



## **BUONE PRASSI PER LA RIDUZIONE DEGLI IMPATTI DURANTE LE OPERAZIONI DI ESBOSCO**

---

Elena Marra, Giovanni Mastrolonardo, Andrea Laschi, Francesco Neri

ISBN 978-88-98850-46-4



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE  
**DAQRI**  
DIPARTIMENTO DI SCIENZE  
E TECNOLOGIE AGRARIE,  
ALIMENTARI, AMBIENTALI E FORESTALI



## Ringraziamenti

Le linee guida operative per la riduzione degli impatti al suolo durante le operazioni di esbosco del legname sono il risultato conclusivo del progetto SKIDDFORW, finanziato dall'Università di Firenze tramite il bando per Progetti competitivi per Ricercatori a Tempo Determinato (RTD), anni 2019-2020 ([www.dagri.unifi.it/vp-525-il-progetto-skiddforw.html](http://www.dagri.unifi.it/vp-525-il-progetto-skiddforw.html)).

Gli Autori intendono ringraziare, oltre all'Ateneo fiorentino finanziatore del Progetto, anche la Direzione Agricoltura e Sviluppo rurale - Settore Forestazione Agroambiente della Regione Toscana per l'interesse dimostrato per questa tematica di ricerca e per aver contribuito al progetto grafico, impaginazione e stampa di questa pubblicazione.

## Autori:

ELENA MARRA: Assegnista di Ricerca - Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agrarie, Alimentari, Ambientali e Forestali (DAGRI), Università degli Studi di Firenze, Via San Bonaventura 13, 50145, Firenze | [elena.marra@unifi.it](mailto:elena.marra@unifi.it)

GIOVANNI MASTROLONARDO: Ricercatore - Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agrarie, Alimentari, Ambientali e Forestali (DAGRI), Università degli Studi di Firenze, piazzale delle Cascine 18, 50145, Firenze | [giovanni.mastrotonardo@unifi.it](mailto:giovanni.mastrotonardo@unifi.it)

ANDREA LASCHI: Professore associato - Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Forestali (SAAF), Università di Palermo, Piazza Marina 61, 90133, Palermo | [andrea.laschi@unipa.it](mailto:andrea.laschi@unipa.it)

FRANCESCO NERI: Ricercatore - Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agrarie, Alimentari, Ambientali e Forestali (DAGRI), Università degli Studi di Firenze, Via San Bonaventura 13, 50145, Firenze | [francesco.neri@unifi.it](mailto:francesco.neri@unifi.it)

**Foto:** le foto provengono dall'archivio fotografico della sezione di utilizzazioni forestali - DAGRI, ad eccezione di pag. 10, 13, 14, 31, 59, 63, 67, 68 che provengono dall'archivio fotografico di Compagnia delle Foreste



Editore Compagnia delle Foreste | [www.compagniadelleforeste.it](http://www.compagniadelleforeste.it)

Progetto grafico e impaginazione a cura di CHIARA MORI

# INDICE

PRESENTAZIONE.....	Pag. 5
PREMESSA.....	Pag. 7
<b>1. INTRODUZIONE.....</b>	<b>Pag. 8</b>
<b>2. GESTIONE FORESTALE SOSTENIBILE.....</b>	<b>Pag. 10</b>
<b>3. OPERAZIONI DI CONCENTRAMENTO ED ESBOSCO DEL LEGNAME.....</b>	<b>Pag. 14</b>
3.1. Livelli di meccanizzazione forestale.....	Pag. 18
3.2. Criteri e scelta dei sistemi di esbosco.....	Pag. 21
3.3. Mezzi, macchine e attrezzature: trattore e verricello, trattore e rimorchio, skidder e forwarder.....	Pag. 22
3.4. Modalità operative delle macchine altamente meccanizzate.....	Pag. 29
<b>4. IMPATTI AMBIENTALI DELLE UTILIZZAZIONI FORESTALI.....</b>	<b>Pag. 32</b>
4.1. I suoli forestali: caratteristiche e funzioni.....	Pag. 34
4.2. Interazione suolo-macchina e impatti al suolo.....	Pag. 35
4.3. Fattori che influenzano la severità degli impatti al suolo.....	Pag. 41
4.3.1. <i>Caratteristiche del suolo</i> .....	Pag. 41
4.3.2. <i>Caratteristiche delle macchine e dei pneumatici</i> .....	Pag. 44
4.3.3. <i>Parametri dell'utilizzazione</i> .....	Pag. 47
4.4. Tempi di recupero del suolo.....	Pag. 49
<b>5. BUONE PRASSI E TECNICHE DI MITIGAZIONE DEGLI IMPATTI.....</b>	<b>Pag. 50</b>
5.1. Organizzazione e pianificazione dei lavori.....	Pag. 51
5.2. Modifiche ed accorgimenti sulle macchine.....	Pag. 57
<b>6. I REGOLAMENTI FORESTALI.....</b>	<b>Pag. 64</b>
CONCLUSIONI.....	Pag. 68
PRINCIPALI RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	Pag. 70



# PRESENTAZIONE

*E. GRAVANO - S. PIERONI*

*Settore Forestazione Agroambiente della Regione Toscana*

Per poter effettuare in modo razionale e sostenibile la raccolta del legno è indispensabile operare in modo da garantire un approvvigionamento di questa risorsa senza compromettere, però, la capacità di soddisfare i bisogni delle generazioni future. Obiettivi principali di una gestione forestale sostenibile sono: garantire un equilibrio tra rendimento e crescita a lungo termine, preservare la biodiversità, proteggere le foreste da fattori avversi e consentirne la fruizione turistico ricreativa.

Le utilizzazioni forestali, sono comunque un fattore di disturbo antropico per l'ecosistema: esse comportano sempre degli effetti sui sistemi forestali e sul territorio in generale, nel breve e nel lungo termine. I principali effetti negativi dei lavori di taglio ed esbosco si hanno a livello del suolo e del soprassuolo. In particolare, durante le operazioni di concentramento ed esbosco si verificano dei processi di degradazione del suolo, quali la compattazione, la solcatura ed il rimescolamento degli strati superficiali.

Questa pubblicazione affronta varie tematiche inerenti l'impiego di macchine e attrezzature altamente meccanizzate per l'esbosco dei prodotti legnosi e analizza in dettaglio le buone prassi raccomandate per ridurre gli impatti al suolo di macchine che, con il passare degli anni, sono diventate sempre più potenti e più pesanti.

Queste buone prassi, la cui redazione è frutto di una collaborazione tra Regione Toscana, Settore Forestazione Agroambiente e il DAGRI (Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agrarie, Alimentari, Ambientali e Forestali) dell'Università di Firenze, sono rivolte in particolare a tutti i tecnici, progettisti ed operatori forestali che a vario titolo si interessano della filiera foresta-legno, sia per quanto riguarda gli aspetti strettamente tecnici ed operativi che per quelli progettuali, tesi ad un'attenta pianificazione dei lavori.



# PREMESSA

Questo manuale è uno dei prodotti previsti da un progetto di ricerca finanziato da un bando competitivo rivolto ai ricercatori dell'ateneo (progetti competitivi per Ricercatori a Tempo Determinato) dell'Università di Firenze. Il progetto finanziato è intitolato SKIDDFORW: "Determinazione degli impatti dell'esbosco di legname sul suolo con SKIDDer e FORWarder: sviluppo di nuove metodologie e confronto tra i due sistemi". La tematica di ricerca affrontata dal progetto è stata sviluppata nell'arco degli anni 2019 e 2020 ed ha previsto un approccio multidisciplinare che ha coinvolto sia aspetti maggiormente connessi alla pianificazione delle operazioni di esbosco del legname, sia aspetti sperimentali e di ricerca mirati alle valutazioni degli impatti su suolo e soprassuolo.

In particolare, il progetto si è proposto di valutare l'utilizzo di skidder e forwarder nell'esbosco del legname in sistemi forestali Appenninici e di confrontare la produttività e gli impatti su suolo e soprassuolo di questi sistemi di lavoro altamente meccanizzati con quelli causati da metodi tradizionali basati sull'impiego del trattore e verricello e del trattore e rimorchio. Nell'ambito del progetto le indagini hanno preso in considerazione effetti di breve e medio-lungo periodo. Le indagini sugli impatti sul suolo sono state condotte sia con metodi tradizionali che con metodologie innovative, cioè sviluppando modelli 3D della superficie del suolo, con lo scopo di validare queste tecnologie e, in potenza, rendere la valutazione degli impatti più efficace e speditiva.

Obiettivo di questa pubblicazione è quello di definire una serie di linee guida volte ad aiutare gli operatori del settore forestale nella scelta del sistema di utilizzazione più efficiente e meno impattante in relazione a diversi fattori, come le caratteristiche della stazione, il tipo di intervento, l'organizzazione del lavoro, le infrastrutture e le attrezzature disponibili. Inoltre, le linee guida sviluppate potranno essere utili come riferimento per integrare i regolamenti forestali regionali e per la definizione dei programmi formativi rivolti agli operatori forestali.

1.

## INTRODUZIONE





La **sostenibilità dei lavori forestali** è spesso indicata come un obiettivo primario nei lavori di utilizzazione. Questa terminologia caratterizza un approccio operativo che mira allo sviluppo di tecnologie e sistemi di **utilizzo compatibile con l'ambiente**, all'**uso efficiente delle risorse**, alla riduzione della produzione di rifiuti ed emissioni ed al **contenimento degli impatti**.

Infatti le utilizzazioni forestali, essendo un fattore di disturbo antropico per l'ecosistema, comportano sempre degli effetti sui sistemi forestali e sul territorio in generale, almeno a breve termine. I principali **effetti negativi** dei lavori di taglio ed esbosco si hanno a livello del **suolo** e del **soprasuolo**. In particolare, durante le operazioni di concentramento ed esbosco si verificano dei processi di **degradazione del suolo**, quali la compattazione, la solcatura ed il rimescolamento degli strati superficiali. Tali fenomeni si verificano per effetto dello strascico delle piante o dei tronchi e/o del passaggio di mezzi meccanici, che nell'ultimo decennio sono diventati sempre più pesanti e più potenti.

In considerazione del fatto che, nonostante i limiti legati alla morfologia del nostro paese quali pendenza ed accidentalità del terreno, i **livelli di meccanizzazione forestale** adottati dalle imprese forestali stanno **progressivamente crescendo**, nasce l'esigenza di valutare tecnologie più moderne e produttive per l'esbosco dei prodotti legnosi rispetto a metodi tipici e tradizionali del settore forestale italiano, quali il trattore e verricello ed il trattore e rimorchio.

Alcune Regioni stanno proponendo modifiche importanti ai regolamenti di attuazione delle leggi forestali regionali per consentire l'impiego di attrezzature e macchine ad alto livello di meccanizzazione in contesti forestali particolari o su vie di esbosco pianificate e geometriche per confinare gli impatti soltanto sui tracciati e non su tutta la superficie in utilizzazione come purtroppo ancora spesso accade.

2.

**GESTIONE FORESTALE  
SOSTENIBILE**



Negli ultimi anni il concetto di sostenibilità è diventato fondamentale nella nostra Società. A questo termine sono state attribuite diverse definizioni e significati e, a partire dagli anni 2000, il concetto di sostenibilità è stato principalmente correlato a **tre pilastri: economia, ambiente e società**. In pratica, tenendo conto dei tre pilastri, la sostenibilità mira al perseguimento del benessere sociale, senza compromettere le risorse ambientali, attraverso una crescita economica equa. Questi concetti sono ormai condivisi a livello globale.

Tuttavia, il perseguimento dei principi di sostenibilità ha creato e crea difficoltà in praticamente tutti i settori produttivi, quello forestale incluso. Infatti, nonostante la facile accezione del concetto generale, un approccio sostenibile implica una moltitudine di interazioni tra interessi economici, ambientali e sociali. Gli aspetti ambientali hanno il maggior impatto nell'opinione pubblica, anche se i temi economici e sociali sono spesso quelli che più influenzano i processi decisionali. È però fondamentale considerare, in un approccio sostenibile, che i tre pilastri sono strettamente correlati tra loro e l'uno non può prescindere dagli altri.

In questo contesto, negli ultimi anni, le **risorse rinnovabili** sono diventate popolari come soluzione per **sostituire sia i materiali sintetici** in alcune produzioni, **sia i combustibili fossili** nella produzione di energia. Di conseguenza, un interesse crescente si sta concentrando sul **legno come materia prima rinnovabile** che, potenzialmente, bene si inserisce in una **prospettiva di sostenibilità**.

Infatti il legno è un materiale molto versatile; nel corso della storia dell'uomo è stato la prima fonte di energia e imprescindibile materiale da opera e da lavoro. L'uso del legno si era ridimensionato soltanto durante la prima rivoluzione industriale, ma negli ultimi 20 anni il consumo è tornato ad aumentare, sia come biocombustibile che come materia prima. Il **crecente interesse per le foreste** ha un **effetto positivo** in termini di opinione pubblica, gestione forestale e produzione di legno, **ma espone l'ambiente a potenziali rischi** in termini di utilizzo eccessivo della risorsa, che compromettono la prospettiva sostenibile nelle varie fasi della filiera. Per questo motivo, la complessità di una gestione sostenibile è particolarmente evidente nel settore forestale, considerando l'ampio insieme di interessi diversi provenienti da diversi campi che caratterizzano le aree forestali di tutto il mondo. Infatti, oltre al ruolo fondamentale della produzione del legno, le foreste forniscono alla Società varie funzioni e servizi che devono

essere garantiti e preservati. In questo contesto, **una gestione forestale sostenibile ha un ruolo fondamentale** nell'enfatizzare e preservare tutte le funzioni svolte dalle foreste. In particolare, la gestione sostenibile delle foreste deve garantire un equilibrio tra rendimento e crescita a lungo termine, preservare la biodiversità, consentire attività ricreative e promuovere i valori culturali; questi servizi devono essere integrati e perseguiti bilanciando gli aspetti economici, sociali e ambientali. All'interno dei tre pilastri, le tematiche più importanti che concorrono alla sostenibilità delle operazioni in bosco sono legate al rispetto e alla tutela dell'ambiente, inclusa la capacità di rinnovazione dei soprassuoli utilizzati, alla sicurezza e alla salute degli operatori e di chi vive nelle aree forestali, all'ottimizzazione delle produzioni per massimizzare l'efficienza nel prelievo e nell'utilizzo della risorsa legno, ottenendo benefici anche a livello economico (Figura 1).

