

Prove e confronto tra cantieri per il recupero delle potature a fini energetici.

A cura di

Raffaele Spinelli, Claudio Cantini, Carolina Lombardini, Natascia Magagnotti,
Carla Nati, Gianni Picchi, Graziano Sani,

CNR Ivalsa

Via madonna del Piano 10

I-50019 Sesto Fiorentino (FI)

Introduzione

La frutticoltura è un'attività diffusa in tutto il mondo, ed è capace di generare redditi importanti. La coltivazione della vite, delle mele e delle pere è molto comune in tutte le regioni temperate, e a livello globale interessa rispettivamente 7.4, 4.9 e 1.7 milioni di ettari (FAOSTAT 2009). Queste colture hanno almeno tre caratteristiche comuni: crescono nelle regioni temperate, sono molto remunerative e richiedono una potatura annuale. A sua volta, la potatura annuale genera una quantità significativa di residuo legnoso, che deve essere eliminato prima di attuare altre cure colturali. Trovare un uso commerciale a questo residuo consentirebbe di trasformare un problema di smaltimento in una produzione collaterale, con il beneficio di generare reddito aggiuntivo o di ridurre il costo di gestione del frutteto. In effetti, il residuo di potatura potrebbe sostituire i prodotti

legnosi tradizionalmente impiegati per uso energetico ed industriale (Ntalos e Grigoriou, 2002), giocando un ruolo importante nell'approvvigionamento delle nuove centrali a biomassa (Bernetti et al., 2006).

Da alcuni anni, numerosi costruttori di macchine stanno offrendo attrezzature specifiche per il recupero dei residui di potatura. Queste attrezzature possono essere divise in base al sistema di condizionamento in trituratori e imballatrici. Quelle progettate per raccogliere, tritare e inviare il residuo verso un contenitore derivano in genere dai tradizionali trincia sarmenti, equipaggiati all'uopo con un contenitore o un lanciatore, quest'ultimo destinato a dirigere il flusso del prodotto trinciato verso un rimorchio di accompagnamento. Altrimenti è possibile impiegare imballatrici, che raccolgono il residuo, lo comprimono in unità di forma e dimensioni prefissate, legano la palla così formata e la scaricano a terra per il successivo prelievo. L'imballatura rappresenta una lavorazione aggiuntiva nella filiera di produzione del combustibile legno, ma offre il beneficio di un immagazzinamento più agevole, poiché le balle possono conservarsi per mesi, mentre il trinciato fresco tende a "fermentare" e a degradarsi molto rapidamente.

Queste macchine hanno suscitato molto interesse e le loro prestazioni ormai sono documentate in numerosi studi (Recchia et al. 2009). In generale, questi studi indicano che la buona organizzazione del cantiere è il principale fattore di successo: una pianificazione razionale può garantire una minima incidenza dei tempi morti, un passaggio fluido tra le differenti fasi di lavoro e in generale una gestione efficiente del cantiere. In effetti, la fase di estrazione del prodotto fuori

dal campo è in genere un problema maggiore rispetto alle sole raccolta e condizionamento. In tal proposito, le tecnologie offerte oggi dal mercato offrono due alternative: 1) cantiere a passaggio singolo, dove la macchina adibita alla raccolta e condizionamento è anche dotata di un cassone per accumulare il prodotto e portarlo fuori dal campo, oppure 2) cantiere a doppio passaggio, dove la macchina adibita alla raccolta e condizionamento scarica il prodotto condizionato sul terreno, che sarà poi caricato e portato fuori campo da una seconda macchina. L'efficienza dei cantieri a passaggio singolo dipende dalla capacità del contenitore incorporato, che determina l'efficienza della fase di estrazione e la frequenza con cui la macchina deve interrompere il lavoro di raccolta e condizionamento per portare fuori il prodotto. Qui l'efficienza è direttamente proporzionale alle capacità del contenitore, le cui dimensioni però devono fare i conti con lo spazio limitato disponibile nei vigneti e nei frutteti: un contenitore troppo grosso può limitare l'agilità della macchina, dilatando i tempi di manovra e spostamento. Lo scopo di questo studio pertanto è quello di determinare a) quale alternativa offre le migliori opportunità per ridurre il costo di recupero del residuo di potatura, e b) quanto la produttività e il costo di recupero sono influenzati dalla capacità del contenitore adibito all'accumulo del prodotto.

Materiali e Metodi

Innanzitutto si sono selezionate quattro attrezzature commerciali, capaci di rappresentare i principali tipi di cantiere. Le macchine impiegate nei cantieri 1, 2 e 3 erano trituratori, progettati per scaricare il trinciato in un apposito contenitore. Le macchine differivano soprattutto per la capacità del contenitore, che era

rispettivamente di 1.5, 3 e 6 m³. Queste macchine avanzavano negli interfila raccogliendo il residuo ivi accumulato, e una volta che il contenitore era pieno uscivano dal campo e svuotavano il contenitore in rimorchi agricoli o container parcheggiati in capezzagna e presso una via carrabile principale. La macchina usata nel cantiere 3 in realtà trainava un rimorchio agricolo convenzionale equipaggiato con sponde alte, e una volta in capezzagna semplicemente scambiava il rimorchio pieno con uno vuoto. La macchina sul cantiere 4 era una rotoimballatrice. Una volta che la camera di compressione era piena, la macchina si fermava per alcuni secondi e deponeva a terra la balla appena confezionata. Le balle poi erano recuperate da un trattore agricolo munito di forca, che le portava in capezzagna e le caricava su un rimorchio, per il trasporto in azienda. Tutte le macchine impiegate nelle prove erano abbastanza leggere da essere portate o trainate da trattori compatti per frutteto. Le principali caratteristiche delle macchine in prova sono descritte in Tabella 1.

