

In questo capitolo si affrontano gli stadi della filiera del legno-energia che seguono le fasi della raccolta e della prima trasformazione.

Una volta estratta dalle diverse tipologie di fonti primarie ed effettuata eventualmente una prima lavorazione già in campo, la biomassa legnosa subisce ancora dei processi che portano all'ottenimento di un prodotto finito e ne permettono la successiva vendita.

Il fulcro di futte queste fasi è il piazzale di lavorazione e stoccaggio: è qui che la biomassa viene conferita da tutti i siti in cui si sono allestiti i cantieri di raccolta, è qui che la biomassa subisce un'ulteriore trasformazione ed è sottoposta a un idoneo processo di stagionatura ed è qui infine che la biomassa viene adeguatamente conservata, in attesa della sua commercializzazione e del suo conferimento al sito di utilizzo finale.

Nel primo paragrafo si è preso in esame il piazzale di lavorazione, maturazione e stoccaggio della biomassa legnosa. Si sono analizzate le lavorazioni e le diverse modalità di maturazione e stoccaggio a cui è sottoposta in piazzale la biomassa. In particolare si sono approfonditi i diversi metodi di stagionatura del legno cippato, riferendo alcune esperienze condotte in merito da Veneto Agricoltura, mentre per quanto riguarda la legna in pezzi si sono descritti due esempi concreti di piazzali di lavorazione attivi in diverse zone della pianura veneta. Infine si sono puntualizzate la struttura e la dotazione completa di macchine e attrezzature di un moderno piazzale presso cui si concentrano le operazioni di trasformazione, stoccaggio e distribuzione finale della biomassa legnosa.

Nel secondo paragrafo si è affrontata la fase del trasporto della biomassa, esaminando le problematiche logistiche e organizzative che la caratterizzano e differenziando le tipologie di mezzi di trasporto che contraddistinguono le singole filiere esaminate.

Nel terzo paragrafo infine si sono esaminate le modalità di compravendita della biomassa legnosa, soffermandosi sulla commercializzazione del legno cippato; in particolare si presenta una procedura innovativa che si propone di aumentare la trasparenza nei processi di vendita. Questa ultima parte è stata curata dai tecnici di AIEL – Associazione per le Energie Agro-forestali.



# IL PIAZZALE DI LAVORAZIONE, MATURAZIONE, STOCCAGGIO E IL TRASPORTO E LA COMPRAVENDITA DELLA BIOMASSA LEGNOSA

Una società che vuole rifornire con il combustibile legnoso di sua produzione le varie utenze che ricadono nel comprensorio in cui gravita (le centrali termiche che alimentano abitazioni residenziali, edifici pubblici, strutture industriali) necessita della possibilità di lavorare e stipare quantità ingenti di prodotto, al fine di assicurare un costante e adeguato approvvigionamento. Per tale motivo una piattaforma produttiva del legno-energia deve essere dotata di un grande piazzale per la lavorazione e lo stoccaggio della biomassa, nella forma sia del legno cippato sia degli altri prodotti che possono far capo alla sua attività (legna da ardere in pezzi, paleria minuta o da vite). Per acquisire maggior forza e radicamento nel territorio, infatti, la società deve cercare di differenziare il più possibile le proprie strategie di lavorazione e vendita e le proprie tipologie produttive: questa polivalenza è determinante per inserirsi nei vari mercati della biomassa legnosa a scopi energetici, i cui ambiti sono caratterizzati da variabili e condizioni nettamente diverse. Mentre nel mercato del legno cippato il guadagno è marginale, per cui occorre produrre e commerciare ingenti quantità di prodotto, la produzione della legna da ardere è invece caratterizzata da un valore aggiunto non trascurabile, per cui il guadagno realizzabile risulta più elevato. Il piazzale deve essere localizzato strategicamente nel territorio in cui la società svolge la sua attività e deve caratterizzarsi per la sua posizione centrale rispetto al comprensorio a cui fa da riferimento. Inoltre deve essere facilmente raggiungibile dai mezzi di trasporto: a tale scopo il sito deve essere servito da un'adeguata viabilità, in virtù della presenza di una comoda e fitta rete stradale e autostradale, e allo stesso tempo non deve distare eccessivamente dagli impianti termici di utilizzazione finale della biomassa da energia. Ai fini di un contenimento razionale dei costi, si stima che tale distanza massima di approvvigionamento non debba superare i 30-40 chilometri (Mezzalira et al., 2003). All'interno del piazzale di lavorazione si devono distinguere due zone: una riservata alla lavorazione e allo stoccaggio del legno cippato (Foto 3.1), mentre l'altra va riservata alla produzione della legna in pezzi (ed eventualmente della paleria minuta).



Foto 3.1. Cumuli di legno cippato stoccati in piazzale.

#### 3.1 IL LEGNO CIPPATO

Nel processo produttivo del cippato si devono valutare due principali parametri:

- il contenuto idrico o l'umidità relativa che caratterizza la biomassa legnosa nei vari stadi della sua lavorazione: in questo contesto si distingue tra cippato secco e cippato fresco;
- il tipo di impianto termico finale che impiega come combustibile il legno cippato: si distinguono principalmente caldaie a griglia fissa e caldaie a griglia mobile.

### 3.1.1 Cippato fresco e cippato secco

Con il termine di cippato "fresco" ci si riferisce a *chips* caratterizzati da un contenuto idrico molto elevato, che si aggira su percentuali del 50-60% (Foto 3.2): questo tipo di prodotto si ottiene se la cippatura è effettuata subito dopo il taglio (o al massimo qualche giorno dopo), a partire da piante appena abbattute, per cui il materiale non ha ancora subito un processo di stagionatura ed essiccazione.



Foto 3.2. Cippato fresco, molto umido.

Con il termine di cippato "secco" invece si intendono particelle aventi un contenuto idrico non superiore al 30-35%: si tratta di materiale ben stagionato (Foto 3.3), che è già andato incontro a un adeguato periodo di maturazione.



Foto 3.3. Cippato secco, ben stagionato.



Sul territorio sono diffuse principalmente due tipologie di impianti termici ad alto rendimento alimentati a cippato: si tratta delle caldaie a griglia mobile e delle caldaie a griglia fissa. Per la descrizione di questi due tipi di caldaie si rimanda al capitolo 4, dedicato appositamente a questa tematica; qui basta tenere presente che le caldaie a griglia fissa possono essere alimentate solo con cippato secco, mentre le caldaie a griglia mobile funzionano sia a cippato secco sia anche a cippato fresco, molto umido.

Queste due variabili influenzano profondamente il processo di produzione del legno cippato, sia per quanto riguarda la sua maturazione e il conseguente stoccaggio, sia per quanto riguarda le modalità di commercializzazione del materiale sul mercato.

#### 3.1.2 La stagionatura del cippato

La preparazione e la conservazione dei *chips* devono avvenire rispettando determinate condizioni e seguendo particolari accorgimenti: durante la stagionatura infatti vi può essere un deterioramento non solo quantitativo ma anche qualitativo del materiale, con conseguente perdita di potere calorifico.

Per la maturazione del cippato si ricorre solitamente a due diversi metodi di essiccazione naturale, definiti volgarmente "sul secco" e "sul fresco".

Si parla di essiccazione "sul secco" se il cippato è ottenuto da piante morte o se si decide di lasciare stagionare in campo le piante intere abbattute, per esempio riunendole in cataste a bordo bosco o a bordo arboreto, per poi andarle a cippare dopo alcuni mesi, quando ormai il legno si è asciugato.

Dopo la cippatura la biomassa risultante è già pronta per l'uso (il suo contenuto idrico, mediamente pari al 30-35% circa, è sufficientemente basso), per cui l'unico problema è quello di conservarla in questo stato e stoccarla in modo adeguato (Mezzalira *et al.*, 2003).

Si parla di essiccazione "sul fresco" se invece il cippato è prodotto eseguendo la sminuzzatura a partire da piante appena abbattute; in questo caso è essenziale prestare la necessaria attenzione per favorire una buona asciugatura e una completa maturazione.

#### LA FERMENTAZIONE E IL PERICOLO DI AUTOCOMBUSTIONE

Il cippato sminuzzato, umido e in presenza di una temperatura favorevole (20-25 °C), rappresenta un substrato ottimale per la proliferazione di vari microrganismi che si nutrono del legno e dei suoi componenti (funghi, batteri e muffe): le particelle legnose sono caratterizzate da una grande superficie d'attacco che favorisce l'azione degli organismi degradatori del legno.

L'attacco microbiologico si verifica già a partire da poche ore dopo la cippatura e può proseguire per diverse settimane. I cumuli di cippato infatti iniziano subito un processo di fermentazione e raggiungono al loro interno temperature medie di 70-80 °C (l'innalzamento termico dovuto alla respirazione microbica può superare a volte anche i 100 °C). L'azione di questi agenti di fermentazione comporta una perdita di sostanza secca non trascurabile, con riduzione di massa a volte anche pari al 20%. L'effettiva perdita di materiale legnoso è tuttavia compensata dal vantaggio della rapida perdita d'acqua dal legno per evaporazione: i processi fermentativi di biodegradamento inducono un riscaldamento che accelera opportunamente il verificarsi dei processi di essiccazione all'interno dei cumuli di cippato (Mezzalira et

L'essiccazione del prodotto avviene mediante correnti d'aria calda che si generano all'interno del cumulo durante i processi di biodegradamento e che si arrestano quando il legno raggiunge un'umidità inferiore alla soglia di attività di tali agenti di alterazione (Cielo, 1997).