In quest'ottica, **l'analisi degli effetti sul suolo** delle utilizzazioni forestali è un passaggio fondamentale per conoscere le criticità del lavoro di esbosco in termini di impatti ambientali, **al fine di studiare, individuare e proporre strategie e tecniche di minimizzazione dei danni** garantendo una reale sostenibilità del prelievo legnoso.



Figura 1: La sostenibilità delle utilizzazioni forestali: i pilastri fondamentali



# 3.

## OPERAZIONI DI CONCENTRAMENTO ED ESBOSCO DEL LEGNAME



**I lavori di utilizzazione forestale** comprendono normalmente i lavori di abbattimento, allestimento (sramatura, sezionatura o depezzatura, eventuale scortecciatura), concentramento, esbosco del materiale legnoso e le lavorazioni all'imposto quali la sminuzzatura, la scortecciatura, il carico sui mezzi di trasporto.

La movimentazione del materiale comprende le operazioni necessarie per movimentare legname, parzialmente o completamente allestito, dal letto di caduta alla strada, quindi all'industria di successiva lavorazione. Si possono distinguere le seguenti fasi:

- **concentramento** dal letto di caduta alle linee di esbosco (piste, risine, linee di gru a cavo) o direttamente alle strade;
- **esbosco** o "smacchio" lungo le linee di esbosco fino agli imposti, piazzali di deposito situati su strade forestali;
- **trasporto** con autocarri o autotreni dagli imposti alle industrie di successiva lavorazione; a volte anche con trattori e rimorchi, da un imposto secondario ad uno principale.

Nel concentramento ogni pezzo segue, almeno in parte, un suo proprio percorso, orientato secondo le linee di massima pendenza, non particolarmente preparato, sul terreno naturale del bosco, scivolando per gravità o venendo tirato a strascico. Questa è la **fase più onerosa** della movimentazione, sia in termini di costo diretto che di costi indiretti, cioè di danni al bosco ed al legname, e va pertanto ridotta il più possibile. **allestendo una rete di linee di esbosco razionalmente disposta e sufficientemente densa.** Le distanze di concentramento normali sono dell'ordine delle decine di metri; se superano il centinaio di metri sono da considerarsi eccessive e il concentramento, con qualsiasi sistema o mezzo venga fatto, risulta molto oneroso.

L'esbosco avviene lungo percorsi appositamente attrezzati attraverso i quali il materiale, riunito in carichi, viene portato fino ad un piazzale di deposito, l'imposto, punto di carico di autotreni, autocarri o anche soltanto di trattori e rimorchi, localizzato lungo una strada forestale. **Nell'esbosco**, i carichi seguono lo stesso **percorso** opportunamente preparato: la linea di esbosco. Questa può essere **permanente** (pista di strascico, linea di avvallamento naturale) o **temporanea** (linea di gru a cavo, risina artificiale). Le distanze di esbosco sono normalmente dell'ordine delle centinaia di metri; **distanze superiori al chilometro sono indici dell'inadeguatezza della rete di strade e piste**, e comportano costi eccessivi.

Per **ottimizzare i lavori** di utilizzazione, le modalità di esecuzione delle varie **fasi e operazioni** devono essere **pianificate e programmate ad ampia scala**. È fondamentale conoscere, già in sede istruttoria prima del rilascio delle autorizzazioni, quale sarà il sistema di concentramento ed esbosco che verrà impiegato per agevolare le operazioni conseguenti il taglio. Nell'atterramento i fusti potranno essere direzionati verso le linee di concentramento e verso le vie di esbosco in modo da rendere più agile il lavoro con il conseguente aumento delle produttività.

Dipendentemente dal **sistema di concentramento ed esbosco** adottato, converrà **allestire il materiale** già alla lunghezza definitiva oppure lasciare i fusti interi, sramati, cimati ma non sezionati, per il concentramento ed esbosco con trattore equipaggiato di verricello o con gru a cavo; in quest'ultimo caso l'allestimento verrà completato all'imposto. Lasciare il materiale lungo serve a rendere più semplici e produttive alcune operazioni di concentramento ed esbosco per meglio sfruttare le potenzialità di carico dei mezzi. Altra alternativa sarà quella di abbattere i fusti e lasciarli interi per l'utilizzazione integrale della pianta con macchine sminuzzatrici. Mentre l'abbattimento è sempre la prima fase del lavoro di utilizzazione, le altre a volte non si susseguono nel suddetto ordine, né sono sempre tutte presenti.

Si possono distinguere **tre principali sistemi di lavoro**:

- Sistema del legno corto (**Cut-To-Length o Short Wood System - S.W.S.**) che consiste nell'allestire i fusti sul letto di caduta e nell'esboscare il legname "corto", cioè sezionato negli assortimenti definitivi. È il sistema di lavoro tradizionale (Figura 2).
- Sistema del fusto intero (**Tree Length System - T.L.S.**) che consiste nell'esboscare i fusti sramati ma non sezionati, rimandando quest'ultimo lavoro all'imposto. Si ricorre a questo sistema di lavoro per sfruttare meglio la portata di mezzi di esbosco potenti e quando l'esbosco non presenta difficoltà. Spesso si ricorre ad una via di mezzo fra il S.W.S. ed il T.L.S., esboscando i fusti sezionati in lunghezze multiple di quelle degli assortimenti definitivi; la sezionatura alle lunghezze definitive può essere fatta all'imposto. Con ciò si cerca di mediare tra la possibilità di sfruttare al meglio la capacità di mezzi potenti impiegati nell'esbosco (trattori nello strascico o teleferiche tipo gru a cavo) e la difficoltà di esboscare fusti lunghi anche più di 20 m (Figura 3).
- Sistema dell'albero intero (**Whole-Tree Harvesting o Full Tree System - F.T.S.**) che consiste nell'esboscare gli alberi interi, rimandando sia la



sramatura che la sezionatura all'imposto. Si ricorre a questo sistema di lavoro quando anche la ramaglia viene utilizzata, se il terreno della tagliata deve essere sgomberato anche dalla ramaglia o se agli imposti possono essere impiegate macchine complesse, sramatrici e sezionatrici (processor) o sminuzzatrici (cippatrici). È possibile ricorrere a questo sistema di lavoro esboscano a strascico con trattori o nell'esbosco con gru a cavo (Figura 4).

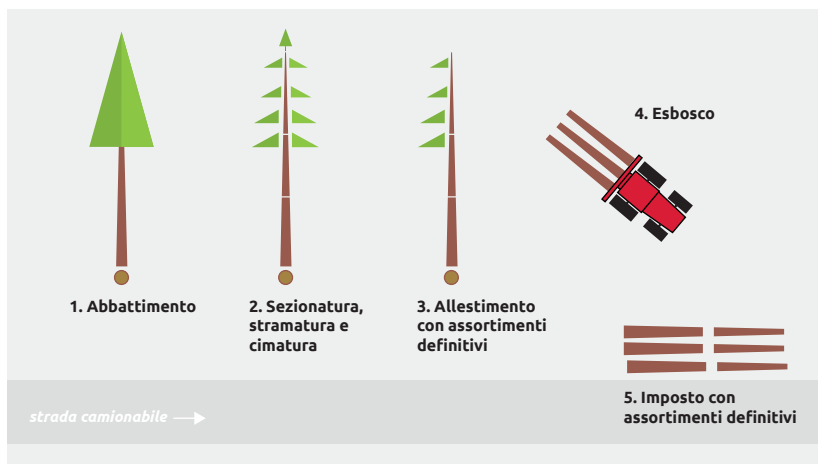


Figura 2: Sistema di lavoro Short Wood System

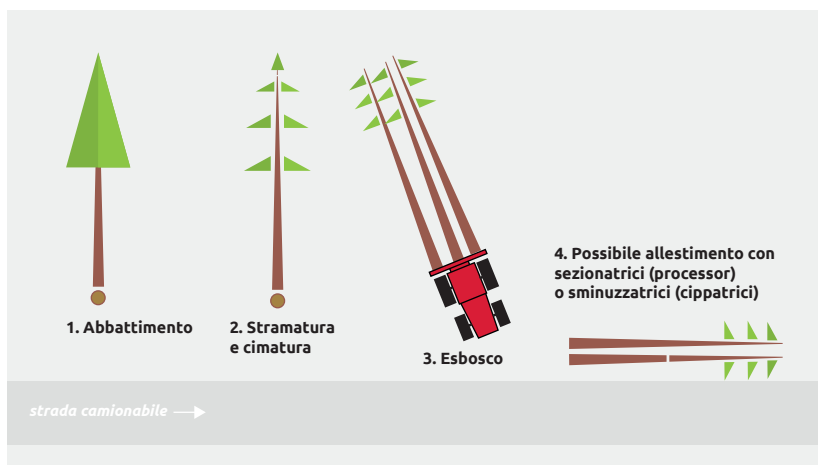


Figura 3: Sistema di lavoro Tree Length System

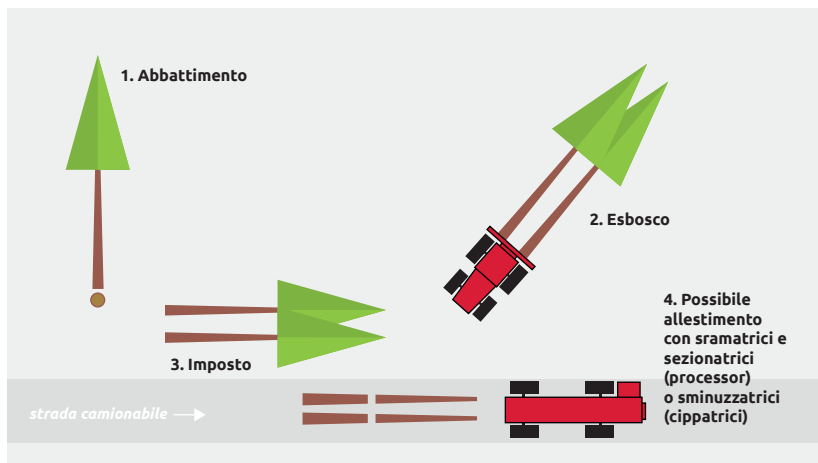


Figura 4: Sistema di lavoro Full Tree System

### 3.1. LIVELLI DI MECCANIZZAZIONE FORESTALE

Nel settore delle utilizzazioni forestali **l'innovazione tecnologica** agisce di solito accrescendo la produttività del lavoro, migliorando la qualità delle lavorazioni e innalzando la sicurezza delle operazioni. In questo settore si sta assistendo all'applicazione di sistemi di lavoro nei quali le operazioni sono sempre più svolte in maniera **semi** o **completamente meccanizzata**. Si tratta di sistemi di lavoro innovativi nei quali si prevedono l'abbattimento e il parziale allestimento sul letto di caduta, l'esbosco e il completamento dell'allestimento all'imposto, oppure il solo abbattimento, l'esbosco dell'albero intero e l'allestimento completo all'imposto.

Tali sistemi fanno riferimento all'utilizzo di diverse macchine. Per esempio, l'utilizzo di un **processore**, di tipo portato o semovente, permette di sramare e sezionare il fusto all'imposto, esboscando poi per via terrestre o aerea in relazione alle dimensioni del materiale e alla pendenza della zona in utilizzazione. Questa metodologia permette di concentrare ramaglia e cimali in un'area in cui non si creino interferenze con il resto delle operazioni e dalla quale i residui possano essere facilmente raccolti e destinati alla produzione di biomassa legnosa. L'aumento della produttività dell'intero cantiere derivante dall'uso dei processori è notevole poiché gran parte delle operazioni sono meccanizzate ed anche la sicurezza e l'ergonomia del lavoro sono migliorate.

L'abbattimento e allestimento completamente meccanizzati prevedono invece l'impiego di **harvester o macchine abbattitrici**; la loro diffusione sta aumentando su tutto il territorio nazionale e le macchine presenti intervengono su tagli di forte intensità, su materiale di piccole e medie dimensioni e possono essere equipaggiate con dei sistemi che le rendono idonee a operare anche su terreni con elevata pendenza. Gli **harvester** (Figura 5) solitamente operano insieme ai **forwarder** (Figura 6), categoria di macchine operatrici che sostituiscono il trattore con rimorchio forestale e sono destinate all'esbosco - trasporto del materiale allestito. Le innovazioni applicate al forwarder lo stanno rendendo una macchina adatta ad operare anche in condizioni forestali montane, in questi casi con l'utilizzo di harvester ad elevata mobilità quali quelli cingolati (Figura 7).



Figura 5: Operazioni di abbattimento e allestimento con harvester gommato



Figura 6: *Esbosco di legname con forwarder*



Figura 7: *Abbattimento ed esbosco della pianta intera con feller cingolato*

## 3.2. CRITERI E SCELTA DEI SISTEMI DI ESBOSCO

La scelta del **sistema di esbosco** deve basarsi sull'analisi dei seguenti fattori:

- **pendenza** del terreno e sua accidentalità;
- **disposizione delle strade**, e di conseguenza dalla direzione dell'esbosco, in salita o in discesa;
- **disponibilità di macchine** ed attrezzature;
- **preparazione del personale** all'impiego delle macchine ed attrezzature;
- **tipo di soprassuolo e di taglio**, cioè intensità del taglio e dimensioni del legname utilizzato.

Essa inoltre è influenzata dall'esistenza di vie di esbosco permanenti, in primo luogo dalle piste, e dall'organizzazione dell'impresa forestale.

