



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
Dip. Territorio e Sistemi Agro-forestali

Corso di Laurea in Scienze Forestali e Ambientali

*ANALISI DI PRODUTTIVITÀ DELL'ESBOSCO CON ELICOTTERO
NELLE ALPI CENTRALI ITALIANE: UN CASO STUDIO*

Relatore:

Prof. Raffaele Cavalli

Correlatore:

Dott. Stefano Grigolato

Laureando:

Stefano Panizza

Matricola n. 1034751

ANNO ACCADEMICO 2012- 2013

INDICE

RIASSUNTO	5
ABSTRACT	6
RINGRAZIAMENTI	7
1. INTRODUZIONE	9
1.1. Impiego dell'elicottero nel settore forestale	9
1.2. Accessibilità delle aree forestali e impiego dell'elicottero per l'esbosco	11
1.3. Obiettivi	12
2. MATERIALI E METODI	13
2.1. Attuale diffusione dell'esbosco con elicottero in Lombardia	13
2.1.1. Impostazione dell'indagine	13
2.2. Configurazione dell'elicottero per esbosco legname.....	14
2.3. Casi studio	16
2.3.1. Cantiere Teglio	17
2.3.2. Cantiere Grosio	19
2.4. Analisi della produttività dei cantieri	20
2.4.1. Protocollo rilievo tempi.....	21
2.4.2. Organizzazione dei dati	24
2.4.3. Analisi statistica e modello di produttività.....	28
2.5. Costi di realizzazione di nuova viabilità forestale	29
2.5.1. Acquisizione dei progetti.....	29
2.5.2. Impostazione dell'analisi	30
3. RISULTATI	34
3.1. Cantieri di esbosco con elicottero in Lombardia.....	34
3.2. Modelli di produttività	39
3.3. Costi di realizzazione di viabilità forestale	47
4. DISCUSSIONE	49
4.1. Impiego dell'elicottero in aree con carenza di viabilità forestale	49
5. CONCLUSIONI	52
BIBLIOGRAFIA	55
APPENDICE A	58
APPENDICE B	63
APPENDICE C	68
APPENDICE D	71

RIASSUNTO

L'impiego dell'elicottero per l'esbosco di legname è una soluzione che può essere utilizzata nelle aree con scarsa viabilità forestale o con elevata accidentalità del terreno. Negli ultimi anni nelle Alpi centrali italiane ed in particolare in Valtellina si sta evidenziando un aumento nell'interesse all'impiego dell'elicottero nel settore forestale. L'impiego di questo sistema di esbosco è stato analizzato in dettaglio in Lombardia tramite l'elaborazione delle denunce di taglio presentate e archiviate nel Sistema Informativo Taglio Bosco (SITaB) della Regione. Inoltre per una maggiore comprensione dell'impiego sull'arco alpino italiano si è impostato un questionario da sottoporre alle aziende che offrono servizi di trasporto con elicottero.

In questo studio è stata analizzata quindi la produttività del sistema di esbosco con elicottero in due differenti condizioni: trasporto di legname fresco da aree con scarsa viabilità e trasporto di legname secco colpito da incendio (intervento di *salvage logging*). La produttività dei due cantieri di esbosco è analizzata attraverso i dati raccolti con rilievo GPS da elicottero, con i video registrati da una micro videocamera montata sull'elicottero e con i tempi misurati in campo. I modelli di produttività sono stati elaborati al fine di considerare l'influenza delle diverse variabili.

Per valutare il costo di produzione legato alla realizzazione della rete viabile necessaria per poter passare a sistemi di esbosco tradizionali, sono stati analizzati i costi di costruzione di nuove strade forestali attraverso l'analisi di 16 progetti realizzati negli ultimi anni in Valtellina.

ABSTRACT

Helicopter logging is used in timber extraction from mountainous stands with inadequate road network. Recently in Italian central Alps, especially in Valtellina, the interest in the use of helicopter in timber extraction has increased. The use of this extraction system in Lombardia region is investigated in detail through the elaboration of cutting reports recorded in the regional information system SITaB. Moreover for a better understanding on the use in the Italian Alps, a questionnaire to companies that offer helicopter transport has been set.

