

**Alma Mater Studiorum – Università di Bologna**

**DOTTORATO DI RICERCA IN  
INGEGNERIA AGRARIA  
Ciclo XXIV**

Settore Concorsuale di afferenza: 07/C1

Settore Scientifico disciplinare: AGR/09

**ANALISI DEI CANTIERI DI CIPPATURA IN MERITO AD ASPETTI  
OPERATIVI E DI SALVAGUARDIA DEGLI OPERATORI**

**Presentata da: Natascia Magagnotti**

**Coordinatore Dottorato**

**Chiar. mo Prof. A. Guarnieri**

**Relatore**

**Dr. V. Rondelli**

**Correlatori**

**Prof. M. Bentini**

**Dr. R. Spinelli**

**Esame finale anno 2012**

*Alla mia famiglia*

## Sommario

Indice delle figure .....	3
Indice delle tabelle.....	5
Riassunto .....	6
Summary.....	9
1 Introduzione.....	10
2 La biomassa forestale .....	14
2.2 Uso della biomassa.....	15
2.3 Classificazione della biomassa legnosa .....	16
2.3.1 La legna da ardere .....	16
2.3.2 Il cippato .....	17
2.3.3 Il pellet.....	18
2.3.4 I briquette .....	19
3 Il cippato: caratteristiche del prodotto e delle macchine per la cippatura .....	20
3.1 Il contenuto di fibra.....	20
3.2 La pezzatura .....	21
3.3 Il tenore idrico.....	23
3.4 Vantaggi e svantaggi della cippatura .....	25
3.5 Produzione di cippato ad uso energetico: analisi storica.....	27
3.6 La raccolta della biomassa e i cantieri di cippatura .....	29
3.6.1 Principali tecniche di raccolta del cippato forestale .....	33
3.6.2 Raccolta dei residui di utilizzazione .....	33
3.6.3 Sistemi per la raccolta delle piante intere .....	35
3.7 Le cippatrici.....	37
3.7.1 Allestimento.....	38
3.7.2 Organi di taglio .....	41
3.7.3 Sistema di alimentazione.....	42
3.7.4 Sistema di espulsione.....	44
3.8 Aspetti costruttivi di sicurezza delle cippatrici .....	46
3.9 Rischi nell'uso delle cippatrici.....	50
4 L'esposizione alle polveri di legno .....	52

5 I cantieri sperimentali .....	58
5.1 Cantieri industriali.....	61
5.1.1 Chippertruck Pezzolato Hackertruck PTH1000/1000 .....	61
5.1.2 Cippatrice industriale autocarrata Jenz HEM 561 .....	63
5.2 Cantieri semi-industriali.....	66
6 Materiali e metodi .....	73
7 Risultati e discussione.....	82
7.1 Confronto delle due tipologie di cantiere .....	82
7.2 Produttività e costi.....	87
7.3 Consumo del combustibile .....	96
7.3 Bilancio energetico.....	99
7.4 Caratteristiche del prodotto .....	100
7.5 Esposizione alle polveri di legno .....	103
8 Conclusioni.....	110
Bibliografia.....	118
Allegati .....	134
Ringraziamenti .....	143

## Indice delle figure

Fig. 1: la legna da ardere .....	16
Fig. 2: materiale ottenuto dalle cippatrici (a sinistra) e quello ottenuto dai trituratori (a destra).....	18
Fig. 3: il pellet .....	18
Fig. 4: esempio di briquette .....	19
Fig. 5: contenuto di fibra nel cippato ottenuto da materiale diverso (Spinelli e Magagnotti, 2007) .....	20
Fig. 6: è meglio coprire le cataste di materiale prima dell'arrivo della stagione autunno-invernale (in figura copertura con teli Walki) .....	24
Fig. 7: la produzione di biomassa.....	31
Fig. 8: sistemi di raccolta del cippato nelle foreste tradizionali .....	33
Fig. 9: imballatrice montata su autocarro .....	35
Fig. 10: caratteristiche distintive dei diversi modelli di cippatrice.....	37
Fig. 11: cippatrice azionata dalla presa di potenza del trattore .....	39
Fig. 12: cippatrice con motore autonomo trainata (a sinistra) o semoventi (a destra) .....	39
Fig. 13: il chipforwarder .....	40
Fig. 14: chippertruck: l'operatore manovra la gru a bracci idraulici direttamente dalla cabina dell'autocarro.....	40
Fig. 15: cippatrice a disco, particolare dei coltelli e dei controcoltelli.....	41
Fig. 16. particolare di un tamburo a lame sfalsate (a sinistra), uno a lame intere (al centro) e particolare di un vaglio (a destra) .....	42
Fig. 17: particolare della vite senza fine .....	42
Fig. 18: sezione di alimentazione della cippatrice svasata verso l'esterno .....	43
Fig. 19: chippertruck allestito con convogliatore a "collo d'oca" (ripiegato sulla cippatrice) e con convogliatore a nastro per lo scarico del cippato .....	44
Fig. 20: scarico del cippato direttamente nel cassone (a sinistra) o a terra e ricaricato successivamente ( a destra) .....	45
Fig. 21: particolare della sezione di alimentazione provvista di barra di arresto dell'alimentazione .....	48
Fig. 22: localizzazione dei cantieri di cippatura. I localizzatori rossi corrispondono ai cantieri industriali e quelli gialli ai cantieri semi-industriali. I numeri riportati corrispondono a quelli presenti in tabella 7 .....	58
Fig. 23: Hackertruck Pezzolato PTH 1000/1000.....	61
Fig. 24: cippatrice autocarrata Jenz HEM 561.....	64
Fig. 25: cippatrice a disco Farmi CH260 alimentata manualmente .....	68
Fig. 26: cippatrice Farmi CH260 alimentata con la gru a bracci idraulici .....	69
Fig. 27: cippatrice Pezzolato PTH400 .....	70
Fig. 28: cippatrice Pezzolato PTH700/660: un operatore lavora dal sedile applicato alla base della gru e l'altro è a terra .....	71
Fig. 29: la pompa Gilian 5000 provvista di selettore attivo SKC Button Sampler .....	78

Fig. 30: incidenza percentuale delle diverse fasi di lavoro nei cantieri industriali .....	82
Fig. 31: incidenza percentuale delle diverse fasi di lavoro nei cantieri semi-industriali .....	83
Fig. 32: box-plot per la produttività di sola cippatura .....	88
Fig. 33: box-plot per la produttività netta, esclusi i tempi improduttivi.....	88
Fig. 34: relazione tra il costo unitario di lavorazione e il monte ore annuo .....	90
Fig. 35: costo unitario di cippatura in funzione del volume di lavoro annuo.....	92
Fig. 36: costo unitario di lavorazione in funzione dell'impiego annuale delle macchine, per il caso in cui il cantiere semi-industriale impieghi gasolio agricolo mentre quello industriale sia costretto ad acquistare gasolio a prezzo pieno...	94
Fig. 37: costo unitario di lavorazione in funzione della produzione annuale per il caso in cui il cantiere semi-industriale possa impiegare gasolio agricolo mentre quello industriale sia costretto ad acquistare gasolio a prezzo pieno .....	94
Fig. 38: costo unitario di lavorazione in funzione dell'impiego annuale delle macchine per il caso in cui tutti i cantieri impieghino gasolio defiscalizzato .....	95
Fig. 39: costo unitario di lavorazione in funzione della produzione annuale per il caso in cui entrambi i cantieri impieghino gasolio defiscalizzato .....	96
Fig. 40: consumi di combustibile delle due tipologie di cippatrici espressi in litri all'ora .....	98
Fig. 41: consumi di combustibile delle due tipologie di cippatrici espressi in litri al Mg .....	98
Fig. 42: livelli di esposizione alle polveri di legno degli operatori delle cippatrici industriali e di quelle semi-industriali .....	103
Fig. 43: relazione tra il livello di polverosità riscontrato all'interno della cabina e quello misurato all'esterno .....	106
Fig. 44. relazione tra il livello di polverosità misurato all'esterno della cabina e l'effetto di abbattimento offerto dalla stessa, espresso come rapporto tra polverosità esterna ed interna .....	106

## Indice delle tabelle

Tab. 1: classi dimensionali del cippato secondo lo standard UNI EN15149-1:2011 .....	22
Tab. 2: distribuzione del cippato di diversa tipologia nelle diverse classi dimensionali (Spinelli et al., 2011).....	22
Tab. 3: tipologie di cippatrici secondo la diversa potenza .....	38
Tab. 4: rischi connessi con l'uso della cippatrice (fonte: "Linee guida per la prevenzione e sicurezza nei lavori forestali in Toscana", 2008 e "Sicurezza ed antinfortunistica nei cantieri forestali", 2008) .....	51
Tab. 5: classificazione delle polveri di legno secondo la IARC e loro effetti (prima del 1995) .....	53
Tab. 6: effetti sensibilizzanti causati da alcune specie legnose (Cirila, 2008) ...	55
Tab. 7: descrizione dei cantieri di cippatura .....	59
Tab. 8: dati tecnici della cippatrice Pezzolato Hackertruck PTH 1000/1000.....	62
Tab. 9: dati tecnici della cippatrice Jenz HEM 561 .....	64
Tab. 10: dati tecnici della cippatrice Farni CH260 .....	67
Tab. 11: dati tecnici della cippatrice Pezzolato PTH400.....	70
Tab. 12: dati tecnici cippatrice Pezzolato PTH 700/660 .....	71
Tab. 13: descrizione delle fasi di lavoro di un ciclo completo di cippatura.....	73
Tab. 14: formule utilizzate per il calcolo del costo dei cantieri di cippatura .....	76
Tab. 15: tempo di lavoro totale e medio per cantiere, distinto per fase di lavoro e per tipologia di cantiere (espresso in secondi sessagesimali) .....	83
Tab. 16: produttività delle cippatrici industriali e semi-industriali .....	87
Tab. 17: produzione annua in Mg ottenibili per diversi livelli di meccanizzazione e utilizzazione annua della cippatrice (espressa in ore) .....	91
Tab. 18: incidenza dei costi di gasolio e della maodopera sul costo totale di esercizio .....	93
Tab. 19: consumi di combustibile .....	97
Tab. 20: bilancio energetico per le due tipologie di cantiere.....	99
Tab. 21: tenore idrico del cippato misurato nei diversi cantieri .....	100
Tab. 22: tenore idrico medio distinto per tipologia di cantiere .....	101
Tab. 23: tenore idrico medio distinto per conifere e latifoglie .....	101
Tab. 24: analisi granulometrica del cippato distinto per le due tipologie di cantiere .....	102
Tab. 25: esposizione media, minima e massima nelle due tipologie di cippatrice e confronto nella cippatrice industriale tra i livelli riscontrati all'interno della cabina (personale) rispetto all'area esterna.....	104
Tab. 26: confronto tra il livello di polvere presente all'interno e all'esterno della cabina sia per la cippatrice hackertruck che per quella dotata di cabina saliscendi.....	105

## **Riassunto**

La cippatura è un processo produttivo fondamentale nella trasformazione della materia prima forestale in biomassa combustibile. Poiché il settore delle biomasse è in piena espansione, è prevedibile che la cippatura occuperà un ruolo sempre più importante e coinvolgerà un numero crescente di operatori.

In relazione alle condizioni di lavoro e del materiale trattato, questo processo genera una quantità variabile di polveri, che almeno visivamente sembra piuttosto rilevante.

Scopo dello studio è stato quantificare la produttività e il consumo di combustibile nei cantieri di cippatura e determinare i livelli di esposizione alla polvere di legno degli addetti alla cippatura, in funzione di condizioni operative differenti.

Sono state identificate due tipologie di cantiere: uno di tipo industriale, con cippatrici di grossa taglia (300-400 kW) dotate di cabina, e uno semi-industriale con cippatrici di piccola-media taglia (100-150 kW) prive di cabina.

Durante il campionamento, sono stati misurati i tempi di lavoro, i consumi di combustibile e l'esposizione alla polvere di legno. In ogni cantiere, sono stati raccolti dei campioni di cippato per caratterizzare il materiale dal punto di vista qualitativo (tenore idrico e pezzatura).

Nei cantieri industriali, un campionatore per la misurazione delle polveri è stato indossato dall'operatore e un altro è stato posto all'esterno della cabina per valutare l'eventuale abbattimento delle polveri dovuto alla cabina. Nei cantieri semi-industriali entrambi i campionatori sono stati indossati dagli operatori addetti all'alimentazione della cippatrice.



Le misurazioni sono state effettuate su 16 cantieri ed hanno fornito risultati interessanti per quanto riguarda la produttività delle cippatrici e l'esposizione alla polvere degli operatori nelle due tipologie di cantieri.

La sequenza di lavorazione è molto simile per i due tipi di cantiere: l'incidenza delle singole fasi è analoga, il che suggerisce che la differenza debba essere ricercata essenzialmente nella potenza e nella capacità produttiva delle macchine.

Il cantiere industriale ha raggiunto una produttività media oraria di 25 Mg tal quali, ed è risultato 5 volte più produttivo di quello semi-industriale, che invece ha raggiunto una produttività media oraria di 5 Mg.

Ipotizzando un utilizzo massimo annuo di 1500 ore, il cantiere semi-industriale raggiunge una produzione annua di 7.410 Mg, mentre quello industriale riesce a produrre 37.605 Mg.

Dalle valutazioni eseguite si può concludere che qualora si debbano cippare quantitativi annuali superiori a 7.000 Mg si deve per forza ricorrere ad un cantiere industriale e che quello semi-industriale è più economico solo se la produzione annua è inferiore a 3.000 Mg.

Si evidenzia comunque che si riesce ad attualizzare il potenziale tecnico dei cantieri solo se il processo è ben organizzato, così da ridurre i tempi improduttivi.

Il consumo specifico di gasolio (L per Mg di cippato) è risultato molto minore per il cantiere industriale, che consuma in media quasi la metà di quello semi-industriale.

Il tenore idrico del cippato è stato in media pari a 38,7% (calcolato su base fresca), ed è apparso inferiore al valore medio registrato in studi precedenti. Questo può indicare che i produttori di cippato sono oggi più attenti al tenore idrico del prodotto, che cercano di abbassare attraverso la stagionatura preventiva del legname grezzo.

Per quanto riguarda l'esposizione degli operatori alla polvere di legno, in nessun campione analizzato sono stati riscontrati valori di esposizione superiori ai limiti previsti dal D. Lgs. 81/08, pari a  $5 \text{ mg/m}^3$ . Nei cantieri semi-industriali il valore medio di esposizione è risultato di  $1,35 \text{ mg/m}^3$ , con un valore massimo di  $3,66 \text{ mg/m}^3$ . Nei cantieri industriali si è riscontrato che la cabina riduce drasticamente l'esposizione alle polveri di legno. I valori medi misurati all'esterno della cabina sono stati di  $0,90 \text{ mg/m}^3$  mentre quelli all'interno della cabina sono risultati pari a  $0,20 \text{ mg/m}^3$ .

Se il limite corrente di  $5 \text{ mg/m}^3$  venisse abbassato, così come attualmente ipotizzato dal legislatore, la cippatura con macchine sprovviste di cabina chiusa potrebbe esporre gli operatori a livelli eccessivi. In questo caso una possibile soluzione potrebbe essere quella di rinunciare all'alimentazione manuale e portare i comandi della cippatrice nella cabina del trattore o in un escavatore munito di elevatore a braccio idraulico.

In generale i risultati della sperimentazione appaiono incoraggianti, anche se si ritiene opportuno approfondire l'analisi dopo un'intensificazione del campionamento. Ciò al fine di avere un quadro più completo in merito all'esposizione dell'operatore alla polvere di legno durante l'operazione di cippatura.

La protezione dalla polvere di legno dovrebbe essere una priorità, visto che si tratta non solo di una sostanza irritante ma anche di un pericoloso agente cancerogeno che può causare gravi malattie professionali.

## Summary

This study examined 16 commercial chipping operations in order to determine: productivity, fuel consumption, cost and exposure to wood dust. Operations were divided into industrial and semi-industrial, the former based on powerful chippers (300-400 kW) fitted with an enclosed cab, and the latter on smaller machines (100-150 kW) without enclosed cab.

Field data was collected for time consumption, mass output, fuel use and exposure to wood dust. Chip samples were taken from all operations in order to determine moisture content and particle size distribution.

During the tests, chipper operators wore special wood dust samplers. When the operators sat inside a cab, wood dust samplers were also placed outside the cab in order to determine the dust abatement benefit offered by the enclosed cab.

As an average, industrial operations reached a productivity of 25 Mg fresh chips per hour, whereas semi-industrial operations produced only one fifth of this quantity (i.e. 5 Mg/h). Assuming 1500 hours as the maximum annual usage, industrial operations offer an annual production in excess of 37.000 Mg, whereas semi-industrial operations barely exceed 7.000 Mg. Cost-wise, semi-industrial operations are preferable to industrial operations only if the annual production is below 3.000 Mg. Specific fuel consumption (L per Mg of chips) is much lower for industrial operations, compared to semi-industrial operations.

Concerning exposure to wood dust, all the sampled operations were within the 5 mg/m<sup>3</sup> legal limit. Exposure was higher in semi-industrial operations, with average and maximum values of 1,35 and 3,66 mg/m<sup>3</sup>, respectively. Exposure was lower in industrial operations, where the recorded average values were 0,90 and 0,20 mg/m<sup>3</sup> outside and inside the cab, respectively. If future legislation will reduce the maximum allowed exposure to 1 mg/m<sup>3</sup>, then semi-industrial operators may need to renounce manual chipper feeding and bring their operators inside the cab of a boom loader.

## 1 Introduzione

Negli ultimi anni, l'interesse a sostituire le fonti energetiche fossili con quelle rinnovabili è aumentato a livello globale (Vasco e Costa, 2009, Hall e Scarse, 1998, Nurmi, 2007). Il “Piano di azione nazionale per le energie rinnovabili” redatto nel giugno 2010 dal Ministero dello Sviluppo Economico dichiara che la promozione delle risorse rinnovabili è una delle priorità della politica energetica italiana. Secondo quanto stabilito dalla direttiva 2009/28/CE, nel 2020 l'Italia dovrà coprire il 17% dei consumi finali di energia con le risorse rinnovabili.

Un continuo e significativo aumento dell'utilizzo di energie rinnovabili da biomassa è previsto da più parti (Berndes et al., 2003, Linden M., 2011, Coaloa, 2007, Krausmann et al, 2008) e anche il settore forestale sta esplorando questo nuovo mercato (Cavalli et al., 2006).

L'approccio ad utilizzare risorse rinnovabili è il frutto di una forte consapevolezza circa la necessità di tutelare l'ambiente (Kaltschmitt e Weber, 2006, Emer, 2010) e di gestire il patrimonio forestale in modo sostenibile (Stupak et al, 2007).

Il ricorso alle biomasse legnose consente in primo luogo una riduzione delle emissioni inquinanti e climalteranti (Schneider e Kaltschnitt, 2000) ed offre una maggiore sicurezza nell'approvvigionamento energetico, con minor dipendenza dalle importazioni di combustibile fossile (Ryan et al, 2006). La gestione e l'utilizzo di biomassa locale può inoltre favorire il presidio del territorio, valorizzandone le risorse e incrementando le attività nelle zone rurali e montane (Spinelli e Mao, 2004).

Lo sfruttamento sostenibile delle biomasse forestali ha un enorme potenziale economico (Frombo et al., 2009, Voivontas et al., 2001). La produzione di biomassa energetica infatti può consentire una razionalizzazione dei cantieri di

utilizzazione forestale, con conseguente semplificazione, meccanizzazione e generale riduzione dei costi.

E' importante rendere sostenibile economicamente questo tipo di attività, che può generare prosperità economica ed opportunità di impiego, soprattutto in aree montane marginali, dove è importante creare occupazione e limitare l'allontanamento della popolazione. Infatti, oltre a rivitalizzare il settore delle ditte boschive, lo sfruttamento della biomassa crea dell'indotto nel settore industriale e dell'artigianato come, ad esempio, nell'installazione e manutenzione degli impianti a biomassa (Domac et al, 2005).

Alcune perplessità sono emerse in merito ai rischi connessi con l'aumentato prelievo di legname conseguente alla maggior domanda di biomassa legnosa. Innanzitutto occorre premettere che già dal 1923 in Italia è in vigore una legge forestale (RD 3267/23) che pone l'accento sul concetto di interesse pubblico del bosco e sulle sue funzioni di regimazioni delle acque e di prevenzione del dissesto idrogeologico. Le norme fondamentali sulla corretta gestione del bosco e in particolar modo sulle modalità del taglio sono contenute nelle Prescrizioni di Massima e Polizia Forestale, emesse su base provinciale già dall'epoca. Prima di effettuare qualsiasi intervento pertanto è necessario presentare domanda agli uffici competenti nelle varie zone, come ad esempio le Comunità Montane, i Servizi Forestali, i Consorzi forestali.

Va ricordato che in Italia sono vietati i tagli a raso, se non per superfici inferiori a 100 m<sup>2</sup> o in caso di particolari esigenze, come quelle fitosanitarie.

Secondo Valinger et al (1994), i danni causati dalla neve o dal vento sono maggiori nei popolamenti densi e non diradati.

A livello internazionale la questione è molto studiata e sono in corso ricerche e studi sull'uso sostenibile della biomassa forestale. Uno fra tutti il progetto europeo "Wood for energy – a contribution to the development of sustainable forest management" (WOOD-EN-MAN, all'interno del EU-FP5).

Lo sviluppo del mercato della biomassa legnosa sta generando un sempre più vivo interesse verso il recupero dei residui forestali, come cimali, ramaglie e altre parti delle piante, finora prive di uno sbocco commerciale. Dalle foreste italiane si raccolgono annualmente circa 9 milioni di m<sup>3</sup> di legname per uso commerciale, a cui corrispondono grosse quantità di residuo legnoso prive di valore economico e normalmente inutilizzate. Queste potrebbero costituire un'importante risorsa energetica, se si riuscisse a recuperarle con una spesa proporzionata al valore del prodotto energetico. Tuttavia, il recupero dei residui forestali presenta delle difficoltà tecniche oggettive ed è spesso attuato con sistemi operativi generici e inadatti a conseguire la sostenibilità economica. La raccolta efficiente del residuo forestale richiede una serie di lavorazioni specifiche, destinate ad aumentarne la densità e l'omogeneità - qualità essenziali per un suo utilizzo efficace (Pottie e Guimier 1985).

La cippatura è una delle principali lavorazioni capaci di rendere più fruibile la biomassa forestale, trasformandola da un residuo di scarso valore in un prodotto commerciale (Spinelli e Magagnotti, 2009)

Il prodotto cippato ha un valore economico ancora piuttosto basso (Spinelli e Hartsought, 2001) e la filiera di produzione può mantenere una discreta sostenibilità economica solo se tutti i suoi elementi sono ottimizzati in base ad una logistica puntuale e ben organizzata. In genere i migliori risultati si ottengono con cippatrici di tipo industriale ad alta mobilità, in grado di abbattere sensibilmente i costi di produzione della biomassa ottenuta dai boschi montani.

Uno degli scopi della ricerca effettuata nell'ambito del dottorato, è quello di studiare i principali fattori capaci di influenzare le prestazioni delle cippatrici e la qualità del materiale prodotto. Studiando alcune tipologie di cantiere, si è cercato di capire fino a che punto fosse possibile abbattere il costo di produzione della biomassa forestale attraverso l'applicazione di tecniche e tecnologie ottimizzate.

Un secondo aspetto studiato nel corso del dottorato è stato quello legato alla sicurezza nell'uso e manutenzione di queste macchine. Benché la cippatura si sia diffusa in Italia già da metà degli anni '80 (Spinelli e Hartsought, 2001), non sono ancora stati pubblicati manuali specifici ed esaustivi sull'uso in sicurezza delle cippatrici, come invece è stato fatto per attrezzature più diffuse, quali motoseghe e trattori.

Per le loro caratteristiche tecniche e operative, le cippatrici introducono rischi specifici, che sono diversi rispetto a quelli causati dalle attrezzature forestali più tradizionali.

Al fine di ottenere un quadro reale circa la percezione e la gestione del rischio da parte degli operatori di cippatrici, si sono effettuati sopralluoghi su circa venti cantieri reali di cippatura, allestiti da ditte boschive specializzate.

Alla luce dei rilievi oggettivi e delle indicazioni ottenute dagli operatori, è emerso che uno dei problemi più importanti è quello relativo alle polveri di legno. Da questa constatazione è derivato l'interesse a condurre una verifica circa i livelli di esposizione degli operatori, attuata grazie ad un progetto promosso dalla Direzione Salute della Regione Toscana e coordinato dall'ASL 7 di Siena, che ha consentito di campionare sedici cantieri di cippatura.

In questa attività di ricerca si è cercato di esplorare alcune problematiche nuove e specifiche del settore, che non hanno ancora ricevuto sufficiente considerazione da parte degli esperti di settore. Ciò allo scopo di fornire indicazioni concrete agli addetti, nel tentativo di avvicinare ancora il mondo della ricerca a quello del lavoro.

## **2 La biomassa forestale**

### **2.1 Definizione**

Ai sensi del decreto legislativo 28/2011 “Attuazione della direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso di energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione della direttiva 2001/77/CE e 2003/30/CE”, per energia da fonte rinnovabile si intende: “energia proveniente da fonti rinnovabili non fossili, vale a dire energia eolica, solare, aerotermica, geotermica, idrotermica e oceanica, idraulica, biomassa, gas di discarica, gas residuati dai processi di depurazione e biogas”.

L'articolo 2 comma 1 del D. Lgs 28/2011 definisce come biomassa “la frazione biodegradabile dei prodotti, rifiuti e residui di origine biologica provenienti dall'agricoltura (comprendente sostanze vegetali e animali), dalla silvicoltura e dalle industrie connesse, comprese la pesca e l'acquacoltura, gli sfalci e le potature provenienti dal verde pubblico e privato, nonché la parte biodegradabile dei rifiuti industriali e urbani”

Le biomasse quindi possono essere sia di origine animale che vegetale, ma in questo contesto saranno prese in considerazione solo quelle vegetali legnose che, tra le biomasse, ricoprono un aspetto prioritario (Seixas, 2008).

Il legno è un materiale "naturale", costituito per il 95% da composti strutturali quali cellulosa, emicellulosa, pectine e lignina, e per il rimanente 5% da sostanze estraibili e ceneri (Giordano, 1976). Esso è rinnovabile, perché dotato della capacità di rigenerarsi in tempi brevi; non ha impatto ambientale perché la CO<sub>2</sub> emessa con la combustione è la stessa che era stata assorbita con la fotosintesi clorofilliana qualche mese prima, e alla fine della combustione



rimangono sostanze naturali che possono teoricamente essere reinserite nei cicli biologici.

Prima di poter essere utilizzata come combustibile, la biomassa deve essere ridotta nelle dimensioni ottimali per l'inserimento nelle caldaie attraverso operazioni di spaccatura, fenditura o cippatura.

## **2.2 Uso della biomassa**

Dalla scoperta del fuoco avvenuta nel Paleolitico, la biomassa legnosa è sempre stata utilizzata per la cottura dei cibi, per il riscaldamento degli ambienti e per la lavorazione degli oggetti (fusione dei metalli e cottura della ceramica), soprattutto sotto forma di legna da ardere (Veronese et al., 2003). La termocucina classica, ancor oggi molto comune nelle zone rurali, è nata verso la fine dell'Ottocento, mentre la diffusione dell'impianto a termosifone con caldaia a legna risale alla prima metà del Novecento. Fino alla metà del secolo scorso, quindi, il legno era uno dei principali combustibili a uso domestico. La successiva disponibilità a basso costo di combustibili fossili e i vantaggi in termini di minor manutenzione e di autonomia offerti dagli impianti che li utilizzano ha poi fatto decadere l'uso del legno come combustibile. Dopo un periodo di oblio di circa 20 anni, la biomassa legnosa è tornata in auge negli anni '70, con la prima crisi petrolifera (Twaddle et al., 1989).

Negli ultimi anni stiamo assistendo ad una rivalutazione del legno come combustibile a causa del continuo aumento del prezzo del petrolio, della richiesta di sostenibilità ambientale e dell'introduzione di nuove tecnologie che permettono una maggiore autonomia di gestione e un alto rendimento termico (Cavalli et al., 2007, Castellazzi et al., 2002). Dal 2000 ad oggi, il mercato europeo della biomassa ha avuto una crescita veloce, che sicuramente continuerà anche nei prossimi anni (Magar et al., 2011).

Nei paesi in via di sviluppo, il legno continua ad essere la fonte primaria per la cottura dei cibi (Bandyopadhaya et al., 2011) che è effettuata spesso in stufe molto semplici o con un focolaio delimitato da alcune pietre, con problemi evidenti di salubrità dell'aria (Troncoso et al., 2007). In questi paesi il legno riveste anche un ruolo fondamentale nella produzione di energia per usi diversi (Akyüze e Balaban, 2011, Stupak et al., 2011, Kijazi e Kant, 2011, Junginger et al., 2011, Sattar, 1996).

### **2.3 Classificazione della biomassa legnosa**

Le biomasse legnose forestali si possono suddividere in:

- legna da ardere
- cippato
- pellet
- briquette

#### **2.3.1 La legna da ardere**

La legna da ardere è un assortimento legnoso ottenuto dalla troncatura o taglio trasversale dei fusti o dei rami e successiva fenditura (taglio longitudinale), ove necessario (fig. 1).



**Fig. 1: la legna da ardere**

La legna da ardere generalmente è ottenuta da boschi cedui di latifoglie (Magagnotti et al, 2012) e quella più richiesta è la legna di carpino, di quercia o di faggio. La legna da ardere è molto usata a livello mondiale (FAO, 2005) e

costituisce una quota considerevole della biomassa forestale utilizzata anche nei paesi industrializzati (Warsco, 1994, Lindros, 2011).

La normativa di riferimento per la legna da ardere è la UNI CEN/TS 14961: 2005 in cui vengono definiti i principali parametri qualitativi - contenuto idrico e specie – e dimensionali – lunghezza e diametro (Antonini e Paniz, 2009).

Dai tronchi si ottengono dei pezzi con una lunghezza di 300-350 mm se destinati ad essere bruciati in camini o stufe tradizionali o più lunghi se utilizzati in moderne caldaie. Se il materiale ottenuto ha un diametro eccessivo, è necessario operare la fenditura, applicando una forza meccanica parallela alla lunghezza della fibre per determinare lo scollamento delle stesse.

Per la troncatura si possono utilizzare seghe a nastro, circolari o a barra, mentre gli spaccalegna possono essere a vite o a cuneo.

Negli ultimi anni sono sempre più utilizzati i centri di lavorazione per la legna da ardere che effettuano entrambe le operazioni, e sono dotati anche di nastri di alimentazione e di carico della legna. A seconda del modello e della potenza, queste macchine possono essere alimentate dalla presa di potenza del trattore o avere un motore autonomo, diesel, a benzina o elettrico. Esistono parecchie ditte italiane produttrici di queste attrezzature e che esportano il loro know-out a livello mondiale.

### **2.3.2 Il cippato**

Il cippato è composto da scaglie legnose ottenute dalla lavorazione del materiale legnoso con macchine chiamate cippatrici. Tale trasformazione viene denominata cippatura e si distingue dalla frantumazione, effettuata con trituratori per la diversa qualità del materiale (fig. 2). La lunghezza delle scaglie varia tra 10-80 mm per una larghezza massima di 20 mm e uno spessore di qualche millimetro (Hippoliti, 1997).



**Fig. 2: materiale ottenuto dalle cippatrici (a sinistra) e quello ottenuto dai trituratori (a destra)**

### **2.3.3 Il pellet**

Per pellet si intendono piccoli cilindri ottenuti dalla pressatura meccanica di segatura legnosa essiccata (fig. 3).



**Fig. 3: il pellet**

La segatura è tenuta assieme dalla lignina ed eventualmente da amido di mais. Nel prodotto non devono essere presenti altri leganti, quali vernici, additivi o collanti chimici. Le caratteristiche qualitative e i parametri di riferimento sono stabiliti dalla norma UNI/TS 11263 “Biocombustibili solidi – caratterizzazione del pellet a fini energetici” , mentre il D.lgs. 152/2006 stabilisce che il pellet di legno deve essere prodotto con legno vergine non contaminato (Antonini e Paniz, 2009). Generalmente i cilindretti hanno un diametro che va da 6 a 8 mm (a

seconda dell'utenza), una lunghezza compresa tra 10 e 30 mm e un contenuto di umidità tra 11% e 14% .

