



ITABIA
Italian Biomass Association



Progetto GESTA

Rapporto finale sulle prove condotte ad Assergi (AQ)

UN SISTEMA INTEGRATO PER L'UTILIZZAZIONE DEI BOSCHI IN AREE PROTETTE

A cura di

Raffaele Spinelli, Natascia Magagnotti, Benno Eberhard

**Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR)
Istituto di Bioeconomia (IBE)
Via Madonna del Piano 10
I 50019 Sesto Fiorentino (FI)
ITALIA**



Un Sistema integrato per l'utilizzazione dei boschi in aree protette

Introduzione

L'economia e la cultura urbana dominano tutti gli aspetti della vita nei Paesi industrializzati (Baumler et al. 2021). Ciò ha cambiato radicalmente il ruolo del territorio rurale circostante, che da principale fornitore di cibo e materie prime si è trasformato in un fornitore di amenità e altri benefici intangibili (Bazzani et al. 2002, Kizos et al. 2010). Il “desiderio di natura” espresso dagli abitanti delle città e la perdita di valore economico dei terreni agricoli hanno portato a una rapida espansione delle aree protette, dove le attività economiche sono limitate per preservare un ambiente naturale in cui peraltro la maggior parte delle persone non vuole più vivere.

Solo in Italia, le aree protette occupano oltre 3 milioni di ettari, pari a quasi il 10% del territorio nazionale (MASE 2023). La distribuzione delle aree protette sul territorio nazionale è piuttosto eterogenea e dipende da diversi fattori, non ultimo il valore naturalistico dei siti e le alternative di sviluppo economico. Su 22 regioni amministrative, l'Abruzzo è in cima alla lista: ospita 109 aree protette, tra cui 3 grandi Parchi Nazionali, per un'area protetta totale che supera i 390000 ettari, pari al 37% della superficie regionale (Regione Abruzzo 2023). Lo status di protezione può essere decretato da diversi livelli amministrativi (ad esempio, nazionale, regionale, ecc.) e può essere conforme a regole diverse, ma comporta sempre restrizioni all'uso motivate da un interesse pubblico (Mayer e Job 2014). Per quanto riguarda la selvicoltura, lo status di protezione aggiunge ulteriori restrizioni a quelle già previste per tutte le attività forestali. Ciò può rappresentare un serio ostacolo alla sostenibilità finanziaria della gestione forestale, motivando ulteriormente l'abbandono e l'eventuale degrado.

In Abruzzo, uno dei principali ostacoli a una gestione forestale efficace dal punto di vista dei costi è il requisito dell'esbosco con animali, spesso prescritto dalle autorità forestali, soprattutto nelle aree protette (Magagnotti et al. 2012). Tale prescrizione riflette l'uso tradizionale di animali da soma, che sono stati ampiamente disponibili nella regione fino a tempi recenti (Latterini et al. 2023). Il calo demografico e i cambiamenti nello stile di vita hanno ridotto moltissimo il numero di mulattieri, e i pochi rimasti non sono in grado di soddisfare l'aumento della domanda per i loro servizi, nonostante un aumento generale dei prezzi per l'esbosco a soma. Infatti, i nuovi prezzi non sono ancora abbastanza alti da stimolare il reclutamento di nuovi mulattieri, ma spesso superano il potere d'acquisto dei proprietari forestali, che devono far fronte all'aumento dei costi operativi. I proprietari vorrebbero meccanizzare l'esbosco, sostituendo i tradizionali muli da soma con il loro equivalente meccanico, cioè il trattore agricoli dotato di piattaforme di carico anteriori e posteriori, una soluzione ormai molto usata per l'esbosco di legna da ardere lunga 1 m, almeno nella maggior parte dell'Italia centrale e meridionale (Piegai e Quilghini 1993).

Sia le autorità che i proprietari forestali hanno ragione: le autorità a temere che la movimentazione indiscriminata di mezzi meccanici in foresta finisca per causare gravi danni

al suolo e al soprassuolo residuo (Cambi et al. 2015); i proprietari a chiedere la meccanizzazione delle operazioni forestali, senza la quale non è possibile raggiungere la sostenibilità economica e sociale (Spinelli et al. 2011).

Entrambi però hanno anche torto: gli animali da soma non sono l'unica soluzione in grado di prevenire i danni al bosco, mentre “l'esbosco a soma con trattore” non è certo il sistema più razionale per migliorare la sostenibilità economica delle operazioni forestali - ed è un completo fallimento quando si tratta di sostenibilità sociale (Picchio et al. 2009).

Per contribuire a superare l'attuale situazione di stallo, il CNR è stato incaricato di sviluppare una soluzione di compromesso che potesse rispondere alle esigenze di entrambe le parti. Di conseguenza, il CNR ha progettato, testato e dimostrato un sistema completamente nuovo, descritto in questo studio. L'obiettivo dello studio e della dimostrazione condotti nell'ambito del progetto GESTA è di presentare questo nuovo sistema, in modo che possa essere replicato in situazioni simili, incoraggiando il progresso dell'intero settore. Inoltre, questi risultati possono essere utilizzati per sostenere la nozione di una nuova via alla modernizzazione, che armonizzi lo sviluppo tecnico con la protezione dell'ambiente e la conservazione del patrimonio culturale (Rodriguez et al. 2017).

