

Analisi della filiera di biomassa legnosa proveniente da interventi di diradamento: un caso di studio in una pineta dell'Italia centrale

Baldini S, Di Fulvio F*, Laudati G

D.A.F., Università degli Studi della Tuscia, v. S. Camillo De Lellis snc, I-01100 Viterbo (Italy) - *Corresponding Author: Fulvio Di Fulvio (f.difulvio@unitus.it).

Abstract: *Analysis of energy wood supply chain in thinning operations: a case study in a pine stand of Central Italy.* Thinning is an essential practice in Mediterranean pine forests management but is rarely applied because of the high harvesting costs. The new market of bioenergy products could give a profit to wood biomass harvesting activities, though the drawbacks of elevated supply chain costs, related to technical problems and lack of knowledge about the wood quality have to be overcome in advance. This study analyzed technical, economic, energy and environmental factors of a pine stand thinning in Central Italy, where collected biomass was directed to energy, in order to give a decisional support to reach economical profitability and environmental sustainability in thinning practices. The introduction of Full Tree System maximized the recovery of available biomass, full tree chipping produced material with Heating Value superior than single tree components. The use of a felling frame in motor-manual felling in comparison with the traditional chainsaw reduced operator effort, increasing the number of felled trees per hour, when the stump diameter remained under 15 cm. The energy wood supply chain is not sustainable from an economic point of view, the profitability could be reached only acting on suggested technical levers and particularly reducing costs of hauling operation. The estimation of output/input energy ratio in the supply chain underlined the feasibility of thinning practices for energy. The assessment of CO₂ emissions confirmed the environmental sustainability of biomass supply chain in energy when compared to traditional fossil fuels. Study conclusions provide the guidelines for thinning treatment in Mediterranean pine stands, in order to reach environmental and economic sustainability of these practices.

Keywords: Thinning, Harvesting, Biomass, Productivity, Costs, Energy, Environmental sustainability

Received: Jul 06, 2009; Accepted: Jul 15, 2010

Citation: Baldini S, Di Fulvio F, Laudati G, 2010. Analisi della filiera di biomassa legnosa proveniente da interventi di diradamento: un caso di studio in una pineta dell'Italia centrale. *Forest@* 7: 177-189 [online: 2010-10-13] URL: <http://www.sisef.it/forest@/?doi=10.3832/efor0631-007>.

Introduzione

Dall'immediato dopoguerra fino all'inizio degli anni '80 in Italia sono stati realizzati numerosi rimboschimenti per una superficie di circa 800 000 ha, soprattutto di specie resinose autoctone e alloctone (Romano 1987). Questi rimboschimenti sono stati introdotti in terreni meno produttivi e spesso marginali per altre forme di coltivazione; oppure hanno riguardato aree soggette a forti fenomeni erosivi o impiegati a protezione di centri abitati e grandi linee di comunicazione. Attualmente nella maggior parte dei casi si riscontrano dei popolamenti adulti, quasi mai

diradati, con densità eccessiva ed elevata fragilità strutturale. Tale situazione conduce frequentemente alla perdita di stabilità del soprassuolo arboreo, con morte sia di singoli individui che di gruppi di piante, fino a veri e propri crolli strutturali più o meno estesi (Amorini & Fabbio 1992). Le operazioni selvicolturali risultano quindi necessarie nelle stazioni forestali in cui questo tipo di bosco non ha terminato la sua peculiare funzione pioniera, e andrebbero eseguite prima di iniziare eventuali processi di rinaturalizzazione. I diradamenti risultano, infatti, molto importanti sia per cercare di perseguire obiettivi di

maggior efficienza funzionale della biocenosi forestale che di miglioramento della produzione legnosa del popolamento (Ciancio 1986). Senza opportuni interventi selvicolturali, questi rimboschimenti vedono sempre più aumentare la concreta possibilità di essere interessati da incendi o da attacchi patogeni, determinando così anche la perdita di carbonio nell'ecosistema forestale (Schlamadinger et al. 1997). In queste condizioni, le scelte gestionali da applicare non risultano facili, poiché aggravate dalla prevalente monotonia del popolamento (Cantiani 2000), in quanto, la mancanza di luce al loro interno, impedisce l'integrazione della cenosi forestale con altre specie. La crisi dei combustibili fossili e la maggiore diffusione di impianti per la produzione per energia termica ed elettrica, alimentati con legno sminuzzato, hanno determinato, rispetto al passato, un concreto sviluppo di una nuova filiera legata a questo tipo di prodotto anche nell'Italia centro-meridionale. Il principale limite per la realizzazione dei diradamenti, almeno ad oggi, consiste nella forte incidenza dei costi di utilizzazione. Questi costi aumentano al diminuire: della massa asportata, delle dimensioni e del valore mercantile degli assortimenti ottenuti (Ciancio 1986). Fino a qualche decennio fa, ciò era vero anche per il materiale legnoso destinato alla triturazione, il quale nella migliore delle ipotesi riusciva solo a pareggiare il costo dell'intervento di utilizzazione. Con l'avvento del mercato della biomassa forestale per usi energetici, in crescente espansione, questo materiale potrebbe determinare maggiori margini di profitto, purché siano superate le attuali barriere (FAO 1997, FAO 2003), che derivano soprattutto da problemi tecnici, da elevati costi di filiera e in particolare dalla mancanza di concrete conoscenze del mercato.

Nel progetto esecutivo di utilizzazione è necessario stimare sia la quantità che la qualità di biomassa che si otterrebbe dai popolamenti arborei considerati, oltre all'individuazione delle migliori tecnologie da impiegare per il processo produttivo e i relativi costi (Laitila 2008). In Italia per ottenere un prodotto destinabile alla produzione di energia a prezzi vantaggiosi è necessario intervenire, oltre che sulla densità delle vie di esbosco e trasporto, anche nei sistemi di lavoro attuali, in modo da favorire quelli più innovativi, tramite il ricorso a un sempre maggior livello di educazione al lavoro in bosco e un'opportuna meccanizzazione.

Inoltre è necessario riorganizzare le operazioni in bosco, rendendole più sostenibili sia dal punto di vista economico che ambientale, nonché dove è possi-

bile utilizzare macchine di proprietà dell'impresa forestale, purché idonee sia dal punto di vista tecnologico che normativo.

L'esbosco della pianta intera (*Full Tree System*) massimizza il recupero del materiale legnoso e la produttività delle operazioni (Verani & Sperandio 2003), nonché la produzione di scaglie di legno, rispetto ai sistemi di lavoro "a fusto intero" o "a legno corto" (Sperandio & Verani 1996, Hakkila 2003). La sminuzzatura diverrebbe così l'elemento centrale di tutta la filiera, perché se eseguita all'imposto, contribuirebbe nell'ottimizzazione del conferimento alla centrale di conversione energetica (Laitila 2008). Riorganizzando l'intera filiera si avrebbero anche significative possibilità di ridurre gli attuali costi, rendendo così possibile un profitto per l'impresa forestale, senza trascurare l'impatto dell'utilizzazione; la riduzione dei danni al suolo e al soprassuolo, infatti, è un fattore chiave per una gestione forestale sostenibile (Nugent et al. 2003).

