

Progetto: O.LEC.LEGN.ARD. Liguria

Ottimizzazione logistica ed Economica del legname

Programma di Sviluppo Rurale 2014/2020 (Reg. UE 1305/2013) – M016.01. – settore forestale fase 2 – bando DGR n. 822/2020 – Domanda di sostegno n. 13645.

Relazione finale

Obiettivi del progetto

Il presente progetto ha avuto per oggetto lo studio e la realizzazione di un consistente adattamento meccanico/operativo innovativo per la produzione di legna da ardere da montare sul braccio dell'escavatore al fine di perseguire i seguenti obiettivi:

- Ridurre il numero di mezzi/attrezzature/operazioni nella filiera aziendale per la legna da ardere;
- Ridurre i tempi di utilizzo ed i costi di acquisto/manutenzione per le attrezzature necessarie;
- Ridurre/eliminare alcune fasi; es: la necessità di trasportare il materiale al piazzale aziendale per la lavorazione;
- Rendere più competitive le ditte regolari e strutturate rispetto a quelle informali;
- Incrementare la produttività del lavoro;
- Incentivare le ditte informali ad adeguarsi (formalizzandosi/strutturandosi) alla nuova situazione.

Introduzione

Per “legna da ardere” si intende uno dei maggiori combustibili utilizzati al mondo per il riscaldamento di abitazioni e la cottura di cibi. A livello globale la legna da ardere ha ancora un'elevata importanza come biocombustibile solido tant'è che il consumo mondiale globale di legna da ardere è stimato attorno ai 1,5 miliardi di metri cubi all'anno; l'uso di questo combustibile è diffuso anche nei Paesi più sviluppati nei quali viene consumato circa l'80% della produzione annua mondiale di legna da ardere. In particolare, l'Europa utilizza oltre 100 milioni di m³ di legna da ardere per anno, che equivale a circa il doppio del consumo totale di legna da ardere di Canada e Stati Uniti insieme. Secondo i dati elaborati dall'osservatorio AIEL (Associazione Italiana Energie Agroforestali), il legno è la prima tra le energie rinnovabili e la seconda fonte di riscaldamento per le famiglie italiane. La filiera legno energia vanta un giro di affari di 4 miliardi di euro, con 14mila aziende che occupano 72 addetti. Questi sono 43mila diretti e 29mila nell'indotto. In Italia, secondo AIEL, nel 2022 si sono consumati 11 milioni di tonnellate di legna da ardere. Secondo la stessa fonte negli ultimi anni il consumo di legna da ardere e pellet nel settore residenziale è rimasto sostanzialmente stabile.

Sistemi di produzione convenzionali della legna da ardere

Le specie forestali maggiormente impiegate per la produzione di legna da ardere sono prevalentemente latifoglie e in particolare faggio, quercia, robinia e castagno. Il legname allestito nelle utilizzazioni forestali con lunghezze comprese tra 1 m e 2 m viene prelevato dal luogo di accatastamento in bosco e trasportato nel piazzale di stoccaggio e stagionatura. Tale lunghezza è funzione della larghezza del pianale di carico del mezzo impiegato per il trasporto del legname, che solitamente sono rimorchi forestali o autocarri. Nella Regione

Liguria, a differenza di quanto avviene in tutte le altre regioni Italiane, vengono impiegati per il trasporto del legname particolari rimorchi forestali. In particolare, sono rimorchi a 3 assali, in cui la ralla di sterzo è sostituita da un accoppiamento perno-boccola dove la boccola presenta un foro notevolmente maggiore al diametro del perno. Tale strategia permette al rimorchio di avere una maggiore escursione sul piano trasversale garantendo sempre un ottimo appoggio delle ruote sul terreno senza sottoporre a torsione il telaio garantendo la possibilità di transitare su terreni sconnessi. Inoltre, sono di semplice fattura poiché costituiti dal solo telaio sul quale è caricato direttamente il legname. Al fine di renderli particolarmente adatti alla viabilità forestale è necessario che i rimorchi forestali siano dotati di trazione. La trazione di questi rimorchi viene fornita tramite presa di potenza sincronizzata del trattore e trasferita con albero cardanico all'assale anteriore del rimorchio, ovvero quello su cui poggia la ralla di sterzo (Fig. 1).



Fig. 1: Rimorchio forestale impiegato nella Regione Liguria

Nel piazzale di accatastamento avviene la depezzatura e lo spacco, ovvero il taglio trasversale del tronco e quello longitudinale. Tali operazioni sono necessarie per uniformare

la dimensione del legname, infatti, i tronchi di grosse dimensioni vengono ridotti in tronchetti di lunghezza tra 25 cm e 40 cm e di dimensione trasversale tra 5 cm e 15 cm. Le dimensioni finali della legna da ardere sono in funzione della tipologia dell'impianto di combustione del cliente: stufe, caldaie, caminetti, forni ecc. (Tab. 1).

Tab. 1 Dimensione della legna da ardere in funzione dell'impianto di combustione

Impianto di combustione	Lunghezza (cm)	Dim. trasversale (cm)
Forno pizzeria	40-50	6-8
Stufe	25-30	10-15
Caldaie e camini	30-40	15-20

Nel caso in cui i tronchi abbiano diametri molto grandi (maggiore di 50 cm), si procede allo spacco prima dell'accatastamento per accelerarne l'essiccazione; normalmente, nella filiera della legna da ardere, la depezzatura avviene precedentemente allo spacco per facilitare la movimentazione meccanica dei singoli tronchetti.

I cantieri per la produzione della legna da ardere possono essere costituiti da macchine distinte e quindi eseguire le fasi di depezzatura e spacco separatamente, oppure allestiti solo con una macchina combinata in grado di eseguire le due fasi operative contemporaneamente. Nel primo caso, vengono definiti cantieri separati, mentre nel secondo, si definiscono cantieri uniti.

Cantieri separati

La produzione di legna da ardere con cantieri separati prevede che le due fasi, ovvero depezzatura e spacco, avvengano in due momenti separati e con macchine differenti. La presenza di macchine diverse nel medesimo cantiere prevede un maggior numero di operatori per l'utilizzo delle due macchine ed uno spazio idoneo per poter lavorare senza ostacolare l'uno l'attività dell'altro. Inoltre, il materiale appena depezzato, deve essere posto su un piano rialzato, che solitamente è un rimorchio, al fine di facilitare le operazioni per l'operatore che esegue lo spacco del materiale. Tuttavia, questo sistema di lavoro, grazie alla sua elevata versatilità, risulta essere molto funzionale qualora si operi con legname di differenti diametri e con tronchi non rettilinei e contorti.

Depezzatura

La depezzatura o troncatura consiste nella suddivisione longitudinale del tronco in sezioni più corte, con lunghezza conforme alla dimensione della camera di combustione in cui verranno impiegati.

La depezzatura può essere effettuata solitamente impiegando sega a disco o seghe a nastro.

Sega disco

Le seghe a disco sono macchinari il cui organo di taglio è costituito da un disco di elevato diametro (40 – 100 cm) dello spessore di 3-4 mm sulla cui periferia sono fissati dei denti taglienti e montato su un telaio (Fig. 2).



Fig. 2 Sega a disco

Il foro centrale del disco è collocato su un apposito supporto ed il moto è trasmesso da un sistema di cinghie trapezoidali. Esse possono essere azionate da un motore con alimentazione elettrica, dalla presa di potenza del trattore o più raramente da un motore autonomo endotermico. Il toppe da segare è spinto verso la lama manualmente, con l'ausilio di dispositivi che evitano il contatto accidentale tra mano dell'operatore e l'organo di taglio. Per eseguire la troncatura, il toppe viene posto sul piano di lavoro sagomato a “culla” incernierato al telaio dell'attrezzatura. Il movimento del piano di lavoro è accompagnato da un meccanismo che garantisce costantemente la copertura dell'organo di taglio (disco). Infatti, il carter di protezione viene spostato proporzionalmente al movimento del piano di lavoro sul quale è appoggiato il tronco da tagliare. I denti del disco hanno un supporto in acciaio sul quale è fissato una placchetta di acciaio ad elevata durezza (Widia) impiegata per il taglio.

Le seghe a disco presentano dei vantaggi legati alla semplicità di costruzione e alla ridotta presenza di componenti, ma per contro evidenziano degli svantaggi dovuti alle elevate

perdite di segagione e al limite del diametro dei topi lavorabili ovvero inferiore alla metà del diametro del disco stesso (Tab. 2).

Tab. 2 Caratteristiche tecniche delle seghe circolari

Azionamento	Motore ad azionamento elettrico/presa di potenza/motore endotermico
Massa	70 - 200 kg
Diametro disco	500 - 800 cm
Potenza richiesta	2,2 - 10 kW

Sega a nastro

La sega a nastro è costituita da un telaio sul quale sono posizionati due volani su cui è avvolta la lama, e da un piano d'appoggio con una scanalatura entro la quale scorre la lama stessa. In particolare, l'organo di taglio costituito da un nastro in acciaio spesso 1-2 mm e chiuso ad anello, con una estremità tagliente (Fig. 3).



Fig. 3 Sega a nastro

Il nastro è teso tra due volani, i cui assi sono sostenuti dal telaio portante della sega. Il perimetro esterno dei due volani è ricoperto di un apposito materiale di aderenza, per trasmettere il moto al nastro tagliente. La distanza tra i due volani è regolabile, mediante lo scorrimento del volano superiore che ruota folle, per consentire il montaggio e lo smontaggio del nastro e per regolarne la tensione. Il moto viene trasferito solo al volano inferiore della macchina per mezzo di cinghie trapezoidali azionate dalla presa di potenza del trattore o da un motore ad azionamento elettrico. Il piano di lavoro è fisso, posto tra i due volani, e attraversato dal nastro tagliente. Per tale motivo il toppo da depezzare viene spinto manualmente dall'operatore verso la lama. Le lame sono essenzialmente formate da acciai armonici speciali, mentre i denti possono essere costituiti da riporti di una lega speciale (stellite) che conferisce alla lama una maggiore durata. I vantaggi delle seghe a nastro sono: ridotte perdite di segagione (minimo spessore lama), ridotta richiesta di potenza e semplicità nella sostituzione del nastro. Per quanto riguarda gli svantaggi, invece esse hanno una maggiore complessità costruttiva e la lama può essere deviata se il legno è disforme. Inoltre esse risultano essere pericolose per l'operatore in quanto la lama risulta essere costantemente scoperta.

Esistono sul mercato due diverse tipologie di seghe a nastro che mantengono comunque lo stesso funzionamento: quelle orizzontali, utilizzate per il taglio longitudinale dei tronchi (segati), e quelle verticali, utilizzate per la sezionatura di piccoli diametri (legna da ardere) (Tab. 3).

Tab. 3 Caratteristiche tecniche delle seghe a nastro

Azionamento	Motore ad azionamento elettrico/presa di potenza
Massa	200 - 800 kg
Diametro disco	420 - 900 cm
Altezza taglio	35 - 55 cm
Potenza richiesta	2,2 - 10 kW

Spaccatura del legno

La spaccatura è un tipo di lavorazione del legno in cui è prevista la divisione longitudinale del legno in pezzi. È necessario spaccare il legno per migliorarne la combustione. Un ulteriore vantaggio è che il legno spaccato si disidrata più velocemente e quindi l'essiccazione avviene in tempi ridotti.

La suddivisione del legno è effettuata impiegando lo spaccalegna che può adottare organi di spacco differenti:

- Cuneo
- Vite senza fine

Spaccalegna a cuneo

Lo spaccalegna è un macchinario utilizzato per suddividere in più parti un tronco o un grosso pezzo di legno tagliato in sezioni di solito da una troncatrice. La maggior parte degli spaccalegna è costituita da un cilindro oleodinamico di dimensioni diverse in base alle tonnellate di pressione che possono generare. Maggiore è la pressione nominale, maggiore è lo spessore o la lunghezza del pezzo di legno che può essere suddivisa. Lo spaccalegna

idraulico può essere ad azionamento verticale oppure ad azionamento orizzontale, a seconda dell'asse di lavoro del cilindro oleodinamico (Fig. 4).

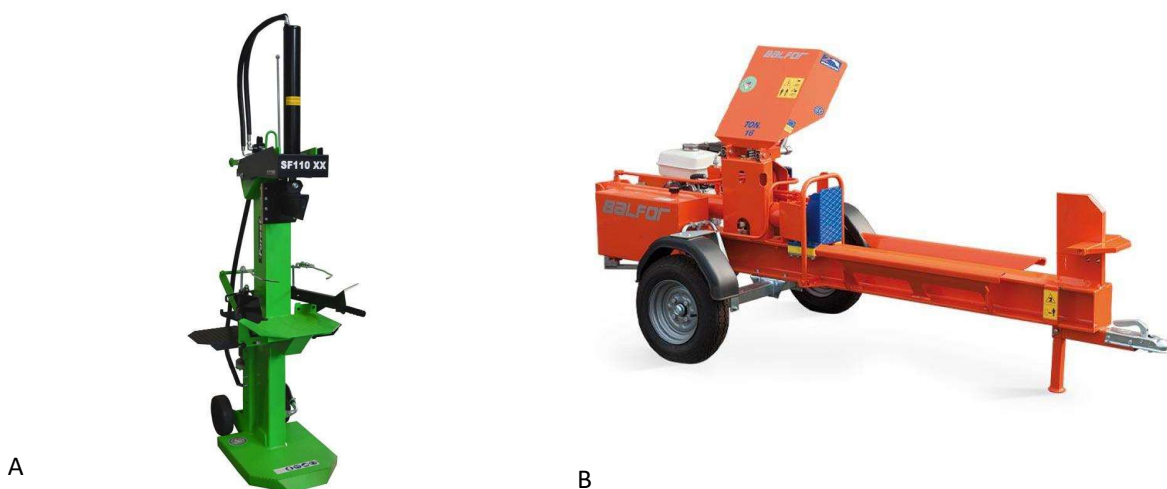


Fig. 4 Spaccalegna verticale (A) e spaccalegna orizzontale (B)

Gli spaccalegna per uso professionale possono esercitare anche oltre 25 tonnellate di pressione. Indipendentemente da quale sia la fonte di energia utilizzata, lo spaccalegna può utilizzare il cilindro oleodinamico per veicolare il pezzo di legno contro una lama fissa oppure utilizzare il pistone idraulico per azionare un cuneo in acciaio in grado di penetrare nel tronco di legno appoggiato ad un riscontro regolabile ed amovibile.

La macchina, indipendentemente che essa lavori orizzontalmente o verticalmente, è costituita da un robusto telaio, che sostiene il cilindro oleodinamico ed il piano di riscontro. Sul telaio sono presenti anche le guide che assicurano il corretto scorrimento del cuneo o dello spintore, a seconda della tipologia costruttiva a cuneo fisso o mobile. L'impianto idraulico della macchina è composto dal gruppo pompa, dal distributore e dal serbatoio dell'olio. Il posizionamento del pezzo destinato allo spacco avviene manualmente e l'azionamento del sistema di spacco avviene per mezzo di comandi che possono essere a leva, a pedale (con consenso a leva). Le leve di azionamento, oltre sorreggere il pezzo di

legno, agiscono contemporaneamente sul distributore idraulico al fine di evitare infortuni da schiacciamento per l'operatore (Tab 4).

Tab. 4 Caratteristiche tecniche degli spaccalegna

Azionamento	Motore ad azionamento elettrico/ Presa di potenza/motore endotermico
Massa	120 - 1000 kg
Potenza	2,2 - 19 kW
Corsa cuneo	50 - 120 cm
Forza di spinta	9 - 50 t
Massima apertura	100 - 125 cm

Esistono spaccalegna da applicare direttamente al braccio dell'escavatore. Questo dispositivo strutturalmente risulta più semplice rispetto agli spaccalegna tradizionali in quanto esso è formato da un corpo principale, un piano di riscontro ed il cuneo. Il corpo principale è dotato di un attacco che consente di incernierare lo spaccalegna all'avambraccio dell'escavatore, mentre il cuneo viene azionato direttamente dall'impianto idraulico dell'escavatore stesso (Fig. 5).