Queste macchine sono state impiegate per una prova comparativa fianco a fianco, su diversi vigneti e frutteti localizzati nella Provincia di Padova. In totale le prove hanno interessato 7 vigneti, 6 meleti e 4 pereti. Una descrizione dei 17 campi sperimentali è riportata in Tabella 2. La superficie complessiva percorsa dalle prove ammontava a 15 ha. Quando possibile, le macchine sono state provate tutte su suddivisioni di uno stesso campo.

Lo studio è stato progettato per consentire una corretta valutazione della produttività e identificare i principali fattori capaci di influenzarla, per la successiva

modellizzazione. La raccolta dei dati consisteva in un dettagliato studio dei tempi di lavoro condotto separatamente per ciascun singolo ciclo di raccolta, rappresentato dal tempo necessario a completare il riempimento di un singolo contenitore o il confezionamento di una singola balla.

Il tempo di lavoro è stato diviso in più fasi (Björheden et al., 1995) considerate tipiche del processo di lavorazione analizzato, e in questo caso: raccolta, volta a fine campo, estrazione del carico fuori dal campo, trasferimento del carico nel container parcheggiato a bordo campo, rientro in campo, tempi morti. Questo è stato fatto per isolare quegli elementi del processo di lavorazione che dipendono specificamente da uno o più fattori esterni, allo scopo di aumentare l'accuratezza dell'eventuale modello di produttività (Bergstrand, 1991). Tutti i tempi e i relativi parametri ad essi associati sono stati registrati con computer portatili ogni tempo Husky Hunter[®], muniti dell'apposito software Siwork3[®] (Kofman, 1995). La durata complessiva dei rilievi è stata di 25.6 ore.

Le quantità di biomassa ottenute dalle prove sono state determinate pesando tutti i contenitori e tutte le balle all'uscita del campo, usando bilance elettroniche portatili. L'accuratezza delle bilance portatili è stata verificata inviando ad una pesa stazionaria certificata tutti i camion a loro volta riempiti con i contenitori e le balle. Il tenore idrico del prodotto è stato determinato su 3 campioni per ciascun campo, con il metodo gravimetrico in base alla norma europea CEN/TS 14774-2.

L'interfila dei diversi campi è stato misurato con una fettuccia metrica, mentre si è usato un distanziometro a filo per misurare la lunghezza di filare raccolta durante ogni ciclo e la distanza per portare il contenitore pieno al punto di scarico. Ciò ha consentito di associare il peso netto di ciascun contenitore con la superficie coperta per riempirlo, così da determinare la resa netta dei campi. Le perdite di raccolta sono state stimate su parcelle rettangolari con superficie compresa tra 20 e 40 m². Le parcelle sono state scelte a caso in numero di 2 per campo e macchina: se un campo era stato raccolto con tutte e quattro le macchine, allora si selezionavano 2 parcelle per ciascuna delle 4 suddivisioni raccolte con ogni specifica macchina. Tutto il residuo di potatura rimasto sulle parcelle era quindi raccolto manualmente e pesato con una bilancia portatile. La somma della resa media e delle perdite di raccolta rappresenta la resa totale potenziale del campo.

Il costo orario dei diversi cantieri è stato calcolato con il metodo descritto da Miyata (1980), su un uso annuale stimato pari a 1000 and 500 ore di calendario (SMH), rispettivamente per i trattori e per le operatrici. Questo riflette la stagionalità delle operazioni di potatura e la versatilità del trattore agricolo. I costi relativi al combustibile, all'assicurazione, alle riparazioni e alla manutenzione ordinaria sono stati ottenuti direttamente dagli operatori, che erano tutti agricoltori ed avevano accesso al gasolio agricolo detassato. Il costo totale della manodopera è stato considerato pari a 12 € SMH¹ inclusi gli oneri fiscali e previdenziali. Il costo netto calcolato è stato aumentato del 20% per includere le spese generali e di gestione (Hartsough 2003). Ulteriori dettagli circa il calcolo dei costi sono riportati in Tabella 3.

I dati sono stati sottoposti ad analisi statistica per determinare la durata media dei tempi di lavorazione e la loro variabilità. Analisi di regressione e della varianza sono state condotte su tutti i principali dati ottenuti dallo studio, allo scopo di valutare la significatività statistica delle eventuali differenze riscontrate tra i cantieri, e delle relazioni esistenti tra tempo di lavoro e fattori esterni, quali la resa dei campi o il tipo di coltura (SAS, 1999). Per differenziare diversi cantieri durante le analisi di regressione si sono impiegate apposite variabili indicatore (Olsen et al. 1998).

