

SRF di pioppo nella pianura litoranea toscana

Principali risultati di alcune esperienze a lungo periodo

di EMILIANO PICCIONI

ENRICO BONARI

In questo lavoro vengono presentati i risultati delle sperimentazioni attuate sulle *Short Rotation Forestry* (SRF) di pioppo presso il Centro Interdipartimentale di Ricerche Agro-Ambientali "E. Avanzi" di Pisa. Qui da oltre 10 anni sono rilevati dati su prove sperimentali di più lungo periodo esistenti in Italia.

Com'è noto, negli ultimi anni, le bioenergie - o più propriamente nel nostro caso, le agrienergie - hanno attirato l'attenzione sia degli operatori del settore sia dell'opinione pubblica. Questo perché da un lato sono ormai noti i molteplici i vantaggi connessi con lo sfruttamento di queste fonti di energia rinnovabile, siano essi di carattere ambientale (primo fra tutti il contenimento delle emissioni dei cosiddetti gas-serra ed in particolare della CO₂) oppure siano collegabili al contesto socio-economico e politico. A livello mondiale si assiste infatti ad una crescente richiesta di energia, possibilmente "pulita", a fronte di un prezzo del petrolio e dei prodotti petroliferi che ha raggiunto valori neppure immaginabili alcuni anni fa. Dall'altro lato c'è la complessa situazione in cui si trova il settore primario: l'agricoltura è sempre più spesso e da più parti chiamata ad acquisire un ruolo "multifunzionale" nella gestione del territorio rurale, anche attraverso un'attenta revisione dei sistemi colturali tradizionali - sia come processo che come prodotto - ed una maggiore valorizzazione degli usi

"non alimentari" delle produzioni agricole. La stessa riforma a medio termine della Politica Agricola Comunitaria, introducendo il principio del "disaccoppiamento", ha consentito per la prima volta un confronto reale fra le redditività delle differenti produzioni agricole, alimentari e/o "no food". Queste recenti trasformazioni hanno purtroppo aperto una serie di scenari di insicurezza che interessano numerosi prodotti e filiere (si pensi ad esempio al caso della barbabietola da zucchero) lasciando spesso nell'incertezza l'imprenditore agricolo che troppo repentina-

mente si è trovato a passare da un contesto in cui le scelte erano fortemente "guidate" dalla PAC ad un contesto pressoché completamente libero in cui le scelte sono dettate in maniera determinante dal mercato e dalle leggi che lo regolano.

Tutti gli aspetti sopra ricordati sembrano suggerire un maggior ricorso alle fonti di energia rinnovabile e, tra queste, anche alle biomasse di origine agroforestale. Per le imprese agricole di particolare interesse sembrano essere le cosiddette *energy crops*, ovvero colture dedicate a destinazione energetica, specie erbacee e/o arboree, annuali e/o poliennali, coltivate sugli ordinari terreni agrari per scopi non alimentari e con finalità dichiaratamente energetiche.

A ben guardare, nonostante l'interesse in questo settore si sia amplificato solo negli ultimi 2-3 anni, i primi approfondimenti in Italia su queste possibili coltivazioni innovative iniziarono verso la prima metà degli anni '90 con il progetto PRISCA del MiPAF e con alcune esperienze finanziate principalmente da Enel in prospettiva, quest'ultime, della ipotetica realizzazione di centrali a bio-



Foto 1 - Impianto di SRF di pioppo di 2 anni.

Parametro	Valore
Tessitura (USDA)	F
Argilla (%)	24
Limo (%)	42
Sabbia (%)	34
pH	8,5
N totale (g/kg)	1,3
P Olsen (ppm)	3,1
K scambiabile (mg/kg)	85,1
Sostanza organica (%)	1,7
CSC (meq/100 g)	20,5
CaCO ₃ (%)	1,42

Tabella 1 - Principali parametri fisico-meccanici e chimici dei terreni sperimentali.

massa legnosa per la generazione di energia elettrica. In quella occasione fu peraltro possibile iniziare a restringere il campo a quelle specie che per produttività, adattabilità alle diverse condizioni pedoclimatiche e semplicità di gestione risultarono le più idonee nei diversi ambienti italiani. Tra le tante provate, di particolare interesse per le pianure toscane litoranee - ed è l'argomento principale di questo intervento - risultò allora il ceduo a turno breve di pioppo, la cosiddetta *Short Rotation Forestry*, sia per le prestazioni più propriamente produttivistiche (quantità e qualità della biomassa prodotta) sia per le positive implicazioni agroambientali che sembrava promettere.