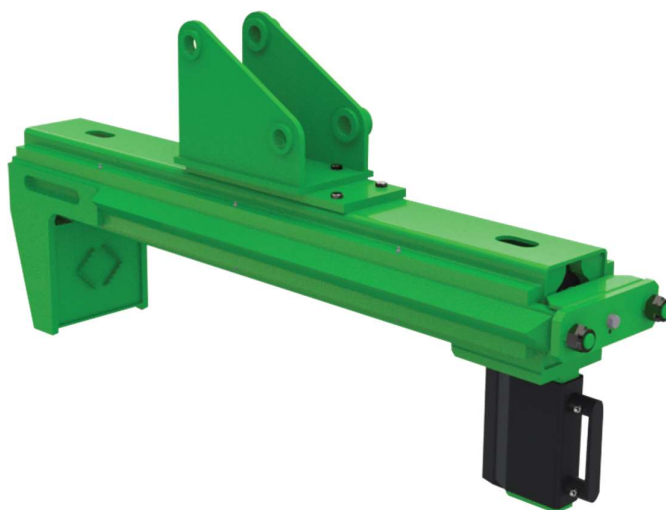


Fig. 5 Spaccalegna per escavatore

Spaccalegna a vite

Lo spaccalegna a vite è un'attrezzatura che viene utilizzata per fendere in più parti il pezzo di legno. A differenza di quelli a cuneo, lo spaccalegna a vite utilizza una vite conica senza fine che, azionato mediante un motore ad azionamento elettrico, presa di potenza o un motore endotermico, è in grado di avvitarsi all'interno del pezzo di legna e man mano che penetra nel suo interno lo divide in due o più parti. La forza che causa la rottura del pezzo dipende dal passo della vite e dall'angolo del cono.

In base all'utilizzo e alle modalità di trasmissione del moto, esistono varie tipologie di spaccalegna a vite:

- per il taglio del legno in azienda, lo spaccalegna a vite è normalmente azionato da motori elettrici (Fig. 6);



Fig. 6 Spacca legna a vite

- per poter invece effettuare l'attività di spacco direttamente in bosco, gli spaccalegna a vite sono collegati direttamente alla presa di potenza dei trattori forestali. Questo costituisce l'utilizzo più significativo dello spaccalegna a vite in quanto permette di spaccare in loco grossi pezzi di legna prima dell'accatastamento per la stagionatura (Fig. 7). Generalmente la vite dello spaccalegna è collegata ad un albero di trasmissione che viene inserito all'interno di un guscio protettivo con appositi

cuscinetti. La struttura è quindi fissata ad un telaio collegato al trattore mediante l'attacco a tre punti. L'albero di trasmissione viene connesso al trattore tramite un albero cardanico. In questo caso, la dimensione massima del topo da spaccare varia a seconda della resistenza del legno e della potenza messa a disposizione dalla Pdp.



Fig. 7 Spaccalegna a vite per trattore

- gli spaccalegna a vite possono essere equipaggiati anche al braccio dell'escavatore garantendo lo spacco di tronchi di grandi dimensioni con l'elevata mobilità e la forza del braccio dell'escavatore stesso. Il procedimento di spacco, inoltre, che il tronco sia stabile a terra e la vite penetri nel pezzo; nelle applicazioni precedenti applicazioni dello

spaccalegna a vite, la filettatura presente attira verso di sé il pezzo di legno, poiché non può sfruttare la forza del braccio (Fig. 8).



Fig. 8 Spaccalegna a vite per escavatore

Cantieri uniti

In contrapposizione ai cantieri separati ci sono i cantieri uniti, che spesso rappresentano le grandi aziende forestali. Tutte le fasi del processo sono svolte in contemporanea, cioè la depezzatura e lo spacco vengono svolte dalla stessa macchina, senza interruzione tra un processo e l'altro. Le macchine in grado di effettuare queste operazioni vengono chiamate macchine combinate o processori. Esistono macchine combinate di varie grandezze e con caratteristiche differenti a seconda delle attività svolte dall'azienda forestale. Le macchine combinate di dimensioni ridotte possono anche essere mobili (Fig. 9), cioè possono essere trasportate direttamente in loco agganciate all'attacco a 3 punti del trattore; quelle di più grandi dimensioni sono generalmente impianti fissi posizionati all'interno di capannoni o su piazzali (Fig. 10).



Fig. 9 Macchina combinata taglia spacca trasportabile



Fig. 10 Macchina combinata per la produzione di legna da ardere fissa

Le macchine combinate per la produzione di legna da ardere permettono l'unione delle fasi che portano allo stoccaggio definitivo dei pezzi. Queste macchine hanno dimensioni variabili in funzione della necessità: le aziende forestali che hanno a disposizione ampi piazzali e/o capannoni e necessitano di incrementare la produttività possono impiegare macchine di grandi dimensioni in grado di gestire non solo grandi quantità di legname ma anche tronchi di grossi diametri; aziende forestali che invece necessitano di tali macchine per un utilizzo su piazzali di ridotte dimensioni o per la produzione di modeste quantità di legna,

prediligeranno macchine combinate di dimensioni contenute. Tali macchinari hanno come caratteristica principale il fatto di poter essere “combinati” e assemblati a seconda della richiesta dell'utilizzatore. Gli impianti di grandi dimensioni eseguono più operazioni in simultanea come taglio, spacco e carico su rimorchi attraverso nastri trasportatori gommati, garantendo così una più elevata produttività del lavoro.

Questi processori possono essere gestiti da uno o più operatori a seconda della loro dimensione e dal loro grado di automatismo; esistono macchine combinate che riescono a espletare tutti i processi in modo autonomo e continuo senza la necessità di alcun intervento manuale, altre invece, in particolare quelle di ridotte dimensioni, necessitano dell'intervento attivo dell'operatore soprattutto nelle fasi di carico del legname. Tuttavia, queste macchine presentano dei limiti qualora il materiale caricato è contorto e quando il materiale carico presenta diametri molto variabili. L'azionamento di queste macchine può avvenire attraverso un motore ad azionamento elettrico oppure tramite presa di potenza del trattore. Dal posto di comando l'operatore può scegliere manualmente o in automatico la lunghezza di taglio, la griglia di spacco (2-4-6 sezioni) e azionare il carica-tronchi. Infatti, queste macchine combinate sono dotate generalmente di:

- carica-tronchi: consente di movimentare i tronchi uno ad uno senza intoppi; i fusti, ammassati sul deposito-rampa di carico, vengono trasferiti singolarmente sul sistema di alimentazione dell'organo di taglio. Questa è dimensionata per contenere tronchi di vario diametro e lunghezza in un telaio generalmente a “V” dove vengono convogliati verso l'organo di taglio;
- organo di taglio: solitamente è costituito da una sega a disco, oppure da una sega a catena. Inoltre, nelle macchine combinate più avanzate, in questa fase solitamente vi è presenza di un lettore laser, per il rilevamento del diametro, e di fotocellule, per la misurazione della lunghezza di taglio, che permettono di produrre sezioni lunghe

da 25 a 40 cm senza sfrido finale. Il sistema regola in automatico la lunghezza dei pezzi in base alla lunghezza dei topi. Una volta operato il taglio, dopo che la sega è rientrata nel suo alloggiamento, il topo cade per gravità nella sede per la successiva fase di spacco.

- organo di spacco: è dotata di un organo di spacco particolare, costituito da una griglia fissa “a croce”, da 4-8 coltelli mobili, posti in modo radiale al tronco, e da uno spintore in grado di esercitare una determinata forza di spacco. La particolarità di tale organo infatti è la sua capacità di spaccare il topo in più o meno pezzi a seconda del diametro del topo stesso. I coltelli mobili si posizionano in maniera tale da produrre sempre da 2 a 12 pezzi omogenei; essi possono essere posizionati su una griglia mobile lungo l'asse verticale, oppure possono essere aggiunti alla croce fissa di partenza. L'organo di spacco è posizionato ad una certa altezza per cui i ciocchi prodotti cadranno per gravità e potranno essere raccolti in ceste o nastri trasportatori.
- nastro trasportatore: ha il compito di portare la legna in pezzi dall'organo di spacco ad un rimorchio o ad un luogo di accumulo; esso è composto da una banda in gomma ed è azionato idraulicamente.

L'organizzazione dei cantieri

I cantieri per la produzione di legna da ardere necessitano di una differente organizzazione in funzione della metodologia di lavoro adottata. In particolare, i cantieri separati poiché presentano due macchine distinte per le due fasi di lavoro, richiedono di un piano di appoggio utile affinché il materiale destinato allo spacco sia afferrato agevolmente dall'operatore dopo la fase di depezzatura. Inoltre, successivamente alla fase di sacco della legna è necessario che essa venga caricata su un rimorchio per mezzo di un nastro di carico (Fig. 11).

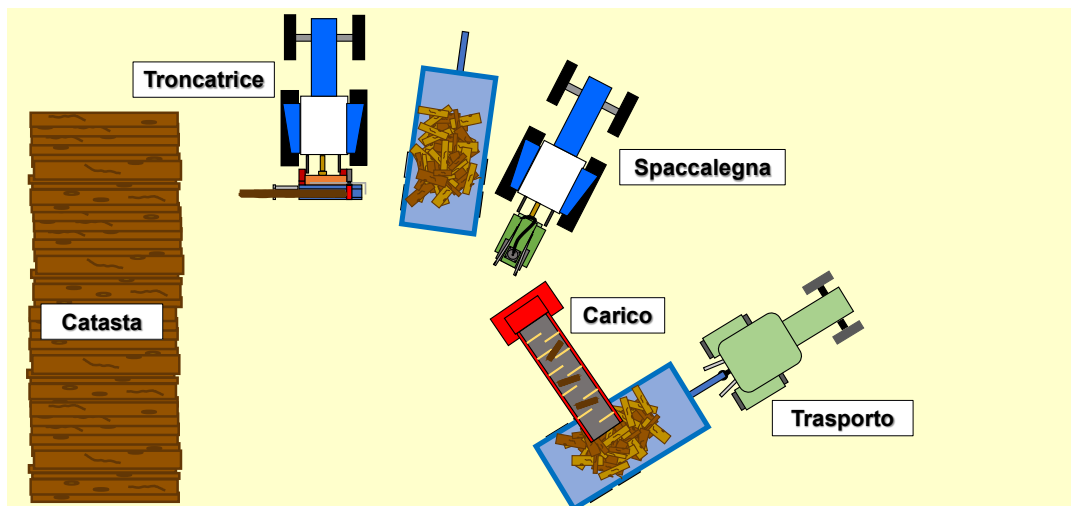


Fig. 11 Organizzazione del lavoro con cantieri separati

Per contro i cantieri uniti, necessitano di una sola macchina per entrambe le fasi, mentre il nastro di carico è solitamente parte integrante della macchina combinata stessa (Fig. 12).

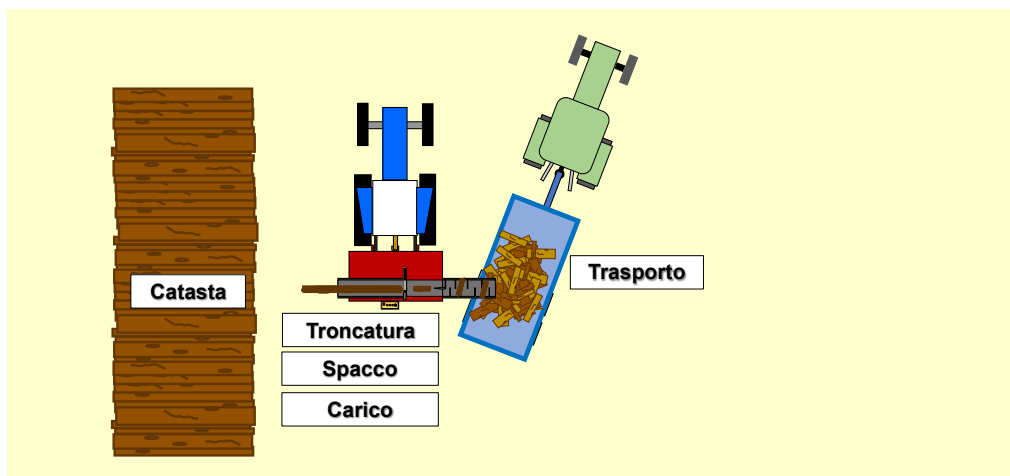


Fig. 12 Organizzazione del lavoro con cantieri uniti

Si elencano di seguito i vantaggi e gli svantaggi dell'organizzazione a cantieri uniti e separati:

	Vantaggi	Svantaggi
Cantieri separati	- Possibilità di lavorare fusti non rettilinei - Possibilità di lavorare tronchi contorti - Versatilità nella lavorazione di diametri disomogenei	- Caricamento manuale - Impiego di più operatori - Necessità di operare in aree pianeggianti - Necessità di avere un trattore per ogni attrezzatura
Cantieri uniti	- Attività svolta da uno/due operatori - Esecuzione delle fasi in contemporanea (taglio, spacco e carico) - Area di lavoro ridotta	- Difficoltà di lavorare tronchi contorti - Caricamento spesso manuale - Necessità di operare in aree pianeggianti - Difficoltà nella lavorazione di diametri disomogenei

La macchina innovativa (prototipo)

La progettazione del prototipo

Dalla valutazione dei vantaggi e degli svantaggi dei differenti cantieri allestiti per la produzione della legna da ardere il prototipo doveva rispondere a determinati accorgimenti atti a ridurre gli aspetti negativi dei cantieri uniti e separati. Esso doveva essere in grado di essere alimentato in modo autonomo-automatico senza la necessità di avere un operatore che movimenta manualmente i topi o che li sposti con l'ausilio di un caricatore forestale o un escavatore dedicato. Inoltre, esso doveva poter garantire lo svolgimento di tutte le fasi operative contemporaneamente, come avviene nelle macchine combinate impiegate nei

cantieri uniti. Le macchine adottate per la produzione di legna da ardere necessitano di ampi spazi, e di superfici pianeggianti, per cui esse si trovano a dover operare in piazzali di lavorazione. Per tali motivi, la macchina innovativa doveva poter operare direttamente in bosco, in aree di ridotta dimensione ed anche su superfici non pianeggianti. I cantieri per l'allestimento della legna da ardere si trovano solitamente all'aperto, ciò impedirebbe, in caso di condizioni climatiche avverse, la produzione. A tal fine l'operatore doveva essere protetto consentendogli di poter lavorare in tutte le condizioni climatiche (temperature rigide, caldo...) elevando quindi l'ergonomia dell'operatore non solo dal punto di vista del caricamento manuale. Inoltre, era necessario che la macchina dovesse essere gestita da un solo operatore in autonomia.

La realizzazione del prototipo

La progettazione del prototipo ha previsto la realizzazione di una macchina combinata ed azionata-gestita con l'impiego di un escavatore idraulico. L'impiego di tale macchina è dovuto alla sua ampia diffusione presso molte imprese forestali, poiché risultano essere estremamente versatili: con la semplice sostituzione dell'utensile di lavoro possono essere impiegati in differenti operazioni specifiche del lavoro in bosco quali la realizzazione di piazzole, la costruzione e manutenzione della viabilità forestale e la movimentazione del legname. Inoltre, tale macchina può essere utilizzata da qualsiasi persona di qualunque età. Nello specifico l'alimentazione del prototipo avviene per mezzo del sistema di movimentazione della benna dell'escavatore, prevedendo quindi il prelievo dei tronchi direttamente dalla catasta ed i tronchi sono movimentati verso la sega per la depezzatura da un sistema di avanzamento a catena. La depezzatura del tronco è effettuata mediante una sega a catena azionata idraulicamente ed un diametro massimo lavorabile di 60 cm. Questa scelta è stata effettuata poiché può essere azionata per mezzo dell'impianto

idraulico dell'escavatore sul quale il prototipo viene equipaggiato e presenta ingombri ridotti rispetto a seghe a disco. Lo spacco dei tronchetti è invece garantito da uno spinto oleodinamico che veicola la legna contro un cuneo in acciaio. I tronchetti appena depezzati, cadono per gravità all'interno della sede di spacco. Contestualmente alle precedenti fasi la macchina è in grado di caricare il materiale allestito posizionando il prototipo, direttamente sul cassone del veicolo utilizzato per il trasporto. Il posizionamento è garantito da braccio idraulico dell'escavatore.