La fermentazione prosegue fino a che nel cumulo è presen-

te acqua a sufficienza, poi il processo di biodegradamento si arresta naturalmente. Le notevoli perdite di massa e il deterioramento qualitativo dei *chips* sconsigliano la conservazione del cippato in grossi cumuli all'aperto, alla mercè degli eventi atmosferici (Cielo, 1997).

Solitamente tuttavia lo strato bagnato dalle acque meteoriche si limita solo ai 20 centimetri superficiali, al di sotto dei quali si verifica la formazione di uno strato indurito piuttosto impermeabile che protegge lo strato sottostante (Mezzalira et al., 2003).

Per evitare comunque che l'acqua imbibisca lo strato superficiale del cumulo, si possono adottare alcuni semplici accorgimenti, come la conservazione dei cumuli di cippato al coperto (magari con l'accortezza di praticarvi opportuni camini di aerazione), oppure come l'utilizzo di teli speciali che lasciano evaporare l'acqua del cumulo ma risultano impermeabili alle acque meteoriche.

Per piccoli cumuli dell'altezza di 2-3 metri non dovrebbe sussistere alcun pericolo di autocombustione. La temperatura all'interno del cumulo si attesta sui 65-70 °C, con punte di 80 °C, e il cumulo emette vapore acqueo. Una maggiore attenzione si deve avere nel caso in cui il cippato contenga grandi quantità di foglie secche, che formano un substrato più facilmente incendiabile. Tuttavia non si riscontrano esperienze di autoincendio con quest'ordine di grandezza dei cumuli. Casi di autocombustione si riscontrano invece nei piazzali di stoccaggio delle grosse centrali, quando il cippato viene stoccato in grandi cumuli, alti più di 5 metri



e costipati, per esempio a causa dell'azione delle pale meccaniche che vi passano sopra ripetutamente per movimentarlo. In taluni casi, specie se il cippato contiene impurità come fogliame secco, o polvere di caffè nel caso di materiale di provenienza esotica, si ha esperienza di filoni di cippato soggetti ad autocombustione; questa si innesca nel momento in cui si va a movimentare il cumulo surriscaldato, facendovi penetrare aria e quindi ossigeno. Tuttavia non si tratta di incendio con fiamma, ma piuttosto i *chips* bruciano lentamente mantenendosi allo stato di brace. Lo spegnimento in genere viene effettuato asportando con le pale meccaniche i filoni di cippato che sta bruciando e solo in alcuni casi è necessario l'utilizzo di acqua.

## 3.1.3 Le modalità di maturazione e stoccaggio del cippato

Per la maturazione e la successiva conservazione del cippato si possono seguire due procedimenti (Agostinetto *et al.*, 2005):

- allestimento in cumuli sotto tettoie areate;
- allestimento in cumuli all'aperto con copertura mediante telo traspirante.

### 3.1.3.1 Allestimento in cumuli sotto tettoie areate

Se possibile, lo stoccaggio deve essere effettuato in un ambiente ventilato, meglio se sotto una tettoia di cubatura e dimensioni adeguate. I cumuli per lo stoccaggio è bene siano piccoli e tra loro separati. Questa opzione costituisce la soluzione più indicata, poiché il cumulo sotto la tettoia (Foto 3.4) rimane asciutto sia in superficie sia nella parte a contatto con il suolo; è importante che esso sia ben areato almeno su due lati.



Foto 3.4. Stoccaggio del cippato sotto tettoia aerata.

#### N.B.

La stagione di partenza, l'andamento stagionale e le caratteristiche climatiche della zona influenzano sempre i tempi necessari per la stagionatura, che va da un minimo di 1 mese e mezzo a un massimo di 6 mesi (Agostinetto et al., 2005).

## 3.1.3.2 Allestimento in cumuli all'aperto con copertura mediante telo traspirante

Qualora non sia possibile effettuare la maturazione al coperto, essa può essere effettuata in un piazzale all'aperto, seguendo alcune importanti procedure per non subire perdite eccessive di prodotto. In questo caso il cippato fresco, avente un contenuto idrico pari a circa il 50-55%, viene coperto con un telo costituito da un particolare tipo di "tessuto non tessuto" (Agostinetto et al., 2005).

Questo telo è composto da polipropilene ed è resistente ai raggi UV: esso è in grado di far traspirare l'umidità prodotta dal cippato sottostante e contemporaneamente impedisce la penetrazione dell'acqua meteorica (Foto 3.5).



Foto 3.5. Stoccaggio all'aperto del cippato con copertura tramite telo traspirante.

Al suo interno la biomassa inizia la fermentazione con formazione di muffe bianche sulla superficie delle particelle legnose (Foto 3.6) e innalzamento della temperatura all'interno del cumulo fino a 70-80 °C. In questo modo l'acqua contenuta nel legno evapora verso l'alto attraverso gli interstizi presenti tra i *chips* ed esce in atmosfera attraverso il telo traspirante.





Foto 3.6. Formazione di muffe bianche sulla superficie dei chips.

I tempi necessari alla maturazione dipendono da vari fattori tra cui la stagione di partenza, l'andamento stagionale e le caratteristiche climatiche del luogo. L'utilizzo del telo traspirante su cumuli all'aperto presenta due importanti inconvenienti cui è bene prestare attenzione (Agostinetto et al., 2005):

- la superficie del cumulo deve essere tale da non presentare concavità e nemmeno superfici piane; in tali casi infatti l'acqua meteorica si accumula e può in parte permeare attraverso il telo compromettendo l'asciugatura del cippato, con formazione di sacche marcescenti: occorre quindi che le superfici del cumulo e del telo che lo ricopre siano sempre ben inclinate;
- il cumulo deve poggiare su una superficie di asfalto o cemento e questa a sua volta deve essere perfettamente diritta, senza concavità, e inclinata in modo che l'acqua di pioggia possa scorrere via in tempi rapidi: non bisogna infatti dimenticare che il cippato si comporta in modo simile a una spugna e tende ad assorbire l'acqua anche da sotto, guastandosi per i primi 30 cm a contatto col suolo; ideale sarebbe una pavimentazione a forma convessa che permetta all'acqua di non ristagnare sotto la superficie del cumulo.

Qualora non si disponga degli appositi teli costituiti da tessuto traspirante, in presenza di cippato già stagionato, la copertura può essere effettuata anche mediante teloni o fogli in PVC per uso agricolo (Mezzalira *et al.*, 2003).

Con entrambi i metodi di maturazione si va inevitabilmente incontro a una certa perdita in peso del cumulo di cippato stoccato: essa può essere dovuta sia alla perdita d'acqua sia a una perdita di sostanza secca, la quale può arrivare anche a un 15-20% del peso iniziale (Agostinetto et al., 2005). Va rilevato che quest'ultima perdita ovviamente non si riscontra se le piante intere vengono stagionate riunite in cataste all'aperto e vengono cippate successivamente, quando il legno ha raggiunto il contenuto idrico desiderato. Per tale motivo la "cippatura sul secco" è preferibile ogni qual volta vi siano le condizioni per poterla effettuare.

#### N.B.

Il cippato può essere in alternativa anche prodotto e stoccato in bosco o a bordo arboreto, all'imposto, su piazzole ben esposte e ventilate: il sole e l'aria favoriscono la naturale essiccazione della biomassa legnosa senza procedere a particolari accorgimenti per la sua conservazione. Il cippato può così essere ritirato solo al momento più favorevole per il suo trasporto e conferimento al sito di utilizzo finale (Mezzalira et al., 2003).

### 3.1.4 Le esperienze condotte dal Centro Vivaistico e per le Attività Fuori Foresta di Veneto Agricoltura

Negli ultimi anni il Centro Vivaistico e per le Attività Fuori Foresta di Veneto Agricoltura ha condotto a scopo sperimentale e dimostrativo alcune esperienze in relazione alla lavorazione, allo stoccaggio e alla maturazione del legno cippato, sia sul fresco sia sul secco.

### 3.1.4.1 Prima esperienza

Nel mese di Aprile 2004 si è effettuato un diradamento a carico di un arboreto da legno di pregio localizzato nelle campagne di Montecchio Precalcino (VI), con eliminazione delle piante presenti lungo le file intercalari: si sono ottenute 50 tonnellate di cippato (processo di cippatura sul fresco), avente un contenuto idrico iniziale del 48% (Foto 3.7).





Foto 3.7. Cippatura sul fresco.

Il materiale così prodotto, derivato da piante di ontano napoletano (*Alnus cordata*) cippate intere, è stato trasportato presso il centro aziendale e depositato all'aperto su un piazzale asfaltato. Qui è stato riunito in un cumulo largo 4 metri, alto 1,5 metri e lungo circa 25 metri.

Subito si è provveduto a coprire il cumulo con l'apposito telo in tessuto speciale, in grado di far traspirare l'acqua di evaporazione e nel contempo di impedire la penetrazione dell'acqua meteorica.