La biomassa forestale, utilizzata in processi di produzione energetica più efficienti, permetterebbe la riduzione di energia fossile e dei gas serra responsabili del surriscaldamento planetario (Goldemberg et al. 1988, Allen 1996). Diventa pertanto essenziale riuscire a valutare i bilanci energetici di questi interventi e la loro possibilità specifica di riduzione nell'emissione di gas che alterano il clima.

In questo primo studio sono stati valutati i fattori tecnici, economici, ed ambientali nell'utilizzazione di un rimboschimento di pino d'Aleppo (*Pinus halepensis* Miller), utilizzando macchine e attrezzature riconducibili ad una meccanizzazione medio-leggera, ancora poco diffusa nel nostro Paese.

Materiali e metodi

Il rimboschimento in cui è stato eseguito l'intervento sperimentale di diradamento si trova nel Comune di Fratta Todina (PG - 42° 52' N, 12° 20' E), si tratta di una pineta di pino d'Aleppo (*Pinus halepensis* Miller) di 35 anni e di proprietà privata, sottoposta ad un primo diradamento. La pineta è situata lungo una pendice che rientra nella seconda classe di pendenza (20-40%) e con una scarsa accidentalità del terreno. La particella studiata risulta ben accessibile, in quanto è costeggiata da una pista forestale nella parte bassa che si raccorda ad una camionabile secondaria nella parte più alta. La viabilità secondaria (piste principali) circonda per 3/4 il perimetro della particella di 1.5 ha. La distanza tra le piante, al momento dell'intervento, è di circa 2.5 x 2.5m, per un totale di 1511 piante ha⁻¹. Nel rimboschimento le piante ave-

Tab. 1 - Caratteristiche del popolamento e dell'intervento.

Numero piante/ha prima del diradamento	1511
Provvigione [t ha ⁻¹]	181
Intervento	I° Diradamento
Criterio	Selettivo dal basso
Prelievo [piante ha ⁻¹]	337 (22%)
Prelievo [t ha ⁻¹]	40
Prelievo [t s.s. ha ⁻¹]	18.4
Diametro a 1.3 m della pianta media prelevata [cm]	12.8

vano un diametro medio a 1.3 m di 17.4 cm, con un minimo di 8 cm e un massimo di 27 cm. L'analisi della distribuzione delle piante per classi diametriche ha indicato le maggiori frequenze nelle classi di 10, 15 e 20 cm (classi di 5 cm). Trattandosi di un primo diradamento, si è ritenuto importante effettuarlo di moderata intensità e di tipo selettivo dal basso, asportando le piante dominate, le biforcute e quelle deperienti, riducendo così la densità del soprassuolo a 1174 piante ha⁻¹, pari ad un'incidenza in numero del 22% (Tab. 1).

Il diradamento è stato svolto da un'impresa privata; l'abbattimento semi-meccanico è stato svolto da un solo operatore che utilizzava una motosega leggera (STIHL 023 da 2 kW), le piante erano tagliate in maniera tale da direzionare i calci verso le piste d'esbosco, facendole cadere tra una fila e l'altra del popolamento, per poi lasciarle intere sul loro letto di caduta. In questa fase del diradamento sono state

messe a confronto due diverse metodologie di abbattimento:

1. una motosega tradizionale;
2. una motosega munita di un prototipo di telaio (Fig. 1).

Tale confronto è stato eseguito su 4 parcelle di superficie pari a 0.3 ha ciascuna (2 per metodologia studiata), individuate per caratteristiche simili all'interno del rimboschimento. L'esbosco delle piante intere è stato effettuato su tutta la superficie con un trattore agricolo cingolato (SAME EXPLORER 80 da 60 kW) munito di verricello forestale (TERMACCH 5000 da 50 kN), che restava fermo sulla pista di esbosco. Questa operazione era svolta da una squadra di tre operatori: di cui due restavano sulla tagliata ed agganciavano le piante per il carico con catene, tenute da ganci scorrevoli posti sulla fune del verricello, mentre il terzo operatore azionava il verricello, per eseguire il concentramento delle piante fino alla pista d'esbosco attraverso le interfila. Quest'ultimo guidava anche il trattore con il carico da esboscare fino all'imposto, situato lungo la strada forestale nella parte superiore della particella, ad una distanza media di esbosco pari a 133 m. Qui le piante esboscate venivano ammucciate e in seguito sminuzzate intere, mediante una sminuzzatrice a tamburo, dotata di motore autonomo (PEZZOLATO 1000/1000 da 320 kW), ma non munita di gru idraulica per il carico del materiale da tritare. In questa operazione veniva impiegata una squadra di due operatori: uno addetto ai comandi della sminuzzatrice e l'altro all'azionamento della gru idraulica. La gru impiegata per il carico della bocca di alimentazione della macchina era montata su autotreno. Le scaglie di legno prodotte

Fig. 1 - Confronto di abbattimento direzionato con motosega (a sinistra) e motosega con prototipo di telaio (a destra).



venivano soffiate direttamente sul medesimo autotreno (IVECO TURBO 100-38) e sul suo rimorchio della capacità complessiva di 51 m³. Dopo avere eseguito i rilievi dendrometrici delle principali caratteristiche del rimboschimento (Tab. 1), si è proceduto all'abbattimento di 20 piante "campione" distribuite nelle tre classi diametriche più rappresentative. Ciascun fusto abbattuto è stato poi diviso in pezzi e pesato con bilancia dinamometrica. Per ogni pianta campione sono stati pesati con la stessa bilancia anche tutti i rami.

Campioni di fusto e di rami, prelevati da ciascuna pianta campione, sono stati portati in laboratorio, dove sono stati quantificati, con bilancia di precisione, corteccia, strobili e aghi. Tutto ciò ha reso possibile il calcolo del peso medio delle piante e dell'incidenza delle varie componenti. Nel determinare la massa volumica e l'umidità del materiale fresco sono state prelevate tre rotelle su ogni pianta campione, una dalla base, una da metà ed una dal cimale, successivamente pesate, misurate e seccate in stufa a 102°C (UNI 9091/2). Sono state in seguito svolte delle prove calorimetriche sui campioni di legno, di corteccia, di aghi e di strobili al fine di stabilirne il potere calorifico superiore, utilizzando un calorimetro (bomba di Mahler).

Durante l'abbattimento, su tutte le piante tagliate, è stato rilevato il diametro al calcio con cavalletto dendrometrico, mentre su tutti i carichi esboscati, è stato contato il numero di piante ed è stata misurata con rotella metrica, sia la distanza di concentramento che quella di esbosco.

Per ogni ciclo di sminuzzatura è stato misurato sia il volume del carico prodotto nei rimorchi che il suo peso su pesa certificata. Per ogni operazione si è proceduto, inoltre, al rilievo del consumo di carburante e al calcolo di quello del lubrificante.

In tutte le operazioni del cantiere forestale (abbattimento, esbosco e sminuzzatura) è stato eseguito un rilievo dei tempi di lavoro in base al protocollo europeo per i lavori in bosco (Baldini & Pollini 2000), mediante l'impiego di una tabella cronometrica analogica, dotata di due cronometri centesimali e di un totalizzatore. L'elaborazione dei tempi di lavoro, integrata dai dati dendrometrici, ha permesso il calcolo delle produttività lorda (E₁₅ - che include tempi morti di durata inferiore a 15 minuti) e la produttività netta (E₀ - al netto dei tempi morti).