Il prototipo è collegato all'avanbraccio dell'escavatore in sostituzione della benna e all'impianto idraulico dello stesso. L'operatore a bordo dell'escavatore è in grado di gestire tutte le fasi operative del prototipo grazie all'articolazione del braccio e alla rotazione della ralla (360°) (Fig. 13 e Fig. 14).

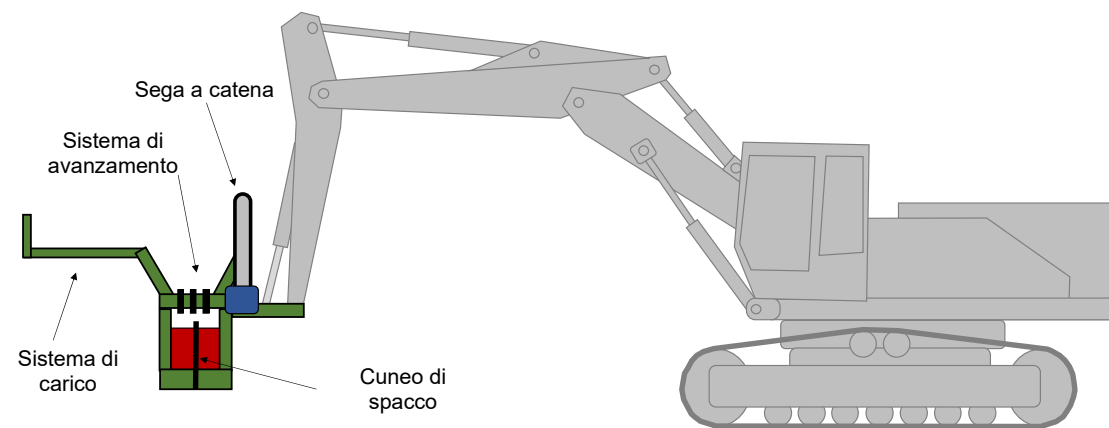


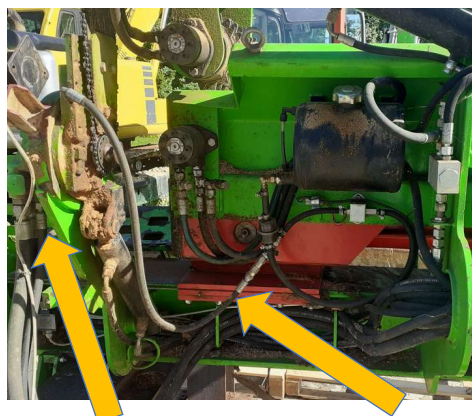
Fig. 13 Il prototipo realizzato



Sistema di avanzamento e alimentazione



Sede cuneo di spacco



Azionamento della sega e lubrificazione

Fig.14 Organi del prototipo realizzato

Il prelievo del materiale dalla catasta prevede quattro fasi: 1) il prototipo viene inclinato al fine di veicolare il tronco dalla catasta all'interno del sistema di carico; 2) Il tronco è veicolato all'interno del sistema di carico con un movimento del prototipo verso l'alto; 3) il tronco è all'interno del sistema di carico e il prototipo è orizzontale; 4) con una lieve inclinazione del prototipo il tronco trasla all'interno del sistema di alimentazione (Fig. 15-17).

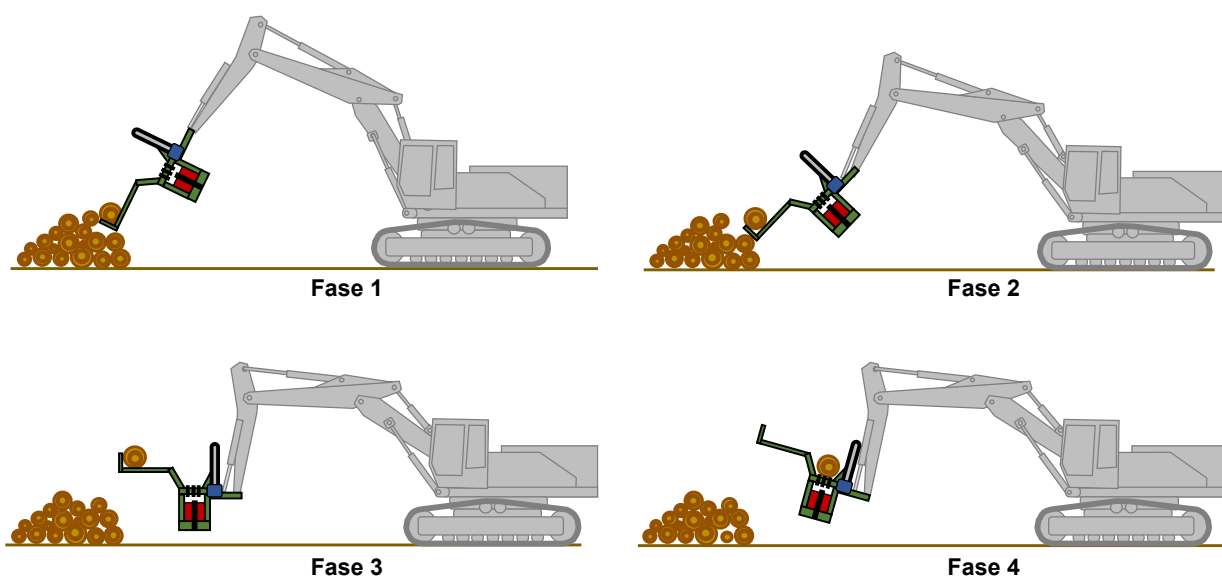


Fig. 15 Le fasi di carico del prototipo

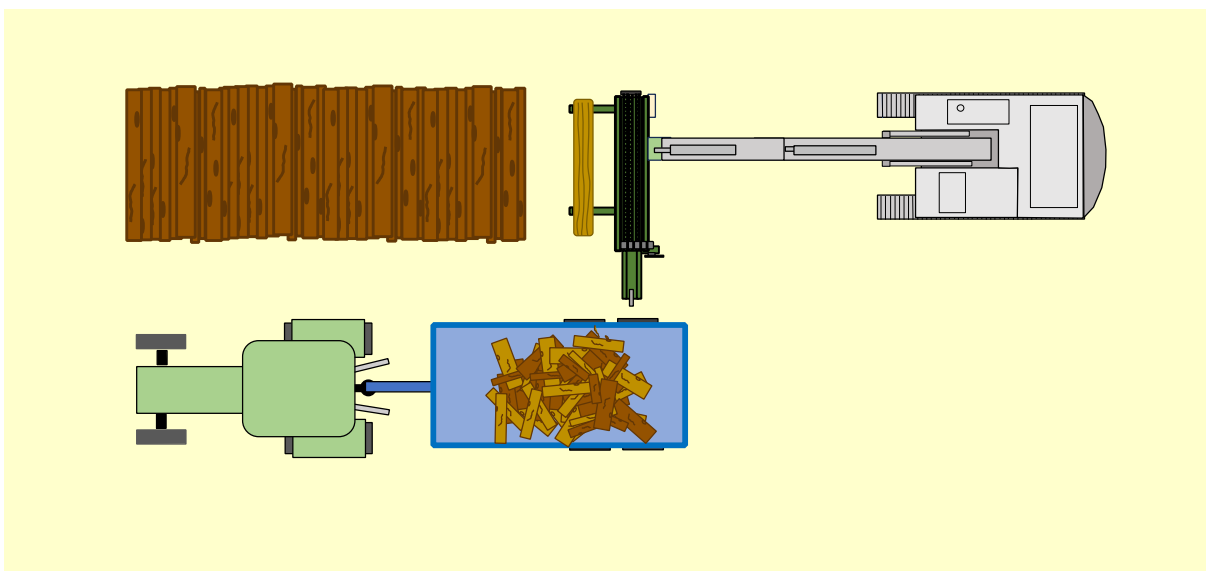


Fig. 16 Prelievo del materiale in catasta

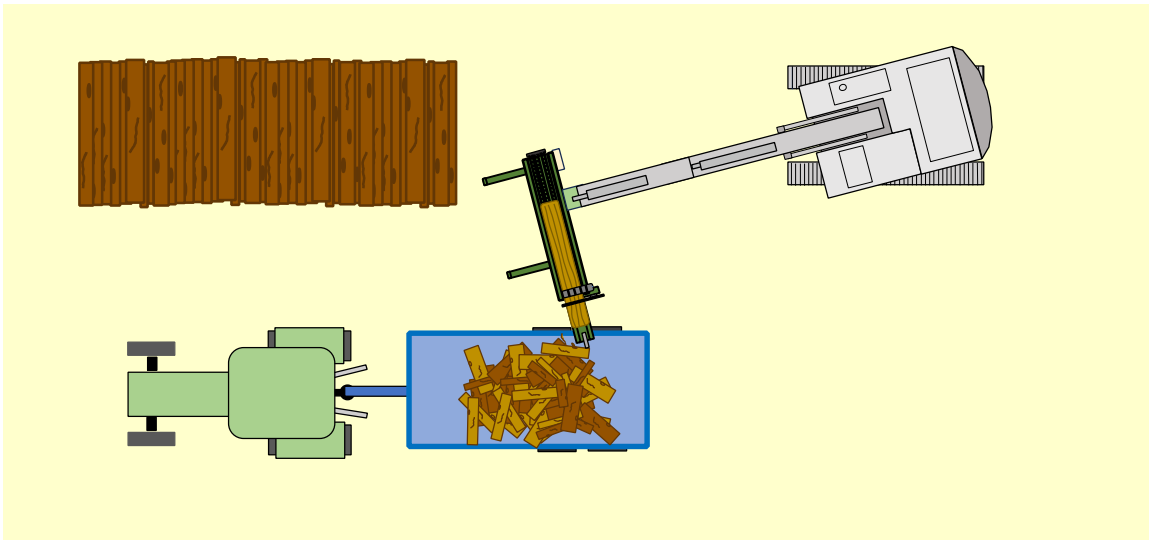


Fig. 17 Carico in contemporanea allo spacco

Individuazione dell'escavatore per l'azionamento del prototipo

Il prototipo realizzato presenta una massa di circa 1.5 tonnellate, e per ragioni di stabilità longitudinale e trasversale, necessita di essere movimentato da escavatori di almeno 13 tonnellate. La scelta di un escavatore di tale massa o superiore è dettata anche dal fatto che, per l'azionamento della macchina, sono necessarie portate d'olio e pressioni adeguate soprattutto per la sega a catena e queste non necessitano di interventi sull'impianto idraulico presente. Si precisa inoltre che per l'azionamento della sega a catena è necessario impiegare l'impianto oleodinamico ausiliario del martello demolitore, in grado di garantire pressioni e portate idrauliche superiori. Il prototipo può essere equipaggiato sia su escavatori dotati di cingoli sia su escavatori con ruote pneumatiche, in tal caso deve essere garantita la stabilità durante le fasi operative con gli stabilizzatori e la lama frontale (Fig. 18).

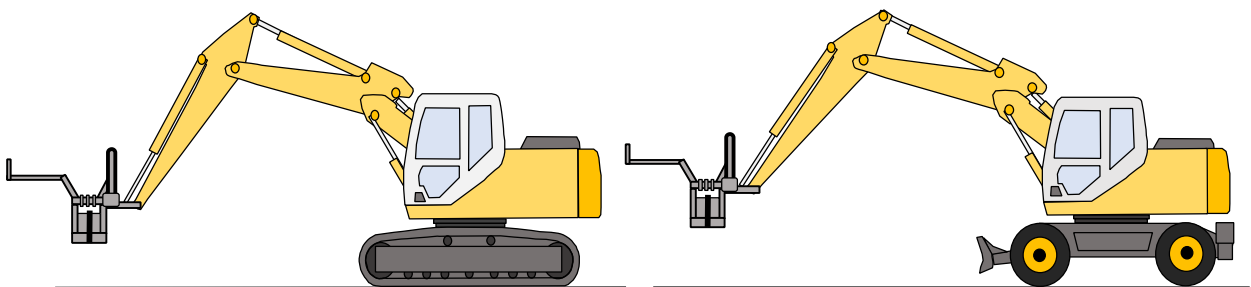


Fig. 18 Allestimento su escavatore cingolato e gommato

Valutazione delle prestazioni del prototipo e confronto con cantieri convenzionali

I cantieri per la produzione di legna da ardere necessitano di piazzali di lavoro adeguati, tuttavia, nella maggior parte dei casi, essi si trovano all'esterno delle aree dalle quali viene estratto il legname. Pertanto, l'individuazione dei popolamenti forestali è avvenuta in lotti situati in condizioni geomorfologiche simili al fine di avere materiale simile da impiegare durante le prove. A tal proposito il territorio ligure oggetto del presente studio è stato suddiviso in 3 zone omogenee per caratteristiche geomorfologiche, ma differenti per estensione e tipologia della rete viabile presente (Fig. 17).

Zona 1 (Versante tirrenico)

Zona di ampia estensione a prevalenza di valli con boschi abbandonati (tranne poche zone, es. manie) costituita da versanti ripidi e con dislivelli notevoli. È contraddistinta da una limitata viabilità pubblica e forestale sia per distribuzione geografica, sia per dimensione media. Generalmente, quella presente evidenzia particolari limiti dovuti a restringimenti, portate ammissibili, pendenze, raggi di curvatura, ecc.. Il miglioramento di quella esistente e l'incremento della densità della stessa potrebbe contribuire sensibilmente ad incentivare le utilizzazioni forestali mirate alla produzione di legna da ardere locale (Fig. 19).

Zona 2 (Entroterra alpino e subalpino)

La zona 2 si estende attraverso le alte valli del Bormida, area di Cairo Montenotte e parzialmente nel comune di Sassello ed è caratterizzata da versanti poco declivi e con dislivelli contenuti; la zona presenta aree servite da una sufficiente rete viabile. Si deve sottolineare che la percentuale degli assortimenti di scarso valore commerciale, ma decisamente funzionali per la produzione di legna da ardere, benché sia preponderante in tutta l'area, risulta inferiore rispetto alla Zona 1 (Fig. 19).

Zona 3 (area delle zone collinari)

La zona 3 si estende nelle aree interne delle Langhe e delle zone collinari dove, in genere, i versanti hanno un andamento dolce ed i dislivelli non sono troppo accentuati. La viabilità ha una distribuzione non molto uniforme poiché in alcune porzioni di territorio è più che sufficiente, mentre in altre è principalmente scarsa. Tuttavia, risulta essere idonea al transito di veicoli per l'esbosco terrestre di assortimenti destinati alla produzione di legna da ardere (Fig. 19).