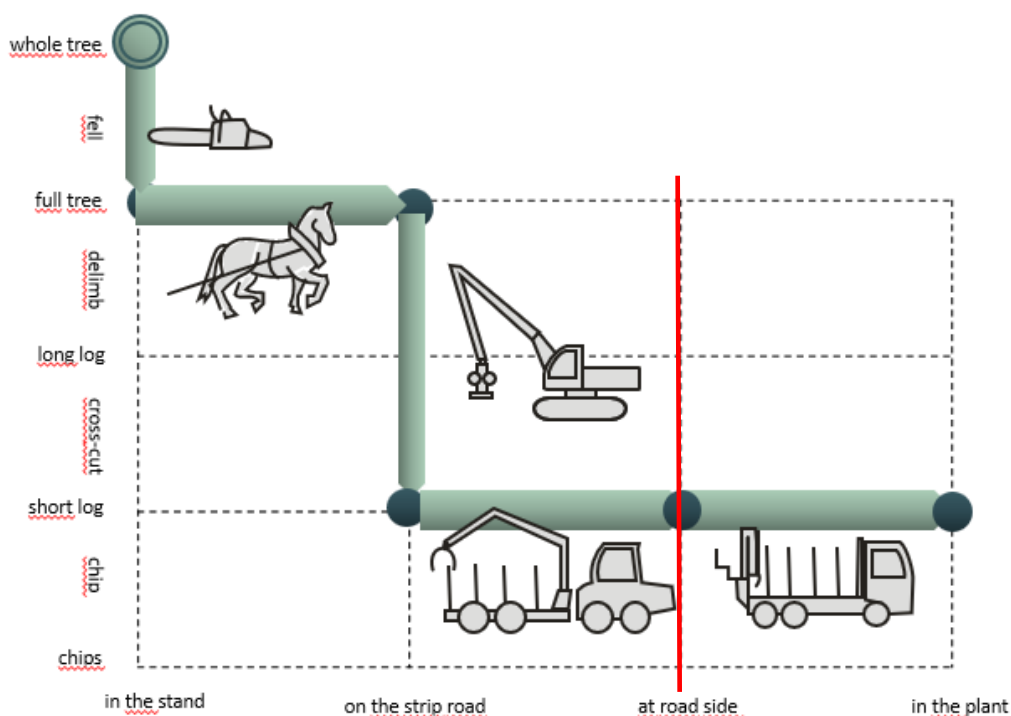
Materiali e metodi

Il nuovo sistema di raccolta integrato soddisfa la richiesta delle autorità regionali di utilizzare animali da lavoro, che paradossalmente rappresentano la sua caratteristica più innovativa. A prescindere da qualsiasi considerazione economica o ambientale, l'impiego degli animali da lavoro ha un valore storico e culturale fondamentale, che deve essere preservato con tutti i mezzi disponibili (Johann 2021). Il modo migliore per preservare questa tecnica di lavoro è renderla competitivo: l'esbosco a soma non lo è, il che spiega il suo rapido declino (McCabe e Tyner 1992). Sulla base di queste premesse, la nuova tecnica proposta prevede un'integrazione mirata di animali e macchine, che può rendere il lavoro con gli animali più veloce, più facile e più competitivo (Magagnotti e Spinelli 2011a). L'aumento della produttività della squadra consente di introdurre la trazione animale in un numero di interventi superiore a quello consentito dall'attuale limitata disponibilità di animali da lavoro. Allo stesso tempo, la nuova tecnica si traduce in una forte mitigazione degli impatti ambientali causati dall'introduzione di moderne attrezzature forestali (De Paul e Bailly 2005).

Con il nuovo sistema, la raccolta è organizzata in fasce di 50 metri di larghezza, ciascuna attraversata al centro da un corridoio di 4 metri. Gli alberi vengono tagliati con motosega e poi trascinati ai margini dei corridoi da cavalli da tiro. Poiché i corridoi sono posti a una distanza di 50 m, i cavalli devono trascinare il loro carico su distanze brevi, raggiungendo una produttività molto elevata (Hedman 1988). La squadra tipica è composta da un motoseghista, un mulattiere e due cavalli, in modo che gli animali possano lavorare e riposare a turno. Una volta raggiunto il margine del corridoio, gli alberi vengono raccolti da

un processore montato su un escavatore e allestiti in tronchi di 2,3 metri. Infine, un forwarder leggero (capacità di 7 t) raccoglie i tronchi e li trasferisce sul ciglio della strada. Semplice, veloce, indolore (Fig. 1).

Figura 1 –Descrizione schematica del sistema di raccolta proposto (in rosso la demarcazione delle operazioni incluse nello di studio)

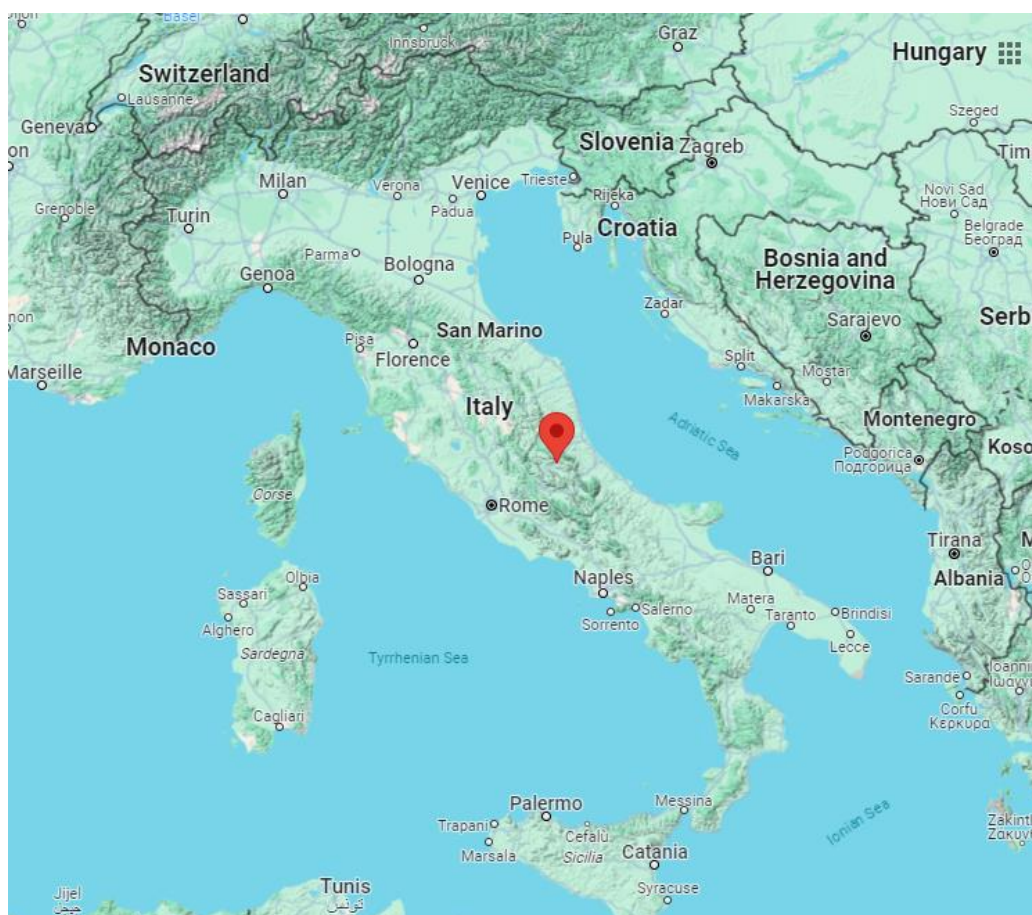


Non c'è nulla di particolarmente innovativo negli animali e nei macchinari impiegati nel nuovo sito; tuttavia, l'organizzazione del lavoro rappresenta una chiara rottura con la tradizione per almeno due elementi chiave.

In primo luogo, la pianificazione del traffico in bosco, che è consentito solo sui corridoi. Per favorire una selvicoltura di precisione e facilitare il lavoro operativo in loco, i corridoi sono stati prima progettati digitalmente utilizzando QGIS e il Plugin "Forest Road Network" (QGIS 2019). L'idea fondamentale consiste nello sviluppare la rete di accesso a partire da una mappa dei costi di esbosco, seguendo il principio del minor costo. Il software calcola il costo per attraversare ogni pixel della mappa dei costi e seleziona il percorso di costo totale minimo. Questo lavoro richiede un modello digitale del terreno, che è liberamente disponibile sul web per l'intera regione Abruzzo a una risoluzione di 10 x 10 m (Regione Abruzzo 2015).

