legno è stato usato come la fonte primaria di energia per il riscaldamento e la cottura dei cibi (Nonhebel, 2005).

Un secolo fa il 20% dei terreni a seminativi in Europa e in Nord America erano destinati alla produzione di avena, il cereale che rappresentava la quota maggiore nelle diete alimentari di cavalli e muli per il trasporto agricolo e urbano (Gressel, 2008). Nel 1890 circa il 75% dell'energia era ancora fornita da combustibili a biomassa, mentre il carbone copriva la restante parte (Smil, 1994). Nel periodo compreso tra il 1890 e il 1990, a causa della disponibilità di petrolio a basso prezzo, la produzione energetica mondiale è passata dai biocarburanti ai combustibili fossili (Galloway e Cowling, 2002). Ad oggi, più del 60% del complesso di tutte le estrazioni petrolifere mondiali è destinato ad essere utilizzato come combustibile per il trasporto, e più del 96% dell'energia utilizzata dal settore dei trasporti proviene dal

petrolio (U.S. Energy Information Administration, online), per questo l'articolo punterà l'attenzione principalmente sulle colture energetiche per la produzione di biocarburanti e sugli aspetti ambientali estremamente importanti quali l'uso del suolo, il suo cambio di destinazione e la fertilità. Quale fonte non rinnovabile il petrolio è destinato a passare in disuso o ad esaurirsi prima della fine del secolo corrente. Si presenta quindi la necessità di trovare un'alternativa al suo uso per continuare a fornire energia specifica soprattutto per il settore dei trasporti, prima di una futura rivoluzione energetica e distributiva.

Il rinnovato interesse verso le colture energetiche per la produzione di biocombustibili (tra cui il bioetanolo e il biodiesel) risulta quindi essere la conseguenza di una serie di aspetti politici, economici e sociali che Koh e Ghazoul nei loro studi (2008) hanno riassunto in tre motivi principali:

1. raggiungere la sicurezza energetica: l'instabilità politica di paesi ricchi di petrolio e gas, combinata con l'aumento dei prezzi dell'energia, hanno spinto molti paesi a diversificare il loro portafoglio energetico cercando di ridurre la dipendenza dai combustibili fossili importati. La minaccia di congelamento e di buio è sicuramente la motivazione principale per la promozione della bioenergia.
2. la percezione generale che il passaggio da combustibili fossili a biocarburanti possa contribuire nel limitare l'aumento delle emissioni di gas a effetto serra, anche se il dibattito in corso risulta essere alquanto acceso.
3. promuovere lo sviluppo rurale: una diffusione capillare di biomassa per la produzione di energia, può favorire l'occupazione e maggiori entrate per le popolazioni delle aree rurali. L'incremento del prezzo dei cereali, potenzialmente attribuibile all'aumento della domanda per produrre biocarburanti, può essere visto come un beneficio per le popolazioni rurali (Koh e Ghazoul, 2008).

Questi aspetti vanno visti alla luce degli investimenti e dei milioni di ettari che entro il 2020 verranno dedicati alla produzione di biomassa per fini energetici in tutta Europa (European Commission, 2005) con conseguenti impatti ambientali, economici e sociali per certi versi ancora non del tutto chiari. Tra gli impatti ambientali attribuibili al settore primario, sicuramente i cambiamenti di uso del suolo possano incidere in modo importante su tutta una serie di aspetti ambientali (Firbank, 2008). Pertanto la diffusione su larga scala delle colture energetiche ha dato il via ad una serie di infiniti dilemmi tra cui la possibile minaccia che i biocarburanti possono causare alla sicurezza alimentare. L'incremento della domanda globale di cibo, combinata alla competizione per il suolo tra le colture alimentari e quelle destinate alla produzione di biocarburanti, continuano a rimanere questioni di grande preoccupazione per i governi (Monti *et al.*, 2009). Allo stesso tempo, un certo numero di studi, indicano che dal 15% al 75% delle superfici impiegate per la produzione agricola convenzionale potrebbero, entro il 2050, essere disponibili per la produzione di biomassa da colture energetiche dedicate, senza conseguenze sull'aumento dei prezzi degli alimenti (Smeets *et al.*, 2007). Numerosi sono gli articoli scientifici che si occupano di

colture energetiche e dei loro impatti ambientali, ma risultano tuttora necessari ulteriori indagini, al fine di fare maggiore luce su questi aspetti, soprattutto a seguito di recenti ricerche che hanno ottenuto risultati controversi sui reali benefici apportati dalle colture energetiche (Monti *et al.*, 2009).

Studi di Pimentel e Patzek (2005) mostrano che l'utilizzo di mais o biomassa ligno-cellulosica per la produzione di bioetanolo richiede dal 29% al 57% di combustibili fossili in più rispetto all'etanolo prodotto. Altri studi (Searchinger *et al.*, 2008) sottolineano che la produzione di bioetanolo da switchgrass in terreni da sempre vocati alla coltivazione del mais, comportavano, per esempio, un'emissione di carbonio in atmosfera superiore del 50% (Monti *et al.*, 2009). Continuando, Fargione *et al.* (2008) hanno dimostrato che la conversione dell'ecosistema naturale in colture energetiche comporterebbe un debito di carbonio così alto da non poter essere recuperato per decenni o centinaia di anni, dal solo biocombustibile producibile. Allo stesso tempo Fargione ha anche osservato come le colture poliennali da energia in terreni marginali comportano un basso o assente debito in carbonio con positivi impatti sul clima (Fargione *et al.*, 2008).

Sempre Pimentel (1992) e Tilman (Tilman *et al.*, 2006) affermano inoltre che le filiere produttive dei biocarburanti, proprio per le alte produzioni richieste, azzerano i benefici energetici e la riduzione delle emissioni climalteranti ottenibili nel sostituire i combustibili fossili.

La criticità maggiore è sicuramente legata al possibile aumento della produzione industriale di fertilizzanti azotati. Questi infatti associano all'elevato costo energetico necessario alla loro produzione, il rilascio successivo in atmosfera di ossido di azoto, uno tra i più potenti gas ad effetto serra.

Nel 2009 Tilman *et al.* hanno evidenziato come, nella ricerca della migliore soluzione al problema energetico globale e alla sicurezza alimentare, le società non avrebbero potuto accettare gli effetti negativi prospettati da una produzione di biocombustibili effettuata in modo non sostenibile. Allo stesso tempo, non avrebbero accettato di perderne i benefici nel caso di produzioni compatibili dal punto di vista economico ed ambientale (Tilman *et al.*, 2009). Gli stessi autori hanno sottolineato che la sostenibilità delle colture energetiche è anche legata ad una loro bassa o assente competizione con le colture alimentari. Per questo risulta utile prima di tutto distinguere tra biocarburanti di prima e di seconda generazione. Alla base delle differenze troviamo la competizione con le colture alimentari e l'efficienza del bilancio del carbonio. I biocarburanti di prima generazione sono ottenuti essenzialmente da colture impiegate anche per produrre cibo e permettono una limitata, se presente, riduzione dell'effetto serra. La seconda generazione di biocarburanti, invece, sono ottenuti da colture non alimentari o dai residui delle colture alimentari ed è stato stimato che siano in grado di ridurre del 50%, le emissioni di gas serra (Erisman *et al.*, 2009). È assai noto che, le colture lignocellulosiche poliennali possono portare ad un importante contributo ambientale rispetto alle colture annuali (Rowe *et al.*, 2009).

Risulta chiaro come lo stimare gli impatti ambientali delle attività agricole sia fondamentale per riuscire a portare avanti l'obiettivo della sostenibilità. Tra i differenti approcci possibili, il Life Cycle Assessment (LCA) che tradotto corrisponde alla Valutazione del Ciclo di Vita, è uno tra i metodi conosciuti più rigorosi la stima di tutti gli impatti ambientali di un prodotto, processo o sistema (Spugnoli *et al.*, 2009).

Tale metodologia permette di raggiungere due importanti obiettivi:

- valutare l'impatto ambientale complessivo della filiera energetica a partire dalla produzione della biomassa fino alla sua conversione energetica. Oltre alle emissioni dirette dei singoli processi (per esempio i fumi di combustione emessi da una caldaia) vengono calcolate anche le cosiddette emissioni indirette associate ai processi di produzione di ciascun materiale considerato come input nella filiera energetica.
- paragonare, sempre da un punto di vista energetico e ambientale, la filiera energetica oggetto di studio ad altre filiere energetiche che abbiano stessa funzionalità e stessi output.

Uno studio LCA si articola in 4 fasi principali:

- definizione degli scopi e degli obiettivi (goal and scope definition) è la fase preliminare in cui vengono definiti le finalità dello studio, i criteri di acquisizione dei dati, l'unità funzionale, i confini del sistema studiato, il fabbisogno di dati, le assunzioni ed i limiti;
- inventario (life cycle inventory, LCI) rappresenta la prima fase operativa, dedicata allo studio del ciclo di vita del processo o attività; lo scopo principale è quello di ricostruire il flusso dell'energia e dei materiali che permettono il funzionamento del sistema produttivo in esame e dei relativi sottoprocessi;
- analisi degli impatti LCIA (life cycle impact assessment) è lo studio dell'impatto ambientale provocato dal processo o dall'attività, ed ha lo scopo di evidenziare l'entità delle alterazioni ambientali generate a seguito dei consumi di risorse e delle emissioni calcolati nell'inventario;
- interpretazione e miglioramento (life cycle engineering) è la parte conclusiva di una LCA, facoltativa nella procedura delineata dalle normative ISO, che ha lo scopo di evidenziare i cambiamenti necessari a ridurre l'impatto ambientale dei processi o attività considerati, proponendo alternative, valutandole in maniera iterativa con la stessa metodologia. Questi diversi momenti di analisi costituiranno il punto di riferimento per gli interventi su un processo di produzione esistente o per il progetto di un nuovo prodotto.

Il Life Cycle Assessment (LCA) in agricoltura

L'LCA è un approccio sistemico per valutare l'impatto ambientale di prodotti, servizi e processi definito "from cradle to grave" (dalla culla alla tomba) che prevede

un'analisi quantitativa approfondita dei flussi di materia ed energia che partecipano alla creazione di un prodotto, processo o servizio, partendo dall'estrazione e trasformazione delle materie prime, attraverso la produzione, il trasporto e l'utilizzo, fino al riciclo o allo smaltimento dello stesso, permettendo di individuare le fasi in cui si concentrano maggiormente le criticità ambientali, i soggetti che dovranno farsene carico (produttore, utilizzatore ecc.) e le informazioni necessarie per realizzare gli interventi migliorativi.

La standardizzazione della metodologia è stata compiuta da SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) e da ISO (International Standard Organization) che ha definito ed emanato una norma che offre riferimenti per la corretta applicazione dell'analisi del ciclo di vita (la norma UNI EN ISO 14040:44).

L'LCA oggi è prevalentemente impiegata nello studio di processi industriali, ma l'interesse dell'applicazione di questa metodologia risulta crescente anche su processi agricoli, nei quali però, le variabili climatiche, pedologiche e biologiche pongono alcuni limiti di precisione e di validità dei risultati ottenuti.

L'impatto ambientale dei sistemi agricoli oggi è pertanto molto spesso dibattuto, tuttavia sono molto pochi gli studi che prendono in considerazione il problema da un punto di vista multi-criteriale. Spesso infatti gli studi sull'effetto ambientale sono limitati alla lisciviazione azotata, all'erosione, o comunque correlati al livello di input agronomici utilizzati nei processi di coltivazione.

Attuando appositi accorgimenti, la metodologia LCA risulta comunque efficace anche nel valutare il carico ambientale derivante dalla pratica agricola. I sistemi agricoli contribuiscono ad un'ampia gamma di tipologie di impatto ambientale (es. acidificazione, cambiamento climatico, eutrofizzazione etc.), ma l'analisi dei singoli effetti, come possono ad esempio essere le perdite di azoto, non consente di trarre una conclusione da un punto di vista globale. Inoltre nel caso di comparazione tra due sistemi di produzione differenti, non consente di stabilire quale di essi sia il meno impattante. Risulta quindi necessario approfondire in maniera sito-specifica alcuni aspetti, per ottenere un risultato attendibile. Ad esempio, per la lisciviazione azotata, non può essere preso un valore di riferimento, ma lo studio deve essere approfondito con un apposito modello, che tenga conto del tipo di terreno, della piovosità dell'areale considerato, della distribuzione delle piogge in relazione all'epoca di concimazione etc. (Fazio, 2010)

La LCA è stata creata per studiare tutti gli impatti ambientali connessi ad un intero processo produttivo, quindi utilizzando questa metodologia non si determinano esclusivamente gli impatti derivanti dalla produzione delle colture solo sul campo, ma anche tutti gli impatti connessi alla realizzazione dei fattori di produzione, come ad esempio le emissioni e il consumo di risorse dovuta alla produzione di fertilizzanti. È ovvio che la fase agricola, nella concezione aziendale tipica dei paesi industrializzati, non è quasi mai fine a se stessa, l'intero ciclo di vita del prodotto agricolo infatti, passa quasi sempre per una fase agro-industriale, o di commercializzazione. Lo studio LCA del processo di coltivazione quindi, deve es-

sere integrabile con i risultati di studi analoghi del resto della filiera, pertanto le metodologie applicate e gli indicatori ambientali considerati devono essere il più possibile omogenei (Fazio, 2010).

Esistono alcuni effetti ambientali, tipicamente territoriali o biologici, fortemente influenzati dai processi agricoli (e.g. erosione, immagazzinamento del carbonio e di altri elementi), che sono inesistenti nelle successive fasi di produzione, ma che hanno una ricaduta importante sull'impatto locale e globale dei processi di coltivazione. Tra questi, l'uso del suolo (land use) rappresenta uno tra i maggiori impatti ambientali attuati dalle attività antropiche: difficile da modellizzare non basandosi su bilanci di massa ed energia. Il lavoro cercherà di toccare quindi alcuni aspetti critici legati al cambio d'uso del suolo in agricoltura e agli input (concimi azotati) che, a cascata, portano ad ulteriori impatti nell'atmosfera e nell'idrosfera. Partendo dalle considerazioni fatte da Ceotto E. e Di Candilo M. in un loro lavoro (2010) si riassumono in fine gli aspetti su cui poter intervenire al fine di mantenere intatta la fertilità dei terreni, riducendo i consumi energetici e le emissioni climalteranti.

Competizione per il suolo: colture bioenergetiche vs colture alimentari

Da un punto di vista propriamente ecologico, l'uso dei combustibili fossili era stato definito come "terra prestata dal passato" perché il carbonio stoccato nelle riserve fossili era stato accumulato attraverso la fotosintesi in milioni di anni (Wackernagel e Rees, 1993). In quest'ottica, la sostituzione dei combustibili fossili con i biocarburanti implica che la terra prestata dal passato diventi una porzione reale di terreno usata nel presente, consumando l'attuale capacità bioproduttiva (Stoeglehner e Narodslawsky, 2009). Stoeglehner e Narodslawsky nel 2009 hanno usato il concetto di impronta ecologica (ecological footprint), con il significato di quantità di terra necessaria per sostenere le attività umane considerate. Nel caso dei combustibili fossili l'impronta ecologica può essere stimata in due modi:

- attraverso la determinazione dell'area necessaria per produrre la stessa quantità di energia dalle risorse agricole;
- stimando l'area necessaria per sequestrare la CO₂ emessa durante la combustione dei combustibili fossili (Stoeglehner e Narodslawsky, 2009).

Superfici coltivabili, una risorsa in diminuzione

Spiertz nel 2009 mise in luce la ridotta disponibilità e la vulnerabilità delle terre coltivabili su scala globale (Spiertz e Ewert, 2009).

Attualmente, l'ammontare della terra media arabile pro capite è circa 0,45 ha, anche se questa superficie è distribuita disugualmente tra le nazioni: la Cina, per esem-

pio ha solamente il 7% della terra coltivabile mondiale. Nonostante questo deve alimentare approssimativamente il 20% della popolazione globale.

Ma a questo punto, la questione più importante a cui rispondere è: quanta superficie, di questi 0.45 ha per persona impiegati per la produzione di cibo, può essere destinata alla produzione di bio-carburanti? Sebbene le superfici necessarie per la produzione di colture energetiche, non insistano solamente sulle terre coltivabili per l'alimentazione umana, al tempo stesso, entro il 2050 le previsioni indicano un raddoppiamento della richiesta di cibo a livello globale (Koning *et al.*, 2008). Questo aumento dei consumi è legato a due aspetti principali: la crescita della popolazione mondiale ed il trend corrente del cambiamento della dieta dei Paesi in via di Sviluppo, con un aumento previsto del consumo di carne da 40 ad 80 kg per anno per persona (Spiertz, 2009).

Oltre all'aumento del consumo di carne, incide anche in maniera non trascurabile l'aspetto qualitativo dello stesso. Infatti, il consumo crescente dei non ruminanti (come maiali e polli) ha spostato la richiesta produttiva dai foraggi ai seminativi, con conseguente aumento degli inputs impiegati sulle superfici coltivabili.

Inoltre Koning *et al.* (2008) avevano congetturato che, entro il 2050, il 3% di ogni terreno coltivato potenziale, sarebbe stato impiegato per la costruzione di edifici, strade e parcheggi ecc.

Certamente l'impiego dei fertilizzanti azotati ha migliorato la produttività dei sistemi agricoli, elevando l'efficienza di utilizzazione della radiazione solare, con un aumento della produzione dei raccolti di circa il 2%. Senza approvvigionamento di azoto molto più terra sarebbe necessaria, per cui, i fertilizzanti possono essere considerati come uno strumento per risparmiare terra coltivabile (Loomis e Connor, 1992; IFA, 2009). Nonostante l'aumento di efficienza, la quantità di terreno coltivabile implica attualmente un consumo di energia enorme.

Mentre il Brasile per produrre il 10% del suo intero consumo di combustibile richiederebbe solo il 3% della propria superficie agricola, per gli Stati Uniti raggiungere quel target significherebbe occuparne il 30% e per l'Europa il 72% (Pearce, 2006).

Differenti ma comunque impressionanti risultano le stime dell'International Energy Authority secondo cui, per coprire il 10% del fabbisogno di Diesel e Benzina negli USA e in Europa, si richiederebbero rispettivamente il 43% ed il 38% delle superfici attualmente coltivate (IEA, 2004).

Questo implicherebbe la necessità di convertire zone naturali, foreste e praterie in aree agricole per la coltivazione di colture energetiche, con una conseguente e rapida ossidazione del carbonio immagazzinato nel terreno e nella biomassa, e con emissioni di molto superiori rispetto ai benefici raggiungibili dalla produzione di bio-combustibili (Righelato e Spracklen, 2007).

Searchinger *et al.* (2008) hanno utilizzato un modello agricolo per stimare le emissioni derivate dai cambiamenti nell'uso dei suoli. In base a questo stimarono che il mais per la produzione di etanolo, coltivato su terreni forestali riconvertiti, avrebbe bisogno di 167 anni per ripristinare il credito di carbonio.

Pertanto, l'uso efficiente dei terreni, sia per scopi alimentari che per il sequestro del carbonio, si rivela uno strumento incredibilmente potente ai fini strategici e decisionali sia a livello locale che globale.

Colture energetiche e ciclo dell'azoto

L'integrazione di azoto alle colture è una pratica agronomica fondamentale per migliorare la produttività e il reddito economico, sia nelle colture alimentari che in quelle energetiche.