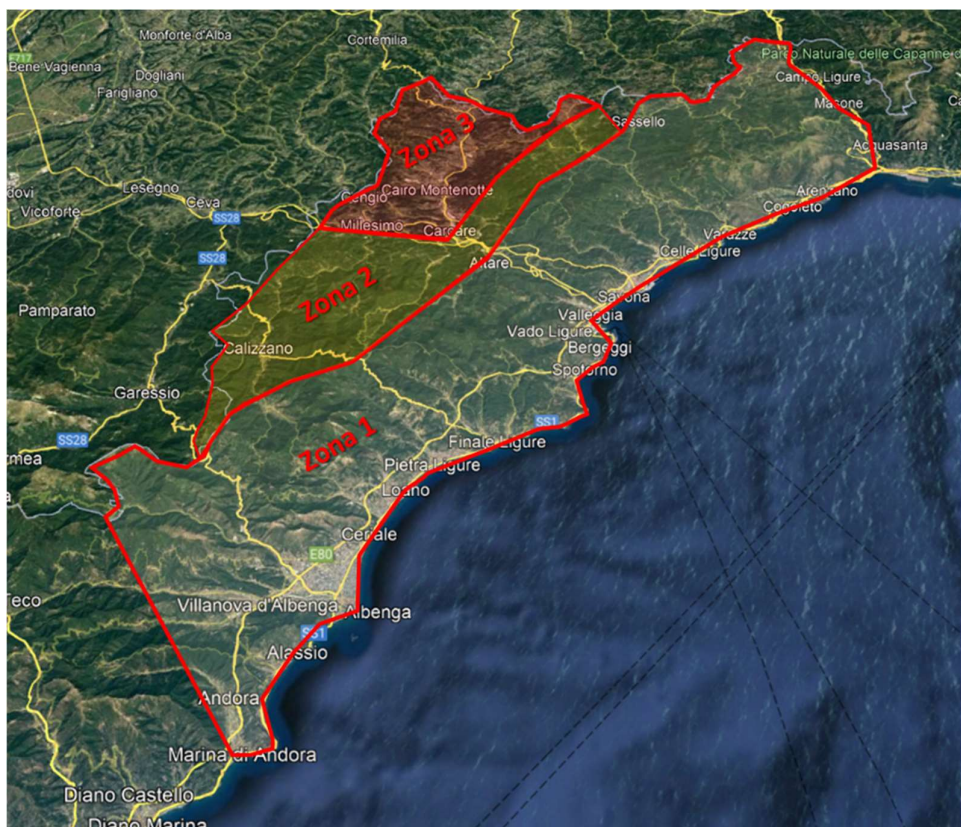


Fig. 19: Individuazione cartografica delle tre zone individuate

Le prestazioni operative del prototipo sono state valutate in diversi contesti e queste sono state confrontate con quelle ottenute cantieri per la produzione di legna da convenzionali, sia cantieri uniti sia cantieri separati, operando in condizioni di lavoro simili. In particolare, il materiale per la produzione della legna da ardere è stato individuato in 5 aree distribuite

nelle 3 zone omogenee per caratteristiche geomorfologiche precedentemente individuate nel territorio Ligure. Tali aree sono state individuate anche in funzione delle caratteristiche simili del soprasuolo (Fig. 20).



Fig. 20: Individuazione cartografica delle aree di cantiere

I popolamenti forestali presenti all'interno delle aree pilota del progetto in cui sono stati prelevati gli assortimenti per la produzione di legna da ardere finalizzati alle prove, sono stati caratterizzati e descritti sia quantitativamente sia qualitativamente. La caratterizzazione è avvenuta mediante il rilievo dei popolamenti in aree di saggio circolari aventi raggio topografico di 10 m, uniformemente distribuite all'interno dei cantieri di taglio. Il numero di aree di saggio realizzate nell'ambito del cantiere è stato definito sulla base dell'estensione

del cantiere stesso e sulle caratteristiche di eterogeneità di questo in termini di popolamento forestale e di morfologia.

All'intero di ogni area di saggio, il rilievo ha previsto:

- Rilievo della specie
- Rilievo della vitalità (vivo/morto)
- Cavallettamento totale con soglia di rilievo 7,5 cm ad 1,3 m da terra (DBH)
- Altezze
- Assortimentazione del fusto

La classificazione qualitativa del fusto è avvenuta mediante una valutazione speditiva delle caratteristiche del fusto in piedi, suddividendo questo in tre elementi di valutazione:

- 1° assortimento: da 0 a 3 m di altezza
- 2° assortimento: da 3 a 6 m di altezza
- 3° assortimento: superiore ai 6 m di altezza

Trattandosi di cantieri insediati esclusivamente in popolamenti forestali riferibili alla categoria forestale Castagneto ed alla forma di governo di cedui invecchiati, è stata adottata la classificazione finalizzata all'individuazione degli assortimenti tipici di questa categoria forestale. Dato l'elevato grado di purezza dei popolamenti le specie diverse dal castagno sono state valutate esclusivamente ai fini del calcolo dendrometrico complessivo dei popolamenti.

La classificazione in assortimenti è avvenuta sulla base dei seguenti elementi:

- Diametro dell'elemento
- Rettilinearità (Fig. 21)
- Ramosità
- Altri difetti evidenti (cancro/ferite)

- Vitalità

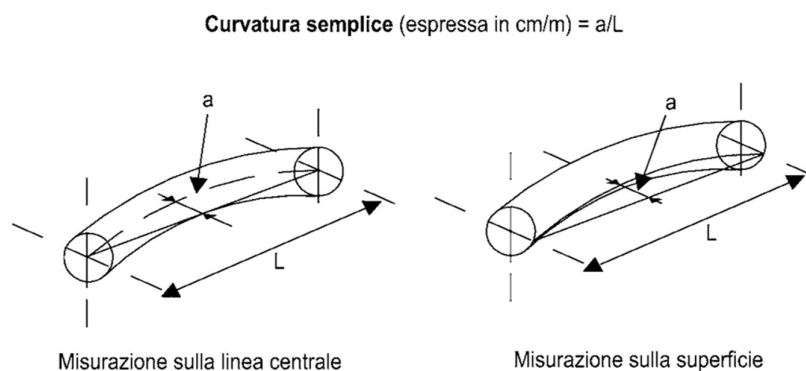


Fig. 21: Valutazione della rettilineità del fusto

Sulla base dei parametri sopra esposti, gli assortimenti sono stati classificati in sei assortimenti potenziali (Tab.5 e Fig. 22). La classificazione intende valutare la potenzialità produttiva dell'albero poiché non è possibile valutare un difetto tipico del castagno, ovvero la cipollatura.

Tab. 5: Parametri utilizzati ai fini dell'assortimentazione

Assortimento	Diametro	Rami	Rettilineità	Difetti evidenti	Viva
Tavole	> 20 cm	No	Si	No	Si
Ingegneria naturalistica	20-25 cm	Indifferente	Indifferente	No	Si
Paleria da vigna	15-20 cm	Indifferente	Si	No	Si
Paleria andante	8-15 cm	Indifferente	Indifferente	No	Si
Tannino	> 20 cm	Indifferente	Indifferente	Indifferente	Si
Energia	Indifferente	Indifferente	Indifferente	Indifferente	Indifferente



Assortimento per tavole



Assortimento per ingegneria naturalistica



Assortimento per paleria da vigna



Assortimento per paleria andante

Fig. 22: Assortimenti di castagno

Il calcolo del volume degli assortimenti ritraibili è avvenuto approssimando alla forma del cilindro il primo ed il secondo assortimento, mentre il terzo assortimento è calcolato come differenza tra il volume cormometrico totale ed il volume del primo e secondo assortimento. La destinazione a cippato è quindi definita dalle seguenti casistiche:

- Pianta morta in piedi
- Pianta viva con evidenti difetti che ne precludono altri usi (cancro/ferite)
- 3° assortimento del fusto

La destinazione a tannino, invece, è definita esclusivamente da un limite dimensionale del fusto in considerazione della possibilità di conferire presso l'industria del tannino fusti di diametro superiore a 20 cm. Poiché la concentrazione del tannino si riduce progressivamente nel tempo nelle piante morte in seguito a dilavamento dovuto alle piogge è stato considerato limitante anche tale fattore per tale destinazione.

Il volume cormometrico delle piante (fusto + rami grossi) è stato stimato utilizzando le formule di cubatura dell'inventario forestale nazionale (IFNC 2015) (Fig. 23).

Volume del fusto e dei rami grossi	$n = 85$	$p = 3$
equazione di previsione	vettore dei coefficienti	
$v = b_1 + b_2 d^2 h + b_3 d$ (v [dm ³], d [cm], h [m])	$b' = [-2.0010 \quad 3.6524 \cdot 10^{-2} \quad 7.4466 \cdot 10^{-1}]$	

Fig. 23: Formula di cubatura del castagno

Caratterizzazione dendrometrica

La caratterizzazione dendrometrica ha interessato i soli popolamenti forestali ricadenti all'interno delle 5 Aree. I cantieri presentano superfici di intervento molto variabili e situazioni morfologiche estremamente diversificate. Le schede monografiche prodotte per singolo cantiere riportano nel dettaglio la caratterizzazione dei popolamenti.

Area 1

La prima area ricade nella zona omogenea 3 al confine tra i comuni di Cosseria e di Cengio (Fig. 24; Fig. 25).

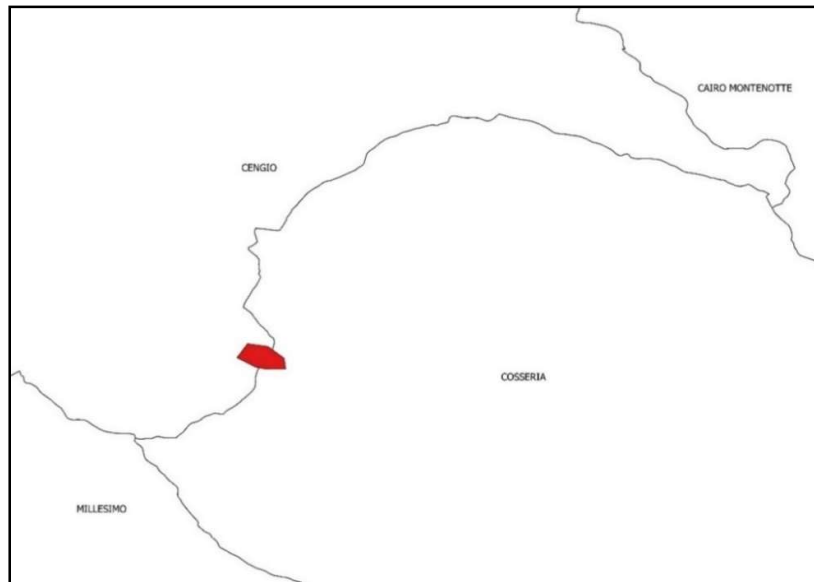


Fig. 24: Identificazione dell'Area 1 su cartografia dei confini comunali.

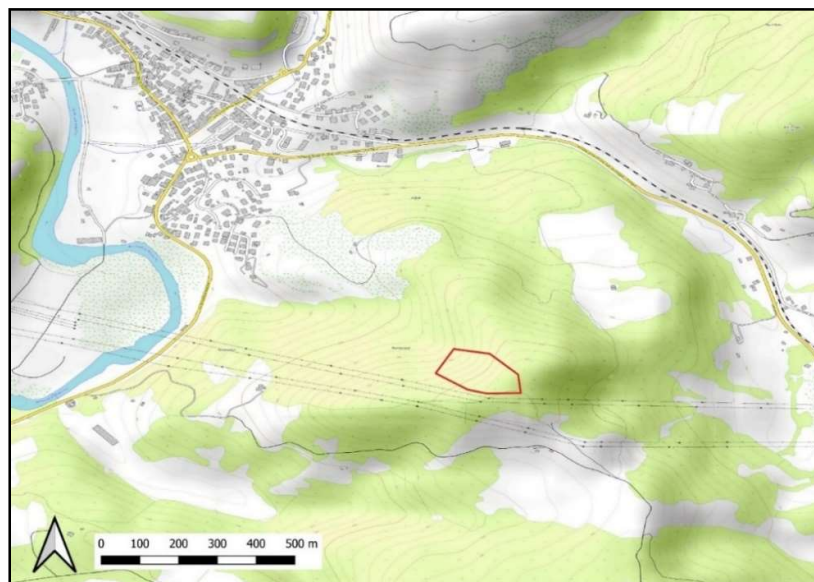


Fig. 25: Identificazione dell'Area 1

L'area di cantiere è ad una quota media di 591 m s.l.m. (quota min 537 m s.l.m.; quota max 639 m s.l.m.) ha un'estensione di 2,3 ha. L'esposizione del sito è Ovest (307°) e la pendenza media è pari a 26° .

Il popolamento forestale presente è un ceduo di castagno invecchiato, puro, caratterizzato da un diametro medio complessivo del popolamento è pari a 17 cm. La mortalità calcolata

sulla densità del popolamento è del 40% ed interessa principalmente i polloni delle classi diametriche inferiori. Questi evidenziano un diametro medio di 12 cm, mentre quelli vitali hanno un diametro medio di 20 cm.

I dati dendrometrici rilevati sono riportati in tabella (Tab. 6; Fig. 26-28)

Tab. 6: Dati dendrometrici Area 1

	Densità (n/ha)	Area basimetrica (m ² /ha)	Volume (m ³ /ha)
Piante morte	900	10,9	78,6
Piante vive	1425	44,4	360,4
Totale	2325	55,3	439,1

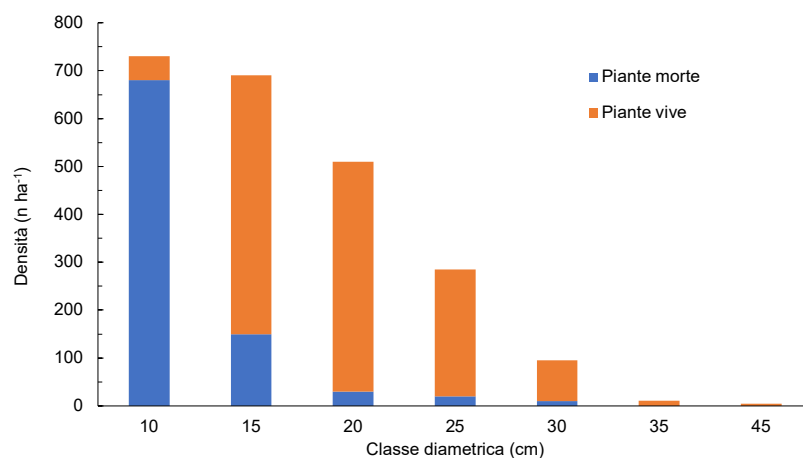


Fig. 26: Densità di piante suddivisa per classe diametrica dell'Area 1

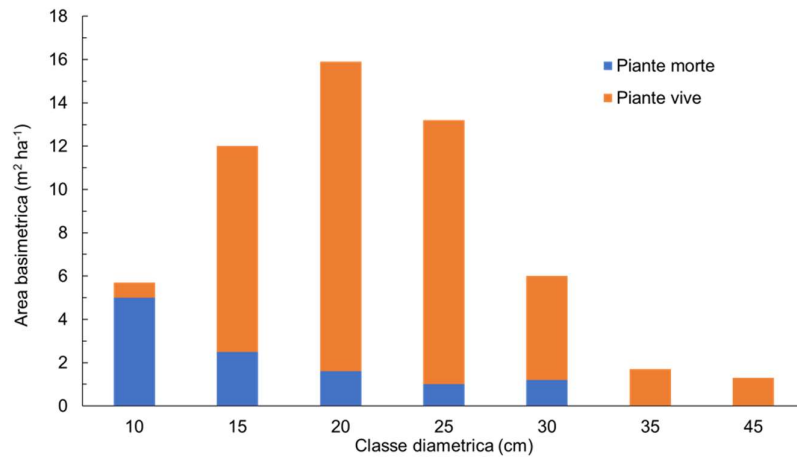


Fig. 27: Area basimetrica ad ettaro suddivisa per classe diametrica dell'Area 1

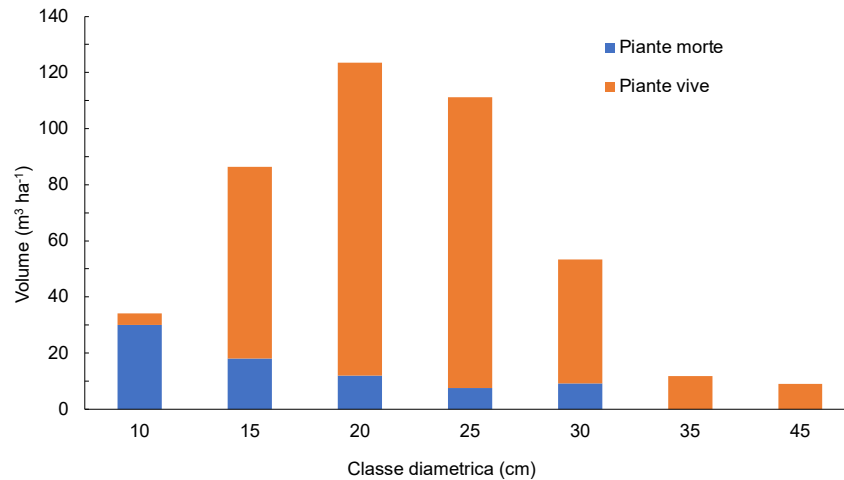


Fig. 28: Volume ad ettaro suddivisa per classe diametrica dell'Area 1

L'assortimentazione prevede come destinazione principale del materiale ritratto la produzione di energia (legna da ardere e cippato) e l'estrazione del tannino. Mentre solo in minima parte la destinazione è la paleria, dovuta alla scarsa rettilineità dei fusti (Tab. 7; Fig. 29).