Per il calcolo dei costi, sono stati integrati i seguenti parametri: i) uno strato con le strade esistenti (dove il costo di attraversamento è uguale a zero), ii) la pendenza di ogni pixel e iii) le condizioni topografiche all'interno di ogni pixel, rappresentate dalla lunghezza delle curve di livello. Per semplicità, i costi risultanti sono stati classificati in cinque classi. È importante notare che i costi valutati rappresentano valori relativi. Poiché la struttura dei costi della nostra zona operativa è molto omogenea, la prima stesura dei corridoi non è stata condotta dall'algoritmo specifico del plugin, ma visivamente e a mano, utilizzando come riferimento la mappa dei costi precedentemente generata. Il criterio principale nella stesura manuale dei corridoi (oltre alla selezione dei percorsi con i costi più bassi) è stato quello di disporli ad angolo rispetto alla strada forestale principale, in modo da facilitare le svolte e ridurre al minimo l'impatto visivo, che è un fattore particolarmente critico in un Parco Nazionale destinato all'uso ricreativo.

Figura 2 –Localizzazione del sito di prova



Poi, tutti i corridoi mappati sono stati controllati sul campo, insieme al conducente del processore, che era l'unità meno agile dell'intera flotta. Infine, i corridoi finali approvati sono

stati segnalati con nastri colorati, in modo che la squadra di abbattimento sapesse in quale direzione abbattere gli alberi e dove tirarli.

La seconda innovazione strategica della tecnica proposta è l'allungamento degli assortimenti: abbiamo abbandonato la tradizionale legna da ardere lunga 1 m (concepita essenzialmente per facilitare la movimentazione manuale) e abbiamo allestito tutti gli alberi in tronchi lunghi 2,3 m, che è la lunghezza minima per un'efficace movimentazione meccanica. Inoltre, l'allungamento degli assortimenti favorisce un migliore utilizzo della crescente quota di legname pregiato, che può essere trasformato in prodotti migliori della semplice legna da ardere.

Le prestazioni del sistema sono state testate in una prova di 4 giorni, organizzata nella settimana dal 16 al 20 ottobre 2023. La prova è stata condotta nella foresta di Macchia Grande, al confine con il Parco Nazionale del Gran Sasso, appena sotto la stazione a valle della funivia panoramica, a un'altitudine di circa 1.000 metri (coordinate: 42° 25'45.22 "N, 13° 30'52.37" E; Figura 2). Il bosco era una fustaia transitoria a dominanza di cerro (*Quercus cerris* L.), con roverella (*Q. pubescens* L.) e farnia (*Q. Petraea* L.) come specie secondarie, e un denso sottobosco di acero e frassino. La prescrizione selvicolturale è stata quella di un leggero diradamento dal basso, volto a rimuovere circa il 20% della massa in piedi, pari a circa 30 m³ ha⁻¹ (Tabella 1).

Tabella 1 – Descrizione del sito di prova

Comune		Assergi
Provincia		Aquila
Superficie	ha	13
Altitudine	m slm	1030-1090
Pendenza	%	20
Pendenza piste	%	15
Specie		<i>Quercus cerris</i> L., <i>Q. pubescens</i> Willd., <i>Fraxinus ornus</i> L.
Governo		Fustaia transitoria
Trattamento		Diradamento
Età	anni	~ 40
Prelievo	m ³ /ha	27.8
Prelievo	Piante/ha	120
Prelievo	% totale	20-25
D1.30	m	0.19
Altezza	m	15.8
Volume pianta	m ³	0.232

Le prestazioni del sistema sono state registrate per ciascuno delle tre operazioni principali: abbattimento e concentramento; allestimento; esbosco. A tal fine si è effettuato un classico rilievo dei tempi di lavoro (Magagnotti et al. 2013). Questo è stato condotto su 20 parcelle sperimentali piazzate all'interno della foresta e collocate a diverse distanze dalla strada. Per ogni parcella, i ricercatori hanno determinato: il numero e il diametro a petto duomo (D1.30)

di tutti gli alberi tagliati; il tempo per abatterli e concentrarli; il tempo per allestirli in tronchetti lunghi 2.30 m con il processore. Poiché il volume accumulato in una singola parcella non corrispondeva esattamente al carico utile del forwarder, la produttività di quest'ultima macchina è stata determinata con uno studio dei tempi per ciclo di lavoro, non per parcella. In entrambi i casi, i tempi morti sono stati registrati separatamente e aggiunti al tempo di lavoro produttivo registrato per ogni parcella o ciclo come un fattore di espansione, calcolato come il rapporto tra tutto il tempo morto e tutto il tempo produttivo registrato per la squadra durante l'intero studio – non la singola parcella o ciclo: ciò è servito a contenere la variabilità individuale causata dall'andamento tipicamente erratico dei tempi morti (Spinelli e Visser 2009).

Il volume del legname prodotto è stato stimato in base al diametro delle piante tagliate in ogni singola parcella, come segue: è stata sviluppata una curva ipsometrica utilizzando 30 alberi campione, distribuiti su tutto l'intervallo di diametri; quindi, il diametro misurato e l'altezza stimata di ciascun albero in ogni parcella sono stati inseriti nelle tavole di cubatura sviluppate per le principali specie arboree delle foreste italiane da Tabacchi et al. (2011). Come ulteriore controllo, il volume calcolato per ogni parcella è stato confrontato con il volume misurato dal computer di bordo del processore per quella stessa parcella, che era stato accuratamente registrato al completamento della parcella. Sono stati misurati anche i pochi alberi aggiuntivi tagliati dal processore, che però sono stati conteggiati separatamente (cioè attribuiti solo al processore).

I costi delle macchine sono stati calcolati con il metodo sviluppato nell'ambito dell'azione COST FP0902 (Ackerman et al. 2014). Le ipotesi di costo (costi di investimento, durata di vita, consumo di carburante, ecc.) sono state ottenute direttamente dal proprietario di ogni singola macchina. Il costo della manodopera è stato stimato pari a 15 € per ora di presenza (SMH), secondo i listini regionali (Tabella 2).