Erisman *et al.* nel 2009 hanno indicato che la produttività del grano ben concimato è 4,5 volte superiore rispetto a quello che non riceve apporti di azoto (Erisman *et al.*, 2009). Inoltre, l'assimilazione totale di CO₂ netta di una coltura in condizioni non limitanti, permette di coprire le emissioni coinvolte nella produzione dei fertilizzanti minerali utilizzati per sostenere la sua crescita (Ceotto, 2005). Di conseguenza, nelle terre coltivate, molto più carbonio viene fissato nella biomassa e nella sostanza organica del suolo. Risulta quindi chiaro che la concimazione azotata può essere considerata uno strumento molto efficace per migliorare l'efficienza con cui vengono utilizzati i terreni coltivati. Purtroppo, l'azoto applicato alle colture sotto forma di concimi e fertilizzanti, è dato in maniera inefficiente (30-60%) nella maggior parte dei sistemi colturali (Helsel, 1992). Di conseguenza, la frazione non utilizzata può contaminare risorse idriche superficiali e suolo, oppure può disperdersi in atmosfera (Kitchen e Goulding, 2001). Diversi esperimenti hanno segnalato perdite dal 20% al 50% di fertilizzanti azotati nella produzione cerealicola. Queste perdite sono state attribuite agli effetti combinati di denitrificazione, volatilizzazione e dilavamento (Raun e Johnson, 1999).

Implicazioni dei concimi azotati minerali sull'energia e i gas climalteranti

Mentre circa un terzo dell'energia fossile impiegata dall'agricoltura moderna è consumata direttamente nell'azienda agricola, per esempio sotto forma di combustibile (diesel) ed elettricità, i rimanenti due terzi sono consumati indirettamente per la produzione di beni, impiegati nelle attività agricole (Ceotto, 2005). Il principale uso indiretto dell'energia fossile è legato alla produzione ad alta intensità energetica dei fertilizzanti azotati di sintesi. Gli inputs di energia necessari per la produzione di fertilizzanti a base di fosforo e potassio è molto inferiore rispetto a quelli azotati (Helsel, 1992). Nella maggior parte delle analisi energetiche di filiere agricole, l'energia attribuita ai fertilizzanti azotati varia dal 30% al 50% dell'energia fossile totale (Kitchen e Goulding, 2001). La maggior parte del fabbisogno energetico del settore è

utilizzato nella produzione di ammoniaca, il composto da cui tutti i fertilizzanti azotati derivano. I combustibili fossili più comunemente utilizzati per la produzione di fertilizzanti sono il gas naturale (67%), il carbone (27%), l'olio combustibile (3%) e, in misura minore, la nafta (2%) (IFA, 2004). Nel complesso, la produzione di fertilizzanti azotati richiedono circa l'1,2% di energia fossile utilizzata in tutto il mondo (Erisman *et al.*, 2009). In effetti, questa è solo una piccola parte dell'energia totale adoperata dalle società moderne, soprattutto se si considera l'importanza dell'agricoltura nella vita dell'uomo. Mentre un uso più parsimonioso del consumo di energia fossile potrebbe essere raggiunto dai sistemi agricoli, le emissioni di gas a effetto serra legate all'uso di fertilizzanti azotati industriali rappresenta un duplice problema. È utile distinguere tra le emissioni precedenti e quelle successive all'applicazione in campo dei fertilizzanti. Le emissioni di gas a effetto serra precedenti all'applicazione in campo sono la conseguenza di energia fossile utilizzata per la produzione industriale di fertilizzanti azotati. Trasporto e distribuzione in campo comportano delle emissioni aggiuntive. Le emissioni successive all'applicazione in campo dei fertilizzanti azotati sono dovute al rilascio di protossido di azoto (N_2O). Tra i sottoprodotti indesiderati dell'azoto applicato in agricoltura, il più preoccupante è proprio il protossido di azoto, un composto originato dagli ecosistemi terrestri a seguito del processo di denitrificazione. Nei suoli agricoli, l'aumento di azoto minerale disponibile, porta ad una maggiore nitrificazione e denitrificazione, e di conseguenza anche un aumento delle emissioni di protossido di azoto (Lal e Pimentel, 2007). Questo è un gas serra con un potenziale medio di riscaldamento globale (GWP) di 100 anni, 296 volte maggiore della CO_2 . Come fonte di NO_x , svolge anche un ruolo importante nella chimica dell'ozono stratosferico (Crutzen *et al.*, 2009). L'efficacia del protossido di azoto nel trattenere il calore è la causa principale del suo tempo di permanenza in atmosfera di 114 anni (FAO, 2006).

In accordo con studi di Mosier (Mosier *et al.*, 1998) essendo le molecole di azoto riutilizzate all'interno dei cicli del terreno, più volte prima di essere denitricate, al fine di ridurre le perdite, risulta importante minimizzare l'uso di azoto minerale nella concimazione delle colture bioenergetiche. Dai risultati di Crutzen *et al.* (2008) le emissioni stimate di protossido di azoto, emesse dai terreni con colture ad alta richiesta di azoto (come mais o colza) risultate dell'ordine del 3-5% (notevolmente superiori rispetto all'1% dell'IPCC). Gli stessi hanno comunque affermato che "piante energetiche", come il panico verga (*Panicum virgatum*) e miscanto (*Miscanthus x giganteus ibrido*), potrebbero avere un effetto moderatamente positivo sul clima, proprio grazie al loro inferiore rapporto di azoto per kg di sostanza secca prodotta (Crutzen *et al.*, 2008).

Infatti una strategia valida per minimizzare gli effetti indesiderati sull'ambiente legati all'applicazione dell'azoto minerale rimane sicuramente quella di coltivare colture energetiche che permettono elevata produttività con basso apporto di fertilizzanti azotati. Erisman *et al.* (2009) ha studiato che applicando 192 kg ha^{-1} di azoto è possibile produrre $9,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ di frumento, mentre il raccolto in assenza di concima-

zione azotata si abbassa a 2,07 Mg ha⁻¹. Così, l'efficienza complessiva dell'uso di azoto, nel grano può raggiungere i 37,7 kg di granella per kg di azoto applicato. Risultati simili sono stati ottenuti con il mais (Erisman *et al.*, 2009). Spiertz (2009) ha indicato che la resa di granella di mais può essere portata da 3 a 14 Mg ha⁻¹ con un adeguato apporto di N (Spiertz, 2009). È interessante notare che Angelini *et al.* (2005), lavorando sulla canna comune, hanno ottenuto una produzione media di 27 Mg ha⁻¹ di biomassa con una fertilizzazione annuale di 200 kg di azoto. Sorprendentemente la produttività della tesi non concimata è stata di 23 Mg di biomassa per ettaro (Angelini *et al.*, 2005). Mentre l'efficienza di uso dell'azoto nella canna comune è inferiore ai cereali (circa 20 kg di biomassa prodotta per kg N applicato), la produttività di questa specie è risultata al contrario eccezionale alla luce di un periodo di 6 anni senza fornitura di azoto. La spiegazione risiede probabilmente sull'uso prudente di azoto da parte delle colture poliennali rizomatose, attraverso una traslocazione dello stesso dalla parte epigea a quella ipogea durante il periodo invernale. Per tale motivo il taglio della canna, che si fa in inverno, comporta ridotte perdite di azoto rispetto ad altre colture. Pertanto le colture lignocellulosiche perenni hanno molto da offrire se l'obiettivo è quello di produrre biomassa per energia riducendo gli apporti di fertilizzanti azotati.

Sfruttamento delle colture con duplice scopo: alimentari ed energetiche, sullo stesso terreno e nel medesimo tempo

In questa continua competizione tra colture energetiche e colture alimentari i residui possono rappresentare un compromesso interessante se gestiti nel modo corretto. I cereali, e in particolare il frumento, possono essere considerati come colture dal duplice scopo e potrebbe essere conveniente sfruttarli per produrre, sulla stessa superficie, materie prime alimentari e biomasse. Come Ceotto (2008) ha sottolineato, dal momento che circa la metà della materia secca prodotta dai cereali non ha alcun valore nutritivo e non può essere impiegata per l'alimentazione umana, i residui delle colture possono potenzialmente fornire una fonte strategica di biocarburanti. Grazie al suo basso contenuto di azoto (~ 0,5% della sostanza secca) e un basso contenuto di umidità (10-13% del peso totale) la paglia di grano è particolarmente adatta per essere bruciata per ottenere energia in forma di calore ed elettricità, con basse emissioni di azoto. Anche la paglia di mais è adatta, anche se normalmente è raccolta a contenuti di umidità più elevati. Infatti, il vantaggio principale dei residui del raccolto si trova proprio sul suo basso contenuto di umidità al momento della raccolta. Questo comporta una diminuzione dei costi energetici per il trasporto e per l'evaporazione dell'acqua durante la combustione. L'uso della paglia per la produzione di energia certamente non minaccia la sicurezza alimentare globale, se però viene mantenuta la fertilità del terreno. Al contrario, un reddito aggiuntivo derivante dai resi-

dui delle colture alimentari, potrebbe stimolare gli agricoltori a produrre più cereali. Tuttavia, è importante sottolineare che l'uso di paglia per l'energia implica che l'energia fossile e le emissioni di gas ad effetto serra relative alla concimazione azotata, siano attribuibili alla produzione di granella, dove viene allocata la maggior parte dell'azoto. Il grano cresce su 200 milioni di ettari di terreni agricoli in tutto il mondo (Ortiz *et al.*, 2008), quindi la potenzialità derivante dallo sfruttamento della paglia come fonte di energia è grande. Certamente, i residui delle colture sono un bene prezioso, indispensabile al mantenimento della fertilità del suolo e per prevenire l'erosione (Lal, 2004). Quindi, si pone una questione cruciale: qual'è la frazione dei residui delle colture che potrebbero essere raccolti dal campo senza intaccare la sostanza organica e senza ridurre o aumentare l'erosione del suolo? Una ricerca Canadese di Lafond *et al.* (2009) hanno valutato l'effetto della rimozione della paglia sul carbonio organico del suolo e sulla produttività di grano. Essi hanno riscontrato che, a seconda del sistema di raccolta impiegato, solo il 26-40% del totale dei residui fuori terra delle colture, tolta la granella, vengono rimossi con la pressatura. Essi hanno inoltre indicato che 50 anni di rimozione di paglia non ha influenzato le rese di granella e la concentrazione proteica della stessa. Inoltre non sono state riscontrate differenze significative misurabili sulla quantità di carbonio organico del suolo (Lafond *et al.*, 2009). Lal e Pimentel (2007) non sono d'accordo, sottolineando che le colture bioenergetiche dovrebbero essere coltivate in terre specificamente individuate, come terreni marginali e d'avanzo, suoli degradati o drasticamente disturbati (Lal e Pimentel, 2007). Gressel (2008) invece suggerisce che potrebbe essere saggio effettuare il taglio della paglia a maggior altezza, rimuovendo solo l'80% dei residui destinati per i biocarburanti e lasciando il resto al suolo.

Conclusioni

La quantità di terra che potrebbe essere dedicata a colture energetiche senza effetti dannosi in termini di emissioni di gas serra e di disponibilità di cibo è limitata, quindi è fondamentale migliorare la produttività per unità di superficie. Nel frattempo, la sfida è quella di minimizzare la quantità di fertilizzanti azotati di sintesi utilizzati per la crescita delle colture da biomassa.

Ci sono diverse vie da intraprendere per migliorare l'efficienza produttiva di biomassa:

- attraverso una corretta classificazione e quantificazione, a livello regionale, del terreno adatto e dedicato per la produzione di bioenergia. Oltre alle terre marginali, poco adatte per la coltivazione dei seminativi a causa della loro bassa fertilità, sarebbe importante considerare anche le terre arabili che, a causa di elevata tossicità o per motivi sanitari, non potrebbero essere utilizzate per la produzione di cibo o foraggio per il pascolo (es. aree inquinate, vicinanze di impianti indu-

striali, impianti di scarico o incenerimento dei rifiuti urbani, strisce circostanti le autostrade, ecc.). Il termine “terra marginale” si riferisce normalmente al basso valore economico che la contraddistingue; la conversione di terreni a pascolo, zone umide o foreste per la coltivazione di biocarburanti dovrebbe, anche se in terreni marginali, essere attentamente valutata dal punto di vista ecologico e ambientale. Il messaggio principale di questa revisione è pertanto che la bioenergia dovrebbe essere vista come un prodotto complementare alla produzione degli alimenti e dei mangimi, ma soprattutto un prodotto da ottenere con filiere molto efficienti in termini di uso del suolo, dell’azoto e dell’acqua. L’uso sostenibile del territorio potrebbe essere migliorato integrando i terreni disponibili per la produzione di colture alimentari e i pascoli, con terreni per la produzione di colture energetiche.

- sulle superfici disponibili per la produzione delle colture energetiche, dovrebbero essere incoraggiate solo le colture con le caratteristiche migliori ed in particolare le poliennali che permettono il sequestro del carbonio nel terreno, apportando contemporaneamente importanti servizi ecologici come l’impollinazione e la conservazione di specie animali selvatiche, aumentando così la biodiversità.
- l’uso dei residui dei seminativi per la produzione di energia merita ulteriori considerazioni. Utilizzare la stessa superficie per la produzione di cereali per produrre cibo e paglia per la bioenergia, potrebbe essere un compromesso valido. Rotazioni colturali e altezze di taglio adeguate sono necessariamente importanti per garantire il contenuto di sostanza organica del suolo, e quindi la sua fertilità, aspetti che altrimenti si esaurirebbero nel corso del tempo.

Al fine di realizzare questi obiettivi, risulta chiaro come proprio le politiche, supportate da studi e basi scientifiche, siano la chiave di svolta per un utilizzo ed uno sfruttamento razionale del territorio, che risulti sostenibile da un punto di vista economico, ambientale e sociale.

Bibliografia

- Angelini G.L., Ceccarini L., Bonari E. (2005) Biomass yield and energy balance of giant reed (*Arundo donax* L.) cropped in central Italy as related to different management practices. *European Journal of Agronomy*, 22, pp. 375-89. DOI:10.1016/j.eja.2004.05.004.
- Ceotto E. (2005) The issues of energy and carbon cycle: new perspectives for assessing the environmental impact of animal waste utilization, *Bioresource Technol.* 96, pp. 191-196. DOI: 10.1016/j.biortech.2004.05.007.
- Ceotto E., Di Candilo M., (2010) Sustainable bioenergy production, land and nitrogen use. In: Lichtfouse E. (ed.) *Biodiversity, Biofuels, Agroforestry and Conservation Agriculture. Sustainable Agriculture Reviews*, Vol. 5, pp. 101-122.

- Crutzen P.J., Mosier A.R., Smith K.A., Winiwarter W. (2008) N₂O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels. *Atmos. Chem. Phys.*, 8, pp. 389-395.
- Crutzen P.J., Mosier A., Smith K., Winiwarter W. (2009) Atmospheric N₂O Releases from Biofuel Production Systems: A Major Factor Against “CO₂ Emission Savings”: A Global View. In: C. Zerefos, G. Contopoulos, Skalkeas G. (Eds.) *Twenty Years of Ozone Decline, Proceedings of the Symposium for the 20th Anniversary of the Montreal Protocol*. Pp. 67-70. DOI: 10.1007/978-90-481-2469-5.
- Erisman J.W., van Grinsven H., Leip A., Mosier A., Bleeker A. (2009). Nitrogen and biofuels; an overview of the current state of knowledge. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*
- Erisman J.W., van Grinsven H., Leip A., Mosier A., Bleeker A. (2009). Nitrogen and biofuels; an overview of the current state of knowledge. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* (in press) DOI 10.1007/s10705-009-9285-4.
- European Commission. (2005). *Action Plan for Energy Efficiency: Realising the Potential*. Brussels: s.n., 7.12.2005 COM(2005) 628.
- FAO (2006) *Livestock long shadows, environmental issues and options*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. The Livestock, Environment and Development (LEAD) Initiative website: <http://www.virtualcenter.org>. Chapter 3: Livestock role in climatic change and air pollution, pp. 79-133.
- Fargione J., Hill J., Tilman D., Polasky S., Hawthorne P. (2008). Land clearing and biofuel carbon debt. *Science*. Vol. 319, 5867, pp. 1235-8.
- Fazio S. *Analisi ambientale della coltivazione di biomasse a scopo energetico con metodologia Life Cycle Assessment (LCA)*. (2010). Tesi di Dottorato in Colture Erbacee, Genetica Agraria, Sistemi Agroterritoriali. Bologna. pp. 65-67.
- Firbank L.G. (2008). *Assessing the Ecological Impacts of Bioenergy Projects*. *Bioenerg. Res.* 1, pp. 12-19.
- Galloway J.N., Cowling E.B. (2002). Reactive Nitrogen and The World: 200 Years of Change. *Ambio.*, 31, pp. 64-71.
- Gressel J. (2008). Transgenic are imperative for biofuel crops. *Plant science*. 174, pp. 246-263.
- Helsel, Z.R. (1992) Energy and alternatives for fertilizer and pesticide use,. In: Fluck, R.C. (Ed.), *Energy in Farm Production*. Vol. 6, Stout B.A. (Ed.) *Energy in World Agriculture*, Elsevier Science, Amsterdam pp. 177-202.
- Kitchen N.R., Goulding K.W.T. (2001) On farm technologies and practices to improve nitrogen use efficiency. In: Follett R.F., Hatfield J.L. (Eds.) *Nitrogen and the environment: Sources, Problems and Management*. Elsevier Science B.V., Amsterdam, pp. 335-369.

- Koh L.P., Ghazoul J. (2008). Biofuels, biodiversity, and people: Understanding the conflicts and finding opportunities. *Biological Conservation*. 141, pp. 2450-2460.
- Koning, N.B.J., Van Ittersum M.K., Bex G.A., Van Boekel M.A.J.S., Brandenburg W.A., Van Den Broek J.A., Goudriaan J., Van Hofwegen G., Jongeneel R.A., Schlere J.B., Smies M. (2008) Long term global availability of food: continued abundance or new scarcity? *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*, 55, pp. 229-292.
- IEA (2004) International Energy Authority: Biofuels for Transport: An International Perspective, chap. 6; www.iea.org/textbase/nppdf/free/2004/biofuels2004.pdf.
- IFA (2009) International Fertilizer Industry Association: Fertilizers, Climate Change and Enhancing Agricultural Productivity Sustainably. First Edition, IFA, Paris.
- Lafond G.P., Stumborg M., Lemke R., May W.E., Holzapfel C. B., Campbell C. A. (2009) Quantifying Straw Removal through Baling and Measuring the Long-Term Impact on Soil Quality and Wheat Production. *Agron. J.* 101:529–537. DOI:10.2134/agronj2008.0118x.
- Lal R. (2004) Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security, *Science*, 304, pp. 1623-1627.
- Lal R., Pimentel D. (2007) Biofuels from crop residues. *Soil & Tillage Research*, 93, 237–238. DOI:10.1016/j.still.2006.11.007.
- Loomis R.S., Connor D.J. (1992) *Crop Ecology: productivity and management in agricultural systems*. Cambridge University Press, Cambridge. Chapter 15, pp. 400-427.
- López-Bellido R.J., Castillo J.E., López-Bellido L. (2008) Comparative response of bread and durum wheat cultivars to nitrogen fertilizer in a rainfed Mediterranean environment: soil nitrate and N uptake and efficiency, *Nutr. Cycl. Agroecosys.* 80, pp. 121-130.
- Ministero dello Sviluppo Economico. (2010). Sintesi del Piano di Azione Nazionale per le Energie Rinnovabili (direttiva 2009/28/CE). pp. 1-33.
- Monti A., Fazio S., Venturi G. (2009). Cradle-to-farm gate life cycle assessment in perennial energy crops. *Europ. J. Agronomy*. 31, pp. 77-84.
- Mosier A., Kroeze C., Nevison C., Oenema O., Seitzinger S., van Cleemput O., (1998) Closing the global N₂O budget: nitrous oxide emissions through the agricultural nitrogen cycle, *Nutr. Cycl. Agroecosys.*, 52, pp. 225-248. DOI: 10.1023/A:1009740530221.
- Mosier A.R. (2001) Exchange of Gaseous Nitrogen Compounds between Terrestrial Systems and the Atmosphere. In: Follett R.F., Hatfield J.L.(Eds.) *Nitrogen and the environment: Sources, Problems and Management*. Elsevier Science B.V., Amsterdam, pp. 291-309.
- Nonhebel S. (2005). Renewable energy and food supply: will there be enough land? *Renewable and Sustainable Energy Reviews.*, Vol. 9, pp. 191–201.