Si riportano di seguito le attrezzature impiegabili per il concentramento e l'esbosco in relazione alle classi di pendenza del terreno (Tabella 1):

Classi di pendenza	Concentramento	Esbosco
<b>I classe - 0÷20%: terreni pianeggianti</b>	- manuale (legna) - a strascico con verricelli	- a strascico con trattori - a strascico con skidder - trattore e rimorchio - trattore e gabbie (legna) - forwarder
<b>II classe - 20÷40%: terreni inclinati</b>	- manuale (legna) - a strascico con verricelli - gru a cavo	- a strascico con trattori - a strascico con skidder trattore e gabbie (legna) - trattore e rimorchio - risine (legna) - forwarder - gru a cavo
<b>III classe - 40÷60%: terreni ripidi</b>	- manuale (legna) - avvallamento - a strascico con verricelli (salita)	- avvallamento - a strascico con trattori (discesa) - a strascico con skidder - risine (legna) - gru a cavo
<b>IV classe - 60÷80%: terreni molto ripidi</b>	- avvallamento - gru a cavo	- avvallamento - gru a cavo - elicottero
<b>V classe - oltre l'80%: terreni scoscesi</b>	- gru a cavo	- gru a cavo - elicottero

Tabella 1: Attrezzature impiegabili per il concentramento e l'esbosco in relazione alle classi di pendenza del terreno

Occorre specificare che tutti i sistemi di esbosco sopra menzionati, proprio per la definizione stessa di esbosco che indica la movimentazione del legname dalla zona di concentrazione all'imposto o piazzale, necessitano di un'adeguata rete di strade e di piste forestali. Infatti, tralasciando quei sistemi di lavoro principalmente basati sull'uso di trattori e di rimorchi forestali, anche gli altri sistemi di esbosco dal ridotto impatto ambientale, quali teleferiche, risine e animali, necessitano comunque di strade e di piste forestali per il loro utilizzo.

### 3.3. MEZZI, MACCHINE E ATTREZZATURE: TRATTORE E VERRICELLO, TRATTORE E RIMORCHIO, SKIDDER E FORWARDER

Nonostante i limiti legati alla morfologia del nostro paese, quali pendenza ed accidentalità del terreno, i **livelli di meccanizzazione forestale** adottati dalle imprese forestali stanno progressivamente crescendo. Nasce pertanto l'esigenza di valutare anche tecnologie più moderne e produttive per l'esbosco dei prodotti legnosi rispetto a metodi tipici e tradizionali del settore forestale italiano, quali il trattore e verricello ed il trattore e rimorchio.

Si riportano di seguito le caratteristiche tecniche delle macchine e delle attrezzature comunemente utilizzate per le operazioni di esbosco e la descrizione delle relative operazioni.

**Trattrici cingolate:** sono di solito le normali trattrici di tipo agricolo, con potenza di circa 50-80 CV, peso di 2,5-4,5 t, velocità massima di circa 10 km/h. I loro pregi consistono nella **grande stabilità** (baricentro basso, spostato in avanti), **elevata forza di trazione** grazie alla grande aderenza dei cingoli, **grande manovrabilità**; i loro difetti sono: la **bassa velocità**, che rende poco conveniente il loro impiego su distanze di esbosco superiori ai 200-300 m, il fatto che i cingoli intaccano e **sconvolgono il terreno in modo appariscente**, specialmente nei punti **dove sterzano**, e la difficoltà di spostarle da un posto di lavoro all'altro, sia per la loro scarsa velocità che per il fatto che la loro circolazione su strade pubbliche è vietata. **Equipaggiati con un verricello**, i cingolati vengono impiegati nel concentramento a strascico indiretto e nell'esbosco a strascico diretto soltanto su brevi distanze. Il carico medio nell'esbosco a strascico è di 1,5-3 m<sup>3</sup> di legname. Si ricorre perciò ai cingolati, nell'esbosco a strascico, soltanto

quando l'impiego di trattori a ruote non è possibile. Normalmente sono più usati nei lavori di rimboschimento ed anche per la manutenzione di piste e strade forestali.

***Trattrici agricole a doppia trazione (d.t.):*** sono quelle più usate anche se non **le più adatte nei lavori forestali**. Si tratta di mezzi di 60-100 CV di potenza, peso di 2,5-4,5 t, velocità massima di circa 40 km/h. Sono meno agili sia dei cingolati che dei trattori articolati specializzati e sono meno stabili. Per questi motivi il loro **impiego** deve essere **limitato a terreni e percorsi facili**, in boschi dotati di una buona rete di piste ed all'**esbosco in discesa o in piano**: infatti, tirando in salita sono pericolose perché si **impennano facilmente**, avendo una distribuzione del peso poco favorevole (2/5 sull'asse anteriore e 3/5 su quello posteriore). Il carico medio nell'esbosco a strascico è di 1-3 m<sup>3</sup> di legname.

***Concentramento ed esbosco a strascico con trattore e verricello:*** lo **strascico con verricello**, detto anche strascico indiretto perché **la macchina sta ferma** (Figura 8), consiste nel trascinare il legname mediante una fune di acciaio di un verricello sul terreno del bosco, lungo le linee di massima pendenza. Si effettua su **distanze massime di circa 100 m in salita, 50 m in piano e 30 m in leggera discesa** (concentrando in discesa l'operatore deve tirare la fune in salita e la fune d'acciaio è pesante). Le distanze massime di concentramento si riducono dipendentemente dalle caratteristiche dei verricelli (capacità di fune), dalla disponibilità di fune, dalla densità del soprassuolo, dal profilo e dall'accidentalità del terreno. Il concentramento con verricello è l'unico possibile in salita e spesso il più opportuno anche in piano ed in leggera discesa; collegato con l'esbosco a strascico diretto è il sistema di lavoro più semplice e più economico. I tronchi vengono riuniti in fasci e agganciati per mezzo di catene. La squadra è formata normalmente da 2 operatori, raramente da 3 se il percorso di concentramento è lungo e/o accidentato o se, con legname di piccole dimensioni, si devono radunare più pezzi per formare il carico. È sempre più frequente l'utilizzo di radiocomandi che consentono di svolgere le varie operazioni anche individualmente. **L'esbosco a strascico** viene effettuato, su distanze fino al chilometro, **tirando il legname agganciato alla fune del verricello** bloccato o agganciato, tutto o in parte, ad una barra di traino (Figura 9). Si esboscano bene a strascico tronchi dritti e, se il percorso di esbosco lo consente, possono essere trascinati **tronchi anche molto lunghi**; se il materiale è di lunghezza inferiore a 4 m spesso non si riesce a formare carichi completi, tali da sfruttare le potenzialità del trattore, poiché tendono

a disporsi a ventaglio danneggiando facilmente al piede alberi posti a lato della pista. Fusti di forma irregolare, come gran parte delle latifoglie, si esboscano a strascico con maggiore difficoltà.



Figura 8: Operazioni di concentrazione del legname a strascico con trattore e verricello



Figura 9: Esbosco a strascico con trattore e verricello



*Esbosco con trattore agricolo d.t. e rimorchio r.m.*: vengono impiegati i normali trattori agricoli d.t., con **allestimento forestale e rimorchi a ruote motrici** (r.m.) (Figura 10); è molto importante, per motivi di sicurezza e di produttività, che i rimorchi siano a ruote motrici perché, se adeguatamente caricati, il rimorchio carico arriva a pesare circa il doppio del trattore. Per allestimento forestale del trattore s'intende una serie di **dotazioni** e protezioni del trattore mirate al miglioramento della stabilità dello stesso durante le operazioni di esbosco (zavorre e pneumatici forestali) e della **protezione degli organi meccanici esposti del trattore**, in caso di urti accidentali con rocce, ceppaie e materiale legnoso in genere (protezioni in acciaio nelle zone del serbatoio, tubazioni di sterzo e condotti idraulici e radiatore, protezioni delle valvole dei pneumatici e rete di protezione o vetri antisfondamento per la cabina di guida). Questo sistema di lavoro può essere agevolmente **impiegato sia nei cedui**, per l'esbosco di legna da ardere (Figura 11), **che nelle fustaie** di conifere per l'esbosco di tonde di medie e grandi dimensioni (Figura 12). Dipendentemente dalle dimensioni e caratteristiche del rimorchio, il carico che può essere fatto in un viaggio può variare tra le 3,6 e le 6 t. Dato che le distanze di esbosco non dovrebbero superare 1 km, anche la rete di strade e piste deve essere adeguatamente presente.



Figura 10: *Trattore e rimorchio*



*Figura 11: Esbosco di legna da ardere con trattore e rimorchio*



*Figura 12: Esbosco di tondeame di medie e grandi dimensioni con trattore e rimorchio equipaggiato di gru idraulica*

Nel caso di esbosco - trasporto di legname di medie e grandi dimensioni vengono impiegati trattori con rimorchio equipaggiati di gru idraulica; in questo caso le distanze di trasporto sono spesso superiori a quelle che si riscontrano nei cedui, arrivando anche a 8-10 km. I rimorchi sono più grandi e robusti, spesso a doppio assale oscillante, o vengono impiegati semirimorchi per trattori portanti, balestrati, equipaggiati con gru idraulica per il carico e lo scarico.

**Trattori articolati (skidder):** sono macchine specializzate (Figura 13) che sono state sviluppate appositamente per l'esbosco a strascico di legname di grandi dimensioni in Canada verso la fine degli anni '50. Successivamente si sono diffuse in Scandinavia e poi in Europa centrale a metà degli anni '60. Hanno telaio articolato, posto di guida (cabina) sull'avantreno, **pinza da esbosco sul retrotreno**, 4 ruote isodiametriche, grandi come quelle posteriori di trattrici agricole pesanti, e struttura estremamente robusta. La pinza può essere sostituita da un potente e pesante verricello a 1 o, più spesso, a 2 tamburi, con capacità di 80-100 m di fune di 14-18 mm di diametro e forza di trazione massima di 8-12 t. Anteriormente è montata una **lama tipo apripista**, impiegata per l'accatastamento del legname (Figura 14). Il peso complessivo della macchina si attesta intorno a 10 t e la macchina si presta bene all'esbosco del legname "lungo" a strascico, con le teste dei tronchi sollevate da terra. Il loro peso grava per il 60-65% sull'avantreno, per il 35-40% sul retrotreno (come i miniarticolati). Sono larghi da 2,2 a 2,5 m e fino a 3 m.

I trattori articolati impiegati in Europa hanno potenza di 90-140 CV e pesi di 5,5-8 t; macchine impiegate nei tropici arrivano fino a 200 CV e 12 t. Questi mezzi, grazie alla loro struttura ed al loro peso, permettono di conseguire



Figura 13: *Skidder*



Figura 14: Skidder equipaggiato con gru idraulica, pinza di esbosco e verricello

elevate produttività nell'esbosco a strascico di legname di grandi dimensioni, dunque in tagli di maturità in fustaie non necessariamente a raso, su terreni della I, e, con limitazioni, della II e III classe di pendenza, sulle quali il loro impiego è legato a strade o piste. Il carico medio di questi trattori è elevato, da 4 a 6 e fino oltre 8 m<sup>3</sup> per i tipi più pesanti; spesso però è limitato dalle caratteristiche del legname: se questo è di piccole dimensioni, anche con trattori potenti e con verricelli a 2 tamburi, è difficile formare carichi di oltre 2 m<sup>3</sup>.

**Trattori articolati portanti (forwarder):** un particolare tipo di trattori portanti sono i forwarder (Figura 15 - Figura 16), derivati dai trattori articolati mediante la sostituzione del retrotreno con un telaio, tipo rimorchio, con doppio assale oscillante, con trazione integrale. Dietro la cabina è montata una **gru idraulica integrata** nella macchina. Questi mezzi vengono impiegati per l'esbosco di legname soprattutto di medie e grandi dimensioni, lungo 4-6 m, su terreni pianeggianti o al massimo della II classe di pendenza. I forwarder sono mezzi grandi e pesanti: anche in questo caso il peso della macchina si attesta intorno a 10 t. Il loro impiego è spesso abbinato all'uso dell'harvester o del processore e il loro maggiore inconveniente è la **compattazione del terreno** che, inevitabilmente, provocano. La loro **diffusione** nella nostra selvicoltura è resa anche **difficile dalla scarsa disponibilità di infrastrutture** quali strade e piste forestali.



Figura 15: Operazioni di scarico di legname di grandi dimensioni dopo l'esbosco con forwarder



Figura 16: Operazioni di carico di legname di grandi dimensioni su forwarder

### 3.4. MODALITÀ OPERATIVE DELLE MACCHINE ALTAMENTE MECCANIZZATE

**Skidder e forwarder** sostanzialmente differiscono per le modalità operative: lo skidder esbosca il legname a semistrascico e gli impatti sul suolo sono da considerarsi in relazione al peso elevato della macchina e all'attrito dei tronchi sul terreno, mentre il forwarder esbosca su rimorchio e

pertanto l'impatto è da valutarsi soltanto in relazione al peso complessivo della macchina carica.

L'impiego di queste macchine è limitato sia da fattori tecnici che economici, per poterle impiegare razionalmente è necessario che:

- **il terreno sia completamente percorribile** (I-II classe di pendenza al massimo) e non sia accidentato;
- **i quantitativi di materiale** da lavorare siano grandi a sufficienza per **ammortizzare** gli elevati **costi d'investimento**;
- l'organizzazione del **lavoro** sia di tipo **schematico e geometrico**.

Per tali motivi, uno dei sistemi di lavoro più comunemente adottati in Italia per il concentramento e l'esbosco del legname (tondame), è sempre stato il **trattore e verricello** con la modalità a strascico. Questo sistema, caratterizzato da una notevole **versatilità d'impiego**, consente di movimentare il legname **contenendo gli investimenti economici e gli impatti**.