Le limitazioni di tempo e finanze hanno escluso la possibilità di effettuare un vero e proprio studio comparativo, che sarebbe stato il modo migliore e più diretto per verificare se il nuovo sistema proposto davvero potesse aumentare la redditività rispetto alle alternative tradizionali - animale o meccanizzata. Pertanto, abbiamo stimato la produttività di queste alternative basandoci sulla letteratura esistente, fortunatamente abbastanza copiosa. Diversi studi hanno documentato la produttività ottenuta nell'abbattimento e nell'allestimento di latifoglie in tronchi da 1 m, effettuati usando la motosega (ad esempio AA.VV. 1990, Baldini 1987, Baldini e Spinelli 1989, Baldini et al. 1995, Cantiani e Spinelli 1996). Lo stesso vale per l'esbosco della legna da ardere a soma, con muli o trattori (ad esempio AA.VV. 1990, Baldini e Spinelli 1989, Fabiano 2006, Picchio et al. 2009, Piegai 2005, Piegai et al. 1980, Verani e Sperandio 2003). Tali studi sono stati vagliati attentamente per verificarne la compatibilità con le condizioni di lavoro riscontrate a Macchia Grande e infine raccolti in un database per estrarre i dati di produttività media. I costi sono stati ricalcolati per il 2024 (molti studi avevano più di 20 anni) utilizzando lo stesso metodo descritto sopra.

Tabella 2 – Calcolo dei costi: ipotesi, stime e costo totale

Squadra		Motosega	Cavalli X 2	Processore	Forwarder	Muli X 6	Trattore
Marca		Stihl	animali	Doosan	Novotny	animali	Valtra
Modello		MS 261	AITPR	DX 140	LVS 720	Muli	6050
Potenza	kW	3	0.7	86	100	3	75
Investimento	€	1200	10000	210000	200000	22500	65000
Valore rivendita	€	0	2000	63000	60000	4500	19500
Durata utile	Anni	2	15	8	8	15	8
Utilizzo	h/anno	1200	1200	1200	1200	1200	1200
Tasso di interesse	%	3	3	3	3	3	3
Ammortamento	€/anno	420	530	18375	17500	1200	5690
Interessi	€/anno	30	188	4370	4160	420	1350
Assicurazione	€/anno	1000	1000	2500	2500	1000	2500
Foraggio e cura	€/anno	0	11600	0	0	26100	0
Carburante e lubrificante	€/anno	1800	0	20590	19050	0	11880
Riparazioni	€/anno	250	0	9190	8750	0	5690
Totale	€/h	2.9	11.1	45.9	43.3	23.9	22.6
Squadra	n.	1	1	2	1	2	2
Manodopera	€/h	15.0	15.0	30.0	15.0	30.0	30.0
Spese generali	€/h	3.6	5.2	15.2	11.7	10.8	10.5
Costo totale	€/h	21.5	31.3	91.0	70.0	64.7	63.1

Note: h = ora di presenza della squadra, incluso il tempo morto; AITPR = Agricolo Italiano Tiro Pesante Rapido - razza di cavalli da tiro veloce italiani; l'escavatore Doosan DX140 era dotato di una testata Keto 150; un secondo lavoratore era affiancato al processore, dotato di motosega e incaricato di rimuovere i rami più grandi, che avrebbero ostacolato la regolare lavorazione; costo in euro (€) al 23 gennaio 2024.

L'analisi dei dati è consistita nell'estrazione di semplici statistiche descrittive, volte a fornire solidi indicatori di centralità e variabilità. Queste sono le qualità principali utilizzate per valutare il valore e l'affidabilità delle informazioni che volevamo ottenere. Sono stati tentati anche grafici bivariati e analisi di regressione, con l'unico scopo di mostrare le tendenze generali e valutare se queste tendenze fossero sensate o denunciassero errori evidenti nel set di dati, o nell'esperimento nel suo complesso. In realtà, lo studio non è stato concepito per la modellizzazione della produttività e quindi le tendenze descritte nei grafici di regressione non dovrebbero essere utilizzate per fare previsioni dettagliate.

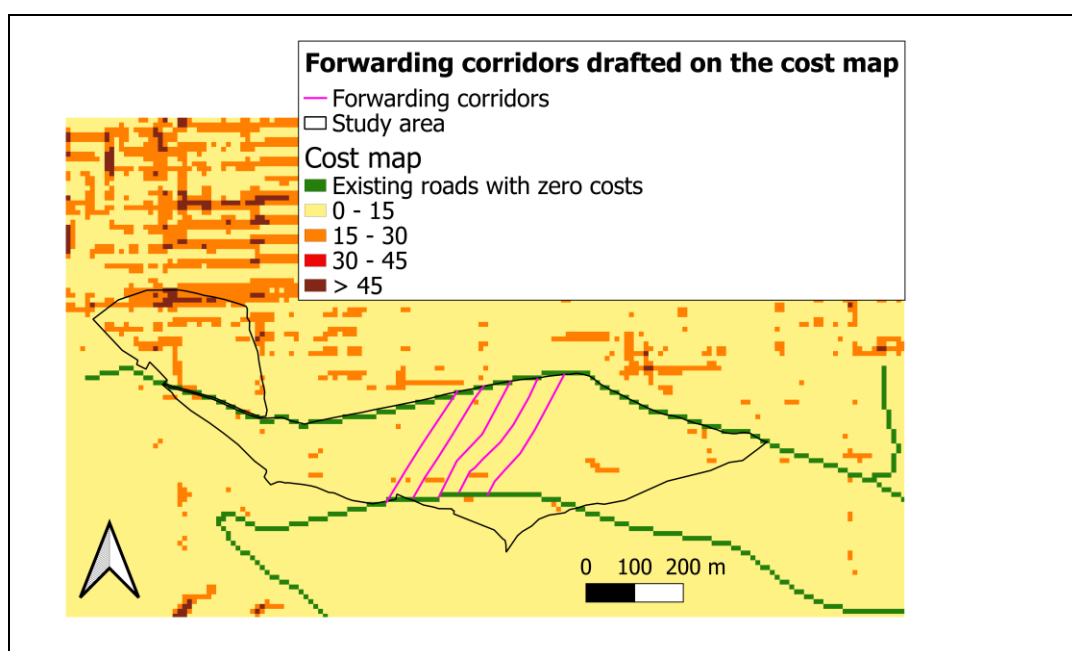
Risultati

La mappa dei corridoi di esbosco tracciati con l'aiuto dello strumento QGIS è riportata in Figura 3. I corridoi sono stati disposti ad angolo rispetto alla strada forestale principale, in modo da facilitare la svolta verso la strada e mitigare l'impatto visivo per i numerosi visitatori del Parco Nazionale. I corridoi tendono a girare intorno ai pixel con un costo maggiore (cioè i pixel di colore arancione), in accordo con il principio della progettazione a costo minimo.