Tab. 7: Assortimentazione Area 1

Assortimento	Volume (m³ ha⁻¹)
Energia	261,4
Ingegneria naturalistica	12,5
Paleria andante	19,2
Paleria da vigna	30,2
Tannino	73,5
Tavole	42,2
Totale	439,1

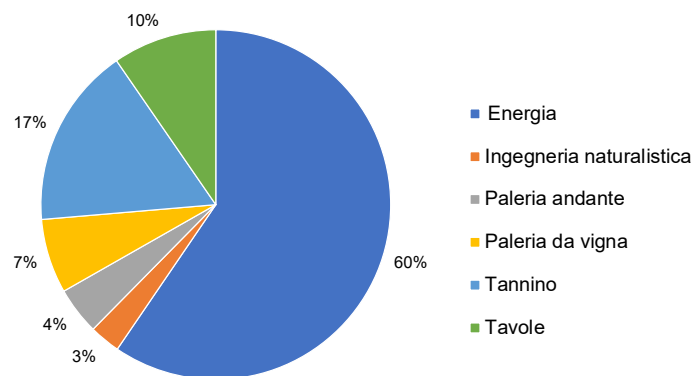


Fig. 29: Assortimentazione dell'Area 1

Area 2

La seconda area ricade nella zona omogenea 3 all'interno della municipalità di Cairo Montenotte (Fig. 30; Fig. 31).

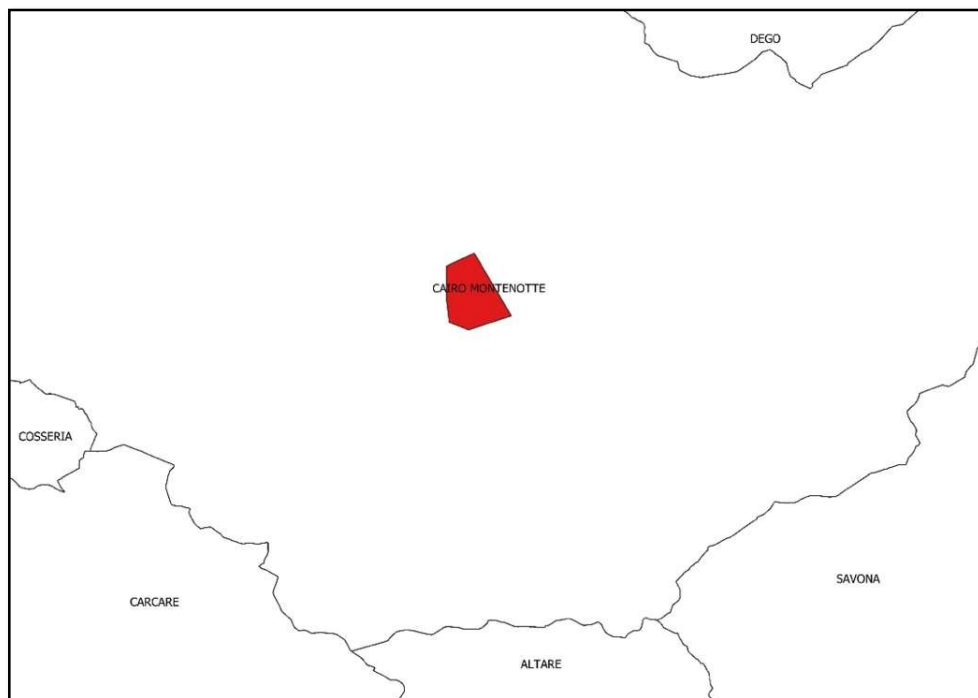


Fig. 30: Identificazione dell'Area 2 su cartografia dei confini comunali.

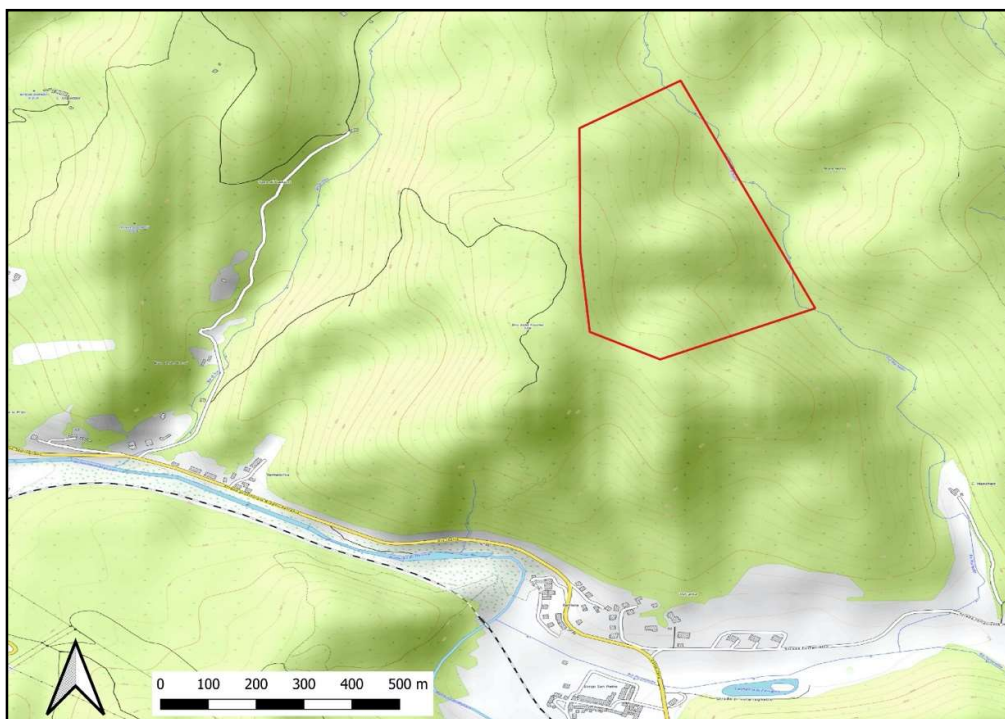


Fig. 31: Identificazione dell'Area 2

L'area di cantiere è ad una quota media di 497 m s.l.m. (quota min 410 m s.l.m.; quota max 556 m s.l.m.) ha un'estensione di 30,3 ha. L'esposizione del sito è Est (92°) e la pendenza media è pari a 23°.

Il popolamento forestale interessato dalle utilizzazioni è un ceduo invecchiato di castagno in mescolanza con faggio (4% della densità totale) e secondariamente con orniello e ciavardello (0,4% rispettivamente della densità totale). Il diametro medio complessivo del popolamento è di 16 cm. La mortalità (51% della densità totale) interessa principalmente le classi diametriche inferiori con polloni di diametro medio di 11 cm, mentre le piante vive presentano un diametro medio dei polloni di 20 cm.

I dati dendrometrici rilevati sono riportati in tabella (Tab. 8; Fig. 32-34)

Tab. 8: Dati dendrometrici Area 2.

	Densità (n/ha)	Area basimetrica (m ² /ha)	Volume (m ³ /ha)
Piante morte	1027	10,8	73,7
Piante vive	1003	31,4	254,8
Totale	2030	42,2	328,5

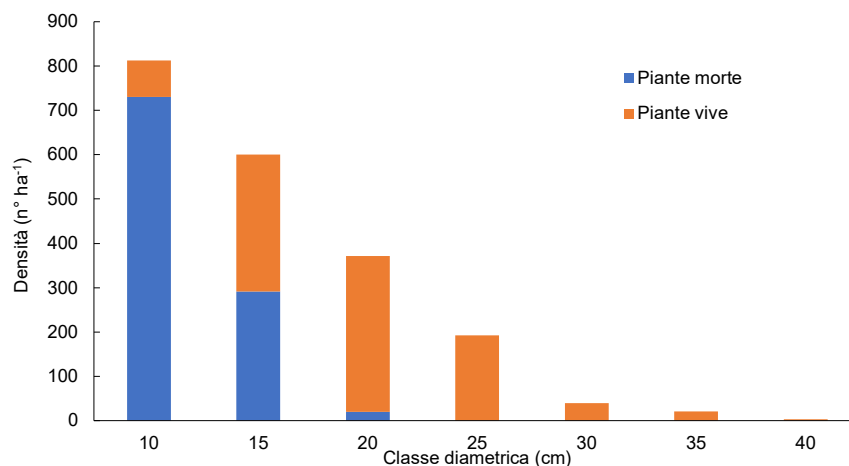


Fig. 32: Densità di piante suddivisa per classe diametrica dell'Area 2.

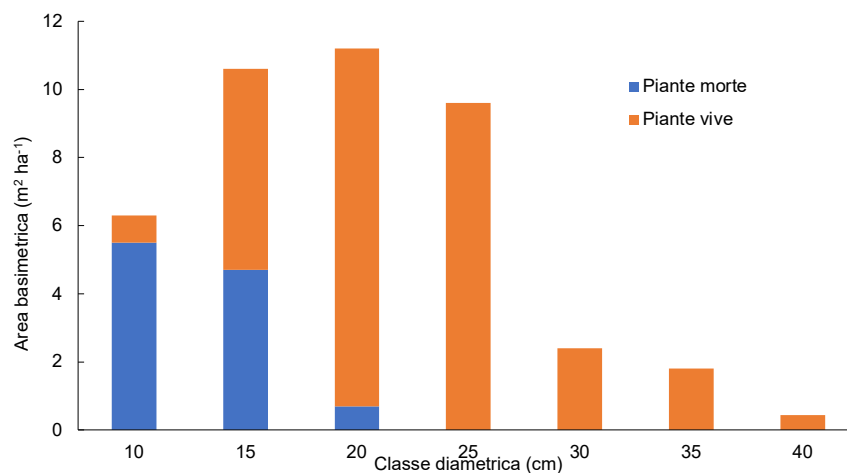


Fig. 33: Area basimetrica ad ettaro suddivisa per classe diametrica dell'Area 2.

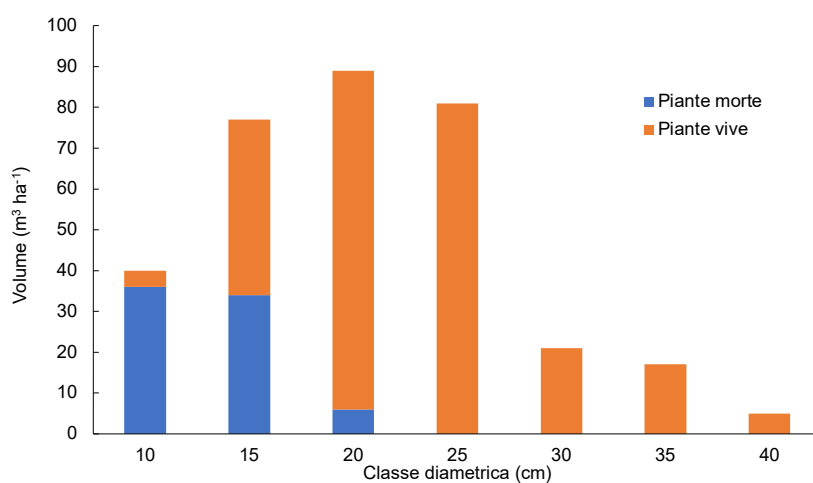


Fig. 34: Volume ad ettaro suddivisa per classe diametrica dell'Area 2.

L'assortimentazione prevede come destinazione principale del materiale ritratto la produzione di energia e l'estrazione del tannino. Mentre solo in minima parte la destinazione è la paleria, dovuta alla scarsa rettilineità dei fusti (Tab. 9; Fig. 35).

Tab. 9: Assortimentazione Area 2

Assortimento	Volume (m ³ ha ⁻¹)
Energia	211,1
Ingegneria naturalistica	13,2
Paleria andante	10,8
Paleria da vigna	12,4
Tannino	55,4
Tavole	25,6
Totale	328,5

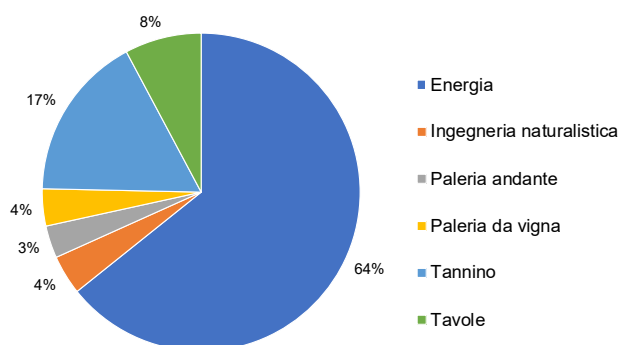


Fig. 35: Assortimentazione dell'Area 2

Area 3

La terza area ricade nella zona omogenea 1 all'interno del comune di Altare (Fig. 36; Fig. 37).

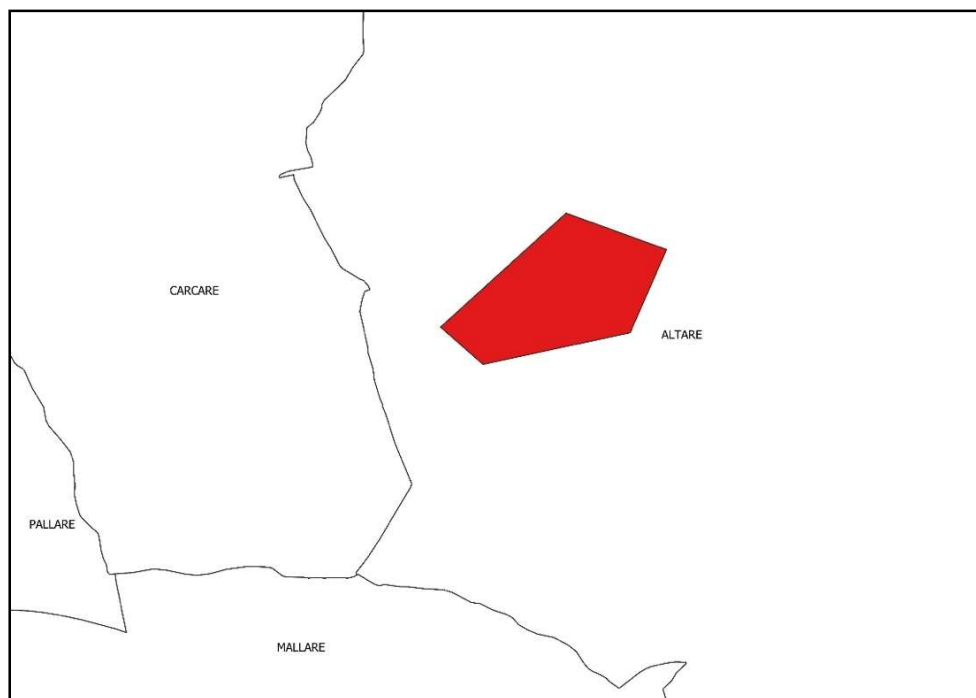


Fig. 36: Identificazione dell'Area 3 su cartografia dei confini comunali.