- Ortiz R., Sayre K.D., Govaerts B., Gupta R., Subbarao G.V., Ban T., Hodson D., Dixon J.M., Ortiz-Monasterio J.I., Reynolds M. (2008) Climate change: Can wheat beat the heat? *Agriculture, Ecosystems and Environment* 126, pp. 46-58. DOI:10.1016/j.agee.2008.01.019.
- Pearce F. (2006) Fuels gold. Are biofuels really the greenhouse-busting answer to our energy woes? *NewScientist*, 2570, pp. 36-41. www.newscientist.com.
- Pimentel D. (1992). Energy Inputs in Production Agriculture. *Energy in Farm Production*. in: Fluck R.C. (Ed.), Vol. 6, pp. 13-29.
- Pimentel D., Patzek T.W. (2005). Ethanol production using corn, switchgrass and wood; biodiesel production using soybean and sunflower. *Nat. Resour. Res*, 14, pp. 65-76.
- Raun W.R., Johnson, G.V. (1999) Improving Nitrogen Use Efficiency for Cereal Production. *Agron. J.*, 91, pp. 357-363.
- Righelato R., Spracklen D.V. (2007) Carbon Mitigation by Biofuels or by Saving and Restoring Forests? *Science*, 317, 902. DOI:10.1126/science. 1141361.
- Rowe R.L., Street N.R., Taylor G. (2009). Identifying potential environmental impacts of large-scale deployment of dedicated bioenergy crops in the UK. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 13, pp. 271-290.
- Searchinger T., Heimlich R., Houghton R.A., Dong F., Elobeid A., Fabiosa J., Tokgoz S., Hayes D., Yu T.H. (2008). Use of U.S. Croplands for Biofuels Increases Greenhouse Gases Through Emissions from Land-Use Change. *Science*. 319, pp. 1238-1240.
- Smeets E., Faaij A., Lewandowsky I., Turkenburg W. (2007). A bottom-up assessment and review of global bioenergy potentials to 2050. *Prog. Energ. Combust.* Vol. 33, 1, pp. 56-106.
- Smil V. (1994). *Energy in world history*. Westview Press, Boulder, CO.
- Spiertz J.H.J. (2009) Nitrogen, sustainable agriculture and food security. A review. *Agron. Sustain. Dev.* DOI: 10.1051/agro/2008064.
- Spiertz J.H.J., Ewert F. (2009) Crop production and resource use to meet the growing demand for food, feed and fuel: opportunities and constraints. *NJAS Wageningen Journal of Life Sciences*, 56-4, pp. 281-300.
- Spugnoli P., Baldi F., Parenti A. (2009). An LCA Model to assess the environmental improvement of new farming system. *J. of Ag. Eng.* 4, pp. 19-25.
- Stoeglehner G., Narodoslawsky M. (2009) How sustainable are biofuels? Answer and further questions arising from an ecological footprint perspective. *Bioresource Technology*, 100, pp. 3825-3830. DOI:10.1016/j.biortech.2009. 01. 059.
- Tilman D., Hill J., Lehman C. (2006). Carbon-negative Biofuels from Low-Input High-Diversity Grassland Biomass. *Science*. p. 314, pp. 1598-1600.
- Tilman D., Socolow R., Foley J.A., Hill J., Larson E., Lynd L., Pacala S., Reilly J., Searchinger T., Somerville C., Williams R. (2009). Beneficial Biofuels-The Food, Energy, and Environment Trilemma. *Science*. 325, pp. 270-271.

Wackernagel M., Rees W. (1993) How Big is Our Ecological Footprint – a Handbook for Estimating a Community's Carrying Capacity, Vancouver.

U.S. Energy Information Administration. <http://tonto.eia.doe.gov>. Independent statistics and analysis. [Online]

3 - Valutazioni economiche: pioppo, robinia, eucalitto

Economic evaluations: poplar, black locust, eucalyptus

Domenico Coaloa*, Alessandra Grignetti*

Riassunto

La riduzione della coltivazione della barbabietola ha portato alla conversione di migliaia di ettari di terreno agricolo a colture energetiche dal 2008. Grazie al progetto nazionale di ricerca “SuSCACE”, a supporto tecnico-scientifico per la conversione delle coltivazioni agricole verso colture energetiche, è stato possibile raccogliere ed elaborare dati sulle colture energetiche attualmente esistenti. Il database è attualmente costituito da 2.969 ettari coltivati in 386 appezzamenti, sono coinvolte 312 aziende agricole dislocate in 11 regioni d’Italia. I risultati ottenuti riguardano le superfici investite a ciascuna coltura, il relativo numero di campi e la loro distribuzione regionale, le produzioni, i costi di coltivazione e di produzione il bilancio economico. I dati raccolti riguardanti tutte le operazioni colturali agricole, gli input energetici ha permesso di stimare l’impatto ambientale e il bilancio energetico delle diverse colture. Le produzioni ottenute per le colture annuali da biomassa e le oleaginose sono risultate mediamente buone con differenze significative a livello regionale, nelle condizioni attuali di mercato la redditività è risultata generalmente positiva. Le piantagioni per la biomassa hanno raggiunto già buoni risultati produttivi nei primi anni di coltivazione, anche se migliorabili. Nelle attuali condizioni di mercato la redditività è fortemente dipendente dalle particolari condizioni di prezzo che si possono ottenere mediante contratti di lungo periodo con le imprese di trasformazione energetica.

Parole chiave: arboricoltura, SRF, costi di coltivazione, bilanci colturali.

* CRA-PLF, Unità di Ricerca per le Produzioni Legnose fuori Foresta, Casale Monferrato (AL).

Abstract

The reduction of beet cultivation has led to the conversion of thousands of hectares of agricultural land to energy crops since 2008. Thanks to the national research project “SuSCACE”, set up as a technical-scientific support for the cultivation of energy crops, it has been possible to gather and process data on the currently existing energy crops. The database currently concern of 2,969 hectares in 386 plots, 312 farms and 11 regions of Italy affected. The results obtained regard the areas planted to each crop, the relative number of fields and their regional distribution, their yields, cultivation and production costs and their economic balance. The data collected regarding all farming operations and energy inputs allowed us to estimate the environmental impact and energy balance of the different crops. The products obtained for annual field crops are good on average, significant differences at the regional level. The analysis of the production and profitability of the most widespread oilseed species, has shown generally positive results in the current market. Plantations for biomass have reached, in the first years of cultivation, good, though improvable, yields; however in the present market conditions profitability is highly dependant on special price conditions agreed on in contract with the processing industries.

Keywords: arboriculture, SRF, cultivation cost, crop balance.

1. Introduzione

L'applicazione della riforma della OCM zucchero ha comportato una riduzione di oltre il 50% della capacità produttiva nazionale dello zucchero e di conseguenza anche una sensibile riduzione della superficie coltivata a barbabietola. Alcune società produttrici di zucchero hanno presentato piani di riconversione della filiera bieticolo-saccarifera verso le filiere agroenergetiche con l'obiettivo di ottenere energia elettrica da biomasse ligno-cellulosiche, biodiesel da esterificazione di oli vegetali e bioetanolo da fermentazione di cereali. Il raggiungimento di tali obiettivi richiede elevate produzioni di biomasse, soprattutto ligno-cellulosiche per far fronte alle esigenze di attivazione di nuovi centri di trasformazione energetica da fonti rinnovabili. Una ulteriore spinta verso i programmi di produzioni energetiche alternative è derivata anche dalle misure di sostegno ed incentivi riguardanti i nuovi coefficienti moltiplicatori dei certificati verdi per le filiere corte (Legge n. 244/2007).

Sulla base delle caratteristiche e sulle potenzialità produttive dei diversi ambiti agricoli, tenuti in considerazione gli obiettivi progettuali per la diversificazione della produzione di energia da parte dei vari distretti energetici (Loi, 2008), le aziende agricole stanno affrontando la riconversione con colture erbacee annuali e perenni (girasole, colza, brassica, sorgo da fibra e canna comune), e con colture arboree (pioppo, robinia, eucalitto).

Nell'ambito dell'attività del progetto SuSCACE "Supporto Scientifico alla Conversione Agricola verso le Colture Energetiche", finanziato dal Mipaaf e coordinato dal Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura (C.R.A.), è stato possibile raccogliere, con la collaborazione delle aziende agricole, informazioni necessarie per analizzare e valutare sotto l'aspetto economico e organizzativo la riconversione agricola che coinvolge il settore.

Metodologia

Costituiscono il database i dati relativi a 350 appezzamenti coltivati per complessivi 2.514 ettari in 11 regioni; 255 sono le aziende agricole coinvolte. Le informazioni riguardano colture poliennali, pioppo, robinia, eucalitto, canna comune, e colture erbacee annuali, colza, girasole, brassica carinata e sorgo da fibra. Per le prime sono stati raccolti dati di localizzazione secondo coordinate geografiche nel sistema metrico WGS84UTM32, riferite al punto centrale degli appezzamenti interessati, invece per quelle annuali al momento si dispongono di dati di localizzazione riferiti soltanto a livello comunale in attesa di dati puntuali.

Grazie alla georeferenziazione degli appezzamenti, tutti i dati acquisiti, riguardanti le caratteristiche ambientali e organizzative delle singole aziende coinvolte, le colture praticate e gli interventi rilevati in tutte le fasi operative, sono stati organizzati in un geo-database (ArcGIS 9.2), gestito dal C.R.A.-PLF (Unità di Ricerca per le Produzioni Legnose fuori Foresta, ex Istituto di Sperimentazione per la Pioppicoltura di Casale Monferrato).

Lo strumento per il rilevamento e la registrazione dei dati è costituito da fogli elettronici in formato Excel appositamente predisposti. In particolare si tratta di tre fogli, "Anagrafica azienda", "Anagrafica appezzamento", "Anagrafica coltura". Il primo contiene le informazioni e dati identificativi dell'azienda agricola: id_società, id_tecnico, id_azienda, cod_azienda, denominazione, indirizzo della sede, località, cap, provincia, referente, telefono, cellulare, centralina meteorologica, dimensione azienda, forma di conduzione, valore indicativo dei terreni.

Il foglio relativo all'appezzamento riporta informazioni che riguardano: indirizzo, località, coltura precedente, produttività coltura precedente, altre colture praticate in rotazione, superficie coltivata, giacitura, tessitura, irrigazione e tipo di irrigazione, posizione geografica secondo coordinate di longitudine e latitudine.

Il foglio relativo alla coltura "anagrafica coltura", che può cambiare di anno in anno per appezzamento, almeno per quelle erbacee annuali, considera oltre ai caratteri identificativi codificati nei precedenti fogli: coltura, varietà, materiale di propagazione, data di semina/impianto, densità, spazature, centro di conferimento delle produzioni.

Il foglio "diario appezzamento" nel quale sono descritte tutte le operazioni e interventi in modo cronologico: data, tipo intervento, tipo prodotto, prodotto, quantità,

costo unitario, trattrice, potenza, tipo attrezzo, larghezza di lavoro, profondità di lavoro, operai impiegati, superficie lavorata, tempo impiegato, costo complessivo contoterzista.

Sulla base dei dati finora raccolti relative alle colture erbacee e arboree destinate alla produzione di biomasse per uso energetico è stato creato l'archivio cartografico su base GIS. Il data base, che comprende dati stazionali e qualitativi relativi a ciascun sito di coltivazione e alle diverse colture energetiche, potrà consentire di mettere in luce correlazioni a livello nazionale tra caratteristiche ambientali e livelli produttivi potenziali.

Il coordinamento, la verifica e la validazione dei dati rilevati, ha costituito un importante impegno ed ha comportato una attenta valutazione delle criticità registrate in molte fasi di rilevamento e registrazione dei dati di campo relativi alle coltivazioni praticate nel 2009 e nel 2010 secondo il programma di attuazione delle conversioni agricole.

Dall'analisi dei dati rilevati direttamente dai tecnici aziendali, riguardanti l'impiego delle macchine, della manodopera, carburanti, sementi, fertilizzanti, erbicidi ed eventuali interventi di terzisti, sono stati calcolati i costi complessivi di coltivazione per ogni coltura e per tutte le superfici interessate.

Il costo orario delle macchine motrici e degli attrezzi è stato calcolato utilizzando software dedicato (Maso *et al.*, 2006). Quando gli interventi sono stati svolti da imprese esterne all'azienda agricola, i costi delle operazioni sono comprensivi del costo della manodopera e del costo delle macchine.

Le produzioni riguardanti le colture arboree e le colture poliennali erbacee sono espresse in tonnellate di sostanza secca per ettaro per anno. Normalmente al momento della raccolta nel periodo di riposo vegetativo, le piante arboree presentano un contenuto idrico dal 50% fino al 60%. Tutti i dati di produzione fanno riferimento alla sostanza secca, ossia alla biomassa fresca viene sottratto il contenuto idrico relativo; Ciò permette di rendere omogenei i dati riguardanti le diverse specie in esame.

Le valutazioni economiche hanno riguardato in sintesi i bilanci colturali, ciò ha reso possibile esprimere valutazioni sulla redditività delle colture nel programma di riconversione agricola, in questo elaborato sono considerate le coltivazioni arboree di pioppo, robinia ed eucalitto.

Pioppo, robinia, eucalitto

Le specie arboree oggetto di analisi rappresentano le piantagioni da biomassa che sono presenti in modo prevalente negli ambiti agricoli in Italia in particolare nelle regioni settentrionali e centrali con estensioni di diverse migliaia di ettari. Già nel 2007 erano presenti oltre 5.000 ettari di coltivazioni arboree da biomassa soprattutto

in Lombardia (Aa.Vv., 2008). Si tratta di modelli colturali che prevedono impianti ad alta e media densità di piante e turni di ceduzione biennali o quinquennali.

Le piantagioni realizzate nel programma di conversione hanno seguito il modello colturale ad elevata densità e breve turno di raccolta, cosiddetto Short Rotation Forestry (SRF) (Facciotto *et al.*, 2007). Nel caso delle piantagioni con cloni di pioppo sono stati adottati in prevalenza densità di 5.700 talee per ettaro con turni di taglio biennali. Per la robinia invece sono stati adottate densità piuttosto variabili da 2.400 a 6.000 piantine per ettaro, mentre nelle piantagioni di eucalitto la densità è stata mediamente di circa 2.850 piantine per ettaro, anche inizialmente era stata adottata una densità più elevata. In tutti casi si è prevista una durata almeno decennale dell'impianto (tab. 1).

Tabella 1 - Modelli colturali.

	densità piante·ha ⁻¹	spaziatura mxm	turno raccolta anni	durata anni
pioppo biennale	5.700	0,5x3,5	2	10
robinia	3.600/5.700	0,8/0,5x3,5	2	10
eucalitto	2.850/3.500	0,8/1,0x3,5	2	10

Risultati

Localizzazione

Gli impianti con specie arboree di pioppo, robinia ed eucalitto, sottoposti a monitoraggio e considerati ai fini delle elaborazioni economiche, sono stati realizzati in quattro regioni per complessivi 535,96 ettari distribuiti in 125 unità; le aziende agricole coinvolte sono 99. Il **pioppo** è la specie più impiegata e rappresenta l'82% della superficie investita, principalmente concentrato nelle pianure dell'Emilia Romagna dove sono programmati i distretti principali per la produzione energetica. La dimensione media delle 91 unità colturali, omogenee per specie, età e modello colturale (appezzamenti), è pari a 4,83 ettari. Le aziende agricole che hanno deciso di inserire nei loro ordinamenti colturali anche impianti di biomassa con pioppo sono 80. La **robinia** con **11** impianti incide per l'11% con circa 55 ettari localizzati in territori collinari dell'Emilia Romagna soprattutto, Toscana e Abruzzo; la dimensione media degli appezzamenti è di 4,81 ettari. L'**eucalitto** è presente soltanto in Sardegna con numerosi appezzamenti (**22**) di piccole dimensioni, mediamente di 1,77 ettari. In tab. 2 sono riportate le superfici delle piantagioni e in fig. 1 sono evidenziate le provincie interessate dalle colture.

Tabella 2 - Distribuzione territoriale delle colture arboree da biomassa per specie, superfici e appezzamenti.

	pioppo			robinia			eucalitto		
	superficie ha	appezzamenti n	sup. media ha	superficie ha	appezzamenti n	sup. media ha	superficie ha	appezzamenti n	sup. media ha
Emilia Romagna	349,42	74	4,72	50,72	9	5,64			
Toscana	48,06	8	6,01	2,00	1	2,00			
Abruzzo	19,29	8	2,41	2,50	1	2,50			
Lazio	23,00	1	23,00						
Sardegna							38,97	22	1,77
totale	439,77	91	4,83	55,22	11	5,02	38,97	22	1,77

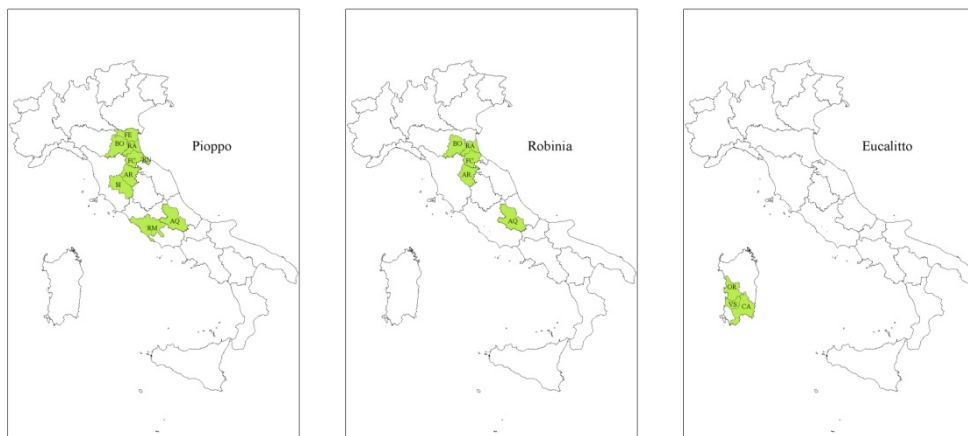


Figura 1 - Mappe della localizzazione per specie delle colture arboree da biomassa.

Pioppo



Figura 2 - Impianto fitto di pioppo (SRF).

Analisi dei costi

Gli impianti di pioppo sono stati realizzati a partire dal 2008, inizialmente con esigue superfici (37,55 ha), nell'anno successivo sono stati piantati quasi 214 ha in 45 appezzamenti, nel 2010 in 34 appezzamenti per 188,57 ha (fig. 3). Di tutti gli impianti sono stati rilevati gli interventi colturali dalla preparazione del terreno, concimazione e messa a dimora delle talee, al diserbo e cure colturali post impianto. Relativamente ai primi impianti del 2008 si dispongono anche i dati riguardanti le operazioni di raccolta e quantità di biomassa prodotte al primo taglio biennale.