I risultati delle analisi statistiche sono stati usati per assemblare un semplice foglio di lavoro, capace di calcolare la produttività e il costo del recupero dei residui di potatura in funzione di variabili indipendenti inserite dall'utente. In linea di principio, un foglio di lavoro è meno realistico rispetto ai più sofisticati modelli di simulazione dinamica o per eventi discreti, ma può essere impiegato facilmente da chiunque abbia un semplice computer, e quindi può essere reso disponibile gratuitamente a tutti, senza che nessuno sia poi costretto ad acquistare un costoso software di simulazione. Peraltro, modelli costruiti su semplici fogli di lavoro sono già largamente impiegati per il calcolo dei costi di lavorazione delle operazioni agricole, ad esempio per la raccolta della canna da zucchero (Salassi e Champagne, 1998) o della short-rotation (Spinelli et al. 2009).

Per quanto riguarda invece la qualità del trinciato, si è determinata la distribuzione granulometrica di 30 campioni del peso di 500 g ciascuno, prelevati durante le prove e portati in laboratorio per la vagliatura secondo la norma europea CEN/TS

15149-1:2006. A questi si sono aggiunti altri 5 campioni, ottenuti dalla cippatura di potature di vigna imballate, effettuata con una cippatrice a tamburo di tipo forestale. Ciò è stato fatto allo scopo di ottenere un caso ottimale di riferimento, dove il residuo di potatura era sminuzzato con un'attrezzatura progettata per ottenere la pezzatura migliore possibile. Per l'analisi si sono utilizzati 5 vagli, in grado di separare le seguenti 6 classi granulometriche: >100 mm, 100-63 mm, 63-45 mm, 45-16 mm, 16-3 mm, <3 mm. Ciascuna frazione è stata pesata con una bilancia di precisione. Per semplificare l'interpretazione dei dati le 6 differenti frazioni sono state raggruppate in 4 classi funzionali: particelle sovramisura (>63 mm), cippato grosso (63-45 mm) cippato fine (45-3 mm) e polveri (< 3 mm) (Spinelli et al. 2011a). In tal modo si può facilmente valutare se il trinciato prodotto rientra nella specifica P45, che caratterizza il combustibile più idoneo alle caldaie residenziali. Secondo la norma europea CEN TS 14961, la specifica P45 identifica un cippato con le seguenti tre caratteristiche: 1) l'80% della massa totale deve consistere di particelle non più lunghe di 45 mm; 2) le particelle più lunghe di 63 mm devono rappresentare meno dell'1% della massa totale; 3) le particelle più piccole di 1 mm devono rappresentare meno del 5% della massa totale.

Il potere calorifico superiore (HHV) è stato determinato su 7 campioni di trinciato ottenuti dai vigneti, individuati come il caso più critico. Le misurazioni sono state effettuate secondo la in base alla norma europea CEN/TS 14918. I campioni sono stati raffinati con un apposito mulino e quindi compressi in pastiglie di un grammo (Brown e Gallagher 2008). Quindi le pastiglie sono state bruciate in una bomba

calorimetrica adiabatica tipo IKA C 400. Prima di effettuare le misure, la bomba è stata calibrata con 16 cicli individuali.

Risultati

La descrizione dei 17 campi di prova è riportata in Tabella 2. La resa media in potature è pari a 2.3 e 3.5 t ha⁻¹, rispettivamente per i vigneti e gli altri frutteti. Questa è la resa netta in biomassa tal quale. Nessuna delle macchine in prova si è dimostrata in grado di raccogliere tutto il residuo effettivamente disponibile in campo, e le perdite sono oscillate da un minimo del 4% ad un massimo del 60%, senza che si riscontrassero differenze significative tra le diverse macchine in prova. Pertanto, la resa potenziale è intorno alle 3.1 t ha⁻¹ per i vigneti, e 3.9 t ha⁻¹ per gli altri frutteti, Il tenore idrico medio è risultato pari al 44%, con poche differenze tra i diversi campi. Questo si traduce in una resa potenziale media di 1.7 e 2.2 t s.s. ha⁻¹, rispettivamente per i vigneti e per gli altri frutteti. A causa dell'ampia variabilità nelle caratteristiche individuali dei campi, non è stato possibile determinare alcuna differenza statisticamente significativa tra i vigneti e gli altri frutteti, ad eccezione delle perdite di raccolta, pari a 0.8 t ha⁻¹ nei vigneti e a 0.4 t ha⁻¹ negli altri frutteti ($t = -5.591$; $p = <0.0001$). L'analisi statistica dei dati non ha individuato alcuna relazione significativa tra la resa netta o potenziale dei campi e le loro caratteristiche, quali età, specie e varietà.