Il nuovo sistema di raccolta ha funzionato bene, raggiungendo una produttività media leggermente superiore a 4 m³ per ora di presenza della squadra, ovvero oltre un autotreno di legname (30 t) al giorno. I dati riportati nella tabella 3 mostrano un notevole equilibrio tra le tre squadre impegnate nelle operazioni principali, ovvero: abbattimento e concentramento, allestimento ed esbosco. Ciò facilita la pianificazione operativa, evitando la

necessità di una programmazione più complessa. Un secondo elemento che emerge da un'attenta analisi della tabella è la relativa stabilità delle routine di lavoro, dimostrata dalla variabilità relativamente bassa dei dati. In condizioni di lavoro simili, si ottengono livelli di prestazioni simili, a testimonianza di un funzionamento regolare. Ciò è ulteriormente confermato dall'incidenza dei tempi morti, che rientra nei limiti riportati in bibliografia per lavori simili ed ammonta al 22%, al 30% e al 23% del tempo totale di cantiere rispettivamente per la squadra di abbattimento e concentramento, il processore e il forwarder.

Figura 3 – I corridoi di esbosco identificati con il Plugin QGIS.



In realtà, l'incidenza dei tempi morti potrebbe essere ulteriormente ridotta per il processore, che dovrebbe essere introdotto più tardi di quanto non sia stato in questa prova, aumentando così la distanza dalla squadra di abbattimento e concentramento. I vincoli organizzativi di questo studio e la necessità di eseguire una dimostrazione pubblica il 5° giorno non consentivano di attendere un ulteriore giorno prima di introdurre il processore in cantiere, e quindi la macchina doveva essere messa in pausa di tanto in tanto, se si avvicinava troppo alla squadra di abbattimento.

Naturalmente, la produttività cambia in base alle condizioni di lavoro, e soprattutto in base alle dimensioni delle piante e alle distanze di movimentazione: le prime influiscono soprattutto sull'abbattimento e sull'allestimento, le seconde sul concentramento ed esbosco. L'impatto delle dimensioni del fusto sulla produttività dell'abbattimento e dell'allestimento è facilmente rilevabile osservando i grafici di dispersione dei nostri dati

(non riportati qui), nonostante lo studio non sia stato specificamente progettato per determinare tale effetto. Tuttavia, i grafici dimostrano chiaramente che il cambiamento delle condizioni di lavoro può influire sull'equilibrio del sistema, richiedendo quindi una precisa gestione operativa. È il caso di soprassuoli con fusti più grandi e distanze di estrazione più lunghe; i fusti più grandi aumenteranno la produttività dell'abbattimento e dell'allestimento, mentre le distanze di estrazione più lunghe diminuiranno la produttività del concentramento e dell'esbosco, per cui sarà necessario programmare meno giorni di abbattimento e allestimento, ma più giorni di concentramento ed esbosco.

Tabella 3 – Produttività e costi: tavola riassuntiva

Abbattimento-concentramento (n=20)		Media	Dev. Std.	Mediana	LQ	UQ
Produttività	m ³ /h	4.4	1.3	4.4	3.5	5.3
Costo	€/m ³	13.0	3.9	12.2	10.2	15.8
Pianta	m ³	0.192	0.03	0.193	0.177	0.207
Allestimento (n = 16)		Media	Dev. Std.	Mediana	LQ	UQ
Produttività	m ³ /h	4.2	1.0	4.1	3.5	5.0
Costo	€/m ³	22.8	5.3	22.4	18.7	26.9
Pianta	m ³	0.186	0.036	0.19	0.161	0.212
Esbosco (n = 15)		Media	Dev. Std.	Mediana	LQ	UQ
Produttività	m ³ /h	4.1	0.9	4.0	3.4	4.8
Costo	€/m ³	18.0	3.9	17.6	14.9	21.2
Carico	m ³	5.2	-	-	-	-

Note: n = numero di osservazioni (ad es. parcelle o cicli di lavoro); m³ = volume sopra corteccia, inclusi i rami fino a un diametro minimo di 5 cm; h = ora di presenza della squadra, incluso il tempo morto; LQ = quartile inferiore; UQ = quartile superiore; non sono disponibili statistiche per le dimensioni del carico del forwarder, poiché le dimensioni del carico non sono state misurate individualmente per ogni ciclo, ma sono state considerate come media generale (ad es. m³ totali diviso il numero di cicli).

La produttività e i costi ottenuti con il nuovo sistema proposto si confrontano abbastanza favorevolmente con quelli delle due alternative tradizionali per l'esbosco a soma: muli e trattori (Tabella 4). A 53 €/m³ il nuovo sistema è più economico del 30% rispetto al vecchio sistema tradizionale basato sui muli da soma e del 15% rispetto al nuovo sistema tradizionale basato sui trattori da soma. Inoltre, il nuovo sistema richiede un apporto manuale molto inferiore: la metà rispetto al più meccanizzato tra i due sistemi tradizionali (cioè i trattori da soma) e ancora meno rispetto all'altro (cioè i muli da soma). La drastica riduzione del lavoro manuale è indice di un lavoro meno faticoso e scomodo, che può diventare un vantaggio strategico per attirare nuove leve verso una professione che soffre gravemente per il mancato avvicendamento.

Se il nuovo sistema aumenta drasticamente l'efficienza della manodopera, aumenta ancora di più l'efficienza degli animali! Un cavallo utilizzato per il concentramento a strascico su brevi distanze raggiunge la stessa produttività di 7 cavalli utilizzati per l'esbosco a soma su distanze medio-lunghe (300-600 m). In altre parole, lo stesso numero di animali può coprire 7 volte la superficie che potrebbe coprire se fosse utilizzato secondo il vecchio sistema.

Pertanto, la meccanizzazione intelligente diventa il modo per introdurre il lavoro animale in un numero maggiore di cantieri, non in un numero minore.

Tabella 4 – Confronto con le due opzioni tradizionali a soma – muli e trattori

		Muli	Trattori	Integrato
Abbattimento, concentramento e allestimento	Attrezzatura	Motosega	Motosega	Motosega, Cavalli, Processore
Squadra	n°	1	1	4
Costo	€/h	21.5	21.5	143.8
Produttività	m ³ /h	0.56	0.56	4.02
Costo	€/m ³	38.4	38.4	35.8
Manodopera	h uomo/m ³	1.79	1.79	1.00
Esbosco	Attrezzatura	Muli (6)	Trattore	Forwarder
Squadra	n°	2	2	1
Costo	€/h	64.7	63.1	70.0
Produttività	m ³ /h	1.8	2.8	4.1
Costo	€/m ³	35.9	22.5	17.1
Manodopera	h uomo/m ³	1.11	0.71	0.24
Costo totale	€/m ³	74.3	60.9	52.9
Manodopera totale	h uomo/m ³	2.90	2.50	1.24

Note: h = ora di presenza (squadra o lavoratore), incluso il tempo morto; m³ = volume sopra corteccia, inclusi i rami fino a un diametro minimo di 5 cm.

Discussione e conclusioni

Prima di condurre un'adeguata discussione dei nostri risultati, dobbiamo assicurarci che i lettori siano consapevoli delle principali limitazioni di questo studio, e cioè: l'assenza di un confronto effettivo tra cantieri reali, effettuato fianco a fianco (cioè le alternative sono state rappresentate da dati bibliografici); e il tempo limitato lasciato alle squadre per familiarizzarsi con il nuovo sistema di lavoro.