Sono state quindi valutate le principali variabili che influenzavano i tempi di lavoro, attraverso l'analisi delle regressioni lineari (Olsen et al. 1998). Nell'analisi economica sono stati calcolati i costi di eser-

cizio orario delle macchine presenti nel cantiere studiato, applicando le formule per il calcolo dei costi operativi nei cantieri forestali (Miyata 1980). Il costo orario è stato ottenuto mediante la somma dei costi fissi (interessi sul capitale, deprezzamento, assicurazioni, oneri amministrativi) e dei costi variabili (manutenzione, riparazioni, costi per carburante e lubrificante). Il calcolo ha tenuto conto dei prezzi correnti di listino per le macchine, i prezzi di acquisto dei carburanti, i prezzi correnti di mercato dei lubrificanti, i consumi effettivi rilevati di carburanti e quelli calcolati per i lubrificanti. I calcoli sono stati basati sulle indicazioni bibliografiche relative alla durata, all'usura e all'impiego delle macchine impiegate (Hippoliti 1997, Brun & Furlan 2000). Il costo di trasporto chilometrico è stato computato separatamente, sulla base di una metodologia già accreditata (Ministero dei Trasporti e della Navigazione 2005), e pertanto assunto di 1.62 € km⁻¹ (percorrenza media annua di 75 000 km).

Ai costi orari delle macchine sono stati sommati i costi orari degli operatori forestali, ricavati dai contratti collettivi nazionali di categoria (C.C.N.L. per gli addetti alle industrie boschive e forestali), ottenendo così il costo orario dell'operazione, che diviso per la produttività lorda (E₁₅) ha fornito il costo per unità di prodotto. A quest'ultimo è stato sommato il costo di organizzazione e di direzione dell'impresa forestale, assunto pari al 10% dei costi totali. La somma delle singole voci calcolate ha fornito il costo del legno sminuzzato conferito alla centrale termoelettrica di Terni, distante 75 Km dalla pineta utilizzata.

Per valutare l'intervento di diradamento, anche dal punto di vista qualitativo, al termine delle operazioni di esbosco, è stato effettuato un rilievo dei danni arrecati sul popolamento residuo, contando il numero di piante che presentavano un danneggiamento sulla fibra legnosa. Ciò ha permesso di eseguire un confronto tra i valori rilevati nell'area dove è stato eseguito l'abbattimento direzionato con motosega munita di prototipo di telaio e quelli ottenuti dove è stata usata la motosega tradizionale.

Nel bilancio energetico calcolato è stato impiegato il rapporto *output/input* della raccolta e del trasporto della biomassa (Börjesson 1996). L'*output* è dato dall'energia contenuta nella biomassa anidra (PCS), determinata tramite prove calorimetriche su campioni di materiale secco.

Gli *input* diretti sono stati calcolati moltiplicando i contenuti energetici (PCS) dei combustibili fossili (Biondi et al. 1989) per i consumi di carburanti e di lubrificanti delle macchine. Gli *input* indiretti deriva-

Tab. 2 - Ripartizione in peso fresco (contenuto idrico = 54%; umidità riferita al peso fresco) e in percentuale delle componenti della pianta nelle tre classi diametriche analizzate.

Classe diametrica [cm]	Unità di misura	Fusto	Rami	Corteccia sul fusto	Corteccia sui rami	Strobili	Aghi	Pianta Intera
10	kg	50.16	12.06	6.84	3.40	1.02	1.03	74.51
	%	67.3%	16.2%	9.2%	4.6%	1.4%	1.4%	-
15	kg	99.44	34.1094	13.56	9.62	6.01	0.83	163.57
	%	60.8%	20.9%	8.3%	5.9%	3.7%	0.5%	-
20	kg	163.68	58.06	22.32	16.38	12.37	2.94	275.75
	%	59.4%	21.1%	8.1%	5.9%	4.5%	1.1%	-

no dai materiali di costruzione, dall'assemblaggio, dalla riparazione, dal trasporto delle macchine e dall'energia necessaria per la produzione e la distribuzione dei combustibili fossili impiegati nella filiera (Pimentel 1992, Börjesson 1996), secondo la metodologia ISO 14040. Come suggerito dalla IFIAS, non si è tenuto conto dell'energia contenuta nel lavoro umano, poiché il calcolo è basato sulla sola richiesta di energia fossile (IFIAS 1974). Per la valutazione delle emissioni di gas serra evitate con l'utilizzo della biomassa raccolta (CO_2 , CH_4 e N_2O - GHGav) è stata eseguita la differenza (Schlamadinger et al. 1997), tra le emissioni che si verificano nella produzione di energia elettrica in modo convenzionale, da una centrale a gas naturale (ANPA 2002), essendo questa la tecnologia più diffusa in Italia (Terna 2007), e le emissioni che si verificano nel processo di raccolta e trasporto della biomassa, per la produzione dello stesso quantitativo di energia elettrica, in una centrale che viene alimentata mediante la combustione di biomassa (rendimento del 25% - Terna 2004). In questo caso non vengono considerate nel bilancio le emissioni prodotte dalla combustione della biomassa, in quanto sono ritenute neutrali dalla comunità scientifica. Viene presa come unità di riferimento la produzione di 1 MWh (Norma ISO 13602-1).

Alla voce passiva sono state considerate le emissioni prodotte dalla combustione dei combustibili fossili

Tab. 3 - Potere calorifico superiore (PCS) delle componenti della pianta e delle scaglie riferiti allo stato anidro.

Componenti	[MJ kg ⁻¹]
Legno	20.146
Corteccia	20.300
Strobili	20.001
Aghi	21.749
Scaglie miste	21.263

li nei processi di raccolta e di trasporto della biomassa, in base agli inventari di emissione nazionali (ANPA 2002). A queste ultime sono state sommate quelle derivanti dai processi di produzione dei combustibili impiegati (benzina, gasolio, oli minerali lubrificanti - Athanassiadis 2000) e quelle imputabili ai vari processi di produzione delle macchine utilizzate. Tutte queste emissioni sono state successivamente convertite in Kg di CO_2 eq secondo i GWP (*Global Warming Potential* - IPCC 1996). La differenza così ottenuta è stata espressa come emissioni evitate in Kg CO_2 eq Mwh⁻¹ (Lundborg 1994).

Risultati

Con questo studio è stato possibile ricostruire il peso complessivo di ciascuna delle piante medie abbattute, secondo le tre classi diametriche considerate (Tab. 2).

L'utilizzo della tecnica della pianta intera ha dimostrato di poter aumentare la massa estratta del 29%, rispetto alla metodologia tradizionale del legno lungo (fusto intero), sulla pianta media del rimboschimento (del peso fresco di 119 kg; contenuto idrico = 54%); tale percentuale risulta crescente dal 24 al 33%, se si passa dalle piante di classe diametrica 10 cm a quelle di 20 cm (diametro a 1.3 m - Tab. 2). Dall'analisi dei valori ottenuti dalle prove calorimetriche è stato riscontrato un Potere Calorifico Superiore medio delle scaglie allo stato anidro di 21.2 MJ kg⁻¹, i valori evidenziano che la sminuzzatura integrale delle piante permette di avere una miscela con un potere calorifico più elevato, rispetto alla sminuzzatura delle singole componenti della pianta (Tab. 3).