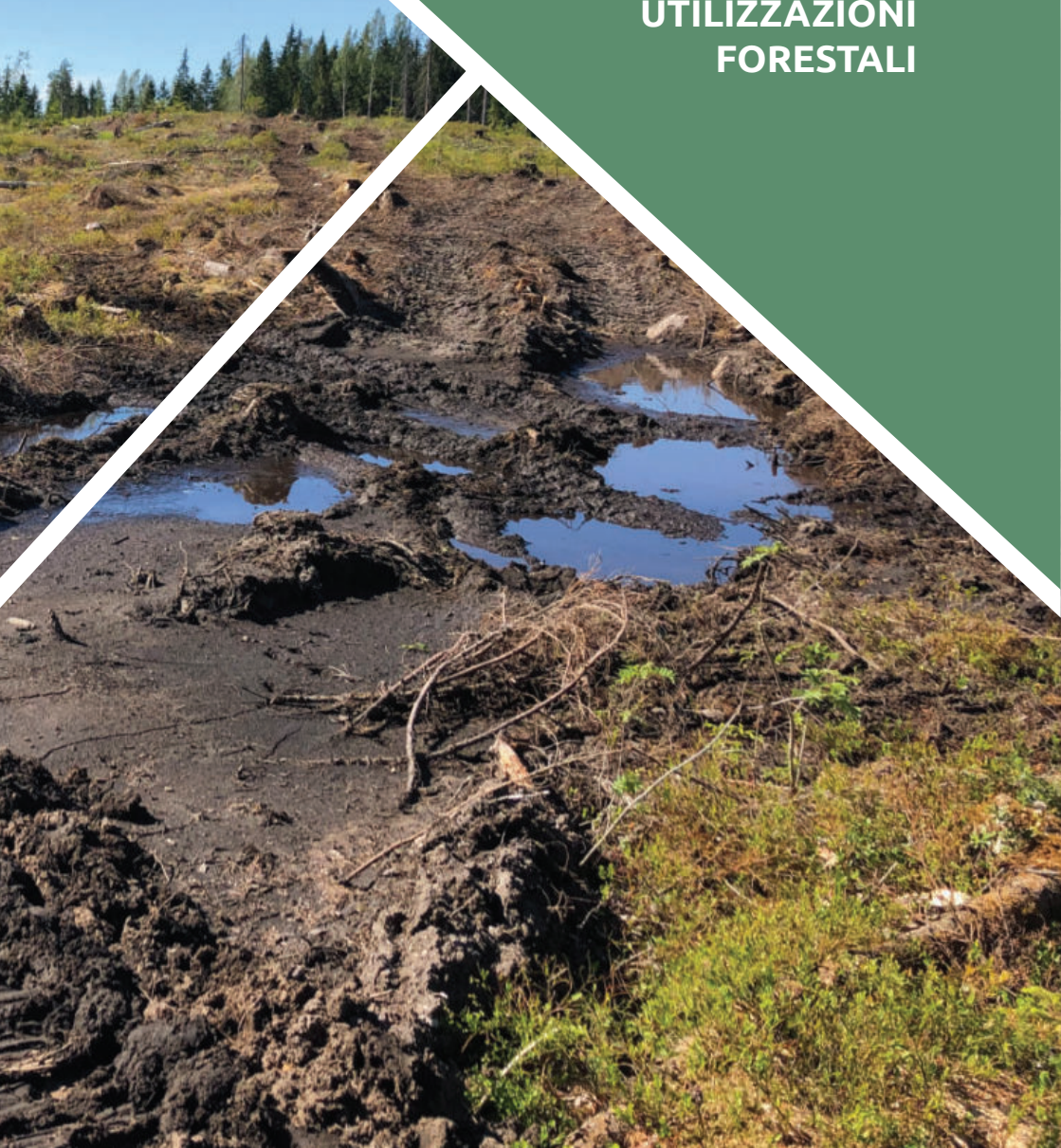
**Skidder e forwarder** sono stati introdotti in Italia, in boschi Appenninici, insieme alle macchine operatrici combinate (**harvester e feller**) per l'abbattimento e allestimento meccanizzato del legname, anche in seguito all'esigenza di utilizzare a raso vaste superfici forestali a prevalenza di Pino Marittimo attaccate da insetti patogeni sul litorale tirrenico. Vari tentativi si sono succeduti nel tempo per utilizzare skidder e forwarder per le operazioni di esbosco anche in contesti non pianeggianti, sicuramente perché le imprese avevano già sostenuto l'importante investimento di acquisto, ma anche per la tendenza generale ad un aumento della meccanizzazione nelle operazioni forestali. Questi tentativi non sempre sono risultati in accordo con le normative forestali regionali e con gli obiettivi principali di una gestione forestale sostenibile. I motivi prevalenti sono i seguenti:

- il peso elevato delle macchine provoca importanti impatti sui suoli forestali soprattutto in presenza di terreno bagnato;
- la scarsa formazione professionale degli operatori spesso è causa di danni importanti ai soprassuoli da preservare;
- l'assenza di una corretta pianificazione geometrico-schematica delle operazioni di esbosco spesso porta ad un impatto generale sul suolo che si estende a tutta l'area in utilizzazione con preoccupanti risvolti legati a fenomeni di compattamento e di solcatura, di erosione superficiale e di assenza di rinnovazione forestale.



4.

**GLI IMPATTI  
AMBIENTALI DELLE  
UTILIZZAZIONI  
FORESTALI**





Il termine **"impatto ambientale"** può essere utilizzato per definire tutte quelle modifiche che aumentano i rischi di dissesto e turbano l'evoluzione e l'aspetto dell'ambiente. In tale ottica, si può ritenere che i **sistemi di utilizzazione a basso impatto ambientale** sono quelli che:

- **non comportano**, almeno nel lungo periodo, **rischi rilevanti per la stabilità del suolo e del soprassuolo**;
- **non alterano** in modo irreversibile **l'evoluzione naturale del bosco**;
- **non comportano modificazioni indesiderate e permanenti all'aspetto del paesaggio**.

Le attività selvicolturali comportano necessariamente "modifiche" all'ambiente e al paesaggio, che normalmente, se ben progettate ed eseguite, sono considerate irrilevanti o limitate nel tempo. Inoltre, **non esiste nelle utilizzazioni un sistema di lavoro intrinsecamente a basso impatto ambientale**, valido indiscriminatamente in tutte le situazioni. Esistono invece diversi sistemi di lavoro e di esbosco che, con le opportune valutazioni caso per caso, permettono di contenere o minimizzare l'impatto ambientale e di ottimizzare quello economico.

**Utilizzare un bosco significa praticare concretamente la selvicoltura**, quindi non soltanto sfruttare il bosco prelevando il legno. **Al bosco l'uomo richiede numerosi benefici**: la difesa del suolo dall'erosione, la regimazione delle acque, il miglioramento dell'ambiente e del paesaggio, oltre alla produzione di legno.

**Molti dei danni possono essere riconducibili all'utilizzo di mezzi non adatti o ad un errato impiego degli stessi**. Infatti, negli ultimi decenni la crescente domanda di materiale legnoso ha portato all'utilizzo di macchine più produttive e pesanti. **I principali effetti negativi** di un errato impiego di macchinari pesanti si ripercuotono a livello del suolo, tramite **la compattazione, il rimescolamento e l'asportazione degli strati superficiali**. Questi fenomeni portano a profonde modificazioni delle caratteristiche del suolo, in particolare drenaggio e infiltrazione, con conseguenti **fenomeni di ristagno idrico ed erosione** (Figura 17).



*Figura 17: Formazione di solchi causata dal passaggio di macchine forestali. In seguito ad eventi meteorici si possono formare importanti ristagni idrici*

## 4.1. I SUOLI FORESTALI: CARATTERISTICHE E FUNZIONI

Il suolo è formato da una componente solida (costituita da minerali e sostanza organica), da gas ed acqua che circolano all'interno degli spazi vuoti. Il suolo, con tutti gli organismi che lo abitano, può essere considerato a tutti gli effetti un ecosistema vivente, la "pelle viva" della terra.

**Un suolo in buona salute assolve a numerose funzioni fondamentali** tra cui:

- **fornitura di acqua e nutrienti essenziali** per la crescita delle piante, determinando la produttività di una foresta;
- **habitat per numerosi organismi viventi**, come piccoli mammiferi, insetti, lombrichi, funghi e batteri, che condizionano la salute del bosco;
- **regolazione del deflusso delle acque di superficie** (limitando il rischio d'inondazione, di fenomeni erosivi e franosi) ed influenzando la qualità delle acque superficiali;
- rappresenta un **enorme serbatoio di Carbonio**, sotto forma di sostanza organica del suolo, limitando gli effetti negativi del cambiamento climatico.

Tuttavia, le caratteristiche del suolo e le sue funzioni possono essere influenzate e modificate, oltre che da fenomeni naturali, anche dalle attività umane. Il tipo e l'intensità di queste attività possono portare ad una diminuzione o addirittura alla perdita irreversibile delle funzioni sopra descritte. Infatti, **il suolo deve essere considerato come una risorsa naturale non rinnovabile**. Le utilizzazioni forestali possono influire negativamente sull'integrità fisica del suolo, compattandolo e favorendone l'erosione. Possono così instaurarsi ripercussioni negative sulle piante e gli organismi, dovute alla perdita di nutrienti e di carbonio nel suolo ed alla diminuzione della capacità di ritenere l'acqua. Tutto questo comporta un generale peggioramento dello stato di salute del suolo e del bosco nel suo insieme.

## 4.2. INTERAZIONE SUOLO-MACCHINA E IMPATTI AL SUOLO

I principali effetti negativi dei lavori di esbosco si hanno a livello del suolo. **Il passaggio dei mezzi forestali, infatti, agisce sul suolo applicando forze verticali, orizzontali e di taglio** (Figura 18). In particolare, durante le fasi di concentrazione ed esbosco si verificano due processi di degradazione del suolo: **la compattazione ed il rimescolamento degli strati superficiali** (Figura 19). Entrambi i fenomeni si verificano per effetto del passaggio di mezzi meccanici o dello strascico delle piante o dei tronchi.

**La compattazione è il risultato dell'incremento della densità di particelle del suolo** causata dalla pressione esercitata da pneumatici o dai cingoli forestali. **Ogni suolo ha una certa suscettibilità ad essere compattato che dipende dalla sua portanza** (Figura 20), cioè la sua capacità di sopportare una compressione verticale, dovuta ad un carico sovrastante, senza deformarsi irrimediabilmente.

La portanza del suolo è funzione di diversi fattori, di seguito viene riportata una tabella con alcuni valori di portanza di diversi tipi di suolo (Tabella 2). In linea generale, quando la portanza del suolo è minore della pressione esercitata dalla macchina, si verifica un aumento della densità del suolo, ovvero, il suolo si compatta. Un suolo che viene compattato avrà una portanza maggiore ed eviterà che la macchina sprofondi ulteriormente. La pressione e la portanza si esprimono con la stessa unità di misura, in  $\text{kg}/\text{cm}^2$ , in bar o in Pascal ( $1 \text{ kg}/\text{cm}^2 = 1 \text{ bar} = 100 \text{ kPa}$ ).



*Figura 18: Effetto del passaggio di un mezzo forestale al suolo. Nella porzione di suolo impattata dal pneumatico si può osservare l'effetto del compattamento che porta gli strati del suolo ad essere più ravvicinati, implicando quindi un peggioramento della struttura del suolo*



*Figura 19: Cantiere forestale con gravi danni al suolo: suolo compattato (sinistra) e formazione di solchi profondi (destra) causati dal passaggio di macchine forestali*

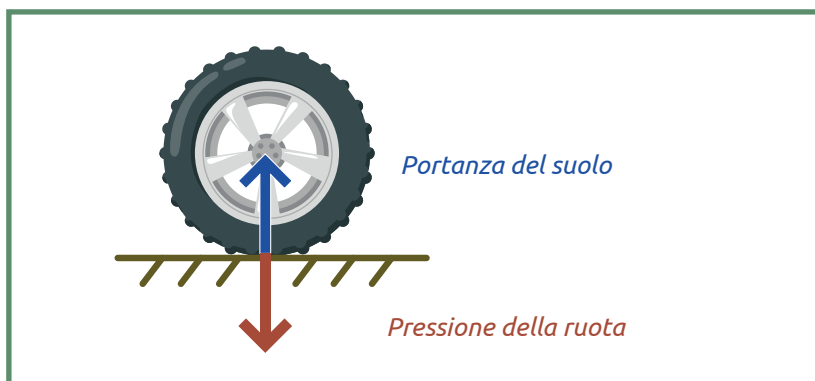


Figura 20: *Rappresentazione grafica della portanza del suolo*

**La compattazione**, con il conseguente aumento della densità del suolo, ha numerose ricadute negative sulle caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche del suolo. Il principale effetto negativo si riscontra sulla struttura del suolo, che può essere fortemente deteriorata (Figura 21). **La distruzione della struttura del suolo condiziona in particolare la porosità del suolo**, cioè la distribuzione e la dimensione degli spazi vuoti. Un suolo compattato può avere una porosità ridotta anche del 50-60%. I macro e i micro pori permettono la circolazione di aria ed acqua nel suolo e sono quindi indispensabili a numerosi processi biologici e al buon drenaggio del suolo, cioè ad evitare fenomeni di ristagno idrico ed erosione. **La diminuzione della porosità quindi porta ad una riduzione dell'aerazione, dell'assorbimento di nutrienti e della disponibilità d'acqua per microrganismi e radici.** Inoltre, il suolo riesce a trattenere una minore quantità di acqua e questo, su un pendio, può portare all'aumento del deflusso superficiale delle acque meteoriche e all'erosione del suolo.

Tutto questo ha un effetto anche sulla componente biologica del suolo. La compattazione tende sia a diminuire la biomassa microbica che a rallentare i processi e le attività biologiche, soprattutto a causa della riduzione della porosità del suolo. La riduzione della biomassa e dell'attività microbica porta ad un rallentamento del ciclo dei nutrienti, ostacolando così la produttività degli ecosistemi forestali. Infatti, l'effetto negativo della compattazione sulla crescita degli alberi è ben documentato. Oltre che ad una **diminuzione della fertilità**, la diminuzione della crescita della biomassa è dovuta alla **difficoltà per le radici di svilupparsi in un suolo compattato e**

Tipo di suolo o superficie	Portanza (bar)
Roccia compatta	125
Ghiaia	3-8
Neve fresca	0.1 - 0.3
Neve compatta	4 - 8
Torbiera	0.1 - 0.4
Sabbia compatta	> 3
Sabbia mediamente compatta	1 - 3
Argilla secca	4 - 12
Argilla bagnata	0.5 - 1.5

Tabella 2: Valori di portanza di diversi tipi di suolo

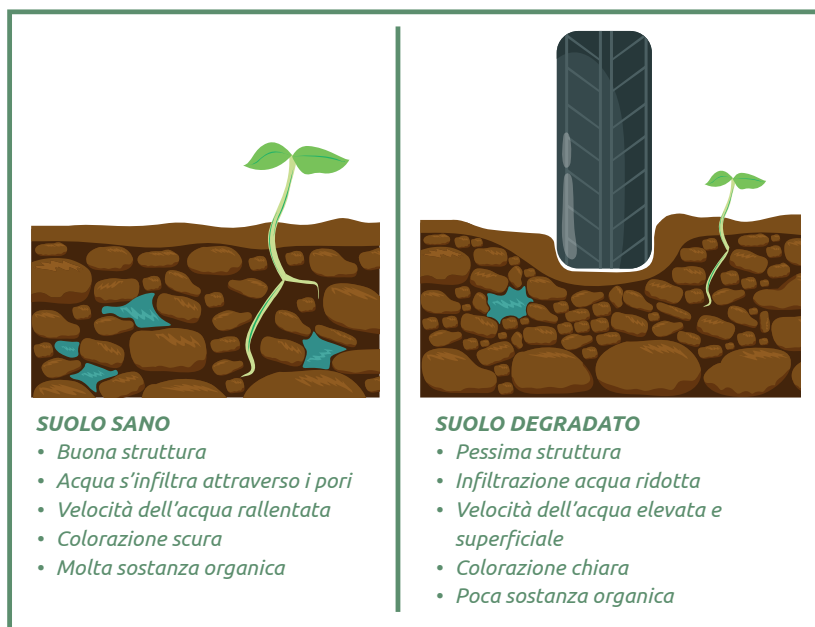


Figura 21: Suolo naturale (a sinistra) con buona struttura, porosità elevata e sviluppo radicale espanso. Il passaggio di macchine forestali provoca una distruzione della struttura e una diminuzione della porosità (a destra), diminuendo la quantità di acqua che un suolo può trattenere ed impedendo l'espansione delle radici.

alle condizioni anossiche che provocano l'asfissia delle radici. Lo sviluppo delle radici di alberi e plantule può essere ridotto quando la resistenza a penetrazione del suolo supera i 2,5 MPa e il danno maggiore è a carico delle giovani piante, più soggette allo stress connesso alla compattazione. **Un suolo non compattato** (o debolmente compattato) è **quindi fondamentale per l'instaurarsi di rinnovazione naturale e per mantenere un'elevata biodiversità vegetale** (Figura 21).