La sperimentazione sui cedui a turno breve ha avuto inizio già negli anni sessanta in Nord America (USA e Canada), nei paesi scandinavi e in Nord Europa (Svezia, Danimarca, Norvegia e Austria) e un grande impulso in questo settore si è avuto negli anni settanta principalmente come reazione alle prime crisi petrolifere. In molte di quelle realtà, a seguito della ricerca prodotta e delle scelte politiche effettuate, la coltivazione di queste specie ha assunto oggi un'importanza strategica nell'ambito della produzione di energia da fonti rinnovabili (AUCLAIR e BOUVAREL 1992; BÖRJESSON *et al.* 1997; ARMSTRONG *et al.* 1999; CEULEMANS e DERAEDT 1999; PONTAILLER *et al.* 1999; BERTHELOT 2001; KAUTER *et al.* 2003; LAUREYSENS *et al.* 2003). Nonostante un contesto favorevole come quello sopra descritto, in Italia le filiere agrienergetiche hanno faticato a decollare: dopo le citate esperienze dei primi anni '90 è stato proposto il Programma Nazionale di Valorizzazione Energetica delle Biomasse agricole e forestali (PNERB 1999) che aveva lo scopo di promuovere l'attivazione di nuove organizzazioni produttive (vere e proprie nuove filiere) basate, da un lato, sulla valorizzazione dei residui agroforestali e, dall'altro, sulla produzione di biomassa da colture

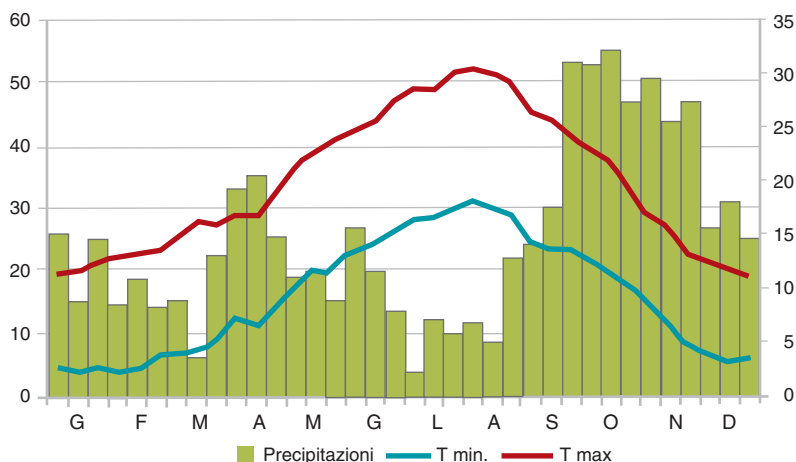


Grafico 1 - Andamento dei principali parametri climatici (precipitazioni, temperatura minima e massima) della stazione di San Piero a Grado (serie storica 1986-2005).

Tesi sperimentali	
Distanza di impianto	1) 0,5 x 1,0 m (circa 20.000 piante/ha) 2) 0,5 x 1,5 m (circa 13.300 piante/ha) 3) 0,5 x 2,0 m (circa 10.000 piante/ha)
Ritmo di ceduzione	1) annuale 2) biennale 3) triennale
Livello di intensificazione colturale	1) alto <i>input</i> (aratura a 50 cm; 10.000 piante/ha; diserbo chimico <i>pre</i> -impianto e in <i>post</i> -emergenza alla fine del primo anno; concimazione azotata con 100 kg/ha di N dopo la ceduzione; turno biennale) 2) basso <i>input</i> (discissura a 35-40 cm; 8.000 piante/ha; diserbo chimico di <i>post</i> -emergenza alla fine del primo anno; concimazione azotata con 50 kg/ha di N dopo la ceduzione; turno biennale)

Tabella 2 - Descrizione sintetica delle principali esperienze di lungo periodo sulla SRF di pioppo.

dedicate. Oggi in Italia restano ancora aperte una serie di problematiche che frenano l'avvio di queste filiere, con problematiche sia di carattere tecnologico (disponibilità di generatori di calore efficienti di piccola taglia e di impianti che "accettino" anche materiale non perfettamente omogeneo, costi di impianto e di gestione ecc.), sia di ordine agronomico-produttivo (accettabilità a livello aziendale, stagionalità delle produzioni, stoccaggio, ecc.), sia di profilo economico e sociale (costo di produzione dell'energia e interventi di sostegno, accettabilità degli impianti per le popolazioni locali ecc.), sia, infine, dal punto di vista ecologico-ambientale (logistica dei trasporti, bilanci agroambientali ed energetici delle colture dedicate, modificazioni del paesaggio agrario ecc.).

In proposito, la sperimentazione agronomica sulla SRF di pioppo avviata nei differenti areali italiani per la messa a punto dei principali elementi della tecnica di impianto, di conduzione e difesa, di raccolta e stoccaggio, non appare molto "longeva" e gran parte

delle conoscenze acquisite fa sostanzialmente riferimento alle già citate esperienze allestite nello scorso decennio in varie regioni dall'Enel o alle rare ricerche applicate autonomamente condotte da alcune istituzioni scientifiche (FACCIOTTO e SCHENONE 1998; SCHENONE 1998; BISOFFI 1999; BONARI *et al.* 1999 a e b; BALSARI e AIROLDI 1999; MAZZONCINI *et al.* 1999; BISOFFI e FACCIOTTO 2000; SPERANDIO e VERANI 2000; SPINELLI e SPINELLI 2000; BONARI 2001; BALSARI e AIROLDI 2002 a, b e c; BONARI *et al.* 2004; BONARI 2005; BONARI *et al.* 2005 a e b).