Il confronto indiretto tra i nostri risultati e quelli presentati in letteratura per le sue principali alternative è approssimativo per sua stessa natura; pertanto, i suoi risultati devono essere considerati solo indicativi, non conclusivi. In effetti, il valore di tale confronto è reso più debole dal fatto che le nostre squadre hanno avuto poco tempo per affinare la nuova tecnica di lavoro. Per questo motivo, i nostri risultati devono essere considerati come un riferimento di massima cautelativo, che può essere ulteriormente migliorato con un po' più di esperienza. Tuttavia, i singoli compiti assegnati ai membri delle squadre erano gli stessi che questi svolgevano normalmente ogni giorno: ciò che cambiava erano l'impostazione e l'organizzazione generale del flusso di lavoro. Quindi, se c'è qualcosa da migliorare, è soprattutto l'interazione tra le squadre, non le loro routine di lavoro individuali. Per questo motivo, ci si può aspettare che il margine di miglioramento sia incrementale, non radicale.

Anche se relativamente piccolo, questo margine di miglioramento tende a corroborare i risultati del nostro confronto preliminare, che indica il nuovo sistema integrato come il più probabile vincitore. Non si possono citare come riferimenti esatti i margini del 15% o del 30% stimati con questo studio, ma certamente tutti gli indicatori confermano la migliore performance del nuovo sistema, nonostante il suo potenziale di miglioramento, che - una volta attualizzato - lo renderebbe un concorrente ancora più forte.

Entrambi i sistemi tradizionali sono concorrenti molto deboli perché si basano su una lavorazione semi-manuale. In particolare, l'allestimento è l'operazione che richiede più tempo in tutti i sistemi di raccolta, e in particolare quando si lavora con piante di piccole dimensioni (Spinelli et al. 2014): per questo motivo, un sistema che include l'allestimento meccanizzato gode sempre di un vantaggio molto ampio rispetto a qualsiasi altro sistema basato invece sull'allestimento con motosega. Il nostro studio non fa che confermarlo, suggerendo al contempo che il margine del nuovo sistema meccanizzato può variare dal 15 a oltre il 30% - almeno per le condizioni della nostra prova. Tali condizioni includono un costo del lavoro relativamente basso (15 €/h), che riflette le attuali tariffe locali... e qui "attuali" è l'attributo cruciale. Per la maggior parte delle industrie e nella maggior parte dell'Italia, il costo del lavoro è più alto di quanto ipotizzato in questo studio, ed è destinato ad aumentare anche in Abruzzo. L'eventuale aumento del costo del lavoro aumenterà ulteriormente il vantaggio del sistema più meccanizzato, rafforzando così i risultati di questo studio.

In definitiva, questo studio non può fornire cifre esatte sulla esatta riduzione di costo offerta dal nuovo sistema, ma conferma che questo è il meno caro... e le sue migliori prestazioni non si limitano a un costo di raccolta inferiore. Rispetto ai sistemi tradizionali, il nuovo sistema proposto garantisce almeno altri tre vantaggi: un migliore valore del prodotto, una maggiore efficienza della manodopera e un controllo più rigoroso del traffico in bosco.

In primo luogo, producendo tronchi più lunghi, il nuovo sistema offre una più ampia gamma di opportunità per valorizzare il legname raccolto. Si può ora pensare di ricavare pali e persino legname da opera da quelle occasionali piante di rovere che si trovano nella fustaia transitoria. Dato che uno degli obiettivi della conversione dei cedui era proprio quello di aumentare la percentuale di latifoglie nobili all'interno del bosco, gli interventi successivi alla conversione produrranno una quantità crescente di queste specie. Se questi fusti vengono tagliati in tronchi di 1 m, possono essere utilizzati solo come legna da ardere, il che rappresenta un pessimo sfruttamento del loro valore.

In secondo luogo, raddoppiando la produttività del lavoro, il nuovo sistema consente di far fronte alla crescente scarsità di boscaioli. Infatti, un aumento di produttività così consistente giustificerebbe anche un aumento generale dei salari che aiuterebbe a reclutare nuovi lavoratori e a trattenere quelli vecchi.

In terzo luogo, confinare l'accesso delle macchine all'interno di una rete di corridoi ben progettati è la migliore garanzia per il successo della transizione verso una raccolta meccanizzata a basso impatto (Page-Dumroese et al. 2010). Il rischio di un impatto eccessivo è il motivo principale per cui le autorità spesso vietano l'accesso alle macchine. In realtà, il termine "accesso" deve essere qualificato. Finora è stato interpretato come "accesso illimitato" da entrambe le parti. In tal caso, il rischio di impatti consistenti è elevato e le preoccupazioni espresse dalle autorità sono giustificate (Spinelli et al. 2010). L'accesso regolamentato è la soluzione più sensata, adottata abitualmente dai gestori forestali più esperti (Horn et al. 2004). Il sistema che proponiamo segue questa filosofia, che è una delle sue componenti integrali. Il traffico di macchine si concentra su corridoi rettilinei, dove l'impatto è ridotto al minimo evitando curve strette, movimentando fusti (o tronchi) pre-concentrati e utilizzando macchine forestali relativamente compatte e agili (un escavatore da 14 t e un forwarder a 8 ruote da 7 t). Il risultato è una forte riduzione di tutti gli impatti ambientali, che dovrebbe rassicurare i proprietari delle foreste e le autorità (Herold et al. 2009, Malatinzsky e Ficsor 2016).

Inoltre, il nuovo sistema è particolarmente adatto ai tagli leggeri, come sono quelli applicati a molte delle foreste protette dell'Italia centrale e meridionale. Questi boschi derivano da popolamenti cedui, che vengono convertiti in boschi d'alto fusto disetanei. La conversione è ottenuta tramite diradamenti leggeri, che sono particolarmente penalizzanti per le macchine più moderne e produttive. Queste offrono prestazioni soddisfacenti solo se l'intensità del taglio raggiunge una certa massa critica, cosa difficile da realizzare quando il prelievo è dell'ordine di 30 m³/ha! Concentrando il legname sui corridoi di accesso, il nuovo sistema raggiunge quella densità critica che consente di meccanizzare efficacemente allestimento ed esbosco.

Infine, il nuovo sistema proposto offre un'opportunità unica di trasformare il lavoro con animali in una tecnica di lavoro moderna. L'alternativa è lasciarlo estinguere o preservarlo come reliquia del passato tenuta artificialmente in vita da sussidi che - per inciso - non sono mai stati erogati a suo favore nel territorio considerato in questo studio!