Il secondo effetto a carico del suolo che si può verificare al passaggio di un mezzo pesante è il **rimescolamento degli strati superficiali del suolo dovuto alla formazione di solchi**. Quest'ultimo risponde ad un processo simile a quello del compattamento, dove però le due forze che si bilanciano sono la trazione delle ruote e l'aderenza al suolo (Figura 22). Se quest'ultima è inferiore alla prima, si avrà uno slittamento delle ruote che, spostando lateralmente delle porzioni di suolo superficiale, formeranno così dei solchi.

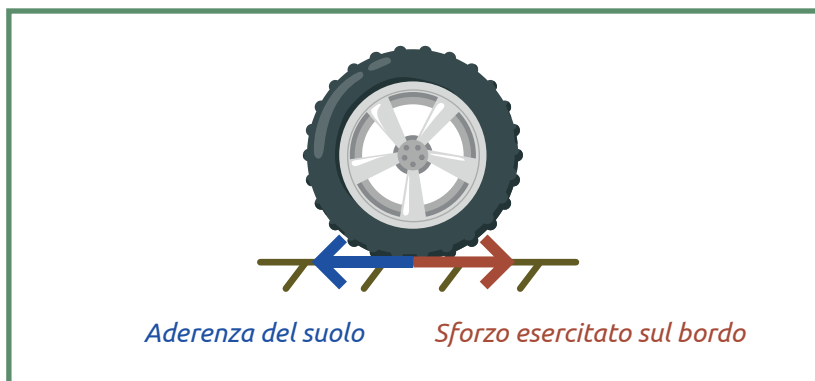


Figura 22: *Rappresentazione grafica della portanza del suolo*

**I solchi possono diventare dei percorsi preferenziali per il deflusso delle acque meteoriche**, implicando una forte perdita di suolo superficiale per erosione (Figura 23). Infatti, il suolo smosso durante il passaggio dei macchinari può essere facilmente trasportato dalle acque meteoriche a causa dell'aumento del deflusso superficiale. I fenomeni erosivi possono essere anche molto evidenti e presentarsi come colate di fango e detriti (Figura 24). Invece, **in caso di terreno pianeggiante, nei solchi è favorito l'accumulo di acqua meteorica e, quindi, il ristagno idrico**; se il ristagno è prolungato, si instaurano condizioni anossiche nel suolo (Figura 24).



*Figura 23: Pista subito dopo l'esbosco con trattore e verricello (foto al centro) a confronto con la stessa pista in seguito ad un evento di pioggia (foto a destra). Si nota che i solchi non sono più molto evidenti a causa dell'erosione del suolo*



*Figura 24: Colate di fango (sinistra) e ristagno idrico (destra) formatesi in seguito a forte pioggia in un cantiere forestale*

**Le principali conseguenze della compattazione e formazione di solchi al suolo sono:**

- **diminuzione significativa dei macropori;**
- **distruzione della struttura del suolo;**
- **forte aumento della densità del suolo;**
- **perdita di permeabilità all'acqua;**
- **perdita della capacità di ritenzione idrica.**



### 4.3. FATTORI CHE INFLUENZANO LA SEVERITÀ DEGLI IMPATTI AL SUOLO

La severità degli impatti al suolo che possono essere causati dal passaggio dei macchinari dipende da diversi fattori, elencati in Tabella 3 e descritti in dettaglio qui di seguito.

Caratteristiche del suolo	Caratteristiche della macchina	Parametri dell'utilizzazione
Scheletro e tessitura	Pressione gonfiaggio pneumatici	Numero di passaggi
Sostanza organica	Massa totale (macchina e carico)	Velocità del veicolo
Umidità	Area di contatto pneumatici	Pendenza del terreno
	Organi di propulsione dei veicoli	

Tabella 3: Fattori che influenzano la severità degli impatti al suolo

#### 4.3.1. Caratteristiche del suolo

##### Lo scheletro e la tessitura

**Lo scheletro** rappresenta la frazione di suolo costituita da elementi minerali di diametro superiore ai 2 mm (**per esempio ciottoli e pietre più o meno grandi**). Quando questa frazione occupa un volume consistente di suolo, oltre il 50%, questo risulta essere poco suscettibile alla compattazione.

**La tessitura** (o composizione granulometrica) rappresenta la frazione minerale del suolo privata dello scheletro, quindi tutte le particelle con diametro inferiore ai 2 mm. Queste particelle, a seconda della loro grandezza, sono distinte in: **sabbia**, le particelle più grandi; **limo**, di dimensioni intermedie; **argilla**, le particelle più fini (Figura 25).

Quando la sabbia è la frazione di gran lunga dominante, il suolo ha una buona portanza e una bassa suscettibilità alla compattazione e alla solcatura.

Le argille hanno un ruolo positivo sulla struttura del suolo, ma un suolo argilloso mal strutturato, o la cui struttura è stata distrutta in seguito a

compattazione, causa impermeabilità all'acqua, quindi ristagno idrico in piano ed erosione superficiale su pendio.

Il limo ha uno scarso ruolo nella strutturazione del suolo, ma ha la capacità di rendere il suolo impermeabile. Un suolo molto limoso, quindi, sarà ancora più suscettibile alla compattazione.



Figura 25: Le tre frazioni di dimensione diversa che compongono la fase minerale del suolo, da sinistra a destra dalla più grande alla più piccola: sabbia, limo e argilla

### Sostanza organica

La sostanza organica rappresenta l'insieme dei composti organici presenti nel suolo, di origine animale e vegetale. In un suolo forestale è rappresentata soprattutto dallo strato di lettiera e dal cosiddetto humus (Figura 26). **La sostanza organica è centrale in tantissime funzioni del suolo e svolge un ruolo fondamentale nel contrastare la compattazione.** Una buona presenza di sostanza organica può diminuire la compattabilità aumentando la resistenza alla deformazione: da una parte dona elasticità al suolo, che quindi è parzialmente in grado di tornare allo stato originale dopo essere stato compresso, dall'altra rafforza la resistenza degli aggregati. Per queste ragioni, un buon tenore in sostanza organica può essere anche più importante della tessitura nel rendere il suolo più resistente al compattamento.

### L'umidità

L'umidità è una proprietà molto variabile nel corso del tempo, in funzione delle precipitazioni atmosferiche e dalla presenza di una falda acquifera più o meno superficiale. **Un suolo umido ha una portanza ridotta ed**

**è estremamente suscettibile ad essere compattato e a formare solchi** perché, in presenza di acqua, le particelle del suolo subiscono una riduzione delle forze di attrito (Figura 27). Per questo un parametro fondamentale da considerare è l'umidità del suolo nel momento delle utilizzazioni forestali. Non è sempre semplice capire il tenore di umidità di un suolo.



*Figura 26: Primi centimetri di suolo in una pineta. Si può notare che, sotto lo strato di lettiera, c'è un accumulo di materiale organico umificato che dona al suolo un certo grado di elasticità, oltre a svolgere tante altre importanti funzioni*



*Figura 27: Impatto delle utilizzazioni forestali effettuate in diverse condizioni di umidità del suolo. Con l'aumentare del contenuto di umidità del suolo (da sinistra a destra) l'effetto del rimescolamento degli strati superficiali e la formazione di solchi diventa sempre più evidente*

Certamente un suolo che presenta ristagno idrico in superficie non è evidentemente adatto ad essere percorso da un mezzo pesante. Tuttavia, un suolo può mostrarsi asciutto in superficie, ma essere molto umido più in profondità. In questo caso, oltre a non formarsi solchi, si avrà compattazione in profondità e l'effetto potrebbe non essere visibile in superficie.

## 4.3.2. Caratteristiche delle macchine e dei pneumatici

### Area di contatto pneumatici

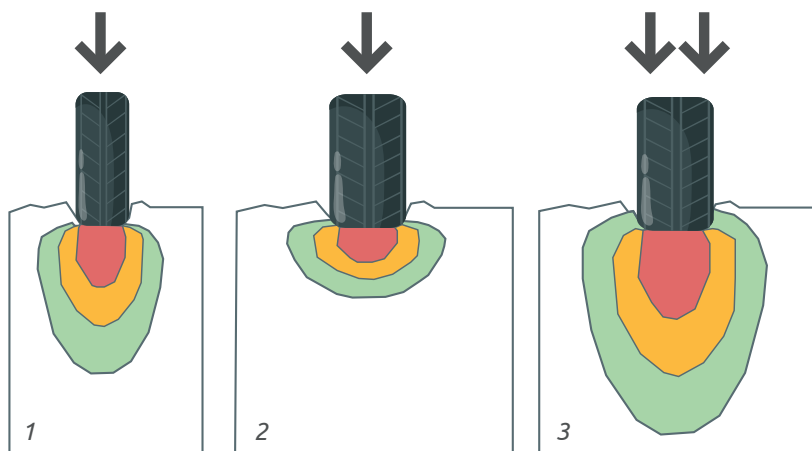
La massa dei veicoli forestali varia tra le 5 e le 40 tonnellate. La pressione esercitata dalla massa dei veicoli non è ripartita uniformemente su tutta la superficie del pneumatico, ma su una superficie minore, cioè la porzione del pneumatico o del cingolo a diretto contatto con il terreno, rappresentata dall'area di contatto. Questa **è difficile da determinare perché dipende da diversi fattori, come la deformazione dei pneumatici, che è a sua volta influenzata dalle caratteristiche del pneumatico, dalla pressione di gonfiaggio e dal carico sulla ruota**. Inoltre, durante il movimento dei mezzi, l'area di contatto varia a seguito di accelerazioni, frenate, cambiamenti di direzione ed è influenzata anche dalla superficie non regolare del terreno sul quale transitano. **Pneumatici a bassa pressione svolgono un effetto di mitigazione degli impatti**. Questo è dovuto alla maggiore area di contatto al suolo rispetto ad un pneumatico ad alta pressione di gonfiaggio (Figura 28).

### Massa totale macchina e carico

La massa della macchina, in particolare la pressione media di contatto sul terreno, è fondamentale in quanto correlata all'entità della compattazione. Questo parametro, definito come il rapporto tra la massa della macchina e l'area di contatto a terra dei pneumatici o dei cingoli, rappresenta la pressione verticale e quindi la compattazione potenziale.

### Pressione gonfiaggio pneumatici

La profondità dei solchi lasciati sul terreno è strettamente correlata alla superficie di contatto del pneumatico, in quanto un'elevata superficie di contatto consente di distribuire la pressione esercitata dal carico su una porzione maggiore di terreno, limitando così la profondità delle incisioni, e di aumentare la motricità del mezzo. **L'approfondimento dei solchi risulta essere sempre maggiore nel caso di pneumatici ad alta pressione** (Figura 29), questo a causa della ridotta superficie di contatto rispetto al pneumatico a bassa pressione.



**Figura 28:** *Rappresentazione grafica della pressione al suolo (verde=bassa, arancione-media, rossa-alta) causata da diversi pneumatici e carichi: 1) pneumatico con carcassa stretta (area di contatto piccola), 2) pneumatico con carcassa larga (area di contatto maggiore rispetto a 1), 3) pneumatico con carcassa larga e maggior carico*



**Figura 29:** *Pneumatici forestali con alta (pneumatico a sinistra) e bassa (pneumatico a destra) pressione di gonfiaggio*

### Organi di propulsione dei veicoli

Per quanto riguarda l'effetto del tipo di organi di propulsione, **ruote o cingoli** (Figura 30), dei veicoli forestali sulla compattazione, i dati sono contrastanti. Potrebbe essere infatti ragionevole pensare che i cingoli possano essere sempre migliori delle ruote, perché grazie al loro utilizzo aumenta la superficie di contatto. Per esempio, in un caso studio è stato riscontrato che con soli 6 passaggi un trattore gommato raggiunge lo stesso livello di compattazione riscontrato dopo 8 passaggi di un mezzo cingolato. Tuttavia il livello di stress al suolo può anche essere maggiore per un mezzo cingolato a causa della permanenza più lunga del mezzo sulla stessa porzione di suolo e delle vibrazioni più elevate. Ciononostante, a causa della superficie di contatto inferiore con il terreno, i pneumatici tendono sempre a creare solchi più profondi rispetto ai cingoli.

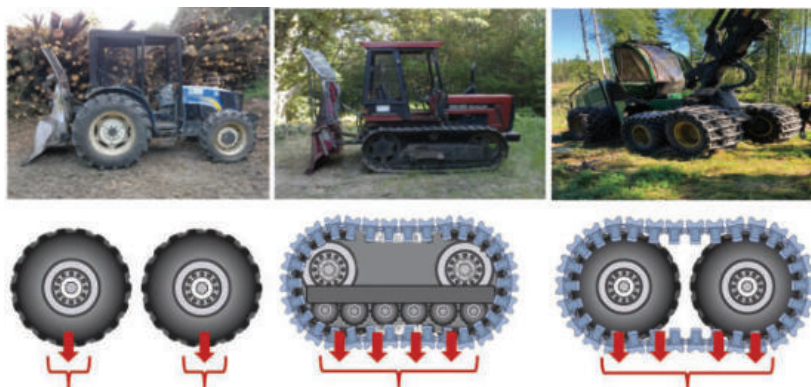


Figura 30: Area di contatto al suolo di trattore gommato (sinistra), trattore cingolato (centrale) e harvester con semi cingoli

Riassumendo, la bassa pressione di gonfiaggio, l'alto carico dei pneumatici e le caratteristiche del terreno contribuiscono ad aumentare l'area di contatto e a mitigare l'effetto negativo del passaggio dei mezzi forestali.