In questa sede, si intende portare un contributo alla valutazione della sostenibilità a scala aziendale della SRF di pioppo presentando - seppur sommariamente - i principali risultati scaturiti dalle prime esperienze di lungo periodo condotte nella pianura pisana, impostate nel lontano 1996. A quell'epoca, le domande più pressanti alle quali era logico cercare di dare una risposta erano: rispetto alle informazioni provenienti dai paesi più settentrionali, **in ambiente mediterraneo**

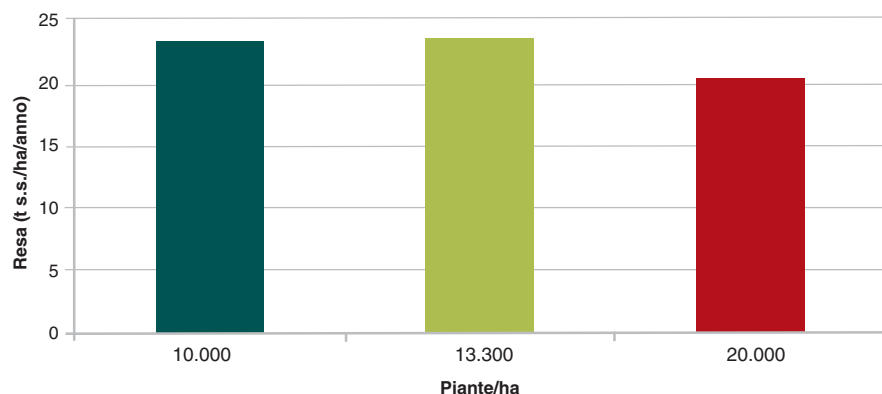


Grafico 2 - Rese della SRF di pioppo nella pianura pisana (media 1996-2002) in funzione della densità di impianto, con ritmo di taglio biennale.

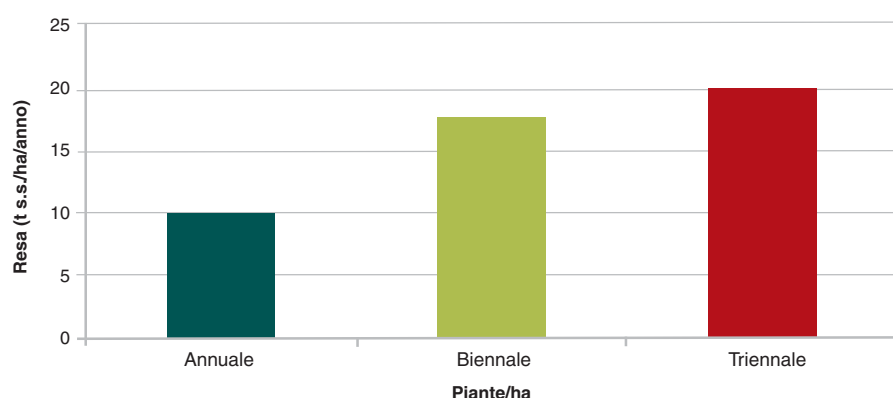


Grafico 3 - Rese della SRF di pioppo nella pianura pisana (media 1996-2004) in funzione del ritmo di ceduzione, con distanze di impianto di 0,5 x 2 m (10.000 piante/ha).

qual è la ottimale densità di impianto ed il più conveniente ritmo di ceduzione?

Ed inoltre, qual è il più sostenibile livello di intensificazione culturale? Oggi, dopo circa 10 anni di monitoraggio è forse possibile iniziare a dare qualche risposta che abbia un certo grado di significatività scientifica e trasferibilità tecnica.

LA SPERIMENTAZIONE IN TOSCANA

La tecnica di coltivazione di specie arboree con turni brevi di ceduzione per la produzione di biomassa lignocellulosica è conosciuta nella letteratura anglosassone con diverse definizioni: *Short Rotation Forestry* (SRF) o *Energy Forestry* in Svezia, *Short Rotation Intensive Culture* (SRFI) in Nord America e *Short Rotation Coppice* (SRC) in Europa; volendo semplificare si tratta sostanzialmente della coltivazione di specie arboree a rapido accrescimento impiantate molto dense (fino anche a 20.000 piante ad ettaro nel Nord Europa con specie come il salice) che, sfruttando l'attitudine pollonifera delle piante stesse, vengono ripetutamente

tagliate ad intervalli di tempo molto brevi (generalmente da 1 a 3 anni ma è possibile arrivare fino a 5) nell'arco della vita utile della piantagione. Il prodotto finale che si ottiene da queste colture è generalmente cippato di legno, che può essere utilizzato tal quale oppure trasformato in prodotti più "raffinati" quali i *pellet* o le *briquette*.

Nel corso dell'inverno 1995/96 a Pisa, presso i terreni del Centro Interdipartimentale di Ricerche Agro-Ambientali "E. Avanzi" sono state impiantate le prove di più lungo periodo sulla SRF di pioppo esistenti in Italia.