In the study helicopter logging was examined under two different conditions: the transportation of valuable timber from stands with inadequate road networks and the transportation of dry wood damaged by fire (salvage logging operation). The productivity of the two case studies is analyzed using data gathered with GPS survey, with video recorded by a micro video camera mounted on the helicopter and with the schedule timed in the field. Productivity models were designed in order to consider the influence of the different variables.

To evaluate the production cost of implementation of the road network necessary in order to use conventional extraction systems, the construction cost of new forest road has been evaluated through the analysis of 16 projects realized in the recent years in Valtellina.

RINGRAZIAMENTI

Ringrazio i miei genitori che hanno permesso e sostenuto i miei studi in questi 5 anni.

Ringrazio il dott. Michele Franzini del Consorzio Forestale Alta Valtellina, per la sua pazienza e disponibilità a chiarire i miei dubbi e fornirmi materiale di approfondimento.

Un particolare ringraziamento va a chi ha reso possibile lo svolgimento della mia tesi di laurea. Ringrazio l'impresa boschiva GI CI di Ciaponi Andrea, Elimast s.r.l., Elicampiglio s.r.l., dott. Fabio De Piazza, dott. Carlo Savoldelli e Maurizio Folini per aver dato la disponibilità e il supporto per effettuare i rilievi e le analisi dei due casi studio. Ringrazio la Comunità Montana Valtellina di Tirano, la Comunità Montana Valtellina di Sondrio, la Comunità Montana Alta Valtellina, il Consorzio Forestale Alta Valtellina, in particolare il geom. Enrico Colturi, e dott. Massimo Divitini per aver gentilmente fornito gli elaborati tecnici dei progetti di strade forestali. Ringrazio inoltre il dott. Simone Pini per le delucidazioni fornite riguardo alle modalità operative delle aziende che offrono servizi di trasporto con elicottero. Ringrazio mia sorella Sara per l'aiuto nei rilievi in bosco.

1. INTRODUZIONE

1.1. Impiego dell'elicottero nel settore forestale

L'elicottero può essere utilizzato nel settore forestale per l'esbosco del legname in aree con scarsa viabilità forestale o in siti sensibili al fine di limitare l'impatto al suolo e alle acque (Stampfer *et al.* 2002); può essere inoltre impiegato nei tagli selettivi nei versanti ripidi, dove la tendenza all'instabilità indotta dalle utilizzazioni forestali preclude i sistemi d'esbosco tradizionali e il taglio raso (Krag e Clark 1996).

L'elicottero è uno strumento utilizzato sia per estrarre legname di alto valore in aree poco accessibili sia per interventi di *salvage logging* in popolamenti colpiti da incendi, uragani o pullulazioni di insetti, e sta aumentando in America l'impiego nei diradamenti e in popolamenti di basso valore (Born 1995, Horcher 2008).

In nord america l'elicottero è uno strumento comune utilizzato nel settore forestale fin dagli anni '50 (Conway 1976) e attualmente si impiega principalmente in lotti di diverse migliaia di metri cubi (Heinimann e Caminada 1996). In Malesia sono stati estratti con elicottero 1,2 milioni di metri cubi dal 1993 nella foresta tropicale del Sarawak. In questo territorio è stato adottato questo sistema in accordo con la selvicoltura a piede d'albero, con lo scopo di minimizzare l'impatto sul popolamento residuo, di evitare la compattazione del suolo dovuta ai sistemi di esbosco tradizionali e di garantire una gestione sostenibile delle foreste tropicali (Bigsby e Ling 2013).

Per quanto riguarda l'europa, la Svizzera impiega regolarmente l'elicottero per l'esbosco del legname dal 1979, ed ha raggiunto una produzione annua di circa 100.000 metri cubi annui (Heinimann e Caminada 1996). Anche in Austria negli ultimi 35 anni l'estrazione del legname con elicottero è diventata un'importante alternativa di utilizzazione in aree montuose (Stampfer *et al.* 2002). In Slovacchia ultimamente si è passati dal solo utilizzo per misure di emergenza ad un impiego più comune (Messingerova e Tajbos 2006). In Turchia l'elicottero viene utilizzato per avere assortimenti di valore più elevato, evitando il depezzamento dei tronchi necessario nei sistemi di esbosco tradizionali (Akay *et al.* 2008).