### 4.3.3. Parametri dell'utilizzazione

#### Numero di passaggi

La maggior parte degli impatti al suolo si verifica dopo i primi passaggi delle macchine, a causa della distruzione immediata della struttura del suolo e della riduzione della porosità. Nei passaggi successivi al decimo la compattazione continua ad aumentare, ma con incrementi via via meno importanti (Figura 31). Infatti, **una volta compattato, qualsiasi terreno è relativamente resistente ad un'ulteriore compattazione**. Questo suggerisce di utilizzare le piste permanenti di esbosco per confinare gli impatti su di esse: **è meglio passare 30 volte sulla stessa pista che 1 volta su 30 piste diverse**.

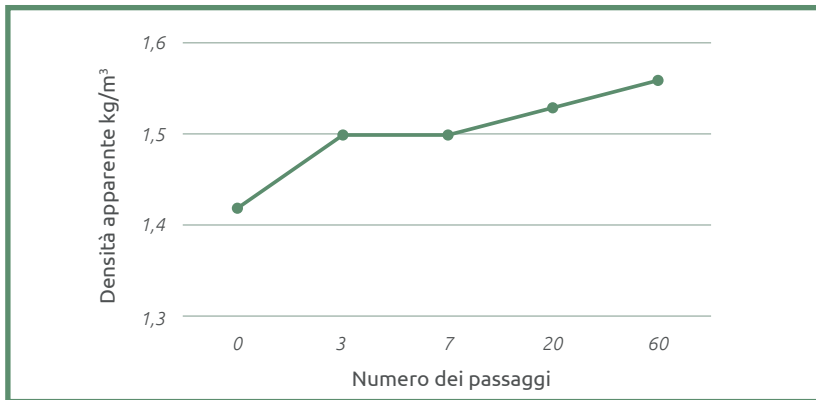


Figura 31: Comportamento della densità apparente all'aumentare del numero di passaggio di un forwarder

I solchi si formano a causa dello spostamento delle particelle di terreno in varie direzioni in seguito alle sollecitazioni dei pneumatici o dei cingoli al suolo. La profondità del solco e l'altezza del suolo accumulato lateralmente al solco stesso sono i parametri utilizzati per stimare l'impatto della solcatura. Un numero di passaggi crescenti comporta un aumento della profondità del solco e, in determinate condizioni di umidità del suolo, anche un aumento del suolo accumulato lateralmente al solco (Figura 32).

#### Pendenza del terreno

Anche la morfologia del territorio influisce sugli effetti al suolo causati da veicoli forestali; per esempio alcuni studi recenti hanno dimostrato che

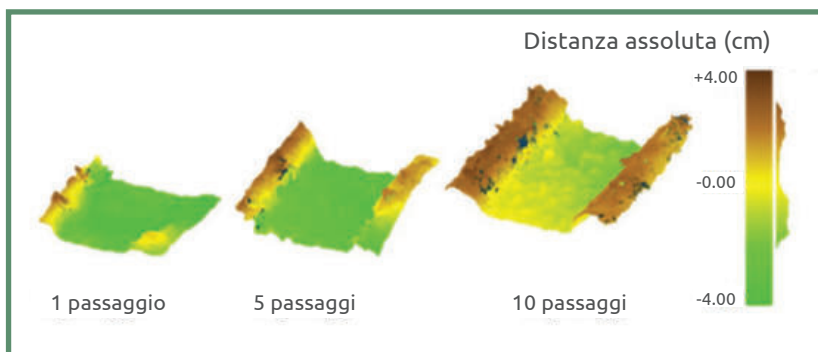


Figura 32: Ricostruzione 3D di solchi causati dal passaggio di un forwarder. L'aumentare dei passaggi provoca un maggior approfondimento (sezione in verde) ed accumulo di suolo laterale al solco (sezione marrone)

**il compattamento del suolo causato dai mezzi di esbosco aumenta all'aumentare della pendenza** (Figura 33). Il fattore pendenza è rilevante anche sulla profondità del solco: in particolare, la profondità del solco risulterebbe essere direttamente proporzionale all'aumento della pendenza, molto probabilmente perché la componente verticale della forza di carico verrebbe distribuita su una superficie più piccola. Inoltre, un caso di studio effettuato dagli Autori in contesto Appenninico ha mostrato un maggiore impatto in termini di compattazione durante l'esbosco a strascico in



Figura 33: Operazioni di esbosco in pendenza con trattore e verricello. A destra dettaglio della pista forestale



salita, rispetto a quello in discesa. Il risultato può essere spiegato dalle diverse forze che entrano in gioco durante il movimento del mezzo in pendenza.

**In condizioni di lavoro su terreni ripidi, i mezzi cingolati sono i macchinari più impiegati.** L'area di contatto, ampia e invariabile, consente di avere una buona aderenza, una bassa pressione unitaria al suolo e una buona stabilità sui pendii.

#### 4.4. TEMPI DI RECUPERO DEL SUOLO

Il periodo necessario ad un suolo per recuperare le caratteristiche fisico-chimiche e biologiche a seguito dello stress dovuto al passaggio di macchine pesanti è molto variabile; **i danni possono persistere per diversi anni o addirittura decenni** (Figura 34). I fattori che influenzano il periodo di ripristino delle condizioni del suolo sono prevalentemente sito-specifici, come la pendenza del terreno, la profondità del suolo, la tessitura, il contenuto di sostanza organica, il pedoclima e l'attività microbica del suolo. Alterazioni nelle caratteristiche del suolo, nella composizione chimica (pH del suolo e contenuto di azoto, fosforo, potassio) e sulla sua fertilità sono state osservate anche dopo 25 anni su piste forestali. La capacità d'infiltrazione dell'acqua nel suolo si ristabilisce in 10-15 anni nelle aree a minore impatto, arrivando fino a 20 anni nelle aree con maggior concentrazione di impatti.



**Figura 34:** *Rinnovazione di pino dopo 3-5 anni dal taglio, ben evidente (area in giallo con trasparenza) la pista utilizzata per l'esbosco dove la rinnovazione non si è affermata*

Al fine di limitare gli impatti e la loro durata nel tempo è opportuno calibrare gli interventi in base alla suscettibilità del suolo ad essere compattato.

Le attività di utilizzazione forestale all'interno del cantiere dovrebbero essere limitate all'utilizzo di piste permanenti per ridurre l'estensione dell'area interessata dall'impatto.

# 5.

## **BUONE PRASSI E TECNICHE DI MITIGAZIONE DEGLI IMPATTI**



Molti studi sono stati condotti sui sistemi e sulle **tecniche per la riduzione o la mitigazione dei danni** causati al suolo durante le utilizzazioni forestali. Le principali misure adeguate allo scopo appaiono essere:

- **ridurre**, quanto più possibile, **la pressione** nelle aree di contatto tra macchine e suolo;
- operare in condizioni di **suolo relativamente secco**, quando la capacità portante dello stesso è elevata;
- **ridurre al minimo i passaggi** con un carico elevato;
- **combinare le fasi di lavoro**, ridurre le manovre alle svolte, evitare le sovrapposizioni;
- **pianificare** attentamente i lavori di utilizzazione.

Tra le operazioni che è possibile attuare per ridurre la pressione sul suolo è opportuno segnalare che, se i residui di utilizzazione vengono lasciati sul terreno, soprattutto in caso di terreno molto bagnato e dalla scarsa portanza, la pressione esercitata dalle macchine viene distribuita su una superficie maggiore e, quindi, la pressione sul suolo si riduce sensibilmente. Altre soluzioni tecniche, atte a ridurre la pressione che i veicoli esercitano sul suolo, sono rappresentate dall'utilizzo di basse pressioni di gonfiaggio dei pneumatici, di pneumatici più larghi o di semicingoli. Nei casi sopracitati si ha un effetto benefico di sensibile riduzione del fenomeno di solcatura.

Un'altra soluzione semplice per ridurre gli impatti è quella di effettuare i lavori di utilizzazione nei periodi in cui il terreno è relativamente secco oppure congelato, quindi poco incline alla compattazione. In ultimo, un sistema efficace per ridurre l'impatto al suolo è quello di effettuare un'accurata progettazione e pianificazione del lavoro. In particolare, un attento tracciamento di piste permanenti consente di limitare il "disturbo" del suolo su poche aree selezionate. Di seguito vengono analizzate le principali tecniche di mitigazione degli impatti che si possono mettere in atto.

## 5.1. ORGANIZZAZIONE E PIANIFICAZIONE DEI LAVORI

Negli anni è stato evidenziato da molti autori che un sistema per ridurre l'impatto negativo al suolo è quello di una buona progettazione e pianificazione dei lavori forestali in relazione a quelle che sono le **capacità tecniche delle macchine**. Si fa riferimento alle loro caratteristiche dimensiona-

li, allo sbraccio massimo delle gru e agli sforzi massimi tollerabili. L'analisi dettagliata di questi parametri può consentire di pianificare correttamente, ad esempio, la spaziatura delle vie ("strisce") di penetrazione, in modo da confinare su di esse l'impatto delle macchine forestali. L'adozione di un metodo di lavoro pianificato, costante e organizzato potrebbe consentire, al tempo stesso, di ampliare ulteriormente la spaziatura di queste "strisce di penetrazione" risparmiando la superficie forestale soggetta all'impatto. Infatti, l'abbattimento delle piante, direzionate lateralmente verso le "strisce", consentirebbe allo sbraccio delle macchine operatrici di concentrare e allestire la pianta intera, tirandola a sé nell'area servita, evitando di dover aprire e percorrere una nuova via di penetrazione (Figura 35). Queste soluzioni sono facilmente attuabili, ma devono essere innanzitutto conosciute e poi messe in atto dopo un'attenta pianificazione dei lavori.

A livello italiano persiste ancora la cattiva abitudine di molti operatori forestali di recarsi direttamente sul letto di caduta delle piante abbattute con i mezzi adibiti al concentramento e all'esbosco. Ancor peggio, spesso si compiono le fasi di concentramento ed esbosco/trasporto direttamente

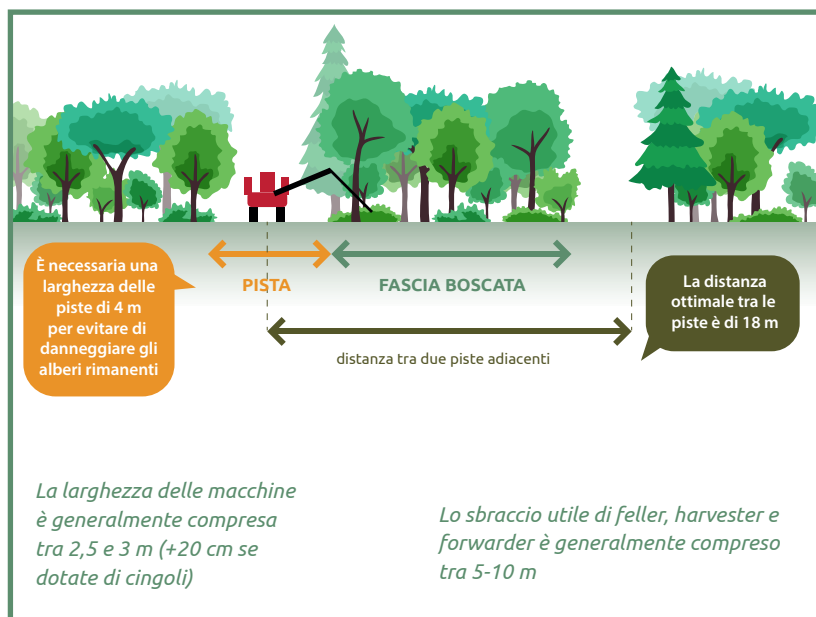


Figura 35: Rappresentazione grafica delle "strisce" di penetrazione

con escavatore cingolato munito di pinza. Il risultato è che tutta la superficie in utilizzazione viene percorsa da mezzi non specifici che in realtà dovrebbero essere impiegati soltanto all'imposto per il carico dei mezzi adibiti al trasporto. Le alternative esistono e sono rappresentate dai sistemi basati su trattore e verricello, skidder e forwarder.

Il primo sistema è quello comunemente adottato da molte imprese, se pur, tuttavia, con i limiti legati alla totale assenza di pianificazione dei tracciati di esbosco. Quando invece si assiste all'adozione di sistemi di lavoro più meccanizzati (skidder e forwarder), diventa ancora più evidente il mancato rispetto delle normative e l'assenza di pianificazione. A livello europeo, invece, l'uso di skidder e forwarder è consuetudine, anche su pendenze più elevate rispetto alle condizioni standard di impiego. Infatti, negli ultimi anni sono stati sviluppati sistemi di ancoraggio dei macchinari che, tramite un verricello interno, riescono ad operare stabilmente sulla terza classe di pendenza (40-60%) lungo le linee di massima pendenza. Questo sistema di lavoro obbliga ad un'attenta pianificazione geometrico-schematica dei tracciati e ad una valutazione dell'impatto confinata sul tracciato.

Per tali ragioni, i limiti attuali per il settore potrebbero essere superati tenendo in considerazione due aspetti principali:

- le indicazioni selvicolturali e gestionali devono prendere in considerazione l'impiego di macchinari innovativi, sia a livello di intensità del taglio che di progettazione della "martellata";
- i lavori di utilizzazione devono essere attentamente pianificati ed organizzati tenendo in considerazione: i regolamenti e le normative, il periodo dei lavori, la formazione delle maestranze e le caratteristiche delle stazioni al fine del contenimento degli impatti.

### *Sistemi di supporto alle decisioni*

Per ridurre gli impatti al suolo dovuti al passaggio dei mezzi forestali esistono dei sistemi che aiutano i tecnici e gli operatori nella scelta dei periodi più adatti e dei tracciati migliori per operare, dipendentemente dalle caratteristiche dell'area di intervento (prevalentemente tipo di suolo, pendenza e umidità del terreno). Sono i cosiddetti **Sistemi di Supporto alle Decisioni** (SSD, in inglese Decision Support Systems – DSS), nati normalmente a livello sperimentale, ma in alcuni casi applicati anche da aziende forestali, per organizzare al meglio i lavori e ridurre gli impatti, o inseriti dai produttori di macchine forestali nei computer di bordo.