#### **2.3.4 I briquette**

I briquette sono tronchetti “ricostituiti” ottenuti dalla pressatura di materiale legnoso molto fine e con un tenore idrico non superiore al 12-15%. Il diametro è di 60-80 mm e una lunghezza di 150-300 mm, misure che li rendono un prodotto adatto a camini e stufe (fig. 4).



**Fig. 4: esempio di briquette**

### 3 Il cippato: caratteristiche del prodotto e delle macchine per la cippatura

La qualità del cippato è uno degli aspetti fondamentali nella produzione di biomassa e da questa dipende l'incontro della domanda-offerta con il relativo ritorno economico. A caratterizzare la qualità del cippato è il materiale di partenza (Neri, 2007) e in particolar modo il contenuto di fibra, la pezzatura e il tenore idrico (Secknus, 2007, Brand et al, 2011).

#### 3.1 Il contenuto di fibra

Il contenuto di fibra indica la quantità di legno presente nel cippato e influenza il potere calorifico, la conservabilità e il contenuto di ceneri. In linea di principio, il maggior contenuto di fibra si ottiene da tronchi privi di rami (fig. 5), ad eccezione del materiale da segheria.

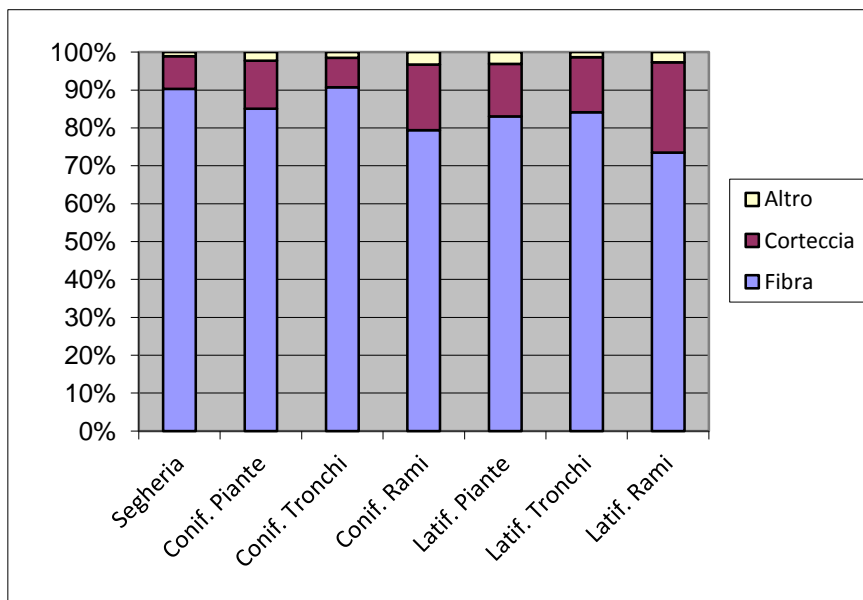


Fig. 5: contenuto di fibra nel cippato ottenuto da materiale diverso (Spinelli e Magagnotti, 2007)

In realtà non sempre un'alta percentuale di fibra garantisce un elevato potere calorifico perché foglie e corteccia possono avere un potere calorifico maggiore a quello della fibra. Per contro però esse contengono una quantità superiore di ceneri (Hakkila, 1989) e di nutrienti che possono creare problemi di conservazione. Il problema delle ceneri in quanto “scarto” della combustione non è da sottovalutare, perché in Italia le ceneri sono classificate obbligatoriamente come rifiuto speciale e non possono essere ridistribuite in bosco o impiegate in agricoltura come ammendante.

In alcuni cantieri forestali, la corteccia può essere tolta durante l'allestimento usando speciali attrezzature meccanizzate (Spinelli et al., 2001), le scortecciatrici. La scortecciatura è eseguita nella produzione di cippato per l'industria della carta, che non tollera una percentuale di impurità superiore al 3%. Qualora valutata conveniente sotto il profilo economico, la stessa tecnica potrebbe essere utilizzata anche della produzione di cippato per uso energetico. In ogni caso, parte della corteccia viene comunque rimossa durante le normali operazioni di movimentazione del legname.

La scortecciatura sembra non influenzare l'essiccazione di alcune conifere, come il pino, forse a causa della elevata presenza di resina (Roser et al., 2011).

Da uno studio del CNR Ivalsa effettuato nel 2006 su 300 campioni, è emerso che il contenuto di fibra nel cippato si aggira mediamente sull'80%, e scende al 70% per le ramaglie di latifoglie (Spinelli e Magagnotti, 2007). Il cippato forestale contiene una maggiore quantità di corteccia, rametti, foglie e polvere rispetto a quello proveniente da scarti di segheria.

### **3.2 La pezzatura**

La pezzatura è una caratteristica importante perché condiziona la conservabilità del prodotto e la tipologia di impianto in grado di utilizzarlo (Hartmann et al., 2006). Lo standard europeo UNI EN 15149-1 stabilisce 5 classi dimensionali.

Per determinarle è necessario far passare il cippato attraverso dei vagli oscillanti o rotanti di dimensioni opportune (tab. 1).

**Tab. 1: classi dimensionali del cippato secondo lo standard UNI EN15149-1:2011**

Misure	Classificazione
>63 mm	scaglie sovrakisura
63-45 mm	scaglie di grandi dimensioni
45-16 mm	scaglie di medie dimensioni
16-3 mm	scaglie di piccole dimensioni
< 3 mm	materiale molto fine, polveri

In realtà sono le particelle appartenenti alle classi dimensionali estreme che creano i maggiori problemi: le scaglie sovrakisura possono intasare i sistemi di alimentazione degli impianti di piccole e medie dimensioni (Jensen et al., 2004) mentre la porzione più fine rende difficile la conservabilità del materiale e produce più cenere. Ad influenzare la dimensione delle scaglie è soprattutto il materiale di partenza e la cippatrice utilizzata. Il cippato più omogeneo e con scaglie che ricadono nelle classi dimensionali centrali si ottiene da tronchi sramati, mentre una maggior quantità di polvere si riscontra nel cippato ottenuto da ramaglie (Tab. 2) (Spinelli et al, 2011).

**Tab. 2: distribuzione del cippato di diversa tipologia nelle diverse classi dimensionali (Spinelli et al., 2011)**

Specie	Tipologia	Tenore idrico	L> 63 mm	L 63-45 mm	L 45-16 mm	L 16-3 mm	L<3 mm
Conifera	Tronco	Fresco	0.0	2.1	63.0	30.6	4.3
Conifera	Rami	Fresco	6.4	17.7	61.1	11.7	3.1
Conifera	Tronco	Conservato	0.2	4.8	56.4	35.9	2.7
Conifera	Rami	Secco	0.0	5.0	44.8	46.8	3.4
Latifoglia	Tronco	Fresco	0.2	1.2	47.9	48.0	2.7
Latifoglia	Rami	Fresco	1.8	6.6	60.6	24.1	6.9
Latifoglia	Tronco	Secco	0.0	1.3	28.2	68.0	2.5
Latifoglia	Rami	Secco	1.0	4.3	50.4	41.0	3.3



### 3.3 Il tenore idrico

Il tenore idrico è un parametro altrettanto importante perché influenza il potere calorifico, la conservabilità del cippato (Bedane et al., 2011) e il funzionamento degli impianti a biomassa (Nyström e Dahlquist, 2005). Abbassando il tenore idrico, aumenta il valore energetico, migliora l'efficienza degli impianti, e si rende più economico il trasporto del cippato.

Al momento del taglio, il tenore idrico del legno è molto alto e si attesta sul 50% con punte che superano anche il 60%.

Le conifere tendono ad essere più umide delle latifoglie, con eccezione del pioppo e delle salicacee (Nord-Larsen et al., 2011). Le diverse parti della pianta hanno un differente contenuto di umidità, che decresce dal basso verso l'alto. Questo si può spiegare con il gradiente di concentrazione dell'umidità necessario per pompare l'acqua dal terreno e condurla nei rami e nelle foglie.

Ad influenzare il contenuto di umidità è anche l'epoca di taglio e l'andamento stagionale.

Al fine di abbassare il tenore idrico è meglio stoccare le piante intere o le ramaglie, soprattutto con le foglie ancora attaccate, piuttosto che il cippato tal quale. Più fonti sostengono che la stagione migliore per abbassare l'umidità è quella primaverile-estiva (Nurmi e Hillebrand, 2007, Jirjis, 1995). Se le cataste vengono conservate come tali durante l'inverno, è meglio coprirle con del telo impermeabile, con carte speciali (fig. 6) o con fogli in PVC (Pettersson e Nordfjell, 2007, Nurmi e Hillebrand, 2007, Jirjis, 1995).

Il materiale che durante l'estate ha perso buona parte del tenore idrico, non dovrebbe essere sottoposto alle intemperie autunno-invernali, perché potrebbe riacquistare umidità. E' essenziale coprire bene le cataste per non lasciarle

esposte alla pioggia o alla neve. Roser et al. (2011) sostengono che è sufficiente coprire almeno i  $\frac{3}{4}$  della catasta per ottenere risultati soddisfacenti.



**Fig. 6: è meglio coprire le cataste di materiale prima dell'arrivo della stagione autunno-invernale (in figura copertura con teli Walki)**

Il cippato si conserva male: nei cumuli spesso si sviluppano funghi e batteri la cui attività causa una perdita di sostanza secca che oscilla mensilmente tra il 2 e il 4% della massa totale, infatti i microrganismi si nutrono di biomassa, e l'aumento di calore del cumulo è il risultato tangibile della loro respirazione. La temperatura all'interno di un cumulo di cippato proveniente da residui forestali aumenta infatti molto rapidamente nel giro di una settimana (Nurmi, 1999); nel caso di materiale molto umido si può osservare che il cumulo comincia a "fumare" già dopo poche ore.

La temperatura raggiunta dal cippato accumulato sembra essere influenzata anche dalle dimensioni delle scaglie: a parità di condizioni, cumuli di scaglie di dimensioni medie di 8 mm raggiungono temperature di 60° C, mentre se le scaglie hanno una dimensione media di 70 mm la temperatura arriva solo a 30 ° C (Thörnqvist, 1984). Questo perché l'attività microbica è attiva soprattutto sulla superficie delle scaglie: minore la pezzatura, maggiore è la superficie specifica e quindi più esteso e rapido l'attacco microbico (Wihersaari, 2005). Inoltre i cumuli costituiti con scaglie più grosse sono più permeabili all'aria e possono asciugarsi e raffreddarsi prima.

Infine, la presenza di spore fungine può causare reazioni allergiche in persone sensibili.

### **3.4 Vantaggi e svantaggi della cippatura**

Il termine cippatura significa “riduzione in scaglie” e deriva da un adattamento del termine inglese “ *chipping*”. La cippatura rappresenta la lavorazione più efficace per valorizzare i residui di lavorazione (Spinelli e Hartsought, 2001) e per razionalizzare le utilizzazioni boschive.

Uno dei vantaggi principali della cippatura è quello di migliorare lo sfruttamento della biomassa disponibile. La dimensione delle scaglie consente di recuperare anche quel materiale che non potrebbe essere trasformato in alcun assortimento convenzionale. Cippare questo materiale permette di aumentare la resa ad ettaro grazie al recupero del 15-20% di biomassa che altrimenti sarebbe lasciata in bosco e andrebbe a costituire un’esca per gli incendi (McKelvey et al. 1996, Hann et al. 1997, Mutch 1994). Ridurre il rischio di incendio diventa una priorità in quelle zone in cui sono costruite abitazioni o strutture ricettive, dove un incendio, metterebbe a rischio un maggior numero di vite umane, oltre a distruggere ettari di bosco. Trattamenti antincendio quali la decespugliatura a perdere o il fuoco controllato non danno profitti, mentre un possibile recupero del materiale tramite la cippatura può aiutare a ridurre i costi dell’operazione.

Secondo Spinelli et al. (2006) nei tagli ordinari delle fustaie si producono da 50 a 60 Mg di biomassa fresca ad ettaro, cioè quasi 200 kg di biomassa residua per m<sup>3</sup> di tonname commerciale. Nel caso in cui si rinunci agli assortimenti convenzionali di minor valore, destinando una maggior porzione del tronco alla produzione di biomassa, questi valori possono arrivare rispettivamente a circa 90.000 kg/ha e a 300 kg di biomassa per m<sup>3</sup> di tonname commerciale.

Negli anni passati, molti popolamenti arrivati alla fase di primo diradamento non sono stati utilizzati perché gli assortimenti ritraibili non avevano mercato. Secondo Heikkilä et al. (2007), con la destinazione del legname a biomassa, le piante intere non vengono sramate e questo comporta un aumento di materiale che va dal 15 al 50% e un incremento della produttività del lavoro pari al 15-30%. Inoltre, Hakkila (2003) afferma che il recupero della pianta intera consente di ridurre i costi di raccolta dal 20 al 40% .

Un altro vantaggio della cippatura è quello di ridurre il volume apparente degli scarti forestali in modo da facilitarne la movimentazione e il trasporto, aumentando anche il carico utile dei mezzi (Angus-Hankin et al., 1995). Carlsson e Rådström (1984) hanno evidenziato che il residuo forestale tal quale con umidità dal 30 al 50% ha una densità apparente che va dai 130 ai 250 kg/m<sup>3</sup>. La densità del cippato fresco varia anche con la specie: nel cippato di pino si aggira sui 265 kg/m<sup>3</sup>, mentre quella del cippato di quercia sui 384 kg/m<sup>3</sup> (Hassan, 1976). Secondo uno studio di Mitchell et al, condotto su cippato di più specie e con tenore idrico dal 41 al 52%, la densità apparente del materiale va da 245 a 360 kg/m<sup>3</sup>. Secondo uno studio analogo condotto dall'Ivalsa, si può affermare che un carico di cippato fresco ha una densità apparente media di 320 kg/m<sup>3</sup>, mentre la densità dei residui forestali sciolti si attesta sui 150-170 kg/m<sup>3</sup>.

La cippatura ha anche il merito di rendere simile ad un fluido il prodotto che viene trasformato da residuo grossolano e disforme in scaglie omogenee, idonee ad alimentare gli impianti di riscaldamento automatici. Tutto ciò è possibile quando si ottiene un prodotto senza scaglie sovramisura che potrebbero bloccare i dispositivi di alimentazione degli impianti. Inoltre la presenza di scaglie con dimensioni diverse può favorire la strutturazione del materiale.

La cippatura aumenta la superficie esposta del legno accelerando e regolarizzando la combustione: il cippato brucia meglio del tronchetto di legno. Tuttavia se da un lato la maggior esposizione delle scaglie accelera la combustione, dall'altra favorisce il proliferare di microrganismi.

La cippatura è possibile solo con macchinari specializzati, generalmente costosi e il cui acquisto richiede una certa capacità d'impresa. La produzione di cippato richiede anche una buona conoscenza dell'intero processo e della logistica di cantiere. E' anche necessario che esista un mercato disponibile per il cippato proveniente da scarti forestali. Infatti, molte centrali preferiscono materiale di segheria, per il minor tenore idrico e la maggiore quantità di fibra (Spinelli e Secknus, 2008).

### **3.5 Produzione di cippato ad uso energetico: analisi storica**

Inizialmente la produzione del cippato era destinata quasi esclusivamente all'industria della carta.

Per produrre la carta è necessario separare la cellulosa dall'emicellulosa e dalla lignina e questo processo risulta più veloce se il legname è in pezzi di piccole dimensioni. In questo caso la cippatura avviene direttamente in fabbrica, utilizzando delle cippatrici fisse.

A livello europeo, una delle prime conferenze sulla cippatura è quella tenutasi a Hurdal in Norvegia nel 1972 con il titolo "Symposium on Production, Handling and Transport of Wood Chips". Si cita inoltre la monografia FAO del 1976 "Wood chips, production, handling, transport" in cui viene ampiamente studiata la produzione di cippato.

Secondo la nota FAO D.27.60 sulle attrezzature forestali del 1960, l'uso di cippato negli impianti di riscaldamento centralizzati si è sviluppato in Finlandia già a metà degli anni '50.

Per la produzione del cippato ci si avvaleva di cippatrici mobili di fabbricazione finlandese (Karhula, Lokomo, Hake, Majava e Kontio) capaci di materiale con diametro non superiore a 80 mm.

Negli Stati Uniti, a metà degli anni '70, erano in funzione 483 cippatrici di cui 299 utilizzate direttamente in foresta, 97 nei piazzali delle industrie della carta e 87 nelle zone urbane e suburbane (Deal, 1976).

In California, i primi impianti a biomassa sono sorti alla fine del 1800 nelle comunità la cui economia era basata sulla lavorazione del legno. L'esempio più famoso è la città di Scotia, le cui numerose segherie erano azionate da caldaie alimentate con scarti legnosi. Ma le prime vere centrali a biomassa sorsero circa 100 anni dopo – all'inizio degli anni '80. La prima centrale elettrica entrò in servizio nel 1983 e in un decennio la California vide un ineguagliato fiorire di centrali a biomassa, per arrivare nel 1994 alla massima fioritura del settore: 43 centrali elettriche a biomassa, 800 MW installate di potenza elettrica ed una produzione di energia elettrica pari a poco più del 2% del consumo di tutta la California.

La rivista tecnica Forest Industries ha pubblicato i primi articoli sui cantieri di cippatura nella seconda metà del 1970, così come la rivista russa Lesnaya Promyshlennost o la canadese Pulp & Paper.

Da una ricerca di Yepsen e Goldstein (2009) è emerso che alcune case produttrici di cippatrici/trituratori come Vermeer, Doppstadt, Duratech e Rotochopper, hanno iniziato con attrezzature per la raccolta e la sminuzzatura di coltivazioni erbacee per passare poi a sviluppare macchine per la frantumazione del legno. Altri costruttori statunitensi come Morbark o Bandit sono nati come ditte forestali. Sempre secondo Yepsen e Golstein, Morbark ha sviluppato nel 1971 la prima cippatrice mobile per la cippatura della pianta intera e Bandit nel 1990 ha messo in commercio la prima cippatrice con motore autonomo.

In Italia, uno dei primi studi pubblicati sulla cippatura risale agli inizi degli anni '70. Nel 1972, il prof. Baldini studiò un cantiere sperimentale di utilizzazione di bosco ceduo nella Foresta Demaniale di Cecina (PI), in cui i fasci esboscati venivano cippati con una cippatrice Bruks 850M azionata da un trattore. In questo cantiere è risultato che il rendimento dell'abbattimento e dell'esbosco era soddisfacente mentre quello della cippatura era condizionato da problemi organizzativi che potevano comunque essere migliorabili (uso di autotreni al posto di autocarri, minori tempi di attesa del materiale in arrivo, etc.).

Oltre che per uso energetico o per la pasta di cellulosa, il cippato viene utilizzato per la produzione di pannelli di diversa densità e con diversi impieghi, da quello del mobile a quello degli isolanti.

### **3.6 La raccolta della biomassa e i cantieri di cippatura**

La raccolta è la fase in cui la biomassa viene movimentata dal luogo in cui è disponibile sino alla strada, dove può essere caricata su un mezzo di trasporto (autocarro, trattore e rimorchio ecc.). Da questo punto inizia il trasporto che termina all'impianto di conversione.

La raccolta può includere da una a tutte le seguenti fasi:

- abbattimento (taglio e atterramento di una pianta)
- allestimento (operazioni per ottenere l'assortimento legnoso desiderato: sramatura, depezzatura, cippatura)
- concentramento (movimentazione dei vari pezzi – alberi interi o tronchi – dal letto di caduta alle vie di esbosco)
- esbosco (trasporto della biomassa fuori dal bosco fino alla strada o all'imposto)

Non tutte le fasi si susseguono sempre in questo ordine e alcune possono anche non verificarsi. Infatti, ad esempio, il concentramento l'esbosco e possono precedere l'allestimento. In ogni caso, quando si tratta di biomassa, la depezzatura ha un'importanza cruciale dato che la rende molto più facile da movimentare.

La logistica consiste nell'organizzare efficientemente queste diverse operazioni, in modo da evitare tempi improduttivi nella loro sequenza. Esistono dei modelli logistici standard che si possono adattare a condizioni di utilizzazione predefinite: i sistemi di lavoro.

La scelta del sistema di lavoro è influenzato dal trattamento selvicolturale, dalla viabilità, dalle qualità stazionarie, dalla disponibilità di macchinari e di personale specializzato.

La raccolta della biomassa per energia può essere associata o non associata a quella degli assortimenti tradizionali come topi da sega, tondelli da cartiera, legna da ardere etc. (fig. 7).

Nei soprassuoli più sviluppati, la produzione di cippato consente di sfruttare meglio la produttività del popolamento e può fornire un complemento alla produzione principale.



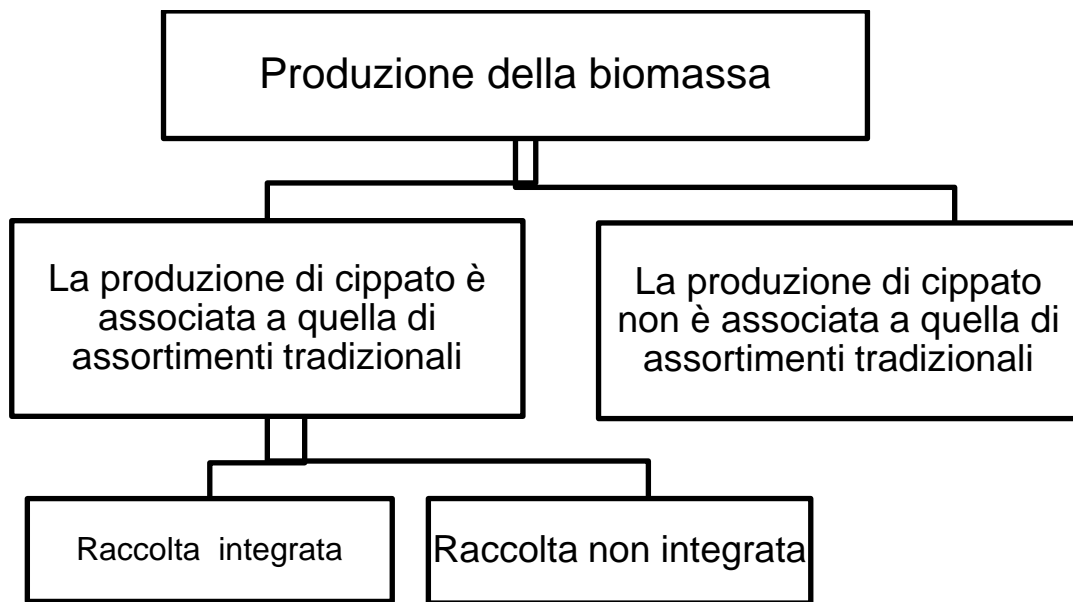


Fig. 7: la produzione di biomassa

La raccolta associata è suddivisa in due distinti cantieri di lavorazione: uno destinato alla produzione di assortimenti tradizionali e l'altro a quella di cippato. La raccolta associata permette l'integrazione economica tra le due produzioni in modo da aumentare il guadagno complessivo.

Per ottimizzare la logistica generale dell'intervento è necessario però coordinare i due cantieri.

In base all'indipendenza dei due cantieri si può distinguere tra raccolta integrata e non integrata.

Nella raccolta integrata i due cantieri sono uniti in un'unica operazione: il cippato e gli assortimenti tradizionali possono essere prodotti contemporaneamente o in successione, ma la strategia di raccolta e di allestimento permette l'ottimizzazione dell'intera operazione. Un ulteriore vantaggio organizzativo sta nella possibilità di esboscare piante intere ed effettuare la suddivisione degli assortimenti all'imposto dove entrambi i prodotti possono essere movimentati con maggiore efficienza. L'esbosco separato di entrambi i prodotti è fattibile, ma è generalmente più costoso. Per contro, la

raccolta integrata richiede un maggior sforzo organizzativo e cambiamenti nei sistemi di lavoro tradizionali.

Nella raccolta non integrata i due cantieri sono totalmente indipendenti e dopo la raccolta degli assortimenti tradizionali, il residuo (ramaglia, scarti di lavorazione etc...) viene cippato. Il vantaggio di questo sistema è che la raccolta del residuo può essere affidata a una ditta specializzata, senza interferire con quella degli assortimenti tradizionali. Lo svantaggio risiede nella mancanza di coordinamento tra i due cantieri, che può portare a inefficienze, dato che c'è il rischio che la gestione di un'operazione non tenga conto delle esigenze dell'altra.

Quando la produzione di cippato non è associata a quella di altri assortimenti legnosi commerciali diventa un'attività totalmente autonoma.

Il vantaggio principale della raccolta non associata consiste nella possibilità di progettare un cantiere specifico per la produzione di cippato e questo consente di selezionare il macchinario più idoneo e di semplificare la sequenza di lavoro. Lo svantaggio è dovuto alla perdita di una produzione relativamente pregiata, che potrebbe migliorare l'economia complessiva dell'intervento. Spesso però l'allestimento di assortimenti tradizionali può essere laborioso, e l'incremento di valore della produzione complessiva potrebbe non giustificare il suo costo aggiuntivo. Un esempio tipico è quello dei primi diradamenti in foresta, in cui il recupero occasionale di tondello per cartiera può complicare eccessivamente l'intero ciclo di lavorazione, arrivando a essere antieconomico. In questi casi è preferibile cippare le piante intere, per semplificare l'operazione ed aumentare la produttività del cantiere. Molto dipende dalla differenza tra il prezzo del cippato e quello dell'assortimento tradizionale, le cui oscillazioni determinano di volta in volta la convenienza dell'una o dell'altra strategia di trasformazione.

### 3.6.1 Principali tecniche di raccolta del cippato forestale

La produzione di cippato richiede macchine specifiche e una riorganizzazione delle comuni tecniche di utilizzazione. In foreste di tipo tradizionale si possono verificare due situazioni principali (fig. 8):

1 – il cippato viene prodotto usando i residui lasciati con l'utilizzazione del bosco per assortimenti tradizionali;

2 – il cippato viene prodotto da piante intere non commerciabili come assortimento tradizionale perché sottodimensionate, con difetti o appartenenti a specie di scarso valore.

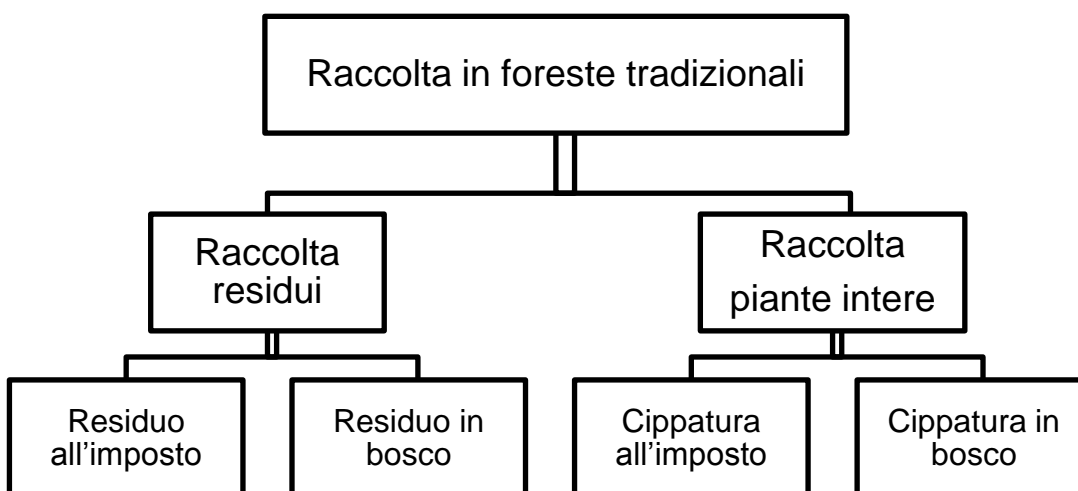


Fig. 8: sistemi di raccolta del cippato nelle foreste tradizionali

### 3.6.2 Raccolta dei residui di utilizzazione

Il caso della raccolta all'imposto è il più semplice e probabilmente il più redditizio, la cippatrice viene posizionata all'imposto e scarica il cippato direttamente nei veicoli di trasporto: autocarri, semiarticolati, autotreni o

container carrabili. La maggior produttività si ottiene con le cippatrici industriali, alimentate con una gru idraulica con braccio articolato. Le cippatrici autocarrate sono ideali per coprire piccoli impasti sparsi nel territorio. Le unità trainate sono meno agili, ma generalmente più economiche.

Nel caso di raccolta dei residui in bosco, esistono due opzioni: cippare i residui sul posto ed esboscare il cippato fino all'imposto, oppure esboscare i residui e cippare all'imposto.

La raccolta sarà tanto più efficace quanto più i residui saranno stati concentrati.

L'operazione eseguita in bosco richiede cippatrici con un'elevata mobilità, montate su forwarder, un veicolo cingolato o qualsiasi altro mezzo dotato di elevata mobilità fuori strada. Il cippato può essere esboscato con un forwarder o con un più economico trattore con rimorchio. Il numero di mezzi di trasporto intermedio al servizio di una cippatrice varierà in funzione della distanza di esbosco, ma due unità sono generalmente sufficienti. Se la cippatrice è dotata di un cassone proprio, questo funge da non stop e può consentire di lavorare con un solo mezzo di trasporto intermedio.

L'esbosco dei residui è l'unica opzione per ambienti difficili, accessibili ai mezzi di esbosco ma non alla cippatrice. Inoltre, l'esbosco dei residui all'imposto consente di utilizzare potenti cippatrici autocarrate che generalmente hanno una produttività maggiore rispetto alle cippatrici portate dal trattore. La produttività perduta per l'esbosco può essere così recuperata nell'operazione di cippatura.

Un'alternativa all'esbosco di ramaglie sciolte è quella di pressare cimali e ramaglie formando delle balle che hanno la stessa forma e dimensioni del normale assortimento da sega (fig. 9). Questa lavorazione viene effettuata da imballatrici, montate su forwarder o su autocarri fuoristrada, che possono

facilmente raggiungere i residui sul letto di caduta. Le balle possono essere movimentate come il tonname per tutto il processo di raccolta, dall'esbosco al trasporto, semplificando la logistica.



**Fig. 9: imballatrice montata su autocarro**

### **3.6.3 Sistemi per la raccolta delle piante intere**

Quando gli alberi sono troppo piccoli, con difetti e malformati oppure quando appartengono a specie con scarso valore di mercato, si può procedere alla cippatura dell'intera pianta, risparmiando molto tempo e sforzo organizzativo. Si possono distinguere due cantieri principali a seconda che la cippatura venga realizzata sul letto di caduta o all'imposto.

La cippatura di piante intere direttamente in bosco richiede cippatrici con elevata mobilità ed è influenzata da una buona percorribilità del terreno.

La cippatrice può essere dotata di un proprio cassone di raccolta e sarà la stessa cippatrice a esboscare il materiale quando il cassone sarà pieno per scaricarlo in un autocarro fermo all'imposto.

Considerato che la cippatrice è un macchinario molto costoso, non risulta molto efficiente usarla anche per l'esbosco che può essere effettuato da unità più leggere ed economiche, infatti conviene scaricare il cassone in un mezzo di

trasporto intermedio che esboschi il cippato fino all'imposto: la cippatrice può cippare così in continuo.

Talvolta la morfologia del terreno consente il transito a trattori e rimorchi o ad autocarri che possono caricare direttamente il cippato.

L'esbosco di alberi interi fino all'imposto ha il principale vantaggio di consentire l'uso di cippatrici di grande potenza, che possono ottenere una produttività maggiore rispetto alle cippatrici montate su trattore. Inoltre una cippatrice posizionata all'imposto può riempire direttamente gli autocarri rendendo quest'operazione più semplice.

In terreni pianeggianti, le piante possono essere esboscate a strascico o su pianale. La maggior controindicazione dello strascico è che gli alberi possono contaminarsi con terreno e polvere, causando una maggiore usura alle lame della cippatrice. In ogni caso quando la distanza di esbosco supera i 500 metri, il trasporto su pianale può rivelarsi più efficiente.