### IL TELO TRASPIRANTE

Per lo stoccaggio del cippato si è impiegato il telo "Top Tex" (Foto 3.8), prodotto da una ditta estera e commercializzato in Italia dalla Polyfelt. Il telo pesa all'incirca 200 g/mq ed è venduto a rotoli di circa 250 mq; ne esistono vari modelli aventi differenti formati (50 metri di lunghezza x 4,90 metri di larghezza, 25 x 4,90 metri oppure 25 x 9,80 metri). Il costo di un simile telo è pari a 2,10 euro/mq (IVA esclusa).



Foto 3.8. Telo "Top Tex" impiegato per la copertura dei cumuli di cippato in piazzale.

Seguendo tutte le fasi di maturazione del prodotto, con periodici rilievi della temperatura e del contenuto idrico del cippato, si è potuta osservare la modalità con cui avviene il processo di stagionatura all'aperto.

Sin da subito hanno avuto inizio i processi biotici dovuti ai microrganismi che hanno trovato un substrato estremamente favorevole alla loro attività e proliferazione: con la comparsa delle muffe bianche sulla superficie dei *chips* si è riscontrato l'innalzamento della temperatura all'interno del cumulo (Foto 3.9); l'acqua presente all'interno del cumulo, evaporando tra gli interstizi presenti tra i *chips*, via via è fuoriuscita in atmosfera attraverso il telo traspirante (Foto 3.10).



Foto 3.9. All'interno del cumulo la temperatura sale fino a 65-70 °C.



Foto 3.10. L'acqua fuoriesce dal cumulo attraverso il telo traspirante.

La temperatura man mano è scesa col diminuire del contenuto idrico e quindi dei processi biotici, sino a equivalersi alla temperatura dell'ambiente esterno (dopo circa un mese). Dopo quattro mesi di stagionatura il cippato ha raggiunto un contenuto idrico pari al 30%, ottimale per la sua commercia-



lizzazione, ed è stato venduto a un ente pubblico proprietario di due caldaie a biomassa di media potenza, a griglia fissa e dotate di coclea di estrazione.

Delle 50 tonnellate di massa iniziale, la massa giunta a fine stagionatura e venduta è risultata pari a 30 tonnellate, vale a dire "solo" il 60% della biomassa raccolta. Le 20 tonnellate mancanti all'appello sono presumibilmente rappresentate dall'acqua evaporata (circa 13 tonnellate, pari al 26% del peso del cippato iniziale) e dalla perdita di sostanza secca dovuta all'attacco microbico (circa 7 tonnellate, pari al 27% della sostanza secca inizialmente raccolta e al 14% della massa iniziale totale).

La perdita di sostanza secca è stata notevole: questo può essere in parte giustificato dal fatto che nel periodo di raccolta (Aprile) le piante erano in piena attività di succhio, stavano cioè trasportando acqua e sostanze nutritive dalle radici alle nascenti foglie: per tale motivo le sostanze zuccherine di cui il legno era ricco hanno favorito la proliferazione dei microrganismi responsabili della respirazione anaerobica, con conseguente perdita ragguardevole di sostanza secca.

Nello stesso anno, con una parte della legna derivante dallo stesso diradamento, il Centro Vivaistico di Montecchio Precalcino (VI) ha parallelamente sperimentato lo stoccaggio in campo delle piante intere e la cippatura delle stesse una volta stagionate (processo di cippatura sul secco).

Circa 38 tonnellate di legname avente contenuto idrico iniziale del 48% sono state lasciate a bordo dell'arboreto per circa nove mesi, per poi procedere alla loro cippatura (Foto 3.11).



Foto 3.11. Cippatura sul secco.

Già nel Luglio del 2004, quindi a soli tre mesi e mezzo dal taglio, grazie a una misurazione effettuata con apposita strumentazione, si era potuto constatare che il contenuto idrico del legno stoccato era già sceso al 30-35%. Le cataste potevano quindi già essere cippate e il prodotto avviato direttamente in caldaie anche a griglia fissa.

Il cippato prodotto è stato pesato e portato in azienda: tale massa è risultata pari a circa 28 tonnellate, in presenza di un contenuto idrico del 28%. In questo caso, a differenza della situazione precedente (stoccaggio e maturazione di legno cippato subito dopo il taglio), sono "mancate" alla fine solo 10 tonnellate, cioè l'equivalente dell'acqua che è evaporata abbassando il contenuto idrico del legno (circa il 26% della massa totale iniziale).

Non si è pertanto verificata la perdita di sostanza secca dovuta alla fermentazione anaerobica; in realtà tale processo ha comunque avuto luogo, ma non in modo così accentuato come nel caso dell'essiccazione sul fresco. In compenso però il legno stoccato per così tanti mesi ha evidenziato qualche aggressione da parte di agenti della carie, con conseguente perdita del potere calorifico.

Ciò si è potuto notare durante le operazioni di cippatura delle piante intere, durante le quali tronchi e rami si sminuzzavano in pezzi con un distacco "regolare" (fenomeno tipico nel legno soggetto ad attacchi di funghi cariogeni). L'irrilevante perdita di sostanza secca nelle piante stagionate intere si è spiegata con la difficoltà da parte degli agenti xilofagi a penetrare all'interno del legno, grazie alla minore superficie d'attacco e alla presenza difensiva della corteccia (almeno nelle prime settimane).

#### 3.1.4.2 Seconda esperienza

Nel Dicembre del 2005 si è realizzato un ulteriore cantiere di raccolta presso una serie di impianti legnosi lineari (siepi campestri e bande boscate polivalenti) sempre ubicati nelle vicinanze del Centro Vivaistico a Montecchio Precalcino (VI). In tal caso si è proceduto alla cippatura sul fresco, ottenendo legno cippato di molteplici specie legnose, tra cui il platano, il carpino nero, l'acero saccarino, l'olmo campestre. La biomassa prodotta è stata trasportata presso il centro aziendale, depositata all'aperto su un piazzale asfaltato e subito coperta con lo speciale telo traspirante. In questa circostanza si sono realizzati cumuli più grandi e più alti (fino a 3 metri); il cippato ha raggiunto un contenuto idrico pari al 30%, ottimale per la sua commercializzazione, dopo un periodo di appena 50 giorni (Foto 3.12).



Foto 3.12. Cumulo di cippato alto 3 metri in fase di maturazione.



Alla luce di tali esperienze, si può affermare come sia sicuramente più conveniente cippare sul secco piuttosto che sul fresco, qualora questo sia possibile. Infatti in questo modo si evitano le non trascurabili perdite di sostanza secca dovute ai processi di fermentazione. Inoltre va sempre ricordato che, minori sono le movimentazioni della materia prima e/o del prodotto finale, minori saranno i costi globali di produzione. Per quanto riguarda invece l'ipotesi di cippatura sul fresco, si può affermare come molto probabilmente la realizzazione di cumuli di maggiori dimensioni (in particolare in altezza) permettano un maggior riscaldamento all'interno del mucchio, con un impatto e un'incidenza più rilevanti dei processi fermentativi che accelerano i processi essiccativi. Ovviamente a tale proposito va evidenziato come l'altezza dei cumuli di cippato non deve essere eccessiva (il limite massimo tollerabile si attesta attorno a circa 5 metri), pena il rischio di innesco di fenomeni interni di autocombustione e l'eccessivo compattamento del materiale, che finisce solo per danneggiare la bontà e l'evoluzione dei processi di stagionatura.

#### N.B

Affinché una filiera del cippato sia sostenibile, il produttore deve, a priori, trovare la giusta combinazione di prodotti e simulare attentamente a tavolino i calcoli relativi al computo complessivo dei costi e dei ricavi della filiera. Nel bilancio economico finale è necessario infatti prendere nella dovuta considerazione il fenomeno delle perdite di peso che avvengono durante il processo di maturazione, dovute all'evaporazione dell'acqua presente nel legno e al calo della sostanza secca trasformata dai microrganismi. Il rischio di non prendere in giusta considerazione questi fenomeni è quello di provocare una perdita economica nel bilancio globale del processo produttivo.

#### 3.2 LA LEGNA IN PEZZI

Nell'ambito di questa filiera le principali macchine di cui deve essere dotato un piazzale di lavorazione e stoccaggio della biomassa da energia sono le cosiddette macchine taglia-spacca legna. L'impiego di queste macchine si ritiene indispensabile per alcuni motivi: in primo luogo poiché queste operatrici permettono un notevole incremento della produttività del lavoro, riducendo al massimo la fatica e lo sforzo degli operatori. Inoltre esse permettono di abbattere i costi di produzione, in un contesto in cui il prodotto finito è caratterizzato da un interessante valore aggiunto anche se il

rischio di passare dal guadagno alla perdita è sempre piuttosto elevato, per cui il bilancio economico delle varie fasi del processo produttivo deve essere sempre tenuto in grande considerazione. La dotazione delle moderne macchine combinate (Foto 3.13) consente di ridurre drasticamente i bisogni di manodopera (e di conseguenza anche i costi elevati che il personale comporta), permettendo all'impresa di operare in un mercato in cui si fa sempre più rilevante l'invasione di legname estero, proveniente da aree geografiche (i paesi dell'Est dell'Europa) in cui il costo della manodopera è molto più basso.



Foto 3.13. Centro per la lavorazione della legna da ardere in un piazzale di trasformazione.

La lavorazione conclusiva della legna da ardere è una fase poco nota in ambito forestale, in quanto raramente avviene direttamente in bosco: essa infatti viene generalmente eseguita dai grossisti o dai consumatori finali, negli appositi piazzali di trasformazione.