La Tabella 4 mostra i risultati ottenuti dallo studio dei tempi di lavoro. Il tempo di raccolta a tonnellata è inversamente proporzionale alla resa netta del campo (escluse le perdite), ed è associato allo specifico tipo di cantiere. Il cantiere

Facma è risultato essere il più veloce, mentre quello di Peruzzo il più lento. Il modello di regressione per il tempo di raccolta appare molto affidabile, perché può spiegare oltre l' 80% della variabilità dei dati di prova. Il tempo medio di volta è significativamente più breve per il cantiere Facma, basato su un agilissimo trattore idrostatico a tre ruote. Per contro, il cantiere Nobili ha mostrato i tempi di volta più lunghi, poiché il trattore doveva anche trainare un rimorchio agricolo a due assi, ed era sicuramente più ingombrante e meno manovrabile degli altri cantieri. Nessuna differenza significativa è stata riscontrata per il viaggio a vuoto, dal punto di scarico verso il campo. Al contrario, il cantiere Facma era significativamente più rapido degli altri nel viaggio carico, effettuato dal campo verso il punto di scarico. Questo può spiegarsi con il fatto che la macchina di Peruzzo era un modello portato, e il container carico determinava un cambio importante nella distribuzione dei pesi sul trattore, rendendolo meno manovrabile; il trattore equipaggiato con la macchina di Nobili invece doveva tirarsi dietro un rimorchio agricolo a due assi, con dentro circa 1.5 t di trinciato, il che giustifica la minore velocità di spostamento. Questo cantiere richiedeva anche un tempo maggiore degli altri per lo scarico del prodotto, perché questo avveniva attraverso lo scambio dei rimorchi, e non per ribaltamento. Lo studio non è durato abbastanza a lungo da fornire una stima talmente accurata dei tempi morti, da poter discriminare i diversi cantieri. I tempi morti sono tipicamente erratici, e la loro corretta valutazione richiede studi di lungo periodo, con una durata plurisettimanale (Spinelli e Visser 2009). Da qui la decisione di impiegare un valore complessivo uguale per tutti, e pari alla media dell'incidenza totale dei tempi morti misurata per tutte le macchine nel corso dell'intero studio.

Naturalmente questo valore è stato calcolato dopo aver escluso i tempi morti causati dalle esigenze dello studio stesso, che non sono verificate nel corso di operazioni commerciali.

L'estrazione a bordo campo delle balle è stata studiata con gli stessi metodi, ed analizzata con procedure analoghe. I risultati sono riportati in Tabella 5, che mostra come il tempo totale di lavorazione sia direttamente proporzionale alla distanza di estrazione e al peso delle balle.

Le equazioni riportate nelle Tabelle 4 e 5 sono state impiegate per assemblare il foglio di calcolo descritto sopra. Questo è stato impiegato per condurre una serie di analisi di sensitività, i cui risultati sono esposti in Tabella 6. Il costo totale di raccolta varia tra 49 e 11 € t⁻¹ nei meleti e pereti, e tra 60 e 15 € t⁻¹ nei vigneti. Il costo aumenta con la distanza di estrazione e diminuisce con la lunghezza dei filari e la concentrazione del residuo. Il cantiere Facma ha avuto prestazioni superiori a quelle di tutti gli altri cantieri, per tutte le condizioni operative. Il lavoro nei vigneti incorre costi generalmente superiori a quelli del lavoro negli altri frutteti, a causa della minore concentrazione di residuo e delle maggiori perdite di raccolta.

La granulometria del trinciato è risultata estremamente variabile, ma nessuno dei trituratori in prova è stato capace di offrire un trinciato corrispondente alla specifica P45 (Tabella 7). Questo vale anche per le potature di vigna sminuzzate con la cippatrice a tamburo. Tutti i campioni contenevano una proporzione

eccessiva di particelle sovra misura e/o di polveri. La presenza di particelle sovra misura era particolarmente elevata in quei trituratori privi di dispositivi per la raffinazione del prodotto, quali vagli o controcoltelli. Tuttavia, le macchine equipaggiate con tali dispositivi hanno prodotto una quantità eccessiva di poveri, rispetto alle macchine che ne erano prive. La Tabella 8 mostra un confronto diretto tra due macchine identiche, ma alternativamente equipaggiate o prive del rispettivo raffinatore (vaglio per la Facma e controcoltello per la Peruzzo) ed impiegate sulla potatura di vigna. In entrambi i casi, l'applicazione del raffinatore determina un netto calo della frazione sovramisura, e un proporzionale aumento delle polveri, che si sono dimostrati statisticamente significativi. Quando l'incidenza delle particelle sovra misura scende sotto il 5%, quella delle polveri aumenta in modo drammatico. In linea di massima, i vigneti offrono un prodotto migliore rispetto agli altri frutteti, con un contenuto minore di sovra misure e polveri. Questa differenza è statisticamente significativa.