La sperimentazione è stata realizzata in parcelle di dimensioni assimilabili al campo (appezzamenti di circa 100-150 x 30-50 m) replicate due o più volte, su terreni di media granulometria e fertilità agronomica tipici della bassa valle dell'Arno e per lo più caratterizzata da una falda superficiale mai troppo profonda (Tabella 1).

Il clima, riassunto sinteticamente nel Grafico 1, è tipicamente mediterraneo, con inverno relativamente freddo, estate calda e piuttosto siccitosa e precipitazioni concentrate in autunno e in primavera.

Le prove sperimentali sono state allestite impiegando materiale certificato come talee non radicate di *Populus deltoides* clone Lux, messe a dimora con l'ausilio di una comune trapiantatrice da vivaio forestale.

Le linee di ricerca impostate sono state principalmente tre ed hanno riguardato la valutazione dell'ottimale distanza di impianto, del più idoneo ritmo di ceduzione e del più conveniente livello di intensificazione culturale. Le tesi poste a confronto sono schematicamente riportate nella Tabella 2.

ASPETTI PRODUTTIVI

Nei Grafici che seguono sono sinteticamente riportati i risultati produttivi pluriennali delle prove descritte (se non specificato, sono dati medi del periodo 1996-2002), in termini di biomassa utile, come sostanza secca per ettaro e per anno.

Per quanto riguarda l'ottimale densità di impianto, nel Grafico 2 si può osservare che le rese più elevate sono state ottenute, senza apprezzabili differenze tra loro, adottando le distanze di impianto più ampie, tali da determinare un investimento di 10.000 e 13.300 piante/ha, mentre aumentando la densità si provoca un decremento di circa il 10-15% nella produttività probabilmente a causa dell'eccessiva competizione che si instaura tra gli individui. L'adozione di una distanza più ampia, quindi, sembra garantire una maggiore resa, oltre che un immediato contenimento dei costi di impianto (che talvolta possono superare il 50% del costo di produzione finale) ed una maggiore facilità di movimento da parte dei mezzi meccanici.

Se poi si considera la definizione dell'ottimale ritmo di ceduzione (Grafico 3), i dati medi pluriennali in termini di produttività sembrano suggerire la convenienza ad orientarsi verso tagli più distanziati nel tempo: la frequenza annuale, infatti, ha fatto registrare rese nettamente inferiori (poco meno di 10 t/ha/anno di s.s.) rispetto a al turno biennale (poco meno di 18 t/ha/anno di s.s.) ed a quello triennale (poco meno di 20 t/ha/anno di s.s.) che invece hanno fatto registrare differenze meno importanti tra loro. Anche altri autori hanno più volte confermato le maggiori prestazioni produttive dei turni più lunghi (HERVE e CEULEMANS 1996; LIESEBACH et al. 1999; PROE et al. 1999). In questo contesto, occorre però rimarcare che allungando la frequenza di ceduzione si verifica uno sviluppo diametrico maggiore dei polloni, con individui che raggiungono e superano frequentemente i 6-7 cm nella tesi del turno triennale (Grafico 4).

Questo, sino a pochi anni fa costituiva un problema di non poco conto per la mec-

canizzazione della raccolta con macchine del tipo "taglia-trincia-caricatrici"; fortunatamente, negli ultimi anni, anche in Italia sono state sviluppate in collaborazione tra Istituti di ricerca e aziende private, macchine in grado di ottenere risultati soddisfacenti anche con diametri dell'ordine dei 10 cm e superiore, sia dal punto di vista della qualità tecnica di questa importante operazione che dei relativi tempi di raccolta (PARI e FEDRIZZI 2005; PARI 2006). Anche in questo caso, comunque, nella valutazione complessiva di convenienza sulla ottimizzazione del ritmo di ceduzione, andrebbe considerato che con turni più lunghi l'operazione di raccolta viene eseguita un minor numero di volte nell'arco della vita utile della piantagione con benefici diretti sul costo di produzione finale dell'unità di biomassa prodotta.

Nel Grafico 5, sono stati invece riportati i quantitativi di biomassa ottenuti nei singoli anni di ceduzione. Come si può notare, **in tutte e 3 le tesi a confronto si assiste a un decremento importante di produttività con l'andare del tempo**, con interessanti indicazioni circa il momento in cui diventa non più conveniente proseguire con la coltivazione della SRF per cui risulta necessario distruggere la SRF e procedere alla reintroduzione a coltura.