La cippatura all'imposto è l'unico sistema disponibile se il bosco non è accessibile per una cippatrice montata su trattore o su forwarder e può essere sfruttato anche in terreni pendenti o accidentati, che impongono l'uso di gru a cavo per l'esbosco delle piante.

### 3.7 Le cippatrici

In commercio esistono diverse tipologie di cippatrici che si differenziano per organi di taglio, potenza e allestimento (fig. 10).

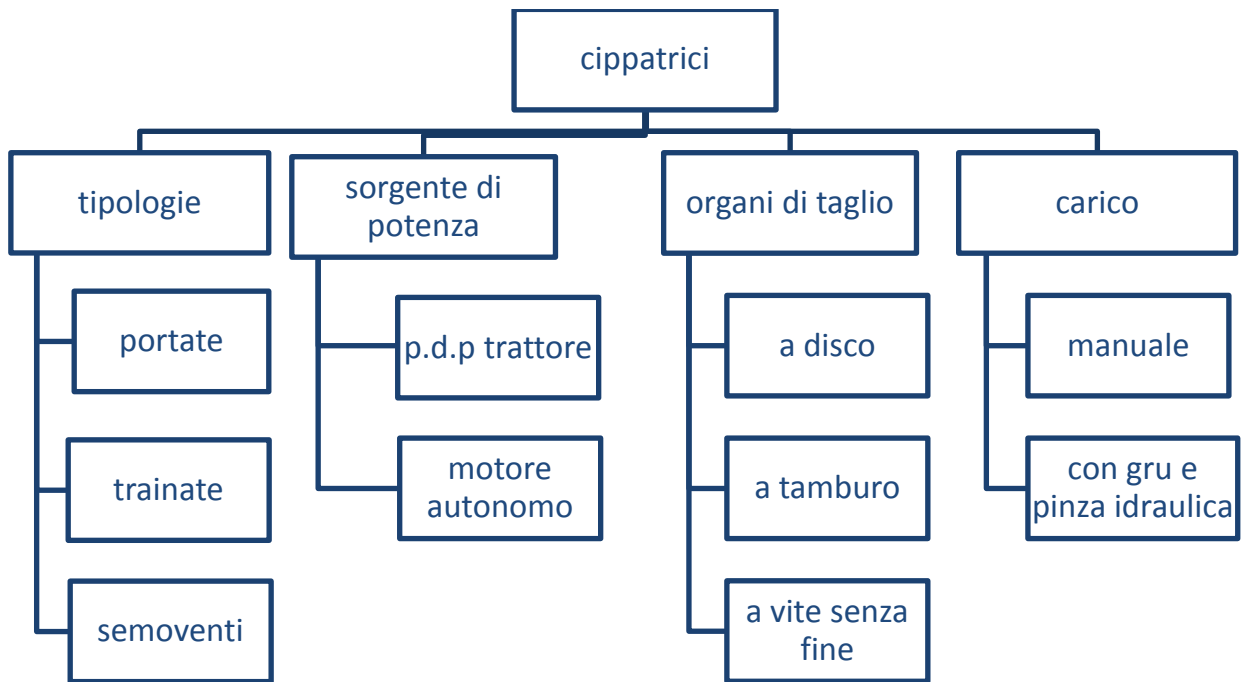


Fig. 10: caratteristiche distintive dei diversi modelli di cippatrice

La tipologia di base è dotata di una struttura di supporto, un organo di taglio, un apparato di alimentazione e uno di espulsione, più o meno complessi. La macchina può essere equipaggiata con un motore autonomo o utilizzare quello di un altro mezzo.

La potenza richiesta dalle cippatrici varia con il materiale da sminuzzare – specie legnosa, diametro e tenore idrico (Spinelli, 2000, Neri, 2007).

Secondo la potenza impiegata si possono distinguere tre categorie (tab. 3):

- cippatrici piccole
- cippatrici medie
- cippatrici grandi

**Tab. 3: tipologie di cippatrici secondo la diversa potenza**

Tipologie	Potenza (kW)	Diametri lavorati (mm)
Cippatrici piccole	≤50	≤200
Cippatrici medie	50-100	≤300
Cippatrici grandi	≥110	≥300

Potenza e produttività sono fortemente legate: la produttività cresce con l'aumentare sia della potenza della macchina che delle dimensioni del materiale.

Ovviamente la produttività è legata a una razionale strutturazione della logistica di cantiere.

### **3.7.1 Allestimento**

La cippatrice può essere azionata in vari modi, da un mezzo esterno (trattore) o con motore autonomo.

La soluzione più semplice, economica e flessibile è quella che prevede l'azionamento dalla presa di potenza del trattore: si ottiene un collegamento agile, che consente di effettuare la cippatura direttamente in bosco (fig. 11). Il limite principale di questo cantiere è quello della potenza massima dei motori dei trattori che è insufficiente ad azionare le cippatrici industriali.





**Fig. 11: cippatrice azionata dalla presa di potenza del trattore**

Le cippatrici con motore autonomo possono essere trainate o semoventi (fig. 12).



**Fig. 12: cippatrice con motore autonomo trainata (a sinistra) o semoventi (a destra)**

Nel primo caso la cippatrice, dotata di motore proprio, è montata su un telaio a ruote e può essere equipaggiata con elevatore a braccio idraulico con pinza. Lo svantaggio principale di questo sistema è la scarsa mobilità e perciò sono utilizzate preferibilmente in piazzale; in bosco, infatti il telaio viene sollecitato parecchio. Per contro consente di utilizzare il trattore anche per altri lavori.

La maggior parte delle ditte specializzate adotta la versione semovente, e, in un'unica unità hanno cippatrice, motore e caricatore montati su un mezzo di trasporto. La scarsa flessibilità di utilizzo, possono solo eseguire la cippatura, viene controbilanciata da un minor costo totale e da un minor spazio richiesto.

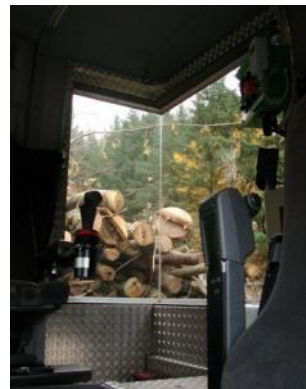
Una cippatrice semovente può essere allestita su un mezzo stradale o su un veicolo fuoristrada, in grado di percorrere le strade forestali camionabili.

Esiste anche una versione nata dalla combinazione di un forwarder e una cippatrice: il chipforwarder (fig. 13). Sul pianale del forwarder viene montata la cippatrice con motore autonomo e un cassone ribaltabile per il cippato, generalmente di 15-17 m<sup>3</sup>. Questa versione permette una straordinaria mobilità, tipica dei forwarder, e può cippare direttamente in bosco senza altri mezzi di esbosco.



**Fig. 13: il chipforwarder**

Da qualche anno, sono presenti sul mercato i chippertruck: le cippatrici sono montate su un autocarro e sono prive di motore perché sfruttano quello dell'autocarro (fig. 14). Questo allestimento si basa sulla logica che mentre il mezzo viaggia non esegue la cippatura e mentre esegue la cippatura non si sposta. L'aver un solo motore consente di risparmiare peso e denaro.



**Fig. 14: chippertruck: l'operatore manovra la gru a bracci idraulici direttamente dalla cabina dell'autocarro**

### 3.7.2 Organi di taglio

Gli organi di taglio contraddistinguono i vari modelli e possono essere:

- a disco
- a tamburo
- a vite senza fine

Nei modelli a disco l'organo di taglio è costituito da un grosso volano di acciaio con un diametro di almeno 800 mm e su cui sono montati 2-4 coltelli posti radialmente (fig. 15). Vicino ai coltelli sono presenti delle fessure la cui funzione è di far passare il materiale cippato. Il legno viene aggredito in direzione obliqua rispetto all'andamento della fibra. Per variare le dimensioni delle scaglie si può regolare l'angolo di inclinazione del coltello rispetto al piano del disco: minore è quest'angolo e più piccolo sarà lo spessore del cippato prodotto. Il materiale, durante la cippatura, viene sostenuto da una controcoltello regolabile che permette un taglio netto e mantiene la regolarità dello spessore. Per una maggiore omogeneità del cippato si possono montare delle griglie che bloccano il materiale sovramisura.



Fig. 15: cippatrice a disco, particolare dei coltelli e dei controcoltelli

Nei modelli a tamburo, l'organo tagliente è formato da un pesante cilindro in acciaio, posto orizzontalmente, che ruota attorno al proprio asse longitudinale (fig. 16). I coltelli, in numero variabile da 2 a 24, sono montati sulla superficie esterna del tamburo. Anche in questo modello si può regolare la sporgenza del

controcoltello a seconda delle dimensioni desiderate. Per aumentare l'omogeneità del cippato si può montare un vaglio sotto il tamburo, con maglie dimensionate a seconda del materiale che si vuole ottenere.



**Fig. 16. particolare di un tamburo a lame sfalsate (a sinistra), uno a lame intere (al centro) e particolare di un vaglio (a destra)**

Nelle cippatrici a vite senza fine l'organo di taglio è costituito da una coclea a bordi tagliente che ruota su un asse orizzontale (fig. 17). Non sono presenti coltelli e non è possibile regolare la dimensione delle scaglie, che in genere è piuttosto elevata (50-80 mm di lunghezza). In commercio sono presenti pochi modelli di questo tipo scarsamente diffusi nelle ditte boschive.



**Fig. 17: particolare della vite senza fine**

### **3.7.3 Sistema di alimentazione**

L'alimentazione della cippatrice avviene immettendo, mediante un elevatore a braccio idraulico o manualmente nel caso di piccole cippatrici, il materiale

attraverso una sezione d'alimentazione tronco-piramidale svasata verso l'esterno (fig. 18).



**Fig. 18: sezione di alimentazione della cippatrice svasata verso l'esterno**

Il materiale viene avviato agli organi di taglio per trascinamento mediante dei rulli dentati o, nei modelli più semplici come quello a vite senza fine, per caduta. I rulli sono mossi da motori idraulici e possono essere entrambi azionati e controrotanti o con un solo rullo azionato e l'altro folle. Il primo sistema garantisce un'alimentazione più uniforme che permette la produzione di un cippato di migliore qualità.

Per semplificare la cippatura di materiale disforme, come le ramaglie, è meglio scegliere un modello con sezione di alimentazione larga e aggiungere una tavola di alimentazione mobile che convoglia il materiale verso i rulli.

La sezione di alimentazione può essere allineata secondo l'asse longitudinale della cippatrice o perpendicolare ad esso.

Le cippatrici industriali trainate sono alimentate con l'elevatore a braccio idraulico che può essere integrato con la macchina o posto su una motrice separata. L'elevatore a braccio idraulico incorporato costa meno, occupa un minor spazio e si risparmia un mezzo. Per contro, un elevatore a braccio idraulico autonomo, posto su trattore o escavatore, può essere collocato nella posizione migliore per raggiungere il materiale da cippare.

Le cippatrici semoventi sono sempre dotate di un elevatore a braccio idraulico incorporato. A causa del movimento di rotazione laterale che deve effettuare è sottoposto a forti tensioni ed è importante che sia costruito con un buon acciaio ed abbia delle piastre di rinforzo nei punti più sollecitati.

#### **3.7.4 Sistema di espulsione**

Una volta che il materiale è stato cippato, può essere scaricato attraverso un convogliatore pneumatico a “collo d’oca” o mediante un convogliatore a nastro. Il convogliatore pneumatico a “collo d’oca” è costituita da un tubo orientabile, più o meno ricurvo, dotato di un deflettore che regola la gittata. Questo dispositivo è soggetto ad intasamento quando il prodotto da lavorare è costituito da ramaglia perché i rametti più sottili passano attraverso i coltelli e vanno ad incastrarsi nel tubo, specialmente quando il condotto è troppo lungo o troppo stretto.

Il convogliatore a nastro è meno diffuso perché più ingombrante, più pesante e queste caratteristiche non si conciliano con la cippatura in bosco o a bordo strada. Tale sistema sarebbe da preferire in caso di cippatura in impianti vicini a zone abitate perché produce meno polvere. Inoltre si intasa meno del precedente. In commercio esiste un modello italiano montato su autocarro che può utilizzare entrambi i sistemi (fig. 19)



**Fig. 19: chippertruck allestito con convogliatore a "collo d'oca" (ripiegato sulla cippatrice) e con convogliatore a nastro per lo scarico del cippato**

Alcune cippatrici a tamburo sono dotate di una ventola ausiliaria montata all'inizio del convogliatore pneumatico per facilitare l'espulsione del cippato. Inoltre la corrente d'aria lancia il cippato con maggior forza dentro il cassone del rimorchio e questo consente di formare carichi più compatti.

Nella maggior parte dei casi, il cippato viene scaricato direttamente nel cassone di un autocarro, risparmiando il costo di carico (fig. 20). Questa soluzione richiede una perfetta organizzazione del cantiere per evitare tempi improduttivi di attesa degli autocarri o viceversa della cippatrice.



**Fig. 20: scarico del cippato direttamente nel cassone (a sinistra) o a terra e ricaricato successivamente ( a destra)**

Un altro sistema è quello di scaricare in cumuli a terra, possibilmente in una zona pulita dell'imposto e facilmente raggiungibile. Questa soluzione evita i tempi di attesa degli autocarri: ciascun mezzo sarà perciò indipendente e si adatterà alle esigenze del cantiere. Il cippato verrà caricato dai cumuli con un caricatore a benna (fig. 20) . Questo comporta una doppia movimentazione del prodotto anche se ricaricare il cippato è un'operazione abbastanza rapida. Inoltre i cumuli di cippato richiedono un certo spazio all'imposto e lo strato a contatto con il terreno è soggetto a contaminazione. Il primo problema è risolvibile con la formazione di grossi cumuli effettuati con una pala meccanica, mentre il secondo problema potrebbe essere evitato lasciando uno strato di fondo.

### 3.8 Aspetti costruttivi di sicurezza delle cippatrici

Le cippatrici, al pari di tutte le macchine, devono rispettare dei parametri costruttivi di sicurezza.

Innanzitutto per essere messe in commercio in Europa, devono essere dichiarate dal fabbricante conformi alle prescrizioni della Direttiva 2006/42/CE e devono essere indicate le seguenti informazioni:

- nome e indirizzo del fabbricante;
- anno di costruzione;
- designazione della serie e del tipo;
- massa in chilogrammi;
- potenza nominale in kW, se applicabile;
- frequenza di rotazione nominale e direzione di rotazione della presa di collegamento della potenza di trasmissione.

Esistono delle norme di riferimento specifiche per i requisiti di sicurezza e la loro verifica per la progettazione e la costruzione di cippatrici di legname mobili o per alcuni componenti.

Le norme definiscono le caratteristiche (dimensionali, prestazionali, ambientali, di qualità, di sicurezza, di organizzazione ecc.) di un prodotto, processo o servizio, secondo lo stato dell'arte e sono il risultato del lavoro di decine di migliaia di esperti in Italia e nel mondo (Fonte UNI).

Si evidenzia che il rispetto della norma armonizzata, pur presumendo la conformità ai Requisiti Essenziali di Sicurezza di cui all'allegato I alla direttiva 2006/42/CE, è un atto volontario da parte del costruttore. Si tratta pertanto di un processo di autocertificazione del fabbricante: il costruttore è libero di utilizzare soluzioni tecniche differenti dimostrando che l'attrezzatura è conforme ai requisiti essenziali previsti dalla direttiva.



La norma di riferimento per le macchine cippatrici/sminuzzatrici ad uso forestale è la UNI EN 13525:2010 (edizione maggio 2010) *Macchine forestali - Sminuzzatrici mobili - Sicurezza*. La norma si riferisce a sminuzzatrici di legna mobili, e quindi semoventi, portate, semiportate e trainate, utilizzate in forestazione, agricoltura, orticoltura e nella manutenzione del verde. La norma si applica alle sminuzzatrici, con motore autonomo o esterno, utilizzate in posizione fissa, che sono caricate manualmente con legna attraverso un condotto di alimentazione orizzontale o pressochè orizzontale nella cui parte terminale sono presenti dei componenti meccanici di alimentazione (o dei componenti sminuzzatori che agiscono come componenti meccanici di alimentazione) che trascinano la legna all'interno della macchina.

Per i trituratori/sminuzzatrici con motore incorporato utilizzate nel giardinaggio si applica la EN – 13683 :2010.

Nel caso di cippatrici azionate dalla presa di potenza del trattore, gli alberi cardanici di trasmissione e le loro protezioni devono essere conformi alla UNI EN 5674 ISO (Trattrici e macchine agricole e forestali - Protezioni per alberi cardanici di trasmissione dalla presa di potenza (p.d.p.) - Prove di resistenza e di usura e criteri di accettazione) e alla UNI EN 12965:2010 (Trattrici e macchine agricole e forestali - Alberi cardanici di trasmissione dalla presa di potenza (p.d.p.) e loro protezioni – Sicurezza).

La cippatrice deve essere dotata di comandi separati per l'azionamento/arresto degli elementi per l'alimentazione e per l'avviamento/arresto di quelli specifici di sminuzzatura. Il comando per l'arresto dei componenti di cippatura deve comunque anche arrestare l'azione di alimentazione.

Questa tipologia di comandi protegge l'operatore dal rischio connesso con l'avviamento involontario degli organi di taglio.

Se la cippatrice ha un motore autonomo, il comando per l'accensione/arresto del motore può avere la funzione di "comando" per l'azionamento/arresto degli elementi meccanici di alimentazione e di cippatura.

Nelle macchine alimentate dalla presa di potenza del trattore, il comando di azionamento/arresto della presa di potenza del trattore o il comando del sistema idraulico posti sul trattore possono avere la funzione di "comandi" per l'azionamento/arresto degli elementi meccanici di alimentazione e di cippatura.

Le cippatrici alimentate manualmente devono essere dotate di una comando di arresto dell'alimentazione della macchina che eviti all'operatore di essere trascinato verso gli organi di taglio. Tale barra copre l'intera larghezza della sezione di alimentazione mentre in verticale copre almeno una porzione pari al 75% dell'altezza dell'apertura di alimentazione (fig. 21).



**Fig. 21: particolare della sezione di alimentazione provvista di barra di arresto dell'alimentazione**

L'operatore deve poter azionare il comando di arresto nella direzione di alimentazione usando oltre alle mani anche altre parti del corpo (spalla, gomito, tronco, fianco, gambe ecc.). Il comando deve essere posizionato in modo da minimizzare la possibilità di un'attivazione non intenzionale dovuta al materiale alimentato.

Nel caso di macchine con integrato un dispositivo trasportatore (convogliatore), il comando di arresto dell'alimentazione deve essere posizionato ai lati ed all'estremità più esterna del convogliatore.

Nelle macchine progettate per essere alimentate meccanicamente, l'utilizzo del dispositivo di arresto di cui sopra può determinare problemi operativi a causa delle possibili interruzioni della lavorazione. La maggior parte delle cippatrici industriali ne sono sprovviste e comunque il canale dell'alimentazione è sufficientemente alto da terra da rendere particolarmente difficile l'alimentazione manuale del legname da cippare.

Le distanze di sicurezza per impedire il raggiungimento di zone pericolose con gli arti superiori e inferiori sono contenute nella norma EN 13857:2008.

Tutte le parti in movimento del sistema di trasmissione di potenza devono essere posizionate in modo da prevenire qualsiasi contatto.

Per assicurare la protezione contro rischi relativi alle parti in movimento del sistema di trasmissione di potenza, la macchina deve essere dotata di una protezione conforme alla UNI EN 953:2009. Le parti in movimento del sistema di trasmissione di potenza per le quali non è richiesto l'accesso durante l'uso devono essere dotate di protezioni fisse.

Invece per le parti in movimento del sistema di trasmissione di potenza per le quali è richiesto l'accesso durante la manutenzione devono essere protette con una protezione fissa o interbloccata se le parti in movimento possono essere fermate immediatamente. Nel caso in cui le parti in movimento non possono essere fermate immediatamente, devono essere protette con una protezione fissa o interbloccata con bloccaggio del riparo.

Il tempo necessario per rimuovere ogni protezione fissa deve essere più lungo del tempo d'inerzia degli elementi mobili protetti da tale riparo. Quando le protezioni fisse vengono aperte devono rimanere attaccate alla macchina per esempio tramite cerniere e bloccarsi automaticamente in posizione di chiusura senza l'uso di un attrezzo.

Se è necessario salire sulla macchina per effettuare la manutenzione, devono essere previsti dei mezzi adeguati per salire con supporti per i piedi (ad

esempio, pioli o gradini) e maniglie. Le sedi per effettuare riparazioni o manutenzione devono avere superfici antiscivolo e maniglie adeguate.

I gradini devono avere una superficie antisdrucchiolo, un fermo laterale e devono essere costruiti in modo da minimizzare l'accumulo di fango e neve nelle normali condizioni di lavoro.

Le parti del dispositivo di scarico del motore con superficie superiore a 10 cm<sup>2</sup> ed una temperatura di superficie superiore a 80° C devono essere protette per evitare il contatto accidentale.

### **3.9 Rischi nell'uso delle cippatrici**

L'uso della cippatrice espone gli operatori a numerosi rischi che possono essere la causa sia di infortuni che di malattie professionali.

Nella tabella 4 si elencano i principali rischi connessi con l'uso della cippatrice, correlati ai possibili danni e le misure per evitare o ridurre tali rischi.

Alcuni di questi rischi possono portare a malattie professionali come l'esposizione al rumore, alle polveri o alle vibrazioni, mentre altri possono comportare ferite, fratture o lesioni connessi con un infortunio.

**Tab. 4: rischi connessi con l'uso della cippatrice (fonte: "Linee guida per la prevenzione e sicurezza nei lavori forestali in Toscana", 2008 e "Sicurezza ed antinfortunistica nei cantieri forestali", 2008)**

Rischio	Possibile danno	Intervento
Organi meccanici in movimento	Ferite, fratture, contusioni	Seguire manuale d'uso e manutenzione Non manomettere le protezioni Abbigliamento aderente, guanti
Impigliamento e trascinarsi	Ferite, fratture, contusioni, schiacciamenti	Seguire manuale d'uso e manutenzione Non manomettere le protezioni Mantenere le distanze di sicurezza Abbigliamento aderente, guanti
Lame taglienti	Ferite, contusioni	Corrette procedure di lavoro e manutenzione Non manomettere le protezioni Guanti
Proiezioni di schegge	Ferite (viso e occhi)	Distanza di sicurezza Occhiali di protezione
Gas di scarico	Irritazioni vie respiratorie e intossicazioni acute e croniche	Scelta macchine idonee Corretta manutenzione
Sostanze irritanti e/o nocive (oli e carburanti)	Irritazioni vie respiratorie e cutanee, intossicazioni acute e croniche, allergie	Uso di tuniche di sicurezza Guanti
Superfici calde (motore, marmitta)	Ustioni	Scelta macchine idonee Protezione parti calde Guanti
Movimenti incontrollati, perdita di controllo del mezzo, rotture	Ferite, fratture, contusioni, schiacciamenti	Scelta di macchine idonee Corrette procedure di lavoro Calzature di sicurezza, casco
Rumore	Disagio, ipoacusia	Scelta macchine idonee Scelta cabine idonee Corretta manutenzione Otoprotettori
Polvere di legno	Allergie, riniti Cancro	Scelta macchine idonee Corrette procedure di lavoro
Vibrazioni	Disagio	Scelta macchine idonee Corretta manutenzione Scelta cabine e sedili idonee
Scivolamenti durante la salita/discesa	Ferite, fratture, contusioni	Scelta di macchine idonee Calzature di sicurezza
Caduta carichi sospesi, movimenti incontrollati del materiale	Ferite, fratture, contusioni, lesioni organi interni	Mantenere distanze sicurezza Non sostare nel raggio di azione Calzature di sicurezza, casco e guanti

## 4 L'esposizione alle polveri di legno

Negli anni '90, l'Agencia Internazionale per la Ricerca sul Cancro (IARC) stimava che almeno 2 milioni di persone nel mondo siano esposte alle polveri di legno (IARC, 1995).

Secondo quanto emerso nel 2° simposio internazionale sulla polvere di legno tenutosi nel maggio 2011 in Oregon, 3.6 milioni di lavoratori, appartenenti a 25 diversi paesi, sono esposti alle polveri di legno.

Le polveri di legno si possono definire come le particelle solide aerodisperse, con dimensioni variabili, che si possono originare in seguito alle lavorazioni del materiale di partenza, di cui conservano la stessa composizione chimica.

Le polveri si distinguono in base alla loro concentrazione e alla loro granulometria.

La concentrazione è determinata dalla quantità delle particelle in sospensione presenti in un metro cubo di aria, mentre la granulometria è caratterizzata dalle dimensioni delle particelle stesse.

A seconda delle dimensioni, le polveri si distinguono in:

- inalabili: frazione delle particelle aerodisperse inalata attraverso la bocca e il naso;
- toraciche: frazione delle particelle inalate che penetra oltre la laringe;
- respirabili: frazione delle particelle che penetra nelle vie respiratorie non ciliate. Sono le più pericolose perché riescono a raggiungere i bronchioli e gli alveoli polmonari.

L'ambiente di lavoro nelle utilizzazioni forestali è molto polveroso (Mitchel, 2011) ma i dati relativi alle esposizioni alle polveri di legno in selvicoltura sono scarsi poiché il numero di addetti è ridotto (Martinotti et al., 2008).

L'esposizione alla polvere di legno è un aspetto importante poiché può portare allo sviluppo di malattie professionali. Ad esempio, l'asma da legno è pari al 10% del totale delle asme professionali diagnosticate (Moscatò et al., 2002).

Già nel 1714 il primo medico del lavoro Ramazzini descrisse che durante la segazione a mano gli addetti erano soggetti ad arrossamenti e dolore agli occhi, provocati proprio dalla segatura (Cirla, 2008).

Le prime osservazioni sulle patologie dovute al legno risalgono alla fine del 1800, principalmente nei cantieri navali (Innocenti, 2008). Fino al periodo 1960-70 erano per lo più segnalati disturbi dermatologici delle parti esposte (Hausen, 1981, Innocenti e Del Monaco, 1980). Successivamente cominciarono gli studi su asma, tumore dell'etmoide e dei seni paranasali. In Italia l'asma da faggio venne segnalata nel 1982 (Pisati et al., 1982).

Nel 1987 la IARC classificava la polvere di legno suddividendola in 3 gruppi a seconda del loro livello di cancerogenicità (tab. 5)

**Tab. 5: classificazione delle polveri di legno secondo la IARC e loro effetti (prima del 1995)**

Gruppo	Settore lavorativo	Livello cancerogenicità
1	Produzione mobile Ebanista	Cancerogeno per l'uomo
2B	Falegnameria Carpenteria	Possibilmente cancerogeno per l'uomo
3	Industria legname (taglio compreso) Segherie	Non classificabile in relazione alla cancerogenicità per l'uomo

Studi successivi hanno dimostrato un incremento dell'incidenza di malattie neoplastiche dei seni paranasali e delle fosse nasali tra i lavoratori esposti alle polveri di legno duro. Prendendo atto di queste ricerche, nel 1995, la IARC ha valutato sufficiente l'evidenza della cancerogenicità delle polveri e le ha inserite nel gruppo 1.

L'evidenza cancerogena è messa in risalto anche da molti enti classificatori tra cui: Scientific Committee on Occupational Exposure Limits (SCOEL) della Commissione Europea, Occupational Safety and Health Administration (OSHA) e il National Institute for Occupational Safety and health (NIOSH)

Nel 1999 l'Unione Europea ha emanato la Direttiva Europea 1999/38/CE stabilendo il valore limite di esposizione alle polveri di legno pari a  $5 \text{ mg/m}^3$  sul periodo di 8 ore lavorative. Tale limite si applica in presenza di legno duro o di qualsiasi miscela di legno contenente anche legno duro.

L'Italia ha recepito la direttiva europea con il Decreto Legislativo 66 del 25 febbraio 2000 specificando che il valore di conformità a  $5 \text{ mg/m}^3$  deve essere effettuato tramite campionamento personale delle frazioni inalabili.

Anche il D.Lgs 626/94 prendeva in considerazione l'esposizione alla polvere di legno mantenendone il limite di  $5 \text{ mg/m}^3$  (Allegato VIII e VIIIbis).

Il D.Lgs 81/08 inserisce il legno nelle "Sostanze pericolose" (Titolo IX) e nel capo II "Protezione da agenti cancerogeni e mutageni" e nell'allegato XLIII viene indicato il valore limite di  $5 \text{ mg/m}^3$  di esposizione professionale alle polveri di legno riferito ad un periodo di 8 ore ed alla frazione inalabile.

L'American Conference of Industrial Hygienists (ACGIH) non distingue tra polvere di legno tenero da quelle di legno duro e stabilisce il limite di esposizione a  $1 \text{ mg/m}^3$  ad eccezione delle polveri di cedro rosso per cui il limite è di  $0,5 \text{ mg/m}^3$ .

Gli effetti sulla salute che si percepiscono in tempi brevi sono quelli che coinvolgono le vie respiratorie, gli occhi e la pelle determinando manifestazioni di sensibilizzazione (Cirla, 2008).



Le malattie che possono essere causate dalle polveri di legno vanno dall'orticaria alle riniti e rino-congiuntivite, all'asma fino ad alcune polmoniti e alveoliti allergiche (tab. 6).

**Tab. 6: effetti sensibilizzanti causati da alcune specie legnose (Cirla, 2008)**

Effetti	Specie legnosa
Rinite, asma	frassino, faggio, cedro rosso canadese, cedro bianco, samba, cedroarana, teak, iroko, kambala, noce tanganika, antiaris, quillaia, cumaro, kejat, zebra, cocabolla, mukali, pernambuco, pino silvestre, pau marfin, fusaria, pioppo, castagno, rovere, noce italico, noce americano, douglasia, cedro del Libano, ciliegio, abete, sequoia, imbica, tali, palissandro, mogano, ebano, mansonia, akatio, emien, odoko, frakè bianco, makore
Dermatite da contatto, orticaria	acacia australiana, cocco, palissandro americano, ayan, quercia australiana, pao ferro, peroba, teak, mogano, obece, noce americano, mukali
Polmonite da ipersensibilità	sequoia, ramin, cabreuva, acajou

Ogni specie legnosa è diversa dalle altre anche in termini di produzione di polvere e secondo Thorpe e Brown (1995), esiste una correlazione tra durezza del legname e la sua densità e una correlazione inversa fra polvere di legno e densità del legname.

I sintomi legati alle prime vie respiratorie possono comparire anche a livelli estremamente bassi, già a partire da  $1 \text{ mg/m}^3$ . (Foà et al, 2008). Infatti, il NIOSH raccomanda esposizioni non superiori a  $1 \text{ mg/m}^3$ , così come SCOEL raccomanda di non superare esposizioni di  $0,5 \text{ mg/m}^3$  di polveri totali ( $1,5 \text{ mg/m}^3$  inalabili) perché possono indurre effetti polmonari.

Ad esempio, in Francia il limite di esposizione per le polveri inalabili è di  $1 \text{ mg/m}^3$ , in Svezia, in Austria e in Germania è di  $2 \text{ mg/m}^3$  (Martinotti et al., 2008).

La maggior parte degli studi sulle esposizioni alle polveri di legno è stata fatta nei settori di seconda trasformazione del legname. Nel 2001 l'Unione Europea ha finanziato un progetto di ricerca sulla valutazione del rischio da esposizioni a polvere di legno denominato "WOOD-RISK". Tale ricerca ha vari sotto-progetti di cui uno, il "Woodex", è mirato a determinare l'attuale stato di esposizione degli addetti alle polveri di legno. Nello studio è preso in considerazione anche il settore della selvicoltura riportando che il 93% dei lavoratori sono esposti a livelli  $<0,5\text{mg}/\text{m}^3$ , 5% a valori compresi tra 0,5 e  $1\text{ mg}/\text{m}^3$ , e nessuno superiore a  $2\text{ mg}/\text{m}^3$ .