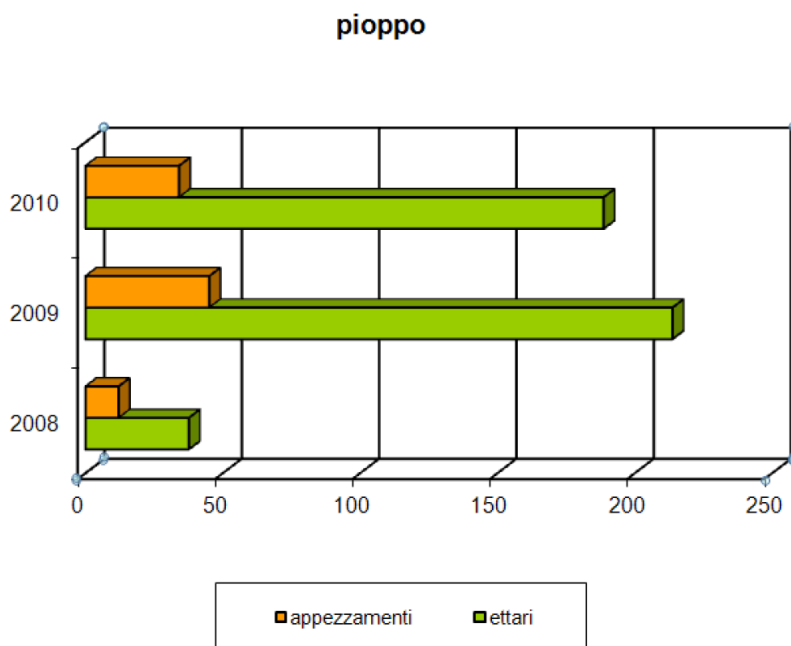


Figura 3 - Superfici e appezzamenti di pioppo per anno d'impianto.

Al fine di comprendere meglio gli impegni in termini di costi di tutti i fattori della produzione che la coltivazione di biomasse implica, è stato necessario elaborare i dati in modo da tenere separati gli impianti per anno di costituzione. I dati riportati in tabella 3 sono disposti in 4 colonne, la prima si riferisce al gruppo di 34 impianti messi a dimora nel 2010 per i quali sono stati rilevati tutti gli interventi effettuati nel corso del primo anno di crescita. Le due colonne successive riguardano i 45 impianti realizzati l'anno precedente (2009) e considerano le attività svolte nei primi due anni di crescita. Nella quarta colonna sono riportati i dati medi riguardanti i 12 appezzamenti messi a dimora nel 2008 che alla conclusione della seconda stagione vegetativa sono stati sottoposti al taglio tra dicembre del 2009 e aprile 2010.

Tabella 3 - Caratteristiche degli impianti di **pioppo** realizzati secondo il modello SRF.

pioppo		2010 1° anno	2009 1° anno	2010 2° anno	raccolta biennale
appezzamenti	N	34	45	45	12
superficie	ha	188,57	213,65	213,65	37,55
superf. media app.	ha	5,55	4,75	4,75	3,13
densità impianto	piante/ha	5.700	5.700	5.700	5.700
manodopera	h/ha	14,32	13,33	3,00	3,00
tempi macchina	h/ha	8,31	9,63	3,00	3,00
potenza impiegata	kWh/ha	887,86	1053,94	236,64	312,06
concimi N	kg/ha	87,10	58,21	80,00	-
concimi PK	kg/ha	93,31	85,52	-	-
erbicidi	kg/ha	3,61	3,20	-	-
insetticidi	kg/ha	0,50	1,63	1,00	-
costo coltivazione	€/ha	537,75	755,04	250,00	200,00
costo prodotti	€/ha	1.554,04	1.515,19	100,00	-
costo totale	€/ha	2.091,79	2.270,23	350,00	200,00

**Figura 4** - Operazione di impianto di talee di pioppo.

I dati delle prime due colonne, si riferiscono a due gruppi di impianti i primi messi a dimora nel 2010 gli altri nel 2009, trattano ugualmente delle attività svolte nel primo anno per la messa a dimora delle piante e per le prime cure colturali necessarie per la buona riuscita dell'impianto. Dal loro confronto emerge una buona corrispondenza dei dati medi relativi ai tempi e ai prodotti impiegati; i minori costi totali (2.092 con-

tro 2.270 €/ha) che si evidenziano per gli impianti 2010 sono da imputare a minori potenze impiegate in termini energetici e a minori costi di coltivazione, forse legati anche alla maggiore dimensione delle unità colturali che consentono di ottimizzare l'impiego dei fattori della produzione (fig. 4). La voce "costo coltivazione" comprende la preparazione del terreno, le operazioni di impianto, cure colturali e di raccolta, costo delle macchine e della manodopera. Il solo costo di messa a dimora delle piante richiede mediamente 1.600 €/ha di cui circa 1.400 € soltanto per il materiale propagativo. A questo proposito il materiale per l'impianto è rappresentato da talee, porzioni di fusto lignificato di 20-30 cm di lunghezza e 2-3 cm di diametro, messe a dimora meccanicamente. Sono stati impiegate in questi impianti talee di pioppo appartenenti ai cloni "Monviso" e "AF2" in quantità di 5700 per ettaro, disposte in file come riportato nella tabella 1.

Le sole informazioni rilevate nel primo anno di coltivazione non aiutano certamente a stimare gli impegni globali in termini di costi dell'impianto per tutta la sua durata decennale. I dati che emergono nella terza colonna (tab. 3) indicano gli impegni della manodopera delle macchine e dei prodotti, quindi rappresentano i costi affrontati nel secondo anno vegetativo, relativi al gruppo degli impianti costituiti nel 2009. Sostanzialmente nel secondo anno di coltivazione i costi si riducono in modo rilevante rispetto al primo anno poiché implicano soltanto interventi di fertilizzazione e di lavorazione del terreno con erpicature per complessivi 350 €/ha. Nei casi fin qui esaminati non è stato rilevato alcun intervento di irrigazione. Per completare il quadro degli impegni che richiede la piantagione nel suo complesso è necessario conoscere accuratamente anche la fase di raccolta che si effettua ogni due anni. I dati riguardanti la raccolta di 12 appezzamenti, riportati nell'ultima colonna, mettono in rilievo l'elevata richiesta di potenza in termini energetici (26% del primo biennio) con un costo medio di 200 €/ha. I cantieri per la raccolta biennale della biomassa legnosa sono costituiti da una falcia trincia caricatrice di potenza 220-280 CV assistita da due trattrici con carro a grande capacità per il trasporto del cippato, generalmente presso il centro aziendale (Pari, 2007).

Produzioni

Al termine della seconda stagione vegetativa sono stati sottoposti al taglio 12 appezzamenti per complessivi 37,55 ettari messi a dimora nel 2008. Le operazioni di raccolta con la trinciatura integrale delle piante in campo mediante falcia trincia caricatrice (fig. 5) è stata eseguita nel periodo dicembre 2009 e aprile 2010. Gli appezzamenti interessati dalla raccolta, localizzati in Abruzzo e Toscana, hanno dimensioni molto variabili da 1 ha a 11 ha, mediamente di poco superiori a 3 ettari.

Le quantità di biomassa anidra rilevate risultano molto variabili tra gli appezzamenti, sono state rilevate infatti produzioni da 5 tss/ha/anno a oltre 16 tss/ha/anno, in media si sono ottenuti 8,55 tss/ha/anno.



Figura 5 - Raccolta biomassa pioppo.

Dal punto di vista varietale il clone “AF2” ha fornito migliori prestazioni rispetto all’altro clone (“Monviso”) con produzioni maggiori del 10% rispetto alla media.

Costo di produzione e bilancio colturale

In generale non si dispongono ancora di dati sufficienti riguardanti le produzioni per i diversi turni di raccolta che una piantagione dovrebbe fornire, per cui è del tutto prematuro fare delle considerazioni finali sui costi di produzione e sui bilanci colturali. Tuttavia nel caso del pioppo, sulla base dei dati fin qui raccolti, si è tentata una simulazione impostando i seguenti parametri: produzioni medie di circa 9 tonnellate di sostanza secca per anno ottenute con 5 ceduzioni in 10 anni (90 tss/ha), in assenza di irrigazione, trasporto presso centro aziendale, con attualizzazione dei costi al saggio di interesse del 3% (tab. 4). In questo modo si è ottenuto un costo di produzione di circa 68 Euro per tonnellata di sostanza secca (34 €/t di biomassa al contenuto idrico del 50%).

Tabella 4 - Costi di produzione e utile di coltivazione della biomassa prodotta in 10 anni da piantagione di pioppo (SRF).

costo impianto, coltivazione, raccolta	€/ha	4.303,00
costo prodotti	€/ha	2.433,00
costi totali	€/ha	6.736,00
costi totali attualizzati *	€/ha	6.084,00
produzione	tss/ha/anno	9,00
produzione attesa (10 anni)	tss/ha	90,00
costo produzione	€/tss	68,00
prezzo biomassa	€/tss	90,00
VAN	€/ha	927,00
VAN/anno	€/ha/anno	93,00

(*) saggio interesse del 3%.

Se al quantitativo prodotto si attribuisce il prezzo di mercato della biomassa lignocellulosica di 45 €/t al 50% di contenuto idrico, equivalente a 90 €/tss, si ottiene un valore attuale netto (VAN) pari a 927 Euro per ettaro (93 €/ha/anno). Il valore attuale netto (VAN) consente di calcolare il valore attuale (in questo caso con saggio di interesse del 3%) di un investimento o di una serie di flussi di cassa (ricavi-costi) per ogni anno considerato che produrrà un certo beneficio in futuro. L'investimento risulta tanto più conveniente quanto più elevato è il suo valore attuale netto (Torquati, 2003).

Il prezzo di mercato riferito a impianti di pioppo per biomassa indicato sulla piazza di Pavia raggiunge 18 Euro per tonnellata con la “vendita delle piante in piedi”; il cippato (contenuto idrico del 50%) consegnato alla centrale di produzione energia può essere valutato fino a 45-50 € per tonnellata. È da tenere in considerazione che nel mercato del legno per l'industria del pannello, il cippato ottenuto dai residui della utilizzazione del pioppeto, consegnato allo stabilimento è valutato circa 35 € per tonnellata (C.C.I.A.A., 2010). Con queste prospettive di mercato e nelle condizioni produttive fin qui registrate, l'investimento per la produzione di biomassa è da considerare ai limiti della sostenibilità economica. Le produzioni rilevate in occasione del primo taglio biennale possono essere superate nei tagli successivi come hanno dimostrato prove condotte in impianti sperimentali (Facciotto, 2010), ma nello stesso tempo si deve tenere conto del possibile deperimento o la devitalizzazione delle ceppaie negli ultimi anni del ciclo culturale che possono determinare riduzione di produzione.

La produzione di biomasse da parte dell'azienda agricola può diventare sostenibile soltanto con opportuni contratti di coltivazione con le centrali di produzione energetica (Coaloe *et al.*, 2010, 2011). Tali contratti prevedono impegni del coltivatore e del collettore per una durata di 12 anni, e in base a particolari condizioni di fornitura, si possono ottenere prezzi anche superiori a 80 € per tonnellata (contenuto idrico 40%) per la biomassa prodotta in filiera corta.

Robinia



Figura 6 - Impianto fitto di robinia (SRF) prima della raccolta biennale.

Analisi dei costi

Gli impianti di robinia analizzati sono 11 per complessivi 55,22 ettari, suddivisi per anno di impianto come riportato in fig. 7: 2 impianti (2,50 ha) realizzati nel 2008, 5 (39,70 ha) nel 2009 e 4 (13,02 ha) nel 2010.

Per tutti gli impianti sono stati rilevati gli interventi colturali dalla preparazione del terreno, concimazione e messa a dimora delle talee, al diserbo e cure colturali post impianto. Relativamente ai primi impianti del 2008 si dispongono anche i dati riguardanti le operazioni di raccolta e quantità di biomassa prodotte al primo taglio biennale.

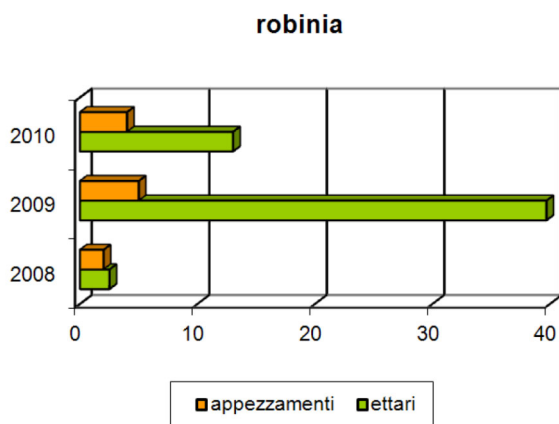


Figura 7- Superfici e appezzamenti di robinia per anno d'impianto.

Nella tabella 5 sono riportati i dati di sintesi relativi agli impianti di robinia. Nelle prime due colonne (2010/1°anno; 2009/1°anno) i dati si riferiscono a due gruppi di impianti messi a dimora nel 2010 e nel 2009, in cui sono state analizzate le attività svolte nel primo anno per la messa a dimora delle piante e per le prime cure colturali necessarie per la buona riuscita dell'impianto. Nonostante siano gruppi differenti per superficie complessiva e per dimensione media delle unità colturali, i costi complessivi risultano molto equivalenti. Molto distanti tra loro sono invece i costi di coltivazione e dei prodotti impiegati. In relazione al costo di coltivazione, il maggior costo degli impianti costituiti nel 2009 è da imputare principalmente ai più elevati tempi di manodopera e di tempo macchine (maggiori del 50%); la potenza energetica delle macchine per unità di superficie coltivata risulta doppia rispetto all'anno successivo. Il costo dei prodotti invece risulta decisamente superiore nel 2010. Il maggior costo in questo caso è da attribuire essenzialmente al costo del materiale di impianto in quanto è stata adottata una maggiore densità di impianto, da 3.600 piante per ettaro a 5.700 negli impianti realizzati nel 2010. Mediamente il costo del solo materiale d'impianto, costituito da piantine radicate, incide per 850 €/ha fino a 1.995 €/ha in base al costo unitario e al numero di piante.

Tabella 5 - Caratteristiche degli impianti di **robinia** realizzati secondo il modello SRF.

robinia		2010	2009	2010	raccolta
		1° anno	1° anno	2° anno	biennale
appezzamenti	N	4	5	5	2
superficie	ha	13,02	39,70	39,70	2,50
sup. media app.	ha	3,26	7,94	7,94	1,25
densità d'impianto	piante /ha	5.700	3.600	3.600	3.600
manodopera	h/ha	12,65	23,72	3,00	3,00
tempi macchina	h/ha	9,68	14,85	3,00	3,00
potenza impiegata	kWh/ha	930,50	1843,53	236,64	312,06
concimi N	kg/ha	-	55,43	-	-
concimi PK	kg/ha	-	105,98	-	-
erbicidi	kg/ha	2,24	4,93	-	-
insetticidi	kg/ha	-	-	-	-
costo coltivazione	€/ha	596,22	1.228,16	35,00	218,00
costo prodotti	€/ha	1.666,83	1.117,78	110,00	-
costo totale	€/ha	2.279,39	2.345,94	145,00	218,00

Le sole informazioni rilevate nel primo anno di coltivazione non aiutano certamente a stimare gli impegni globali in termini di costi dell'impianto per tutta la sua durata decennale. I dati che emergono nella terza colonna (tab. 5) indicano gli impegni della manodopera delle macchine e dei prodotti, quindi dei costi affrontati nel secondo anno vegetativo relativi al gruppo degli impianti costituiti nel 2009. I dati dei costi sono sostanzialmente molto meno rilevanti rispetto al primo anno poiché implicano soltanto interventi di fertilizzazione e di lavorazione del terreno con erpicature per complessivi 145 €/ha. Nei casi fin qui esaminati non è stato rilevato alcun intervento di irrigazione. Per completare il quadro degli impegni che richiede la piantagione nel suo complesso è necessario conoscere accuratamente anche la fase di raccolta che si effettua ogni due anni. dai dati riguardanti la raccolta di soli 2 appezzamenti, riportati nell'ultima colonna, si rileva un costo medio di 218 €/ha. I cantieri per la raccolta biennale della biomassa legnosa sono costituiti da una falcia trincia caricatrice di po-

tenza 220-280 CV assistita da due trattrici con carro a grande capacità per il trasporto del cippato, generalmente presso il centro aziendale.

Produzioni

Al termine della seconda stagione vegetativa sono stati sottoposti al taglio 2 appezzamenti per complessivi 2,50 ettari messi a dimora nel 2008. Le operazioni di raccolta con la trinciatura integrale delle piante in campo mediante falcia trincia carica-trice è stata eseguita nel periodo dicembre 2009 e aprile 2010.

Gli appezzamenti interessati dalla raccolta, localizzati in Emilia Romagna e Toscana, hanno dimensioni ridotte da 0,50 a 2,00 ha.

Le quantità di biomassa anidra rilevate risultano particolarmente variabili tra i vari appezzamenti, vanno da circa 6 tss/ha/anno a oltre 17 tss/ha/anno, in media si sono ottenuti 8,10 tss/ha/anno.

Costo di produzione e bilancio colturale

In generale non si dispongono ancora di sufficienti dati inerenti le produzioni per i diversi turni di raccolta che una piantagione dovrebbe fornire, per cui è del tutto prematuro fare delle considerazioni finali sui costi di produzione e sui bilanci colturali. Tuttavia nel caso della robinia, sulla base dei dati fin qui raccolti, si è tentata una simulazione impostando i seguenti parametri: produzioni medie di circa 8,50 tonnellate di sostanza secca per anno ottenute con 5 ceduzioni in 10 anni (85 ts.s./ha), in assenza di irrigazione, trasporto presso centro aziendale, con attualizzazione dei costi al saggio di interesse del 3% (tab. 6). In questo modo si è ottenuto un costo di produzione di circa 58 Euro per tonnellata di sostanza secca (29 €/t di biomassa al contenuto idrico del 50%).

Tabella 6 - Costi di produzione e utile di coltivazione della biomassa prodotta in 10 anni da piantagione di robinia (SRF).

costo impianto, coltivazione, raccolta	€/ha	3.619,00
costo prodotti	€/ha	1.807,00
costi totali	€/ha	5.426,00
costi totali attualizzati *	€/ha	4.897,00
produzione	tss/ha/anno	8,50
produzione attesa (10 anni)	tss/ha	85,00
costo produzione	€/tss	58,00
prezzo biomassa	€/tss	90,00
VAN	€/ha	1.725,00
VAN/anno	€/ha/anno	172,00

(*) saggio interesse del 3%.

Se al quantitativo prodotto si attribuisce il prezzo di mercato della biomassa lignocellulosica di 45 €/t al 50% di contenuto idrico, equivalente a 90 €/tss, si ottiene un

valore attuale netto (VAN) di 1.725 Euro per ettaro (172 €/ha/anno). Il VAN consente di calcolare il valore attuale (in questo caso con saggio di interesse del 3%) di un investimento o di una serie di flussi di cassa (ricavi-costi) per ogni anno considerato che produrrà un certo beneficio in futuro. L'investimento risulta tanto più conveniente quanto più elevato è il suo valore attuale netto.

Il prezzo di mercato riferito a impianti di pioppo per biomassa indicato sulla piazza di Pavia raggiunge 18 Euro per tonnellata con la "vendita delle piante in piedi"; il cippato (contenuto idrico del 50%) consegnato alla centrale di produzione energia può essere valutato fino a 45-50 € per tonnellata. È da tenere in considerazione che nel mercato del legno per l'industria del pannello, il cippato ottenuto dai residui della utilizzazione del pioppeto, consegnato allo stabilimento è valutato circa 35 € per tonnellata [9]. Con queste prospettive di mercato e nelle condizioni produttive fin qui registrate, l'investimento per la produzione di biomassa è da considerare ai limiti della sostenibilità economica, ma lievemente più positivo rispetto al pioppo.