Tra le due metodologie di abbattimento applicate, nel taglio di piante con diametro medio al calcio di 15 cm, la più produttiva è risultata quella con l'uso del prototipo di telaio, con una produttività netta pari a 4.0 t E₀h⁻¹, l'aumento di produttività è risultato del 26% rispetto all'uso della motosega tradizionale

Tab. 4 - Modello di regressione lineare del tempo netto (E_0h) del ciclo di lavoro (cmin) nelle operazioni di abbattimento direzionato. (d): diametro al calcio (cm).

T = Tempo netto (cmin) T = T1+T2+T3+T4		Motosega (n = 88)			Telaio (n = 112)		
		Coefficiente	Pr > t	R²	Coefficiente	Pr > t	R²
T1 = Tempo passaggio	Costante	83.274	-	-	57.515	-	-
T2 = Tempo taglio	T2 = a + (b)·d	-	-	0.274	-	-	0.385
	a = Costante	-14.668	-	-	-27.083	-	-
	b	3.098	< 0.0001	-	3.96	< 0.0001	-
T3 = Tempo direzionamento	Costante	50.774	-	-	34.888	-	-
T4 = Tempo accessorio	Costante	60.238	-	-	55.169	-	-

(3.2 t E_0h^{-1}). L'impiego del prototipo ha dimostrato anche una riduzione dell'incidenza dei tempi morti in E_{15} dal 35 al 26%.

L'analisi dei tempi di lavoro ha permesso di individuare un modello di previsione del tempo netto per pianta, in funzione del diametro al calcio (Tab. 4).

Nell'esbosco è stata ottenuta una produttività netta di 2.9 t E_0h^{-1} . L'analisi dei tempi di esbosco ha permesso di ottenere una regressione lineare multipla tra le principali variabili indipendenti (distanza di concentramento, distanza di esbosco e numero di piante per viaggio) e il tempo netto di lavoro (Tab. 5). In questa operazione è stata rilevata una percentuale di tempi morti (inclusi in E_{15}) del 7%, causati soprattutto dalle piante che incontravano ostacoli durante il concentramento, avvenuto nelle interfile del rimboschimento. L'incidenza dei tempi morti ri-

scontrati nello studio è risultata poco attendibile, data la breve durata dei rilievi, essendo notevolmente inferiori rispetto a quanto riportato allo stato dell'arte (Spinelli et al. 2003, Fabiano & Piegai 2007), e pertanto, nei calcoli economici ne è stata assunta un'incidenza pari al 25% di E_{15} .

Nella sminuzzatura si è avuta una produttività lorda di 13.8 t $E_{15}h^{-1}$ e netta di 14.9 t E_0h^{-1} , pertanto la percentuale dei tempi morti costituisce il 31% del totale. Questi ultimi sono dovuti principalmente a manovre compiute per il posizionamento dei rimorchi, della gru idraulica e dell'autotreno nei pressi della macchina sminuzzatrice, all'inizio e al termine di ogni ciclo operativo.

Nel trasporto della biomassa alla centrale, la produttività lorda è risultata di 5.8 t $E_{15}h^{-1}$, con una velocità media del mezzo di 40 km h^{-1} , conferendo un ca-

Tab. 5 - Modello di regressione lineare del tempo netto (E_0h) del ciclo di lavoro (cmin) nelle operazioni di concentramento ed esbosco con trattore e verricello forestale (squadra di 3 operatori) e parametri rilevati nelle operazioni (Intervallo di Variazione). *dist1*: distanza esbosco (m); *dist2*: distanza concentramento (m); *N*: numero piante.

T = Tempo netto ciclo (cmin) T = T1+...+T8		Equazione	Parametro	Coefficiente	Pr > t	R²
Tempo viaggio a vuoto		T1= 83.238 + (a)·dist1	a	1.098	< 0.0001	0.855
Tempo srotola fune		T2= - 4.246 + (b)·dist2	b	3.290	< 0.0001	0.747
Tempo aggancio		T3= 103.750+(c)·N	c	16.330	0.009	0.109
Tempo strascico indiretto		T4 = 28.788+ (d)·dist2	d	2.203	< 0.0001	0.337
Tempo viaggio carico		T5= 87.571+ (e)·dist1+(f)·N	e	1.122	<0.0001	0.840
			f	10.238	0.003	-
		T6=Tempo sgancio	Costante	139	-	-
		T7= Tempo accatata	Costante	115	-	-
		T8= Tempo accessorio	Costante	133	-	-
Parametro	Numero di osservazioni [cicli]	Dist. media concentramento [m]	Dist. media esbosco [m]	Carico medio a viaggio [piante]	Carico medio a viaggio [t]	
Valore	62	23	127	5	0.6	
Intervallo	-	(5-50)	(20-320)	(2-12)	(0.2-1.4)	

Tab. 6 - Calcolo del costo orario di esercizio delle macchine impiegate nel cantiere.

Parametro	Unità di misura	Motosega	Trattore agricolo e verricello	Sminuzzatrice
Valore a nuovo della macchina	€	500	35000	220000
Valore a nuovo accessori	€	100	3000	-
Valore di recupero	€	0	3500	22000
Potenza nominale	kW	2	60	320
Tasso di interesse	-	0.035	0.035	0.035
Impiego medio annuo	ore/anno	800	800	800
Durata economica	anni	3	10	12
Impiego medio giornaliero	ore/giorno	4	4	4
Prezzo del carburante	€/l	1.30	1.10	1.10
Prezzo del lubrificante	€/kg	3.00	4.00	4.00
Consumo orario carburante	l/h	0.6	4.6	40.3
Consumo orario lubrificante	kg/h	0.26	0.30	1.15
Interessi sul capitale impegnato	€/anno	21	1330	7700
Quota di reintegrazione del capitale	€/anno	193	2941	13560
Oneri fiscali, Assicurazione e altri	€/anno	-	350	2200
Totale dei costi fissi annui	€/anno	214	4621	23460
Totale costi fissi orari	€/h	0.27	5.78	29.32
Manutenzione e riparazione	€/h	0.25	3.04	25.21
Costo per il carburante	€/h	0.78	5.07	44.35
Costo per il lubrificante	€/h	0.78	1.20	4.61
Totale costi variabili orari	€/h	1.81	9.31	74.17
Costo complessivo orario	€/h	2.08	15.08	103.49

rico medio di scaglie pari a 22 t a viaggio.

Dall'analisi dei costi delle operazioni che costituiscono l'intera filiera (Tab. 6, Tab. 7) si evince che il costo per il conferimento alla centrale attualmente è pari a 56.51 € t⁻¹ (considerando un prezzo di macchiatico nullo per l'acquisto delle piante in piedi). Nel caso specifico è stato tenuto conto della metodologia di abbattimento più produttiva nel cantiere, cioè quella con motosega munita di prototipo di telaio. Il processo produttivo applicato non appare conveniente, poiché il prezzo di conferimento alla centrale

di Terni era 45 € t⁻¹. Analizzando le voci di bilancio che incidono sul costo finale della biomassa ottenuta, si nota che l'esbosco del materiale all'imposto è quella che ha inciso maggiormente (44%).