Malgrado i valori soglia di esposizione alle polveri di legno in foresta non vengano superati, alcuni studi epidemiologici sui lavoratori forestali riportano alcuni eccessi tumorali, in particolare quelli a carico del sistema emolinfopoietico (Flodin et al., 1988, Reif et al., 1989, Persson et al., 1993, Blair et al., 1993), dell'apparato digerente (Dockerty et al., 2001), naso-sinusale (Elwood et al., 1981, Vaughan et al., 1989) ed anche rinofaringeo (Kawachi, 1989).

Secondo Innocenti (2008), gli studi riportano risultati contraddittori sull'influenza della polvere di legno e la comparsa dei tumori polmonari, mentre è stata accertata una possibile causa-effetto tra polvere di legno e tumori del naso e dei seni paranasali nei soggetti esposti.

Dagli studi effettuati finora sembra che i lavoratori forestali risultino nel complesso meno a rischio rispetto ad altri comparti lavorativi che caratterizzati da elevate esposizioni alle polveri di legno e da ambienti di lavoro chiusi.

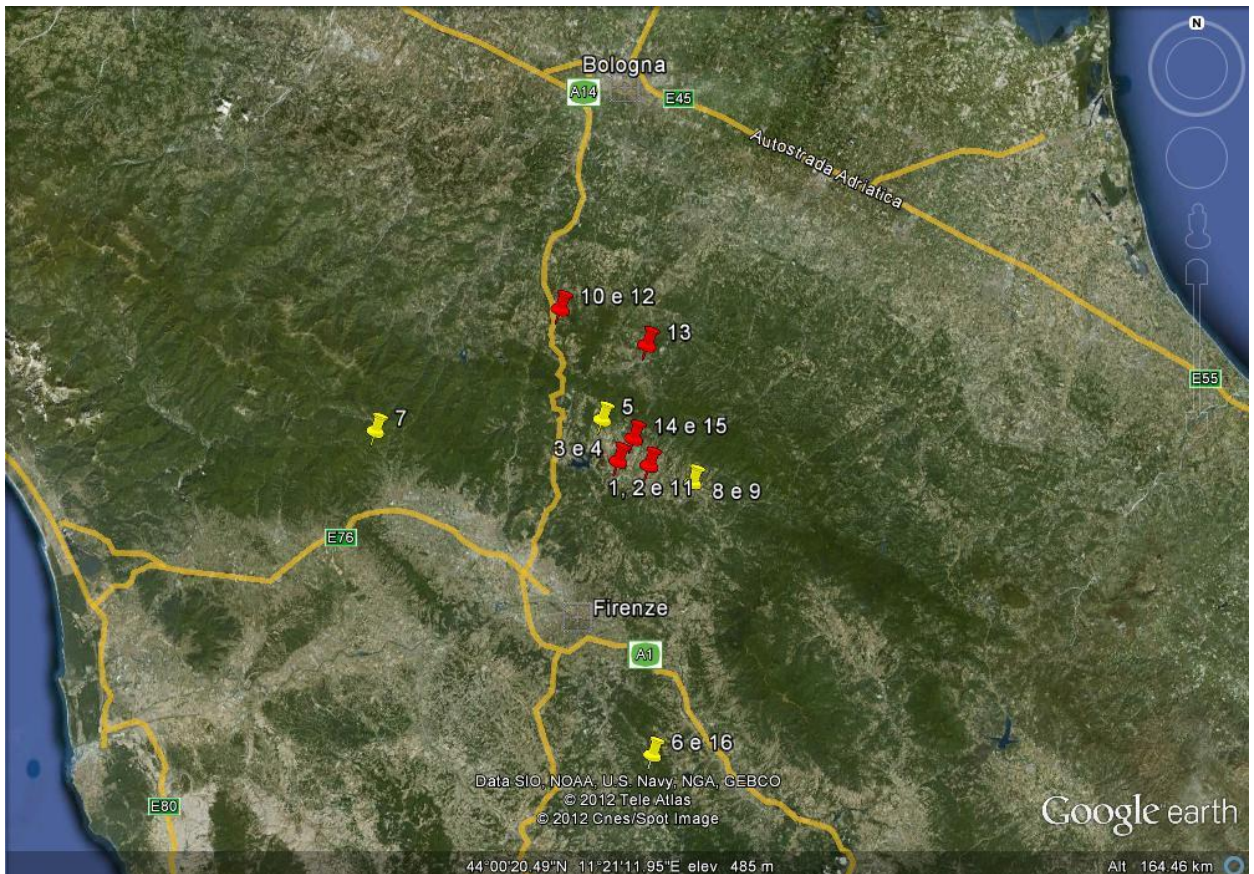
La determinazione delle polveri di legno in fase di cippatura è necessaria per una corretta valutazione dell'esposizione degli operatori e quindi del rischio. La

conoscenza reale dell'esposizione alle polveri di legno nei cantieri di cippatura consente di predisporre una prevenzione il più efficace possibile.

Inoltre le polveri di legno, oltre a costituire un rischio per la salute degli operatori, possono contribuire al pericolo d'incendio specialmente se depositate in strati (Tommasini, 2008).

## 5 I cantieri sperimentali

Le prove sono state effettuate su 16 cantieri distinti: 12 nella zona del Mugello tra le province di Firenze e Bologna, 2 nel Chianti (località Torsoli, comune di Lucolena in Chianti-Firenze) e 1 nel Pistoiese (fig. 22 e tab. 7).



**Fig. 22: localizzazione dei cantieri di cippatura. I localizzatori rossi corrispondono ai cantieri industriali e quelli gialli ai cantieri semi-industriali. I numeri riportati corrispondono a quelli presenti in tabella 7**

La scelta di queste località è stata dettata da esigenze sperimentali e logistiche. Innanzitutto si sono cercate ditte attente allo scopo della ricerca, specialmente per quanto riguardava il campionamento delle polveri di legno, e le eventuali restrizioni imposte dallo studio. A titolo precauzionale si sono cercati cantieri non troppo lontani dall'Ivalsa di Sesto Fiorentino – Firenze (sede in cui venivano

**Tab. 7: descrizione dei cantieri di cippatura**

<b>Cantiere</b>	<b>Località</b>	<b>Cippatrice Tipologia</b>	<b>Cippatrice Modello</b>	<b>Materiale</b>	<b>Quantità cippata (Mg)</b>	<b>Tempo di lavoro (min)</b>
1	Borgo San Lorenzo (FI)	Industriale	Pezzolato Hackertruck PTH1000/1000	Conifera	117,3	467
2	Borgo San Lorenzo (FI)	Industriale	Pezzolato Hackertruck PTH1000/1000	Conifera	74,86	365
3	San Piero a Sieve (FI)	Industriale	Pezzolato Hackertruck PTH1000/1000	Latifoglia	42,54	248
4	San Piero a Sieve (FI)	Industriale	Pezzolato Hackertruck PTH1000/1000	Latifoglia	70,88	387
5	Galliano (FI)	Semi-industriale	Farmi 260	Conifera	9,12	248
6	Torsoli (FI)	Semi-industriale	Farmi 260	Latifoglia	18,415	252
7	Case Geri (PT)	Semi-industriale	Pezzolato PTH 700/660	Latifoglia	28,10	234
8	Vicchio (FI)	Semi-industriale	Pezzolato PTH400	Latifoglia	11,180	243
9	Vicchio (FI)	Semi-industriale	Pezzolato PTH400	Latifoglia	20,020	341
10	Pian del Voglio (BO)	Industriale	Pezzolato Hackertruck PTH1000/1000	Latifoglia	99,600	399
11	Borgo San Lorenzo (FI)	Industriale	Pezzolato Hackertruck PTH1000/1000	Latifoglia	60,020	417
12	Pian del Voglio (BO)	Industriale	Jenz HEM561	Conifera	149,580	600
13	Moscheta (FI)	Industriale	Jenz HEM561	Conifera	152,760	471
14	Scarperia (FI)	Industriale	Pezzolato Hackertruck PTH1000/1000	Latifoglia	84,900	285
15	Scarperia (FI)	Industriale	Pezzolato Hackertruck PTH1000/1000	Conifera	90,560	220
16	Torsoli (FI)	Semi-industriale	Farmi 260	Latifoglia	17,380	453
<b>Totale</b>					<b>1047,215</b>	<b>5630</b>

conservati i campioni prima di essere consegnati all'ASL7 di Siena) in modo da non dover trasportare per lunghe distanze i campioni prelevati.

Si sono testate due tipologie di cippatrici: una di tipo industriale utilizzata da operatori professionisti e una semi-industriale per uso non continuativo. Le cippatrici industriali erano azionate da un solo operatore che lavorava sempre all'interno di una cabina chiusa, usando una gru a bracci idraulici per alimentare la macchina. Le cippatrici semi-industriali erano servite da due o più operatori, che lavoravano all'esterno, nei pressi dell'imbobatura. In tal caso, l'alimentazione era effettuata esclusivamente attraverso introduzione manuale, oppure con l'ausilio di una gru con pinza idraulica posta su un mezzo separato

In ogni cantiere sono stati determinati: la durata del lavoro, la quantità e la qualità del prodotto, il consumo di combustibile e l'esposizione alla polvere di legno.

Il rilievo dei tempi per fasi separate ha consentito di scomporre i vari elementi caratteristici del processo di lavorazione, permettendo così di definire la produttività e gli effetti dei fattori presenti.

Il cronometraggio di dettaglio ha coperto 5630 minuti (quasi 94 ore) suddivisi in 15 giornate. Quando nella stessa giornata si sono succeduti due cantieri distinti per luogo e tipologia del materiale, si sono presi due campioni distinti per determinare l'esposizione alle polveri di legno, che avrebbero potuto differire per le condizioni climatiche della stazione e qualitative del materiale cippato.

Sono stati cippati 1047,215 Mg di legname tal quale, di cui 943 Mg nei cantieri industriali e 104,215 in quelli semi-industriali.

## 5.1 Cantieri industriali

Le cippatrici industriali prese in esame sono state due: Pezzolato Hackertruck PTH1000/1000 e Jenz HEM 561, entrambe montate su autocarro.

La differenza tra le due era nella postazione dell'operatore, nella sorgente di potenza della cippatrice e nella configurazione del tamburo.

### 5.1.1 Chippertruck Pezzolato Hackertruck PTH1000/1000

Per chippertruck si intende una cippatrice montata su autocarro e azionata dal motore dello stesso.

Il chippertruck utilizzato nello studio era il modello a tamburo Pezzolato Hackertruck PTH1000/1000 (fig. 23). La macchina era equipaggiata con una gru Epsilon modello Q170L97, e montata su un autocarro a tre assi MAN TGS 33.540 6x4 BL (tab. 8).



Fig. 23: Hackertruck Pezzolato PTH 1000/1000

**Tab. 8: dati tecnici della cippatrice Pezzolato Hackertruck PTH 1000/1000**

Motore	MAN D26, 6 cilindri in linea, Euro 3B
Potenza	397 kW
Organo di taglio	Tamburo
Diametro tamburo	1000 mm
Larghezza tamburo	1000 mm
Numero lame	2
Lunghezza lame	1000 mm
Diametro massimo cippabile	700 mm

La peculiarità di questo allestimento stava nel fatto che la cippatrice e la gru con pinza idraulica erano azionate dal motore dell'autocarro, con potenza di 397 kW (540Hp). Il vantaggio di questa soluzione rispetto alle convenzionali cippatrici autocarrate consisteva nella riduzione considerevole di peso e ingombro della macchina nel suo complesso, perché evitava l'uso di un secondo motore industriale per azionare la cippatrice. Da questo derivava la migliore accessibilità anche presso impianti stretti e poco agibili, particolarmente frequenti nella montagna Alpina ed Appenninica. Si era anche ipotizzato che la nuova soluzione consentisse migliori economie sulla manutenzione e sui consumi di combustibile.

Nel corso delle prove, il materiale da cippare veniva avviato con la gru verso la sezione di alimentazione, costituita da un rullo superiore, due rulli inferiori e una tramoggia di alimentazione a catena a maglie chiuse. Una volta cippato, il materiale era espulso tramite un convogliatore pneumatico a collo d'oca orientabile dotato di videocamera e faretto d'illuminazione, utili per una maggiore visione del materiale in uscita.

La cippatrice era dotata del dispositivo elettronico "no stress" che arrestava e invertiva la direzione del sistema di alimentazione qualora si fosse verificato un assorbimento eccessivo di potenza del motore. Lo stesso dispositivo riavviava automaticamente il sistema di alimentazione non appena il motore avesse riacquisito il giusto numero di giri, selezionato inizialmente dall'operatore. Il "no



stress” era attivato tipicamente quando entrava nella cippatrice un tronco al limite della capacità, per dimensioni o durezza.

Al posto di ventilatore e convogliatore pneumatico, la cippatrice poteva anche montare un nastro trasportatore in gomma lungo 5 m. Questo occupava più spazio, ma poteva consentire un certo risparmio di combustibile. Tuttavia, il nastro trasportatore non è stato utilizzato nel corso dello studio, e pertanto non si è in grado di quantificare l’eventuale il risparmio energetico derivato dal suo impiego.

L’operatore azionava la gru con pinza idraulica e la cippatrice direttamente da un sedile girevole, posto nella cabina dell’autocarro, e dotato di joy-stick e di un display di controllo collegato al computer di bordo. La cabina era stata modificata direttamente dal costruttore dell’autocarro, che l’aveva dotata di ampie vetrate posteriori per permettere una buona visibilità della zona di lavoro. Eventuali malfunzionamenti della macchina erano segnalati all’operatore grazie ad un pannello di controllo provvisto di luci di emergenza.

### **5.1.2 Cippatrice industriale autocarrata Jenz HEM 561**

In due cantieri di tipo industriale è stata studiata una cippatrice con motore indipendente montata su autocarro e dotata di una gru a bracci idraulici con cabina esterna saliscendi. Questo tipo di allestimento è il più comune nelle cippatrici industriali perché permette all’operatore un’ottima visibilità della zona di lavoro, operando in sicurezza e comfort, all’interno di una cabina chiusa e climatizzata.

La cippatrice studiata era una Jenz HEM 561 (fig. 24) dotata di un motore indipendente Mercedes montata su un autocarro Scania 460 (tab. 9). La gru di

alimentazione era azionata dal motore dell'autocarro, che pertanto restava acceso anche durante la cippatura.



**Fig. 24: cippatrice autocarrata Jenz HEM 561**

**Tab. 9: dati tecnici della cippatrice Jenz HEM 561**

Motore	Mercedes Benz OM460 LA, 6 cilindri in linea
Potenza	360 kW
Organo di taglio	Tamburo
Diametro tamburo	800 mm
Larghezza tamburo	1000 mm
Numero lame	10 sfalsate
Lunghezza lame	108 mm
Diametro massimo cippabile	560 mm

Anche in questa tipologia di macchina, il materiale era avviato alla sezione di alimentazione con una gru a bracci idraulici, che lo appoggiava sul nastro di alimentazione. Il legname cippato era espulso attraverso un'uscita a collo d'oca orientabile.

Anche la Jenz HEM era dotata di un sistema no-stress chiamato ABS. Contrariamente al sistema impiegato dall'Hackertruck, l'ABS non arrestava i rulli di alimentazione in caso di calo dei giri del motore, ma ne rallentava la velocità

in modo proporzionale. In questo modo il motore non era mai sovraccaricato ed il lavoro non veniva mai interrotto, a beneficio di una produttività massima .

La coclea e il ventilatore di espulsione posti a valle del tamburo, avendo un regime di rotazione indipendente da quello del tamburo e dei rulli di alimentazione, continuavano a espellere il cippato alla massima velocità anche quando l'ABS rallentava l'avanzamento del legname. In tal modo era possibile smaltire il materiale in eccesso, liberando la camera di cippatura ed evitando interruzioni del getto o intasamenti.

La macchina era anche dotata di un radiatore autopulente, analogo a quello utilizzato sulle mietitrebbie: un ciclone manteneva un vortice di aria priva di polvere intorno alla superficie radiante, per tenerla sempre pulita ed efficiente. L'operatore lavorava da una cabina saliscendi dotata di tutti i comandi, da cui doveva uscire solo per spostare la cippatrice lungo la catasta, o tra le diverse cataste.

In entrambi i cantieri industriali, il materiale veniva accumulato in piazzali abbastanza ampi, vicini alle vie principali, in modo da favorire il trasporto del cippato con autotreni alla centrale di Calenzano (FI), che distava in media 35 km.

In base alla disponibilità dei mezzi e alle necessità logistiche, si alternavano al trasporto almeno 3 autotreni, allo scopo di limitare il più possibile il tempo di attesa della cippatrice.

La disposizione delle cataste era funzionale alla posizione della sezione di alimentazione della cippatrice e alla posizione di stazionamento dell'autotreno. Generalmente cippatrice e mezzo di trasporto lavoravano affiancati, perché

questo consentiva un riempimento più efficiente e veloce del cassone, e facilitava le manovre di arrivo, sosta e partenza degli autotreni.

## **5.2 Cantieri semi-industriali**

L'altra tipologia di cantiere analizzata è stata quella in cui veniva impiegata una cippatrice di dimensioni e capacità minori, adatta soprattutto all'uso non continuativo. Per semplicità di esposizione questi cantieri sono stati definiti "semi-industriali".

Le macchine impiegate in questi cantieri erano meno potenti e produttive delle cippatrici industriali, ma quello che le differenziava ai fini dello studio era soprattutto la postazione di lavoro degli operatori, che stazionavano in ambiente non protetto e vicino alla sezione di alimentazione della cippatrice.

Anche con questi cantieri il materiale da cippare veniva disposto in cataste ed il cippato scaricato in autocarri o rimorchi trainati da trattori agricoli.

I cantieri 5, 6 e 16 prevedevano una cippatrice portata Farni CH260, collegata all'attacco a tre punti del trattore e azionata attraverso la presa di potenza (tab. 10). Nel cantiere 5 la macchina era applicata ad un trattore New Holland TL100 (71 kW), mentre nei cantieri 6 e 16 ad un SAME Silver 105 (73 kW).

**Tab. 10: dati tecnici della cippatrice Farni CH260**

Azionamento	Trattori NH 100TL e SAME Silver 105
Motore	New Holland e SAME 4 cilindri in linea
Potenza	71 e 73 kW
Organo di taglio	Disco
Diametro del disco	1050 mm
Numero di lame	2
Lunghezza lame	n.d
Diametro massimo cippabile	260 mm

Nel cantiere 5 la macchina era equipaggiata con la sezione di alimentazione piramidale lunga, obbligatoria quando l'alimentazione della macchina è effettuata manualmente, mentre nei cantieri 6 e 16 la sezione lunga era stata sostituita da una sezione svasata progettata per l'alimentazione con gru a bracci idraulici.

Nel cantiere 5 erano presenti due operatori, entrambi addetti all'alimentazione manuale dei pezzi di tronchi o rami preventivamente accatastati in piccoli cumuli. Gli operatori lavoravano assieme, coadiuvandosi nel prelevare il materiale dalla catasta e avvicinandolo alla sezione di alimentazione (fig. 25). Un operatore stazionava direttamente in prossimità della sezione di alimentazione e poteva regolare il flusso del materiale azionando il sistema no-stress manuale. Il cippato era scaricato nel cassone di un autocarro e trasportato presso il magazzino di stoccaggio. In azienda era disponibile un solo autocarro e quindi la cippatrice non poteva lavorare durante il trasporto e lo scarico del cippato. Questo lasso di tempo offriva un'occasione di riposo agli operatori, piuttosto affaticati dalla movimentazione interamente manuale del legname.



**Fig. 25: cippatrice a disco Farmi CH260 alimentata manualmente**

Nei cantieri 6 e 16 il materiale da cippare era costituito da tronchetti di castagno inadatti alla produzione di pali, stoccati per alcuni mesi all'aria con lo scopo di abbassare il tenore idrico del prodotto. Infatti, il cippato ottenuto in questi cantieri era destinato a piccole caldaie domestiche, molto esigenti in termini di tenore idrico e pezzatura. Il cippato veniva successivamente vagliato per eliminare eventuali pezzi di misura eccessiva che avrebbero rischiato di bloccare la tramoggia di alimentazione della caldaia. La squadra di lavoro era costituita da 3 operatori, di cui uno manovrava la gru dal sedile posto alla base del braccio per prelevare i pali dalla catasta e avviarli alla cippatrice. Gli aiutanti invece stazionavano in prossimità dell'imboccatura della cippatrice, pronti ad azionare il sistema no-stress manuale e ad agevolare l'ingresso dei tronchi (fig 26). Il cippato veniva scaricato tramite il convogliatore pneumatico in due rimorchi, trainati da altrettanti trattori. Questi erano condotti da un quarto operatore, che sostituiva il rimorchio vuoto con quello pieno e conduceva il trattore fino al magazzino di stoccaggio, distante da 500 a 3000 metri, a seconda del cantiere. La breve distanza di trasporto e la presenza di due rimorchi limitava al massimo i tempi di attesa della cippatrice.



**Fig. 26: cippatrice Farmi CH260 alimentata con la gru a bracci idraulici**

Nei cantieri 8 e 9 la macchina utilizzata era una cippatrice trainata Pezzolato PTH 400 (fig. 27), collegata al gancio di traino di un trattore John Deere 6810 e azionata attraverso la presa di potenza (tab. 11).

Il materiale da cippare consisteva in tronchetti di castagno lunghi 1 metro, accatastati da un paio di anni per una stagionatura molto spinta, dato che l'impianto di conversione energetica richiedeva cippato molto asciutto. Un secondo trattore Fendt 309 Vario provvisto di gru prelevava il materiale dalle cataste e lo depositava sulla tavola di alimentazione. Due operatori, posti uno a destra e uno a sinistra della sezione di alimentazione della cippatrice agevolavano il convogliamento del materiale verso il rullo dentato dell'apparato di alimentazione. La presenza dei due operatori era necessaria per la ridotta lunghezza dei pezzi. Una volta cippato, il materiale soffiato era lanciato tramite il convogliatore pneumatico dentro un rimorchio attaccato ad un terzo trattore. Il processo includeva un tempo di attesa durante il trasporto del cippato verso il magazzino, distante circa 900 metri .



**Fig. 27: cippatrice Pezzolato PTH400**

**Tab. 11: dati tecnici della cippatrice Pezzolato PTH400**

Azionamento	Trattore John Deere 6810
Motore	John Deere 6 cilindri
Potenza	94 kW
Organo di taglio	Tamburo
Diametro tamburo	660 mm
Larghezza tamburo	480 mm
Numero lame	2
Lunghezza lame	480 mm
Diametro massimo cippabile	400 mm

Il cantiere che ha lavorato nel pistoiese utilizzava una cippatrice trainata Pezzolato PTH 700/660 (fig. 28). La macchina era montata su un rimorchio a due assi, trainato da un trattore New Holland M100. Il trattore serviva solo al traino ed era spento durante la cippatura. La cippatrice e la gru Kronos 4000 montata sul rimorchio a due assi erano azionate da un motore autonomo Aifo Iveco da 175 kW (tab.12) .





**Fig. 28: cippatrice Pezzolato PTH700/660: un operatore lavora dal sedile applicato alla base della gru e l'altro è a terra**

**Tab. 12: dati tecnici cippatrice Pezzolato PTH 700/660**

Azionamento	Autonomo
Motore	AIFO-IVECO N67 NT – 6 cilindri in linea, Euro 3
Potenza	170 kW
Organi di taglio	Tamburo
Diametro tamburo	660 mm
Larghezza tamburo	640 mm
Numero lame	2
Lunghezza lame	n.d.
Diametro massimo cippabile	400 mm

Il materiale lavorato consisteva in fusti di robinia, accatastati in un piccolo piazzale a bordo strada che permetteva l'affiancamento dell'autotreno adibito al trasporto del cippato. Un operatore alimentava la cippatrice con una gru a braccio idraulico e stazionava su un sedile applicato alla base del braccio idraulico, a circa 3 m di altezza raggiungibile grazie ad una scaletta. Il sedile era dotato di una cintura di sicurezza ma il posto di lavoro era completamente scoperto. Questa soluzione permetteva un'ottima visibilità ma un comfort limitato poiché l'operatore era esposto alle intemperie, alla polvere e al rumore. Un secondo operatore stazionava nei pressi della sezione di alimentazione

della cippatrice per controllare l'ingresso del materiale ed era dotato del radiocomando che azionava i rulli di alimentazione ed il convogliatore pneumatico girevole, così da arrestare l'introduzione del legname qualora si stesse per verificare un intasamento, o in presenza di corpi estranei (pietre, metallo) misti al materiale in entrata. Il cippato veniva espulso mediante il flusso d'aria prodotto da un ventilatore attraverso il consueto convogliatore pneumatico orientabile, e cadeva direttamente nel cassone dell'autotreno.

## 6 Materiali e metodi

I tempi di lavoro sono stati registrati con computer portatili resistenti all'umidità della Husky Hunter, muniti dell'apposita installazione Siwork3 (Spinelli e Kofman, 1995).

Il protocollo di rilievo ricalcava quello riportato sul manuale IATF (Berti et al., 1989) per il "rilievo separato dei tempi delle fasi di lavoro". Lo studio dei tempi di lavoro ha interessato tutte le fasi del cantiere di cippatura: tempi di cippatura, tempi di spostamento della cippatrice, tempo di affiancamento dei mezzi di trasporto e tempi improduttivi (tab. 13)

**Tab. 13: descrizione delle fasi di lavoro di un ciclo completo di cippatura**

Fase di lavoro	Descrizione
Spostamento	La cippatrice viene spostata lungo la catasta o tra una catasta e quella successiva
Cippatura	La cippatrice sminuzza il materiale. Il legname entra nell'imboccatura e il cippato è espulso attraverso il convogliatore pneumatico. Questa fase include anche i tempi morti durante i quali l'organo sminuzzatore gira a vuoto per una mancanza momentanea del materiale, perché gli addetti all'alimentazione non riescono ad introdurre nuovo materiale abbastanza velocemente.
Affiancamento	Scambio e affiancamento dei mezzi di trasporto (autocarro, autotreno, trattore con rimorchio)
Tempo improduttivo personale	Tutte le interruzioni del lavoro legate alle necessità del personale (riposo, necessità fisiologiche etc.)
Tempo improduttivo organizzativo	Tutte le interruzioni del lavoro legate all'organizzazione del cantiere (interferenza tra i mezzi, attesa dei mezzi di trasporto, pianificazione, istruzioni, ricognizioni, visite di terzi etc.)
Tempo improduttivo meccanico	Tutte le interruzioni del lavoro legate alla macchina, ed in particolare a guasti, malfunzionamenti e altri interventi di manutenzione straordinaria.
Preparazione	Preparazione al lavoro, all'inizio e alla fine del turno (pulizia delle macchine, accensione e spegnimento, riscaldamento del motore e dell'olio idraulico, rifornimento, eventuale spostamento dalla e verso la rimessa, etc.)

La quantità di biomassa effettivamente caricata è stata misurata avviando tutti i carichi ad una pesa certificata, presente nell'impianto di teleriscaldamento o direttamente in azienda nel caso dei cantieri 5-6-8-9-16.

In ogni cantiere sono stati prelevati da 10 a 15 campioni di cippato della massa di circa 1 kg, che sono stati portati in laboratorio e divisi in due sottocampioni, impiegati per determinare rispettivamente il tenore idrico e la granulometria del prodotto. Il primo è stato determinato con metodo gravimetrico, secondo la norma UNI EN 14774-2: doppia pesata, prima e dopo l'essiccazione in stufa ventilata con temperatura pari a  $103 \pm 2$  °C per 48 ore; la seconda è stata determinata con un vaglio oscillante in base alla norma UNI EN 15149-1, dopo asciugatura naturale all'aria aperta per circa una settimana.

Il consumo di gasolio è stato letto direttamente sul computer di bordo (hackertruck) oppure misurandolo direttamente per differenza prima e dopo il ciclo di lavoro. La cippatrice o il trattore nel caso di cippatrici azionate dalla presa di potenza del trattore cominciava il lavoro con il serbatoio al massimo della sua capacità e a fine giornata veniva rabboccato per riempire completamente il serbatoio.

Tutti i risultati sono stati sottoposti ad analisi statistica con il programma Statview (SAS, 1999) per verificare la significatività di eventuali differenze tra i trattamenti, così da caratterizzare le due diverse tipologie di cantiere.

Il costo delle operazioni di cippatura è stato stimato con le consuete formule di matematica finanziaria adattate per l'uso forestale (Miyata, 1980). Le ipotesi di calcolo sono riportate in tabella 14, suddivise per tipologia di cantiere (industriale e manuale). Il prezzo di acquisto delle macchine comprende il costo della cippatrice stessa e del mezzo che la aziona e/o la trasporta – autocarro, autotreno o trattore.

In tutti casi, il costo della manodopera è stata fissata pari a 20 €/h, gli interessi sul capitale al 5% e il costo del gasolio 1,5 €/L (senza considerare eventuali sgravi fiscali). Il valore di recupero è stato stimato pari al 20% dell'investimento originario, mentre il costo della manutenzione ordinaria e straordinaria è stato stimato uguale al 50% del costo di ammortamento della macchina. Il costo di olio e lubrificanti è stato considerato pari al 12% del costo del combustibile. Le due tipologie di cantiere differiscono anche per la durata di servizio delle macchine, per il consumo di combustibile e per il numero di operatori necessari. Il calcolo ovviamente esclude il costo dei mezzi e del personale adibiti al trasporto del cippato, quali autocarri, autotreni, trattori con rimorchio e relativi autisti.

**Tab. 14: formule utilizzate per il calcolo del costo dei cantieri di cippatura**

Squadra:	Industriale	Semi-industriale
1. Ipotesi di base:		
Prezzo d'acquisto attrezzatura (P, €) =	400000	140000
Durata di servizio (n, anni) =	8	12
Valore di recupero, percento di P (sv%)	20%	20%
Ripazioni e manutenzione, percento dell'ammortamento (rm%) =	50%	50%
Interesse sul capitale (in%) =	5%	5%
Consumo combustibile (l/h) =	45	16
Prezzo del combustibile (Pc, €/l) =	1,5	1,5
Olio e lubrificante, percento del costo combustibile (lo%) =	12%	12%
Costo dell'operatore (Oper, €/OL) =	20	20
Squadra (Sqd, Unità)	1	2
2. Calcoli:		
Valore di recupero (S, €) = (P*sv%) =	80000	28000
Ammortamento annuo (Amm, €/anno) = [(P-S)/n] =	40000	9333
Investimento Medio Annuale (IMA, €) = [(((P-S)*(n+1))/2n)+S] =	260000	88667
Impiego annuale macchina (IA, OL/anno) =	1500	1500
3. Costi Fissi:		
Interessi (Int, €/anno) = (in%*IMA) =	13000	4433
Assicurazione e tasse (AT, €/anno) = (at%*IMA) =	2000	2000
Costi Fissi Annuali (CF, €/anno) = (Amm+Int+AT) =	55000	15767
Costi Fissi per ora (€/ora) = (CFL) =	36,67	10,51
4. Costi Variabili:		
Costo combustibile (Comb, €/ora) = (l/h*€/l) =	67,50	24,00
Costo lubrificante (L, €/ora) = (Comb*lo%) =	8,10	2,88
Costo riparazioni e manutenzione (RM, €/ora) = (Amm*rm%/IA) =	13,33	3,11
Costo del personale addetto (Pers, Sqd*Oper, €/ora) =	20,00	40,00
Costi Variabili per ora (VN, €/Ora) = (Comb+L+RM+Pers) =	108,93	69,99
5. Subtotale (€/ora)	145,6	80,5
6. Spese generali %	20,00	20,00
Spese generali (€/ora)	29,12	16,10
7. Totale (€/ora)	<b>174,7</b>	<b>96,6</b>
Adattato per 30% tempi improduttivi fermo operatore	<b>6</b>	<b>12</b>
Costo finale tutto incluso macchina che lavora	<b>180,7</b>	<b>108,6</b>

I due sistemi di cantieri sono stati messi a confronto anche sotto il profilo del bilancio energetico, cioè il rapporto tra output e input energetici.