Il potere calorifico superiore dei residui di potatura del vigneto è pari in media a 18.7 MJ kg^{-1} , con pochissima differenza tra i diversi campioni (Tabella 9). Una volta rimosso l'effetto del tenore idrico, i residui di potatura del vigneto offrono un combustibile omogeneo, almeno per quanto riguarda il valore energetico. Il potere calorifico della potatura di vigneto è leggermente inferiore a quello del cippato forestale, determinato in precedenza dagli stessi autori e con gli stessi metodi. Questo risulta uguale a 19.4 e 20.2 MJ kg^{-1} , rispettivamente per il legname di latifoglia e per quello di conifera (Spinelli et al. 2011b). Il potere calorifico più elevato del legname di conifera è ampiamente attestato in letteratura (Giordano

1986), e dipende dall'elevato contenuto di resina (Naik et al. 2010). Per quanto riguarda le latifoglie, queste hanno un potere calorifico maggiore delle patate di vigna, la differenza è piccola, benché statisticamente significativa ($p = 0.004$).

Discussione e conclusioni

Il modello sviluppato nell'ambito dello studio riflette una realtà molto più complessa rispetto a quanto potrebbe indicare una semplice analisi della capacità dei container, come espresso in precedenza. I risultati del confronto ovviamente sono influenzati anche dal tipo di raccogliitore e dal trattore impiegato per azionare l'attrezzatura. La netta superiorità del cantiere 2 (Facma) dipende in gran parte dalla maggiore velocità del dispositivo di raccolta e dai tempi di volta particolarmente brevi, legati all'impiego di un innovativo trattore idrostatico a tre ruote motrici. Nella valutazione finale, questi fattori sono in buona parte integrati attraverso un costo orario differente, e necessariamente più elevato per le attrezzature e i trattori più veloci e sofisticati. Tuttavia il risultato finale resta differente: a maggiori investimenti corrispondono benefici economici ancora maggiori, che è esattamente quanto spera chi acquista un'attrezzatura un po' più cara delle altre. Se si cambiasse il modello di calcolo adottando una identica velocità di raccolta per tutte le macchine, allora il cantiere 3 offrirebbe il costo di raccolta minore quando la distanza di estrazione superasse i 600 m, o la lunghezza delle file i 500 m. Questa sarebbe la logica conseguenza della maggiore capacità del container impiegato sul cantiere 3. Tuttavia tale estrapolazione è tanto prevedibile quanto poco realistica. Prevedibile, perché il risultato può essere semplicemente calcolato a tavolino, senza alcun bisogno di

condurre costose prove in campo. Poco realistico, perché nessun costruttore attualmente offre la stessa macchina con una scelta così ampia riguardo alla capacità del container. D'altra parte, un confronto equo tra macchine diverse deve anche includere la qualità del prodotto. La granulometria del trinciato è la caratteristica qualitativa più strettamente legata al tipo di macchina (Nati et al. 2010). Le analisi condotte nel corso di questo studio indicano che il cantiere Peruzzo produce un trinciato più fine e regolare del cantiere Facma, e che le differenze qualitative tra i due cantieri sono statisticamente significative (Spinelli et al. 2011c). Tuttavia, le altre caratteristiche qualitative del residuo di potatura restano talmente mediocri (elevato tenore idrico e alto contenuto di ceneri) da renderne poco attraente l'uso in caldaie residenziali: resta così favorito l'impiego industriale, per il quale la distribuzione granulometrica diventa meno importante. Per quanto riguarda specificamente la produttività delle macchine, le prove del 2011 mettono in evidenza il progresso conseguito nel giro di pochi anni, che i costruttori hanno dedicato ad una intensa attività di sviluppo e miglioramento. Nel 2008 il CNR aveva condotto prove analoghe su attrezzature molto simili (alcune anche degli stessi costruttori che hanno partecipato alle prove del 2011) ottenendo risultati senz'altro meno lusinghieri (Spinelli et al. 2010). Contrariamente a quanto rilevato allora, le nuove prove indicano che il recupero dei residui di potatura ha buone possibilità di divenire un'attività economica remunerativa. I cantieri a doppio passaggio offrono maggiore flessibilità, ma incorrono costi più elevati rispetto agli altri cantieri. Il nostro modello calcola il costo delle balle caricate su un rimorchio e pronte al trasporto in centrale, senza includere il costo addizionale della cippatura. Questo è destinato ad aumentare

ulteriormente il costo totale di approvvigionamento della potatura imballata, oltre i valori già riportati in Tabella 6. Pertanto, la raccolta in due passaggi andrebbe impiegata solo quando la scarsa disponibilità di spazio o condizioni climatiche avverse limitino l'applicazione degli altri sistemi. L'imballatura è particolarmente interessante in caso di stoccaggio prolungato, poiché il trinciato non si conserva bene. Se si prendono come riferimento i costi dei cantieri 2 e 3, il costo aggiuntivo dei cantieri 1 e 4 può essere considerato come la penalità necessaria per estendere il recupero dei residui di potatura agli impianti in terreno collinare, che raramente offrono spazio sufficiente alla manovra dei rimorchi. Questo approccio potrebbe rappresentare un metodo pragmatico per stimare il costo di raccolta a livello di comprensorio (Viana et al. 2010)

Bibliografia citata

Bergstrand K.G. 1991. Planning and analysis of forestry operation studies.

Skogsarbeten Bulletin n. 17, 63 pp.

Bernetti I., Fagarazzi C., Fratini R. 2006. A methodology to analyze the potential development of biomass energy sector: an application in Tuscany. For Policy Econ 6: 415-432.