Per quanto riguarda la valutazione del più sostenibile livello di intensificazione culturale adottabile nella conduzione di una SRF di pioppo, infine, dal Grafico 6 si può notare come, mediamente, sembra possibile individuare intorno al 20% la contrazione di resa da attendersi nel caso in cui si scelga di ridurre l'immissione di *input* chimici, meccanici ed energetici nel sistema (come da Tabella 2); la tesi "basso *input*", infatti, ha fatto registrare una resa media pluriennale di circa 17 t/ha/anno di s.s., contro le 22 t/ha/anno di s.s. del livello alto, confermando

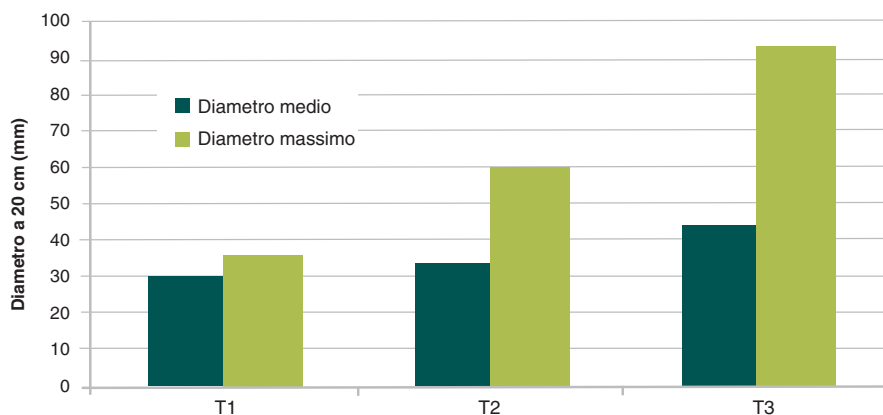


Grafico 4 - Classi diametriche a 20 cm da terra in funzione del ritmo di ceduzione.

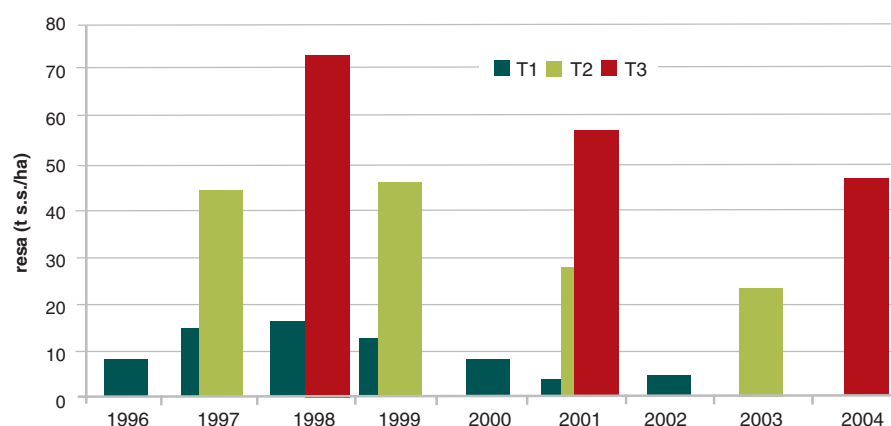


Grafico 5 - Produttività negli anni di ceduzione della SRF di pioppo nella pianura pisana in funzione del ritmo di ceduzione.

come il pioppo sia una specie piuttosto esigente che si avvantaggia discretamente della intensificazione culturale.

Accanto a queste valutazioni prettamente produttivistiche ne sono state realizzate altre di carattere economico, ponendo a confronto la SRF a differente livello di intensificazione culturale con un avvicendamento sessennale

in atto dal 1993 (sviluppato nel tempo e nello spazio) anch'esso condotto a due differenti livelli (alto e basso *input*) comprendente le principali colture erbacee mercantili dell'area di riferimento (barbabietola da zucchero, girasole, frumento duro e sorgo da granello). Per quanto riguarda l'avvicendamento erbaceo, il livello basso di *input* rientrava



Foto 2 - Cantiere di raccolta della SRF di pioppo.

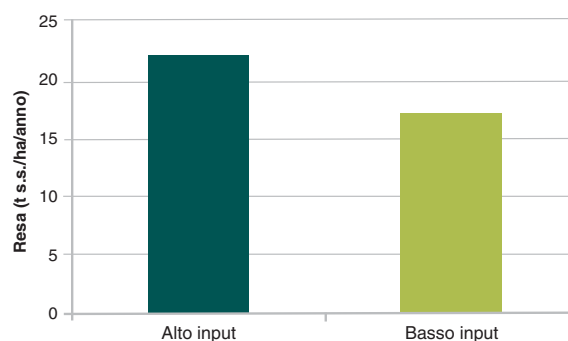


Grafico 6 - Rese della SRF di pioppo nella pianura pisana (media 1996-2002) in funzione del livello di intensificazione culturale.

Colture	Rese (t/ha/anno di s.s.)		Δ (%)
	Livello alto	Livello basso	
SRF pioppo	22,1	17,2	-22,2
SRF "corretta" ⁽¹⁾	17,7	13,8	-22,1
Barbabietola da zucchero	66,2	56,3	-15,0
Frumento duro	4,5	3,8	-15,5
Sorgo da granella	7,0	6,7	-4,3
Girasole	4,4	4,0	-9,1
Frumento duro	3,8	3,2	-15,8

(1) Rese ridotte del 20%.

Tabella 3 - Resa media (t/ha/anno di s.s.) della SRF di pioppo (dal 1996) e delle colture erbacee (dal 1993) (Fonte: BONARI *et al.* 2004).