In Italia c'è una ancora limitata informazione sull'uso dell'elicottero nel settore forestale così come è riportato da Manzone e Balsari (2011) e la maggior parte delle operazioni sono svolte per interventi di *salvage logging* in terreni con forte pendenza (Faccoli *et al.* 2011). Il primo studio preliminare dettagliato sull'esbosco con elicottero è stato effettuato nelle Alpi Occidentali negli anni '70 (Baldini 1977). Baldini (1977) ha evidenziato la scarsa conoscenza di questo sistema di utilizzazione: a causa della mancanza di esperienza nella preparazione dei carichi la capacità di carico non era sfruttata al meglio.

L'esbosco con elicottero è un'operazione influenzata da molteplici fattori. Dykstra (1976) riporta che il tempo di rotazione è influenzato dalla distanza dal punto di carico al punto di scarico, dalla pendenza di esbosco, dal volume per carico, dal numero di tronchi e numero di cordoli per rotazione. Heinimann e Caminada (1996) hanno proposto un modello di produttività basato sul modello di elicottero, distanza orizzontale, distanza verticale e volume dei tronchi. Gli stessi autori, hanno introdotto nel modello statistico una variabile *dummy* per evidenziare i viaggi con il ritorno dei cordoli dalla zona di sgancio alle aree di aggancio. Il ritorno dei cordoli in bosco può determinare, a parità di distanza e dislivello, un aumento del 20-25% del tempo di rotazione (Heinimann e Caminada 1996, Stampfer *et al.* 2002).

Anche l'intervento selvicolturale è un importante fattore che influisce sul rendimento del lavoro: rispetto al taglio raso, i tagli selettivi comportano una minore visibilità per il pilota e gli alberi in piedi costituiscono un ostacolo per l'elicottero (Krag e Clark 1996, Stampfer *et al.* 2002, Christian e Brackley 2007). Stampfer *et al.* (2002) hanno dimostrato l'importanza dell'esperienza del pilota: per un carico medio di 1,5 m³ un pilota esperto aumenta la produttività del 63% rispetto ad uno inesperto. Per una buona efficienza del lavoro, fondamentale è l'ottimizzazione della preparazione dei carichi e quindi lo sfruttamento della massima capacità di carico dell'elicottero (Hartsought 1985, Messingerova e Lukac 2005). Tuttavia l'ottimizzazione del carico aumenta il rischio di sovraccarico, che potrebbe obbligare il pilota a sganciare e a ricominciare la fase di aggancio verso un altro punto di carico (Stampfer *et al.* 2002). Per evitare questo inconveniente sono in uso ganci con due ingressi,

in uno dei quali viene inserito un carico *bonus* da sganciare nel caso di sovraccarico (Krag e Clark 1996, Horcher 2008); questi ganci non sono diffusi in Italia.

L'esbosco con elicottero richiede un'alta qualità della preparazione del lavoro sul cantiere (Messingerova e Lukac 2005) nonché una buona conoscenza dei fattori che influenzano i costi e la produttività dell'operazione.

1.2. Accessibilità delle aree forestali e impiego dell'elicottero per l'esbosco

La viabilità forestale rappresenta un'infrastruttura essenziale, con un ruolo multifunzionale favorendo l'accesso alle aree forestali per le utilizzazioni forestali, l'antincendio boschivo, le attività ricreative e turistiche, interventi di protezione civile e soccorso (Potočník 1996, Abdi *et al.* 2009, Jourgholami *et al.* 2012).

Le strade forestali sono parte integrante della gestione forestale e rappresentano un investimento significativo per il proprietario (Bruce *et al.* 2011). La redditività dell'utilizzazione del legname è molto influenzata dalla pianificazione, costruzione e manutenzione della viabilità (Spinelli *et al.* 2007, Cavalli e Grigolato 2010). D'altra parte, la costruzione di strade e lo strascico dei tronchi sono l'operazione più costosa e più dannosa per l'ambiente forestale, portando a compattazione del suolo, aumentando il deflusso superficiale delle acque e, quindi, l'erosione (Hayati *et al.* 2012). Infatti si deve considerare che le strade forestali, essendo queste inserite in ambienti ad elevata naturalità, interagiscono con questi con diversi effetti sia negativi che positivi (Lugo e Gucinski 2000).