Per il calcolo degli input energetici si sono considerati i consumi di combustibile medi misurati nello studio, cioè 2,02 L/t per il cantiere industriale e 3,64 L/t per quello semi-industriale. Questi valori sono stati moltiplicati per il contenuto energetico del gasolio, considerato pari a 37 MJ al litro (Bailey et al., 2003). Il risultato è stato ulteriormente moltiplicato per 1,2 per tener conto del costo energetico di trasporto e distribuzione del combustibile (Pellizzi, 1992). Il risultato rappresenta l'energia diretta impegnata per la produzione di cippato e costituita dal combustibile. L'energia indiretta relativa alla produzione e manutenzione delle macchine invece è stata stimata pari al 30% del totale degli input energetici (Mikkola e Ahokas, 2010), e calcolata moltiplicando il valore dell'energia diretta per 0,44.

Sommando i due valori (in-out energetici diretti e indiretti) si arriva ad un totale di 117 MJ a Mg per i cantieri industriali e 210 MJ/t per quelli semi-industriali. Poiché il consumo di combustibile a Mg è maggiore nei cantieri semi-industriali, anche l'energia totale consumata è maggiore.

Per quanto concerne invece gli output energetici, si è considerato che il contenuto energetico del legno anidro è pari a 18.000 MJ/t. Se si considera però un materiale con il 40% occorrerà tener conto del minor contenuto di sostanza secca e del calore latente di evaporazione dell'acqua contenuta al suo interno. Poiché solo il 60% del prodotto sarà costituito da legno anidro, il contenuto energetico scende a  $18.000 \cdot 0,6 = 10800$  MJ/t. Inoltre, l'evaporazione dell'acqua contenuta nel materiale cippato comporta una ulteriore perdita di  $2440 \cdot 0,40 = 976$  MJ/t. Pertanto il valore energetico di 1 Mg di cippato al 40 % di tenore idrico è pari a 9824 MJ.

Per il rilievo delle polveri di legno si è utilizzato un selettore attivo SKC *Button Sampler*, collegato mediante un tubo trasparente e flessibile ad una pompa Gilian 5000 (fig. 29). Si tratta di una pompa particolarmente leggera e compatta (larghezza 79 mm, altezza 125 mm, spessore 50 mm e un peso di 580 g) che può essere fissata alla cintura dell'operatore ed indossata durante il lavoro, senza creare eccessivo intralcio. Il selettore deve essere posizionato a circa 10 cm dal viso dell'operatore, a destra o a sinistra se egli è mancino.



**Fig. 29: la pompa Gilian 5000 provvista di selettore attivo SKC Button Sampler**

La pompa è robusta ed in grado di resistere a condizioni ambientali difficili. Funziona con una batteria ricaricabile con un'autonomia di oltre 4 ore. La pompa, collegata al selettore per il campionamento delle frazioni polverose inalabili è tarata sulla portata di 4 litri al minuto. Il display della pompa fornisce numerose informazioni, inclusi i minuti di funzionamento, la quantità di aria aspirata e lo stato della batteria.

Il selettore è in acciaio ed è dotato di uno schermo protettivo con micro-fori conici. Questa particolare forma evita che vengano aspirate particelle-proiettile che non sono inalabili e la cui presenza sulla membrana di campionamento finirebbe per falsare le misure.



All'interno del selettore è posta una membrana in fibra di vetro, che intercetta l'eventuale polvere di legno aspirata dalla pompa attraverso i microfori del selettore. Tutte le membrane sono state pesate in laboratorio prima della prova, poste in contenitori numerati e collocate nel selettore solo al momento del rilievo. Al termine della prova, le membrane sono state rimosse, poste nei rispettivi contenitori e conservate in un ambiente asciutto fino all'invio in laboratorio per la nuova pesatura. Le membrane venivano maneggiate con apposite pinzette a punta. Durante il trasporto i contenitori con le membrane erano posti in scatole di opportune dimensioni e foderate con ulteriore carta per minimizzare gli spostamenti e veniva prestata particolare attenzione nella guida per evitare sollecitazioni e movimenti bruschi.

Al termine di un campionamento e prima di quello successivo, la pompa veniva ricalibrata con un flussimetro di riferimento, per correggere eventuali riduzioni delle prestazioni e mantenere sempre la portata effettiva di 4 L/min.

In laboratorio l'analisi gravimetrica è stata eseguita pesando nuovamente il filtro con una bilancia elettronica di precisione, capace di misurare i microgrammi. Prima della nuova pesatura, il personale di laboratorio aveva cura di ricondizionare tutti i campioni, riportando umidità e temperatura alle stesse condizioni standard mantenuta per la prima pesatura.

La bilancia trasmetteva a un computer il peso del campione, e questo effettuava un primo confronto tra le due pesate (iniziale e dopo il campionamento). Il risultato è stato corretto usando la media delle pesate di 3 membrane bianche non utilizzate. Questo passaggio ha consentito di aumentare l'accuratezza della pesata.

La differenza delle pesate non è altro che il quantitativo grezzo di polveri presente sul campione, successivamente riferito al volume di aria aspirata mediante la seguente formula:

$$C = (P2-P1)/V \text{ (mg/m}^3\text{)}$$

C = concentrazione della polvere

P2-P1= differenza del peso del filtro dopo (P2) e prima (P1) del campionamento (mg)

V= volume d'aria campionato in m<sup>3</sup>. Tale volume deriva da TF dove T= tempo di campionamento in minuti e F=flusso effettivo di campionamento in L/min

Durante il campionamento venivano misurate anche la temperatura, la pressione e l'umidità nella zona di lavoro (dentro la cabina e ambientale, se la macchina era dotata di cabina) a inizio e fine lavori.

Ai fini del rilievo la posizione delle pompe variava in relazione alla tipologia di cantiere:

- nei cantieri di tipo industriale il selettore veniva fatto indossare all'operatore che operava in cabina e un secondo selettore veniva posto all'esterno della cabina, in una zona in cui avrebbe stazionato l'operatore se non avesse lavorato all'interno della cabina. Questo serviva a quantificare la protezione offerta dalla cabina in termini di riduzione all'esposizione a polveri di legno inalabili.
- nei cantieri semi-industriali, tutti gli operatori coinvolti nella cippatura indossavano i selettori. Nel foglio di rilievo inoltre sono state annotate le rispettive mansioni e il posizionamento rispetto alla cippatrice, così da

potere verificare se l'esposizione variava con la specifica mansione svolta.

Durante il campionamento in cantiere, le pompe venivano controllate periodicamente per verificarne il loro corretto funzionamento, che i tubi non presentassero strozzature. Inoltre veniva monitorato il corretto posizionamento del selettore, specialmente nei cantieri semi-industriali visto il maggior movimento degli operatori.

## 7 Risultati e discussione

### 7.1 Confronto delle due tipologie di cantiere

I rilievi effettuati hanno fornito informazioni importanti sulle differenze tra le due tipologie di cantiere, in particolare per quanto riguarda la produttività delle cippatrici utilizzate, il costo di lavorazione e l'esposizione alla polvere degli operatori.

Le figure 30 e 31 mostrano che la sequenza di lavorazione è molto simile per i due tipi di cantiere: l'incidenza delle singole fasi è analoga, il che suggerisce che la differenza sia solamente nelle dimensioni delle macchine, ma non nelle modalità operative (tab. 15).

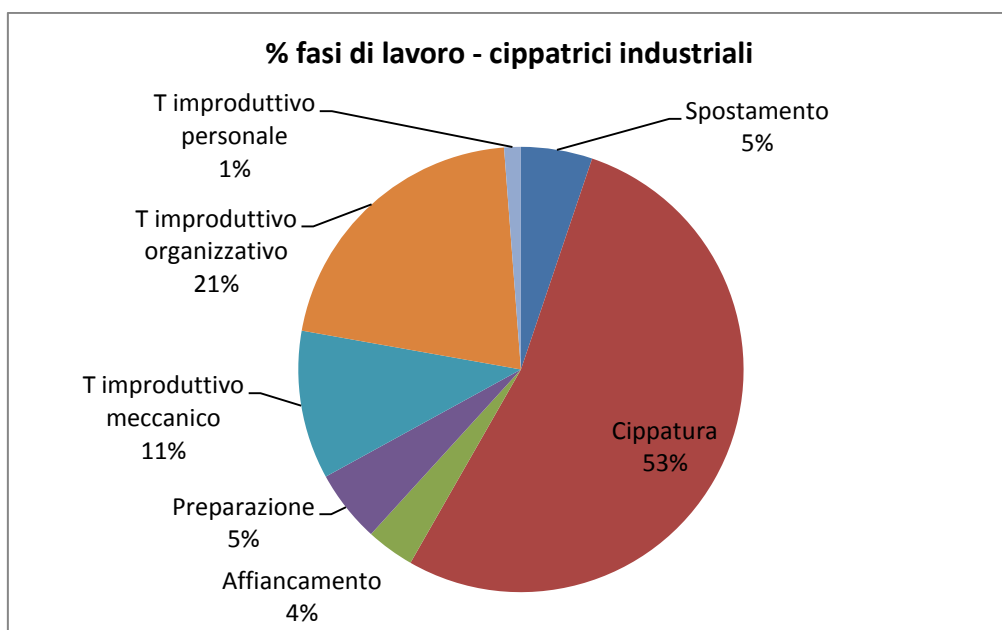
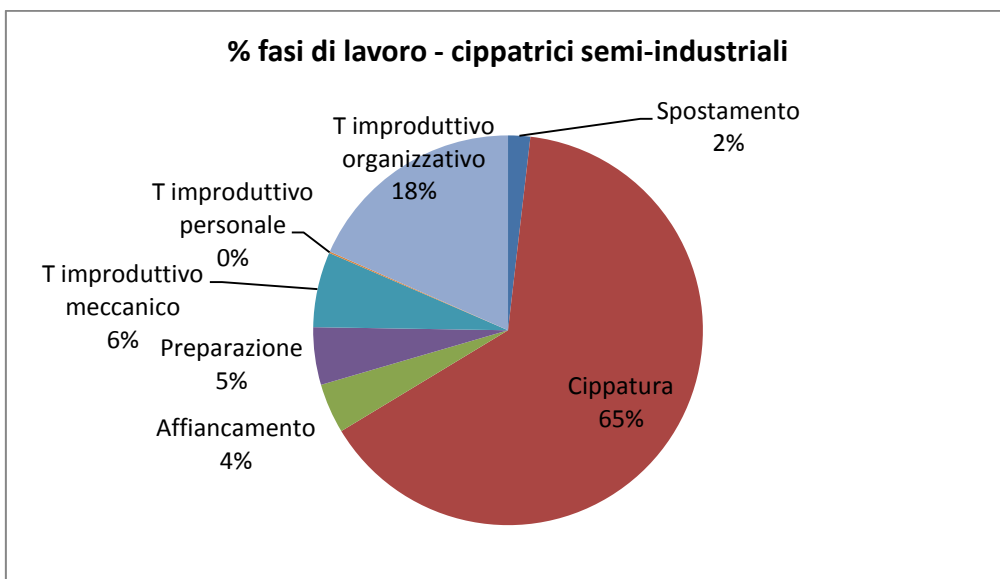


Fig. 30: incidenza percentuale delle diverse fasi di lavoro nei cantieri industriali



**Fig. 31: incidenza percentuale delle diverse fasi di lavoro nei cantieri semi-industriali**

**Tab. 15: tempo di lavoro totale e medio per cantiere, distinto per fase di lavoro e per tipologia di cantiere (espresso in secondi sessagesimali)**

Fasi di lavoro	Cantieri industriali		Cantieri semi-industriali	
	Totali	Media per cantiere	Totali	Media per cantiere
Spostamento	12917	1291,7	1929	321,5
Cippatura	132199	13219,9	67784	11297,3
Affiancamento	8705	870,5	4348	724,7
Preparazione	13081	1308,1	5015	835,8
T improduttivo meccanico	26866	2686,6	6559	1093,2
T improduttivo personale	52289	5228,9	132	22,0
T improduttivo organizzativo	3017	301,7	19312	3218,7

Confrontando i due sistemi si nota che l'incidenza percentuale del tempo necessario per l'affiancamento dei mezzi e la preparazione è esattamente la stessa.

In effetti, la fase di preparazione non differisce tra le due tipologie di cantiere: è necessario circa lo stesso tempo per riscaldare il motore e i circuiti idraulici e per avviare e mettere a regime il cantiere.

Analoga anche l'incidenza del tempo necessario per l'affiancamento dei mezzi destinati a ricevere il cippato. Gli autocarri pesanti usati nei cantieri industriali e i rimorchi agricoli impiegati in quelli semi-industriali hanno diverse capacità (circa 90 m<sup>3</sup> gli autocarri e circa 15 m<sup>3</sup> i rimorchi) e mobilità, ma queste sono adeguate alle produttività riscontrate nei due tipi diversi di cantiere. Pertanto, la frequenza degli affiancamenti è simile, e la mobilità dei mezzi è adeguata al tipo di piazzale, che generalmente è più ampio e meglio situato nei cantieri di tipo industriale.

Dall'analisi delle fasi di lavoro emerge che nei cantieri di tipo industriale la cippatura occupa in media il 53% del tempo totale, tempi improduttivi inclusi e nei cantieri di tipo semi-industriale invece incide per il 65% del tempo totale. La maggiore incidenza del tempo di cippatura nei cantieri semi-industriali è determinata da una minore frequenza degli spostamenti e dal minor tempo improduttivo meccanico ed organizzativo.

La maggiore produttività delle cippatrici industriali comporta un esaurimento più rapido delle cataste di legname da cippare e una conseguente maggior frequenza degli spostamenti lungo le cataste o tra più cataste successive.

L'incidenza dei tempi improduttivi meccanici è maggiore nei cantieri industriali rispetto ai cantieri semi-industriali. Questo perché le cippatrici industriali sono generalmente più sollecitate e soprattutto perché i tempi improduttivi meccanici comprendono anche la sostituzione delle lame.

In media, queste vengono cambiate dopo aver cippato 200-300 Mg di legname, a seconda del tipo di materiale e del livello di contaminazione (Spinelli e Hartsough, 2001). Di conseguenza, una cippatrice industriale che produce 28 Mg all'ora cambierà i coltelli ogni 10 ore di lavoro circa, mentre una cippatrice semi-industriale che ne produce solo 7 richiederà una sostituzione dopo 40 ore di cippatura.

L'usura dei coltelli comporta anche una riduzione importante nella produttività delle cippatrici e un significativo aumento nel consumo di carburante (Nati et al., 2010). Considerando questi due fattori, si evince che è opportuno cercare un giusto compromesso tra la durata utile delle lame e il consumo di combustibile.

Inoltre coltelli consumati producono una maggiore quantità di pezzi sovramisura (scaglie lunghe più di 63 mm) e questo potrebbe costituire un problema per gli impianti di riscaldamento di piccole dimensioni, muniti di condotti di alimentazione relativamente stretti (Nati et al, 2010).

Altri tempi improduttivi meccanici sono legati a problemi con il materiale in entrata, tipico delle cippatrici semi-industriali che a volte fanno fatica a “digerire” tronchi al limite delle loro capacità. Nelle cippatrici industriali invece i problemi sono legati più spesso ad occasionali intasamenti del sistema di espulsione.

L'incidenza dei tempi improduttivi organizzativi è analoga per le due tipologie di cantiere. Identica è anche la causa principale, che consiste nell'attesa dei mezzi di trasporto destinati a ricevere il cippato. Il fermo macchina per l'attesa dei mezzi è un problema logistico, legato al numero di veicoli disponibili e alla distanza tra il piazzale di lavorazione e l'impianto di conferimento. Nei cantieri di tipo industriale inclusi in questo studio, il trasporto generalmente è stato affidato a terzi, e non sempre il numero di mezzi è risultato sufficiente. Inoltre in un paio di cantieri il tempo di ritorno degli autocarri è stato prolungato dalla chiusura momentanea dell'impianto di conferimento per la pausa pranzo.

Nei cantieri di tipo semi-industriale, il conferimento spesso è gestito direttamente dal proprietario della cippatrice. Tuttavia, anche in queste realtà imprenditoriali non sempre è disponibile un numero sufficiente di mezzi e di personale. A tale scopo possiamo prendere ad esempio i cantieri 6 e 16, condotti dalla stessa impresa. Nel cantiere 6 l'imprenditore non era riuscito a mettere in campo entrambi i rimorchi di cui disponeva, e pertanto era presente un solo mezzo per il trasporto del cippato. In tal caso, i tempi organizzativi

derivati dall'attesa del rimorchio sono arrivati al 27%. Per contro, nel cantiere 16 lo stesso imprenditore è stato in grado di utilizzare due rimorchi per il trasporto del cippato, e i tempi improduttivi organizzativi sono stati pressoché nulli.

Nei cantieri industriali è necessario del tempo per il coordinamento delle operazioni, e in particolare per le comunicazioni tra il proprietario del materiale da cippare, l'operatore della cippatrice e i trasportatori. Inoltre l'operatore della cippatrice deve prendere visione della posizione delle catoste, della loro struttura e dell'eventuale contaminazione del materiale con sassi, terra, ecc.

Nei cantieri semi-industriali invece l'operatore è spesso anche il proprietario del materiale e in genere ha maggiore familiarità con il sito e con il materiale da cippare. Da qui il minor tempo necessario per il coordinamento delle operazioni. In linea generale comunque i tempi improduttivi organizzativi rappresentano circa due terzi del tempo improduttivo totale, e questo numero trova riscontro anche in studi precedenti (Spinelli e Visser, 2009).

Pertanto, il successo economico della cippatura dipende in buona parte anche da una buona logistica. Quando è difficile coordinare un tempestivo avvicendamento dei mezzi di trasporto, si può optare per il rilascio di container in cantiere (Talbot e Suadicani, 2006), o per scaricare a terra il materiale e ricaricarlo successivamente con una pala (Marchi et al., 2011). In alternativa, si possono utilizzare cippatrici dotate di un proprio container, che funge da buffer e consente di lavorare durante l'attesa (Marchi et al., 2005).

In entrambe le tipologie i tempi improduttivi per necessità del personale sono quasi inesistenti, anche perché la maggior parte degli operatori si riposa durante le eventuali attese. Inoltre i contoterzisti industriali sono pagati in base alla produzione e hanno interesse a ridurre le pause al minimo indispensabile.



## 7.2 Produttività e costi

La tabella 16 riporta la produttività riscontrata per le due tipologie di cantiere. Questa è riferita al solo tempo di cippatura, al tempo netto di lavorazione (tutte le operazioni produttive, esclusi i tempi improduttivi) e al tempo lordo di presenza sul cantiere, inclusivo dei tempi improduttivi.

Le cippatrici industriali hanno prodotto in media 28 Mg tal quali per ora di pura cippatura, esclusi i tempi improduttivi e gli altri tempi produttivi (es. spostamento, affiancamento dei rimorchi). Questo valore scende a 5 per le cippatrici semi-industriali (fig 32). In termini di produttività media oraria, quindi il modello industriale è risultato cinque volte più produttivo di quello semi-industriale. Lo stesso risultato vale per la produttività media riferita al solo tempo produttivo e al tempo totale, tempo improduttivo compreso (fig 33).

Questo rapporto si abbassa a circa 4 quando si passa ad analizzare le produttività minime, ma torna a 5 quando si analizzano le produttività massime.

**Tab. 16: produttività delle cippatrici industriali e semi-industriali**

	Mg/ora (sola cippatura)		Mg/ora (esclusi tempi improduttivi)		Mg/ora (tempi improduttivi compresi)	
	Industriale	Semi-industriale	Industriale	Semi-industriale	Industriale	Semi-industriale
Produttività media	28,297	5,476	25,07	4,949	19,842	3,766
Produttività minima	12,728	2,86	8,232	2,374	4,188	1,067
Produttività massima	52,243	10,959	46,225	9,152	41,973	8,433
dev Standard	10,225	2,292	10,465	2,089	10,973	1,595

Poiché i dati di produttività seguivano una distribuzione normale, si è impiegato un semplice t-test non appaiato per verificare la significatività statistica delle differenze produttive tra i due tipi di cantiere. Il test ha confermato che la differenza tra le produttività medie riscontrate per le due tipologie di cantiere

difficilmente è dovuta al caso ( $p < 0,0001$ ), dimostrandone la significatività statistica. Questo vale sia quando si escludono i tempi improduttivi dal calcolo della produttività, che quando essi sono inclusi.

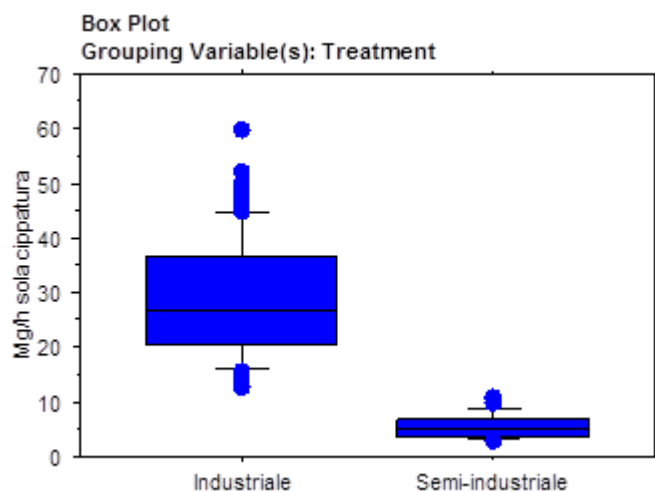


Fig. 32: box-plot per la produttività di sola cippatura

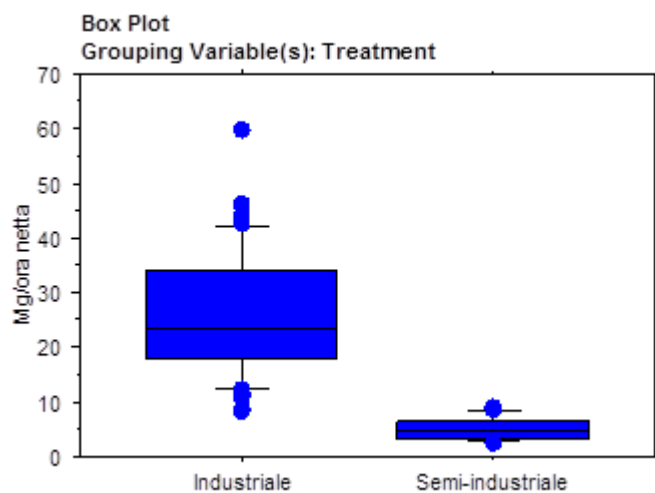


Fig. 33: box-plot per la produttività netta, esclusi i tempi improduttivi

La cippatrice industriale ha un costo orario maggiore rispetto alla cippatrice semi-industriale ma, avendo una produttività quadrupla, alla fine offre un costo di lavorazione dimezzato.

La produttività e il costo della cippatura cambiano con le specifiche condizioni tecniche delle due tipologie di cantiere, ed è importante definire come produrre il cippato al minor costo possibile. Pertanto, si sono messi a confronto i costi di lavorazione dei due cantieri attraverso un test comparativo. A tale scopo si sono considerate le produttività orarie nette, esclusi i tempi improduttivi. Secondo quanto riportato in tabella 16 queste sono uguali a 4,9 e 25.1 Mg all'ora rispettivamente per i cantieri semi-industriali, e per quelli industriali.

Nel caso dei cantieri semi-industriali dove la cippatrice è azionata da un trattore agricolo, si è ipotizzato che il trattore e la gru siano utilizzati almeno 800 ore l'anno, anche nei casi in cui la cippatrice è utilizzata un minor numero di ore, visto che trattore e gru a bracci idraulici e possono essere impiegati anche in lavori diversi dalla cippatura. Quindi si è analizzata la variazione dei costi orari e unitari di cippatura in funzione del livello di utilizzazione annuale. Ciò ha permesso anche di individuare l'eventuale punto di indifferenza, oltre il quale conviene impiegare un cantiere industriale.

La figura 34 evidenzia come il costo unitario di lavorazione decresca con l'aumentare del monte ore annuo.

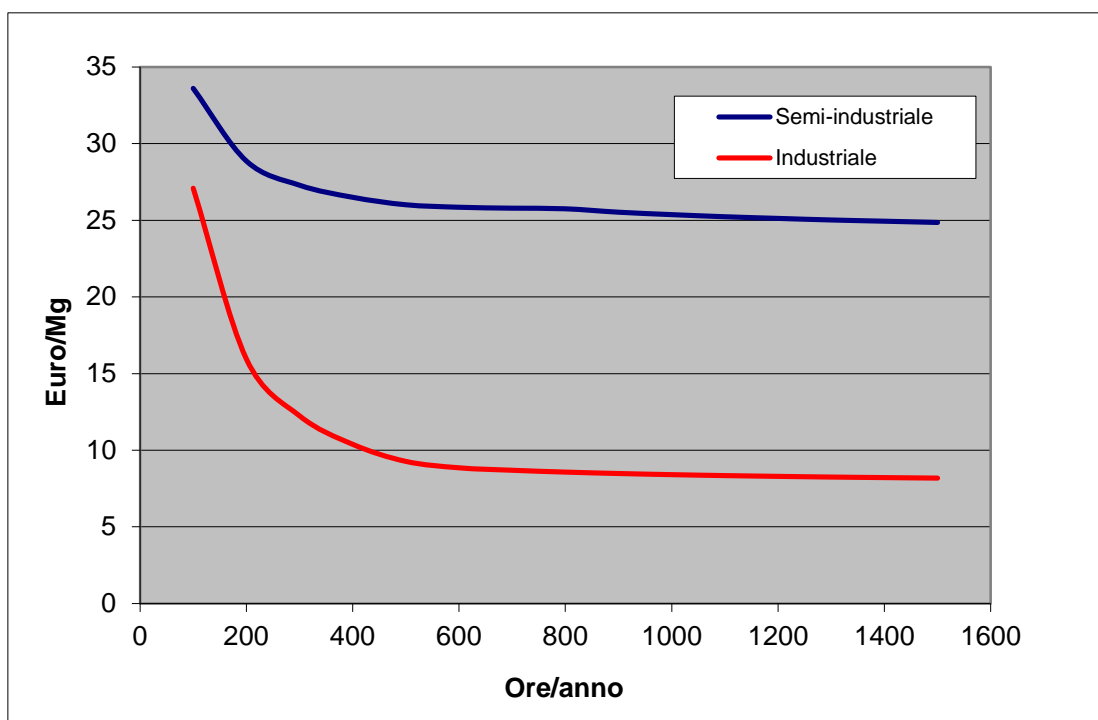


Fig. 34: relazione tra il costo unitario di lavorazione e il monte ore annuo

Ad esempio si può notare che lavorando solo 100 ore per anno, il costo unitario di cippatura è pari a 34 e 27 euro a Mg, rispettivamente per il cantiere semi-industriale e per quello industriale. Lo scarto tra le due tipologie di cantiere aumenta con il monte ore annuo. Quando questo raggiunge le 1.500 ore, il costo unitario ottenuto con la cippatura industriale è tre volte minore rispetto a quello ottenibile con un cantiere semi-industriale.

Le rispettive curve di costo iniziano a stabilizzarsi per un monte ore annuo pari a 400 e 700 ore, rispettivamente per le cippatrici semi-industriali e per quelle industriali.

Dall'analisi della produttività oraria e ipotizzando un utilizzo massimo annuo di 1.500 ore, la cippatrice semi-industriale applicata al trattore arriva ad una produzione annua di 7.410 Mg, mentre quella industriale riesce a produrre 37.605 Mg (tab. 17). Questi sono i quantitativi annuali massimi ottenibili dalle due diverse tipologie di cantiere. Qualora si debbano cippare quantitativi

superiori a 7.000 Mg annui, il cantiere semi-industriale non ha la capacità tecnica di condurre il lavoro, ed occorre ricorrere ad un cantiere industriale.

**Tab. 17: produzione annua in Mg ottenibili per diversi livelli di meccanizzazione e utilizzazione annua della cippatrice (espressa in ore)**

ore/anno	Cantiere semi-industriale (Mg/anno)	Cantiere industriale (Mg/anno)
100	494	2507
200	988	5014
300	1482	7521
400	1976	10028
500	2470	12535
600	2964	15042
700	3458	17549
800	3952	20056
900	4446	22563
1000	4940	25070
1100	5434	27577
1200	5928	30084
1300	6422	32591
1400	6916	35098
1500	7410	37605

Esaminando la figura 35 si nota che il costo unitario di cippatura decresce rapidamente con il volume di lavoro annuo, fino a che questo raggiunge i 2.000 Mg all'anno per i cantieri semi-industriali e 10.000 Mg per quelli industriali.

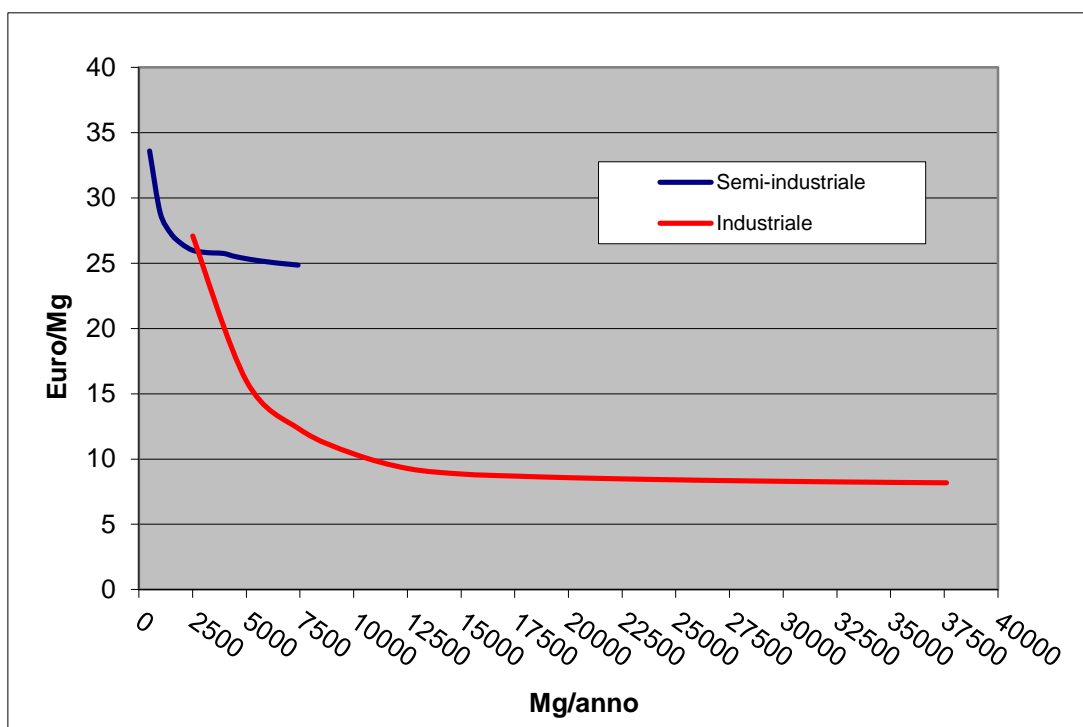


Fig. 35: costo unitario di cippatura in funzione del volume di lavoro annuo

Superati questi quantitativi, il costo unitario di cippatura decresce molto più lentamente, per stabilizzarsi una volta passate i 5.000 Mg annui per i cantieri semi-industriali e i 22.000 Mg annui per quelli industriali.

La figura 35 evidenzia anche come i cantieri industriali offrano un costo unitario di lavorazione inferiore rispetto a quelli semi-industriali quando la produzione annua superi i 3.000 Mg.

Le imprese che lavorano volumi inferiori ai 3.000 Mg annui dovrebbero impiegare cantieri semi-industriali.

Quanto sopra vale nel caso in cui entrambe le tipologie utilizzino gasolio industriale acquistato a prezzo pieno, senza ottenere speciali agevolazioni.

Il costo del gasolio industriale infatti è composto dal puro costo di produzione e distribuzione, da una quota di tasse denominate accise e dall'IVA imposta sia sul costo di produzione e distribuzione che sulle accise. Complessivamente, le

varie tasse gravanti sul gasolio per uso industriale (accise e IVA) rappresentano circa il 65% del prezzo al distributore.