La fase finale di lavorazione consiste dapprima nel taglio e nello spacco dei fusti interi e/o dei polloni in tronchetti di 1 metro (in realtà la misura oscilla tra 100-110 centimetri), vale a dire la modalità generalmente utilizzata nella fase di prima lavorazione del legno (Mezzalira et al., 2003).

Le dimensioni finali dei pezzi di legna pronti per l'impiego (Foto 3.14) possono essere molteplici. A seconda del tipo di apparecchio termico utilizzato, i tronchetti lunghi 1 metro vengono successivamente tagliati (Mezzalira et al., 2003):

- in 2 parti di 50-55 centimetri per le caldaie a legna;
- in 3 parti di 33-36 centimetri per i caminetti;
- in 4 parti di 25-27 centimetri per le stufe e le cucine a legna.

La tipologia e le dimensioni degli assortimenti richiesti dipendono dalle specifiche esigenze dei singoli acquirenti.

In alcuni casi si impiegano anche pezzi di legna lunghi fino a 60-100 centimetri: si tratta di caldaie di grandi dimensioni, dove la bocca di alimentazione dell'impianto di combustio-



ne non è un elemento limitante per la lunghezza dell'assortimento. La larghezza dei pezzi di legna, ovvero la massima dimensione riscontrabile in sezione trasversale, non supera generalmente i 15-20 cm.



Foto 3.14. Bancali di pezzi di legna pronti per la consegna.

I centri per la lavorazione della legna da ardere sono ideali per la lavorazione su scala industriale di ingenti volumi di legna in pezzi nei piazzali di lavorazione e stoccaggio del legno-energia.

L'elevato peso e le notevoli misure d'ingombro di queste operatrici richiedono un ampio spazio per il loro allestimento, in un piazzale aziendale o all'interno di un capannone.

Il ciclo di funzionamento è semi-automatico o automatico e controllato tramite un *software* computerizzato, con cui è possibile programmare e impostare la lunghezza secondo cui tagliare il materiale (tronchi o ramaglie) e la quantità di pezzi in cui spaccare i tronchi. Tali macchine sono fisse, compatte, controllabili da uno o due operatori, azionabili con motori elettrici. Sono equipaggiate con un'ottima dotazione di dispositivi di sicurezza che riducono al minimo il verificarsi di incidenti e i rischi per la salute degli operatori.

#### N.B.

La presenza di sistemi automatizzati e perfezionati per la movimentazione della legna sia in fase di alimentazione della macchina (carrello appoggia tronchi, deposito-piano di carico, caricatore idraulico con "singolarizzatore" che movimenta i tronchetti uno a uno senza intoppi verso la culla di alimentazione degli organi di taglio e poi di spacco) sia in fase di evacuazione del prodotto (nastri di scarico dei pezzi di legna ottenuti) consentono una notevole semplificazione del lavoro e un'elevata produttività: nei vari casi, a seconda delle modularità e degli accessori che contraddistinguono i diversi modelli, la produttività è compresa tra 3-5 e 12-15 tonnellate/ora di prodotto finito lavorato.

## 3.2.1 Due esempi concreti di piazzale di lavorazione della legna in pezzi

Nell'estate del 2004, per valutare la struttura e l'organizzazione logistica di un piazzale di lavorazione della legna da ardere in pezzi, si sono visitate due realtà ubicate in zone diverse della pianura veneta e operanti concretamente sul territorio.

In entrambi i casi si lavora legname grezzo nella forma di fusti interi che provengono quasi totalmente dai paesi dell'Europa orientale; il trasporto avviene tramite autotreni o autoarticolati. Solo in minima parte la materia prima viene ricavata da boschi italiani. La legna proveniente da tali paesi riesce a spuntare un prezzo molto basso, dal momento che anche il costo della manodopera in quelle realtà è piuttosto ridotto. Inoltre le quantità di legname estratte dai boschi di quelle regioni sono molto ingenti, assicurando un rifornimento sicuro e costante in tutto l'arco dell'anno. I prodotti finali sono pezzi di legna pronti per l'uso in stufe, caldaie, caminetti, forni di panifici, ristoranti, pizzerie; inoltre vengono riforniti nelle diverse realtà grandi distributori fuori zona e alcuni centri commerciali.

Di seguito si riporta la descrizione dei due piazzali di produzione di legna da ardere oggetto di sopralluogo, evidenziando le caratteristiche delle macchine utilizzate e dello specifico mercato in cui il prodotto si inserisce.

## 3.2.1.1 Piazzale di lavorazione ubicato nell'Alto Vicentino

Il legname trasformato in questa realtà produttiva proviene da Slovacchia e Croazia mediante trasporto su gomma. Le specie lavorate sono in gran parte carpino bianco e faggio (Foto 3.15).



Foto 3.15. Catasta di tronchi depositata in piazzale prima della lavorazione.

Il costo d'acquisto dei fusti, lunghi generalmente 4-5 metri, è di circa 60-80 euro/tonnellata, a seconda della qualità della materia prima.



I tronchi interi sono scaricati e depositati in un piazzale di circa 2.500 mq e successivamente trasformati in tronchetti mediante una macchina taglia-spacca legna fissa Pezzolato TLC 900 (Foto 3.16): tale modello costa tra i 60.000 e i 70.000 euro a seconda degli accessori installati e abbisogna di un operatore fisso durante il suo funzionamento. La macchina opera su diametri massimi di 36 cm, depezzando fusti lunghi sino a 5 metri e spaccando i tronchetti risultanti in un numero variabile di spicchi (fino a un massimo di 8).



Foto 3.16. Centro di lavorazione Pezzolato TLC 900.

La notevole forza di spinta della macchina consente la lavorazione anche di tronchi non perfettamente diritti e con nodi. Un articolato sistema di movimentazione della legna, prima e dopo l'azione del taglio, consente di lavorare su più tronchi contemporaneamente. La macchina è azionata grazie a un motore elettrico da 18,5 kW, che può essere eventualmente sostituito da un motore Diesel; il funzionamento può avvenire anche tramite presa di potenza. L'elevato grado di sicurezza degli operatori è assicurato dall'adeguata distanza dall'organo in movimento.

I pezzi di legna così ottenuti vengono scaricati direttamente su un piccolo autocarro (Foto 3.17) e venduti sfusi a pizzerie e utenti privati della zona, soprattutto nel periodo da Aprile a Settembre; il prezzo di vendita è pari a 110-120 euro/tonnellata.

Negli ultimi tempi l'imprenditore sta prendendo in considerazione l'ipotesi di importare legname già depezzato in cassettoni da 1,3-1,4 tonnellate di legna spaccata fresca. Nel piazzale, oltre al proprietario, lavora un operaio. Nel parco macchine figurano anche un piccolo autocarro, un trattore e un semovente gommato con gru idraulica.



Foto 3.17. Carico di pezzi di legna pronti per la consegna.

### 3.2.1.2 Piazzale di lavorazione ubicato nel Trevigiano

In questo piazzale si impiega legname grezzo di faggio proveniente da Repubblica Ceca, Slovacchia, Slovenia e Croazia. Questa materia prima viene importata da grossi commercianti austriaci, che praticamente controllano il mercato disponendo di elevatissime quantità e assicurando l'approvvigionamento in qualsiasi periodo dell'anno e per tutte le specie legnose richieste (Foto 3.18).



Foto 3.18. Legname grezzo pronto per la lavorazione.

La produzione media annua è pari a circa 5.000 tonnellate di legna spaccata in pezzi. Il processo di trasformazione occupa un solo operatore, che però non deve indispensabilmente rimanere nelle strette vicinanze della macchina tagliaspacca, ma può svolgere anche altre mansioni.

L'operatrice impiegata è una Pinosa EPC 4400 (Foto 3.19): è completamente automatica, può lavorare fusti di diametro massimo pari a 40 cm ed è azionabile solo attraverso motore



elettrico da 40 kW. Per tale motivo la macchina è vincolata a un uso esclusivamente aziendale.

Questo modello di centro di lavorazione della legna da ardere è munito di sistemi di manipolazione della legna completamente automatici, consistenti in un caricatore (portata di 8 tonnellate, lunghezza 4 metri), un alimentatore a stantuffo, un piano orizzontale rotante con 4 alloggi sagomati per il conferimento dei pezzi tagliati allo spacco e un nastro trasportatore per l'evacuazione dei tronchetti. Oltre che dalle grandi dimensioni, è caratterizzato da una completa automazione che interessa anche le misurazioni di lunghezza e di diametro, in modo da non produrre pezzi in sottomisura e materiale di scarto. La macchina non si presta, a detta dell'operatore, a lavorare in presenza di legname di forma irregolare e di dimensioni modeste.



Foto 3.19. Centro di lavorazione Pinosa EPC 4400.

Per produzioni industriali di legna da ardere la macchina può essere dotata di impianto di aspirazione della segatura e di recinzione metallica di sicurezza.

La produttività della macchina è pari a circa 3-4 tonnellate/ ora previo inserimento di tronchi di buone dimensioni. Il prodotto grezzo, fusti di faggio diritti e senza nodi, viene pagato 75-80 euro/tonnellata.