Il costo di costruzione e di manutenzione di una strada forestale è in genere la componente di costo più elevata nel processo di utilizzazione del legname (Akay 2006).

Il trasporto con elicottero di legname è la tecnologia più ecologica fra tutti i sistemi correnti di estrazione: diminuisce la necessità di infrastrutture, consente di migliorare la struttura delle foreste montane, minimizza i danni al suolo, l'erosione, i danni agli alberi residui e migliora le condizioni idrologiche (Messingerova e Tajbos 2006).

Il sistema di esbosco con elicottero ha costi molto elevati (Dykstra 1975, Sloan 1994, Krag e Clark 1996, Wang *et al.* 2004, Christian e Brackley 2007, Akay *et al.* 2008, Manzone e Balsari 2011, Faccoli *et al.* 2011), che possono però essere compensati dalla elevata

produttività, dalla riduzione di costruzione di strade forestali e dalla riduzione degli impatti sul sito (Horcher 2008).

Come riporta Cielo (2003), in ambiente alpino la densità viaria ideale può variare da 20 a 35 m/ha. L'impiego dell'elicottero può consentire di esboscare legname da aree con valori decisamente inferiori di densità viaria a quelli ideali e non richiede la realizzazione di nuove strade.

Ogni strada presenta caratteristiche e standard costruttivi differenti dalle altre. Non sempre queste sono costruite in modo tale da garantire un suo utilizzo in piena sicurezza da parte di operatori forestali ed eventuali mezzi di soccorso. Una carreggiata troppo stretta, raggi di curvatura limitati, mancanza di una massicciata adeguata possono rendere difficoltoso il transito dei mezzi (Zambon, 2012). La regimazione delle acque insufficiente, la presenza di scarpate eccessivamente larghe e il mancato inerbimento di queste possono dare origine, inoltre, a fenomeni di dissesto e impatto ambientale. Ciò può portare a situazioni con un'apparente buona densità viaria in cui si rende necessario l'impiego dell'elicottero per l'esbosco del legname a causa della qualità insufficiente delle strade.

Un'attenta valutazione sul costo di costruzione delle strade forestali per favorire l'utilizzo di sistemi di esbosco tradizionali, quali l'esbosco a strascico o con gru a cavo, e l'alternativa valutazione sull'impiego dell'elicottero è opportuna in ambiti operativi montani con elevate pendenze. (Wang *et al.* 2004, Akay *et al.* 2006).

1.3. Obiettivi

Negli ultimi anni in Valtellina si sta riscontrando un aumento dell'impiego dell'elicottero per l'esbosco di legname. Questo lavoro di tesi è il primo studio condotto nelle Alpi centrali italiane e ha come obiettivo la valutazione della produttività di due specifici cantieri di esbosco.

Quindi, per valutare il costo di produzione legato alla realizzazione della viabilità forestale necessaria per permettere di utilizzare sistemi di esbosco tradizionali (a strascico o con gru a cavo), si analizzeranno i costi di costruzione di nuove strade forestali in funzione della pendenza del versante, utilizzando standard costruttivi idonei per garantire una agevole e sicura percorrenza.

2. MATERIALI E METODI

2.1. Attuale diffusione dell'esbosco con elicottero in Lombardia

2.1.1. Impostazione dell'indagine

Acquisizione e elaborazione dati SITaB (Regione Lombardia)

Dal 15 settembre 2007 la Regione Lombardia ha introdotto un sistema informatizzato per la presentazione della richiesta di taglio.

La prima procedura richiedeva un numero limitato di informazioni (massa legnosa, superficie, forma di governo e specie arboree). Nel marzo 2011 è entrata in esercizio l'ultima versione informatica, chiamata SITaB (Sistema Informativo Taglio Bosco), che prevede la georeferenziazione della zona interessata dal taglio e di eventuali impianti a fune utilizzati per l'esbosco (Tonetti 2012).

L'entrata in vigore del SITaB ha messo a disposizione una mole aggiuntiva di dati rispetto alle informazioni raccolte dalle denunce degli anni precedenti. La banca dati delle denunce effettuate dal 1 marzo 2011 ad oggi è accessibile dal geoportale cartografico della Lombardia.