Da un punto di vista qualitativo, se si confrontano i danni a lavoro ultimato (completate tutte le operazioni di esbosco), tra l'area in cui l'abbattimento è stato eseguito con la motosega tradizionale e quella in cui il taglio è stato eseguito impiegando il prototipo di telaio sulla motosega, si evidenzia come in quest'ultima sotto-area si è avuta una forte riduzione

Tab. 7 - Calcolo del costo di raccolta e conferimento della biomassa legnosa. (*): incluso il ritorno a vuoto dell'autotreno; (1): 1 operatore; (2): 3 operatori; (3): 2 operatori; (4): 1 operatore.

Operazione	Costo orario macchina [€ h ⁻¹]	Costo orario manodopera [€ h ⁻¹]	Costo orario operazione [€ h ⁻¹]	Produttività lorda operazione [t E ₁₅ h ⁻¹]	Costo unitario [€ t ⁻¹]	Costo totale [%]
Abbattimento	2.08	16.00 ⁽¹⁾	18.08	3.2	5.7	10
Esbosco	15.08	42.00 ⁽²⁾	57.08	2.3	24.82	44
Sminuzzatura	103.49	30.00 ⁽³⁾	133.49	13.8	9.66	17
Trasporto alla centrale*	40.33	24.53 ⁽⁴⁾	64.87	5.8	11.19	20
Organizzazione	-	-	-	-	5.14	9
Costo totale	-	-	-	-	56.51	100

Tab. 8 - Consumi di carburante e lubrificante e corrispondenti valori energetici.

Macchina	Prodotto	[kg h ⁻¹]	[MJ h ⁻¹ diretti]	[MJ h ⁻¹ indiretti]
Motosega	Miscela	0.504	27.871	2.787
	Lubrificante	0.260	21.762	2.176
Trattore agricolo e verricello	Gasolio	3.411	175.665	17.567
	Lubrificante	0.300	25.078	2.508
Sminuzzatrice	Gasolio	29.837	1536.595	153.660
	Lubrificante	1.152	96.422	9.642
Autotreno	Gasolio	9.768	503.052	50.305

Tab. 9 - Peso delle macchine impiegate e corrispondenti valori energetici.

Macchine	[kg]	[MJ]	[MJ h ⁻¹]
Motosega	3.5	208	0.087
Trattore agricolo	4100	224543	22.454
Verricello	300	13539	1.354
Sminuzzatrice	14000	864733	90.076
Autotreno	8500	350483	23.366

di piante danneggiate, che passano dal 21% all'8% del soprassuolo residuo.

Dall'analisi degli *input* energetici l'86% risulta di

origine diretta (Tab. 10), derivante dai combustibili e dai lubrificanti impiegati (Tab. 8), il rimanente valore (14%) è imputabile agli input indiretti (Tab. 9). L'operazione che fa registrare il maggiore *input* è la sminuzzatura, in cui avviene il maggiore consumo di combustibile; dal rapporto energetico *output/input* è stato ricavato un valore pari a 28.

L'impiego della biomassa raccolta per la produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile permetterebbe una riduzione delle emissioni rispetto al sistema di riferimento di 159 kg di CO₂ eq. per ogni MWh di energia elettrica prodotta (l'equivalente di 44 kg di CO₂ eq GJ⁻¹).

Anche il bilancio delle emissioni evidenzia che,

Tab. 10 - Bilancio energetico della filiera di raccolta e trasporto della biomassa.

Macchine	Input diretti	Input indiretti	Input Totali	Output	Output/
	MJ t ⁻¹ s.s.	MJ t ⁻¹ s.s.	MJ t ⁻¹ s.s. %	MJ t ⁻¹ s.s.	Input
Motosega	33.089	1.916	35.005 5%	-	-
Trattore agricolo e verricello	182.493	39.893	222.387 29%	-	-
Sminuzzatrice	259.209	40.219	299.428 39%	-	-
Autotreno	186.316	27.285	213.601 28%	-	-
%	86%	14%	- -	-	-
Totale	-	-	770.42 100%	21263.16	27.599

Tab. 11 - Emissioni di CO₂ prodotte nella filiera di raccolta e trasporto della biomassa.

Macchina	Prodotto	Emissioni Dirette	Emissioni Indirette		Emissioni Totali
			Combustibili	Macchine	
			kg CO ₂ eq Mwhe ⁻¹		%
Motosega	Miscela	1.071	0.049	0.005	1.177 3%
	Lubrificante		0.053		
Trattore agricolo e verricello	Gasolio	10.552	0.42	1.859	12.914 28%
	Lubrificante		0.083		
Sminuzzatrice	Gasolio	16.117	0.641	1.076	17.889 39%
	Lubrificante		0.056		
Autotreno	Gasolio	12.311	0.49	0.975	13.776 30%
%	-	88%	12%	-	-

come riscontrato nelle distribuzioni percentuali del bilancio energetico, sono prevalenti quelle nell'operazione di sminuzzatura (Tab. 11).

Discussione e Conclusioni

Dai rilievi svolti sulle piante "campione", si evince che il materiale ottenuto dal diradamento risulta caratterizzato da un elevato contenuto idrico, superiore al 50%, ma in linea con quanto riportato allo stato dell'arte da Magagnotti et al. (2009), che per pinete mediterranee, riportano valori di contenuto idrico del 45%-50%. Quest'aspetto evidenzia la necessità di eseguire una parziale stagionatura delle piante intere in bosco o all'imposto, prima del loro trasferimento ai processi di conversione energetica, portando così il contenuto idrico del materiale sotto il 35%, garantendone anche l'efficiente utilizzazione in caldaie di piccola taglia. La biomassa secca ottenuta pone questo intervento tra i diradamenti su pinete che hanno raggiunto uno scarso sviluppo, con una produzione di 25-30 t s.s., dove è consigliata la conversione di tutto il materiale in scaglie, applicando il sistema della pianta intera (Magagnotti et al. 2009). L'analisi delle piante utilizzate ha evidenziato che con il sistema di lavoro della pianta intera si massimizza il recupero di biomassa, in particolare dalle piante di maggiore diametro, infatti, in queste più del 30% della massa utilizzata non proviene dal fusto, ma dalle altre sue porzioni (rami, strobili, ecc). Questa percentuale tuttavia potrebbe essere stata influenzata dal ridotto numero di piante campionate in questo studio.