Il prodotto finito si divide in due categorie: per il 99% si tratta di legna in pezzi sfusa (Foto 3.20) e venduta ai grossi commercianti della zona a 95 euro/tonnellata franco piazzale di produzione; per appena l'1% invece si tratta di legna in pezzi sfusa e venduta ai centri commerciali della zona in cassette da 15 kg al prezzo di 2,70 euro/cassetta (Foto 3.21). Il titolare, in entrambi i casi, ritiene opportuno non tenere per più di 15 giorni la legna spaccata in piazzale, pena un consistente calo di peso.



Foto 3.20. Legna in pezzi venduta sfusa



Foto 3.21. Cassette da 15 kg di legna da ardere.

La produttività massima raggiungibile si attesta sulle 30-35 tonnellate/giorno in presenza di fusti aventi diametri medi di 28-30 cm. Secondo il titolare, il periodo di vita di questa macchina è di 5-6 anni; nel 2000 l'esborso per l'acquisto è stato pari a 90.000 euro. Affinché l'investimento sia conveniente, la produzione annua deve comunque superare le 3.000-4.000 tonnellate di prodotto finito.



#### 3.3 LA PALERIA MUNITA

Nella realtà veneta esistono aree a elevata vocazione agricola, molte delle quali sono caratterizzate da una locale tradizione viti-vinicola: tra queste si possono menzionare ad esempio il comprensorio dei Colli Euganei, la zona dei Monti Berici, il Veronese occidentale, il Trevigiano.

Se in tutte le aziende agricole vi è la necessità di disporre di paleria di diversa pezzatura, soprattutto nelle aziende viticole vi è forte richiesta di paleria minuta (Foto 3.22), e più in particolare del "palo da vite", per il quale esiste un vero e proprio mercato.



Foto 3.22. Paleria in cumulo pronta per la commercializzazione.

Le caratteristiche dimensionali più ricorrenti per questo tipo di assortimento sono una lunghezza di 3,5-4 metri, un diametro alla base di 10 centimetri e un diametro in punta di 9 centimetri (Del Favero e Lasen, 1993).

Mentre in passato si era osservata una generale crisi nella domanda del palo da vite di castagno (sostituito da quello di robinia o ancor di più da quello in cemento), ultimamente si riscontra un ritorno di interesse verso il palo da vite in legno, per motivi sia estetici ed ecologici sia funzionali. Un esempio di questa tendenza è stato il contributo previsto dall'Ente Parco Colli Euganei per le aziende agricole disposte a impiegare nuovamente il palo in legno al posto di quello di cemento.

Alla produzione della paleria da vite sono destinati principalmente i castagneti, e tra di essi in particolare i castagneti dei substrati magmatici e i castagneti con ostria (Del Favero e Lasen, 1993), tipologie forestali molto diffuse nei territori veneti a forte tradizione vinicola.

Per tale motivo il piazzale di lavorazione e stoccaggio può essere dotato anche di una macchina appuntapali. Questo investimento si può rivelare opportuno qualora la richiesta di pali da vite in legno da parte delle locali aziende agricole sia così forte da richiedere un approvvigionamento rilevante e duraturo nel tempo e qualora dalle utilizzazioni dei locali boschi di castagno (o di robinia) si estragga legname di qualità da cui poter ricavare questo tipo di assortimento.

### 3.4 LA STRUTTURA DI UN PIAZZALE DI LAVORAZIONE E STOCCAGGIO

Di seguito si riporta lo schema strutturale di un tipico piazzale di lavorazione e stoccaggio dotato delle macchine operatrici essenziali per la produzione di legno cippato e di legna da ardere in pezzi.

L'ampiezza del piazzale e la sua dislocazione devono essere definite in base alla logistica del territorio in cui esso è ubicato, alle fonti di approvvigionamento della materia prima lavorata e venduta, alle capacità produttive della società che gestisce la piattaforma del legno-energia.

È fondamentale prevedere uno spazio coperto (una o più tettoie o capannoni) di dimensioni adeguate, adatto alla stagionatura e/o allo stoccaggio del prodotto: l'altezza di questa struttura deve essere di almeno 4-5 metri, al fine di rendere agevoli le manovre di carico-scarico e le operazioni di movimentazione della biomassa legnosa.

Anche la superficie del piazzale esterno deve essere abbastanza ampia, in previsione del deposito e della stagionatura di ingenti quantità di materiale all'aperto: cumuli di cippato coperti da teli di tessuto speciale, piante intere ancora da cippare, fusti ancora interi o tronchetti da depezzare per produrre pezzi di legna.

Per ottimizzare l'organizzazione e la logistica dei processi produttivi, il piazzale deve essere strategicamente suddiviso in due zone tra loro separate, relative alle due diverse filiere. In entrambi questi settori si devono prevedere apposite piazzole per lo stoccaggio momentaneo della materia prima, in attesa della sua lavorazione.

Sotto un altro apposito spazio coperto devono essere parcheggiate le macchine operatrici impiegate nei vari processi di lavorazione e trasformazione.

In seguito alle visite effettuate presso piattaforme produttive già operanti nel territorio della pianura veneta, si riporta un elenco delle principali macchine che devono contraddistinguere un moderno ed efficiente piazzale di lavorazione e stoccaggio della biomassa legnosa da energia:

- una macchina combinata taglia-spacca legna, fissa, gestita da uno o due operatori (ad esempio un centro di lavorazione della legna da ardere);
- un escavatore gommato o un sollevatore telescopico provvisto di pinza, impiegato per movimentare tronchi e ramaglie;
- una cippatrice di taglia medio-grande, di potenza elevata e dotata di motore autonomo, qualora si preveda una produzione molto elevata di legno cippato; altrimenti può essere sufficiente anche una cippatrice di potenza media, trainata e funzionante con l'ausilio di un trattore;
- un trattore agricolo: se si prevede di utilizzarlo esclusivamen-



te all'interno del piazzale o in cantieri di raccolta nelle aree rurali di pianura, può essere sufficiente un comune trattore agricolo (può andare bene anche un mezzo usato); se invece si intende utilizzarlo anche nei cantieri boschivi, esso deve essere possibilmente provvisto di allestimento forestale;

- un'appuntapali, qualora nel mercato della zona in questione la paleria minuta costituisca un assortimento finale pregiato e abbia una certa richiesta (ad esempio la produzione di pali da vite di castagno in un comprensorio in cui il comparto viti-vinicolo è diffuso);
- un camioncino con rimorchio di piccolo tonnellaggio e ribaltabile, da usarsi per la distribuzione della legna in pezzi al dettaglio (pizzerie, ristoranti, utenti privati);
- uno o più rimorchi a sponde alte o basse su cui depositare eventualmente la biomassa prodotta dalle macchine preposte alla sua lavorazione o trasformazione;
- per quanto riguarda la movimentazione del legno cippato, si deve prevedere la dotazione e l'impiego di uno o più mezzi (una benna applicata al trattore o all'escavatore o in alternativa una pala con caricatore frontale), in grado di caricare il materiale anche su cassoni o rimorchi a sponde alte (fino a 4 metri da terra).

Oltre a queste macchine, l'azienda naturalmente deve disporre anche di più motoseghe di diversa potenza e di più pale e muletti, in grado di sollevare e movimentare i bancali di legna in pezzi già lavorata e preparata per la vendita al dettaglio, anche in quantità ridotte.

#### 3.5 IL TRASPORTO DELLA BIOMASSA LEGNOSA

Il trasporto della biomassa legnosa è una fase che influenza in modo rilevante la convenienza e la sostenibilità di una filiera del legno-energia. Per trasporto si intende la movimentazione della materia prima dal luogo di produzione a quello di stoccaggio o di impiego finale.

Le modalità e le distanze che caratterizzano il trasporto della biomassa raccolta sono un fattore decisivo in termini sia economici sia logistici; ciò è dovuto in particolare alla dispersione geografica del materiale, che viene prodotto in più località diverse e distanti tra loro (Spinelli, 1998), e successivamente deve essere concentrato negli appositi siti dove viene immagazzinato (piazzale di stoccaggio e commercializzazione) o utilizzato come combustibile (una centrale termica di varia potenza al servizio di un'utenza residenziale, pubblica oppure industriale).

La distanza di conferimento del materiale, la tempistica degli spostamenti, la tipologia e la numerosità dei mezzi impiegati nel trasporto (Foto 3.23) sono pertanto parametri in grado

di incidere fortemente sul bilancio economico, sulla progettazione e sull'organizzazione strutturale dell'intera piattaforma produttiva.



Foto 3.23. Il tipo di mezzo impiegato influenza fortemente il trasporto della

## 3.5.1 L'organizzazione del trasporto della biomassa legnosa

Il trasporto della biomassa legnosa può influire pesantemente sul costo finale del materiale prodotto: per tale motivo questa fase va organizzata in modo tale da massimizzarne il più possibile l'efficienza (Spinelli, 1998).

Il trasporto può essere organizzato in più modalità, a seconda di differenti aspetti quali:

- i soggetti coinvolti;
- la tipologia di materiale trasportato;
- il tipo di mezzo impiegato nel trasporto;
- la natura del trasferimento: il tipo di viabilità e la distanza da percorrere.

#### N.B.

Tra i parametri più rilevanti a cui si deve porre attenzione nell'organizzazione della fase del trasporto si ricordano (Spinelli, 2002 b):

- la quantità totale di biomassa legnosa da trasportare; la quantità di carico trasportabile per viaggio; il numero di mezzi da mettere a disposizione;
- il tempo necessario per le operazioni di carico, trasferimento e scarico; il costo orario del mezzo impiegato.