Björheden R., Apel K., Shiba M., Thompson M.A. 1995. IUFRO Forest work study nomenclature. Swedish University of Agricultural Science, Dept. of Operational Efficiency, Garpenberg. 16 p.

Brown M., Gallagher P. 2008 Handbook of Thermal Analysis and Calorimetry
Volume 5. Elsevier Science Title ISBN: 978-0-444-53123-0780 p.

FAOSTAT 2009 – consulted on-line on March 25th, 2010.

Giordano G. 1986. Tecnologia del Legno (Wood Technology). III Ed. Vol.3, UTET,
Turin, Italy

Hartsough B. 2003 Economics of harvesting to maintain high structural diversity
and resulting damage to residual trees. West J Appl For 18: 133-142.

Kofman P. 1995. Siwork 3: User Guide. Danish Forest and Landscape Research
Institute, Vejle, Denmark. 37 pp.

McDonagh K., Meller R., Visser R., McDonald T. 2004 Harvesting system
simulation using a systems dynamic model. Southern Journal of Applied Forestry
28: 91-99.

Miyata E. 1980 Determining fixed and operating costs of logging equipment.
General Technical Report NC-55. Forest Service North Central Forest Experiment
Station, St. Paul, MN. 14 pp.

Naik S., Goud V., Rout P., Jacobson K., Dalai A. 2010. Characterization of
Canadian biomass for alternative renewable biofuel. Renew Energ 35: 1624-1631

Nati C., Spinelli R., Fabbri P. 2010 Wood chips size distribution in relation to blade wear and screen use. *Biomass Bioenerg* 34: 583-587.

Ntalos G., Grigoriou A. 2002 Characterisation and utilisation of vine prunings as a wood substitute for particleboard production. *Ind Crop Prod* 16, 59-68.

Olsen E., Hossain M., Miller M. 1998. Statistical Comparison of Methods Used in Harvesting Work Studies. Oregon State University, Forest Research Laboratory, Corvallis, OR. Research Contribution n°23. 31 pp.

Recchia L., Daou M., Remedioti M., Cini E., Vieri M. 2009 New shredding machine for recycling pruning residuals. *Biomass and Bioenergy* 33, 149-154

Salassi M., Champagne N. 1998. A spreadsheet-based cost model for sugar cane harvesting systems. *Computers and Electronics in Agriculture*, 20, 215-227

SAS Institute Inc. 1999. StatView Reference. SAS Publishing, Cary, NC. ISBN-1-58025-162-5. pp. 84-93.

Spinelli R., Nati C., Magagnotti N. 2009. Using modified foragers to harvest short-rotation poplar plantations. *Biomass Bioenerg* 33: 817-821.

Spinelli R., Visser R 2009 Analyzing and estimating delays in wood chipping operations. *Biomass and Bioenergy* 33: 429-433.

Spinelli R., Magagnotti N., Nati C. 2010 Harvesting vineyard pruning residues for energy use. *Biosyst Eng* 105: 316-322.

Spinelli R, Ivorra L, Magagnotti N, Picchi G. 2011a Performance of a mobile mechanical screen to improve the commercial quality of wood chips for energy. *Bioresour Technol.* 102: 7366-7370.

Spinelli R., Nati C., Pari L., Mescalchin E., Magagnotti N. 2011b. Determining the biomass fuel potential of vineyard pruning residues. Paper submitted to *Applied Energy*.

Spinelli R, Nati C, Sozzi L, Magagnotti N, Picchi G. 2011c Physical characterization of commercial woodchips on the Italian energy market. *Fuel* 2011; 90: 2198-2202.

Viana H., Cohen W., Lopes D., Aranha J. 2010. Assessment of forest biomass for use as energy. GIS-based analysis of geographical availability and locations of wood-fired power plants in Portugal. *Appl Energy* 87: 2551–2560.

Tabella 1 – Caratteristiche delle macchine in prova

Cantiere	#	1	2	3	4
Macchina		Peruzzo	Facma	Nobili	Lerda
Larghezza di lavoro	m	140	140	145	110
Capacità di carico	kg	357	825	1582	187-237
Motrice	tipo	trattore	idrostatica	trattore	trattore
Potenza	kW	66	62	62	48
Superficie raccolta	ha	3.09	5.35	3.25	3.25
Quantità raccolta	t	7.136	13.137	7.138	7.821
Tempo netto	ore	5.12	6.48	4.79	5.93
Tempi morti	ore	0.56	0.09	0.27	3.24
Tempo totale	ore	5.69	6.57	5.07	9.17

Nota: il riferimento a specifiche marche e modelli è fatto esclusivamente con lo scopo di aiutare i lettori a verificare le condizioni dello studio e non implica alcuna preferenza verso specifiche marche e modelli ad esclusione di altre marche e modelli simili, prodotti da altri costruttori. Il tempo totale non include gli eventuali tempi morti causati dallo studio stesso.