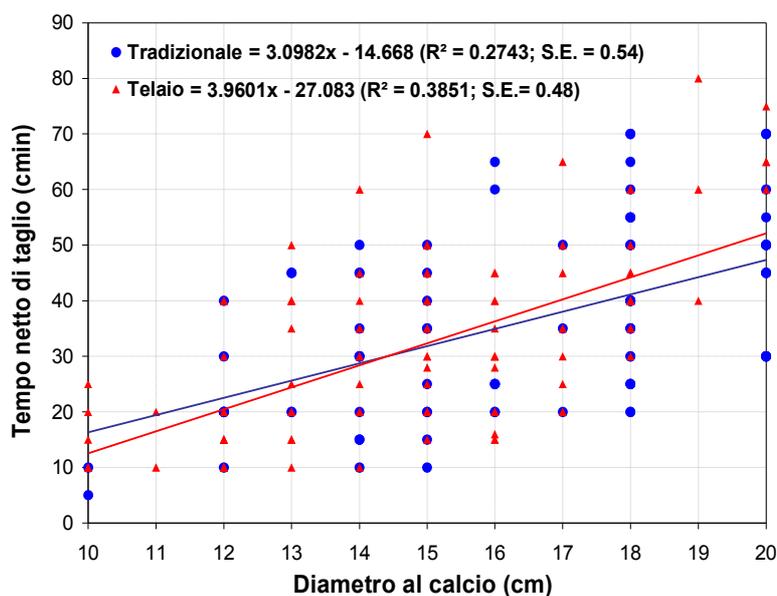
Il potere calorifico ottenuto è in linea con i valori

presenti nello stato dell'arte per altre conifere (Savolainen & Bergreen 2000), confermando che la miscela ottenuta con delle diverse componenti della pianta aumenta il calore prodotto. Tuttavia una miscela che include anche gli aghi, la corteccia e gli strobili aumenta la percentuale di ceneri nella combustione e la presenza di elementi che causano incrostazioni all'interno delle camere di combustione delle caldaie (p. es., cloro).

Inoltre l'esbosco delle piante intere potrebbe deprimere la fertilità stagionale in condizioni ecologiche particolarmente sensibili. Dai risultati è emerso che gli aghi rappresentano solo l'1% della biomassa asportabile, pertanto, il loro rilascio non causerebbe perdite significative dal punto di vista economico, ma potrebbe invece, garantire la sostenibilità ecologica dell'intervento di diradamento con il sistema della pianta intera, tuttavia vanno ancora individuate le tecnologie più adatte affinché si possa giungere a questo compromesso. Si potrebbe ipotizzare, per esempio di lasciare le piante abbattute in bosco, per un periodo di stagionatura, in modo da permettere il facile distacco degli aghi nel successivo esbosco del materiale, ma al contempo questa soluzione potrebbe rappresentare un pericolo dovuto all'attacco d'insetti e all'innescò d'incendi.

L'abbattimento delle piante con il prototipo di telaio applicato alla motosega ha permesso all'operatore di tagliare le piante con velocità pari alla motosega tradizionale, ma la diversa postura ha diminuito l'affaticamento e di conseguenza l'incidenza dei tempi morti sulla produttività. Poiché l'uso del telaio permette all'operatore di lavorare in posizione eretta, ri-

Fig. 2 - Tempo di taglio in funzione del diametro al calcio.



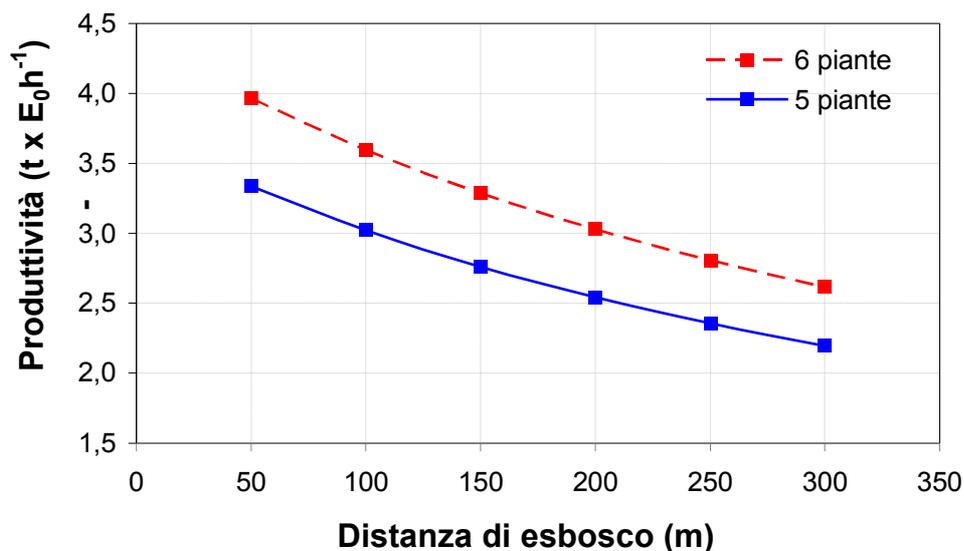


Fig. 3 - Confronto delle produttività nette di esbosco nel caso di aumento del carico da 5 a 6 piante per viaggio (squadra di 3 operatori; distanza media di concentramento 23 m).

petto al taglio con la motosega tradizionale. L'aumento di produttività appare più evidente in altri lavori, quando sono tagliate piante di diametro al calcio inferiore ai 12 cm (Baldini 1980, Baldini et al. 1989). Se si considera, infatti, un diametro al calcio di 10 cm, il tempo di taglio con il telaio risulta del 23% inferiore rispetto a quello riscontrabile con la motosega tradizionale. Lo scostamento tra i tempi di lavoro si riduce al 2% nell'abbattimento di piante con diametro di 15 cm; mentre per un diametro di 20 cm, il tempo di taglio con il telaio risulta del 10% superiore rispetto a quello con la motosega tradizionale (Fig. 2). L'impiego del telaio, pertanto, è raccomandabile per popolamenti in cui il diametro al calcio delle piante da utilizzare è inferiore a 15 cm. Per queste ragioni tale accessorio viene, già da qualche tempo, utilizzato nei sistemi di lavoro dei Paesi Nordici nei primi diradamenti, con produttività simili a quelle riscontrate in questo caso di studio (Mielikäinen & Hakkila 1998, Tekes 2002, Laitila 2008).

L'esbosco ha avuto delle produttività in linea con studi presenti allo stato dell'arte (Fabiano & Piegai 2007, Spinelli et al. 2003), ma l'incidenza sul costo della biomassa forestale appare più elevata; bisognerebbe, pertanto, agire principalmente su questa operazione, in modo da rendere più conveniente la commercializzazione del prodotto.

Nell'esbosco delle piante intere il fattore che fondamentalmente incide sulla produttività è il numero di piante esboscate per ogni viaggio, infatti, aumentando il carico medio esboscato da 5 a 6 piante, sarebbe stato possibile aumentare la produttività netta (E_0) del 19%, mentre il tempo netto di lavoro sarebbe aumentato dell'1% (Fig. 3). Si deve tuttavia conside-

rare il maggiore ingombro delle chiome, anche se questo inconveniente potrebbe essere facilmente risolto, mediante l'impiego di un verricello forestale a due tamburi. Un aspetto tecnico da non sottovalutare, che ha permesso di aumentare il carico di piante esboscate in questo cantiere, è stato l'impiego di ganci scorrevoli posti sulla fune del verricello forestale, permettendo di esboscare un numero massimo di 12 piante per ogni singolo viaggio. Sarebbe inoltre auspicabile la riduzione di un operatore nell'esbosco, essendo due operatori più che sufficienti per il lavoro da eseguire nel concentramento delle piante.