Ovviamente tali aspetti sono strettamente legati al tipo di biomassa trasportata, alla viabilità esistente e alla distanza che contraddistingue il percorso del viaggio.

I soggetti coinvolti nei diversi contesti possono essere: agricoltori, per i processi produttivi che avvengono all'interno delle aziende agricole (specialmente in una filiera rivolta all'auto-



consumo), oppure contoterzisti, per trasporti più lunghi, su strada, e in un'ottica rivolta al mercato.

I materiali legnosi trasportati possono essere di varia natura, passando da piante intere a fusti o polloni sramati, da ramaglie e cimali a tondelli, da legna in pezzi a legno cippato fresco o secco.

Nel trasporto della biomassa legnosa a uso energetico nei vari casi si possono impiegare diverse tipologie di mezzi:

- trattori agricoli con rimorchio (a sponde basse o a sponde alte) o con pianale, dotati o meno di gru idraulica (Foto 3.24);
- autocarri (Foto 3.25);
- autotreni;
- autocarri o autotreni porta-containers scarrabili (Foto 3.26);
- autoarticolati.



Foto 3.24. Trattore agricolo e rimorchio a sponde alte.



Foto 3.25. Piccolo autocarro.



Foto 3.26. Autocarro porta-containers scarrabili.

Il tipo di viabilità può permettere l'utilizzo di particolari macchine escludendone altre; nei vari contesti si possono riscontrare (Cavalli, 2004):

- piste forestali, strade trattorabili e capezzagne nelle aree rurali (carreggiata minima 2,5 m): riescono a transitarvi solo trattori con rimorchio (o con pianale);
- strade camionabili secondarie (carreggiata minima 3 m): si possono impiegare trattori con rimorchio (o con pianale) o autocarri;
- strade camionabili principali (carreggiata minima 3,5 m): il trasporto può essere effettuato tramite trattori con rimorchio (o con pianale), autocarri, autotreni, autoarticolati.

I principali elementi che caratterizzano l'idoneità della viabilità per i vari mezzi di trasporto sono (Cavalli, 2004): la larghezza della carreggiata, le condizioni del fondo stradale e nelle zone boschive anche la pendenza massima, i raggi delle curve e dei tornanti, l'accessibilità delle piste.

Un altro parametro di fondamentale importanza nell'influenzare la scelta del mezzo in base alla sua convenienza è la distanza da percorrere durante il trasporto del materiale legnoso. In tal caso la scelta è legata alla portata del veicolo, al tempo di viaggio, di carico e di scarico, e al costo orario del mezzo impiegato.

#### N.B

Il trasporto con trattore deve assolutamente verificarsi nell'ambito di distanze ridotte, non superiori a 10 chilometri (Spinelli, 2002 b; Cavalli, 2004), altrimenti questa fase può gravare eccessivamente sui costi del processo produttivo. L'impiego dell'autocarro è invece giustificato in presenza di percorsi più lunghi o di carichi più rilevanti: l'autocarro risulta conveniente per viaggi fino a distanze massime di circa 30 chilometri (Spinelli, 2002 b).

Il sistema dei *containers* scarrabili offre una serie di vantaggi nell'ottimizzazione della tempistica dell'intero processo produttivo (in particolare nelle fasi di carico della biomassa); tuttavia dalle sperimentazioni finora effettuate si è osservato come tale opzione si riveli conveniente fino a una distanza di trasporto non superiore ai 25-30 chilometri (Spinelli, 2002 b), dopo di che risulta più vantaggioso l'impiego degli autocarri tradizionali.

Il trasporto con autotreni o con mezzi autoarticolati richiede la presenza di una buona rete stradale locale e di imposti sufficientemente ampi per la fase di carico: in ogni caso la grande quantità di biomassa trasportabile ne fa il sistema di trasporto più economico, consentendo anche spostamenti su distanze oltre i 50 chilometri (Spinelli, 2002 b; Cavalli, 2004).



#### 3.5.2 Le varie tipologie di mezzi di trasporto

I fattori che caratterizzano i mezzi di trasporto e ne influenzano la scelta sono (Spinelli, 1998):

- la portata utile: secondo le norme del Codice Stradale, qualora si superino determinati carichi, i veicoli per circolare devono disporre di autorizzazioni speciali;
- le dimensioni e la capacità volumetrica dei veicoli: anche in questo caso ci sono restrizioni e limiti fissati per legge;
- il tipo di materiale che si deve trasportare e la sua "densità sterica", cioè il rapporto tra l'ingombro totale e il suo peso: ovviamente tale parametro varia col tipo di materiale e aumenta con la dimensione e la regolarità dei pezzi (il legno cippato ha una densità sterica molto bassa, per cui quando lo si trasporta non si riesce a sfruttare completamente la portata del mezzo utilizzato).

Anche il tipo di filiera del legno-energia in cui si opera e la tipologia di biomassa prodotta (legna in pezzi o legno cippato), assieme alla peculiarità delle risorse localmente disponibili, costituiscono aspetti determinanti nel privilegiare un'opzione invece di un'altra.

L'umidità del materiale trasportato ha anch'essa un'importanza rilevante: un alto contenuto di acqua può aumentare il peso del carico, oltrepassando la portata massima consentita nella circolazione, senza avere effetti positivi sull'efficienza energetica del materiale. Per tale motivo la biomassa dovrebbe sempre essere trasportata (e anche commercializzata) su base secca.

Un ultimo aspetto che va preso in considerazione è la capienza del silo di stoccaggio che caratterizza la centrale termica che si deve rifornire: la capacità utile del deposito e la lunghezza del viaggio possono influenzare in maniera determinante la scelta del tipo e del numero di mezzi di trasporto da utilizzare.

### 3.5.2.1 Trasporto con trattore e rimorchio

Per la movimentazione della biomassa su brevi tragitti (trasporto all'interno dell'azienda o trasporto su strada nell'ambito di distanze piuttosto ridotte, entro la decina di chilometri) in genere si ricorre all'impiego di mezzi solitamente presenti nel parco macchine delle comuni aziende, vale a dire trattori e rimorchi agricoli, che vengono impiegati nei periodi dell'anno in cui non sono usati nelle principali attività aziendali. Qualora non siano presenti in azienda agricola, tali macchine possono anche essere fornite a noleggio da locali contoterzisti.

I trattori agricoli usati in tal senso sono generalmente dotati di una potenza piuttosto variabile, compresa tra 60 e 150 kW, a seconda delle esigenze e delle locali disponibilità: ad essi può essere agganciato posteriormente un rimorchio a sponde alte o a sponde basse.

Il rimorchio con sponde basse viene generalmente impiegato nel trasporto di legna già allestita in pezzi; il rimorchio a sponde alte invece è preferibilmente utilizzato in tutti i casi in cui il materiale trasportato sia legno cippato; per il trasporto di fusti o polloni interi invece si può ricorrere, a seconda della dotazione di mezzi disponibili, a rimorchi sia a sponde alte sia a sponde basse.

Nella filiera di produzione di legna in pezzi per auto-consumo, per il trasporto della biomassa risultante dal sito di utilizzazione al centro aziendale, si ricorre generalmente all'ausilio di un trattore e di un rimorchio a sponde basse (Foto 3.27), monoasse o a due assi (entrambi di dotazione aziendale). Questa possibilità è molto conveniente in quanto la distanza da percorrere all'interno dell'azienda stessa, tra l'ubicazione degli impianti produttivi e il sito di lavorazione o stoccaggio, è di qualche centinaio di metri o al massimo pochi chilometri.



Foto 3.27. Il rimorchio a sponde basse è idoneo per il trasporto dei pezzi di legna.

Nella filiera di produzione del legno cippato generalmente si ricorre all'impiego di rimorchi con sponde alte (Foto 3.28). Il cippato infatti è un prodotto voluminoso e deve sempre essere movimentato in mezzi capienti e in grado di contenerlo adeguatamente; il materiale viene soffiato direttamente nel rimorchio dalla macchina stessa durante la cippatura. Il rimorchio può essere agganciato direttamente dietro alla cippatrice o può essere portato da un trattore che procede affiancato alla cippatrice mentre quest'ultima sta lavorando.





Foto 3.28. Rimorchio a sponde alte per il trasporto del cippato.

#### N.B.

Quando la produzione di cippato riguarda ingenti quantità di materiale (oltre 15-20 tonnellate), è necessario avere a disposizione più trattori e/o rimorchi agricoli (Foto 3.29). Il cantiere infatti deve essere programmato in modo da valutare adeguatamente il numero di mezzi previsti: una volta riempito di cippato un rimorchio, deve essere immediatamente disponibile un altro rimorchio (portato da un altro trattore o agganciabile alla cippatrice). Questo accorgimento è necessario per da non interrompere l'operazione di cippatura mentre la biomassa legnosa appena prodotta viene portata e scaricata al centro aziendale, al fine di ridurre i costi e i tempi morti di produzione.



Foto 3.29. In un cantiere di raccolta si deve programmare un adeguato numero di mezzi da impiegare nel trasporto della biomassa.