La produzione di biomasse da parte dell'azienda agricola può diventare sostenibile soltanto con opportuni contratti di coltivazione con le centrali di produzione energetica [11], [12]. Tali contratti prevedono impegni del coltivatore e del collettore per una durata di 12 anni, e in base a particolari condizioni di fornitura, si possono ottenere prezzi anche superiori a 80 € per tonnellata (contenuto idrico 40%) per la biomassa prodotta in filiera corta.

Eucalitto



Figura 8 - Impianto fitto di eucalitto (SRF) dopo il secondo anno dall'impianto

Analisi dei costi

Gli impianti di eucalitto sottoposti ai rilevamenti sono 22 per complessivi 38,97 ettari, sono suddivisi per anno di impianto come riportato in fig. 9: 1 (1,50 ha) realizzati nel 2008, 2 (2,00 ha) nel 2009 e 19 (35,47 ha) nel 2010 (fig. 9).

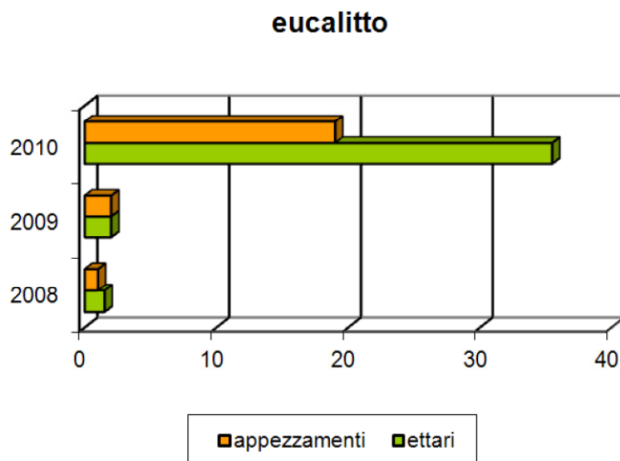


Figura 9 - Superfici e appezzamenti di eucalitto per anno d'impianto.

Tabella 7 - Caratteristiche degli impianti di eucalitto realizzati secondo il modello SRF.

eucalitto		2010 1° anno	2008/09 1° anno	2010 2° anno
appezzamenti	N	19	3	3
superficie	ha	35,47	3,50	3,50
sup. media app.	ha	1,87	1,17	1,17
manodopera	h/ha	14,49	18,27	6,00
tempi macchina	h/ha	11,33	9,94	6,00
potenza impiegata	kWh/ha	988,91	492,95	300,00
concimi N	kg/ha	43,57	40,00	100,00
concimi PK	kg/ha	112,95	0,00	-
erbicidi	kg/ha	1,87	4,14	-
insetticidi	kg/ha	0,00	0,50	-
costo coltivazione	€/ha	688,05	597,53	200,00
costo prodotti	€/ha	1237,93	1354,43	150,00
costo totale	€/ha	1925,98	1951,96	350,00

Nella tabella 7 sono riportati i dati di sintesi relativi agli impianti di eucalitto. Nelle prime due colonne (2010/1°anno; 2008/09/1°anno) i dati si riferiscono a due gruppi di impianti: 19 messi a dimora nel 2010 e 3 nel 2008 e 2009 (per semplicità gli impianti figurano insieme nella tabella). In entrambi i casi i dati illustrano le attività svolte nel primo anno per la messa a dimora delle piante e per le prime cure colturali necessarie per la buona riuscita dell'impianto. Nonostante siano gruppi differenti per numerosità per superficie complessiva e per dimensione media delle unità colturali, i costi complessivi risultano quasi coincidenti. Mediamente il costo del solo materiale d'impianto, costituito da piantine radicate, incide per 1.140 €/ha.

Le sole informazioni rilevate nel primo anno di coltivazione non aiutano certamente a stimare gli impegni globali in termini di costi dell'impianto per tutta la sua durata decennale. I dati che emergono nella terza colonna (2010/2°anno) indicano gli impegni della manodopera delle macchine e dei prodotti, quindi dei costi affrontati nel secondo anno vegetativo relativi al gruppo degli impianti costituiti nel 2009. Come nei casi del pioppo e della robinia, l'analisi dei costi evidenzia che sono sostanzialmente meno rilevanti rispetto al primo anno poiché implicano soltanto interventi di fertilizzazione e di lavorazione del terreno con erpicature per complessivi 350 €/ha. Per completare il quadro degli impegni che richiede la piantagione nel suo complesso è necessario conoscere accuratamente anche la fase di raccolta che si effettua ogni due anni.

Nel caso dell'eucalitto non si dispongono ancora sufficienti dati riguardanti la raccolta, ma si può ritenere che almeno per quanto concerne i costi della raccolta possano essere equivalenti a quelli ottenuti per il pioppo.

Considerazioni conclusive

I risultati che emergono dall'analisi dei dati relativi alle tre specie arboree considerate, mettono in evidenza sostanziali differenze, in termini di impegno finanziario iniziale, tra i gruppi di impianti della stessa specie costituiti in anni differenti. Gli impianti arborei di durata pluriennale sono caratterizzati da impegni economici iniziali molto rilevanti che superano già nel primo anno il 30% dell'investimento globale (tab. 8).

I costi di realizzazione dell'impianto arboreo sono certamente consistenti ma possono variare in modo rilevante in funzione delle condizioni e delle caratteristiche della stazione (giacitura, tipo di terreno), dell'organizzazione e tipo di conduzione aziendale, dimensione dell'unità colturale, modalità di messa a dimora delle piante (meccanizzazione a bassa o alta capacità), densità d'impianto (piante per ettaro), andamento stagionale e incidenza degli attacchi parassitari...

Con gli elementi fin qui acquisiti che fanno riferimento ai primi anni di coltivazione (costituzione impianto, coltivazione successiva e raccolta) è possibile ipotizzare gli impegni finanziari necessari per mantenere la piantagione nelle condizioni ottimali fino al termine del ciclo colturale e produttivo in modo sostenibile. Lo scenario possibile contempla, oltre agli elementi considerati nei primi anni di coltivazione già sopra esaminati, interventi colturali per ogni anno seguente, e la raccolta per ogni

biennio. Oltre al ripristino del terreno a fine ciclo colturale, sono da prevedere interventi fitosanitari con insetticidi per il controllo degli insetti defogliatori e xilofagi in occasione di attacchi particolarmente gravi.

I valori medi relativi ai costi espressi in tabella 8 derivano da elaborazioni ponderate dei diversi impianti che risentono più o meno dei fattori sopra elencati.

Tabella 8 - Costi medi per a la durata dell'impianto.

	costo 1°anno €/ha	costi medi dal 2° al 10°anno €/ha/anno	totale costi €/ha	totale costi attualizzati €/ha
pioppo	2.187,00	505,50	6.736,00	6.084,00
robinia	2.329,00	344,11	5.426,00	4.897,00
eucalitto	1.928,00	425,56	5.758,00	5.193,00

I costi del primo anno comprendono la preparazione del terreno, materiali per l'impianto e le cure colturali post impianto. I costi medi per anno riferiti dal secondo al decimo anno, rappresentano delle stime calcolate in base alle osservazioni del secondo anno di crescita, comprendono attività colturali di fertilizzazione, interventi per contenimento delle infestanti e raccolta biennale della biomassa. I costi complessivi sono espressi come costi totali dalla sommatoria del costo del primo anno e dei costi per i nove anni successivi, e sono anche rappresentati secondo l'attualizzazione dei costi con saggio di interesse del 3% per una durata decennale dell'investimento.

Il costo medio annuale di coltivazione e complessivo più alto è raggiunto dal pioppo; la coltivazione della robinia si dimostra complessivamente nettamente inferiore nonostante sia più elevato il costo del primo anno dove incide il maggiore costo del materiale di propagazione.

Per quanto riguarda le produzioni di biomassa anidra si può rilevare che il pioppo ha fornito produzioni quasi del 10% superiori rispetto alla robinia.

Bibliografia

- AA.VV. "Il libro bianco della pioppicoltura", Commissione Nazionale per il Pioppo. Supplemento al n. 26/2008 di Agrisole. p. 80, [It].
- C.C.I.A.A. Pavia - <http://cciaa-pv.zeus.it/cciaa-pv-salemerci/default.html>, 30/11/2010.
- Coaloa D., Grignetti A., "Arboricoltura a fini energetici: nuova opportunità per l'agricoltore?". Sherwood - Foreste ed Alberi Oggi (2010), 169, pp. 29-33
- Coaloa D., Grignetti A., "Production, profitability and enviromental impact of crops for energy use in Italy". In Proceedings 19th European biomass Conference and Exhibition. ICC Berlin, Germany. 6-10 June 2011. [En]. (2011), p. 4.

- Facciotto G., Bergante S., Mughini G., Gras M.L.A., Nervo G. Tecnica e modelli colturali per cedui a breve rotazione. *L'Informatore Agrario* (2007), 63, pp. 38-42.
- Facciotto G., Bergante S., Mughini G., Gras M.L.A. Presentazione del Sottoprogetto 2.3 di RI.SELV.ITALIA: biomasse legnose ad uso energetico ed industriale. La Produttività delle specie. In: Atti del Convegno 'Arboricoltura e biomasse legnose'. Portogruaro (VE), 29 novembre 2007, (2010) pp. 11-28.
- Loi A. Come procede la riconversione degli ex zuccherifici. *L'Informatore Agrario* (2008), 44, 40-43.
- Maso D., Pettenella D. Valutazione degli investimenti in arboricoltura da legno. *Sherwood - Foreste ed Alberi Oggi* (2006), 128, pp. 43-45.
- Pari L. Short rotation di qualità, decisivi raccolta e stoccaggio. *L'Informatore Agrario* (2007), 63, pp. 43-45.
- Torquati B. *Economia gestionale dell'impresa agraria*. Edagricole, Bologna. (2003), pp. 365.

F

Utilizzo e destinazione

I. Colture legnose

1 - Utilizzo e destinazione delle colture energetiche legnose

Woody crops utilization for energy production

**Giuseppe Altieri*, Francesco Genovese*,
Antonella Tauriello*, Carmen D'Antonio***

Riassunto

Le colture energetiche, coltivazioni in grado di fornire substrato per la produzione di energia termica e/o elettrica, si distinguono in specie erbacee, di tipo annuale e poliennale, e legnose.

Quest'ultime specie sono quelle maggiormente deputate alla produzione di energia termica e/o elettrica, per combustione, gassificazione o pirolisi.

La combustione rappresenta attualmente il metodo più comune di conversione della biomassa legnosa e le caldaie rappresentano ormai una tecnologia matura, pur essendo necessario perfezionare alcuni aspetti legati alla proprietà delle ceneri derivanti dalla combustione di particolari tipologie di biomassa ed ai rendimenti ottenibili. Sul mercato sono in commercio caldaie innovative di piccola potenza ed alimentate con colture legnose di taglia medio-piccola da installare presso aziende agricole, o di taglia industriale da impiegare per il riscaldamento di complessi di edifici, industrie e per la creazione di reti di teleriscaldamento.

Per la produzione esclusiva di energia elettrica si hanno rendimenti molto bassi, che crescono con la cogenerazione (contemporanea produzione di energia elettrica e termica) o la trigenerazione (produzione contemporanea di energia elettrica, termica e frigorifera). Negli ultimi anni sono in corso di sviluppo una vasta gamma di tecnologie di conversione per applicazioni su piccola e media scala, per l'impiego di biomasse per la co-

* Università degli Studi della Basilicata, Facoltà di Agraria, Dipartimento Tecnico Economico per la Gestione del Territorio Agricolo-Forestale, Potenza.

generazione e di sistemi basati su cicli combinati di gassificazione o pirolisi, che necessitano però ancora di ulteriori ricerche volte all'ottimizzazione degli impianti.

Parole chiave: combustione, biomassa, cogenerazione, trigenerazione.

Abstract

Biomass is a fundamental source of renewable energy so, because of the increasing global awareness about environmental issues a great emphasis is being laid on the promotion of bioenergy.

Biomass may be used for energy production at different scales (large-scale power generation or small-scale thermal heating) and includes agricultural crops, agro forestry residues and wood.

Woody biomass, which is the most important renewable energy source if proper management of vegetation is ensured, has many benefits as follows: easily available over the world's surface, availability of conversion technologies, attractiveness for local, regional and national energy self-sufficiency, reduction in GHGs emissions; then it provides opportunities to local farmers and rural population with the aim of a sustainable development. In fact, while burning fossil fuels increases CO₂ emissions in the atmosphere, using biomass fuels contributes to lower CO₂ levels due to the absorption amount of growing plants.

Energy woody crops could be produced from fast growing trees using intensive management practices, and include poplar, willow, etc.

There are many ways to generate energy from these biomass, through direct fired boilers for thermal energy production, or associating turbines for the generation of electrical power (cogeneration systems), and adsorption plants for the production of cooling power (trigeneration systems).

Most of the plants for woody biomass to energy conversion use direct-fired system (or steam boiler), whereby biomass feedstock is directly burned to produce steam leading to generation of electricity.

Usually before to be burned biomass is dried, sized into smaller pieces and then pelletized or briquetted. Pelletization is a process of reducing the bulk volume of biomass feedstock by mechanical means to improve handling and combustion characteristics of biomass.

Woody energy crops biomass can play a great role in reducing the need for fossil fuels by making use of thermal conversion technologies. In addition, the increased utilization of biomass will be fundamental safeguarding the environment, generating new job opportunities, sustaining development and health improvements in rural areas. The development of efficient biomass handling technology, improvement of agro-forestry systems and establishment of small and large-scale biomass-based power plants can play a major role in rural development. Biomass energy could also aid in modernizing the agricultural economy.

Keywords: woody crops, biomass firing, cogeneration and trigeneration.

Introduzione

Con il termine biomassa si qualifica un insieme molto eterogeneo di materiali organici. Secondo il decreto legislativo n. 387/2003 per biomassa si intende: “*la parte biodegradabile dei prodotti, rifiuti e residui provenienti dall’agricoltura (comprendente sostanze vegetali ed animali) e dalla silvicoltura e dalle industrie connesse, nonché la parte biodegradabile dei rifiuti industriali ed urbani*”. Uno dei vantaggi fondamentali delle biomasse consiste nella possibilità di produrle e convertirle indipendentemente dalla disponibilità di energia fossile (Di Renzo *et al.*, 1984; Sims *et al.*, 2006).

Tra le varie forme di biomassa, le colture energetiche sono quelle coltivazioni in grado di fornire substrato per la produzione di energia termica e/o elettrica: si distinguono specie erbacee di tipo annuale (girasole, colza, kenaf, topinambur, sorgo), poliennale (cardo, miscanto, canna) e legnose (pioppo, salice, eucalipto, robinia) (Galli *et al.*, 2004; Venendaal *et al.*, 1997).

Le colture energetiche danno la possibilità di risolvere problematiche di natura ambientale e di natura socioeconomica; infatti la loro diffusione può contribuire allo sviluppo di territori rurali, specialmente di zone marginali o di aree nelle quali le attività economiche sono limitate, a causa dell’abbandono progressivo delle stesse. È noto infatti che la messa in campo di colture a scopo energetico può costituire una fonte di reddito aggiuntiva rispetto alle attività agricole forestali, ed al tempo stesso rendono disponibile una fonte energetica alternativa a quelle tradizionali di natura fossile (Galli *et al.*, 2004; Sims *et al.*, 2006).

Le colture energetiche di natura ligno-cellulosica sono generalmente destinate alla produzione di energia termica e/o elettrica, per combustione, gassificazione o pirolisi (Venendaal *et al.*, 1997; McKendry, 2002). In genere la produzione esclusiva di energia elettrica ha rendimenti molto bassi, questi rendimenti crescono con la cogenerazione (contemporanea produzione di energia elettrica e termica) o la trigenerazione (produzione contemporanea di energia elettrica, termica e frigorifera) (Rentizelas *et al.*, 2009). A causa della bassa densità energetica del materiale vegetale generalmente utilizzato, oltre che dei costi per l’allestimento dei cantieri di raccolta (Di Renzo *et al.*, 1987), del trasporto e dei pretrattamenti necessari, l’obiettivo finale è la qualità della biomassa (come contenuto in ceneri e minerali), la massimizzazione della sostanza secca e l’energia prodotta dalla conversione (Di Renzo *et al.*, 1985; Mosier *et al.*, 2005; Sims *et al.*, 2006).

Negli ultimi anni sono state sviluppate una vasta gamma di tecnologie di conversione per applicazioni su piccola e media scala per l’impiego delle biomasse per la cogenerazione, e di sistemi basati su cicli combinati di gassificazione o pirolisi, che necessitano però ancora di ulteriori ricerche volte all’ottimizzazione degli impianti. Resta di particolare interesse l’evidenza che le emissioni di CO₂ per la generazione di un’unità di bioenergia sono da dieci a venti volte minori rispetto alle emissioni per la generazione da fonti combustibili fossili (McKendry, 2002; Mann *et al.*, 2004;

Sims *et al.*, 2006). Nell'ottica di ipotizzare impianti di conversione adatti alle colture energetiche è necessario che la biomassa ideale soddisfi una serie di requisiti in relazione alla facile reperibilità, all'uniformità qualitativa del materiale, ed alla possibilità di sostituire la biomassa senza eccessivi interventi impiantistici (McKendry *et al.*, 2002; Sims *et al.*, 2006). Inoltre, per via della crescente consapevolezza ed informazione delle comunità sui problemi ambientali e sui potenziali rischi degli impianti di conversione energetica, è necessario che tanto le piattaforme di conversione quanto l'approvvigionamento e l'utilizzo delle biomasse godano di una sufficiente accettabilità sociale (Galli *et al.*, 2004).

Caratteristiche del pellet e processo di produzione

Il prodotto finale che si ottiene dalle colture legnose è generalmente cippato di legno, fresco o essiccato, e pellet aventi varie caratteristiche sia dimensionali che per quanto riguarda il contenuto d'acqua espresso come umidità relativa percentuale (UR% o M%) (cfr. Tab.1 e Tab.2), e, sebbene gli studi effettuati in relazione all'impiego dei biocombustibili legnosi evidenzino la bassa convenienza energetica dell'impiego delle varie forme di legna (in pezzi, cippato o pellet) rispetto ai sistemi tradizionali con caldaie a metano o gasolio, è altresì vero che allo stato attuale le moderne caldaie sono in grado di raggiungere rendimenti intorno al 75% se alimentate con legna a pezzi o cippata, e fino al 90% circa se alimentare con pellet (Lazzarin *et al.*, 2005).

Tabella 1 - Massa sterica dei principali biocombustibili solidi (modificata da Francescato *et al.*, 2009).

COMBUSTIBILI LEGNOSI	UR%	SPECIE	MASSA STERICA (kg/ms)
Legna da ardere 33 cm in catasta	15	faggio/abete	445/304
Cippato	30	faggio/abete	328/223
Corteccia di conifere	15		180
Segature	15		160
Trucioli di pialla	15		90
Pellet	8		620-650
COMBUSTIBILI DI ORIGINE AGRICOLA	UR%	SPECIE	MASSA STERICA (kg/ms)
Balle parallelepipedo	15	miscanto	140
Triturato	15	miscanto	110
Granella	15	triticale	750

Tabella 2 - Umidità alla raccolta ed energia teorica ricavabile dalla combustione di alcune colture energetiche (modificata da Candolo *et al.*, 2006).