Il processo di sminuzzatura analizzato dovrebbe essere riorganizzato, in modo da ridurre sia i tempi morti legati allo spostamento del rimorchio che quelli dovuti alla motrice. Tutto questo sarebbe possibile mediante l'impiego di appositi contenitori scarrabili (Cremer & Velasquez-Marti 2007, Suadicanì 2003), che renderebbero la sminuzzatrice indipendente dall'autotreno; inoltre, la macchina trituratrice dovrebbe essere dotata di una gru idraulica autonoma (Spinelli & Hartsough 2001). Oltretutto, data l'elevata produttività della macchina sminuzzatrice impiegata dall'impresa, sarebbe stato più opportuno esboscare il materiale in un momento antecedente, creando una discreta quantità di materiale di riserva, permettendo in tal modo, anche una perdita di umidità delle piante all'imposto.

Dal confronto fra il costo di produzione e il potere calorifico inferiore del materiale al conferimento, al netto del contenuto idrico, si ha un costo per l'energia di 4.81 € GJ⁻¹. Nella "contrattazione energetica" si dovrebbe tenere conto di questo valore, come già avviene in altre realtà, dove il prezzo viene fissato a

4.00 € GJ⁻¹ (Spinelli et al. 2006). Dal punto di vista economico, con questo tipo di diradamento e con sistemi di lavoro e macchine impiegate nello studio è stato riscontrato un costo di 2260 € ha⁻¹, da cui sottraendo i ricavi della vendita del materiale legnoso, si è avuta una perdita netta di 460 € ha⁻¹. Pertanto la convenienza economica della filiera corta analizzata potrà essere raggiunta mediante l'abbattimento dei costi di utilizzazione, come è stato evidenziato nel presente lavoro, agendo sui vari aspetti tecnico-economici illustrati.

Dal punto di vista selvicolturale, il corretto direccionamento e il pre-concentramento delle piante abbattute, ha consentito una concreta riduzione dei danni al soprassuolo residuo durante le fasi dell'esbosco. La presenza di un'alta densità viaria, inoltre, ha evitato maggiori tempi di concentramento a strascico "diretto" fino alle piste di esbosco e ulteriore danneggiamento.

La metodologia impiegata del trattore dotato di verricello forestale, appare quella migliore per stazioni forestali simili a quella studiata, poiché riesce ad evitare sia i danni al suolo che al soprassuolo per il transito dei mezzi all'interno della tagliata, generando solamente un rimescolamento della lettiera, su cui scorrono le piante durante il concentramento.

Il bilancio energetico ottenuto, se viene confrontato con altre metodologie di approvvigionamento di biomassa appare conveniente, infatti, per ogni unità energetica spesa nel processo produttivo se ne ritraggono 28, valore sopra quelli che si ottengono con coltivazioni legnose dedicate per utilizzo energetico (p. es., S.R.F. - Börjesson 1996, Matthews 2001).

Oltre ad un favorevole bilancio energetico, utilizzando il materiale raccolto per la produzione di energia rinnovabile si riducono notevolmente le emissioni di CO₂ rispetto ai combustibili fossili, come già riportato in altri lavori presenti allo stato dell'arte (Lettens et al. 2003, Boman & Turnbull 1997, Borjesson 1996). Tuttavia nel presente lavoro è stata confrontata solamente la produzione di energia elettrica, la riduzione di emissioni e l'efficienza energetica sarebbero aumentate qualora si fosse considerato l'impiego alternativo della biomassa nella produzione di calore.

Nel presente caso di studio, il bilancio ambientale è stato favorito fundamentalmente dall'elevato potere calorifico del materiale legnoso ottenuto e dall'impiego di macchine per la raccolta con limitati consumi specifici.

Dall'analisi complessiva del lavoro, si evince che la metodologia applicata potrebbe essere proposta per

la raccolta della biomassa negli interventi di primo diradamento in condizioni analoghe a quelle del presente caso di studio. La filiera dovrebbe prevedere un taglio direzionato delle piante, eseguito con una motosega munita di prototipo di telaio (operazione svolta da un solo operatore), un esbosco della pianta intera con trattore munito di verricello forestale a due tamburi (operazione svolta da due operatori) e successiva sminuzzatura del materiale all'imposto con macchina dotata di gru idraulica autonoma (operazione svolta da due operatori).

Questa filiera corta permetterebbe di raggiungere la sostenibilità economica e favorevoli ricadute ambientali, ma dovrà esservi, oltre a una manodopera con adeguata formazione al lavoro in bosco, anche un maggiore adeguamento del mercato della biomassa forestale, basato maggiormente sulla qualità del prodotto (p. es., contenuto idrico, potere calorifico) e sua relativa certificazione.

Queste ultime considerazioni dovrebbero poter indirizzare gli stessi incentivi economici, in modo da garantire un maggiore impiego delle biomasse forestali, in rapporto ai combustibili fossili e una maggiore razionalizzazione di questo tipo d'intervento selvicolturale, in maniera da avere prima una concreta applicazione e poi una corretta realizzazione, nell'ottica di una gestione forestale sostenibile dei rimboschimenti.

Bibliografia

- ANPA (2002). Manuale dei fattori di emissione nazionali. ANPA-CTN, Centro Tematico Nazionale "Atmosfera Clima ed Emissioni in Aria", Torino, pp. 193. - [online] URL: <http://www.regione.piemonte.it>
- Allen JE (1996). Energy resources for a changing world. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 92.
- Amorini E, Fabbio G (1992). La gestione dei rimboschimenti con pino nero. Monti e Boschi XLIII (4): 27-29.
- Athanassiadis D (2000). Energy consumption and exhaust emissions in mechanized timber harvesting operation in Sweden. The Science of the Total Environment 225: 135-143. - doi: 10.1016/S0048-9697(00)00463-0
- Börjesson PII (1996). Energy analysis of biomass production and transportation. Biomass and Bioenergy 11 (4): 305-318. - doi: 10.1016/0961-9534(96)00024-4
- Baldini S (1980). Nuove tecnologie nei diradamenti. In: Atti dell'Incontro: "Nuove tecnologie nei diradamenti". Vezza d'Oglio (BS) 15-16 Luglio 1979. Regione Lombardia, Milano, vol. 2, pp. 91.
- Baldini S, Berti S, Cutini A, Mannucci M, Mercurio R, Spinelli R (1989). Prove sperimentali di primo diradamento in un soprassuolo di pino marittimo (*Pinus pinaster* Ait.)