Tabella 3– Calcolo dei costi: ipotesi, singole voci di costo e costo totale

Cantiere	#	4	1, 3	2	1	2	3	4
Attrezzatura		Trattore	Trattore	Trattore	Peruzzo	Facma	Nobili	Lerda
Costo iniziale	€	25000	38000	44000	13000	14500	11500	13000
Vita di servizio	anni	10	10	10	10	10	10	10
Uso annuale	SMH anno ⁻¹	1000	1000	1000	500	500	500	500
Interesse sul capitale	%	4	4	4	4	4	4	4
Consumo di combustibile	l SMH ⁻¹	5	7	8	0	0	0	0
Prezzo del combustibile	€ l ⁻¹	1	1	1	0	0	0	0
Salario dell'operatore	€ SMH ⁻¹	12	12	12	12	12	12	12
Operatori	n°	1	1	1	0	0	0	0
Costi fissi								
Ammortamento	€ anno ⁻¹	2000	3040	3520	1040	1160	920	1040
Assicurazione	€ anno ⁻¹	640	973	1126	333	371	294	333
Totale costi fissi	€ anno ⁻¹	3280	4986	5773	1706	1902	1509	1706
Totale costi fissi	€ SMH ⁻¹	3.3	5.0	5.8	3.4	3.8	3.0	3.4
Costi variabili								
Combustibile	€ SMH ⁻¹	5.0	7.0	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Lubrificanti	€ SMH ⁻¹	1.0	1.4	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0
Riparazioni e manutenzione	€ SMH ⁻¹	1.6	2.4	2.8	1.7	1.9	1.5	1.7
Manodopera	€ SMH ⁻¹	12.0	12.0	12.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Totale costi variabili	€ SMH ⁻¹	19.6	22.8	24.4	1.7	1.9	1.5	1.7
Spese generali	%	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
Spese generali	€ SMH ⁻¹	4.6	5.6	6.0	1.0	1.1	0.9	1.0
Costo orario	€ SMH⁻¹	27.5	33.4	36.2	6.1	6.8	5.4	6.1

Note: SMH = Scheduled Machine Hours, cioè tempo totale sul cantiere, inclusivo degli eventuali tempi morti, che rappresenta il tempo effettivamente remunerato

Tabella 4 – Tempi di lavoro per le diverse fasi e macchine

Raccolta

$$\text{min t}^{-1} = 1.7 + 38.9 * \text{t ha}^{-0.895} - 13.0 * \text{t ha}^{-0.895} * \text{Facma} + 16.1 * \text{t ha}^{-0.895} * \text{Peruzzo}$$

Dove: t ha = resa netta del campo; Facma = 1 per il cantiere Facma, 0 per gli altri; Peruzzo = 1 per il cantiere Peruzzo, 0 per gli altri

DF = 105; R² = 0.829; F = 165.1; tutte le variabili significative per p < 0.0001

Volta a fine fila

Facma = media di 0.28 min volta⁻¹ (Dev. Std. 0.24) p = <0.0001

Nobili = media di 0.87 min volta⁻¹ (Dev. Std. 0.30) p = <0.0002

Altri = media di 0.57 min volta⁻¹ (Dev. Std. 0.34)

Spostamenti

Senza carico Tutti = media di 120 m min⁻¹ (Dev. Std. 91.4) ⇒ velocità media 7.2 km h⁻¹

Con carico Facma = media di 169 m min⁻¹ (Dev. Std. 95.9) ⇒ velocità media 10.1 km h⁻¹ p = 0.0423
Altri = media di 102 m min⁻¹ (Dev. Std. 47.2) ⇒ velocità media 6.1 km h⁻¹

Scarico

Nobili = media di 4.58 min scarico⁻¹ (Dev. Std. 3.10) p = <0.0002

Altri = media di 1.19 min scarico⁻¹ (Dev. Std. 0.51)

Tempi Morti

Incidenza totale = 19.2 % del tempo netto di lavoro (cioè raccolta + volta + spostamenti + scarico)

Frequenza degli eventi = 58 eventi su 105 cicli completi

Durata del singolo evento in minuti = media 5.16; Dev. Std. 8.35; min 0.17; Max 41.29

Nota: la significatività statistica delle differenze tra i diversi trattamenti (cantieri) è stata verificata con il test post-hoc di Scheffe's al livello del 5 %;

Tabella 5 – Tempi di lavoro per l'estrazione delle balle

Viaggio a vuoto

min = $0.2278 + 0.0078$ Distanza (m)

DF = 10; $R^2 = 0.915$; F = 86.175; tutti i fattori significativi per $p < 0.0001$. Valido per distanze comprese tra 100 e 800 m

Carico della balla

min = 0.3397 per ciclo di lavoro

nessuna differenza significativa tra vigneti e altri frutteti; nessuna relazione con il peso della balla

Viaggio carico

min = $-1.4512 + 0.0063$ Distanza (m) + 0.0104 Peso della balla (kg)

DF = 10; $R^2 = 0.939$; F = 46.365; Distanza significativa per $p < 0.0001$, Peso per $p = 0.0191$. Valido per distanze tra 100 e 800 m

Scarico della balla

min = 0.5657 per ciclo di lavoro

Nessuna differenza tra vigneti e altri frutteti; nessuna relazione col peso della balla; include il carico su rimorchio