Tuttavia è possibile recuperare parte di queste tasse se l'impresa produce reddito agricolo. Il taglio del bosco è incluso tra queste attività, e pertanto un imprenditore che sia proprietario del legname o che lavori per il proprietario può usare gasolio agricolo con accise ridotte al 22% del totale. Per chi non può accedere al gasolio agricolo, resta la possibilità di impiegare gasolio defiscalizzato per la produzione di forza motrice, con accise ridotte al 30%

In questo studio si è considerato un prezzo del combustibile non defiscalizzato pari a 1,5 euro al litro. In tal caso, il costo del gasolio incide sul costo totale di esercizio per il 19% nei cantieri semi-industriali e per il 31% in quelli industriali (tab. 18). Se si considera invece l'impiego di gasolio defiscalizzato, l'incidenza del costo del gasolio sul costo totale scende al 13% nel primo caso e al 24% nel secondo. Il costo del gasolio incide molto di meno sul cantiere semi-industriale non tanto per il minor consumo, ma soprattutto per l'elevata incidenza del costo della manodopera.

**Tab. 18: incidenza dei costi di gasolio e della maodopera sul costo totale di esercizio**

Incidenza del costo del gasolio e della manodopera		Costo del gasolio	
		Pieno	Defiscalizzato
Gasolio	Cantiere semi-industriale	18,9%	13,2%
	Cantiere industriale	31,4%	24,4%
Manodopera	Cantiere semi-industriale	40,9%	45,1%
	Cantiere industriale	12,1%	14,1%

Ipotizzando il caso di un cantiere semi-industriale che utilizzi gasolio agricolo e di un cantiere industriale costretto invece ad usare gasolio a prezzo pieno, si nota che il divario dei costi di produzione del cippato tra le due tipologie di cantiere diminuisce (fig. 36 e 37), nonostante il cantiere industriale rimanga comunque il più conveniente. Lavorando 1.500 ore annue, l'impiego di gasolio agricolo consente un risparmio di 2 euro a Mg.

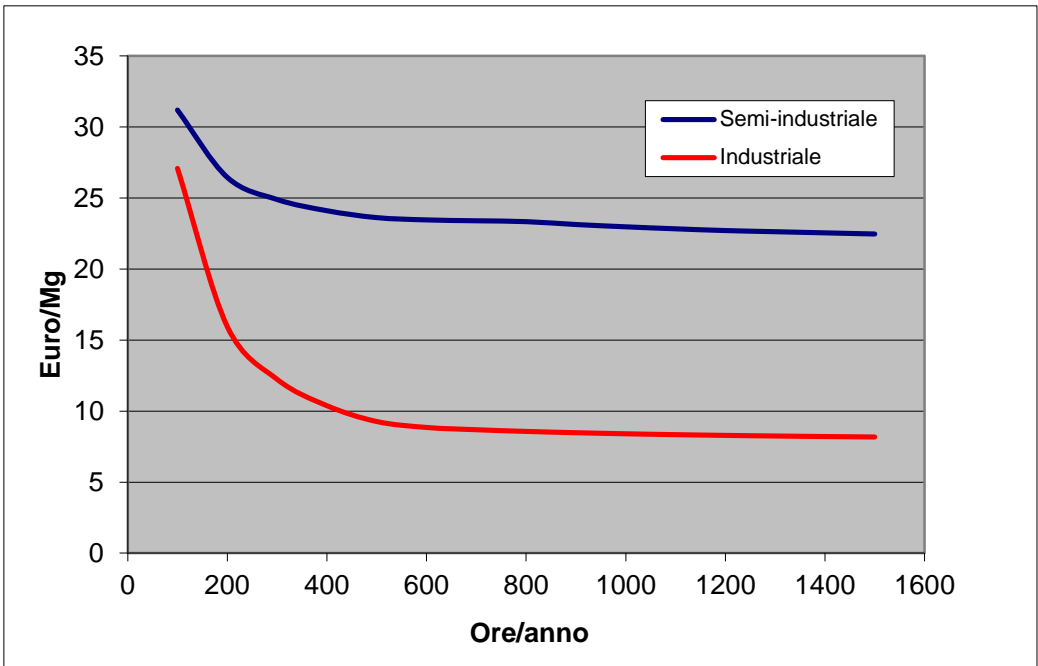


Fig. 36: costo unitario di lavorazione in funzione dell'impiego annuale delle macchine, per il caso in cui il cantiere semi-industriale impieghi gasolio agricolo mentre quello industriale sia costretto ad acquistare gasolio a prezzo pieno

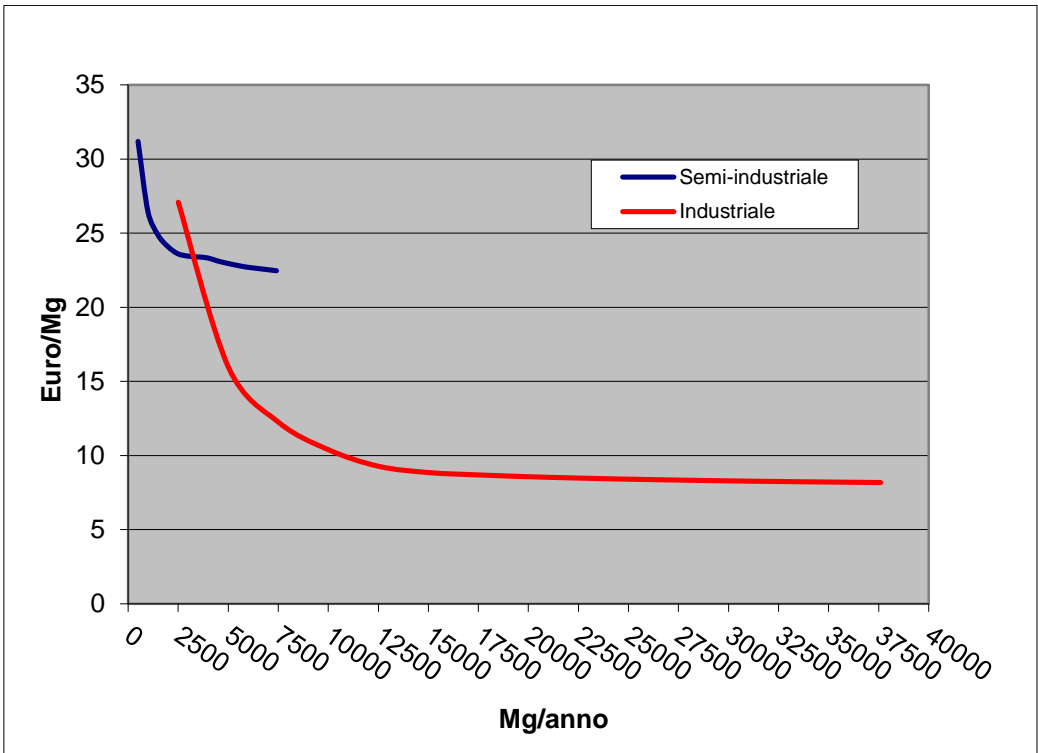
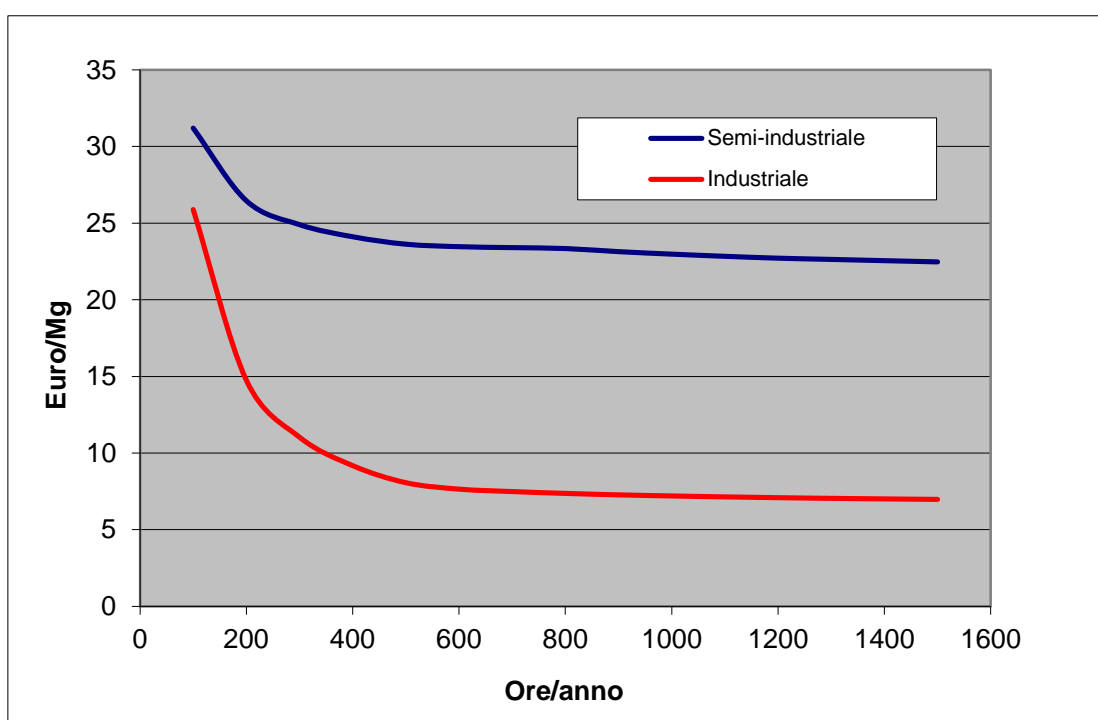


Fig. 37: costo unitario di lavorazione in funzione della produzione annuale per il caso in cui il cantiere semi-industriale possa impiegare gasolio agricolo mentre quello industriale sia costretto ad acquistare gasolio a prezzo pieno



Infine le figure 38 e 39 ipotizzano un *best-case scenario*, in cui entrambe le cippatrici sono ammesse all'impiego di gasolio defiscalizzato, per uso agricolo nel caso della cippatrice semi-industriale e per uso come forza motrice nel caso della cippatrice industriale. Prendendo come riferimento il tetto delle 1500 ore annue si nota che utilizzando il gasolio defiscalizzato il costo unitario di lavorazione passa da 25 a 22 euro a Mg nel caso della cippatrice semi-industriale e da 8 a 7 euro a Mg in quello della cippatrice industriale.



**Fig. 38:** costo unitario di lavorazione in funzione dell'impiego annuale delle macchine per il caso in cui tutti i cantieri impieghino gasolio defiscalizzato

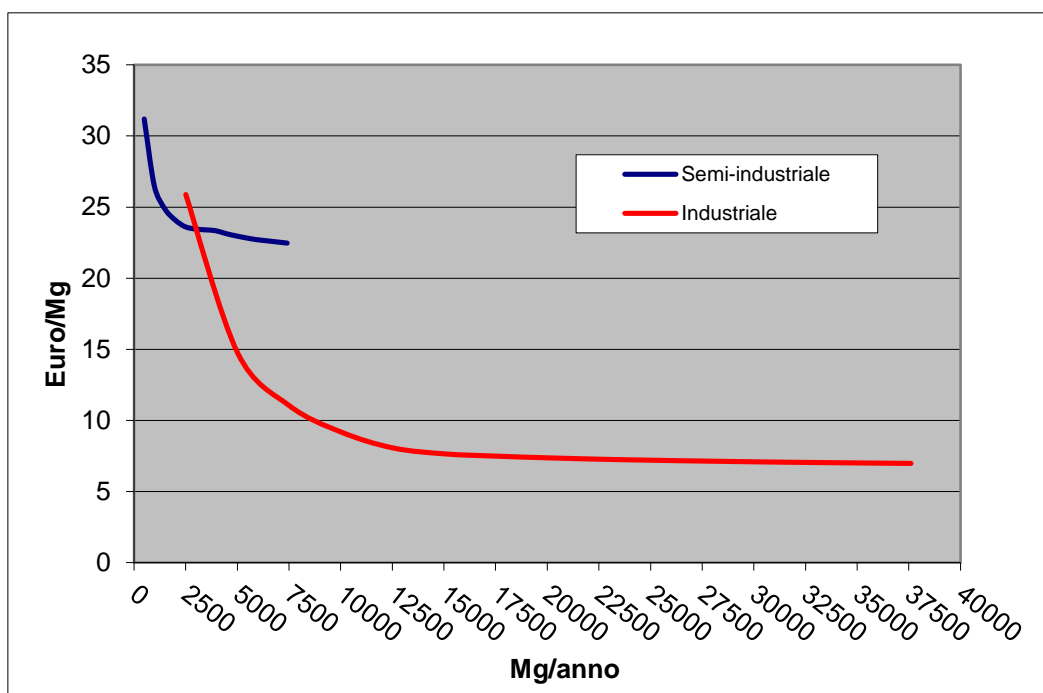


Fig. 39: costo unitario di lavorazione in funzione della produzione annuale per il caso in cui entrambi i cantieri impiegano gasolio defiscalizzato

### 7.3 Consumo del combustibile

Anche i dati relativi al consumo del combustibile sono stati sottoposti ad analisi statistica con test non parametrici (tab. 19).

Considerando il consumo medio di gasolio in litri all'ora, la cippatrice industriale consuma più del doppio rispetto alla cippatrice semi-industriale (fig. 40)

Questo risultato ovviamente è legato alle diverse potenze dei motori: un motore potente necessita di un maggior quantitativo di combustibile per ora di funzionamento. Tuttavia, il maggior consumo della cippatrice industriale va considerato in rapporto alla maggiore produttività oraria.

Infatti, il consumo specifico per Mg di prodotto è molto minore per la cippatrice industriale, che consuma in media quasi la metà di quella semi-industriale (fig.41).

Poiché i dati relativi al consumo di gasolio non seguivano una distribuzione normale, si è impiegato il test non parametrico di Mann-Whitney per verificare la significatività statistica delle differenze tra i due tipi di cantiere. Il test ha confermato che la differenza tra il consumo di gasolio riscontrata per le due tipologie di cantiere difficilmente è dovuta al caso ( $p < 0,0001$ ), dimostrandone la significatività statistica. Questo vale sia per il consumo orario che per quello specifico (L a Mg).

**Tab. 19: consumi di combustibile**

	gasolio litri/ora		gasolio litri/Mg	
	Industriale	Semi-industriale	Industriale	Semi-industriale
Consumo medio	44,921	16,283	2,02	3,632
Consumo minimo	21,192	5,7	1,422	1,503
Consumo massimo	69,333	24	3,073	6,823
dev Standard	8,932	5,942	0,385	1,608

I dati registrati nello studio sono in linea con quelli riportati in bibliografia.

In particolare, Van Belle (2006) riporta un consumo medio orario di 17 litri (range tra 4.3 e 22.1) per la cippatrice Farmi 260, che è la più rappresentata nei cantieri semi-industriali oggetto di questo studio.

Timmons e Mejia (2010) riportano che il consumo di combustibile di una cippatrice che utilizza materiale da bosco si aggira in media su 1.67 L/Mg. Tale valore è leggermente inferiore a quanto misurato nei cantieri industriali inclusi in questo studio, ma entro il range coperto dai nostri dati.

Westbrook et al. (2007) hanno registrato un consumo medio a Mg compreso tra 1,28 e 1,74 litri per una cippatrice industriale da 193 kW. Considerato che nel calcolo non è compreso il combustibile impiegato dalla gru a bracci idraulici, il risultato è del tutto analogo a quello ottenuto qui per i cantieri industriali.

Gingerich e Hendrickson (1993) riportano un consumo di 1.8 L/Mg per una cippatrice industriale da 224 kW.

Negrin (2009) nei cantieri già citati nel paragrafo precedente ha misurato un consumo medio di 2,6 litri a Mg (range tra 1,9 e 3,3 litri), che è molto vicino a quanto registrato nei cantieri industriali oggetto del presente studio.

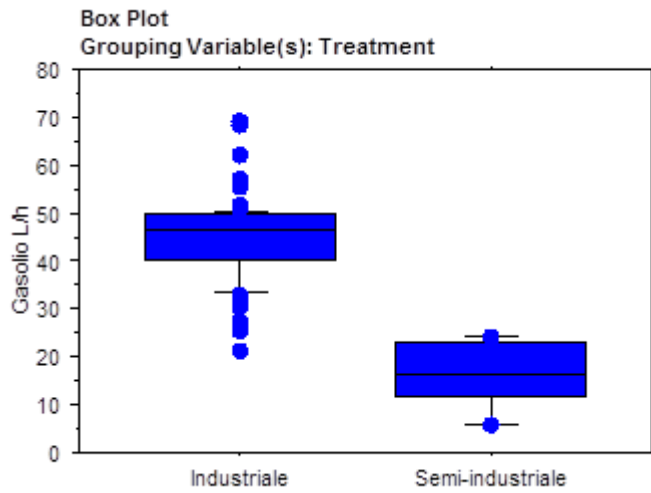


Fig. 40: consumi di combustibile delle due tipologie di cippatrici espressi in litri all'ora

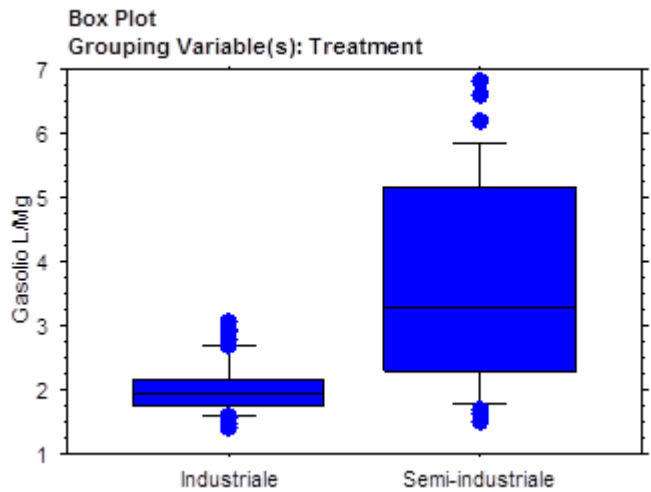


Fig. 41: consumi di combustibile delle due tipologie di cippatrici espressi in litri al Mg

### 7.3 Bilancio energetico

La convenienza dei due sistemi può essere considerata anche sotto il profilo del bilancio energetico, cioè il rapporto tra output e input energetici.

Per il calcolo degli input e degli output energetici si sono considerate le formule descritte nel capitolo precedente, che tenevano conto del contenuto energetico del gasolio, di costi di trasporto e distribuzione del combustibile, dell'energia utilizzata per la costruzione e il mantenimento delle macchine e il valore energetico di un Mg di cippato

Il bilancio tra output e input energetici, è pari a 84:1 per il cantiere industriale e a 47:1 per quello semi-industriale 5 (tab. 20).

La cippatrice industriale offre un miglior bilancio energetico rispetto a quella semi-industriale. Pertanto, utilizzando un cantiere industriale è possibile incrementare l'efficienza energetica del cantiere.

**Tab. 20: bilancio energetico per le due tipologie di cantiere**

	Cantiere Industriale	Cantiere Semi-industriale	Unità di misura
<b>Input energetici diretti</b>			
Consumo combustibile	2,02	3,64	L/Mg
Contenuto energetico del combustibile	37	37	MJ L
Energia indiretta nel combustibile	1,2	1,2	Fattore
Contenuto energetico totale del combustibile	44,4	44,4	Totale MJ L
Totale input diretti	90	162	MJ Mg
<b>Input energetici indiretti</b>			
Produzione, R&M = 30 % del totale	27	48	MJ Mg
Totale input energetici	117	210	Mj Mg
Output energetici	9824	9824	MJ Mg
<b>Bilancio energetico (Output/Input)</b>	<b>84,3</b>	<b>46,8</b>	MJ Mg

## 7.4 Caratteristiche del prodotto

La tabella 21 riporta il tenore idrico calcolato su base fresca per il cippato prodotto nei diversi cantieri di prova. Il tenore idrico massimo è pari al 62%, e il minimo al 24.6%. Il tenore idrico medio si attesta sul 38.7% ed è nettamente inferiore al valore del 50% generalmente riportato per il legname fresco, appena tagliato (Asikainen e Pulkkinen, 1998, Mitchell e Gallagher, 2007). Questo sembra indicare che oggi i produttori di cippato sono particolarmente attenti al tenore idrico del prodotto, che cercano di ridurre attraverso la stagionatura.

Tab. 21: tenore idrico del cippato misurato nei diversi cantieri

Cantiere	Tipologia	Materiale	Tenore idrico %
1	Industriale	Conifera	51,2
2	Industriale	Conifera	48,6
3	Industriale	Latifoglia	62
4	Industriale	Latifoglia	30,9
5	semi-industriale	Conifera	49,2
6	semi-industriale	Latifoglia	42,1
7	semi-industriale	Latifoglia	36,4
8	semi-industriale	Latifoglia	31,3
9	semi-industriale	Latifoglia	24,6
10	Industriale	Latifoglia	34,9
11	Industriale	Latifoglia	36,7
12	Industriale	Conifera	30,2
13	Industriale	Conifera	37,4
14	Industriale	Latifoglia	32,2
15	Industriale	Conifera	45,6
16	semi-industriale	Latifoglia	25,6

Tale tendenza può dipendere dal fatto che ormai molti impianti alimentati a biomassa pagano il prodotto a prezzi variabili, in base al tenore idrico. Ciò vale soprattutto per i piccoli impianti, normalmente approvvigionati tramite cantieri

semi-industriali. Gli impianti più grandi sono invece più tolleranti, anche perché richiedono quantità molto maggiori, e pertanto sono approvvigionati tramite cantieri industriali.

Queste considerazioni potrebbero spiegare bene la differenza nel tenore idrico medio del prodotto ottenuto dai due tipi di cantiere, pari a 35% e 41% rispettivamente per i cantieri semi-industriali e per quelli industriali (tab. 22). Questa differenza è statisticamente significativa così come quella tra il tenore idrico del cippato ottenuto da conifere e di quello ottenuto da latifoglie, pari rispettivamente a 36% e 44% (tab.23). Incidentalmente, i cantieri di tipo semi-industriale inclusi in questo studio operavano più frequentemente su legname di latifoglie, probabilmente proprio allo scopo di massimizzare la qualità del prodotto, destinato a impianti particolarmente esigenti. Il cippato di latifoglia infatti è molto più apprezzato rispetto a quello di conifera, non solo per il minor tenore idrico ma anche per la minore percentuale di corteccia e per l'assenza di fogliame, visto che il lavoro generalmente è effettuato in inverno.

**Tab. 22: tenore idrico medio distinto per tipologia di cantiere**

Tenore idrico medio %	38,7
T. I. medio cantiere industriale %	41,0
T. I. medio cantiere semi-industriale %	34,9

**Tab. 23: tenore idrico medio distinto per conifere e latifoglie**

Tenore idrico medio conifere %	43,7
Tenore idrico medio latifoglie %	35,7

Per quanto riguarda la pezzatura del cippato, l'analisi granulometrica è stata effettuata sul materiale proveniente da 9 cantieri, 5 industriali e 4 semi-industriali. I risultati complessivi derivanti dall'analisi statistica sono riportati in tabella 24.

**Tab. 24: analisi granulometrica del cippato distinto per le due tipologie di cantiere**

Dimensioni Cippato	Industriale	Semi-industriale	Industriale	Semi-industriale	Industriale	Semi-industriale
	Media		Minimo		Massimo	
>100	0,366	0,060	0	0	1,659	0,151
100-63	1,846	0,454	0	0	6,654	1,180
63-45	28,188	10,415	0,110	0,317	75,118	28,344
45-16	19,190	21,663	2,222	8,060	50,189	39,559
16-3	42,080	58,368	6,476	33,281	85,261	81,933
<3	8,331	9,032	1,656	6,453	15,847	10,494

In tutti i cantieri esaminati, la produzione di particelle sovramisura (lunghezza > 100 mm e 100-63) è stata molto limitata.

Un solo campione del cantiere industriale contiene quasi l'8% in peso di materiale sovramisura mentre per tutti gli altri l'incidenza media della frazione grossolana è di circa 2% per i cantieri industriali e pressoché nulla per quelli semi-industriali.

L'incidenza percentuale della frazione fine è in media tra 8 e il 9% in peso. Questa frazione può causare una combustione irregolare all'interno della caldaia e rappresenta anche una possibile esca per l'incendio, quando si deposita sulle parti calde della cippatrice.

In entrambe le tipologie di cantiere, la maggior parte del cippato prodotto ricade nella classe dimensionale compresa tra 16 e 3 mm, con il 42% per i cantieri industriali e 58% per quelli semi-industriali. Il fatto che per le cippatrici semi-industriali la maggior parte del materiale ricada nella classe 16-3 mm, conferma la tendenza che queste cippatrici conferiscono al cippato in impianti di piccole dimensioni, generalmente molto esigenti per quanto riguarda la pezzatura.



## 7.5 Esposizione alle polveri di legno

La seconda parte della ricerca ha riguardato l'esposizione degli operatori alle polveri di legno. In tale prospettiva si sono confrontate le due tipologie di cantiere e si è valutata la capacità di abbattimento delle polveri delle cabine installate sulle cippatrici industriali incluse nello studio.

Innanzitutto in nessun campione analizzato si sono registrate esposizioni superiori ai limiti di legge previsti dal D.Lgs. 81 del 9 aprile 2008, pari a  $5 \text{ mg/m}^3$  (tab. 25 e fig. 42).

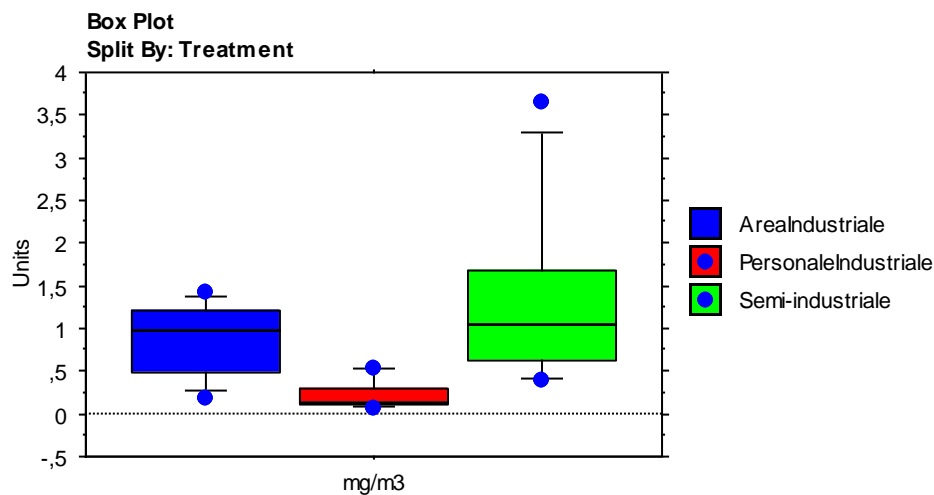


Fig. 42: livelli di esposizione alle polveri di legno degli operatori delle cippatrici industriali e di quelle semi-industriali

**Tab. 25: esposizione media, minima e massima nelle due tipologie di cippatrice e confronto nella cippatrice industriale tra i livelli riscontrati all'interno della cabina (personale) rispetto all'area esterna**

	Industriale esterno	Industriale personale	Semi-industriale
	mg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>
Esposizione media	0,898	0,204	1,354
Esposizione minima	0,19	0,07	0,38
Esposizione massima	1,43	0,50	3,66
dev Standard	0,413	0,14	1,059

Nei cantieri industriali l'esposizione media dell'operatore è risultata pari a 0.204 mg/m<sup>3</sup>, mentre quella in prossimità della sezione di alimentazione della cippatrice è di 0.898 mg/m<sup>3</sup>. Nei valori massimi di esposizione alla polvere di legno si nota una maggiore differenza tra il campionamento personale e quello in prossimità del punto di alimentazione, i cui valori si attestano rispettivamente su 0.5 mg/m<sup>3</sup> e 1.43 mg/m<sup>3</sup>.

Nei cantieri semi-industriali il valore medio di esposizione sale a 1.354 mg/m<sup>3</sup>, quasi quanto il valore massimo riscontrato nei cantieri industriali.

Il valore più alto dello studio è stato osservato proprio in un cantiere semi-industriale e precisamente nel cantiere 16 in cui si cippava materiale secco durante la stagione calda (29 agosto con temperatura compresa tra 23 e 29 °C).

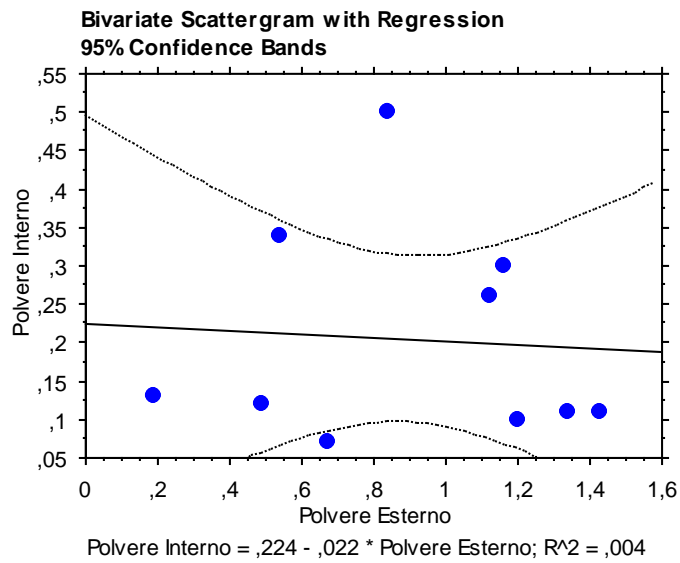
Anche l'esposizione minima alla polvere di legno è maggiore nei cantieri semi-industriali rispetto a quelli industriali, in particolare per quanto riguarda gli operatori stessi. Infatti, nei cantieri semi-industriali i campionatori personali hanno restituito un valore minimo pari a 0.38 mg/m<sup>3</sup>, mentre in quelli industriali si scende a 0.07 mg/m<sup>3</sup>. Inoltre anche il campionamento di area nei cantieri industriali ha misurato un valore di 0.19 mg/m<sup>3</sup>, quasi la metà rispetto a quanto registrato nei cantieri semi-industriali. Il confronto tra le due misurazione è paragonabile visto che i campionatori di area dei cantieri industriali erano posti

nei pressi della sezione di alimentazione della cippatrice, luogo ove operavano gli addetti alle cippatrici semi-industriali.

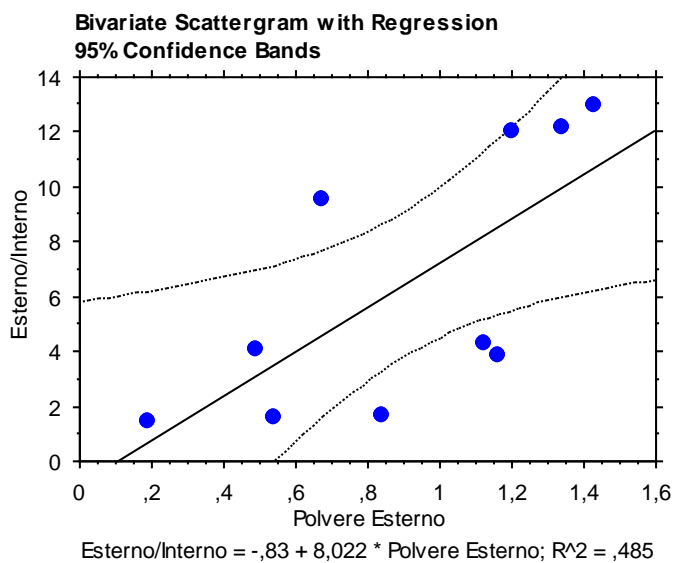
E' interessante anche notare i risultati ottenuti circa l'abbattimento delle polveri offerto dalla cabina chiusa (tab. 26). La cabina ha ridotto l'esposizione alle polveri ad un livello costante e vicino a 0.2 mg/m<sup>3</sup> indipendentemente dalla polverosità esterna. Le differenze tra polverosità esterna ed interna sono state valutate con un t-test appaiato, che ne ha dimostrato la significatività statistica (p = 0,0050). Il livello di polverosità all'interno della cabina sembra essere stabile, e non influenzato dal livello di polverosità all'esterno della stessa. Questo è dimostrato anche dall'assenza di una correlazione significativa tra i due livelli ( $r^2 = 0,004$  nella fig. 43). Pertanto, più aumenta la polverosità esterna e più aumenta l'effetto dell'abbattimento (fig. 44). Probabilmente questo implica che all'aumentare della polverosità esterna si riduca la durata del filtro, ma lo studio non è durato sufficientemente a lungo da verificare anche tale ipotesi.