Questi sistemi possono essere costruiti per fornire informazioni dinamiche, cioè variabili nel tempo, a seconda delle condizioni meteo e della tipologia di terreno fornendo indicazioni sulla transitabilità e sugli impatti attesi in caso di passaggio di mezzi pesanti. Ad esempio, il portale "Meteoblu®" fornisce – a pagamento – un servizio di "soil trafficability" che restituisce un meteogramma dove viene riportata la capacità del suolo – attuale e prevista nei giorni successivi – di sopportare il passaggio dei mezzi sulla base delle previsioni meteo e, quindi, dell'umidità prevista del suolo (Figura 36). In pratica l'equivalente di una previsione meteo ma relativa alla portanza del suolo. Questa capacità di resistere al passaggio dei mezzi viene restituita in 3 classi (buona transitabilità, transitabilità ridotta, non transitabile) dipendentemente dalla tipologia di suolo e della relativa capacità di trattenere l'acqua, oltre che dalle previsioni meteo dei 7 giorni successivi e le medie stagionali.

Su principi simili si basa il servizio "Harvester Seasons" ([harvesterseasons.com](http://harvesterseasons.com)), sviluppato dall'Istituto Meteorologico Finlandese per prevedere la transitabilità dei suoli forestali durante l'anno. Il servizio riporta una previsione delle condizioni del terreno nell'arco di 6 mesi, e l'utente può reperir-

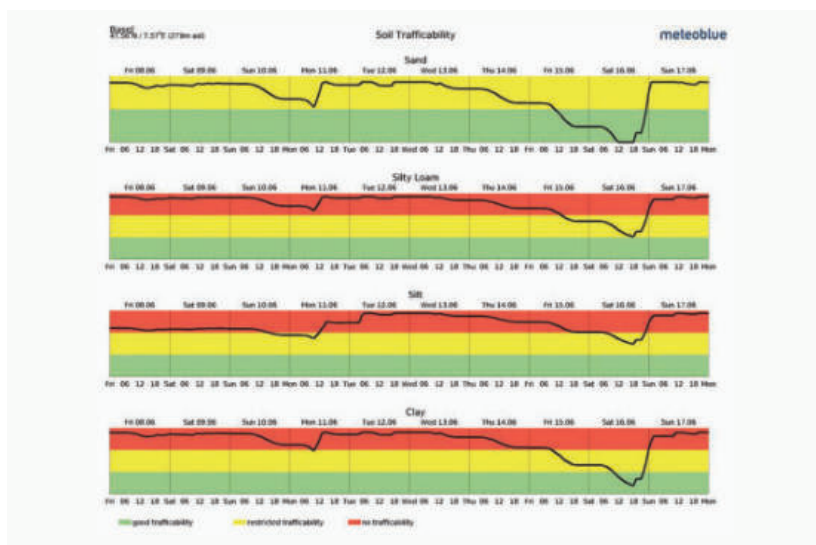


Figura 36: Esempio delle informazioni sulla transitabilità dei suoli fornite dal sistema "Meteoblu®" [www.meteoblu.com/en/blog/article/show/34885\\_Soil+Trafficability](http://www.meteoblu.com/en/blog/article/show/34885_Soil+Trafficability)

re tali informazioni mediante una mappa interattiva del territorio finlandese e una serie di grafici che riportano le previsioni di umidità e temperatura del suolo, oltre che di altezza della neve.

Infine, altro esempio di SSD è la possibilità di fornire agli operatori di macchine forestali delle mappe, integrabili e visualizzabili con i computer di bordo dei mezzi moderni, che mostrino all'interno dell'area di lavoro le zone più sensibili e quelle invece più adatte al transito, in modo che l'operatore possa scegliere una rete di piste secondarie il più efficiente possibile. Ad esempio, nel progetto Tech4effect, finanziato dall'Unione Europea, attraverso l'utilizzo di dati telerilevati e algoritmi utilizzati per la previsione delle dinamiche di scorrimento e accumulo dell'acqua dopo le precipitazioni, sono state create delle mappe predittive della vulnerabilità del suolo, e rese disponibili per gli operatori dei mezzi forestali ([www.tech4effect.eu/sustainable-forest-management-and-planning-using-digital-terrain-models-part-2/](http://www.tech4effect.eu/sustainable-forest-management-and-planning-using-digital-terrain-models-part-2/)).

L'uso dei SSD in campo forestale, e in particolare mirato alla riduzione degli impatti, è attualmente limitato e prevalentemente concentrato nei paesi nordeuropei, ma in rapida espansione. La sempre più elevata quantità di dati e informazioni disponibili, oltre alla crescente capacità di accedervi e di utilizzarli, rende plausibile uno sviluppo e una diffusione di sistemi simili nel breve-medio periodo, con un elevatissimo potenziale di miglioramento in termini di riduzione degli impatti e di aumento dell'efficienza delle lavorazioni.

### *In relazione alle caratteristiche del suolo*

**L'umidità iniziale del suolo** è uno dei parametri fondamentali che agiscono sulla severità ed estensione dell'impatto. È però un parametro **molto variabile**, che necessita di un monitoraggio costante ai fini della riduzione degli impatti. Un suolo con bassa umidità iniziale è meno propenso ad essere compattato, di conseguenza sono da evitare le operazioni di esbosco quando il suolo presenta un'alta umidità iniziale.

Risultano quindi fondamentali, ai fini della mitigazione degli impatti, la **valutazione delle condizioni meteorologiche nei giorni antecedente le utilizzazioni** e la misurazione diretta dell'umidità del suolo tramite tensiometro. Nella tabella che segue (Tabella 4) sono evidenziate le condizioni di percorribilità in relazione alla tessitura del terreno e all'umidità del suolo.

Tessitura	Umidità suolo			
	Molto Secco (≥ 50cm profondità)	Secco	Umido	Molto Umido
Terreno con alto contenuto di scheletro	NON SENSIBILE	NON SENSIBILE	NON SENSIBILE	MOLTO SENSIBILE
Sabbioso (sabbia >70%)	NON SENSIBILE	NON SENSIBILE	SENSIBILE	MOLTO SENSIBILE
Argilloso	NON SENSIBILE	SENSIBILE	SENSIBILE	MOLTO SENSIBILE
Limoso	NON SENSIBILE	SENSIBILE	MOLTO SENSIBILE	MOLTO SENSIBILE

**NON SENSIBILE**  
Transito possibile

**SENSIBILE**  
Transitare con accorgimenti tecnici (come bassa pressione pneumatico)

**MOLTO SENSIBILE**  
Il transito è sconsigliato

Tabella 4: Grado di sensibilità del suolo al variare della sua tessitura e umidità

#### Aumento della portanza del suolo - Uso di tronchi e ramaglie

L'uso di tronchi e ramaglie o **residui di utilizzazione** in genere, al fine di costituire uno strato vegetale diffuso uniformemente sulle piste di esbosco (Figura 37), è una pratica molto diffusa nei Paesi Europei, per **ridurre i fenomeni di compattazione o solcatura** durante l'esbosco con forwarder. Se i residui di utilizzazione vengono lasciati sul terreno, soprattutto in caso di terreno molto bagnato con scarsa portanza, la pressione esercitata dalle macchine viene distribuita su una superficie maggiore e la pressione sul suolo si riduce sensibilmente (Figura 38). Si riduce, di conseguenza, il grado di compattazione del suolo e questo effetto benefico risulta maggiore negli strati superficiali del suolo. Esiste inoltre una correlazione inversa, cioè all'aumentare del primo diminuisce il secondo.

Riguardo alle piste temporanee di esbosco (uso legato al periodo dell'utilizzazione), il loro tracciato ha funzione temporanea e, al termine del taglio e delle operazioni ad esso connesse, questo deve essere ripristinato allestendo opere provvisorie per evitare l'erosione, in modo da garantirne il rapido rinsaldamento. Nel caso della "**messa a riposo**" di piste (Figura 39), si impiegano cimali e tronchi, di scarsa qualità e di maggior diametro, lasciati sulla pista in direzione perpendicolare al passaggio dei mezzi.





**Figura 37:** *Ramaglie e residui di utilizzazione distribuiti uniformemente sulle piste di esbosco*



**Figura 38:** *La ramaglia ed i residui di utilizzazione possono aumentare la portanza del terreno e ridurre gli eventuali impatti*



**Figura 39:** *Foto di due piste "messa a riposo" utilizzando ramaglie e cimali per limitare il ruscellamento in caso di piogge*



## 5.2. MODIFICHE ED ACCORGIMENTI SULLE MACCHINE

Alcuni accorgimenti tecnici riguardanti l'equipaggiamento di macchine e attrezzature possono essere presi in considerazione per ridurre i fenomeni di compattamento e solcatura. In linea generale, per ridurre l'impatto si deve ridurre la pressione esercitata a terra e questo si concretizza nell'aumentare la superficie di contatto:

- optare per pneumatici quanto possibile **grandi e larghi**;
- utilizzare **ruote gemellate**;
- **adeguare la pressione dei pneumatici** per gli attraversamenti delle par-

ticelle tramite gli apparecchi per regolare la pressione dei pneumatici, che risultano quindi molto utili;

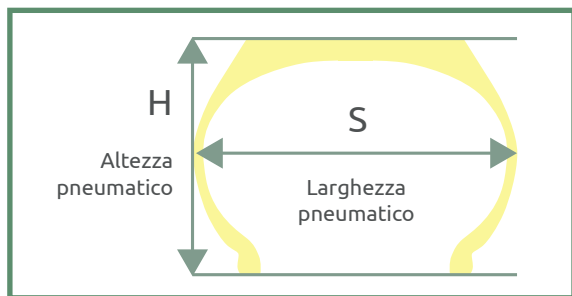
- **ridurre il peso delle macchine**, rinunciando a dimensioni e meccanizzazione eccessive;
- in terreni sensibili **utilizzare cingoli o semi cingoli o lasciare ramaglia e residui forestali sulla pista prima del passaggio della macchina**.

Di seguito sono riportate in dettaglio le raccomandazioni sopra descritte.

### Dimensioni dei pneumatici

L'utilizzo di pneumatici più larghi limita la pressione esercitata sul terreno dal passaggio dei mezzi forestali. **La minor pressione al suolo influisce sulla formazione dei solchi, riducendo la profondità degli stessi** fino al 30%. Al fine di garantire un utilizzo sostenibile di macchine altamente meccanizzate dal peso considerevole, molti costruttori e produttori di pneumatici hanno ampliato la larghezza della flangia e della carcassa dei pneumatici. La larghezza dei pneumatici da 400 mm è stata aumentata fino a 600 mm e in alcuni casi si è arrivati fino a 710 mm e 900 mm.

Si parla di pneumatico largo quando il rapporto tra l'altezza e la larghezza del pneumatico è inferiore a 0,8 (Figura 40). Solitamente, però, questi pneumatici hanno battistrada poco profondi, o "meno aggressivi", e pertanto può essere difficoltoso affrontare in sicurezza tratti di pista ad elevata pendenza.



*Figura 40: Quando il rapporto tra l'altezza del pneumatico e la sua larghezza è inferiore a 0,8 si parla di pneumatico largo*

### Numero di pneumatici

Le operazioni di esbosco sono normalmente effettuate con l'ausilio di trattore e rimorchio; attualmente in commercio troviamo rimorchi con 2 o 4 ruote. Considerato lo stesso carico esboscato, **i veicoli a 8 ruote** (4 trattore e 4 rimorchio - Figura 41), **esercitano una pressione minore al suolo**, fino

al 25%, rispetto ai veicoli a 6 ruote (4 trattore e 2 rimorchio - Figura 42) con conseguente riduzione di eventuali impatti al suolo. L'utilizzo di rimorchi con 4 ruote motrici è quindi da incentivare.



*Figura 41: Trattore e rimorchio forestale a 8 ruote (4 attrice e 4 rimorchio) con una maggiore superficie di contatto a terra ed una minore pressione al suolo rispetto al trattore e rimorchio forestale a 6 ruote*



*Figura 42: Trattore e rimorchio forestale a 6 ruote (4 attrice e 2 rimorchio) con una minore superficie di contatto a terra ed una maggiore pressione al suolo rispetto al trattore e rimorchio forestale a 8 ruote*

### Pressione di gonfiaggio pneumatici

Si notano benefici considerevoli, in termini di minor profondità delle "ruotate" lasciate sul terreno, quando si riduce la pressione dei pneumatici da 3,5 bar a 1 bar. Con una diminuzione sostanziale della pressione di gonfiaggio si ha un aumento considerevole della superficie di contatto del pneumatico con il terreno e, di conseguenza, una maggiore motricità e un minore impatto sul suolo. Con valori intermedi di pressione, come 2 bar, l'aumento della superficie di contatto non è sufficiente per ottenere i benefici elencati precedentemente.

L'adozione di **sistemi di controllo della pressione dei pneumatici** (TPCS), che ottimizzano tale pressione in base alle condizioni di lavoro, è da favorire. Questa tecnologia, migliorando la trazione e la mobilità, può essere utile per la riduzione degli impatti, in combinazione con le altre prescrizioni

### Cingoli e catene

L'utilizzo dei **mezzi cingolati**, rispetto a quelli gommati, provoca una **profondità dei solchi** generalmente **inferiore** a causa della diversa superficie di contatto con il terreno. Nelle aree in cui si hanno valori elevati di umidità del terreno è indispensabile allestire il forwarder con appositi cingoli (band tracks) (Figura 43), in quanto, crescendo la superficie di contatto con il terreno, non s'incorre né in perdite di motricità né si rischia di provocare profonde incisioni. L'impiego dei cingoli è risultato migliore, in termini di minor formazione di solchi, rispetto alla riduzione della pressione di gonfiaggio.

**I semi-cingoli sono montati attorno ai pneumatici** della macchina per fornire una **maggiore superficie di contatto** con il terreno, il che ne riduce il livello di pressione al suolo. I semi-cingoli aumentano la trazione e diminuiscono il fenomeno della solcatura, ma accrescono anche considerevolmente il peso della macchina e ne aumentano la resistenza all'avanzamento. Ogni elemento può pesare almeno una tonnellata. Tuttavia, l'effetto di aumentare la superficie di appoggio della macchina, e quindi di ridurre la pressione al suolo, finisce spesso per compensare l'aumento di peso.