Ogni carro rimorchio consta di un telaio portante che appoggia in genere su uno o due assali trasversali, alle cui estremità sono montate le ruote. Superiormente il telaio porta invece il pianale o un cassone di carico munito di sponde verticali più o meno alte: tale cassone può essere ribaltabile (ribaltamento posteriore oppure laterale) o dotato di appositi dispositivi per lo scarico del materiale trasportato (Pellizzi, 1983; Pellizzi, 1986). Il rimorchio è solitamente del tipo monoasse o a due assi (Cavalli, 2004). Il rimorchio a due assi può essere dotato

di ruote motrici nell'asse anteriore; il rimorchio monoasse può essere equipaggiato con cassone ribaltabile per il trasporto di legna da ardere o di materiale sfuso, oppure con culla formata da pianale e ritti laterali. A volte come dispositivo accessorio può essere presente una gru idraulica, usata per il carico del materiale legnoso e installata direttamente sul rimorchio oppure sul trattore. Per trasporti di quantitativi ingenti si può ricorrere anche all'impiego di grandi rimorchi a tre assi.

La portata dei rimorchi agricoli può essere estremamente variabile. All'interno delle aziende agricole si ricorre generalmente all'impiego di trattori di potenza compresa tra 50-80 kW e di rimorchi piccoli, monoasse, con o senza ralla (per facilitare manovre e spostamenti e per accedere anche alle zone più impervie), aventi una portata utile di 15 mc (corrispondenti a circa 4-5 tonnellate di legno cippato fresco). Per trasporti su strada su distanze di una certa entità e conferimento di quantitativi di biomassa più rilevanti è necessaria l'omologazione stradale dei mezzi e si impiegano rimorchi a due assi, più ampi e capienti: la loro portata utile si attesta circa sui 20-25 mc (circa 7-9 tonnellate di legno cippato fresco). Nei casi in cui le distanze e le quantità da trasportare aumentino ancora sensibilmente, si utilizzano grandi rimorchi a tre assi (in questo caso per i trattori si richiede una potenza di 150 kW), aventi una portata di circa 40 mc, in grado di trasportare oltre 10 tonnellate di cippato fresco.

Per il trasporto della biomassa legnosa, qualora ve ne sia la disponibilità, nei cantieri di raccolta si impiegano anche rimorchi tipo dumper (Foto 3.30): a uno, due o tre assi, vasca in acciaio o lamiera speciale, ribaltamento posteriore azionato da pompa a ingranaggi e cardano (la pompa è azionata da un motore idraulico), sono particolarmente indicati per il carico e il trasporto del cippato.



Foto 3.30. Trattore con rimorchio tipo dumper a due assi.

## **3.5.2.2** Trasporto con autocarro, autotreno, autoarticolato

Per tragitti su strada un mezzo molto impiegato e piuttosto diffuso è l'autocarro, la cui portata utile trasportabile è simile



a quella dei rimorchi più grandi; per trasporti più lunghi e di quantità ancora più voluminose si può infine ricorrere ad autotreni e autoarticolati (Foto 3.31), in genere presi a noleggio da ditte contoterziste specializzate. Tali mezzi infatti possono trasportare carichi assai rilevanti, arrivando fino a portate di 60-80 mc.



Foto 3.31. Autoarticolato in fase di scarico.

Un'altra opzione che permette di ottimizzare ulteriormente l'efficienza della fase del trasporto, a seconda delle risorse disponibili, è quella di impiegare autocarri o autotreni portacontainers. Il cippato viene inviato dalla cippatrice direttamente nel container e il veicolo porta-containers interviene solo quando il cassone è pieno (Spinelli, 2002 b), prelevandolo e agganciandolo. In genere si opera con due o a volte quattro containers (Foto 3.32): in questo modo si riducono fortemente i tempi morti che si possono verificare durante le varie operazioni (tra le fasi di carico e scarico del cippato presso il sito di stoccaggio), incrementando l'efficienza dei processi produttivi.



Foto 3.32. Container.

I containers possono avere cubature variabili, comprese tra 20 e 45 mc. Il tempo per la sostituzione dei containers è molto ridotto e in genere si aggira attorno a 10 minuti circa (Foto 3.33).



Foto 3.33. La sostituzione di un container è un'operazione relativamente veloce.

#### L'UTILIZZO DEGLI SCARRABILI

Il vantaggio del trasporto tramite cassoni scarrabili è la possibilità di ridurre notevolmente i tempi di carico; gli svantaggi sono legati alla tara più elevata, per cui se ne sconsiglia l'uso qualora le distanze di trasporto superino i 25-30 chilometri (Spinelli, 2002 b). Inoltre la motrice con i cassoni può entrare solo in terreni battuti, asciutti, su stabilizzato, oppure in aree asfaltate o cementate, in grado di sostenerne il peso: il minimo sprofondamento infatti può provocare lo slittamento delle ruote e il blocco della motrice, con evidente rallentamento dell'efficienza del cantiere.

In alcuni casi si possono utilizzare anche cassoni ribaltabili a sponde alte (Foto 3.34), in grado di contenere fino a 60 mc di legno cippato. Il problema principale è l'elevata altezza delle sponde, che impedisce a molte cippatrici di scaricare direttamente dentro il cassone. Tale opzione pertanto è impiegabile solo in certe condizioni, da tenere in considerazione previo verifica di fattibilità.



Foto 3.34. Cassone ribaltabile a sponde alte.



(0,68 kWh).

Il riempimento dei cassoni può essere effettuato tramite trattori o escavatori dotati di pala o benna montata anteriormente o posteriormente (Foto 3.35), qualora essi siano disponibili all'imposto o presso il piazzale di lavorazione.



Foto 3.35. Riempimento di un cassone con trattore dotato di pala anteriore.

Un'altra alternativa è quella che prevede il ricorso a cassoni non ribaltabili con piano mobile (Foto 3.36). La loro capienza è notevole (possono contenere fino a 90 mc di prodotto) e sono utilizzati per rifornire grosse utenze: ad esempio grandi centrali dotate di impianti a cogenerazione o centrali che alimentano reti di tele-riscaldamento. Una volta riempiti e giunti in centrale presso il sito di conferimento, all'interno di tali cassoni viene azionato un piano mobile verticale che spinge all'esterno il materiale presente, scaricandolo fuori.



Foto 3.36. Cassone non ribaltabile con piano mobile.

### 3.6 LE MODALITÀ DI COMPRAVENDITA DELLA BIOMASSA LEGNOSA

#### 3.6.1 Il potere calorifico del legno

Il potere calorifico del legno (P.C.I.) esprime la quantità di energia che può essere ricavata dalla combustione completa di

un'unità di peso e si esprime (SI) in MJ/kg o kWh/kg. Il contenuto idrico¹ (w%) del legno modifica, riducendolo, il potere calorifico. Parte dell'energia liberata nel processo di combustione è infatti assorbita dal processo di evaporazione dell'acqua e quindi non è disponibile per l'uso termico desiderato. Tale processo "dissipa" 2,44 MJ ogni kg di acqua

Se riferito all'unità di peso, il potere calorifico del legno nelle diverse specie, a parità di contenuto idrico, varia molto poco (Tab. 3.1). Inoltre, contrariamente alla comune percezione, il legno di latifoglie ha un potere calorifico (allo stato anidro) leggermente inferiore a quello delle conifere. Il Giordano, per il legno anidro, riporta 18,1 MJ/kg e 17,6 MJ/kg, rispettivamente per le conifere e le latifoglie. A. Jonas e H. Hartmann indicano entrambi, per il legno anidro, un solo valore sia per le conifere sia per le latifoglie, pari rispettivamente a 19 MJ/kg e a 18,5 MJ/kg.

Tabella 3.1. Alcuni valori indicativi del potere calorifico al contenuto idrico (w) del 13%.

POTERI CALORIFICI	SPECIE LEGNOSE		
4,0 kWh/kg	Faggio		
4,1 kWh/kg	Pioppo, Acero, Robinia, Olmo		
4,2 kWh/kg	Frassino, Quercia		
4,3 kWh/kg	Larice		
4,4 kWh/kg	Pino, Douglasia		
4,5 kWh/kg	Picea, Abete		

Le lievi differenze in termini di potere calorifico riscontrabili tra le varie specie sono da imputarsi alla composizione del legno: la lignina ha un potere calorifico di circa 1,5 volte superiore alla cellulosa. Ancora superiore è quello di resine, lipidi, cere e gomme. La formula per il calcolo del P.C.I. di un legno generico a un certo contenuto idrico (w%) è la seguente (riportata in Hartmann, Fig. 3.1):

P.C.I.w = 
$$\frac{18,5 (100 - w) - 2,44w}{100} 0,278 (kWh/kg)$$

Potere calorifico medio del legno anidro = 5,14 kWh/kg = 18,5 MJ/kg

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>Esprime la massa di acqua presente in rapporto alla massa di legno fresco.