- originato da incendio: aspetti silvicolture, di utilizzazione e caratteristiche della biomassa. *Annali Istituto Sperimentale Selvicoltura* 20: 385-436.
- Baldini S, Pollini C (2000). Proposta europea di protocolli armonizzati per lo studio del lavoro in bosco. *Sherwood* 56: 5, 57:6, 58: 7, 60: 9.
- Biondi P, Panaro V, Pellizzi G (1989). Le richieste d'energia del sistema agricolo italiano. Progetto Finalizzato Energetica, CNR - ENEA, Roma, pp. 79.
- Boman UR, Turnbull JH (1997). Integrated biomass energy systems and emissions of carbon dioxide. *Biomass and Bioenergy* 13 (6): 333-343. - doi: [10.1016/S0961-9534\(97\)00043-3](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(97)00043-3)
- Börjesson PII (1996). Energy analysis of biomass production and transportation. *Biomass and Bioenergy* 11 (4): 305-318. - doi: [10.1016/0961-9534\(96\)00024-4](https://doi.org/10.1016/0961-9534(96)00024-4)
- Brun F, Furlan G (2000). Studio dei costi di produzione e stima del prezzo minimo del cippato di legno per usi energetici. Dipartimento di Economia e Ingegneria Agraria, Forestale e Ambientale, Università degli Studi, Torino, pp. 46.
- Cantiani P (2000). Indicazioni gestionali in rimboschimenti di pino nero dell'Appennino centro-settentrionale. In: "Applicazioni e prospettive per la ricerca forestale Italiana" (Bucci G, Minotta G, Borghetti M eds). SISEF Atti II, Edizioni Avenue media, Bologna, pp. 125-130.
- Ciancio O (1986). Diradamenti: criteri generali, problemi e tecniche. *Monti e Boschi* 36 (6):19-23.
- Cremer T, Velasquez-Marti B (2007). Evaluation of two harvesting systems for the suppli of wood-chips in Norway spruce forests affected by bark beetles. *Croatian Journal of Forest Engineering* 28 (2): 145-155.
- FAO (1997). The role of wood energy in Europe and OECD WETT- wood energy today for tomorrow. FOPW, Forestry Department, Rome, pp. 1-87.
- FAO (2003). WISDOM, wood integrated supply/demand overview mapping. Rome, pp. 1-52
- Fabiano F, Piegai F (2007). Diradamenti in impianti artificiali di conifere. Produttività e costi per produzione di cippato. *Sherwood* 136 (8): 23-29.
- Goldemberg J, Johansson TB, Reddy AKN, Williams RH (1988). Energy for a sustainable world. Wiley-Eastern, New Delhi, India.
- Hakkila P (2003). Developing technology for large scale production of forest chips. TEKES Report 5/2003, Wood Energy Technology Programme 1999-2003, National Technology Agency, Helsinki, Finland, pp. 54.
- Hippoliti G (1997). Appunti di meccanizzazione forestale. Collana Universitaria, Studio Editoriale Fiorentino, Firenze.
- IFIAS (1974). Energy analysis. Workshop report n° 6, International Federation of Institutes for Advanced Study, The Nobel House, Stockholm, Sweden.
- IPCC (1996). Revised 1996 IPCC guidelines for National greenhouse gas. [online] URL: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.htm>
- Laitila J (2008). Harvesting technology and the cost of fuel chips from early thinnings. *Silva Fennica* 42 (2): 267-283.
- Letten S, Muys B, Ceulemans R, Moons E, Garcia J, Coppin P (2003). Energy budget and greenhouse gas balance evaluation of sustainable coppice systems for electricity production. *Biomass and Bioenergy* 24: 179-197. - doi: [10.1016/S0961-9534\(02\)00104-6](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(02)00104-6)
- Lundborg A (1994). Forest fuel and carbon balances. R&D Report No UB 94/1 1, Vattenfall, Sweden.
- Magagnotti N, Nati C, Spinelli R (2009). La filiera legno-energia (pinete). Risultati del progetto interregionale *Woodland Energy*. ARSIA, Regione Toscana, Firenze, pp. 178.
- Matthews RW (2001). Modelling of energy and carbon budgets of wood fuel coppice systems. *Biomass and Bioenergy* 21: 1-19. - doi: [10.1016/S0961-9534\(01\)00016-2](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(01)00016-2)
- Mielikäinen K, Hakkila P (1998). Review of wood fuel from pre-commercial thinning and plantation cleaning in Finland. In: "Wood fuel from early thinning and plantation cleaning, an international review". Research papers 667, Finnish Forest Research Institute, Helsinki, pp. 29-35.
- Ministero dei Trasporti e della Navigazione (2005). Comitato centrale per l'albo degli autotrasportatori di cose per conto di terzi. Indagine conoscitiva sui costi delle imprese italiane di autotrasporto per conto di terzi. Aggiornamento: Gennaio 2005, Roma, pp. 81.
- Miyata ES (1980). Determining fixed and operating costs of logging equipment. Report GTR NC-55, North Central Experiment Station, USDA Forest Service, St. Paul, MN, USA, pp. 14.
- Nugent C, Kanali C, Owende PMO, Nieuwenhuis M, Ward S (2003). Characteristic site disturbance due to harvesting and extraction machinery traffic on sensitive forest sites with peat soils. *Forest Ecology and Management* 180: 85-98. - doi: [10.1016/S0378-1127\(02\)00628-X](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00628-X)
- Olsen E, Hossain M, Miller M (1998). Statistical comparison of methods used in harvesting work studies. OSU FRL Research Contribution 23, Corvallis, Oregon, USA, pp. 41.
- Pimentel D (1992). Energy inputs in production agriculture. In: "Energy in world agriculture" - vol. 6 (Fluck RC ed). Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- Romano D (1987). I rimboschimenti nella politica forestale italiana. *Quaderni di Monti e Boschi* 37 (6): 7-12.
- Savolainen V, Bergreen H (2000). Wood fuel basic information pack. Gummerus Kirjapaino Oy, Saarjärvi, Finland.
- Schlamadinger B, Apps M, Bohlin F, Gustasson L, Jungmeier G, Marland G, Pingoud K, Savolainen I (1997). To-

- wards a standard methodology for greenhouse gas balance of bioenergy systems in comparison with fossil Energy systems. *Biomass and Bioenergy* 13 (6): 359-375. - doi: [10.1016/S0961-9534\(97\)10032-0](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(97)10032-0)
- Sperandio G, Verani S (1996). Produttività di lavoro e costi di utilizzazione di boschi cedui: risultati di un quindicennio di esperienze. *Monti e Boschi* 4: 35-42.
- Spinelli R, Hartsough B (2001). Indagine sulla cippatura in Italia. *Contributi Scientifico-Pratici n° XLI, CNR-IRL, Firenze*, pp. 112.
- Spinelli R, Nati C, Magagnotti N (2003). Raccolta di legno cippato dalle giovani peccete artificiali del Feltrino. Associazione Montegrappa, Feltre, Belluno, pp. 26. [online] URL: <http://www.biomassaforestale.org>
- Spinelli R, Nati C, Magagnotti N (2006). Biomass harvesting from buffer strips in Italy: three options compared. *Agroforestry Systems* 68: 113-121. - doi: [10.1007/s10457-006-9002-0](https://doi.org/10.1007/s10457-006-9002-0)
- Suadicani K (2003). Production of fuel chips in a 50-year old Norway spruce stand. *Biomass and Bioenergy* 25 (3):35- 43. - doi: [10.1016/S0961-9534\(02\)00181-2](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(02)00181-2)
- Tekes (2002). Growing power. Advanced solutions for bioenergy technology from Finland. The National Technology Agency, Tekes, Finland, pp. 34.
- Terna (2007). Dati Statistici sull'energia elettrica in Italia. pp. 229. [online] URL: <http://www.terna.it>
- Terna ENA (2004). Dichiarazione ambientale impianto di produzione di energia elettrica tramite utilizzo di fonti rinnovabili. EN.A SpA, Terni, pp. 80.
- Verani S, Sperandio G (2003). Prove di primo diradamento in una piantagione di pino laricio. *Analisi tecnico-economica. Sherwood* 90 (6): 43-47.