Durante la procedura della denuncia è possibile inserire in un campo note la "tipologia di esbosco diverso da impianto a fune". Per conoscere l'attuale diffusione dell'esbosco con elicottero nella Regione sono state acquisite le denunce presentate dal 1 marzo 2011 al 31 dicembre 2012 che hanno indicato in questo campo note la parola chiave "elicottero/i". Tuttavia, non essendo un campo obbligatorio, è possibile che ci siano state utilizzazioni il cui esbosco è stato effettuato con elicottero senza che sia stato indicato nella denuncia. Oppure, nel caso sia stato indicato l'impiego dell'elicottero, non è noto se questo è stato impiegato per esboscare tutto il legname denunciato o solo una parte.

I dati sono stati elaborati suddividendoli per Provincia e per dimensione dei lotti, distinguendo in piccoli e grandi lotti considerando una soglia di 100 m³. I dati sono stati confrontati con i valori relativi a tutte le denunce effettuate nel medesimo periodo.

Questionario

Oltre all'analisi delle denunce di taglio è stato predisposto un questionario online, utilizzando Google Documenti, da sottoporre alle imprese che offrono il servizio di trasporto carichi esterni con elicottero.

Il questionario (Appendice A) è stato strutturato prevalentemente con domande chiuse e poche domande aperte non obbligatorie, in modo da richiedere circa 10 minuti per la compilazione. Il questionario è suddiviso in diversi argomenti:

- caratteristiche e dotazione dell'azienda;
- attività svolte;
- attività inerente il settore forestale;
- esperienza dei piloti;
- pianificazione e organizzazione attività di esbosco legname.

Il questionario fa riferimento alle attività svolte nel 2012.

Dapprima è stata fatta una ricerca di tutte le aziende italiane del Nord Italia che offrono servizi di trasporto con elicottero, quindi sono state contattate 15 aziende cui è stato poi inviato il questionario via e-mail. Inoltre, è stato inviato il questionario anche ad un'azienda svizzera per poter avere un rapido confronto indicativo con la realtà elvetica.

2.2. Configurazione dell'elicottero per esbosco legname

La configurazione per l'esbosco di legname (Figura 2.1), e in generale per il trasporto di carichi esterni, è composta da:

- elicottero: a seconda del modello utilizzato si possono avere diverse caratteristiche. Il modello di elicottero utilizzato influenzerà la capacità di carico, il consumo, la velocità e, quindi, la produttività del lavoro;
- gancio baricentrico: gancio cui viene agganciata la corda, rappresenta anche il gancio di rilascio di emergenza utilizzato per mettere in sicurezza l'elicottero in caso di pericolo generato dal carico sospeso;
- corda elettrica: può avere diversa lunghezza in funzione dell'altezza degli alberi;

- gancio elettrico: gancio in cui il carico viene agganciato manualmente dagli operatori a terra e sganciato automaticamente dal pilota;
- cordoli: utilizzati per preparare i carichi tramite strozzatura del tronco e inseriti nel gancio elettrico.



Figura 2.1 Configurazione elicottero per esbosco legname: a) elicottero; b) gancio baricentrico; c) corda elettrica; d) gancio elettrico; e) cordoli.

Il cantiere di esbosco con elicottero può essere suddiviso in cicli. Ciascun ciclo è definito con la partenza dalla piazzola di servizio, l'esecuzione di un certo numero di rotazioni, fino al ritorno alla piazzola di servizio per effettuare un nuovo rifornimento. La durata dei cicli varia

dai 60 ai 90 minuti e dipende dal consumo dell'elicottero e dalla quantità di carburante rifornita. Le rotazioni possono essere suddivise in rotazioni operative e rotazioni di servizio.

La rotazione operativa si divide in quattro elementi:

- andata: l'elicottero lascia la piazzola di deposito o di servizio e vola verso il punto di carico;
- aggancio: l'elicottero rallenta la velocità posizionandosi sopra il carico, diminuisce di quota calando il gancio in modo che gli operatori a terra possano eseguire l'aggancio, e solleva il carico;
- ritorno: l'elicottero vola con il carico agganciato verso la piazzola di deposito;
- sgancio: l'elicottero rallenta la velocità posizionandosi sopra la piazzola di deposito (lo sgancio viene sempre eseguito da valle verso monte), appoggia il carico ad un estremità, diminuisce di quota e sgancia il carico quando si trova ad un'altezza inferiore ai 2 metri circa dalla superficie.