	SRF pioppo		Avvic. erbaceo	
	Alto	Basso	Alto	Basso
Costo mezzi tecnici	214	153	344	231
Costo mezzi meccanici	736	609	506	400
Costi totali	950	762	850	631
PLV	1.436	1.119	1.379 ⁽¹⁾	1.260 ⁽¹⁾
Incentivi mis. agroamb.	-	-	-	215
Totale ricavi	1.436	1.119	1.379	1.475
RL	486	357	529	844
RL "corretto" ⁽²⁾	201	135	253	592

Note: (1) Compreso set aside e PAC; (2) rese ridotte del 20%.

Tabella 4 - Valutazioni economiche (Euro/ha/anno) della SRF di pioppo posta a confronto con l'avvicendamento erbaceo (Fonte: BONARI *et al.* 2004).

volutamente nella Misura A1 dell'allora in vigore Reg. 2078/92/CE.

Nella Tabella 3 sono presentate le rese medie pluriennali dell'avvicendamento erbaceo insieme alle rese della SRF di pioppo decurtate del 20% per tenere in debita considerazione il carattere sperimentale di questa coltivazione.

Le relative valutazioni economiche orientative sono riportate in Tabella 4 e sono state ottenute prendendo a riferimento da un lato i valori monetari correnti alla fine dell'anno 2002 rilevati dalla contabilità del Centro "E. Avanzi", dall'altro le tariffe dell'Associazione Imprese di Meccanizzazione Agricola di Pisa ridotte del 20% per tener conto dei relativi redditi di impresa e considerando infine un trasporto su strada di 50 km ed un prezzo della biomassa pari a 65 Euro/t di s.s.

E' possibile osservare come per entrambi i sistemi colturali (erbaceo vs SRF) i costi di produzione sono risultati decisamente più elevati nelle tesi "alto input". In generale comunque la SRF di pioppo ha fatto registrare un costo totale superiore del 10-20% rispetto all'avvicendamento erbaceo, mentre le PLV dei due sistemi, sempre superiori nel caso delle tesi "alto input", sono risultate sostanzialmente simili. Per quanto riguarda i Redditi Lordi (RL), nei sistemi erbacei

estensivi sembra confermarsi l'opportunità di adottare tecniche di coltivazione meno onerose che in passato, mentre nel caso della SRF di pioppo i RL sono risultati leggermente inferiori rispetto all'avvicendamento erbaceo (50-150 ha/anno in meno) ma va considerato che non sono stati computati gli incentivi diretti ed indiretti che in molte regioni d'Italia sono riservati alle colture dedicate a destinazione energetica all'interno dei nuovi PSR (incentivi regionali e incentivi UE).

Questi risultati, se vogliamo anche confortanti dal punto di vista economico, si sommano ai positivi aspetti ambientali correlati alla coltivazione delle SRF più volte messi in evidenza da diversi autori, sia in riferimento alla fertilità residua dei terreni, all'impiego di mezzi chimici ed al rischio di erosione, sia per quanto concerne il "bilancio energetico" della coltura (PIMENTEL e KRUMMEL 1987; PIMENTEL *et al.* 1994; BONARI *et al.* 1999 a e b; KROTSCHKE *et al.* 2000; BONARI *et al.* 2005a e b).

Nonostante quanto sopra esposto, sono ancora numerosi gli aspetti da chiarire dal punto di vista sia scientifico sia applicativo. Sicuramente sarà necessario operare una intensa attività di miglioramento genetico rivolta all'ottenimento di nuovi cloni da utilizzarsi con risultati soddisfacenti nei diver-

si ambienti pedoclimatici italiani. Alcuni di questi (pochi ancora) sono stati prodotti e si incominciano ad intravedere i primi risultati anche se questi devono obbligatoriamente essere presi con cautela per la "giovinezza" delle relative sperimentazioni.

Restano poi aperte ancora una serie di problematiche relative ad alcune lacune circa la conoscenza delle esigenze idriche, le risposte fisiologiche alle variazioni dei principali elementi climatici (soprattutto della temperatura) e i cicli di accrescimento delle specie sottoposte a ritmi di ceduzione non usuali. L'acquisizione di tali informazioni permetterebbe la definizione di modelli di crescita per le diverse colture, utili alla pianificazione "territoriale" della produzione di biomassa ed alla sua "gestione" integrata a livello di filiera.

Avanzamenti nella conoscenza dei diversi segmenti della tecnica colturale, magari con l'individuazione delle migliori tecniche sito-specifiche, sono infine necessari anche e soprattutto per il contenimento dei costi di produzione che, come precedentemente riportato, rappresentano un punto chiave per la sostenibilità economica della SRF di pioppo.

Accanto a questi aspetti più propriamente "aziendalistici", restano naturalmente da chiarire anche alcune possibili funzioni delle colture energetiche, quali quelle paesaggistiche, protettive in ambienti particolari (corsi d'acqua, fitodepurazione, fitorimediazione, barriere acustiche, frangivento ecc.).