Esistono **diverse tipologie di semi-cingoli** e si differenziano per la conformazione dei vari elementi di collegamento e della superficie metallica che va a contatto con il terreno (Figura 44). Altri caratteri distintivi possono essere la presenza o l'assenza di protuberanze e ramponi di vario genere che hanno lo scopo di migliorare la motricità della macchina e quindi l'azione di "presa" sul terreno. Alcune **tipologie sono appositamente stu-**



Figura 43: Fasi relative al montaggio dei semi-cingoli



Figura 44: Particolari dei semi-cingoli forestali

**diate per garantire motricità**, e per ridurre gli impatti su suoli molto umidi e scarsamente portanti. In questi casi è possibile notare un'ampia superficie metallica di appoggio a terra che si estende di qualche centimetro anche oltre la sagoma (larghezza) del mezzo. In questi casi i cingoli sono sostanzialmente più larghi del pneumatico, il che aumenta la superficie di contatto sul terreno, fornendo anche supporto durante le svolte e gli spostamenti su pendii laterali, mantenendo i cingoli in posizione corretta se esposti a sollecitazioni.

Alcuni studi hanno evidenziato una differenza di comportamento tra cingoli in acciaio e cingoli in gomma relativamente al fenomeno del compattamento. I cingoli in gomma, essendo più flessibili, hanno sul terreno una distribuzione più irregolare dei pesi e delle sollecitazioni prodotte dalla macchina rispetto a quanto avviene con i cingoli in acciaio, più rigidi, che risultano avere quindi un impatto minore sul suolo.

Di seguito si riportano alcune tipologie di cingoli con le relative specifiche tecniche (Tabella 5). In tutte le tipologie sotto descritte, il cingolo garantisce protezione del pneumatico dal contatto con rocce sporgenti o cep-paie e protegge il suolo dal possibile slittamento del pneumatico stesso.

	<p>Cingolo sviluppato per garantire motricità su terreni ripidi e accidentati o su scarse condizioni di aderenza a causa della presenza di neve o fango</p>
	<p>Cingolo sviluppato per l'impiego forestale universale con piccole macchine e terreni dalla discreta portanza</p>
	<p>Cingolo sviluppato per l'utilizzo su terreni pianeggianti e dalla scarsa portanza</p>
	<p>Cingolo sviluppato per l'utilizzo su terreni pianeggianti molto umidi dalla scarsa portanza. Consentono di non sprofondare nel terreno umido ed evitano la formazione di profonde solcature.</p>
	<p>Cingolo sviluppato per l'utilizzo polivalente su terreni dalle condizioni di umidità molto mutevoli su brevi tratti</p>

**Tabella 5:** *Tipologie di cingoli e relative specifiche tecniche*  
 (informazioni e immagini reperite dal sito <https://www.pewagitalia.com>)



6.

I REGOLAMENTI  
FORESTALI





In Italia le attuali normative regionali relative alla viabilità forestale ed alle infrastrutture ad essa interconnesse appaiono parecchio articolate e disomogenee. Dalle Leggi Forestali e dai relativi Regolamenti d'attuazione risulta che:

- 12 Regioni/Province riportano definizioni di viabilità più o meno dettagliate (Abruzzo, Campania, Emilia-Romagna, Friuli-Venezia Giulia, Lazio, Liguria, Lombardia, Piemonte, Toscana, Provincia Autonoma di Trento, Umbria, Veneto);
- 10 Regioni/Province riportano definizioni e caratteristiche dimensionali della viabilità (Abruzzo, Campania, Emilia-Romagna, Friuli-Venezia Giulia, Lazio, Lombardia, Piemonte, Toscana, Provincia autonoma di Trento, Umbria);
- 9 Regioni/Province non riportano definizioni di viabilità, in alcuni casi viene citata all'interno di una legge senza definirla (Basilicata, Calabria, Marche, Molise, Puglia, Sardegna, Sicilia, Provincia Autonoma di Bolzano, Valle d'Aosta). Sicilia e Sardegna hanno leggi forestali recenti (2016) dove viene menzionata, ma non definita, la viabilità. Il Molise ha in revisione una bozza di legge quadro forestale dal 2015 dove sono riportati definizioni e dimensioni della viabilità;
- soltanto in alcuni casi viene fatta una distinzione anche tra opere a carattere "temporaneo" e "permanente".

Le definizioni e le caratteristiche dimensionali descritte dalle normative, quindi, non si presentano uniformi e talvolta divergono in modo significativo tra le Regioni/Province. In alcuni casi, la normativa attuale distingue le infrastrutture in opere temporanee e opere permanenti, di solito in riferimento alle vie di esbosco temporanee, come piste di esbosco temporanee e opere connesse come gli imposti di lavorazione e deposito temporaneo del legname. L'uso del termine "temporaneo" si riferisce in modo chiaro e univoco all'uso di questi tracciati e opere connesse che, una volta aperti o riattivati, vengono utilizzati per le attività in corso, poi messi a riposo e non utilizzati fino al successivo intervento di gestione forestale. Questo può permettere di limitare l'impatto delle utilizzazioni future alle superfici che hanno già risentito del transito delle macchine, preservando in questo modo il suolo nelle aree forestali circostanti il cantiere.

Allo stato attuale, però, tra le diverse Regioni/Province, la definizione di temporaneità delle infrastrutture viarie non è chiara né univoca. Ne deriva quindi l'esigenza di precisare, in modo oggettivo, la definizione di infrastrutture temporanee e i loro parametri dimensionali, nonché la definizione e l'entità degli interventi ammessi per la loro realizzazione e riattivazione (ad esempio movimenti terra).

È importante segnalare, a tal proposito, che a inizio Dicembre 2021 è stato pubblicato il Decreto Ministeriale sulla Viabilità Forestale (Decreto 28.10.21) in attuazione dell'art. 9 del D Lgs. 34/2918 (Testo unico in materia di foreste e filiere forestali - TUFF) sulle: "Disposizioni per la definizione dei criteri minimi nazionali inerenti agli scopi, le tipologie e le caratteristiche tecnico costruttive della viabilità forestale e silvo-pastorale, delle opere connesse alla gestione dei boschi e alla sistemazione idraulico-forestale". Lo scopo del Decreto Ministeriale è proprio quello di attenuare le differenze che esistono tra le varie regioni sul tema della viabilità forestale definendo criteri minimi nazionali uguali per tutti. Quando le Regioni adegueranno (se necessario) la propria normativa ai contenuti previsti, molte differenze messe in evidenza saranno attenuate.

I parametri e gli interventi ammessi dovrebbero tener conto anche delle diverse tipologie di macchine e sistemi di lavoro attualmente impiegati nelle operazioni di esbosco, nonché della loro evoluzione nel tempo. Attualmente, l'unico riferimento riscontrato all'interno dei vari regolamenti forestali regionali, relativo alla possibilità d'impiego di macchine operatrici combinate per le operazioni di abbattimento e allestimento del legname, è quello riportato nel Regolamento forestale della Toscana (D.P.G.R. n. 48/R dell'8 agosto 2003) di attuazione della Legge Regionale 39/2000. Il regolamento, all'articolo 46 (opere temporanee) fa riferimento, ai commi 7 bis e 7 ter, ad importanti aspetti di pianificazione delle vie di esbosco ed alla spaziatura delle piste di esbosco (strisce di penetrazione) nel caso di impiego di macchine specializzate:

- *7 bis*. La realizzazione delle strisce di penetrazione, necessarie per l'utilizzo delle macchine abbattitrici o abbattitrici/allestitrici, è soggetta ad autorizzazione salvo quanto previsto dal comma 7 ter.
- *7 ter*. Nelle fustaie pure o a prevalenza di pino marittimo, d'Aleppo, nero e laricio, di cipressi esotici e di chamaecyparis, nei casi in cui sia autorizzato o consentito il taglio della vegetazione esistente sulla striscia e non vi sia necessità di altro intervento, il transito non è soggetto ad alcun atto abilitativo a condizione che sia effettuato su strisce di penetrazione della larghezza massima di metri 5 intervallate mediamente da una distanza minima di 15 metri. Le strisce di penetrazione devono essere poste ad una distanza minima di 10 metri dal margine del bosco. In tutti i casi le eventuali ceppaie di latifoglie poste sulle strisce di transito dovranno essere protette con ramaglia dal transito dei mezzi e riceppate prima dell'inizio della stagione vegetativa.



# CONCLUSIONI



Ad alti livelli di meccanizzazione deve corrispondere un'elevata professionalità e un'adeguata specializzazione degli operatori, requisiti che, purtroppo, nel panorama agro-forestale italiano risultano ancora spesso carenti.

L'impiego delle macchine va valutato, predisposto, progettato ed organizzato in modo adeguato e richiede una direzione dei lavori efficiente.

Fissati gli obiettivi e le caratteristiche selvicolturali dell'intervento, si deve:

- decidere il sistema di lavoro e di esbosco da adottare; indicare le vie di esbosco da utilizzare (segnate concretamente sul terreno);
- definire la composizione delle squadre (uomini e loro competenze, macchine e accessori vari, in dettaglio, verificandone la disponibilità);
- stabilire gli assortimenti da allestire;
- stabilire gli imposti ai quali esboscare il legname e come accatastarlo.

Solo alla fine di questo processo si effettuerà la martellata, possibilmente con il caposquadra degli utilizzatori e/o con l'operatore della macchina di esbosco, in modo da poter discutere subito, sul posto, possibili difficoltà per l'esecuzione del lavoro. È nel corso della martellata che vanno scelte e marcate le piste secondarie per il transito dei trattori, i varchi orientati rigorosamente a ritocchino e realizzati mediante il taglio della vegetazione, senza movimento di terra. Queste opere sono indispensabili, in particolare nel caso di impiego degli harvester.

La meccanizzazione ha portato a incrementi della produttività rilevanti, anche al contenimento dei costi del lavoro che è stato migliorato qualitativamente. Ma la meccanizzazione richiede agli operatori – a tutti i livelli – maggiori competenze e impegno, per esaltarne gli effetti positivi e contenere quelli negativi; ricorrere a potenti e costose macchine specializzate in condizioni non ottimali, o in stazioni ad esse avverse, senza vie di esbosco adatte ai mezzi, o senza operatori capaci e una direzione efficiente e competente, può portare a risultati disastrosi.

Le macchine non risolvono tutti i problemi. Possono contribuire alla loro soluzione, purché vi si faccia ricorso con competenza ed in modo appropriato alle circostanze. La meccanizzazione è un provvedimento di razionalizzazione per lavorare meglio, ma è efficace soltanto se preso a ragion veduta e congiuntamente ad altri provvedimenti, in particolare a quelli relativi alle infrastrutture e alla formazione ed aggiornamento del personale, sia degli operatori delle macchine che, soprattutto, di chi pianifica, organizza e decide.

# PRINCIPALI RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

AMPOORTER E., GORIS R., CORNELIS W.M, VERHEYEN K. (2007) - **Impact of mechanized logging on compaction status of sandy forest soils**. Forest Ecol. Manag. 241,162–174

CAMBI M., CERTINI G., NERI F., MARCHI E. (2015) **The impact of heavy traffic on forest soils: a review**. For Ecol Manag 338:124–138.  
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.11.022>

CAMBI M., MARIOTTI B., FABIANO F., MALTONI A., TANI A., FODERI C., LASCHI A., MARCHI E. (2018) - **Early response of Quercus robur seedlings to soil compaction following germination**. Land Degrad. Dev.  
<https://doi.org/10.1002/ldr.2912>

CHELAZZI C, BRACHETTI MONTORSELLI N. (2009) - **Leggi regionali e viabilità forestale. In: "Atti del Terzo Congresso Nazionale di Selvicoltura"**. Accademia Italiana di Scienze Forestali, Firenze, pp. 1073-1078.

**Decreto Ministeriale sulla Viabilità Forestale (Decreto 28.10.21)** in attuazione dell'art 9 del D lgs. 34/2918 (Testo unico in materia di foreste e filiere forestali - TUFF)

HIPPOLITI G., PIEGAI F. (2000) - **Tecniche e sistemi di lavoro per la raccolta del legno**. Compagnia delle Foreste, Arezzo.

LABELLE E.R., JAEGER D. (2012) - **Quantifying the use of brush mats in reducing forwarder peak loads and surface contact pressures**. Croatian Journal of Forest Engineering 33(2): 249–274

MARCHI E., CERTINI G., (2015) - **Impatti ambientali delle utilizzazioni forestali e strategie di mitigazione**. Proceedings of the Second International Congress of Silviculture, Florence, November 26th - 29th 2014, vol. 1: 48-453.

MARCHI E., CHUNG W., VISSER R., ABBAS D., NORDFJELL T., MEDERSKI P.S., McEWAN A., BRINK M., LASCHI A. (2018) - **Sustainable Forest Operations (SFO): A new paradigm in a changing world and climate**. Science of the Total Environment – 634: 1385-1397

MARRA E., CAMBI M., FERNANDEZ-LACRUZ R., GIANNETTI F., MARCHI E., NORDFJELL T. (2018) - **Photogrammetric estimation of wheel rut dimensions and soil compaction after increasing numbers of forwarder passes**. Scand J For Res. 33(6):613-620

PICCHIO R., NERI F., MAESANO M., SAVELLI S., SIRNA A., BLASI S., BALDINI S., MARCHI E. (2011) - **Growth effects of thinning damage in a Corsican pine (*Pinus laricio* Poiret) stand in central Italy** - Forest Ecology and Management. 262: 237-243

PICCHIO R., NERI F., PETRINI E., VERANI S., MARCHI E., CERTINI G., (2012) - **Machinery-induced soil compaction in thinning two pine stands in central Italy**. Forest Ecology and Management, 285: 38-43.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2012.08.008>

PISCHEDDA D., HELOU T-E., AUGOYARD S., BARON P., CACOT E., GUILLERAY L., POUSSE N., RUCH, P. & ULRICH E. (2017) - **Pratic'sols : Guide Sur La Praticabilité Des Parcelles Forestières**. Onf, Fnedt, Paris, 46 pp

Regione Toscana (2003) – **Regolamento Forestale della Toscana**. 8 agosto 2003 n° 48/R.

Finito a Febbraio 2022  
ISBN 978-88-98850-46-4