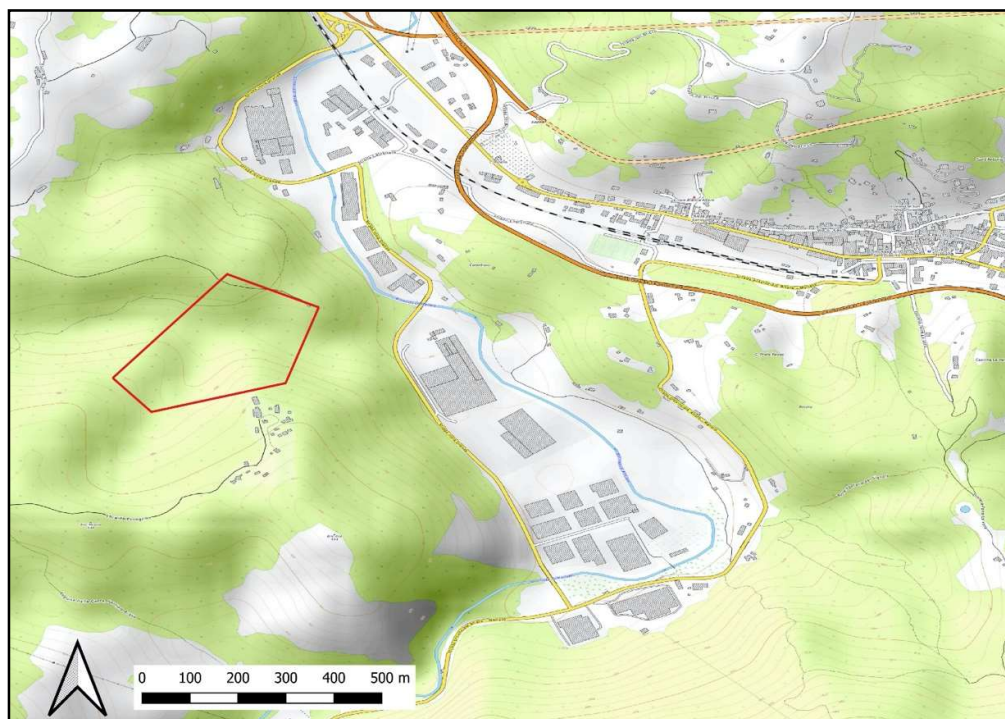


Fig. 37: Identificazione dell'Area 3

L'area di cantiere è ad una quota media di 444 m s.l.m. (quota min 407 m s.l.m.; quota max 485 m s.l.m.) ha un'estensione di 9,7 ha. L'esposizione del sito è Sud-Est (90-180°) e la pendenza media è pari a 22,3°.

Il popolamento forestale interessato dalle utilizzazioni è un ceduo invecchiato di castagno in mescolanza con agrifoglio. Quest'ultimo rappresenta il 3% della densità di alberi presenti nell'area. Il diametro medio complessivo del popolamento è di 17 cm. La mortalità (53% della densità totale) interessa principalmente le classi diametriche inferiori con polloni di diametro medio di 12 cm, mentre le piante vive presentano un diametro medio dei polloni di 20 cm.

I dati dendrometrici rilevati sono riportati in tabella (Tab. 10; Fig. 38-40)

Tab. 10: Dati dendrometrici Area 3

	Densità (n/ha)	Area basimetrica (m ² /ha)	Volume (m ³ /ha)
Piante morte	1186	14,5	102,1
Piante vive	1067	34,3	281,2
Totale	2253	48,8	383,4

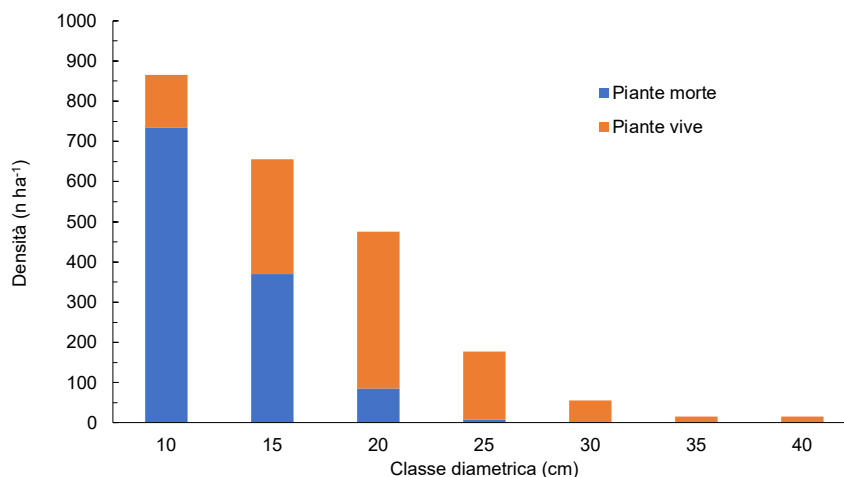


Fig. 38: Densità di piante suddivisa per classe diametrica dell'Area 3.

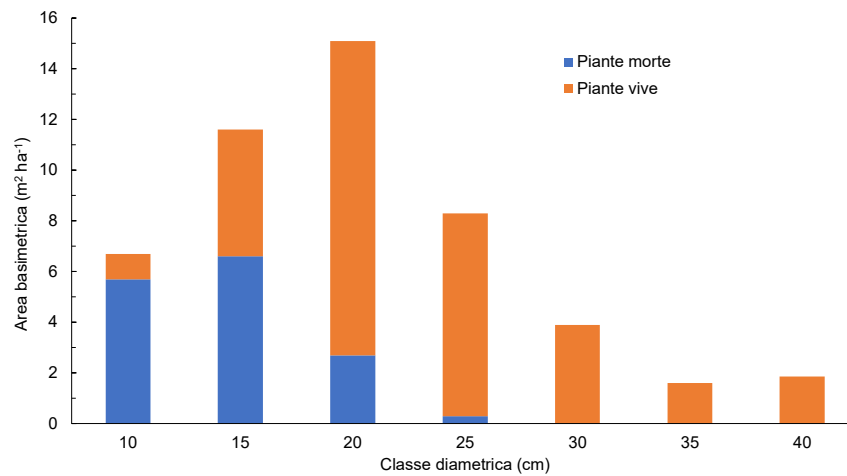


Fig. 39: Area basimetrica ad ettaro suddivisa per classe diametrica dell'Area 3.

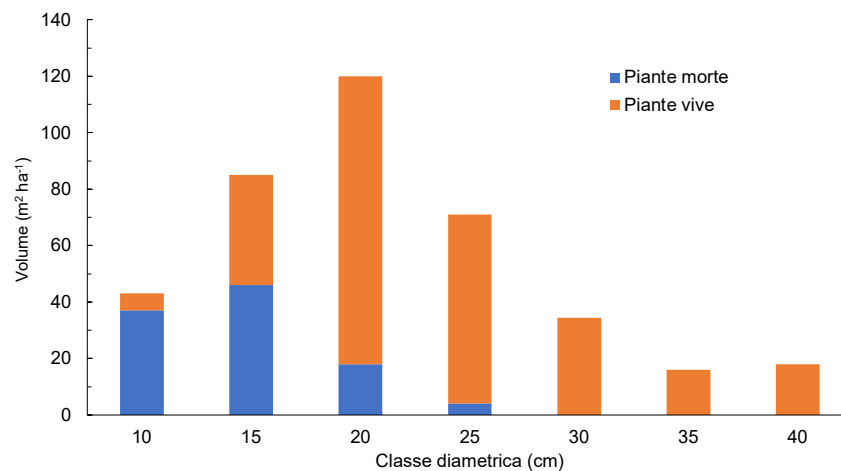


Fig. 40: Volume ad ettaro suddivisa per classe diametrica dell'Area 3.

L'assortimentazione prevede come destinazione principale del materiale ritratto la produzione di energia e l'estrazione del tannino. Mentre solo in minima parte la destinazione è la paleria, dovuta alla scarsa rettilineità dei fusti (Tab. 11; Fig. 41).

Tab. 11: Assortimentazione Area 3

Assortimento	Volume (m ³ ha ⁻¹)
Energia	240,8
Ingegneria naturalistica	32,7
Paleria andante	14,9
Paleria da vigna	13,7
Tannino	65,2
Tavole	16,2
Totale	383,4

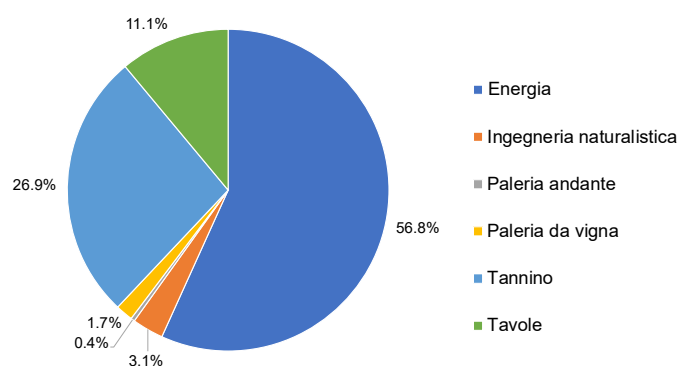


Fig. 41: Assortimentazione dell'Area 3.

Area 4

La seconda area ricade nella zona omogenea 2 all'interno del comune di Calice Ligure (Fig. 42; Fig. 43).

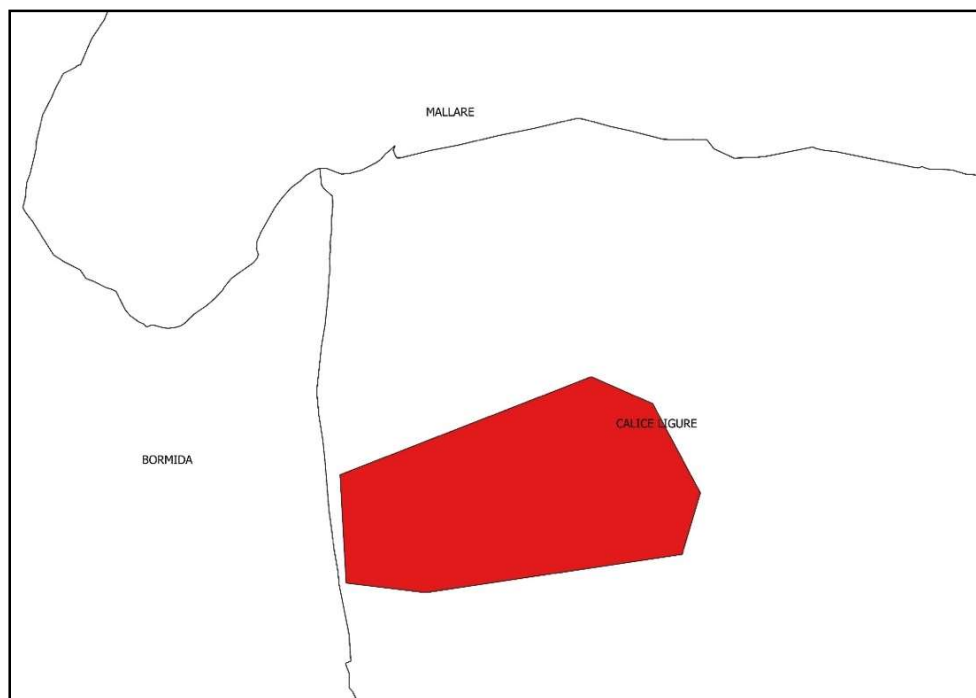


Fig. 42: Identificazione dell'Area 4 su cartografia dei confini comunali.

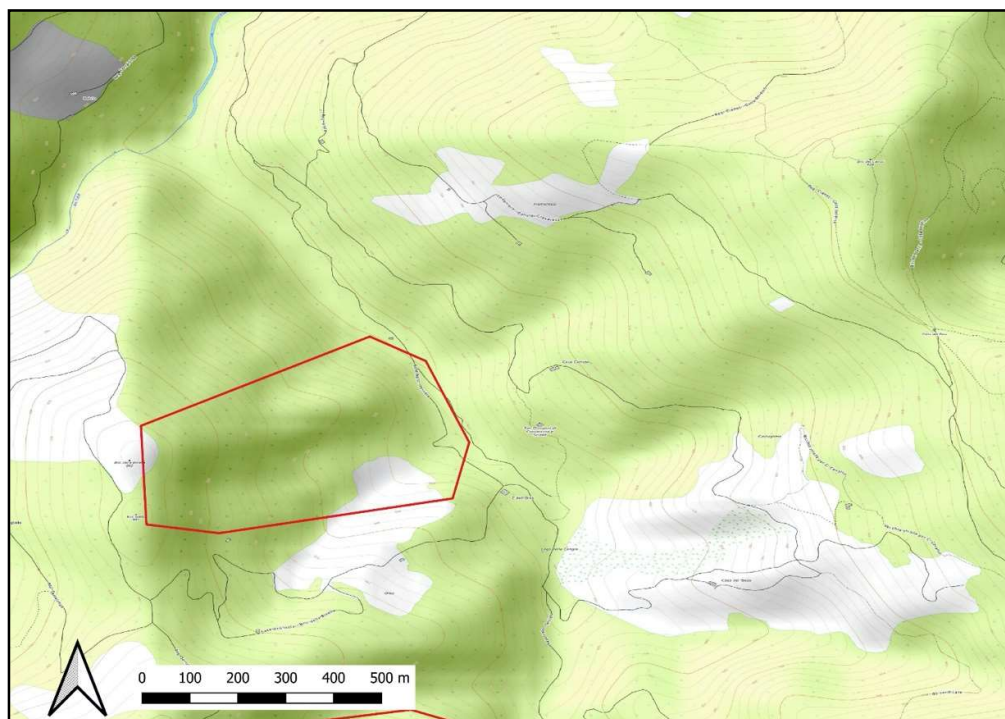


Fig. 43: Identificazione dell'Area 4

L'area di cantiere è ad una quota media di 710 m s.l.m. (quota min 581 m s.l.m.; quota max 864 m s.l.m.) ha un'estensione di 27,3 ha. L'esposizione del sito è Est (96°) e la pendenza media è pari a 26,3°.

Il popolamento forestale presente in questa area è un ceduo invecchiato di castagno in mescolanza con faggio. Quest'ultimo rappresenta il 6% del numero di piante presente ad ettaro in questo popolamento. Il diametro medio del popolamento risulta essere di 17 cm. La mortalità interessa principalmente le classi diametriche inferiori, pari a circa il 42% della densità totale. Le piante morte sono polloni con diametro medio di 12 cm, mentre per le piante vive si è registrato un diametro medio dei polloni di 20 cm

I dati dendrometrici rilevati sono riportati in tabella (Tab. 12; Fig. 44-46)

Tab. 12: Dati dendrometrici Area 3

	Densità (n/ha)	Area basimetrica (m ² /ha)	Volume (m ³ /ha)
Piante morte	971	11,2	78,5
Piante vive	1338	43,6	354,8
Totale	2309	54,7	433,3

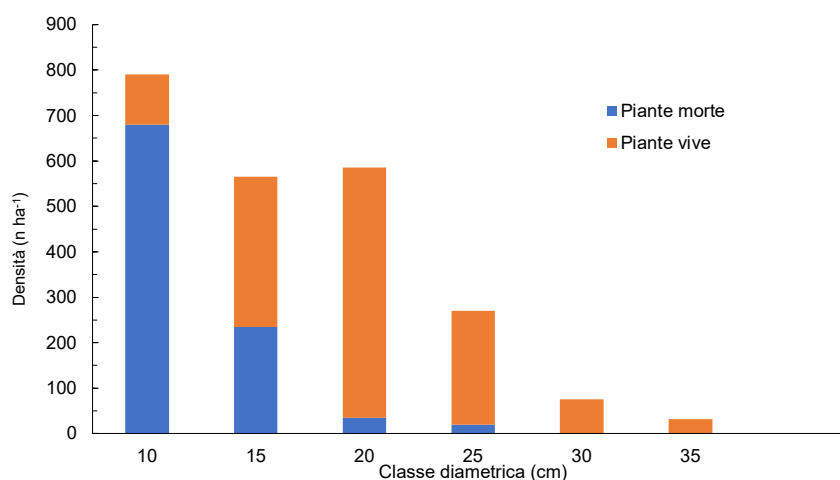


Fig. 44: Densità di piante suddivisa per classe diametrica dell'Area 4.