Specie	Umidità relativa alla raccolta (%)	Energia teorica (GJ/ha)
Canna comune	55-70	240-600
Sorgo da fibra	55-70	330-507
Pioppo	50-60	160-450
Robinia	50-60	178-231

Il pellet presenta tra i suoi numerosi vantaggi: un'elevata densità apparente, superiore di circa sette volte a quella della segatura e tre volte rispetto a quella del cippato (circa 750-800 kg m⁻³), che favorisce condizioni ottimali per il trasporto e lo stoccaggio. Si pensi che per lo stoccaggio presso l'utenza finale è sufficiente prevedere per ogni tonnellata di prodotto un deposito di poco inferiore a 2 m³, molto inferiore rispetto agli altri prodotti ligno-cellulosici.

Il pellet inoltre è un materiale molto omogeneo, proprietà che unita alla granulometria ed alla bassa umidità (prossima al 10%) consente una movimentazione molto semplificata, con coclee, nastri trasportatori e sistemi pneumatici di aspirazione. Anche le caldaie per la combustione del materiale sfruttano tecnologie di combustione molto avanzate che, per effetto delle positive caratteristiche del materiale, comportano anche elevati rendimenti energetici (prossimi al 90%).

Inoltre il basso contenuto di umidità agevola lo stoccaggio evitando fenomeni di fermentazione e riduce i costi di trasporto, ciò è dovuto al fatto che per via del processo di estrusione che avviene durante la produzione, i pellets presentano la superficie laterale liscia e compatta e questo limita il loro carattere igroscopico rendendoli particolarmente durevoli.

Infine l'aspetto fondamentale riguardante l'impiego come combustibile del pellet è quello relativo all'elevato potere calorifico (circa 5 kWh kg⁻¹) che lo rende una fonte di calore particolarmente interessante tra i biocombustibili. Il pellet presenta un buon potere calorifico inferiore (PCI) anche nei confronti dei combustibili fossili, si consideri infatti che 1 kg di pellet equivale a circa 0,5 litri di gasolio, 0,5 m³ di gas naturale e 0,6 kg di carbone. La formula per il calcolo del potere calorifico del legno (MJ/Kg) con un dato contenuto idrico (M% o UR%) è la seguente (pc₀ è il potere calorifico del legno anidro che mediamente e con buona approssimazione risulta pari a 18,5-19 MJ kg⁻¹ per le diverse specie legnose e 16,5-17,5 MJ kg⁻¹ per le colture erbacee utilizzate come combustibili di origine agricola):

$$pc_M = \frac{pc_0 \times (100 - M) - 2.44 \times M}{100}$$

Per la fabbricazione del pellet si ricorre ad un processo basato sull'essiccamento del materiale e sulla sua successiva triturazione; segue poi la pellettizzazione, il raffreddamento del materiale e l'insacchettamento. Ad una riduzione della biomassa in scaglie, mediante la triturazione, segue l'allontanamento dei corpi estranei di natura ferrosa (con appositi magneti) che sarebbero causa di rotture meccaniche durante la trafilazione. La trasformazione in pellet avviene ad opera di macchine che basano il loro funzionamento sulla compressione del materiale legnoso, che viene spinto attraverso dei fori di estrusione (generalmente cilindrici) a valori di pressione intorno a 200 atmosfere.

Allo scopo di ottenere pellet con migliori caratteristiche qualitative in termini di consistenza e ridotto contenuto in polveri attualmente è disponibile anche una tecnologia innovativa (Steam Explosion) che prevede l'alimentazione della biomassa all'interno di una caldaia ove viene creata un'elevata pressione iniettando vapore saturo e successivamente un'improvvisa depressione che determina l'esplosione della biomassa e la sua riduzione in fibre con fuoriuscita della lignina intenerita, e quindi più facile da trasformare in pellet (Mosier *et al.*, 2005, Ramos *et al.*, 1992; Brownell *et al.*, 1986).

Produzione di energia termica da biomassa

La combustione rappresenta attualmente il metodo più comune di conversione della biomassa e le caldaie rappresentano ormai una tecnologia matura, pur essendo necessario perfezionare alcuni aspetti legati alla proprietà delle ceneri derivanti dalla combustione di particolari tipologie di biomassa (colture erbacee) ed ai rendimenti ottenibili (Sims *et al.*, 2006).

I principali combustibili utilizzati in questo caso sono: a) legna in ciocchi o tronchetti, delle dimensioni variabili fra 100 e 1000 mm, essenze tipiche sono faggio, quercia, pioppo o le conifere, con almeno un anno di stagionatura all'aria, preferibilmente sotto una tettoia, in modo da garantire un contenuto di umidità inferiore al 25-30%; b) cippato, un combustibile derivato dalla sminuzzatura di legno derivante da scarti di lavorazione, potature, manutenzioni dei boschi, ecc., con dimensioni e contenuti di umidità variabili a seconda delle macchine cippatrici utilizzate e delle tipologie di legno e stagionatura adottate; c) pellet, cilindretti della dimensione di alcuni millimetri di legno essiccato e pressato, con il duplice vantaggio di avere un potere calorifico inferiore (PCI) e densità energetiche nettamente superiori e una notevole facilità di trasporto (cfr. Tab.1).

Lo sviluppo tecnologico delle caldaie si è focalizzato nell'utilizzo delle biomasse legnose come combustibile; a tal scopo sono state sviluppate diverse tecnologie di combustione che hanno permesso di sfruttare efficacemente ed efficientemente le potenziali tipologie di biomasse legnose disponibili sul mercato, le quali si differenziano, in particolare, per il contenuto idrico ed il contenuto in ceneri (McKendry, 2002).

Le principali caratteristiche qualitative delle biomasse legnose richieste dalle caldaie sono la pezzatura, il contenuto idrico e di ceneri. La Tab. 3 fornisce un quadro indicativo delle caratteristiche richieste dai generatori termici a legna e cippato.

Tabella 3 - Caratteristiche delle biomasse legnose richieste dai generatori termici a legna e cippato (modificato da Francescato *et al.*, 2009).

Tipo di caldaia	Classe di caldaia (kWt)	Griglia	Sistema di alimentazione	Pezzatura (P)	Contenuto idrico (M) come UR%	Ceneri % (A)
Manuale a legna	< 100	fissa	manuale	P330-1000	M20	-
	< 150	fissa	coclea	P16-45	M20-M30	A1.5
Automatica a cippato	150-1000	fissa/ semimobile	coclea	P16-45	M20-M40	A1.5-3.0
	>1000	mobile	spintore	P16-100	M30-M55	A3.0-10.0

Preliminarmente, prima della conversione in energia elettrica, in energia termica o in combustibili liquidi, le biomasse devono essere sottoposte ad una serie di pretrattamenti: innanzitutto è necessario ridurre il contenuto di umidità del materiale a disposizione, al fine di ottimizzare la successiva combustione. La riduzione di umidità può avvenire grazie all'essiccazione in regime naturale e forzando la circolazione di aria mediante sistemi a convezione forzata. Nel caso di essiccazione naturale, che può essere effettuata direttamente sulla materia prima (in campo) o su biomasse lavorate (nel caso di cippato), si raggiungono valori finali di umidità intorno al 20% partendo da valori iniziali prossimi al 45-50%, ma il contenuto finale di acqua dipende molto dal tempo di essiccamento della biomassa.

Per l'essiccamento di cippato proveniente dalle coltivazioni SRF (*Short Rotation Forestry*), che danno biomasse mediamente più umide, si ricorre ad uno stoccaggio all'aperto, con cumuli che raggiungono un'altezza intorno ai 6 metri; con tale sistema l'umidità può essere abbassata dal 50% al 30% circa. Per effetto delle perdite di sostanza secca ad opera della decomposizione naturale del materiale, bisogna tenere in conto anche perdite di peso intorno al 5% nei mesi iniziali di conservazione, e dell'1,5% dopo il terzo/quarto mese.

Nei sistemi a convezione forzata è necessario invece prevedere appositi sistemi (motori elettrici e ventilatori) che forzano il passaggio di aria calda attraverso il materiale legnoso, e ne favoriscono la rimozione dell'umidità, tuttavia con costi aggiuntivi per il processo.

Possiamo ricordare i sistemi a ventilazione forzata e con aria preriscaldata dall'energia solare. Si tratta di strutture con sistemi di ventilazione forzata di aria preriscaldata in un'apposita intercapedine sotto tetto. L'aria preriscaldata dal sole viene successivamente convogliata in un camino di ventilazione e forzata dal basso con un ventilatore all'interno dei cumuli del cippato (Francescato *et al.*, 2009).

Per quanto riguarda le caldaie, attualmente, a livello commerciale, si possono distinguere diverse tipologie di caldaia, distinte oltre che per alcuni aspetti costruttivi, principalmente per la potenza termica prodotta. Le caldaie di piccola taglia (0,1-0,5 kW) sono generalmente alimentate a cippato, pellets e residui vari di legno e sono in grado di soddisfare le esigenze di tipo civile ed industriale. Mediante l'accoppiamento a sistemi ORC (*Organic Rankine Cycle*) parte dell'energia termica può essere impiegata per la produzione di energia elettrica (Schuster *et al.*, 2008) utilizzando un ciclo Rankine con espansione del fluido in una turbina accoppiata ad un generatore elettrico.

Per esigenze produttive maggiori esistono impianti sia di media taglia (0,5-1 MW) che di grossa taglia (1-50 MW). Negli impianti di grossa taglia, per la produzione di energia elettrica è preferibile la soluzione dell'accoppiamento con turbine a vapore.

Caldaie di piccola potenza

Sono disponibili commercialmente caldaie innovative a biomassa, di piccola potenza ed alimentate con colture legnose tra le quali anche il pioppo, di taglia medio-piccola da installare presso aziende agricole, o di taglia industriale (fino a svariati MW) da impiegare per il riscaldamento di edifici, industrie e per la creazione di reti di teleriscaldamento: la ditta Mawera (www.mawera.com) realizza caldaie alimentate con cippato di biomasse provenienti da colture energetiche legnose e nei modelli commerciali con potenza nominale fino a 1250 kW è possibile utilizzare legna con contenuto di acqua fino al 50%, come nei modelli prodotti da KWB (www.kwb.com), che produce caldaie di piccola taglia (fino a 300 kW) caratterizzate da soluzioni originali ed innovative relative alla griglia, alla camera di combustione ed al sistema di estrazione delle ceneri.

Il cuore della macchina è costituito da un sistema a griglia girevole, composto da un innesto laterale, una griglia girevole e un dispositivo di asportazione della cenere. La camera di combustione a ciclone, disposta verticalmente, è servita da un sistema di insufflazione di aria che crea una corrente rotante in grado di generare una combustione completa e bassissime emissioni, oltre ad una separazione ottimale delle particelle di cenere volatili.

Il sistema di combustione è ottimizzato grazie alla presenza di un sistema di regolazione costituito da una sonda Lambda, un sistema di regolazione della temperatura della camera, un sistema di regolazione del livello di riempimento e un sistema di controllo della combustione. Tale sistema integrato permette la combustione di materiale dalle caratteristiche eterogenee in termini di contenuto di umidità, granulometria e potere calorifico, che assicura prestazioni elevate anche in presenza di un alto contenuto di ceneri.

Caldaie di media-grossa potenza

Quando vi sia ampia disponibilità di sottoprodotti dell'industria del legno o di biomasse residuali di provenienza agricola (residui della vite, dell'olivo, di frutteti) l'impiego di caldaie di potenza medio-grande rappresenta la soluzione tecnologica preferibile. Allo stato attuale gli aspetti più critici del funzionamento di tali impianti sono quelli legati all'ottimizzazione della combustione ed al trattamento dei fumi. Una combustione ottimale si rende necessaria ai fini di una riduzione dei composti nocivi quali CO (monossido di carbonio) e di composti inorganici azotati (NO_x) e può essere ottenuta alimentando biomasse adatte al tipo di caldaia progettata.

Inoltre l'impiego di caldaie di grossa potenza può giustificare la realizzazione di reti di teleriscaldamento in grado di servire utenze domestiche o edifici civili di altra natura (piscine, scuole). La lunghezza delle reti di teleriscaldamento varia da qualche centinaio di metri (nei casi più semplici) fino a qualche km nel caso di reti più complesse.

Tra le varie tipologie di caldaie, gli impianti a cippato offrono la possibilità di raggiungere potenze termiche abbastanza elevate (dell'ordine di diversi MW) e risultano preferibili per il riscaldamento di grosse unità produttive (scuole, ospedali, unità abitative) mediante reti di teleriscaldamento.

I modelli di caldaia a griglia si distinguono in quelli di tipo fisso o mobile (in relazione alla tipologia della griglia). La griglia fissa è adatta alla combustione di biomassa legnosa a basso contenuto di umidità, mentre la griglia mobile è adatta ai combustibili più umidi (fino al 50%), anche di pezzatura grossolana.

Nell'ambito delle attività correlate al progetto FAESI sono stati condotti alcuni rilievi presso aziende produttrici di caldaie alimentate con biomasse legnose di varia tipologia (legno, cippato) al fine di rilevare i costi degli impianti commercializzati; tali dati sono stati anche confrontati con alcune "review" e ricerche condotte in altri territori nazionali e internazionali.

Attualmente si evidenzia che per caldaie alimentate a cippato, con capacità fino a 0,3 MW è necessario un investimento massimo di 160.000 € (circa la metà per una caldaia di potenza 0,15 MW) e disponibilità di biomassa variabile da ca. 40 t/anno per una caldaia 0,15 MW fino a 100 t/anno per una caldaia 0,3 MW. Per impianti medio grandi si arriva ad un investimento di ca. 350.000 € per 0,5 MW e fino a 500.000 € per capacità di 1 MW. Un impianto di 1 MW richiede inoltre la disponibilità di ca. 300 t/a di biomassa. Dai dati disponibili (anche in letteratura) si evince che al costo totale dell'investimento contribuiscono in proporzione diversa varie voci: il corpo caldaia (ca. 60% dell'investimento), i circuiti e le tubazioni annesse (20%), il sistema di estrazione (15%) ed il montaggio (5%).

Includendo anche le opere edili e nell'ipotesi di realizzazione di reti di teleriscaldamento si può stimare che i costi da sostenere per la realizzazione dell'impianto possano variare dai 1000 €/kW per impianti fino a 100 kW fino a ca. € 500/kW per impianti tra 0,1 ed 1 MW.

Si evince inoltre che i leader nel mercato delle caldaie a biomasse solide sono i costruttori svedesi, tedeschi ed austriaci, grazie al fatto che questi Paesi sono stati i primi a sviluppare le tecnologie dello sfruttamento energetico delle biomasse solide, sia per una elevata disponibilità di materia prima che per una maggiore sensibilità verso le tematiche ambientali e correlate allo sfruttamento delle risorse energetiche (Venendaal *et al.*, 1997).

La tecnologia maggiormente sviluppata è senz'altro quella della caldaia a fiamma inversa, nelle quali l'aspetto particolare è legato alla posizione della camera di combustione che è situata al di sotto della zona di carico della legna (si possono caricare pezzi lunghi da 40-50 cm per caldaie fino a 50 kW e fino a 100 cm per caldaie di media-grossa taglia, dell'ordine delle centinaia di kilowatt). In tale modello di caldaia la fiamma è tale da non investire direttamente il combustibile, ed in tale modo si ottengono combustioni più efficaci e durature. Le moderne caldaie a fiamma inversa sono dotate poi di diverse tecnologie che le rendono più affidabili e sicure: generalmente è presente un sistema di ventilazione che forza l'aria di combustione all'interno della camera di combustione posto nella parte anteriore oppure nella parte posteriore per l'aspirazione dei fumi (con conseguente depressione in camera di combustione che richiama l'aria comburente). L'aria è sempre divisa fra aria primaria (che viene introdotta immediatamente sopra la griglia sulla quale è appoggiata la legna e consente l'avvio della combustione e la formazione di uno strato di braci che permettono la gassificazione del legno e la conseguente pirolisi con formazioni di gas combustibili, soprattutto CO e H₂) e secondaria (che viene immessa direttamente in camera di combustione dove avviene appunto la combustione con i gas).

La progettazione dei canali dell'aria e della camera di combustione è di fondamentale importanza ai fini di un corretto funzionamento della caldaia e per garantire il rispetto dei criteri di sicurezza dell'impianto. Infatti, l'eventuale presenza di turbolenze o temperature ottimali adatte allo sviluppo della fiamma richiedono la permanenza dei gas caldi nel focolare per un tempo sufficiente al completamento delle reazioni di combustione e quindi, in ultima analisi, per ottenere emissioni inquinanti ridotte al minimo. Nei modelli più evoluti il ventilatore di espulsione dei fumi è a giri variabili e vi è la presenza di una sonda lambda per il controllo del tenore di ossigeno nei fumi tramite l'azione sulle serrande dell'aria; ciò consente di ottimizzare la combustione anche durante i transitori di accensione/spengimento ed i funzionamenti ai carichi parziali (pochi modelli hanno la modulazione continua, la maggior parte è monostadio o bistadio).

Le moderne caldaie a legna inoltre possiedono tutte uno scambiatore di emergenza: si tratta sostanzialmente di una serpentina di rame immersa nell'acqua di caldaia, con un lato allacciato ad una presa di acqua fredda e l'altro ad uno scarico. Lo scopo è quello di garantire la sicurezza in caso di situazioni di emergenza (interruzione dell'alimentazione elettrica o guasto della pompa di circolazione), in quanto questo tipo di caldaie, una volta accese, sono caratterizzate da una notevole inerzia termica (causata dalla presenza di una elevata quantità di combustibile al proprio interno). È

inoltre presente una valvola di sicurezza termica il cui elemento sensibile, costituito da un bulbo di mercurio, comanda un dispositivo meccanico che fa aprire la valvola quando la temperatura di caldaia si avvicina ai 100°C.

Un aspetto altrettanto importante è quello relativo ai criteri di dimensionamento e di installazione dell'impianto: in caso di sovradimensionamento della caldaia si osserva, oltre ad un inutile aumento dei costi fissi per l'investimento, un funzionamento non corretto della macchina. Tale malfunzionamento potrebbe manifestarsi con interruzioni (anche frequenti) della combustione, minore efficienza, maggiore produzione di inquinanti e ceneri, eccessivo sporco del camino e della caldaia, maggiori oneri per la pulizia della camera di combustione.

Un accorgimento molto utile per la risoluzione di questi problemi è quello di impiegare un serbatoio inerziale di accumulo al servizio della caldaia. Alcuni modelli più evoluti di caldaie a legna prevedono la regolazione, tramite microprocessore, della potenza erogata in funzione delle temperature rilevate a diverse altezze del serbatoio, in modo da evitare una troppo rapida saturazione dell'accumulo stesso. (Lazarin *et al.*, 2005).

Impianti di cogenerazione

Tali impianti permettono la generazione contemporanea di energia termica ed elettrica. Secondo la norma UNI 8887-1987 si intende per cogenerazione l'insieme delle operazioni volte alla produzione combinata di energia meccanica/elettrica e calore, partendo da una qualsiasi sorgente di energia. Il calore generato viene trasferito all'utenza finale in forme diverse (vapore, acqua calda, aria calda), e può essere destinato a usi civili di riscaldamento e/o raffreddamento o a usi industriali. Finora il principale ostacolo allo sviluppo dei sistemi cogenerativi è stato rappresentato dagli elevati costi iniziali di impianto per via della complessità di tali sistemi, se confrontati con i costi di altri sistemi tradizionali (Duvia *et al.*, 2004).