Ci si può chiedere perché un sistema così efficace non sia stato progettato e testato prima, se offre così tanti vantaggi. In effetti, l'integrazione tra animali da lavoro e macchine è stata documentata in Germania, Ungheria, Italia, Polonia e Romania – solo per quanto riguarda l'Europa (Borz e Ciobanu 2013, Hoffman 2006, Malatinzsky et al 2022, Schroell 2008, Spinelli et al. 2013). Tuttavia, i pochi lavori scientifici che analizzano in dettaglio l'efficienza dell'integrazione animale-macchina riguardano casi in cui gli animali vengono utilizzati accanto a una meccanizzazione antiquata, di cui compensano le debolezze (Magagnotti e Spinelli 2011a, Magagnotti e Spinelli 2011b). Nel presente studio abbiamo costruito e testato un sistema ottimizzato, utilizzando attrezzature all'avanguardia e non soluzioni di fortuna obsolete. In effetti, non è nuova neanche l'idea di limitare il traffico di macchine a corridoi designati e ampiamente distanziati, verso cui concentrare le piante da lavorare a macchina. Questa sta anzi diventando la norma in Germania, dove i nuovi regolamenti limitano

fortemente il traffico diffuso delle macchine forestali (FVA 2003, FSC 2018). Per questo motivo, i produttori hanno sviluppato un'ampia gamma di trattori compatti, progettati specificamente per il concentramento su brevi distanze (Berendt et al. 2018). Queste macchine sono generalmente cingolate, controllate a distanza... e molto più costose di una squadra di mulattieri (ad esempio 50-90000 € contro 10000 €). Naturalmente, questa è l'unica soluzione una volta che le squadre di mulattieri si siano estinte in una regione...ma non è il caso dell'Abruzzo, dove la riconversione al nuovo sistema integrato avrebbe molto senso e dovrebbe essere fatta il prima possibile, prima che i mulattieri scompaiano anche lì (McCabe e Tiner 1992).

Un migliore utilizzo del patrimonio zootecnico ancora disponibile nella regione ne eviterebbe l'estinzione definitiva, con grandi benefici tecnici, finanziari e culturali (Garré 2022). Naturalmente, l'attuazione del nuovo sistema richiede alcuni aggiustamenti, tra cui la riqualificazione delle squadre di mulattieri esistenti. L'esbosco a strascico non è la stessa cosa dell'esbosco a soma, e richiede competenze e attrezzature diverse. I cavalli sono più bravi dei muli nell'esbosco a strascico, ma anche questi ultimi possono essere utilizzati; hanno solo bisogno di essere riaddestrati, così come i loro conducenti. In Abruzzo, un tale sforzo di formazione potrebbe essere sostenuto nell'ambito del programma di formazione professionale recentemente lanciato dal Ministero delle Politiche Agricole e Forestali (https://www.reterurale.it/FOR_ITALY). Finora, la formazione dei boscaioli si è concentrata sull'uso della motosega, ma il secondo ciclo dello stesso programma è appena iniziato con l'ambizione di coprire una più ampia gamma di competenze. L'esbosco con animali non è ancora stato incluso tra queste, ma il CNR ha già presentato una proposta in tal senso. Tuttavia, l'aumento dell'efficienza e la riqualificazione potrebbero non essere sufficienti. Il motivo per cui i boscaioli tedeschi preferiscono spendere 100.000 € per un mini cingolato forestale piuttosto che 10.000 € per una coppia di cavalli da tiro è che questi ultimi richiedono cure costanti, mentre il mini cingolato può essere riposto in un garage quando non viene utilizzato. È quindi necessario ideare nuove soluzioni per la gestione degli animali da lavoro, in modo che i nuovi proprietari possano continuare a godersi il loro stile di vita moderno senza eccessivi sacrifici. Tra queste nuove soluzioni, si può considerare la conclusione di accordi di cooperazione con altri mulattieri o con allevamenti zootecnici convenzionali – questi ultimi ancora diffusi in tutti gli ambienti rurali.

Bibliografia

Ackerman P, Belbo H, Eliasson L, de Jong A, Lazdins A, Lyons J. 2014. The COST model for calculation of forest operations costs. *Int J For Eng* 25: 75-81.

AA.VV. 1990. Orientamenti operativi per la valorizzazione dei cedui marginali. Ministero dell'Agricoltura e Foreste, Roma. 285 p.

Baumler A, D'Aoust O, Das MB, Gapihan A, Goga S, Lakovits C, Restrepo C P, Singh G, Terraza H. 2021. Demographic Trends and Urbanization. Washington, DC: World Bank. doi:10.1596/978-1-4648-1112-9.] License: Creative Commons Attribution CC BY 3.0 IGO

<https://documents1.worldbank.org/curated/en/260581617988607640/pdf/Demographic-Trends-and-Urbanization.pdf>

Baldini S. 1987. Prove di utilizzazioni meccanizzate nelle conversioni. In: AA.VV. 1987. La conversione dei boschi cedui in alto fusto: stato attuale delle ricerche. UNIF, Viterbo. 84 p.

Baldini S, Spinelli R 1989. Utilizzazione di un bosco ceduo matricinato con esbosco effettuato da animali. *Monti e Boschi* 89 (2): 39-43.

Baldini S, Brunetti M, Spinelli R. 1995. Innovative harvesting techniques in the Italian *Quercus cerris* coppice stands. Project AIR 2 CT94-0905 MEDCOP. Consolidated Progress Report 1st year. EC DGXII Brussels, Belgium. 37 p.

Bazzani G, Viaggi D, Zanni G. 2002. Evaluation of the Recreational Uses of Rural Land: A Case Study. In: Canavari M, Caggiati P, Easter KW (eds) *Economic Studies on Food, Agriculture, and the Environment*. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0609-6_7

Berendt F, Fortin M, Suchomel C, Schweier J. 2018. Productivity, Costs, and Selected Environmental Impacts of Remote-Controlled Mini Forestry Crawlers. *For* 9, no. 10: 591. <https://doi.org/10.3390/f9100591>

Borz S, Ciobanu V. 2013. Efficiency of motor-manual felling and horse logging in small-scale firewood production. *Afr J Agr Res* 8: 3126-3135.

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.

Cantiani P, Spinelli R. 1996. Conversion to high forest of Turkey oak coppices: technical and economical assessment of the first conversion stage. *Annali Istituto Sperimentale Selvicoltura - Arezzo* 27: 191-199.

De Paul M, Bailly M. 2005. À propos de la pression exercée par les pneus, chenilles et sabots. *Forêt Wallonne* 78: 21-33.

Fabiano F. 2006. Movimentazione manuale della legna da ardere - Entità, rischi e sicurezza nell'esbosco "a soma" con trattore. *Sherwood - Foreste e Alberi Oggi* 120: 33-37.

FVA-BW. 2003. Richtlinie zur Feinerschliessung; Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg: Freiburg, Germany, 2003.6. 42 p. (in German).

FSC. 2018. Deutscher FSC-Standard. Version 3-0; FSC Deutschland: Freiburg, Germany, 2018. 21 p.