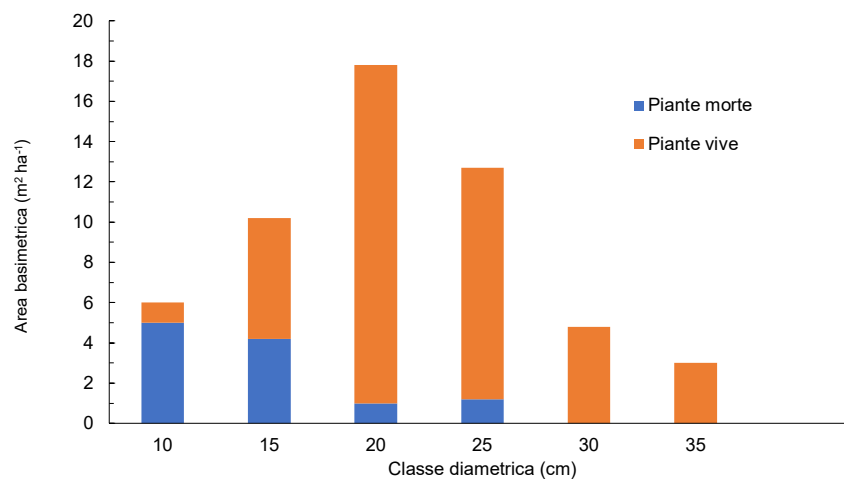


Fig. 45: Area basimetrica ad ettaro suddivisa per classe diametrica dell'Area 4.

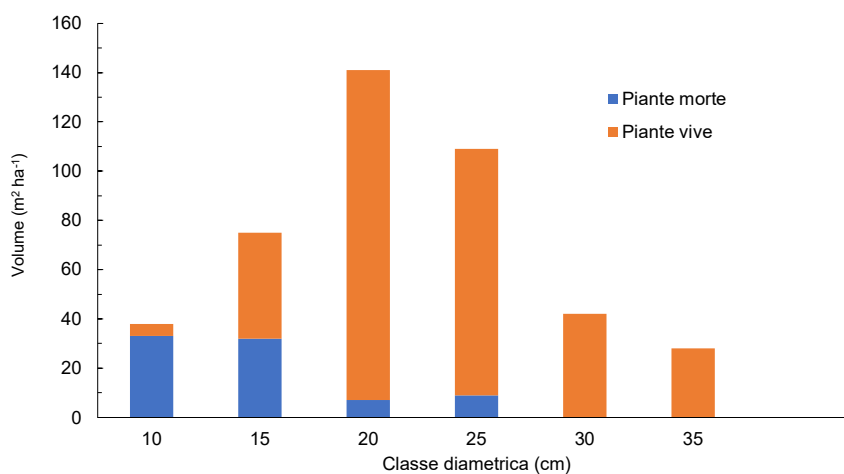


Fig. 46: Volume ad ettaro suddivisa per classe diametrica dell'Area 4.

L'assortimentazione prevede come destinazione principale del materiale ritratto la produzione di energia e l'estrazione del tannino. Mentre solo in minima parte la destinazione è la paleria, dovuta alla scarsa rettilineità dei fusti (Tab. 12; Fig. 47).

Tab. 12: Assortimentazione Area 4

Assortimento	Volume (m ³ ha ⁻¹)
Energia	265,6
Ingegneria naturalistica	17,6
Paleria andante	17,6
Paleria da vigna	21,5
Tannino	65,1
Tavole	46
Totale	433,3

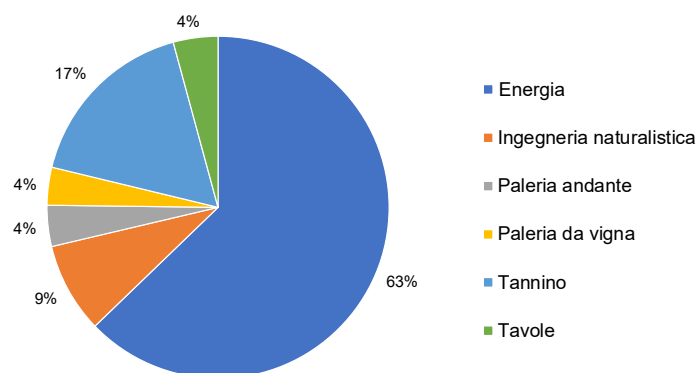


Fig. 47: Assortimentazione dell'Area 4.

Area 5

La seconda area ricade nella zona omogenea 1 all'interno della municipalità di Calice Ligure (Fig. 48; Fig. 49).

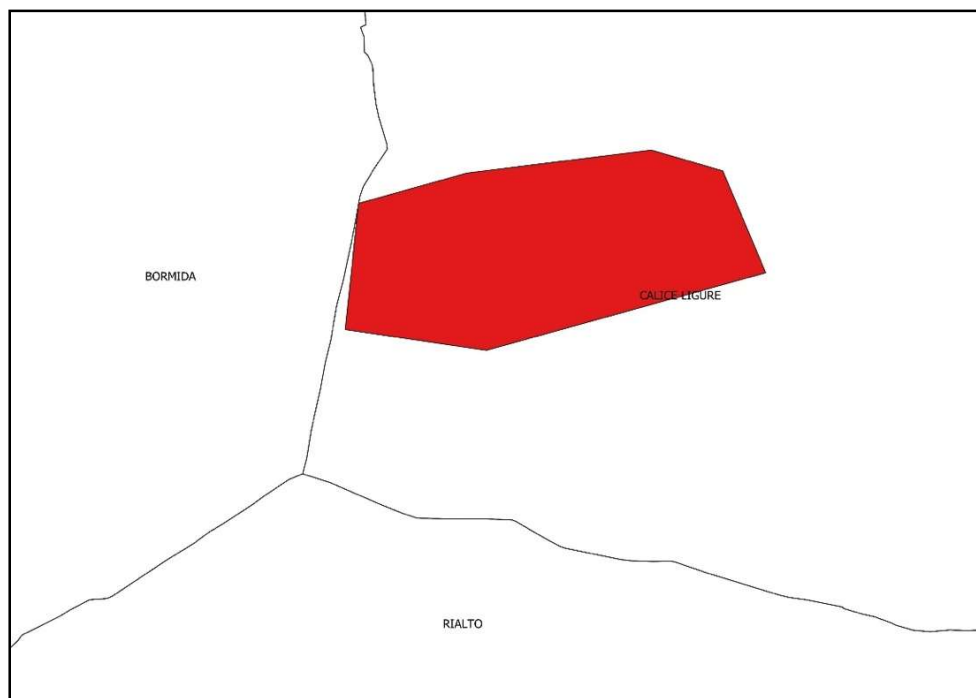


Fig. 48 Identificazione dell'Area 5 su cartografia dei confini comunali.

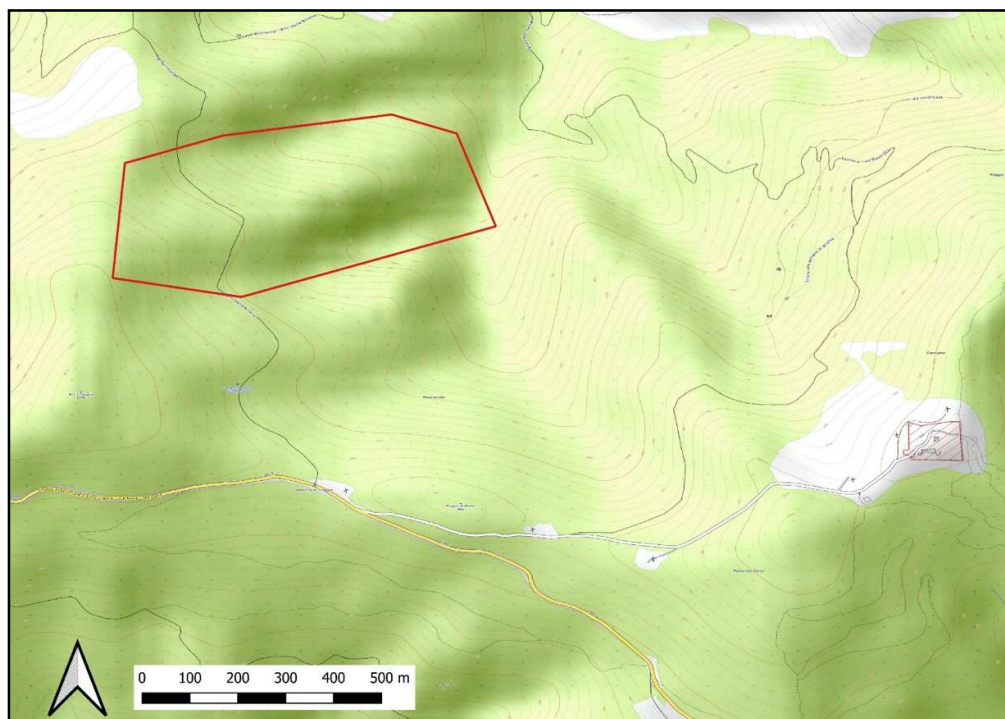


Fig. 49: Identificazione dell'Area 5.

L'area di cantiere è ad una quota media di 813 m s.l.m. (quota min 685 m s.l.m.; quota max 992 m s.l.m.) ha un'estensione di 30,3 ha. L'esposizione del sito è Est (88°) e la pendenza media è pari a 26°.

Il popolamento forestale presente in questa area è un ceduo invecchiato di castagno in mescolanza con faggio. Quest'ultimo rappresenta il 4% del numero di piante presente ad ettaro in questo popolamento. Il diametro medio del popolamento risulta essere di 16 cm. La mortalità interessa principalmente le classi diametriche inferiori, pari a circa il 51% della densità totale. Le piante morte sono polloni con diametro medio di 11 cm, mentre per le piante vive si è registrato un diametro medio dei polloni di 20 cm.

I dati dendrometrici rilevati sono riportati in tabella (Tab. 13; Fig. 50-52)

Tab. 13: Dati dendrometrici Area 5.

	Densità (n/ha)	Area basimetrica (m ² /ha)	Volume (m ³ /ha)
Piante morte	701	11,5	86,4
Piante vive	701	34,6	298,0
Totale	1402	46,2	384,3

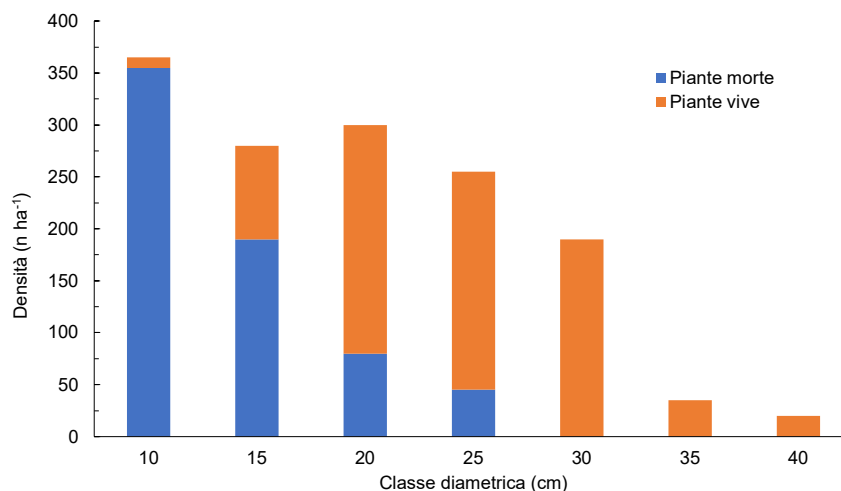


Fig. 50: Densità di piante suddivisa per classe diametrica dell'Area 5.

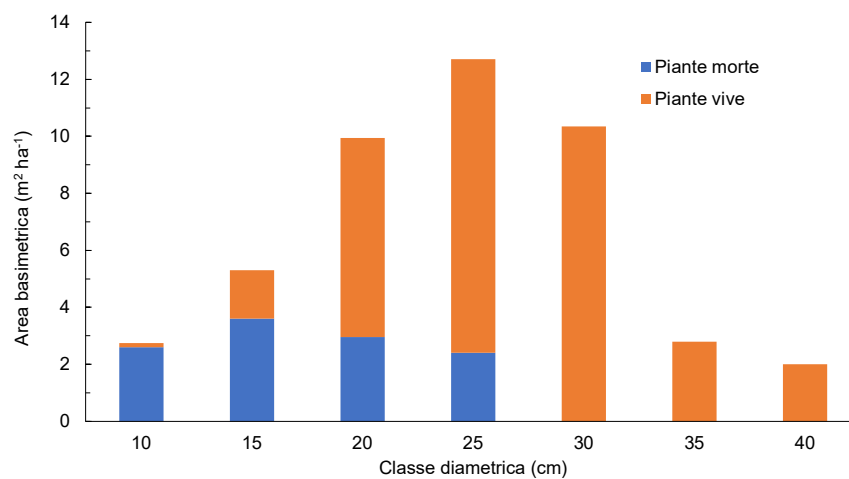


Fig. 51: Area basimetrica ad ettaro suddivisa per classe diametrica dell'Area 5.

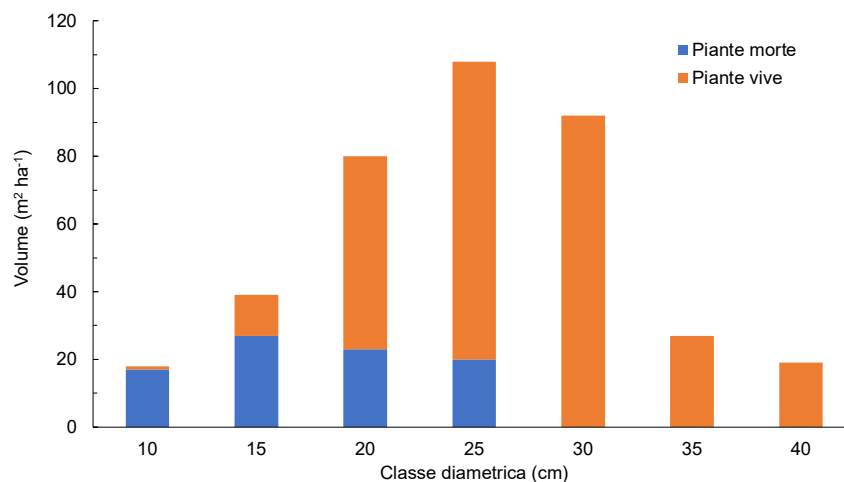


Fig. 52: Volume ad ettaro suddivisa per classe diametrica dell'Area 5.

L'assortimentazione prevede come destinazione principale del materiale ritratto la produzione di energia e l'estrazione del tannino. Mentre solo in minima parte la destinazione è la paleria, dovuta alla scarsa rettilineità dei fusti (Tab. 14; Fig. 53).

Tab. 14: Assortimentazione Area 5

Assortimento	Volume (m ³ ha ⁻¹)
Energia	218,2
Ingegneria naturalistica	12,1
Paleria andante	1,5
Paleria da vigna	6,7
Tannino	103,4
Tavole	42,5
Totale	384,4

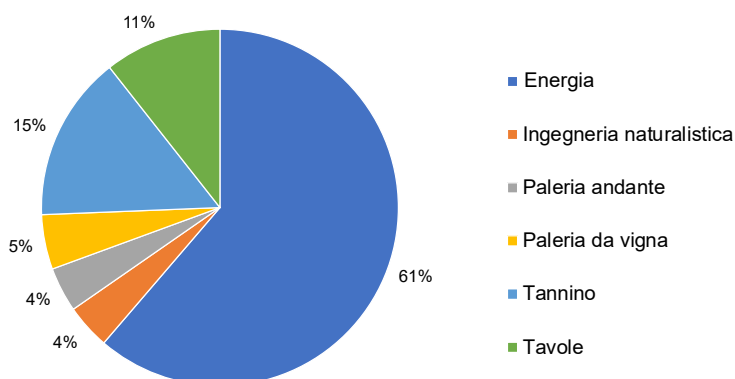


Fig. 53: Assortimentazione dell'Area 5

La composizione specifica dei cantieri si caratterizza per una prevalenza di popolamenti puri di castagno. Solo per i cantieri dell'Area 4 e dell'Area 5 il faggio diviene una componente del popolamento più significativa in termini di numero di piante ad ettaro (rispettivamente 6% e 4%). Sporadica è la presenza, nei diversi cantieri del ciliegio, del sorbo degli uccellatori, dell'orniello e del ciavardello.