Tempi morti

Supposti identici a quelli della raccolta e condizionamento (Tabella 4)

Carico a viaggio

Solo una balla per ciclo di lavoro. Peso medio della balla: Vigneti = 187 kg; Altri frutteti = 237 kg; $p = 0.0177$

Tabella 6 – Costo della raccolta, condizionamento ed estrazione in € t⁻¹, per campi di 2 ha, distanti 3 km tra loro

		Mele e pere				Vigneti			
		Peruzzo	Facma	Nobili	Lerda	Peruzzo	Facma	Nobili	Lerda
t ha ⁻¹	Interfila = 3 m, Lunghezza file = 200 m, Distanza di estrazione = 200 m								
2		49.3	28.1	36.2	43.8	60.7	34.8	45.8	54.9
3		35.8	20.1	25.0	33.6	39.8	22.4	28.3	39.1
4		29.7	16.5	19.8	29.0	31.7	17.7	21.5	32.9
5		26.1	14.4	16.9	26.3	27.3	15.1	17.9	29.7
6		23.7	13.0	14.9	24.6				
7		22.1	12.0	13.6	23.3				
8		20.8	11.3	12.6	22.4				
Distanza	(m), Interfila = 3 m, Lunghezza file = 200 m, frutteti = 4 t ha ⁻¹ , vigneti = 3 t ha ⁻¹								
100		25.7	14.7	18.9	25.7	35.8	20.7	27.4	34.9
200		29.7	16.5	19.8	29.0	39.8	22.4	28.3	39.1
300		33.6	18.2	20.7	32.2	43.8	24.2	29.2	43.2
400		37.6	19.9	21.6	35.5	47.8	25.9	30.0	47.3
500		41.6	21.6	22.5	38.8	51.8	27.6	30.9	51.4
600		45.6	23.4	23.4	42.0	55.8	29.4	31.8	55.6
700		49.6	25.1	24.2	45.3	59.7	31.1	32.7	59.7
File (m)	Interfila = 3 m, Distanza di estrazione = 200 m, frutteti = 4 t ha ⁻¹ , vigneti = 3 t ha ⁻¹								
100		31.7	17.6	22.9	30.8	43.2	24.3	33.4	41.9
200		29.7	16.5	19.8	29.0	39.8	22.4	28.3	39.1
300		29.0	16.1	18.8	28.4	38.7	21.8	26.6	38.1
400		28.6	15.9	18.3	28.1	38.1	21.5	25.7	37.6
500		28.4	15.8	18.0	27.9	37.8	21.4	25.2	37.3
600		28.3	15.7	17.8	27.8	37.6	21.2	24.9	37.2
700		28.2	15.7	17.6	27.7	37.4	21.2	24.7	37.0

Tabella 7 – Granulometria del cippato per le diverse macchine e colture

Macchina	Coltura	campioni	Particelle sovramisura	Cippato grosso	Cippato fine	Polveri
tipo	tipo	n	%	%	%	%
Cippatrice	Vigneto	5	0.0	23.0	60.8	16.2
Peruzzo	Vigneto	7	1.5	2.3	85.6	10.6
Peruzzo	Frutteto	5	8.7	4.5	69.7	17.1
Facma	Vigneto	3	5.7	11.0	64.4	18.6
Facma	Frutteto	9	12.3	11.4	60.9	15.3
Nobili	Vigneto	3	16.3	6.6	66.2	10.9
Nobili	Frutteto	3	18.8	5.6	59.2	16.3

Tabella 8 – Effetto del raffinatore sulla granulometria del cippato

Cantiere		Facma			Peruzzo		
		Senza	Con	p	Senza	Con	p
Sovramisura	%	47.0	8.5	0.001	9.5	2.7	0.017
Cippato grosso	%	10.5	6.2	0.220	5.3	5.6	0.664
Cippato fine	%	36.7	71.5	0.001	82.9	83.4	0.664
Polveri	%	5.8	14.9	0.020	2.2	8.5	0.001

Nota: I valori p si riferiscono alla differenza tra l'incidenza percentuale media di ciascuna classe granulometrica registrata rispettivamente per la macchina con e senza dispositivo raffinatore.

Tabella 9 – Potere calorifico superiore (HHV) dei residui di potatura del vigneto

Campione	Campione	Legno	Cavo	Cavo residuo	Δ t	HHV totale	HHV Netto
#	g	g	g	g	C°	MJ kg⁻¹	MJ kg⁻¹
1	1.000	0.991	0.009	0.002	2.041	17.8	17.8
2	1.078	1.069	0.009	0.002	2.288	18.5	18.5
3	0.987	0.978	0.009	0.003	2.112	18.7	18.6
4	1.037	1.029	0.008	0.002	2.258	19.0	18.9
5	1.059	1.050	0.009	0.002	2.334	19.2	19.2
6	1.065	1.056	0.009	0.003	2.343	19.2	19.2
7	1.121	1.112	0.009	0.001	2.425	18.8	18.8
					Media		18.7
					Dev. Standard		0.5

Note: Il potere calorifico del cavo di accensione è pari a 7.7 MJ kg⁻¹;