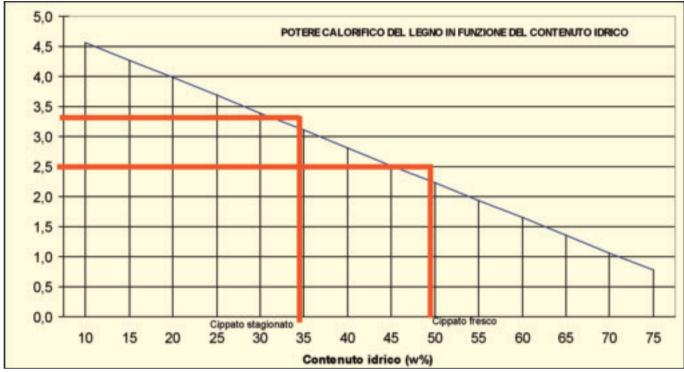


Figura 3.1. Variazione del potere calorifico del cippato in funzione del contenuto idrico (P.C.I. anidro 5,14 kWh/kg).

#### 3.6.2 La commercializzazione del cippato

Così come gli altri combustibili convenzionali, i combustibili legnosi possono essere acquistati e venduti sulla base del loro contenuto energetico.

Questo già avviene in altri paesi (Austria, Francia, paesi del nord Europa), e sarebbe un ulteriore strumento per contribuire a creare un mercato più trasparente.

La variazione del contenuto energetico per unità di volume di un metro stero di cippato (in funzione del contenuto idrico) è più contenuta rispetto a quella riferita all'unità di peso (tonnellata); poiché il legno cippato è comunemente commercializzato a un contenuto idrico uguale o superiore al 30%, non si verificano le diminuzioni di volume, causate dai fenomeni di ritiro e dilatazione, che si manifestano invece con valori di contenuto idrico inferiori.

Per questo motivo oggi in Italia il cippato spesso è venduto a volume (metro stero, msr), senza alcuna misurazione del contenuto idrico.

Tuttavia, impiegando questo metodo di commercializzazione, il materiale acquistato al minor prezzo non necessariamente corrisponde a un minor costo dell'energia prodotta e quindi a un risparmio complessivo da parte dell'utilizzatore. In due impianti altoatesini (Tab. 3.2) è stato calcolato il costo dell'energia prodotta approvvigionando gli stessi per 6

Tabella 3.2. Calcolo del costo dell'energia erogata in due medi impianti con rete di teleriscaldamento.

Impianto	Periodo	Provenienza cippato	Consumo cippato (msr/ anno)	Prezzo cippato (euro/ msr)	Spesa annua cippato (euro)	P.C.I. calcolato (kWh/ msr)	En. termica erogata (MWh/ anno)	Costo dell'energia (euro/MWh)
Impianto S. Valburga	17/12/2000- 30/06/2001	Segheria	4.274	11,86	50.709	446,14	1.906,8	26,6
	01/07/2001- 31/12/2001	Bosco (*)	2.938	13,35	39.214	686,14	2015,8	19,5
Impianto S. Pancrazio	17/12/2000- 31/07/2001	Segheria	2.300	10,40	23.919	431,17	991,7	24,1
	31/07/2001- 31/12/2001	Bosco (*)	1.239	15,80	19.580	738,20	914,6	21,4

(elaborazione di G. Staffler, gestore degli impianti in Untertal - BZ).

<sup>(\*)</sup> Il cippato di bosco è stato prodotto da piante di abete e larice sramate e stagionate in bosco.



mesi con cippato proveniente da segheria e per 6 mesi con cippato proveniente da legname prodotto nei boschi locali e stagionato tal quale prima di essere cippato.

Considerando il solo costo del combustibile, si può notare come, in entrambi gli impianti, il cippato pagato (a volume) al minor prezzo (euro/msr) ha comportato un maggior costo dell'energia prodotta. In altri termini, l'energia erogata è pressoché simile in entrambi gli impianti; ciò che invece è assai diverso è il quantitativo di cippato che è stato impiegato per erogare la medesima energia termica.

Questa situazione dimostra come il valore (o prezzo) del volume di cippato acquistato non rispecchi l'effettivo contenuto energetico.

Per questo motivo è consigliato, quale strumento di trasparenza del mercato, di adottare di comune accordo tra le parti delle forme contrattuali tese a definire il prezzo di compravendita del cippato sulla base del contenuto energetico.

## 3.6.3 Compravendita del cippato a contenuto energetico

Lo scopo di questa metodologia di compravendita è assegnare un prezzo all'energia contenuta nel combustibile e non al combustibile.

Come detto in premessa, il potere calorifico del legno è, a parità di contenuto idrico, pressoché uguale per le diverse specie legnose. Perciò, determinando il peso e il contenuto idrico con metodi oggettivi, è possibile determinare e così acquistare l'equivalente contenuto energetico di cippato, la sua energia.

Si supponga di acquistare 10 tonnellate di cippato con contenuto idrico (w%) del 30% al prezzo di 50 euro/tonnellata. Il costo del carico quindi è di 500 euro.

Determinando peso e contenuto idrico, anche con la più ampia differenza della composizione specifica (Tab. 3.3), la variazione del contenuto energetico è piuttosto limitata.

La determinazione del peso può avvenire con due diverse modalità:

- pesatura integrale del carico con una normale pesa;
- pesatura con una bilancia da laboratorio di un certo numero di campioni di volume noto rapportando il tutto al peso di un metro stero; si rapporta quindi per il volume del carico.

A titolo di esempio la procedura è la seguente: riempire un recipiente di volume noto (ad esempio 13 litri) di cippato senza comprimere il materiale. Fare una pesata a cui, naturalmente, togliere la tara.

Il contenuto del recipiente così determinato è, per esempio, di 3,36 kg; ciò significa che un metro stero pesa 258,46 kg. Allo stesso tempo, per ogni campione pesato si determina anche il contenuto idrico, al fine di arrivare alla determinazione del contenuto energetico. Il contenuto idrico si più ricavare in due modi (Podesser e Gutkauf, 1994):

- per via analitica, utilizzando una bilancia a infrarossi (Foto 3.37);
- per via speditiva, utilizzando un misuratore dielettrico (Foto 3.38).

Quale indicazione generale, il numero di campioni da eseguire sul carico dipende sia dal grado di omogeneità del carico (più è omogeneo, meno campioni si possono fare), sia dalle dimensioni del carico (più è grande, più campioni è necessario fare).

A titolo di esempio, si propone di seguito una tabella per il calcolo del prezzo del cippato in funzione del suo contenuto idrico (Tab. 3.4), dove la costante è il prezzo del contenuto energetico del cippato, fissato in questo esempio in 16,10 euro/MWh, calcolato su un prezzo base di 50 euro/tonnellata.

Le parti possono accordarsi ovviamente per un prezzo all'euro/MWh diverso; conseguentemente cambia il prezzo dell'unità di peso (tonnellata).

Tabella 3.3. Variazione del contenuto energetico e composizione specifica.

COMPOSIZIONE CIPPATO	Contenuto energetico (MWh)	Differenza (MWh)	Differenza %	euro/MWh
100% faggio	35,3	1.9	5.5	14,16
100% abete	37,2	1,7	5,5	13,44
50% faggio e 50% abete	36,2			13,78



Tabella 3.4. Prezzo del cippato in funzione del suo contenuto idrico.

MJ/t	MWh/t w%		euro/t	euro/	
				MWh	
14.312,00	3,98	20	64,06	16,10	
14.102,60	3,92	21	63,12	16,10	
13.893,20	3,86	22	62,18	16,10	
13.683,80	3,80	23	61,25	16,10	
13.474,40	3, <i>7</i> 5	24	60,31	16,10	
13.265,00	3,69	25	59,37	16,10	
13.055,60	3,63	26	58,44	16,10	
12.846,20	3,57	27	57,50	16,10	
12.636,80	3,51	28	56,56	16,10	
12.427,40	3,45	29	55,62	16,10	
12.218,00	3,40	30	54,69	16,10	
12.008,60	3,34	31	53,75	16,10	
11.799,20	3,28	32	52,81	16,10	
11.589,80	3,22	33	51,87	16,10	
11.380,40	3,16	34	50,94	16,10	
11.171,00	3,11	35	50,00	16,10	
10.961,60	3,05	36	49,06	16,10	
10.752,20	2,99	37	48,13	16,10	
10.542,80	2,93	38	47,19	16,10	
10.333,40	2,87	39	46,25	16,10	
10.124,00	2,81	40	45,31	16,10	
9.914,60	2,76	41	44,38	16,10	
9.705,20	2,70	42	43,44	16,10	
9.495,80	2,64	43	42,50	16,10	
9.286,40	2,58	44	41,56	16,10	
9.077,00	2,52	45	40,63	16,10	
8.867,60	2,47	46	39,69	16,10	
8.658,20	2,41	47	38,75	16,10	
8.448,80	2,35	48	37,82	16,10	
8.239,40	2,29	49	36,88	16,10	
8.030,00	2,23	50	35,94	16,10	

All'arrivo del carico di cippato presso l'impianto (carico di peso noto), si entra nella tabella 3.4 con il valore del contenuto idrico<sup>2</sup> e si calcola il prezzo del carico.

Esempio: un rifornimento di 15 t di cippato al 40% (w%) ha un prezzo di 45,31 euro/t x 15 t = 679,65 euro, a cui va aggiunta l'IVA (10%).



Foto 3.37. Bilancia a infrarossi: restituisce il valore del contenuto idrico (w%) mediamente dopo 15 minuti.



Foto 3.38. Misuratore dielettrico del contenuto idrico: restituisce il valore del contenuto idrico (w%) dopo pochi secondi.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Determinato sulla base di un protocollo di analisi che indica quanti campioni devono essere prelevati dal carico.