Il Laboratorio di Ricerca Land Lab della Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa in collaborazione con il Centro Interdipartimentale di Ricerche Agro-Ambientali "E. Avanzi", oltre alle esperienze già descritte, ha avviato a Pisa diverse linee di ricerca sulla SRF di pioppo, tra cui alcuni approfondimenti di aspetti agronomico-produttivi (valutazione di nuovi cloni oggi disponibili, in differenti condizioni pedoclimatiche, valutazione della variazione della fertilità del suolo, ecc.) eco-fisiologici (modellizzazione dell'accrescimento, stima dei consumi idrici e dei Kc, effetti fitodepuranti ecc.), qualitativi (determinazioni analitiche delle biomasse ottenute); i risultati di alcune di queste ricerche saranno resi pubblici nei prossimi mesi.

A nostro avviso, infine, per l'avvio delle filiere agrienergetiche, a causa della numerosità e complessità degli attori coinvolti, è comunque indispensabile una adeguata attività di concertazione tra gli operatori stessi, finalizzata sia al supporto di politiche di medio-lungo periodo di incentivazione e valorizzazione, sia alla stipula di accordi quadro di filiera ed infine per garantire una adeguata



Foto 3 - Ceppaia dopo il taglio.

ridistribuzione reddituale lungo tutti i passaggi della filiera, da considerarsi come un prerequisito per l'avvio di filiere innovative.