I principali vantaggi associati agli impianti di cogenerazione consistono in un miglioramento dei rendimenti (diminuzione dei consumi a parità di potenza) ed in un minor impiego di combustibile a parità di energia ricavata, di contro per l'impiego di impianti di cogenerazione è necessario che sia presente contemporaneamente la domanda di energia termica e di energia elettrica in quanto l'elettricità non è accumulabile e il calore lo è solo per brevi periodi. Dal punto di vista logistico, le utenze termiche ed elettriche dovrebbero trovarsi nelle vicinanze dell'impianto di generazione.

Tra i sistemi maggiormente diffusi per la cogenerazione di energia termica ed elettrica vi sono quelli basati su sistemi ORC, turbine a gas o su motori endotermici (Drescher *et al.*, 2007; Duvia *et al.*, 2004; Schuster *et al.*, 2008).

Nel caso di impianti di taglia medio-piccola (fino a 2 MW elettrici) possono essere impiegati sistemi basati sul riscaldamento di olio diatermico e macchina a ciclo ORC,

mentre nel caso di impianti a servizio di aziende che necessitano di produzione di vapore e di energia termica costante durante l'anno (ad esempio per un caseificio) l'energia elettrica può essere prodotta mediante produzione di vapore che alimenta una turbina. Le macchine ORC permettono una resa di conversione di biomassa in energia elettrica pari a 0,15-0,17, e presentano numerosi vantaggi operativi tra cui quello di garantire una produzione elettrica evitando la produzione di vapore (e dunque di tutti gli accessori connessi) ed eliminando la presenza di circuiti in pressione.

Nei sistemi con turbina a gas azionata dai fumi provenienti dalla camera di combustione la turbina costituisce il motore e le trasformazioni termodinamiche alla base del principio sono tipicamente quelle di un ciclo *Brayton*. Tali impianti sono dotati di elevata flessibilità grazie alla generazione indipendente di potenza termica e di potenza meccanica e permettono inoltre l'incremento della produzione di energia termica realizzando una post-combustione recuperando i gas di scarico in uscita dalla turbina (a contenuto di ossigeno molto elevato).

Un grosso svantaggio invece, dei sistemi basati sulle turbine a gas è la necessità di impiegare combustibili quali gas e oli leggeri per evitare la corrosione e l'abrasione delle palette della turbina.

Infine, nella tipologia di impianti dotati di motori endotermici (provvedono alla generazione di energia meccanica convertita poi in elettrica tramite apposito alternatore) si prevede l'utilizzo di motori ad accensione comandata oppure ad accensione spontanea, basati rispettivamente sul ciclo Otto o sul ciclo Diesel.

A livello commerciale sono diverse le soluzioni proposte per la cogenerazione termica ed elettrica, oggetto anche di numerosi studi bibliografici, che si distinguono per alcuni aspetti progettuali ed operativi: generatore elettrico, scambiatori di calore, strumentazione di regolazione e controllo dell'impianto, sistemi antinquinamento e di insonorizzazione.

Addirittura per taglie piccole (fino a 350 kW) sono attualmente disponibili impianti muniti di microturbina o anche celle a combustibile, ma entrambe le soluzioni presentano tuttora costi molto elevati (fino a 2500 €/kWe nel caso della microturbina e fino a 5000 €/kWe nel caso delle celle a combustibile). Per di più, nel caso delle microturbine, l'efficienza meccanica risulta relativamente bassa e la cogenerazione è limitata ad applicazioni a bassa temperatura (Drescher *et al.*, 2007; Rentizelas *et al.*, 2009). Le celle a combustibile, alimentabili con idrogeno, propano, metanolo o gas naturale, permettono la produzione di energia termica per la produzione di acqua calda o di vapore a bassa od alta pressione.

Per taglie da 0,5 MW fino a 50 MW le turbine a gas presentano il vantaggio di produrre energia termica di elevata qualità, senza prevedere la presenza di sistemi di raffreddamento. Tuttavia la turbina a gas necessita di gas ad alta pressione e presenta bassa efficienza a basso carico (Schuster *et al.*, 2008).

Per taglie fino a 250 MW anche i sistemi basati su turbina a vapor d'acqua consentono un'elevata efficienza accanto ad un'alta affidabilità e lunghi tempi di esercizio. Di contro il rendimento elettrico con questi sistemi è molto basso (0,10-0,30).

Trigenerazione

La trigenerazione consiste nella produzione contemporanea di energia elettrica, termica e frigorifera a partire da un unico combustibile ed unisce alle due funzioni della cogenerazione anche quella di condizionamento dell'aria e di raffrescamento. La produzione di energia frigorifera si basa generalmente sull'impiego di un ciclo frigorifero ad assorbimento in grado di trasformare l'energia termica in energia frigorifera, realizzando la trasformazione di stato del fluido refrigerante in combinazione con una sostanza utilizzata come assorbente.

Le macchine ad assorbimento, pur basando il loro funzionamento sulla presenza di un condensatore e di un evaporatore (come avviene in una comune macchina frigorifera a compressione di vapori saturi), sono di fatto prive del compressore, e presentano un assorbitore e delle pompe per la circolazione di una soluzione salina (acqua e bromuro di litio), oppure di una soluzione di ammoniacca ed acqua, che è maggiormente impiegata nelle applicazioni di refrigerazione industriale. Per via della bassa pressione presente a livello dell'evaporatore, la soluzione refrigerante assorbe calore dal fluido da raffreddare e si concentra, mentre il solvente evaporato viene recuperato nella parte rimanente del ciclo e nuovamente immesso nel sistema.

Un'altra tipologia di macchine frigorifere impiegate nei sistemi a trigenerazione è quello delle macchine ad adsorbimento ove il fluido di processo (acqua) in forma di vapore viene continuamente adsorbito e rilasciato da una sostanza adsorbente (gel di silice). Come nel caso delle macchine ad assorbimento anche in questo caso è presente un evaporatore che si trova nel lato di bassa pressione (0.01 bar, con temperatura di evaporazione intorno a 10-11°C) ed un condensatore (la temperatura di condensazione è superiore a quella dell'ambiente esterno). Il calore richiesto per il desorbimento dell'acqua può essere fornito a temperature intorno ai 50°C. Anche in queste macchine viene ad essere assente il compressore, che è sostituito da due camere delle quali una è a contatto con l'evaporatore ed una con il condensatore, e nelle quali si svolgono le principali trasformazioni termodinamiche tipiche di questo ciclo.

Gli svantaggi tipici di queste tipologie di macchine sono rappresentati oltre che da costi elevati (sono limitati i produttori di tali impianti), anche dal notevole ingombro e dal peso.

Teleriscaldamento

Di particolare interesse al giorno d'oggi è l'impiego di energia termica prodotta con fonti rinnovabili per il riscaldamento di edifici civili (scuole, piscine, palestre, condomini) mediante le cosiddette reti di teleriscaldamento.

Tale soluzione impiantistica consiste nella distribuzione del calore per il riscaldamento di edifici e comunque per impieghi a bassa temperatura (acqua calda per

uso igienico-sanitario) per mezzo di una rete di tubazioni interrato coibentate che connettono il generatore termico con le utenze finali attraverso uno scambiatore.

Il vantaggio delle reti di teleriscaldamento consiste sostanzialmente nell'offrire una fornitura diretta di acqua calda o surriscaldata in assenza di combustibili e di fiamme dirette e quindi con una maggior sicurezza derivante dall'assenza di rischi legati a incendi e fughe di gas.

Tra i vari esempi di impianti operativi in Italia si può citare quello del comune di Rosà, che consiste in un impianto di cogenerazione e teleriscaldamento a biomassa legnosa. Per la produzione della materia prima, proveniente dall'ambito locale, viene utilizzato cippato di pioppo da *Short Rotation Forestry*. L'impianto, di potenza termica installata pari a circa 3 MW, è al servizio di una rete di teleriscaldamento lunga circa due chilometri alla quale sono allacciate 15 utenze, e prevede un fabbisogno annuo stimato di biomassa pari a circa 1.200 tonnellate di cippato di legno.

Tabella 4 - Costi dell'energia primaria a confronto rispetto al cippato (modificata da manuale legna e cippato, AIEL).

Prodotto	MWh termici teorici	Prezzo €	Prezzo energia termica €/MWh
1 t cippato (M30, P45)	3.40	85	25.00
1 t cippato (M40, P45)	2.81	70	25.00
1 t cippatino (M20, P8)	3.98	120	30.15
1 t legna da ardere (M20, P330)	3.98	127	31.98
1 t pellet (M30) - sfuso	4.70	200	42.55
1 t sansa esausta - sfusa	4.86	114	23.46
100 m ³ metano 'servito'	1.00	70	70.00
1 t gasolio per serre (accisa 22%)	11.7	625	53.56
1 t gasolio da riscaldamento	11.7	950	81.41
100 litri GPL	6.82	1172	171.85

Un aspetto molto importante e fondamentale, quando si è di fronte alla scelta del sistema di riscaldamento e/o produzione energetica, è la valutazione del grado di penetrabilità dei combustibili legnosi nel mercato locale. È fondamentale conoscere i prezzi di mercato dei vari combustibili, sia legnosi che fossili caratterizzati da poteri calorifici differenti. Il parametro che permette di confrontare il prezzo dei combustibili è il costo dell'energia primaria, vale a dire il costo dell'energia che essi contengono prima della loro conversione in energia utile (cfr. Tab. 4) a ciò va applicato il rendimento di conversione per ciascuna tipologia di utilizzo: combustione in caldaia, azionamento motori endotermici, produzione di biogas per azionamento motori endotermici; e per ciascuna tipologia di conversione energetica desiderata: energia

meccanica, energia elettrica, energia frigorifera. Il costo energetico globale va quindi rapportato alla forma di energia finale che si vuole ottenere a cui occorre sommare il costo di impatto ambientale per ciascun combustibile utilizzato.

Conclusioni

Allo stato attuale le colture energetiche rappresentano non soltanto la soluzione in grado di fornire substrato per la produzione di energia termica e/o elettrica ma una prospettiva di lungo periodo per la risoluzione di problematiche di natura ambientale e di natura socioeconomica, in quanto capaci di contribuire allo sviluppo dei territori rurali, di zone marginali e di aree con limitate attività economiche. Inoltre l'impianto di colture a scopo energetico può costituire una fonte di reddito aggiuntiva rispetto alle attività agricole forestali.

Attualmente le aziende produttrici di impianti di conversione energetica alimentati a biomassa forniscono diversi modelli di caldaia, differenziati per alcuni aspetti costruttivi (tipo di alimentazione, geometria della griglia, controllo dei parametri operativi, potenza termica prodotta). Le caldaie di piccola taglia (0,1-0,5 kW), che ben si prestano nell'ottica di un utilizzo nella piccola azienda agricola, sono generalmente alimentate a cippato, pellets e residui vari di legno e sono in grado di soddisfare le esigenze di tipo civile ed industriale.

Invece, laddove vi sia ampia disponibilità di sottoprodotti dell'industria del legno o di biomasse residuali di provenienza agricola (residui della vite, dell'olivo, di frutteti) l'impiego di caldaie di potenza medio-grande rappresenta la soluzione tecnologica preferibile, magari in associazione con reti di teleriscaldamento in grado di servire utenze domestiche o edifici civili di altra natura (piscine, scuole).

In ogni caso, nella scelta della caldaia più adatta ad una determinata applicazione vanno fatte anche considerazioni di carattere economico relative ai costi edili per la realizzazione di locali di deposito della biomassa che alimenta la caldaia, e per la realizzazione di un sistema di estrazione automatica.

Mediante l'accoppiamento a sistemi ORC (*Organic Rankine Cycle*) parte dell'energia termica può essere impiegata per la produzione di energia elettrica, o addirittura, per grandi impianti si può aggiungere la terza opzione che consente di operare in trigenerazione (produzione contemporanea di energia elettrica, termica e frigorifera), con impianti ad assorbimento o adsorbimento. In ogni caso tali impianti frigoriferi attualmente rappresentano soluzioni tecnologiche dai costi elevati (sono limitati i produttori di tali impianti), ma anche dal notevole ingombro e dal peso eccessivo.

Nel complesso, pur disponendo di tecnologie mature per la conversione energetica di biomasse legnose, la convenienza economica passa dalle considerazioni dei vari aspetti che concorrono alla determinazione dei costi fissi e dei costi di esercizio dell'impianto.

Si evidenzia che le caldaie a biomassa presentano elevati costi iniziali per l'acquisto della macchina e per la realizzazione delle opere termotecniche, sebbene i costi elevati dell'impianto si giustificano con la presenza di elementi di particolare raffinatezza tecnologica (scambiatori, sistemi di estrazione delle ceneri, sensori, filtri) e di una serie di accorgimenti tecnici che concorrono a definire la sicurezza complessiva dell'impianto.

Bibliografia

- Amirante P., Di Renzo G.C. (1987). Experimental tests on a prototype machine for harvesting forestry trimming wastes”, in *Biomass Energy*, Elsevier Applied Science.
- Amirante P., Di Renzo G.C., Pellerano A. (1985) Prove sperimentali di bricchettatura di biomasse ligno-cellulosiche”, *Atti del convegno di Meccanica Agraria*, Perugia.
- Amirante P., Di Renzo G.C., Scarascia Mugnozza G. (1984) Interventi per il risparmio energetico e per l'utilizzazione delle energie rinnovabili in agricoltura, *Riv. Tecnopolis*.
- Brownell H.H., Yu E.K.C., Saddler J.N. (1986) Steam explosion pretreatment of wood: effect of chip size, acid, moisture content, and pressure drop. *Biotechnology and Bioengineering*, 28, 792-801.
- Candolo G., Meriggi, P. (2006). Le biomasse vegetali, tante energie da coltivare. *L'informatore agrario*, 1, 30-35.
- Drescher U., Bruggemann D., (2007). Fluid selection for the Organic Rankine Cycle (ORC) in biomass power and heat plants. *Applied thermal engineering*, 27, 223-228.
- Duvia A., Gaia M., (2004). Cogenerazione a biomassa mediante turbogeneratori ORC Turboden: tecnologia, efficienza, esperienze pratiche ed economia. Relazione del Convegno “Energia prodotta da scarti del legno: opportunità di cogenerazione nel distretto del mobile”.
- Francescato V., Antonini E., Zuccoli Bergoni L. (2009). *Legno e cippato*. AIEL – Associazione Italiana Energie Agroforestali.
- Galli M., Pampana S. (2004). Le fonti rinnovabili per la produzione di energia: il ruolo delle biomasse. *Quaderno ARSIA – Le colture dedicate ad uso energetico: il progetto Bioenergy Farm*.
- Lazzarin R.M., Minchio F., Noro M. (2005). Utilizzo delle biomasse nel riscaldamento civile ed industriale: aspetti energetici, tecnologici ed ambientali.
- Mann M.K., Spath P.L. (2004). Biomass power and conventional fossil systems with and without CO₂ sequestration – comparing the energy balance, greenhouse gas emissions and economics. *Technical Report National Renewable Energy Laboratory*.

- McKendry P. (2002). Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. *Bioresource Technology*, 83, 37-46.
- Mosier N., Wyman C., Dale B., Elander R., Lee Y.Y., Holtzapple M., Ladisch M. (2005). Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass, *Bioresource Technology*, 96, 673-686.
- Ramos L.P., Breuil C., Saddler J.N. (1992). Comparison of steam pretreatment of eucalyptus, aspen, and spruce wood chips and their enzymatic hydrolysis. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 34/35, 37-48.
- Rentizelas A., Karellas S., Kakaras E., Tatsiopoulos I. (2009). Comparative techno-economic analysis of ORC and gasification for bioenergy applications. *Energy conversion and management*, 50, 3, 674-681.
- Schuster A., Karellas S., Kakaras E., Spliethoff H. (2008). Energetic and economic investigation of Organic Rankine Cycle applications. *Applied Thermal Engineering*, 29, 1809-1817.
- Sims R.E.H., Hastings A., Schlamadinger B., Taylor G., Smith P. (2006). Energy crops: current status and future prospects. *Global Change Biology* 12, 2054-2076.
- Venendaal R., Jorgensen U., Foster C.A. (1997). European energy crops: a synthesis. *Biomass and Bioenergy*, 13, 3, 147-185.

G

Prospettive

I. Colture legnose

1 - Prospettive delle colture arboree dedicate alla produzione di biomassa da energia

Perspectives of woody crops dedicated to biomass production for energy use

Mario Di Candilo*, **Gianni Facciotto****

Riassunto

Fra le specie arboree, pioppo, salice, robinia ed eucalipto sono ritenute le più idonee per la realizzazione di colture ad uso energetico in Italia. Oltre ad evidenziare le buone caratteristiche qualitative della biomassa di queste specie per la conversione termochimica, particolare enfasi viene data alla loro capacità di svolgere importanti “servizi ambientali” quali: accumulo di carbonio nel terreno; difesa del suolo dall’erosione e dai dissesti idrogeologici; tutela della biodiversità; fitorimedio di terreni inquinati. Inoltre, vengono evidenziate le buone prospettive di diffusione del pioppo in particolare, grazie alla selezione di cloni ad hoc per la produzione di biomassa, alla messa a punto di idonei modelli colturali e al miglioramento dei cantieri di raccolta. Infine vengono sottolineati gli obiettivi da perseguire con la ricerca per dare alle coltivazioni arboree a turno breve maggiori prospettive di affermazione e diffusione.

Parole chiave: pioppo, salice, robinia, eucalipto, cedui a turno breve.

Abstract

Among woody species, poplar, willow, black locust and eucalyptus are considered well suited crops for energy use. They do not only possess favorable qualitative characteris-

* CRA – Centro di Ricerca per le Colture Industriali, Bologna.

** CRA – Unità di Ricerca per le Produzioni Legnose fuori Foresta, Casale Monferrato (AL).

tic for combustion, they also can provide important ecosystem services, notably: soil organic carbon accumulation, protection against soil erosion, increased biodiversity, phytoremediation of polluted soils. Moreover, we point out the good perspectives for diffusion of poplar, owing to: the selection of clones improved for biomass productivity; the well defined agronomic techniques, and the well tested machinery for harvesting. Finally, we underscore the research objectives to be pursued to foster the diffusion of short rotation coppice.

Keyword: *poplar, willow, black locust, eucalyptus, short rotation coppice.*

Le ricerche svolte in Italia nell'ultimo decennio hanno dimostrato che le essenze legnose di maggiore interesse per la produzione di biomasse da energia sono il pioppo, il salice, la robinia e l'eucalitto. Le prime due, date le loro maggiori esigenze idriche (almeno 700 mm per il pioppo e 1.000 mm per il salice), trovano la loro naturale collocazione sui terreni più freschi del Nord Italia. La robinia è indubbiamente meno esigente rispetto al pioppo e al salice, sia dal punto di vista idrico che nutrizionale e, pertanto, si adatta bene anche in zone collinari e montane (Gras, 1991). La robinia è una specie azotofissatrice e miglioratrice del terreno che non richiede concimazioni azotate, perciò presenta un bilancio energetico complessivo migliore delle altre specie. Inoltre, la pianta di robinia, per la sua elevata capacità pollonifera, si presta meglio del pioppo ai tagli ripetuti a distanze ravvicinate (2-3 anni).

L'eucalitto ha esigenze termiche piuttosto elevate, pertanto può essere coltivato solo nelle zone più calde del Centro-Sud Italia. In queste aree sembra possibile ottenere buoni risultati con le specie *Eucalyptus globulus* Labill. subsp. *globulus*, *Eucalyptus globulus* subsp. *bicostata* (Maiden, Blakely & J.Simm.) J.B. Kirkp ed *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.; in particolare, con la provenienza di quest'ultima specie 'Lago Albacutya' che riesce a crescere anche in zone con scarsa piovosità e suoli salini (Mughini *et al.*, 2007).