Da un punto di vista dendrometrico, i popolamenti presentano una densità media assoluta di 2186 piante ad ettaro, un'area basimetrica media del popolamento di 52 m²/ha ed un volume (provvigione media) di 417 m³/ha (Tab. 15).

Tab. 15: Riepilogo dei dati dendrometrici e dell'assortimentazione delle aree oggetto di studio

Area (n°)	Dati dendrometrici			Assortimenti			
	Densità (n°/ha)	Area basimetrica (m ² /ha)	Volume (m ³ /ha)	Cippato (%)	Paleria (%)	Tannino (%)	Segheria (%)
1	2325	55,3	439,1	60	13	17	10
2	2030	42,2	328,5	64	11	17	8
3	2253	48,8	383,4	63	16	17	4
4	2309	54,7	433,3	61	13	15	11
5	1402	46,2	384,3	57	5	27	11
Totale	2186	52	417	61	12	19	9

I grafici che seguono illustrano la variabilità dei principali parametri dendrometrici (densità, area basimetrica e volume) rilevati all'interno dei singoli cantieri, riferiti al popolamento forestale nel suo complesso (piante vive + piante morte) (Fig. 54-56).

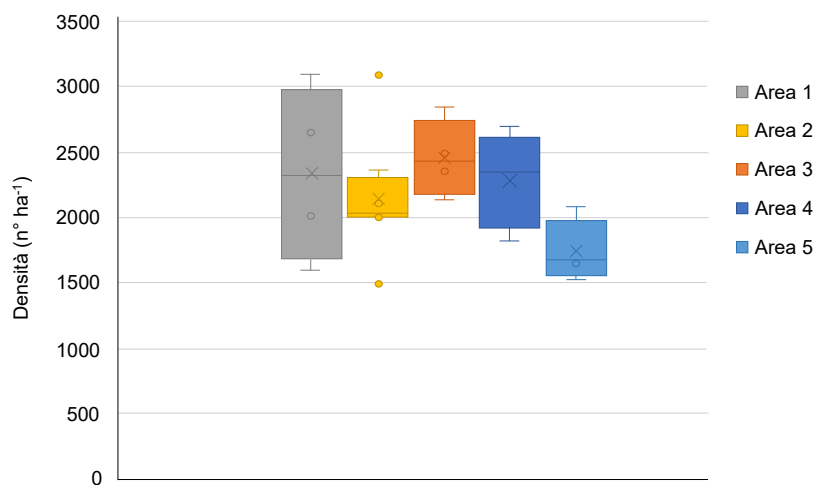


Fig. 54: Variabilità della densità di piante delle differenti aree.

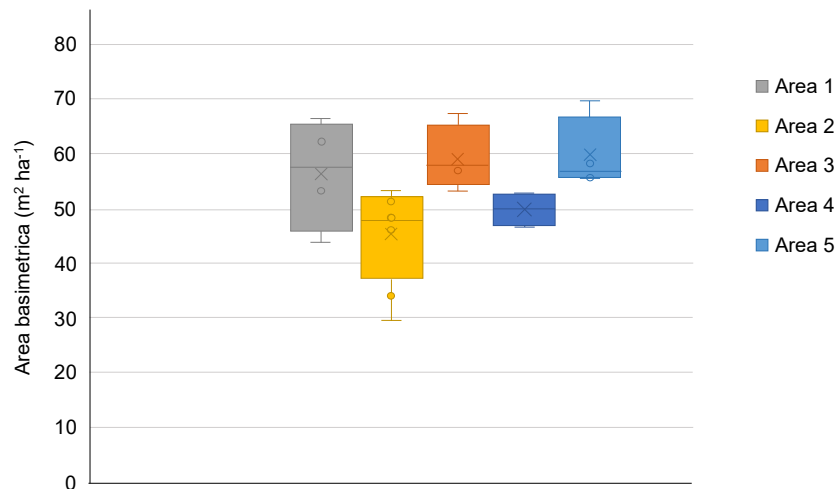


Fig. 55: Variabilità dell'area basimetrica ad ettaro delle differenti aree.

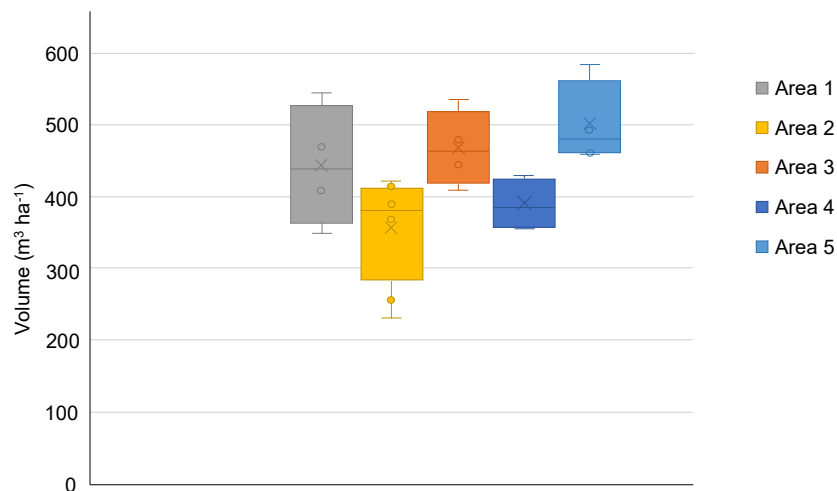


Fig. 56: Variabilità volume ad ettaro delle differenti aree.

In sintesi, date le caratteristiche ritrovate nelle aree impiegate per l'analisi dei cantieri possono definirsi omogenee sia in termini di specie e caratteristiche dendrometriche sia considerando l'assortimentazione del materiale. Inoltre, con l'assortimentazione è possibile differenziare i prodotti ritratti e ottenere assortimenti di valore come legname da opera, paleria e estrazione del tannino. Più del 60% del materiale presente ha come principale impiego la produzione di energia, come legna da ardere e cippato. Con gli assortimenti da

energia ed in particolare con la legna da ardere, è possibile avere un incremento del reddito impiegando alberi non finalizzati ad altri scopi la scarsa qualità ed anche alberi morti in piedi che non sono impiegabili per gli altri scopi più nobili. Ciò potrebbe ripercuotersi anche sull'utilizzazione di boschi abbandonati e non remunerativi per assortimenti di elevato valore commerciale.

Materiali e metodi

Le prestazioni operative del prototipo sono state valutate in parallelo a quelle di cantieri di lavoro convenzionali. In particolare, questi ultimi erano 2 cantieri separati e 4 unità.

Al fine di evitare differenze tra le differenti macchine analizzate, sono state tutte alimentate con tronchi di faggio e quercia lunghi 2,1 m, che hanno trasformato in legna da ardere lunga 35 cm e diametro di 15 cm, per tutte le macchine. La scelta della specie impiegata e delle dimensioni è stata effettuata sulla base della maggiore richiesta di mercato. I tronchi con un diametro inferiore a 15 cm non sono stati spaccati. Il legno lavorato era semi-fresco, con un contenuto di umidità tra il 35 e il 40%. Il contenuto di umidità è stato determinato con il metodo gravimetrico su tre campioni da 500 g per macchina. Durante lo studio si sono impiegate due tecniche di lavoro: con e senza selezione del calibro dei diametri prima della produzione della legna da ardere. I diametri di calibro selezionato presentavano un diametro compreso tra 18 cm e 25 cm. Mentre con diametri non selezionati, le medesime macchine sono state alimentate con tronchi di piccolo e grande diametro compresi tra 8 cm e 30 cm. Tutte le macchine analizzate erano dotate di nastri trasportatori in gomma e scaricavano il prodotto in rimorchi.

Tutte le macchine erano gestite da professionisti esperti, che hanno eseguito per diversi anni questo lavoro e possedevano una conoscenza approfondita della macchina in uso.

Questi operatori sono stati ritenuti affidabili e motivati, in quanto proprietari o comproprietari. Per l'esecuzione delle prove sono stati impiegati sempre 2 operatori per cantiere ad eccezione del cantiere in cui è stato utilizzato il prototipo in cui l'operatore impiegato era 1. Le macchine sono state osservate mentre lavoravano in modo tradizionale, all'interno dei piazzali aziendali (pianeggianti). Tuttavia, il prototipo è stato valutato anche in aree di lavoro con pendenza del 10 % e 20 %. Ogni osservazione è stata rapportata ad una giornata lavorativa completa di 8 ore, di cui 6 di effettiva produzione di legna da ardere. Ogni combinazione di macchina e tecnica è stata replicata tre volte.

In particolare, i cantieri separati analizzati erano costituiti da una troncatrice a disco ed uno spaccalegna verticale. Tutte le macchine erano azionate dalla presa di potenza del trattore (Tab. 16).

Tab. 16 Cantieri separati analizzati

		Cantiere 1		Cantiere 2	
		Taglio	Spacco	Taglio	Spacco
Azionamento	Tipo	PTO	PTO	PTO	PTO
Potenza richiesta	kW	12	20	19	22
Organo di taglio	Tipo	Disco	-	Disco	-
Capacità di taglio	cm	28	-	30	-
Organo di spacco	Tipo	-	Idraulico	-	Idraulico
Organo di spacco	Movimento	-	Verticale	-	Verticale
Forza di spacco	kN	-	90	-	130
Trasferimento	Tipo	Manuale	Manuale	Manual	Manuale
Massa	kg	250	210	210	235
Operatori	n.	1	1	1	1

I cantieri uniti analizzati erano allestiti con macchine combinate in grado di effettuare la depezzatura e lo spacco del materiale allestito. Esse erano differenti tra loro per organo di taglio: catena, disco e nastro (Tab. 17).

Tab. 17 Cantieri uniti analizzati

Cantiere	n°	3	4	5	6
Azionamento	Tipo	PTO	PTO	PTO	PTO
Potenza richiesta	kW	35	33	37	44
Organo di taglio	Tipo	Catena	Disco	Nastro	Disco
Capacità di taglio	cm	35	28	40	32
Organo di spacco	Tipo	Idraulico	Idraulico	Idraulico	Idraulico
Organo di spacco	Movimento	Orizzontale	Orizzontale	Verticale	Orizzontale
Forza di spacco	kN	110	110	120	150
Trasferimento	Tipo	Gravità	Spintore	Manuale	Gravità
Massa	kg	750	900	700	1450
Operatori	n.	2	2	2	2

Produttività del lavoro

La produttività del lavoro dei cantieri per la produzione di legna da ardere è stata determinata con metodo analitico facendo riferimento al tempo necessario per riempire il cassone del rimorchio, il quale è stato successivamente portato alla pesa certificata presente nel

deposito dei tronchi. In particolare, la produttività del lavoro è stata espressa in funzione del tempo ($t\ h^{-1}$).

Le produttività rilevate dai differenti cantieri varia tra $1.12\ t\ h^{-1}$ e $1.45\ t\ h^{-1}$, qualora i diametri dei topi impiegati siano casuali. Mentre nel caso si siano impiegati diametri con calibro tra 18 cm e 25 cm, la produttività varia tra $1.29\ t\ h^{-1}$ e $2.14\ t\ h^{-1}$ (Tab. 18).

Tab. 18 Produttività del lavoro rilevate

Cantiere	Diametro Casuale			Diametro scelto (18-25cm)		
	Media ($t\ h^{-1}$)	Dev. St.	Produttività per operatore ($t\ h^{-1} \times UL$)	Media ($t\ h^{-1}$)	Dev. St.	Produttività per operatore ($t\ h^{-1} \times UL$)
Cantiere 1	1.14	0.08	0.57	1.42	0.09	0.71
Cantiere 2	1.12	0.09	0.56	1.29	0.07	0.65
Cantiere 3	1.32	0.08	0.66	1.85	0.10	0.93
Cantiere 4	1.44	0.08	0.72	1.82	0.09	0.91
Cantiere 5	1.43	0.10	0.72	2.14	0.05	1.07
Cantiere 6	1.17	0.07	0.59	1.59	0.06	0.80
Prototipo	1.45	0.08	1.45	2.11	0.07	2.11

Dall'analisi dei dati è possibile sottolineare che i cantieri 1 e 2, ovvero i cantieri che impiegano macchine distinte per la lavorazione della legna da ardere, hanno fatto registrare produttività inferiori del 14.7 % con diametri casuali, mentre le produttività risultano essere inferiori del 25.7 % quando i diametri lavorati rientravano nell'intervallo 18-25 cm. Mentre, dall'analisi dei dati è emerso come la produttività rilevata impiegando la macchina prototipo risulta essere in linea con quella rilevata nei cantieri allestiti con macchine combinate. Tuttavia, essendo impiegato un solo operatore la produttività del cantiere risulta essere superiore del 100% rispetto ai medesimi indipendentemente dalla tipologia di materiale lavorato.

Le produttività del lavoro rilevate in cantieri ubicati in aree con pendenze del 10 % e 20 %, inerenti all'impiego del prototipo per la produzione di legna da ardere, non hanno evidenziato differenze significative indipendentemente dalla tipologia di materiale lavorato (Fig. 57).

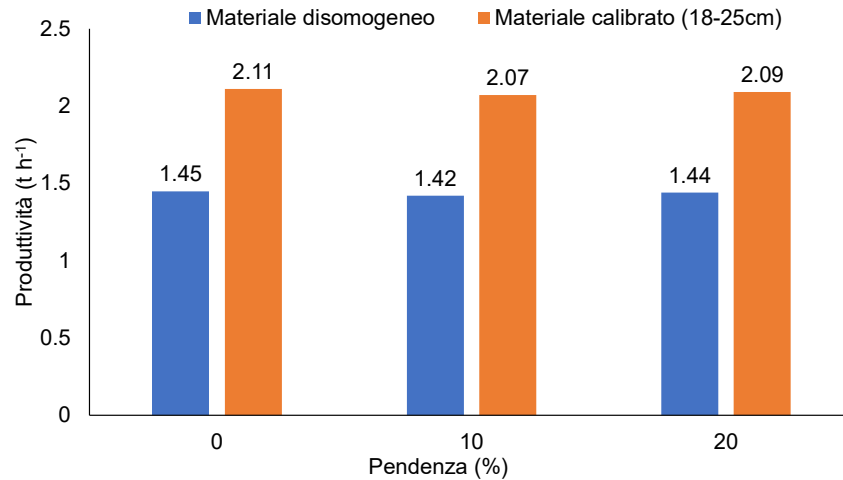


Fig. 57 produttività del lavoro alle differenti pendenze ottenute dal prototipo

Conclusioni

I risultati ottenuti inerenti all'impiego del prototipo azionato con l'escavatore permettono di valutare positivamente l'impiego dello stesso in quanto la produttività del lavoro è stata incrementata del 100 % rispetto ai cantieri convenzionali per la produzione di legna da ardere.

Pertanto, il prototipo realizzato ha pienamente esaudito l'obiettivo principale della presente ricerca poiché è in grado di ridurre il numero di mezzi ed attrezzature indispensabili per l'allestimento dei cantieri convenzionali. Il prototipo realizzato consente di operare direttamente in bosco (imposto) e quindi riduce la necessità di trasportare il legname nei piazzali di lavorazione. A tal proposito si evidenzia l'efficacia della macchina nell'operare mantenendo invariata la produttività anche operando in aree pendenti (10% e 20%).

L'impiego dell'escavatore, macchina già largamente impiegata per altre operazioni dalle imprese forestali, permette l'incremento del tempo di utilizzo della macchina stessa, riducendone di conseguenza i costi fissi e consente di poter ottenere un incremento di produttività nella produzione della legna da ardere. Questa serie di vantaggi possono quindi rendere maggiormente competitive le imprese che svolgono questo tipo di lavorazione.

Tuttavia, è indispensabile proseguire la ricerca al fine di poter analizzare una nuova versione del prototipo con una massa ridotta del 50 %, al fine di poter essere gestito da escavatori di massa non superiore alle 6 t presenti nelle imprese forestali individuali e di piccole dimensioni. Inoltre, è necessario un sistema di ventilazione per prelevare la segatura di risulta ed inserirla in appositi contenitori.