Bibliografia

- ARMSTRONG A., JOHNS C. e TUBBY I., 1999 - **Effect of spacing e cutting cycle on the yield of poplar grown as an energy crop.** Biomass and Bioenergy 17: 305-314.
- AUCLAIR D. e BOUVAREL L., 1992 - **Influence of spacing e short rotations on *Populus trichocarpa x deltoides* coppice.** Canadian journal forest research 22: 541-548.
- BALSARI P. e AIROLDI G., 1999 - **Valutazione energetica ed economica di una coltivazione di pioppo per la produzione di biomassa.** XXXIII convenzione annuale Società Italiana Argonomia (SIA), Agripolis (Pd).
- BALSARI P. e AIROLDI G., 2002 - **Valutazione energetica ed economica di una coltivazione di pioppo per la produzione di biomassa.** Rivista di agronomia 36(2): 163-169.
- BALSARI P., AIROLDI G. e FACCIOOTTO G., 2002 - **Messa a dimora di un impianto di pioppo da biomassa.** Sherwood 81: 49-54.
- BALSARI P., AIROLDI G. e FACCIOOTTO G., 2002 - **Preparazione di talee di pioppo per biomassa.** Sherwood 76: 39-44.
- BERTHELOT A., 2001 - **Mélange de clones en taillis à courtes rotations de peuplier: influence sur la productivité et l'homogénéité des produits récoltés.** Canadian journal forest research 31: 1116-1126.
- BISOFFI S., 1999 - **I cloni di pioppo iscritti al registro nazionale dei cloni forestali.** Sherwood 43: 25-26.
- BISOFFI S. e FACCIOOTTO G., 2000 - **I cedui a turno breve (SRF).** Sherwood 59: 21-23.
- BONARI E., PAMPANA S. e SILVESTRI N., 1999a - **Prime analisi di impatto ambientale della selvicoltura a breve rotazione (SRF) negli ambienti litoranei toscani.** Valorizzazione energetica delle biomasse agro-forestali, Quaderni dei Georgofili IV, Firenze.
- BONARI E., SILVESTRI N., GINANNI M., BENVENUTI F., RISALITI R. e SCHENONE G., 1999b - **Silvicoltura a breve rotazione (SRF) e sistemi colturali erbacei: analisi comparata dei rischi ambientali.** XXXIII convenzione annuale Società Italiana Argonomia (SIA), Agripolis (Pd).
- BONARI E., 2001 - **Potenzialità e problematiche agronomiche della silvicoltura a breve rotazione come coltura da energia negli ambienti mediterranei.** Rivista di Agronomia 3: 188-199.
- BONARI E., PICCHI G., FRAGA A., GINANNI M., GUIDI W., PICCIONI E., 2004 - **Comparison of three coppice intervals on a nine years poplar biomass production.** 22° Sesion Comision Internacional Del Alamo, Chile-Argentina, 28 Novembre-9 Dicembre 2004, 80-81.
- BONARI E., 2005 - **Risultati produttivi del pioppo da biomassa.** Terra e vita 10: 69-73.
- BONARI E., PICCHI G., GINANNI M., GUIDI W., PICCIONI E., FRAGA A., VILLANI R., 2005a - **Le colture da energia.** In Quaderno ARSIA "Le colture dedicate ad uso energetico: il progetto Bioenergy Farm", Firenze, Ed. ARSIA, Gennaio 2005: 29-78.
- BONARI E., GALLI M., PICCIONI E., 2005b - **Le funzioni agroecologiche delle colture "dedicate" ad uso energetico.** In Quaderno ARSIA "Le colture dedicate ad uso energetico: il progetto Bioenergy Farm", Firenze, Ed. ARSIA, Gennaio 2005: 79-85.
- BÖRJESSON P., GUSTAVSSON L., CHRISTERSSON L. e LINDER S., 1997 - **Future production and utilization fo biomass in Sweden: potentials and CO₂ mitigation.** Biomass and Bioenergy 13(6): 399-412.
- CEULEMANS R. e DERAEDT W., 1999 - **Production physiology and growth potential of poplars under short-rotation forestry culture.** Forest ecology and management 121: 9-23.
- FACCIOOTTO G. e SCHENONE G., 1998 - **Il pioppo fonte di energia rinnovabile.** Sherwood 35: 19-26.
- HERVE C. e CEULEMANS R., 1996 - **Short-rotation coppiced vs non-coppiced poplar: a comparative study at two different fields sites.** Biomass and Bioenergy 11(2-3): 139-150.
- KAUTER D., LEWANDOWSKI I. e CLAUPEIN W., 2003 - **Quantity and quality of harvestable biomass from *Populus* short rotation coppice for solid fuel use - a review of the physiological basis and management influences.** Biomass and Bioenergy 24(6): 411-427.
- KROTSCHKE C., KONIG F. e OBERNBENGER I., 2000 - **Ecological assessment of integrated bioenergy systems using Sustainable Process Index.** Biomassa and Bioenergy 18:341-386.
- LAUREYSENS I., DERAEDT W., INDEHERBERGE T. e CEULEMANS R., 2003 - **Population dynamics in a 6-year old coppice culture of poplar. I. Clonal differences in stool mortality, shoot dynamics and shoot diameter distribution in relation to biomass production.** Biomass and Bioenergy 24: 81-95.
- LIESEBACH M., VON WUEHLISCH G. e MUHS H.J., 1999 - **Aspen for short-rotation coppice plantations on agricultural sites in Germany: Effects of spacing and rotation time on growth and biomass production of aspen progenies.** Forest ecology and management(121): 25-39.
- MAZZONCINI M., BENVENUTI S., GINANNI M., SILVESTRI N., PAMPANA S. e SCHENONE G., 1999 - **Aspetti agronomici e colturali dell'introduzione della silvicoltura a breve rotazione (SRF) nella Toscana litoranea.** XXXIII convenzione annuale Società Italiana Argonomia (SIA), Agripolis (Pd).
- PARI L. e FEDRIZZI M., 2005 - **Migliora l'efficienza di raccolta del pioppo a ciclo annuale.** L'informatore agrario 30: 54-58.
- PARI L., 2006 - **La meccanizzazione per le colture energetiche.** Il Contoterzista, 3: 36-38.
- PIMENTEL D. e KRUMMEL J., 1987 - **Biomass energy and soil erosion: assessment of resource costs.** Biomass and Bioenergy 14: 15-38.
- PIMENTEL D., RODRIGUES G., WANG T., ABRAMS R., GOLDBERG K., STAECKER H., MA E., BRUECKNER L., TROVATO L., CHOW C., GOVINDARAJULU U. e BOERKE S., 1994 - **Renewable energy: economic and environmental issue.** Bio Science 44(8): 536-547.
- PONTAILLER J.Y., CEULEMANS R. e GIUTTET J., 1999 - **Biomass yield of poplar after five 2-years coppice rotations.** Forestry 72: 157-163.
- PROE M.F., CRAIG J., GRIFFITHS J., WILSON A. e REID A., 1999 - **Comparison of biomass production in coppice and single stem woodlands managements systems on an imperfectly drained gley soil in central Scotland.** Biomass and Bioenergy 17: 141-151.
- SCHENONE G., 1998 - **Selvicoltura a breve rotazione (SRF) per la produzione di biomassa ad uso energetico - Rapporto di avanzamento 1996.** Milano, ENEL-PAL.
- SPERANDIO G. e VERANI S., 2000 - **Piantagioni a breve rotazione per la produzione di biomassa ad uso energetico. Elementi per un'analisi dei costi.** Sherwood 62: 41-46.
- SPINELLI R. e SPINELLI R., 2000 - **Raccolta del ceduo a turno breve: l'esperienza in Europa.** L'informatore agrario 42: 113-116.

INFO . ARTICOLO

Autori: Emiliano Piccioni, Scuola Superiore Sant'Anna, Land Lab, Pisa. E-mail e.piccioni@sssup.it
 Enrico Bonari, Scuola Superiore Sant'Anna, Land Lab, Pisa. E-mail bonari@sssup.it

Parole Chiave: Arboricoltura da legno, legno ed energia, agrienergia, Short Rotation Forestry, pioppo, Populus, produttività, Toscana.

Abstract: Short rotation coppice in Tuscany. Main results of this experimentation. Interest on short rotation coppice (SRC) in Italy has been increasing in the recent years, particularly due to the social, economic and agro-environmental positive implication connected to its cultivation and use as an alternative energy source. Nevertheless a long term research on the basic cultural techniques (plant density, harvesting interval, input level) has started in the mid-nineties in Tuscany. Main results of this experimentation are here presented, involving both technical and economical aspects.