**Tab. 26: confronto tra il livello di polvere presente all'interno e all'esterno della cabina sia per la cippatrice hackertruck che per quella dotata di cabina saliscendi**

Tipologia	Cabina	Esterno	ratio
Hackertruck	0,10	1,20	12,00
Hackertruck	0,34	0,54	1,59
Hackertruck	0,13	0,19	1,46
Hackertruck	0,50	0,84	1,68
Hackertruck	0,26	1,12	4,31
Hackertruck	0,11	1,34	12,18
Cabina saliscendi	0,30	1,16	3,87
Cabina saliscendi	0,07	0,67	9,57
Hackertruck	0,11	1,43	13,00
Hackertruck	0,12	0,49	4,08



**Fig. 43:** relazione tra il livello di polverosità riscontrato all'interno della cabina e quello misurato all'esterno



**Fig. 44.** relazione tra il livello di polverosità misurato all'esterno della cabina e l'effetto di abbattimento offerto dalla stessa, espresso come rapporto tra polverosità esterna ed interna

In letteratura si sono riscontrati pochi studi analoghi di valutazione dell'esposizione alle polveri di legno durante la cippatura all'imposto.

Mitchell (2011) ha condotto uno studio in un cantiere di cippatura in Alabama in cui è stata misurata la qualità dell'aria considerando sia la polvere di legno che quella del terreno. Le misurazioni sono state eseguite a livello ambientale vicino alla cippatrice ma non sul personale addetto alle operazioni. Mitchell riporta un livello medio di  $1,3 \text{ mg/m}^3$  con minimo di 0 e un massimo di 4. I valori riportati sono simili a quanto rilevato, avendo misurato livelli medi di 1,354 nei cantieri semi-meccanizzati e 0,898 in quelli industriali (considerando i campionamenti di area). Anche il valore massimo registrato nei cantieri semi-industriali pari a  $3,66 \text{ mg/m}^3$  è in linea con il dato riscontrato in Alabama.

Alwis (1998) riporta un valore medio di  $1,9 \text{ mg/m}^3$  misurato in fase di cippatura e, anche in questo caso, il valore è simile a quello riscontrato nella presente ricerca.

In ambito forestale sono stati effettuati studi di esposizione alla polvere di legno durante le operazioni di abbattimento nei tagli sanitari, nei diradamenti, nei cedui matricinati e durante la fase di spalcatura.

Poggi (2011) evidenzia che all'aumentare del tempo di taglio aumenta anche l'esposizione alle polveri di legno. Inoltre l'esposizione è maggiore nel diradamento rispetto al taglio sanitario. I valori maggiori sono stati registrati durante la spalcatura, a causa del posizionamento della motosega vicino al viso. È stato rilevato che il valore limite di  $5 \text{ mg/m}^3$  dell'esposizione a polveri di legno non è stato superato. Poggi ha messo a confronto il carburante normale e carburanti alchilati: il quantitativo di polveri è minore nei carburanti alchilati rispetto a quello misurato nella miscela tradizionale.

Horvat et al (2005) riportano un valore medio di  $0,564 \pm 0,154 \text{ mg/m}^3$  di polvere di legno respirabile in cantieri croati di abbattimento e allestimento di abeti.

Blandini et al. (2009) hanno evidenziato, in uno studio effettuato negli agrumeti, che gli operatori che lavorano in un trattore con cabina sono soggetti ad una esposizione alla polvere ambientale minore rispetto a quelli che operano con un trattore sprovvisto di cabina, confermando la capacità di abbattimento offerta dalla cabina chiusa.

La maggior parte degli studi riportati in letteratura riportano analisi effettuate in falegnamerie, segherie, industrie del mobile.

Miscetti et al. (1998) riportano un'esposizione media di  $2,3 \text{ mg/m}^3$  per gli addetti di falegnamerie artigianali di seconda lavorazione del legno. Nello studio sono considerate tutte le attrezzature presenti nella falegnameria e i valori sono quasi doppi rispetto ai cantieri di cippatura. Resta il fatto che negli ambienti chiusi delle falegnamerie è possibile installare aspiratori in grado di captare le polveri di legno e rendere l'aria il più possibile priva di polvere di legno.

D'Orsi et al (2003) riportano valori tra  $1,1$  a  $3,6 \text{ mg/m}^3$  misurati in stabilimenti per la produzione di imbarcazioni da diporto.

Scarselli et al (2008) riportano un livello medio di esposizione pari a  $1,44 \text{ mg/m}^3$ , valore risultante da misurazioni condotte in Italia dal 1996 al 2006 in 1.181 aziende che lavorano il legno.

Dall'analisi dei dati è emerso che i settori con i valori maggiori sono quelli che lavorano il legno e prodotti legnosi e le industrie del mobile e comunque nel 74% dei rilievi i livelli di polveri di legno sono inferiori a  $2 \text{ mg/m}^3$ .

Mandryk et al. (2000) distinguono tra segherie che lavorano materiale fresco e quelle che invece trattano legname già essiccato. Benché le esposizioni medie riportate siano simili,  $1,52 \text{ mg/m}^3$  nelle prime e  $1,71 \text{ mg/m}^3$  nelle seconde, la variazione tra i valori massimi e minimi è maggiore nelle segherie che lavorano materiale fresco.

Mikkelsen et al. (2002) riportano un valore medio di polveri di legno pari a  $0,95 \text{ mg/m}^3$  misurato in 54 industrie del mobile danesi. Nella ricerca emerge che i lavoratori a stretto contatto con le attrezzature per la lavorazione del legno sono

soggetti a una maggiore esposizione alle polveri di legno rispetto agli addetti ad altre mansioni.

Yamanaka (2009) pone l'attenzione sul personale che effettua le pulizie dei locali: esse sono esposte a livelli di polvere di legno pari a  $3,5 \text{ mg/m}^3$ .

Dall'analisi dei dati registrati e quelli riportati in bibliografia il valore medio delle esposizioni alle polveri di legno rimane comunque entro il limite di  $5 \text{ mg/m}^3$ .

## 8 Conclusioni

La filiera della biomassa è cresciuta negli ultimi anni ma è ancora caratterizzata da un mercato instabile, che risente di un forte sbilanciamento tra domanda e offerta. Pertanto, i margini economici sono spesso molto limitati, e il successo dell'attività imprenditoriale dipende moltissimo da un'efficace organizzazione delle operazioni di cippatura.

Per quanto riguarda i rilievi effettuati nelle due tipologie di cantieri, industriali e semi-industriali, si possono trarre alcune conclusioni e precisamente:

- In termini di produttività media, i cantieri industriali sono risultati 5 volte più produttivi di quelli semi-industriali. Infatti, la produttività media oraria (tempi improduttivi esclusi) della cippatrice industriale è stata di 25 Mg (tal quale), mentre per le cippatrici semi-industriali è risultata di 5 Mg.
- In merito alla capacità produttiva, nell'ipotesi di un utilizzo annuo di 1.500 ore, la cippatrice industriale ha mostrato una produzione annua di 37.605 Mg, mentre il modello semi-industriale ha dato 7.410 Mg.
- In base al quantitativo annuo da cippare, con quantitativi superiori a 7.000 Mg la soluzione da adottare è il cantiere industriale. Il cantiere semi-industriale risulta il più economico se la produzione annua di cippato è inferiore a 3.000 Mg.
- Considerando il consumo di gasolio, il consumo medio orario della cippatrice industriale è apparsa più del doppio rispetto a quello della cippatrice semi-industriale, a causa delle diverse potenze del motore. Considerando il consumo di combustibile in rapporto alla produttività oraria, il consumo specifico per Mg di cippato prodotto è risultato molto minore per la cippatrice industriale che ha consumato quasi la metà di quella semi-industriale.



- Il tenore idrico medio del cippato prodotto è stato pari al 38,7%, valore inferiore al tenore idrico generalmente riportato per il legname appena tagliato, che è di circa 50%.
- In riferimento all'esposizione degli operatori alle polveri di legno, in nessun cantiere sono stati rilevati valori superiori al  $5 \text{ mg/m}^3$ , limite soglia stabilito dal D.LGS. 81/08. Nei cantieri industriali, il valore medio di esposizione dell'operatore che lavorava in cabina è stato di  $0,204 \text{ mg/m}^3$ , mentre il valore di polvere misurato all'esterno è risultato di  $0,898 \text{ mg/m}^3$ , a conferma della capacità da parte della cabina di abbattere parte delle polveri prodotte in fase di cippatura. Nei cantieri semi-industriali, il valore medio di esposizione registrato è stato di  $1,354 \text{ mg/m}^3$ .

In generale si può osservare che la produzione di cippato può essere remunerativa solo quando si abbia una buona conoscenza tecnica specifica, e si sappia scegliere la macchina più adatta rispetto alla quantità e alla qualità del materiale da lavorare. Inoltre, chi intraprende questa attività deve sempre considerare la filiera di produzione nel suo insieme, razionalizzando tutte le fasi di lavoro, dall'abbattimento delle piante fino al trasporto del cippato. Infatti, un corretto abbattimento facilita l'esbosco e si traduce in un risparmio di tempo e in minori danni alle piante rimaste, evitando costose sanzioni. In modo analogo, una corretta preparazione delle cataste di legname agevola l'alimentazione della cippatrice ed evita la presenza di elementi contaminanti quali sassi e terra, che possono danneggiare la macchina. Questo è particolarmente importante quando le cataste sono costituite da ramaglie, le quali tendono a legarsi tra loro, specie se sono accatastate in modo disordinato e vengono lasciate assestare per qualche settimana. In tal caso, l'operatore si troverà a dover districare una massa intricata e caotica, e il cantiere subirà un importante calo produttivo.

E' possibile sfruttare in pieno il potenziale tecnico del cantiere solo se il processo è ben organizzato e si riducono i tempi improduttivi. Nello specifico per i cantieri studiati, nonostante abbiano restituito rese interessanti, la

produttività avrebbe potuto essere aumentata, soprattutto attraverso un miglior coordinamento con i mezzi di trasporto. Il presente studio dimostra come sia fondamentale organizzare il cantiere in modo da evitare attese improduttive, predisponendo un numero di mezzi di trasporto adeguato alla distanza da coprire e alla capacità produttiva della cippatrice. Qualora il coordinamento tra la cippatrice e i mezzi di trasporto dovesse risultare eccessivamente problematico, si potrà considerare la possibilità di scaricare il cippato direttamente a terra, e ricaricarlo con un caricatore. Questa operazione comporta una certa perdita di materiale, ma può essere preferibile ad attese lunghe e frequenti. Peraltro, lo scarico a terra resta tecnicamente fattibile solo se il piazzale di lavorazione offre spazi sufficienti. Nel caso in cui la cippatura sia effettuata in bosco o in piazzali troppo angusti, occorrerà considerare l'uso di cippatrici dotate di un proprio container. Queste si rivelano utili anche quando il materiale da cippare non è sufficiente a riempire il rimorchio di un autocarro, o quando gli imposti sono così stretti da impedire l'affiancamento dei due mezzi. In tal caso la scippatrice con container può riempire prima il proprio cassone per poi svuotarlo nel rimorchio o in un container posto in un piazzale facilmente raggiungibile dai mezzi di trasporto.

Nel pianificare l'operazione di cippatura è importante poter stimare con una certa accuratezza la quantità di cippato che si andrà a produrre, così da pianificare la durata del lavoro e il numero di viaggi. La quantità di cippato ritraibile da un determinato intervento dipende dal tipo di bosco, dal trattamento applicato e dalla strategia produttiva, visto che si può produrre o solo cippato o allocare parte della biomassa alla produzione di altri assortimenti.

Riuscire a valutare il quantitativo annuo da cippare consente alla ditta boschiva di decidere se sia più conveniente comprare una propria cippatrice o se piuttosto sia da preferire affidarsi a un contoterzista.

Il prezzo migliore per il cippato si raggiunge nel periodo invernale, quando la domanda spesso supera l'offerta. Questo perché d'inverno si utilizzano

quantitativi maggiori e inoltre parte della biomassa non è raggiungibile per ragioni meteorologiche, principalmente per pioggia o neve. In tale contesto, le ditte boschive potrebbero trovare vantaggioso allestire aree di stoccaggio sufficientemente ampie e raggiungibili anche nella stagione fredda. Il materiale da cippare potrebbe essere conferito presso le aree di stoccaggio in varie forme, quali: tronchi, sezioni di pianta, cimali, balle di ramaglia. Una volta accatastato, il materiale dovrebbe essere opportunamente coperto con teli, magari anche impiegando le nuove coperture usa e getta in carta impermeabilizzata. Per contro, il ridotto valore del cippato e il carattere itinerante dei cantieri forestali non sempre giustificano la costruzione di piattaforme permanenti, con base in cemento e provviste di tetto.

Uno dei principali problemi delle utilizzazioni forestali è la parcellizzazione delle proprietà private, che spesso misurano poche migliaia di metri quadri. Di conseguenza, il quantitativo di legname offerto dal singolo lotto è spesso molto modesto. Questo determina un aumento dei costi di spostamento del cantiere che si ripercuote negativamente sul successo finanziario dell'operazione. Il costo di trasferimento dei cantieri può essere contenuto attraverso una moderna filosofia di gestione, che miri all'accorpamento dei lotti di taglio e consenta l'impiego di attrezzature industriali.

In generale il lavoro in bosco è un'attività caratterizzata da rischi generici legati all'ambiente in cui si opera e da rischi specifici legati alle macchine impiegate e alle operazioni effettuate. Tutte le cippatrici analizzate sono risultate provviste del marchio di conformità europea essendo tutte costruite da aziende specializzate e ben conosciute sul mercato internazionale (es. Farmi, Jenz, Pezzolato). Benché tutte le macchine siano state dichiarate conformi alla normativa europea, rispettandone i dettami costruttivi, restano da migliorare alcuni aspetti legati al comfort dell'operatore.

Per quanto riguarda l'esposizione degli operatori alle polveri di legno, i valori misurati non sono allarmanti perché tutti i cantieri hanno restituito risultati

nettamente inferiori ai limiti ammessi dalla legge. Tuttavia l'attuale limite di 5 mg/m<sup>3</sup> potrebbe essere abbassato a 3 o a 1 mg/m<sup>3</sup>, vista la tendenza a una progressiva riduzione del valore soglia. In tal caso, l'alimentazione manuale della cippatrice potrebbe determinare livelli di esposizione eccessivi. Se ciò avvenisse, la soluzione migliore potrebbe essere quella di portare in cabina anche gli addetti all'alimentazione delle cippatrici semi-industriali, rinunciando pertanto all'alimentazione manuale o mista meccanico-manuale. Questo potrebbe essere ottenuto attraverso l'impiego di un mini-escavatore con cabina chiusa, il cui braccio idraulico potrebbe essere impiegato per l'alimentazione della macchina. Chi già impiega allo scopo l'elevatore a braccio idraulico normalmente montato su un rimorchio forestale, potrebbe spostare i comandi dalla colonna dell'elevatore alla cabina del trattore. La visibilità sarebbe leggermente ridotta, ma il comfort e la sicurezza aumenterebbero moltissimo. Da escludere l'obbligo di indossare mascherine protettive, poiché risultano d'intralcio alla comunicazione tra gli operatori e non sono compatibili con il pesante lavoro fisico esercitato da chi alimenta manualmente una cippatrice. Peraltro, le ditte che impiegano cippatrici alimentate manualmente cippano solo pochi giorni al mese, e di conseguenza gli addetti sono esposti al massimo per qualche ora a settimana.

La cabina riesce ad abbattere gran parte della polvere presente nell'ambiente di lavoro, ma la sua efficacia è garantita solo se l'operatore lavora con la porta e i finestrini chiusi. Alcuni operatori tengono la porta aperta per ottenere una migliore visibilità o per ovviare ad una cattiva climatizzazione o ancora per comunicare con i colleghi. Non tutte le case costruttrici prevedono l'installazione di un impianto di climatizzazione; a volte questo è offerto solo come optional. Tuttavia si deve considerare che anche quando si opera in zone climatiche fresche, una cabina vetrata chiusa può raggiungere temperature interne che rendono difficoltoso il lavoro, specialmente in giornate soleggiate. Il sole crea anche problemi di visibilità, specialmente a inizio e fine giornata quando è basso sulla linea di orizzonte. A questo si potrebbe ovviare dotando le cabine di

tendine riflettenti, come quelle installate sugli harvester di costruzione scandinava. Le tendine non bloccano la visuale e garantiscono il comfort all'operatore.

Come già ricordato chi impiega cippatrici semi-industriali alimentate manualmente in genere cippa pochi giorni al mese e spesso non può scegliere la giornata in cui lavorare. In tal caso si dovrebbero però evitare le giornate più secche e ventose, o almeno sfruttare il vento per ridurre l'esposizione alla polvere. La scelta della posizione di lavoro è considerata una delle migliori strategie per limitare l'esposizione. E' evidente che il posizionarsi sopravvento consente di lavorare in una zona pulita, ed evitare la nuvola di polvere che invece si forma sottovento. Tuttavia questa strategia resta in gran parte teorica, e spesso è inattuabile. La cippatura avviene di norma in piazzali molto angusti, dove lo spazio di manovra è molto limitato. Inoltre, le cippatrici hanno una sezione di alimentazione fissa, collocata in una posizione specifica. Questa deve essere avvicinata il più possibile alla catasta di legname, che è per definizione inamovibile. Un orientamento razionale del cantiere rispetto ai venti prevalenti nella zona richiederebbe che questo elemento venisse considerato durante la formazione della catasta. Oltre a implicare un'eccezionale capacità di pianificazione, una predisposizione tanto accurata delle cataste richiede la presenza di spazi adeguati. Peraltro, non c'è alcuna garanzia che nel giorno esatto scelto per effettuare la cippatura, il vento sia quello prevalente e non un altro vento proveniente da una direzione diversa. L'uso di una cabina chiusa resta pertanto la misura in assoluto più efficace per ridurre l'esposizione alle polveri di legno.

Le misure per ridurre l'esposizione della polvere di legno non dovrebbero riguardare la sola operazione di cippatura ma estendersi anche alla fase di manutenzione. Molto spesso la pulizia della cippatrice è effettuata con l'aria compressa o con spazzole. Questo sistema è sicuramente efficace nel rimuovere la polvere dalle superfici della macchina, ma consegue anche

l'effetto di rimetterla in circolo, ricreando le condizioni per inalarla. Sarebbe sicuramente meglio utilizzare un aspirapolvere portatile, come quelli usati nelle officine meccaniche. In ogni caso, gli operatori dovrebbero fare molta attenzione quando puliscono la macchina e i propri vestiti, per non esporsi ulteriormente alla polvere.

La protezione dalla polvere di legno dovrebbe essere una priorità, visto che la polvere di legno non è solamente una sostanza irritante, ma anche un agente cancerogeno in grado di sviluppare gravi malattie professionali.

Ulteriori studi saranno condotti per intensificare il campionamento, così da aumentare l'accuratezza della presente stima.

In particolare approfondimenti inerenti la caratterizzazione dimensionale e qualitativa delle polveri di legno sarebbero estremamente interessanti. L'analisi al microscopio potrebbe aiutare nel definire i diametri delle polveri presenti e di conseguenza determinare la percentuale delle diverse frazioni inalabili o respirabili. Inoltre tale analisi potrebbe verificare se le polveri presenti sono esclusivamente di legno o se ci sono anche funghi e miceti o polveri provenienti dal suolo.

Sarebbe stato inoltre interessante confrontare le due tipologie di cantiere industriale e semi-industriale con lo stesso materiale di partenza ma questo è in generale difficilmente fattibile per motivi logistici e organizzativi.

Sono in corso anche dei dibattiti sull'individuazione del migliore campionatore per le polveri di legno: conetto verso lo IOM o il *Button sampler* usato in questa ricerca. La scelta di un dispositivo rispetto ad un altro può determinare una sovrastima o una sottostima; infatti alcuni campionatori captano anche le particelle proiettili che generalmente cadono a terra perché troppo pesanti e quindi non suscettibili di essere inalate. Sarebbe stato utile mettere a confronto alcuni campionatori per verificarne le eventuali differenze ma in questo studio non è stato possibile e si è quindi preferito aumentare il numero di ripetizioni per

avere un quadro più ampio dell'esposizione alle polveri di legno durante la cippatura.

Conoscere la reale esposizione alle polveri di legno degli operatori dei cantieri di cippatura è importante perché permette di definire le misure di prevenzione legate al miglioramento delle condizioni lavorative e all'eventuale introduzione di misure di prevenzione primaria.

## **Bibliografia**

AA. VV., 2008 – Linee Guida per la prevenzione e sicurezza nei lavori forestali in Toscana. Compagnia delle Foreste Editore. Arezzo 128pp

Alwis K.U., 1998– Occupational exposure to wood dust. PhD Thesis. Faculty of Medicine. University of Sydney, New South Wales Australia

Akyüz K.C., Balaban Y., 2011 – Wood fuel trade in European Union. Biomass and bioenergy 35, 1588-1599

ANARF (a cura di), 2008 – Sicurezza ed antinfortunistica nei cantieri forestali. AGRA Editrice Roma, 464 pp

Angus-Hankin C., Stokes B., Twaddle A. 1995 – The transportation of fuel wood from forest to facility. Biomass and Bioenergy 9, 191-203

Antonini E., Paniz A. 2009 – I combustibili legnosi. In “La filiera legno-energia. Risultati del progetto interregionale Woodland Energy”. Arsia Firenze

Asikainen A., Pulkkinen P., 1998 – Comminution of logging residues with Evolution 910R chipper, MOHA chipper truck, and Morback 1200 tub grinder. Journal of Forest Engineering 9(1) 47-53

Baldini S., 1972 – Relazione sulla utilizzazione sperimentale di bosco di ceduo nella Foresta Demaniale di Cecina. Firenze CNR Istituto del Legno 22p

Bandyopadhyaya S., Shyamsundar P., Baccini A., 2011 – Forest, biomass use and poverty in Malawi. Ecological Economics 70, 2461-2471

Bailey A., Basford W., Penlington N., Park J., Keatinge J., Rehman T., Tranter R., Yates C., 2003 – A comparison of energy use in conventional and integrated arable farming in the UK. Agricultural Ecosystem and Environmental 97, 241-253



Berndes G., Hoogwijk M., van den Broek R., 2003 - The contribution of biomass in the future global Energy supply: a review of 17 studies. *Biomass and Bioenergy*, 25, 1-28

Bedane A.H., Afzal m.T., Sokhansanj S., 2011- Simulatioin of temperature and moisture changes during storage of wood biomass owing to weather variability. *Biomass and Bioenergy* 35, 3147-3151

Berti S., Piegai F., Verani S., 1989 – Manuale d’istruzione per il rilievo dei tempi di lavoro e delle produttività nei cantieri forestali. Quaderni dell’Istituto di Assestamento e Tecnologia Forestale, fascicolo 4: 1-45

Blair A., Linos, A., Stewart P.A., Burmeister L.F., Gibson, R., Everett G., Schuman L., Cantor, K.P., 1993 - Evaluation of risks for non-Hodgkin' s lymphoma by occupation and industryexposures from a case-control study. *Am. J. Ind. Med.* 23,301-312

Blandini G., Cerruto E., Emma G., Manetto G., 2009 – Dust and VOC risks during cultural operations in Citrus orchards. In “XXXIII CIOSTA-CIGR V Conference 2009, Reggio Calabria (Italy) “Technology and management to ensure sustainable agriculture, agro-system, forestry and safety” vol 2, 1457-1461

Brand M.A., Bolzon de Múniz C.I., Ferreira Quirino W., Brito J.O., 2011 – Storage as a tool to improve wood fuel quality. *Biomass and Bioenergy* 35, 2531-2588

Carlsson T, Rådström L., 1984 – Compaction of the load presses down the cost. In “Forest energy in Sweden – Report from seven years of whole tree utilization research”. Swedish University of Agric. Sci., 43-45

Castellazzi L., Gerardi V., Scoditti E., Rakos C., Hass L., 2002 – Riscaldamento dei grandi edifici con combustibili legnosi. Informazioni tecniche di base. ENEA, Roma, 35pp

Cavalli R., Grigolato S., Redigolo N., 2006 – Impiego dei residui di lavorazione delle segherie. Risultati di un'indagine condotta in Veneto. Sherwood 119, 37-41

Cavalli R., Emer B., Grigolato S., 2007 – Wood biomass boiler and heating plants in North-eastern Italy: which strategy to boost a sustainable local supply chain? In 15<sup>th</sup> European Biomass Conference and Exhibition from Research to Market Deployment. Berlino 7-11 maggio 2007. Firenze, ETA Florence

Cirila A.M., 2008 – Polveri di legno ad effetti sensibilizzanti. In “Polveri di legno: salute e sicurezza” Edizioni CIMAL ISBN 978-88-902124-3-7, 36-53

Coaloe D., 2007 – Biomasse per energia e mercato del legno. Sherwood 138, 39-43

Cremer T., Velazquez-Marti B., 2007 – Evaluation of two harvesting system for the supply of wood-chips in Norway spruce forest affected by bark beetles. Croatian Journal of Forest Engineering 28, 145-155

Deal E.L., 1976 – Whole tree harvesting by chipping methods in North America. FAO/ECE/ILO vol 2 Symposium on the harvesting of a larger part of the forest biomass. Hyvinkää (Finland) 170-182

Decreto Legislativo n.626 del 19 settembre 1994: Attuazione delle direttive 89/391/CEE, 89/654/CEE, 89/656/CEE, 90/270/CEE, 90/394/CEE e 90/676/CEE riguardanti il miglioramento della sicurezza della salute dei lavoratori sul luogo di lavoro. Supplemento ordinario alla GU 265 del 12/11/1994

Decreto Legislativo 25 febbraio 200, n. 66. Attuazione delle direttive 97/42/CE e 1999/38/CE, che modificano la direttiva 90/394/CEE, in materia di protezione dei lavoratori contro i rischi derivanti da esposizione ad agenti cancerogeni o mutageni durante il lavoro

Dockerty J.D., Marshall S., Fraser J., Pearce N., -1991- Stomach cancer in New Zealand: time trends, ethnic group differences and a cancer registry-based case-control study. *Int. J. Epidemiol.* 20, 45-53

D'Orsi F., De Grandis D., Pietrantonio E., Pignani M., Soldati P.S., 2003 - Indagine ambientale sulle polveri di legno aerodisperse in uno stabilimento di produzione di imbarcazioni da diporto. 10° Convegno di Igiene industriale, Corvara (Bolzano)

Domak J., Richards K., Risovic S., 2005 – Socio-economics drivers in implementing bioenergy projects. *Biomass and Bioenergy* 28, 97-106

Elwood J.M., 1981- Wood exposure and smoking: association with cancer of the nasal cavity and paranasal sinuses in British Columbia. *Can. med. Assoc. J.* 15, 1573-1577

Emer B., 2010 – Optimization of wood energy plants supply. Tesi di dottorato Università di Padova 100pp.

FAO 1976 – Wood chips. Production, handling, transport. Roma 136pp

FAO 2005 – Trends in forest production 1961-2003. Roma

Flodin U., M Fredriksson M., Persson B., Axelson O., 1988 - Chronic lymphatic leukaemia and engine exhausts, fresh wood, and DDT: a case-referent study. *British Journal of Industrial Medicine* 45, 33-38

Foà V., Cila P.E., Martinotti I., Bertazzi P.A., 2008 – Esposizione a polveri di legno: la valutazione delle SCOEL (Scientific Committee on Occupational Exposure Limits). In “Polveri di legno: salute e sicurezza” Edizioni CIMAL ISBN 978-88-902124-3-7, 63-68

Frombo F., Minciardi R., Robba M., Rosso F., Sacile R., 2009 - Planning woody biomass logistics for energy production: A strategic decision model. *Biomass and Bioenergy* 33, 372-383.

Giordano G., 1976 – Tecnologia del legno- Edizioni UTET Torino

Gingerich J., Hendrickson O., 1993 – The theory of energy return on investment: a case study of the whole tree chipping for biomass in Prince Edward Island. *The Forestry Chronicle* 69-3 300-3006

Hall D.O., Scarse J.I., 1998 – Will Biomass be the environmentally friendly fuel of the future? *Biomass and Bioenergy* 15, 357-367

Hakkila P., 1989 – Utilization of residual forest biomass. Edizioni Springer Berlin 568 p

Hakkila P., 2003 - Developing technology for large-scale production of forest chips – Wood energy technology programme 1999-2003. National Technology Agency, Helsinki; Technology programme report n.5: 54pp.

Hann W.J., Jones J.L., Karl M.G., Hessburg P.F., Keane R.E., Long D.G., Menakis J.P., McNicoll C.H., Leonard S.G., Gravenmeier R.A., Smith B.G., 1997 - Landscape dynamics of the Basin. 337–1055pp, in: Quigley, T.M.; Arbelbide, S.J., eds. An assessment of ecosystem components in the Interior Columbia Basin and portions of the Klamath and Great Basins. Vol. II. Gen. Tech. Rep. PNW–GTR–405. Portland, OR: USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station.