Garré A. 2022. Farming with Draft Animals: Using Retro Innovations for Sustainable Agrarian Development. A case study of organic small-scale farming in Northern Italy. Stockholm Resilience Centre - Social-ecological Resilience for Sustainable Development Master's Thesis. 94 p.

Hedman L. 1988. Skidding with horse to strip road. *Small Scale For* 2: 15-19.

Herold P, Jutta J, Scharnhözl R. 2009 *Arbeitspferde im Naturschutz*. BfN-Skripten 256, Bonn, Germany. 139 p.

Hoffmann S. 2006. Analysis of the Implementation of Horse Applications within Forestry Operations. Diploma Thesis. Fachhochschule Eberswalde. 105 p. <http://www.diplomarbeiten24.de/vorschau/110237.html>

Horn R, Vossbrink J, Becker S. 2004. Modern forestry vehicles and their impacts on soil physical properties. *Soil Till Res* 79: 207-219.

Johann E. 2021. Transportation of Wood Out of the Forest (along Short Distances). *Int J Wood Cult* 1: 80-111. <https://doi.org/10.1163/27723194-20210008>

Kizos T, Primdahl J, Kristensen L S, Busck A. 2010. Introduction: Landscape Change and Rural Development. *Landsc Res* 35: 571-576. doi: 10.1080/01426397.2010.502749.

Latterini F, Venanzi R, Stefanoni W, Picchio R. 2003. Disturbance Caused by Animal Logging to Soil Physicochemical and Biological Features in Oak Coppices: A Case-Study in Central Italy. *For* 14, 655. <https://doi.org/10.3390/f14030655>

Magagnotti N, Spinelli R. 2011a. Integrating Animal and Mechanical Operations in Protected Areas. *Croat J For Eng* 32: 489-499.

Magagnotti N, Spinelli R. 2011b. Financial and energy cost of low-impact wood extraction in environmentally sensitive areas. *Ecol Eng* 37: 601-606.

Magagnotti N, Pari L, Spinelli R. 2012. Re-engineering firewood extraction in traditional Mediterranean coppice stands. *Ecol Eng* 38: 45-50.

Magagnotti N, Kanzian C, Schulmeyer F, Spinelli R. 2013. A new guide for work studies in forestry. *Int J For Eng* 24: 249-253.

Malatinszky Á, Ficsor C, Kovács E T. 2022. Which Factors Determine the Distribution of Low-Impact Horse Logging in the Hungarian State-Owned Forests? *For* 13, 1959. <https://doi.org/10.3390/f13111959>

Malatinszky Á, Ficsor C. 2016. Frequency and Advantages of Animal-Powered Logging for Timber Harvesting in Hungarian Nature Conservation Areas. *Croat J For Eng* 37: 279-286.

McCabe, P., Tiner E. 1992. Mule logging: a dying art? *Treasures Forests*, Spring Issue: 14-15.

MASE 2023 – Ministry of the Environment and Energy Security – Homepage - <https://www.mase.gov.it/aree-protette> (Accessed 23 January 2024)

Mayer M, Job H. 2014. The economics of protected areas – a European perspective" *Zeitschrift für Wirtschaftsgeographie* 58, 73-97. <https://doi.org/10.1515/zfw.2014.0006>

QGIS. 2019. Forest Road Network Plugin For QGIS Originally written by Clement Hardy. Version 1.1., accessed October 2023 at URL <https://plugins.qgis.org/plugins/ForestRoadsNetworksUPLOAD/>

Page-Dumroese D, Jurgensen M, Terry T. 2010. Maintaining soil productivity during forest or biomass-to-energy thinning harvests in the eastern United States. *West J App For* 25: 5-11.

Picchio R, Maesano M, Savelli S, Marchi E. 2009. Productivity and energy balance in conversion of a *Quercus cerris* L. coppice stand into high forest in Central Italy. *Croat J For Eng* 30: 15-26.

Piegai F. 2005. Tagli di utilizzazione e di avviamento nei cedui quercini. *Sherwood - Foreste e Alberi Oggi* 117: 5-8.

Piegai F, Quilghini G. 1993. Esbosco a soma con trattore. (Extraction by tractor loaded as a mule). *Monti e Boschi* 1: 36–44.

Piegai F, Uzielli L, Hippoliti G. 1980. Diradamento geometrico a strisce in un ceduo di cerro: prove comparative fra sei sistemi di lavoro con vari mezzi di esbosco. *Cellulosa e carta* 31: 3-23.

Regione Abruzzo. 2015. Modello Digitale del Terreno – Risoluzione 10*10 metri, accessed October 2023 at URL. [Opendata.Regione.Abruzzo.it](https://opendata.regione.abruzzo.it)
[Modello digitale del terreno - risoluzione 10x10 metri \(regione.abruzzo.it\)](https://opendata.regione.abruzzo.it/Modello-digitale-del-terreno-risoluzione-10x10-metri-regione-abruzzo-it)

Regione Abruzzo. 2023. <https://www.regione.abruzzo.it/content/parchi> (Accessed 23 January 2024).

Rodrigues J, Schlechter P, Spychiger H, Spinelli R, Oliveira N, Figueiredo T. 2017. The XXI century mountains: Sustainable management of mountainous areas based on animal traction. *Open Agr* 2. 10.1515: 2017-2034.

Schroll E. (Editor). 2008. Holzrücken mit pferden – Handbuch für die waldarbeit mit pferden. Starke Pferde Verlag, Lemgo, Germany. 128 p.

Spinelli R, Baldini S. 1992. Utilizzazione di un ceduo quercino in stazione pianeggiante. *Cellulosa e Carta* 43: 33-41.

Spinelli R, Magagnotti N. 2011. The effects of introducing modern technology on the financial, labour and energy performance of forest operations in the Italian Alps. *For Pol Econ* 13: 520-524.

<https://doi.org/10.1016/j.forpol.2011.06.009>.

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

Spinelli R, Ebone A, Gianella M. 2014. Biomass production from traditional coppice management in northern Italy. *Biomass Bioenerg* 62: 68-73. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.01.014>.

Spinelli R, Lombardini C, Magagnotti N. 2013. Salvaging windthrown trees with animal and machine systems in protected areas. *Ecol Eng* 53: 61-67.

Spinelli R, Magagnotti N, Nati C. 2010. Benchmarking the impact of traditional small-scale logging systems used in Mediterranean forestry. *For Ecol Manag* 260 (11): 1997-2001.

Tabacchi G, Di Cosmo L, Gasparini P. 2011. Aboveground tree volume and phytomass prediction equations for forest species in Italy. *Eur J For Res* 130: 911-934.

Verani S, Sperandio G. 2003. Tre mezzi per l'esbosco di legna da ardere. *Sherwood - Foreste e Alberi Oggi* 92: 13-19.