Fra le specie sopra citate quella che ha maggiori prospettive di diffusione è indubbiamente il pioppo. Attualmente la pioppicoltura nazionale si estende su una superficie di oltre 80.000 ettari, inoltre ci sono circa 7.000 ha di piantagioni a ciclo breve per biomassa da energia per la maggior parte di pioppo. Dell'intera superficie nazionale circa l'88% dei pioppeti è dislocato nelle regioni Piemonte, Lombardia, Veneto, Friuli V.G. ed Emilia-Romagna, dalle quali proviene il 95% del legname prodotto in Italia (ISTAT, 2005). Nel resto d'Italia sono riscontrabili modeste superfici pioppicole in zone di pianura e di fondovalle collinare, soprattutto in Toscana, nel Lazio, in Campania e Calabria. La Pianura Padana è indubbiamente la macroarea più idonea alla coltivazione, ed è proprio in tale ambiente che la pioppicoltura da energia ha buone prospettive di diffusione. Il Sud della Penisola in generale è poco adatto alla realizzazione delle colture arboree in SRF su larga scala a causa del decorso primaverile-estivo par-

ticolarmenre siccitoso che non permette di realizzare produzioni soddisfacenti senza il supporto dell'irrigazione, il che implica maggiori costi di produzione; inoltre, la forte polverizzazione aziendale non si presta alla realizzazione di colture estensive e all'impiego di macchine operatrici di grosse dimensioni. In zone particolari delle varie regioni si possono comunque trovare condizioni pedoclimatiche idonee che consentono di ottenere buone produzioni ad esempio negli ambienti pedemontani calabresi con pioppi e robinia e nelle altre regioni con eucalitto.

La intensa attività di ricerca e sperimentazione svolta in questi ultimi anni nel nostro Paese sulle colture legnose dedicate, note come cedui a turno breve o come Short Rotation Forestry (SRF) hanno permesso di mettere a punto i più idonei modelli colturali (densità e sesti d'impianto, durata dei turni, durata economica delle coltivazioni, ecc.) e di ottenere varietà clonali ad hoc per la produzione di biomassa lignocellulosica da energia (Facciotto *et al.*, 2008). Di fatto, in Italia sono già iscritti al Registro nazionale dei Cloni Forestali, appositamente per la biomassa e quindi commercializzabili, nove cloni di pioppo (Marte, Saturno, Pegaso, Sirio, Monviso, AF2, AF8, Orion ed Imola); tra questi i più promettenti sembrano, 'AF2', 'AF8', 'Monviso' e 'Orion', altri sono in corso di sperimentazione (Facciotto *et al.*, 2006). Mentre con i cloni della pioppicoltura tradizionale si ottenevano produzioni medie di 6-10 t ha⁻¹ anno⁻¹ di sostanza secca, l'introduzione di cloni appositamente selezionati, con elevate capacità di crescita, ricaccio e resistenza alle principali avversità, ha consentito un sostanziale incremento produttivo con produzioni medie di 12-15 t ha⁻¹ anno⁻¹, fino a punte di 20 t ha⁻¹ anno⁻¹ di sostanza secca in terreni di buona fertilità (Mareschi *et al.*, 2005; Minotta *et al.*, 2007; Nervo e Facciotto, 2008; Paris *et al.*, 2011).

D'altra parte, l'incremento delle conoscenze agronomiche ha dimostrato che la scarsa fertilità del terreno e la scarsa cura della coltivazione non si conciliano con le aspettative di redditività. Per ottenere risultati soddisfacenti, oltre alla scelta dei migliori cloni, è fondamentale: i) utilizzare terreni in buono stato e dotati di buona fertilità; ii) eseguire con cura e tempestività la preparazione del terreno e le operazioni colturali; e iii) adottare un'adeguata meccanizzazione dall'impianto alla raccolta.

La tendenza attuale è quella di andare verso un allungamento dei turni di raccolta (triennale o quinquennale), con parallela riduzione della densità d'impianto. L'adozione di turni di ceduzione più lunghi consente prima di tutto una minore incidenza dei costi di raccolta, in secondo luogo allunga il ciclo di vita dell'impianto (minore mortalità delle ceppaie), migliora la qualità della biomassa (per riduzione dell'incidenza della corteccia, notoriamente più ricca di minerali rispetto al legno) ed il bilancio energetico della coltura. Tale modello colturale è stato reso possibile grazie alla messa a punto di prototipi e/o testate di macchine falciatrici in grado di tagliare anche piante/polloni con diametro basale superiore ai 10-12 cm.

Sotto il profilo qualitativo va evidenziato che il pioppo produce una biomassa di primissima qualità, contraddistinta da un basso contenuto di nutrienti: è noto infatti che un elevato contenuto di minerali è un cattivo indice di qualità ai fini della combustione, dato che incrementa il contenuto di ceneri, riduce il potere calorifico della

biomassa ed aumenta le emissioni nocive (Jorgensen and Schelde, 2001). Va pure sottolineato che le biomasse legnose, rispetto alle erbacee, si contraddistinguono per un maggiore contenuto di lignina ed un minore contenuto in emicellulosa; questo duplice fattore comporta, oltre ad un maggiore potere calorifico della biomassa legnosa, anche una migliore attitudine alla pellettizzazione, in quanto è la lignina l'agente legante delle varie particelle di biomassa nei pellets (Picco, 2007).



Particolari di una coltivazione di pioppo da biomassa ad uso energetico.

Oltre a produrre biomassa di buona qualità ad uso energetico le arboree in SRF, analogamente alle colture di specie erbacee perennanti (canna comune, miscanto, panico), possono fornire una serie di “servizi ambientali”. Il più importante di questi risiede nella loro capacità di immobilizzare il carbonio nel terreno (Ceotto *et al.*, 2008; Boccasile, 2008) e nelle biomasse. Di fatto, queste coltivazioni non richiedono lavorazioni annuali del terreno, inoltre rilasciano sulla superficie del suolo un'abbondante strato di foglie, pertanto possono sicuramente costituire dei depositi di carbonio molto più efficienti rispetto a qualunque sistema colturale basato su specie annuali. Ciò anche in virtù del fatto che queste colture accumulano carbonio negli organi di riserva delle piante non soggetti a raccolta (ceppaie e radici). Studi eseguiti dall'European Commission Joint Research Center di Ispra su impianti di pioppo in SRF in Lombardia hanno evidenziato sequestri di CO₂ pari a 15.2 t ha⁻¹, in coltivazioni di un anno, e di 26.4 t ha⁻¹ in coltivazioni di 2 anni; valori che sono destinati ad aumentare, poiché la concentrazione di CO₂ atmosferica sta aumentando, favorendo così la fotosintesi, il sequestro della CO₂ e la produttività (Scarascia-Mugnozza *et al.*, 2006). La minore esigenza di lavorazioni favorisce l'incremento del contenuto di sostanza organica nei terreni (Hansen, 1993; Makeschin, 1994; Tolbert *et al.*, 2002; Hoosbeek *et al.*, 2006). Smith *et al.* (2000) hanno calcolato che si può ottenere un incremento annuo sul contenuto in sostanza organica nel terreno dell'1.17% passando da un terreno arativo ad una produzione in SRF. L'aumento della sostanza organica determina, a sua volta, effetti positivi sulla struttura del terreno, sulla capacità idrica di campo, sulla disponibilità e trattenimento dei nutrienti da parte del terreno stesso (Bullard and Metcalfe, 2001).



Particolari di una coltivazione di *Salix alba* ad uso energetico.

Altre importantissime funzioni svolte dalle colture arboree in SRF riguardano la difesa del suolo dall'erosione e dai dissesti idrogeologici (Ball *et al.*, 2005). Esse, tramite la coltre vegetativa (spessa ed estesa per buona parte dell'anno) e l'azione colonizzatrice svolta dagli apparati radicali, non disturbati dalle lavorazioni, offrono una eccellente difesa del terreno contro l'effetto battente delle piogge, smottamenti, fenomeni erosivi e conseguente perdita di fertilità.

Inoltre, le SRF possono offrire un notevole contributo alla tutela della biodiversità (AA.VV., 2006b). Di fatto, le coltivazioni di queste piante offrono protezione e rifugio a numerose specie di uccelli, anfibi e rettili, tutelandone la sopravvivenza, messa a rischio dai sistemi agricoli intensivi, basati su colture a ciclo annuale (Green *et al.* 2005). Al riguardo, è importante sottolineare che la raccolta della biomassa delle colture arboree in SRF avviene normalmente durante l'inverno, periodo in cui gli uccelli non nidificano. Queste colture consentono, fra l'altro, l'utilizzo di superfici inadatte alla coltivazione di tipo alimentare: il pioppo ed il salice, ad esempio, si prestano ad essere coltivati in terreni non idonei ai cereali, poiché periodicamente inondati (golene dei fiumi). Esiste poi una potenziale utilizzazione di queste specie, finora poco esplorato in Italia, che merita di essere approfondito; ci si riferisce alla coltivazione in zone inquinate da metalli pesanti e sostanze organiche. Si sente spesso parlare di alimenti inquinati da diossina, di tracce di sostanze tossiche negli alimenti come latte e carni. Ebbene, le zone limitrofe a stabilimenti industriali inquinanti, a discariche o inceneritori di rifiuti, a depuratori di acque derivanti da scarichi urbani o industriali, a strade ed autostrade con elevata intensità di traffico, alle linee ferroviarie, potrebbero essere destinate ad impianti arborei in SRF ad uso energetico. Il pioppo, unitamente ad altre Salicaceae, trova ampie possibilità d'applicazione per il fitorimediazione, in virtù della sua rapidità d'accrescimento e degli alti tassi di traspirazione, che si traducono in interessanti quantitativi di contaminanti assorbiti nella biomassa (Scarascia-Mugnozza e Paris, 2008). In Svezia, USA, e Australia il pioppo è largamente impiegato nelle pratiche di fitodepurazione dei reflui provenienti dalla depurazione degli scarichi civili e per l'assorbimento dei nitrati e dei metalli pesanti. In Serbia e Montenegro sono stati condotti studi sull'utilizzo di tale pianta nella fi-

toestrazione del cadmio, in Nuova Zelanda per quella del boro. Risultati interessanti sono stati ottenuti anche con l'eucalitto per la fitoestrazione di arsenico (Mughini *et al.*, 2007b).

E di tutta evidenza che eventuali residui di sostanze tossiche e/o la presenza di batteri patogeni per l'uomo diventano di trascurabile importanza per biomasse destinate alla combustione piuttosto che ad entrare nella catena alimentare.

Altro fatto importante è che le colture arboree ad uso energetico diminuiscono la pressione antropica sui boschi naturali, consentendo a questi ultimi di esaltare la propria funzione di serbatoi di carbonio.

Infine, non va trascurato il fatto che talune essenze legnose quali robinia, salice ed eucalipto, oltre ad essere adatte alla produzione di biomasse, sono importanti specie mellifere, perciò se allevate con intervalli di taglio in grado di consentire la fioritura (5-6 anni) possono fornire un importante contributo alla produzione di miele e allo sviluppo dell'entomofauna impollinatrice. Dunque, in aggiunta all'interesse economico derivante dalla produzione commerciale di miele e prodotti affini (polline, propoli, pappa reale) è importante sottolineare che la produzione di polline e nettare, e quindi la presenza di una catena alimentare basata su insetti utili, costituisce un servizio ambientale di grande valore ecologico. Tali servizi ambientali dovrebbero tradursi in riconoscimenti economici a favore dei produttori di biomasse (crediti di carbonio, ecc).



Particolari di una coltivazione di Robinia pseudoacacia ad uso energetico.

Attualmente per il pioppo, più di qualsiasi altra specie poliennale da biomassa, è disponibile l'intero pacchetto tecnologico necessario per la realizzazione della coltivazione a fini energetici; tuttavia, per aumentarne le prospettive di diffusione è fondamentale il continuo supporto della ricerca che si dovrà concentrare prioritariamente sui seguenti obiettivi: i) selezionare nuove varietà più produttive di quelle presenti oggi, con buone capacità di adattamento a condizioni ambientali non ottimali, con maggiori resistenze ai parassiti, in particolare alla bronzatura fogliare, indotta da *Marssonina brunea*, alle ruggini (*Melampsora larici-populina* e *M. alii-populina*) e, soprattutto, agli insetti (Allegro *et al.*, 2008). Fra questi ultimi quelli più temibili so-

no rappresentati dal punteruolo del pioppo (*Cryptorhynchus lapathy*), dall'afide lanigero (*Phloeomyzus passerinii*), dalla crisomela (*Chrysomela populi*) e dall'ifantria americana (*Hyphantria cunea*). I primi due possono provocare danni molto gravi come la rottura del fusto e la morte della pianta; le larve di *Chrysomela populi* e di *Hyphantria cunea*, invece, possono determinare severe defogliazioni, compromettendo lo sviluppo dei polloni. L'introggressione di resistenze ai patogeni è di fondamentale importanza anche in considerazione del fatto che qualsiasi tipo di lotta chimica troverebbe difficoltà difficilmente superabili per motivi sia di ordine tecnico che economico; ii) sotto il profilo agronomico occorre puntare su tecniche semi-estensive e sostenibili, caratterizzate da un ridotto impatto ambientale; iii) inoltre, è necessario ottimizzare le fasi di raccolta e della logistica della filiera.



Chrysomela populi: adulto, uova e stadi larvali. Le larve di questo insetto possono provocare gravi defogliazioni sul pioppo.

Bibliografia

- AA.VV., 2006a. Energia dalle biomasse. Le tecnologie, i vantaggi per i processi produttivi. I valori economici ed ambientali. Coordinamento scientifico: Jodice R. and E. Tomasinsig. A cura di: AREA Science Park – Progetto Novimpresa. Trieste. N. 24.
- Allegro G., Gennaro M., Giorcelli A., 2008. Evoluzione della situazione fitosanitaria. In “Il libro bianco della pioppicoltura”. Agrisole, Suppl. al n. 26: 28-30.
- Ball J. Carle J., Del Lungo A., 2005. Contribution of poplars and willows to sustainable forestry and rural development. *Unasylva*, 221(56): 3-9.
- Boccasile G., 2008. Il pioppo per la biomassa. In: “Il libro bianco della pioppicoltura. Agrisole, Suppl. al n. 26: 69-70.
- Bullard M. and P. Metcalfe, 2001. Estimating the energy requirements and CO₂ emission from production of the perennial grasses miscanthus, switchgrass and reed canary grass. ADAS Colsulting Ltd. Crown, 2001.
- Ceotto E., Librenti I., Di Candilo M., 2010. Can bioenergy production and soil carbon storage be coupled? A case study on dedicated bioenergy crops in the Low Po Valley (Northern Italy). Proceedings of the 18th European Biomass Conference, 3-7 May 2010, Lyon, France, 2261-2264.

- Facciotto G., Di Candilo M., Vergante S., Lioa C., Diozzi M., 2008. Poplar clones for biomass production in Italian SRC. Proceedings of 16th European Biomass Conference & Exhibition, 2-6 June, Valencia, Spain: 170-173.
- Facciotto G., Giorcelli A., Vietto L., Allegro G., Castro G., Picco F., 2006. Nuovi cloni di pioppo. *Agricoltura* 6: 71-78.
- Gras, M. A., 1991. *Robinia pseudoacacia* L. Annotazioni da una ricerca bibliografica. SAF Roma.
- Green R.E., Cornell S.J., Scharlemann J.P.W., Balmford A., 2005. Farming and the Fate of Wild Nature, *Science* 308: 550-555.
- Green R.E., Cornell S.J., Scharlemann J.P.W., Balmford A., 2005. Farming and the Fate of Wild Nature, *Science* 308: 550-555.
- Hansen E.A., 1963. Soil carbon sequestration beneath hybrid poplar plantations in the north central United States. *Biomass and Bioenergy*, 5: 431-436.
- Hoosbeek M.R., Li Y., Scarascia-Mugnozza G., 2006. Free atmospheric CO₂ enrichment (FACE) increase labile and total carbon in the mineral soil of a short rotation Poplar plantation. *Plant and Soil*, 281: 247-254.
- ISTAT, 2005. *Annuario statistico italiano*, Roma.
- Jorgensen U. and Schelde K., 2001. Energy crop water and nutrient use efficiency. The international Energy Agency. IEA Bioenergy Task 17, Short Rotation Crops. (www.p2pays.org/ref/17/16275.pdf).
- Makeschin F., 1994. Effects of energy forestry on soils. *Biomass and Bioenergy*, 6: 63-79.
- Mareschi L., Paris P., Sabatti M., Nardin F., Giovanardi R., Manazzone S., Scarascia Mugnozza G. 2005. Le nuove varietà di pioppo da biomassa garantiscono produttività interessanti. *L'Informatore Agrario*, 18: 49-53.
- Minotta G., Facciotto G., Bergante S., Frenguelli L., Giovanardi R., Gras M., Maggiore T., Mughini G., Muzzi E., Bonari E., Seufert G., Zenone T., 2007. Ongoing researches on the productivity of SRF plantations in Italy. In proceeding of '15th European Biomass Conference & Exhibition'. 7-11 May 2007. Berlino, Germania: 15-18.
- Mughini G., Alianiello F., Mascia M.G., Aromolo R., Benedetti A., Gras M.A., Facciotto G., 2007b. Short rotation forestry for biomass production and phytoremediation of soils contaminated by arsenic. In: Proceedings of 15th European Biomass Conference & Exhibition, Berlin, Germany 7-11 May 2007: 709-710.
- Mughini G., Gras M.A., Facciotto G., 2007. Eucalyptus clones selection in Central - South Italy for biomass production. In: Proceedings of 15th European Biomass Conference and Exhibition. Berlin, Germany 7-11 May 2007: 711-713.
- Nervo G., Facciotto G., 2008. Bioenerlegno Project. In: Proceedings of the '16th European Conference & Exhibition, From Research to Industry and Markets' 2-6 June 2008 Valencia, Spain: 630-635.
- Paris P., Mareschi L., Sabatti M., Pisanelli A., Ecosse A., Nardin F., Scarascia-Mugnozza G., 2011 Comparing hybrid *Populus* clones for SRF across north-

- ern Italy after two biennial rotations: Survival, growth and yield. *Biomass and Bioenergy*. 35, 4: 1524-1532.
- Picco D., 2007. Il progetto Biocolt – Colture energetiche per il disinquinamento della laguna di Venezia - Analisi conoscitiva. <http://biocolt.venetoagricoltura.org/>
- Scarascia Mugnozza G. e Paris P., 2008. Nuovi impieghi ambientali per il pioppo. In “Il libro bianco della pioppicoltura”. *Agrisole*, Supplemento al n. 26: 44-46.
- Scarascia-Mugnozza G., Calfapietra C., Cuelemans R., Gielen B., Cotrufo M.F., De Angelis P., P. Goildbod D. Hoosbeek MR., Kull O., Lukac M., Marek M., Maglietta F., Polle A., Raines C., Sabatti M., Anselmi N. and Taylor G., 2006. response to elevated CO₂ of a Short Rotation Multispecies polar plantation: the POPFACE/EROFACE Experiment. *Ecological Studies*, Vol. 187: 173-195.
- Smith P., Powlson D.S., Smith J.U., Falloon P. and Coleman K., 2000. Meeting Europe’s climate change commitments: quantitative estimates of the potential carbon mitigation by agriculture. *Global Change Biology*, 6: 525-539.
- Tolbert V.R., Todd Jr. D.E., Mann L.K., Jawdy C.M., Mays D.A., Malik R., Bandaranayake W., Houston A., Tyler D. and D.E. Pettry, 2002. Changes in soil quality and below-ground carbon storage with conversion of traditional agricultural crop lands to bioenergy crop production. *Environmental Pollution*, 116: 97-106.