Hartmann H., Böhm T., Jensen D., Temmerman M., Rabier F., Golser M., 2006 – methods for size classification of wood chips. *Biomass and Bioenergy* 30, 944-953

Hassan A., 1976 Compaction of wood chips – energy cost. ASAE paper 76-1568, 17 pp

Hausen B., 1981 – Woods injurious to human health. A manual Ed. Walter de Gruiter Berlino

Heikkilä J., Sirén M., Äijälä O., 2007 – Management alternatives of energy wood thinning stands. *Biomass and Bioenergy* 31, 255-266

Horvat D., Čavlović A., Zečić Ž., Šušnjar M., Bešlić I., Madunić-Zečić, 2005 – Research of fir-wood dust concentration in the working environment of cutters. *Croatian Journal of Forest Engineering* 26, 85-90

Hippoliti G., 1997 – *Appunti di meccanizzazione forestale*. Studio Editoriale Fiorentino, Firenze 318pp

IARC, 1995 – *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Human*, vol 62 Wood dust and formaldehyde. Lyon:IARC

Innocenti A., Del Monaco S., 1980 – *Patologi dovuta a polveri di legno*. Contributi scientifico pratici per una migliore conoscenza del legno n .27 CNR Istituto del Legno, Firenze 64pp

Innocenti A., 2008 – Effetti sulla salute delle polveri di legno: la funzione respiratoria. In “Polveri di legno: salute e sicurezza” Edizioni CIMAL ISBN 978-88-902124-3-7, 27-35

Jensen P.D., Mattsson J.E., Kofman P.D., Klausner A., 2004 – Tendency of wood fuels from whole trees, logging residues and roundwood to bridge over openings. *Biomass and Bioenergy* 26, 107-113

Jirjis R., 1995 – Storage and drying of wood fuel. *Biomass and Bioenergy* 9, 181-190

Junginger M., Faaij A., Van den Broek R., Koopmans A., Hulscher W., 2001 – Fuel supply strategies for large-scale bio-energy projects in developing countries. Electricity generation from agricultural and forest residues in Northeastern Thailand. *Biomass and Bioenergy* 21, 259-275

Kaltschmitt M., Weber M., 2006 – Markets for solid biofuels within the EU-15. *Biomass and Bioenergy* 30, 897-907

Kawachi I., Pearce N., PhD2, Fraser J., 1989 - A New Zealand cancer registry-based study of cancer in wood workers. *Cancer* 64, 2609–2613

Kijazi M.H., Kant S., 2011 – Evaluation of welfare functions of environmental amenities: a case of forest biomass fuels from Mount Kilimanjaro, Tanzania. *Ecological Economics* 72, 129-139

Krausmann F., Erb K.H. Gingrich S., Lauk C., Haberl H., 2008 – Global patterns of socioeconomic biomass flows in the year 2000: A comprehensive assessment of supply, consumption and constraints. *Ecological Economics* 65, 471-487

Linden M., 2011 - Forecasting forest chip energy production in Finland 2008-2014. *Biomass and Bioenergy* 35, 590-599

Lindros O., 2011 – Residential use of firewood in Northern Sweden and its influence on forest biomass resources. *Biomass and Bioenergy* 35, 385-390

Magagnotti N., Pari L., Spinelli R., 2012 – Re-engineering firewood extraction in traditional Mediterranean coppice stands. *Ecological Engineering* 38, 45-50

Magar S.B., Pelkonen P., Tahvanainen L., Toivonen R., Toppinen A., 2011 – Growing trade of bioenergy in the Eu: Public acceptability, policy harmonization, European standards and certification needs. *Biomass and Bioenergy* 35, 3318-3327

Mandryk J., Alwis U.K., Hocking A.D., 2000 – Effects of personal exposures on pulmonary function and work-related symptoms among sawmill workers. *Ann occup. Hyg.* 44 (4) 281-289

Marchi E., Pesare A., Spinelli R., 2005 – La cippatura in campo. *Sherwood* 108

Marchi E., Magagnotti N., Berretti L., Neri F., Spinelli R., 2011 – Comparing terrain and roadside chipping in Mediterranean Pine salvage cuts. *Croatian journal of Forest Engineering*, 32, 587-598

Martinotti I., Cirila P.E., Foà V., 2008 - Esposizione a polvere di legno: il panorama europeo. In "Polveri di legno: salute e sicurezza" Edizioni CIMAL ISBN 978-88-902124-3-7, 69-84

McKelvey K.S., Skinner C.N., Chang C., Erman D.C., Husari, S.J., Parsons D.J., van Wagendonk J.W., Weatherspoon C. P., 1996 - An overview of fire in the Sierra Nevada. In "Sierra Nevada Ecosystem Project: Final report to Congress." Davis, California: University of California, Wildland Resource Center

Mikkelsen A.B., Schlünssen V., Sigsgaard T., Schaumburg I., 2002 – Determinants of wood dust exposure in the Danish furniture industry. *Ann. Occup. Hyg.*, 46(8), 673-685

Mikkola H.J., Ahokas J., 2010 - Indirect energy input of agricultural machinery in bioenergy production. *Renewable Energy* 35, 23-28

Miscetti G., Garofani P., Bodo P., Ballerani A., Luciani G., Mazzani M., Pecetti V., 1998 - Esposizione professionale a polveri di legno in un gruppo di falegnamerie artigiane di seconda lavorazione del legno. *La medicina del lavoro* volume 89 n 6

Mitchell C.P., Hudson J.B., Gardner D.N.A., Storry P.G.S., Gray I.M., 1990 – Wood fuel supply strategies. Vol.1 Department of Energy Contractor Report ETSU B 1176-P1 121pp

Mitchell D., Gallagher T., 2007 – Chipping whole trees for fuel chips: a production study. *South. J. Appl. For.* 31(4) 176-180

Mitchell D., 2011 – Air quality on biomass harvesting operations. Proceedings of the 34th Council on Forest Engineering annual meeting, Quebec City, Quebec, Canada, June 2011. 9pp  
([http://www.srs.fs.usda.gov/pubs/ja/2011/ja\\_2011\\_mitchell\\_001.pdf](http://www.srs.fs.usda.gov/pubs/ja/2011/ja_2011_mitchell_001.pdf))

Miyata E.S., 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

Moscato G., Della Bianca A., Maestrelli P., Paggiaro P., Romano C., De Zotti R., Marabini A., Voltolini S., Crippa M., Previdi M., Bramé B., Benzon R., Siracusa A., 2002 - Features and severity of occupational asthma upon diagnosis: an Italian multicentric review. *Allergy* 57, 236-242

Mutch R.W., 1994 - Fighting fire with prescribed fire: a return to ecosystem health. *Journal of Forestry* 11, 31-33

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

Negrin M., 2009 – Produttività, costi e qualità nell'approvvigionamento di cippato ad uso energetico. Un'indagine su dieci cantieri della Magnifica Comunità di Fiemme. Tesi di Laurea in Tecnologie Forestali e Ambientali. Università degli Studi di Padova.

Neri F., 2007 – Indagine sull'impiego delle macchine cippatrici, analisi dei tempi di lavoro, produttività e costi di trasformazione in tre cantieri di utilizzazione integrale della biomassa nella Regione Toscana. Tesi di dottorato in Economia, Pianificazione Forestale e Scienze del Legno. Università degli studi di Firenze 129pp

Nord-Larsen T., Bergstedt A., Faver O., Heding N. 2011 – Drying of firewood – the effect of harvesting time, tree species and shelter of stacked wood. *Biomass and Bioenergy* 35, 2993-2998

Nurmi J., 1999 – The storage of logging residue for fuel. *Biomass and Bioenergy* 17, 41-47



Nyström J., Dahlquist E., 2004 – Methods for determination of moisture content in woodchips for power plants – a review. *Fuel* 83, 773-779

Nurmi J., 2007 – Recovery of logging residues for energy from spruce (*Picea abies*) dominated stands. *Biomass and Bioenergy* 31, 375-380

Nurmi J., Hillebrand K., 2007 – The characteristics of whole-tree fuel stock from silvicultural cleaning and thinnings. *Biomass and Bioenergy* 31, 381-393

Pellizzi G., 1992 – Use of energy and labour in Italian agriculture. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 52, 111-119.

Persson B., Fredriksson M., Olsen K., Boeryd B., Axelson, O., 1993 - Some occupational exposures as risk factors for malignant lymphomas. *Cancer* 72, 1773-1778

Pettersson M., Nordfjell T., 2007 – Fuel quality changes during seasonal storage of compacted logging residues and young trees. *Biomass and Bioenergy* 31, 782-792

Pisati G., Ciria A.M., Zedda S., 1982 – Asma allergologica da esposizione professionale a polveri di legno non esotico (Faggio). Considerazioni di un caso clinico. In atti convegno nazionale Siena “Infortuni e malattie professionali nel settore del legno e del mobile” OECE Edizioni, 472-478

Poggi L., 2011 – Prime indagini sull’esposizione a polveri di legno e gas di scarico per operatori addetti all’uso della motosega. Tesi di laurea Università degli Studi di Firenze 78 pp

Poittie M., Guimier D., 1985 – Preparation of forest biomass for optimal conversion. FERIC Special Report SR-32, Pointe Claire, Canada. 112 pp

Regione Toscana, 2009 – La salute e la sicurezza sul lavoro. Decreto Legislativo 9 aprile 2008 n. 81 e successive modifiche. Felici Editore Pisa ISBN 978-88-6019-316-2,431pp

Reif J., Pearce N., Kawachi, I., Fraser J., 1989 - Soft-tissue sarcoma, non-Hodgkin's lymphoma and other cancers in New Zealand forestry workers. *Int. J Cancer* 43,49-54

Ryan L., Convery F., Ferreira S., 2006 – Stimulating the use of biofuel in the European Union: implication for climate change policy. *Energy Policy* 34, 3184-3194

Roser D., Mola-Yudego B., Sikanen L., Prinz R., Gritten D., Emer B., Väätäinen K., Erkkilä A., 2011- Natural drying treatments during seasonal storage of wood for bioenergy in different European locations. *Biomass and Bioenergy* 35, 4238-4247

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

Sattar M.A., 1996 – Role of biomass energy in developing countries. *Renewable Energy* 9, 966-970

Scarselli A., Binazzi A., Ferrante P., Marinaccio A., 2008 - Occupational exposure levels to wood dust in Italy, 1996-2006. *Occup Environ Med* 65, 567-574.

Schneider B., Kaltschnitt M., 2000 – Heat supply from woody biomass – an economic analysis. *Ecological Engineering* 16, S123-S135

Secknus M., 2007 – Disponibilità della biomassa, mercati e ruolo delle associazioni. In “Linee guida per lo sviluppo di un modello di utilizzo del cippato forestale a fini energetici”, Programma Leader Plus “Sviluppo della filiera foresta-legno-energia attraverso il rafforzamento dell’associazionismo forestale” . 44-67 Ed. Press Service Firenze

Seixas F., 2008 – Harvesting and use of forestry biomass for energy production in the USA. Southern Research Station USDA Forest Service Alabama USA, 118pp

Spinelli R., Kofman P., 1995 - Cantieri agricoli e forestali, informatizzazione dei rilievi. *Macchine e Motori Agricoli*, n.11: 33-35

Spinelli R., 2000 – Meccanizzazione forestale intermedia. Calderini Edagricole, Bologna 162 pp

Spinelli R., Hartsough B.R., 2001 – A survey of Italian chipping operations. *Biomass and Bioenergy* 21, 433-444

Spinelli R., Hartsough B.R., 2001 – Indagine sulla cippatura in Italia. CNR-IRL Contributo scientifico-pratici XLI Firenze

Spinelli R., Owende P., Ward S., 2001 - A model for estimating the productivity and cost of mechanized harvesting-debarking process in fast-growing *Eucalyptus globulus* plantations. *For Prod J* 52, 67-77

Spinelli R., Mao G., 2004 – Approvvigionamento degli impianti di teleriscaldamento. *Sherwood* 103 29-34

Spinelli R., Secknus M., 2005 – Teleriscaldamento nel Nord-Est: la domanda di biomassa. *Alberi e Territorio* 9

Spinelli R., Nati C., Magagnotti N., 2006 – Recupero di biomassa. Alcune utilizzazioni in boschi alpini. *Sherwood* 119 21-27

Spinelli R., Magagnotti N., 2007 – Biomassa dai boschi di neoformazione. Casi di studio in Friuli Venezia Giulia. *Sherwood* 135, 45-49

Spinelli R., Magagnotti N., 2007 – Il cippato forestale. In “Linee guida per lo sviluppo di un modello di utilizzo del cippato forestale a fini energetici”, Programma Leader Plus “Sviluppo della filiera foresta-legno-energia attraverso

il rafforzamento dell'associazionismo forestale” . 68-103 Ed. Press Service Firenze

Spinelli R., Magagnotti N., 2009 - Strategie produttive per i diradamenti in pecceta artificiale. L'Italia Forestale e Montana, 4 263-272

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

Spinelli R., Magagnotti N., Paletto G., Preti C., 2011 – Determining the impact of some wood characteristic on the performance of a mobile chipper. Silva Fennica 45,85-95

Stupak I., Asikainen A., Jonsell M., Karlton E., Lunnan A., Mizaraité D., Pasanen K., Pärn H., Raulund-Rasmussen, Röser D., Schroeder M., Varnagirytė I., Vilkrite L., Callesen I., Clarke N., Gaitnieks T., Ingesslev M., Mandre M., Ozolincius R., Saarsalmi A., Armolaitis K., Helmisaari H.S., Indrikson A., Kairiukstis L., Katzensteiner K., Kukkola M., Ots K., Ravn H.P., Tamminen P., 2007 – Sustainable utilisation of forest biomass for energy – Possibilities and problems: Policy, legislation, certification, and recommendations and guidelines in the Nordic, Baltic, and other European countries. Biomass and Bioenergy 31, 666-684

Stupak I., Lattimore B., Titus B.D., Tattersall Smith C., 2011 – Criteria and indicators for sustainable forest fuel production and harvesting: A review of current standard for sustainable forest management. Biomass and Bioenergy 35, 3287-3308

Talbot B., Suadicani K., 2006 –Road transport of forest chips: container vs bulk trailers. Forestry Studies, Metsanduslikud Uurimused 4, 11-22

Thornqvist T., 1984 – Hyggerester som råvaror för energiproduktion – torkning lagring, hanterin och kvalitet (Logging residues as a feedstock for energy

production – Drying, storing, handling and grading). SLU, Inst. För virkeslära, Rapport 152, Uppsala

Thorpe A., Brown R.C., 1995 – Factors influencing the production of dust during the hand sandling of wood. American Industrial Hygiene Association Journal 56, 236-242

Timmons D., Mejía C.V., 2010 – Biomass energy from wood chips: diesel fuel dependence? Biomass and Bioenergy 34, 1419-1425

Tommasini R., 2008 – Polveri di legno: rischio di esplosione ed incendio. In “Polveri di legno: salute e sicurezza” Edizioni CIMAL ISBN 978-88-902124-3-7, 69-84

Troncoso K., Castillo A., Maserà O., Merino L., 2007 – Social perception about a technology innovation for fuelwood cooking: Case study in rural Mexico. Energy Policy 35, 2799-2810

Twaddle A.A., Stokes B.J., Watson W.F., 1989 – Harvesting small stems and residues for biofuels: an international perspective. Paper n. 897545 – ASAE Meeting New Orleans 12-15 December 1989

UNI EN ISO 13857:2008 - Sicurezza del macchinario - Distanze di sicurezza per impedire il raggiungimento di zone pericolose con gli arti superiori e inferiori

UNI EN ISO 5674:2009 - Trattrici e macchine agricole e forestali - Protezioni per alberi cardanici di trasmissione dalla presa di potenza (p.d.p.) - Prove di resistenza e di usura e criteri di accettazione

UNI EN 953:2009 - Sicurezza del macchinario - Ripari - Requisiti generali per la progettazione e la costruzione di ripari fissi e mobili

UNI EN 14774-2:2010 - Biocombustibili solidi - Determinazione dell'umidità - Metodo di essiccazione in stufa - Parte 2: Umidità totale - Metodo semplificato

UNI EN 13525:2010 - Macchine forestali - Sminuzzatrici mobili – Sicurezza

UNI EN 12965:2010 - Trattori e macchine agricole e forestali - Alberi cardanici di trasmissione dalla presa di potenza (p.d.p.) e loro protezioni - Sicurezza

UNI EN 15149-1:2011 - Biocombustibili solidi - Determinazione della distribuzione granulometrica - Parte 1: Metodo del vaglio oscillante con apertura maggiore o uguale a 1 mm

UNI EN 15149-2:2011 - Biocombustibili solidi - Determinazione della distribuzione granulometrica - Parte 2: Metodo del vaglio vibrante con apertura minore o uguale a 3,15 mm

UNI EN 13683:2011 - Macchine da giardinaggio - Trituratori/ sminuzzatrici con motore incorporato - Sicurezza

Valinger E., Lundqvist L. & Brandel G., 1994 - Wind and snow damage in a thinning and fertilisation experiment in *Pinus sylvestris*. *Scandinavian Journal of Forest Research* 9, 129-134

Van Belle J.F., 2006 – A model to estimate fossil CO<sub>2</sub> emission during the harvesting of forest residues for energy – with an application on the case of chipping. *Biomass and Bioenergy* 30, 1067-1075

Vasco H., Costa M., 2009 –Quantification and use of forest biomass residues in Maputo province, Mozambique. *Biomass and Bioenergy* 33, 1221:1228

Vaughan T., Stewart K., Teschke C., Lynch C., Swanson G., Lyon G., Berwick M., 2000 – Occupational exposure to formaldehyde and wood dust and nasopharyngeal carcinoma. *Occup. Environ. Med.* 57(6) 376-384.

Veronese M., Brocchi Colonna M., Mezzalana G., 2003 – Estrarre e gestire l'energia dal legno. In “Come produrre energia dal legno”. *Quaderno Arsia* 3/2003. Arsia Regione Toscana 86 pp.

Voivontas D., Assimacopoulos D., Koukios E.G., 2001 - Assessment of biomass potential for power production: a GIS based method. *Biomass and Bioenergy*, 20, 101-112.

Warsco K., 1994 – Conventional fuel displacement by residential wood use. *For. Prod. J.* 44, 68-74

Westbrook M.D., Greene W.D., Izlar R.L., 2007 – Utilizing forest biomass by adding a small chipper to a tree-length Southern pine harvesting operation. *South. J. Appl. For.* 31(4)165-169

Wihersaari M., 2005 – Evaluation of greenhouse gas emission risk from storage of wood residue. *Biomass and Bioenergy* 28, 444-453

Yamanaka M.W., Guidotti T.L., Koehncke N, Taylor F.M., Taylor C., Harman, 2009 – Wood dust levels in Alberta sawmill. *Arch. Environ. Occup. Health* 64 (4) 270-277

Yepsen R., Goldstein N., 2009 – Historical perspective: grinders, chippers, shredders. *BioCycle* 50, JG Press 7pp

## **Allegati**



**SCHEDA UTILIZZATA PER IL CAMPIONAMENTO DELLE POLVERE DI LEGNO**

**Sistema di captazione: Campionatore Button Sampler con membrana in fibra di Vetro**

Flusso di campionamento: 4 l/min



ATTENZIONE: Posizionare il campionatore all'altezza del bavero destro della giacca se l'addetto è destro o sinistro se l'addetto è mancino. Il campionatore deve stare alla stessa altezza dello IOM per il campionamento IPA ad una distanza di 10 cm

Luogo di Campionamento \_\_\_\_\_

Data \_\_\_\_\_

Ditta \_\_\_\_\_

Campionamento personale     Campionamento statico

Se trattasi di campionamento personale:

Nome \_\_\_\_\_

Cognome \_\_\_\_\_

Numero identificazione (riportare il numero scritto sul Button Sampler ) \_\_\_\_\_

Numero identificazione pompa (riportare il numero scritto sull'etichetta della pompa) \_\_\_\_\_

Inizio ora \_\_\_\_\_ Fine ora \_\_\_\_\_ Tempo totale (minuti) \_\_\_\_\_

**NOTE:**

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

## Statistica per produttività

(industrial= cantiere industriale, manual= cantiere semi-industriale)

### Descriptive Statistics

#### Split By: Treatment

	Mean	Std. Dev.	Std. Error	Count	Minimum	Maximum	# Missing
t/h chip only, Total	20,690	13,709	1,338	105	2,860	52,243	1
t/h chip only, Industrial	28,297	10,225	1,222	70	12,728	52,243	1
t/h chip only, Manual	5,476	2,292	,387	35	2,860	10,959	0
t/PMH, Total	18,363	12,842	1,253	105	2,374	46,225	1
t/PMH, Industrial	25,070	10,465	1,251	70	8,232	46,225	1
t/PMH, Manual	4,949	2,089	,353	35	2,374	9,152	0
t/SMH, Total	14,483	11,777	1,149	105	1,067	41,973	1
t/SMH, Industrial	19,842	10,973	1,312	70	4,188	41,973	1
t/SMH, Manual	3,766	1,595	,270	35	1,067	8,433	0

### Unpaired t-test for t/h chip only

#### Grouping Variable: Treatment

Hypothesized Difference = 0

	Mean Diff.	DF	t-Value	P-Value
Industrial, Manual	22,821	103	13,012	<,0001

### Group Info for t/h chip only

#### Grouping Variable: Treatment

	Count	Mean	Variance	Std. Dev.	Std. Err
Industrial	70	28,297	104,561	10,225	1,222
Manual	35	5,476	5,252	2,292	,387

### Unpaired t-test for t/PMH

#### Grouping Variable: Treatment

Hypothesized Difference = 0

	Mean Diff.	DF	t-Value	P-Value
Industrial, Manual	20,121	103	11,237	<,0001

### Group Info for t/PMH

#### Grouping Variable: Treatment

	Count	Mean	Variance	Std. Dev.	Std. Err
Industrial	70	25,070	109,522	10,465	1,251
Manual	35	4,949	4,364	2,089	,353

### Unpaired t-test for t/SMH

#### Grouping Variable: Treatment

Hypothesized Difference = 0

	Mean Diff.	DF	t-Value	P-Value
Industrial, Manual	16,075	103	8,601	<,0001

### Group Info for t/SMH

#### Grouping Variable: Treatment

	Count	Mean	Variance	Std. Dev.	Std. Err
Industrial	70	19,842	120,416	10,973	1,312
Manual	35	3,766	2,545	1,595	,270

## Statistica per il consumo di gasolio

### Descriptive Statistics

#### Split By: Treatment

	Mean	Std. Dev.	Std. Error	Count	Minimum	Maximum	# Missing
Gasolio L/h, Total	35,189	15,810	1,558	103	5,700	69,333	3
Gasolio L/h, Industriale	44,921	8,932	1,083	68	21,192	69,333	3
Gasolio L/h, Semi-industriale	16,283	5,942	1,004	35	5,700	24,000	0
Gasolio L/Mg, Total	2,571	1,247	,123	103	1,422	6,823	3
Gasolio L/Mg, Industriale	2,020	,385	,047	68	1,422	3,073	3
Gasolio L/Mg, Semi-industriale	3,642	1,608	,272	35	1,503	6,823	0

### Mann-Whitney U for Gasolio L/h

#### Grouping Variable: Treatment

U	9,000
U Prime	2371,000
Z-Value	-8,223
P-Value	<,0001
Tied Z-Value	-8,278
Tied P-Value	<,0001
# Ties	7

3 cases were omitted due to missing values.

### Mann-Whitney Rank Info for Gasolio L/h

#### Grouping Variable: Treatment

	Count	Sum Ranks	Mean Rank
Industriale	68	4717,000	69,368
Semi-industriale	35	639,000	18,257

3 cases were omitted due to missing values.

### Mann-Whitney U for Gasolio L/Mg

#### Grouping Variable: Treatment

U	405,000
U Prime	1975,000
Z-Value	-5,466
P-Value	<,0001
Tied Z-Value	-5,496
Tied P-Value	<,0001
# Ties	1

3 cases were omitted due to missing values.

### Mann-Whitney Rank Info for Gasolio L/Mg

#### Grouping Variable: Treatment

	Count	Sum Ranks	Mean Rank
Industriale	68	2751,000	40,456
Semi-industriale	35	2605,000	74,429

3 cases were omitted due to missing values.

Statistica per l'esposizione alle polveri di legno  
(industriale= cantiere industriale, manuale= cantiere semi-industriale)

**Descriptive Statistics**  
**Split By: Treatment**

	Mean	Std. Dev.	Std. Error	Count	Minimum	Maximum	# Missing
mg/m3, Total	,867	,841	,146	33	,070	3,660	0
mg/m3, AreaIndustriale	,898	,413	,131	10	,190	1,430	0
mg/m3, Manuale	1,354	1,059	,294	13	,380	3,660	0
mg/m3, PersonaleIndustriale	,204	,140	,044	10	,070	,500	0

**Kruskal-Wallis Test for mg/m3**  
**Grouping Variable: Treatment**

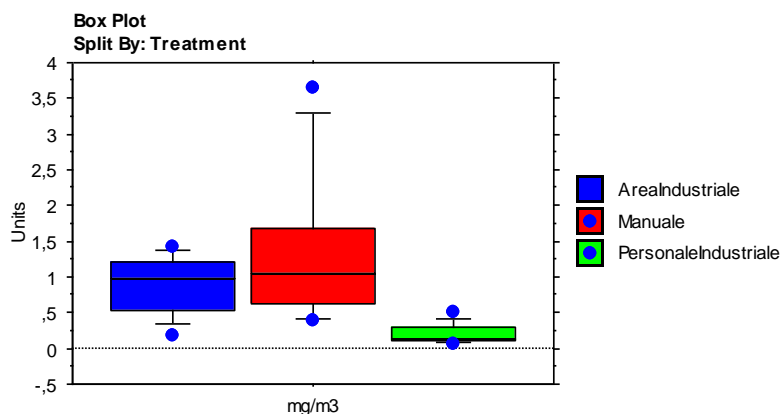
DF	2
# Groups	3
# Ties	4
H	17,799
P-Value	,0001
H corrected for ties	17,811
Tied P-Value	,0001

**Kruskal-Wallis Rank Info for mg/m3**  
**Grouping Variable: Treatment**

	Count	Sum Ranks	Mean Rank
AreaIndustriale	10	205,500	20,550
Manuale	13	292,500	22,500
PersonaleIndustriale	10	63,000	6,300

**Scheffe for mg/m3**  
**Effect: Treatment**  
**Significance Level: 5 %**

	Mean Diff.	Crit. Diff.	P-Value
AreaIndustriale, Manuale	-,456	,770	,3267
AreaIndustriale, PersonaleIndustriale	,694	,819	,1097
Manuale, PersonaleIndustriale	1,150	,770	,0025



**Descriptive Statistics**

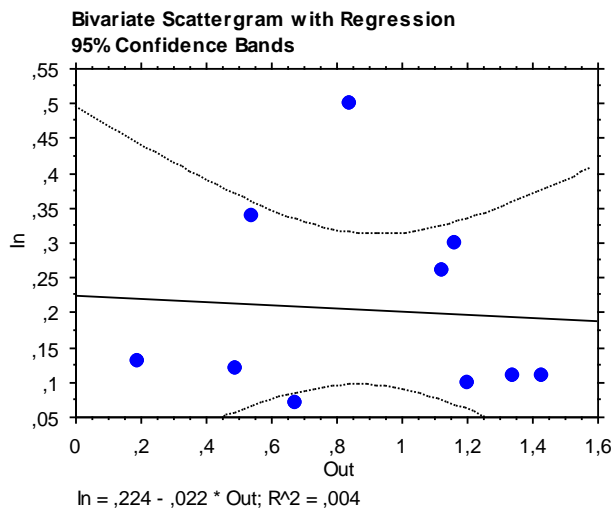
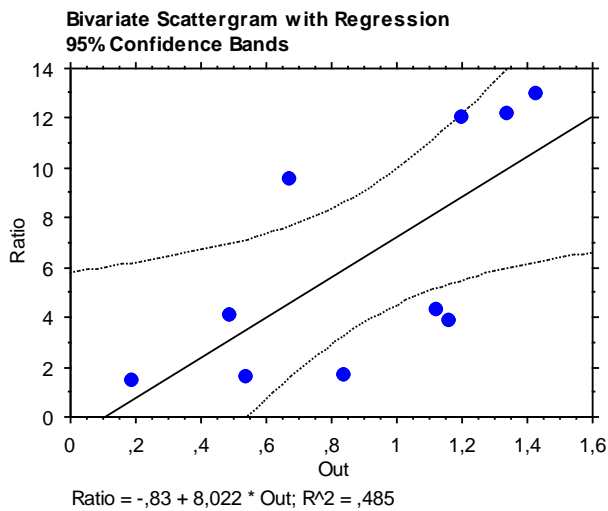
	In	Out	Ratio
Mean	,204	,898	6,374
Std. Dev.	,140	,413	4,765
Std. Error	,044	,131	1,507
Count	10	10	10
Minimum	,070	,190	1,462
Maximum	,500	1,430	13,000
# Missing	0	0	0

**Wilcoxon Signed Rank Test for In, Out**

# 0 Differences	0
# Ties	1
Z-Value	-2,803
P-Value	,0051
Tied Z-Value	-2,805
Tied P-Value	,0050

**Wilcoxon Rank Info for In, Out**

	Count	Sum Ranks	Mean Rank
# Ranks < 0	10	55,000	5,500
# Ranks > 0	0	0,000	.



## Statistica per la granulometria del cippato

### Descriptive Statistics

#### Split By: Meccanizzazione

	Mean	Std. Dev.	Std. Error	Count	Minimum	Maximum	# Missing
Oversize, Total	,233	,538	,179	9	0,000	1,659	0
Oversize, Industriale	,366	,726	,325	5	0,000	1,659	0
Oversize, Semi-industriale	,068	,063	,031	4	0,000	,151	0
L 100-63, Total	1,227	2,190	,730	9	0,000	6,654	0
L 100-63, Industriale	1,846	2,877	1,286	5	0,000	6,654	0
L 100-63, Semi-industriale	,454	,569	,285	4	0,000	1,180	0
L 63-45, Total	20,289	28,696	9,565	9	,110	75,118	0
L 63-45, Industriale	28,188	36,641	16,386	5	,110	75,118	0
L 63-45, Semi-industriale	10,415	13,110	6,555	4	,317	28,344	0
L 45-16, Total	20,289	16,612	5,537	9	2,222	50,189	0
L 45-16, Industriale	19,190	19,567	8,751	5	2,222	50,189	0
L 45-16, Semi-industriale	21,663	14,863	7,432	4	8,060	39,559	0
L 16-3, Total	49,319	32,454	10,818	9	6,476	85,261	0
L 16-3, Industriale	42,080	38,653	17,286	5	6,476	85,261	0
L 16-3, Semi-industriale	58,368	24,903	12,452	4	33,281	81,933	0
L<3, Total	8,642	4,511	1,504	9	1,656	15,847	0
L<3, Industriale	8,331	6,171	2,760	5	1,656	15,847	0
L<3, Semi-industriale	9,032	1,772	,886	4	6,453	10,494	0

### Mann-Whitney U for Oversize

#### Grouping Variable: Meccanizzazione

U	9,500
U Prime	10,500
Z-Value	-,122
P-Value	,9025
Tied Z-Value	-,128
Tied P-Value	,8982
# Ties	1

### Mann-Whitney U for L 100-63

#### Grouping Variable: Meccanizzazione

U	7,000
U Prime	13,000
Z-Value	-,735
P-Value	,4624
Tied Z-Value	-,747
Tied P-Value	,4548
# Ties	1

### Mann-Whitney Rank Info for L 100-63

#### Grouping Variable: Meccanizzazione

	Count	Sum Ranks	Mean Rank
Industriale	5	28,000	5,600
Semi-industriale	4	17,000	4,250

**Mann-Whitney U for L 63-45****Grouping Variable: Meccanizzazione**

U	10,000
U Prime	10,000
Z-Value	0,000
P-Value	>,9999
Tied Z-Value	0,000
Tied P-Value	>,9999
# Ties	0

**Mann-Whitney Rank Info for L 63-45****Grouping Variable: Meccanizzazione**

	Count	Sum Ranks	Mean Rank
Industriale	5	25,000	5,000
Semi-industriale	4	20,000	5,000

**Mann-Whitney U for L 45-16****Grouping Variable: Meccanizzazione**

U	8,000
U Prime	12,000
Z-Value	-,490
P-Value	,6242
Tied Z-Value	-,490
Tied P-Value	,6242
# Ties	0

**Mann-Whitney Rank Info for L 45-16****Grouping Variable: Meccanizzazione**

	Count	Sum Ranks	Mean Rank
Industriale	5	23,000	4,600
Semi-industriale	4	22,000	5,500

**Mann-Whitney U for L 16-3****Grouping Variable: Meccanizzazione**

U	7,000
U Prime	13,000
Z-Value	-,735
P-Value	,4624
Tied Z-Value	-,735
Tied P-Value	,4624
# Ties	0

**Mann-Whitney Rank Info for L 16-3****Grouping Variable: Meccanizzazione**

	Count	Sum Ranks	Mean Rank
Industriale	5	22,000	4,400
Semi-industriale	4	23,000	5,750

**Mann-Whitney U for L<3****Grouping Variable: Meccanizzazione**

U	9,000
U Prime	11,000
Z-Value	-,245
P-Value	,8065
Tied Z-Value	-,245
Tied P-Value	,8065
# Ties	0

**Mann-Whitney Rank Info for L<3****Grouping Variable: Meccanizzazione**

	Count	Sum Ranks	Mean Rank
Industriale	5	24,000	4,800
Semi-industriale	4	21,000	5,250



## Ringraziamenti

Desidero ringraziare di cuore:

la dr. Valda Rondelli e il prof. Marco Bentini per la disponibilità e l'assistenza in questi 3 anni di dottorato,

il dr Raffaele Spinelli del CNR Ivalsa per i validi consigli, per l'incoraggiamento e per l'aiuto nel raccogliere i dati produttivi e di esposizione alle polveri di legno nei cantieri di cippatura,

i colleghi dell'Ivalsa: Carolina Lombardini, Gianni Picchi e Carla Nati, per la collaborazione nei rilievi in campo,

la ditta costruttrice Pezzolato SpA, la ditta De Luca S.a.S., l'impresa agroforestale F.Ili Travaglini, la ditta Carboni, la cooperativa agricola Il Forteto e la società cooperativa agricola AgriAmbiente per aver compreso lo scopo della ricerca e avermi consentito l'accesso ai loro cantieri. Il più sentito ringraziamento va agli operatori che hanno pazientemente indossato i dispositivi per la misurazione dell'esposizione alle polveri di legno,

i dott. Marco Pirozzi, Daniele Puri e Vincenzo Laurendi, dell'VIII Unità Funzionale del Dipartimento Tecnologie di Sicurezza dell'INAIL (ex Ispesl), per aver fornito le indicazioni sulla normativa in merito agli aspetti costruttivi di sicurezza delle cippatrici,

il dott. Bruno Banchi, tecnico della Prevenzione negli Ambienti e nei Luoghi di Lavoro dell'Azienda U.S.L. 7 di Siena, (Dipartimento Tecnico Sanitario, Laboratorio di Sanità Pubblica Area Vasta Toscana Sud Est) per aver eseguito l'analisi delle membrane delle polveri di legno in tempi brevissimi e per le informazioni fornite,

e infine i miei genitori per aver pazientemente supportato/sopportato la stesura di questa tesi

tutti voi avete contribuito alla realizzazione di questa ricerca, quindi è anche un po' vostra!

Ne è valsa la pena