La rotazione di servizio si ha alla fine del ciclo quando l'elicottero lascia la piazzola di deposito e vola verso la piazzola di servizio, l'elicottero atterra ed effettua il rifornimento. La durata della rotazione di servizio dipende dalla distanza tra la piazzola di deposito e la piazzola di servizio e dalla quantità di carburante rifornito.

2.3. Casi studio

In questo lavoro sono stati analizzati due casi studio, entrambi in Provincia di Sondrio (Figura 2.2). Il primo ha avuto luogo a novembre 2012 nel comune di Teglio (SO) in Val Belviso, il secondo in marzo-aprile 2013 nel comune di Grosio (SO), nelle località Poda e Menarolo. In Tabella 2.1 sono riassunte le principali caratteristiche dei due cantieri. La capacità di carico teorica indicata in tabella può essere condizionata dal peso del sistema di aggancio (gancio baricentrico, corda e gancio elettrico). Inoltre la capacità di carico teorica può essere influenzata dalla densità dell'aria, dalla temperatura dell'aria e dalla pressione barometrica e può diminuire fino al 25% (Dykstra 1975). Nei casi studio è stata osservata una temperatura dell'aria inferiore a 10 °C e ed una quota compresa tra i 1000 e i 1500 m s.l.m. con una riduzione della capacità di carico teorica tra il 3 e il 9%.

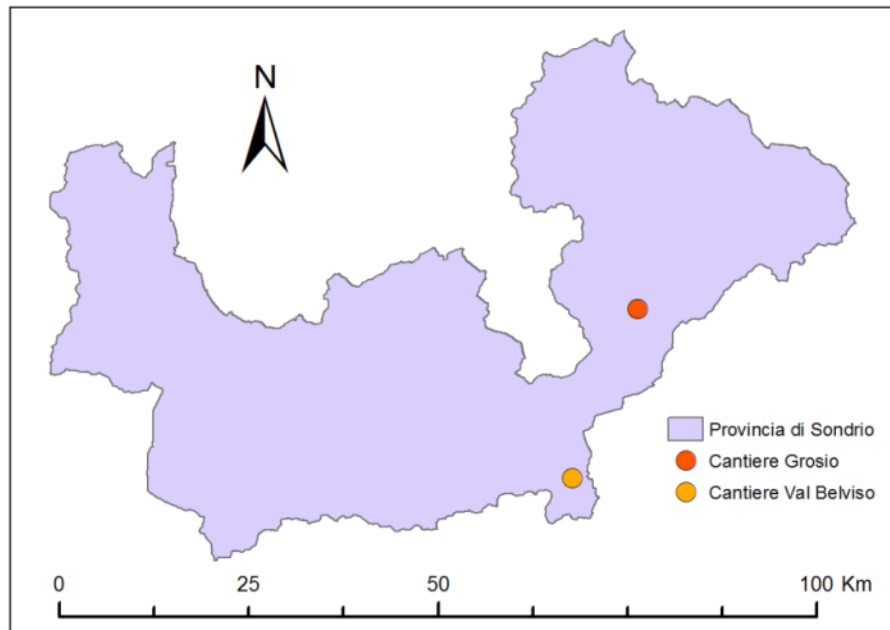


Figura 2.2 Localizzazione dei cantieri di esbosco studiati.

Le operazioni di taglio sono state operate dalla stessa ditta boschiva in entrambe le aree di studio. Il lavoro di esbosco è stato effettuato in entrambi i cantieri dallo stesso pilota, con un'esperienza di circa 8000 ore di volo al gancio di cui il 50% in operazioni di esbosco legname. Invece, nei due cantieri sono stati utilizzati due elicotteri differenti.

Tabella 2.1 Caratteristiche dei cantieri di esbosco analizzati.

	Unità	Caso studio A Legname fresco	Caso studio B Legname secco
Localazione		Val Belviso, Teglio (SO)	Poda-Menarolo, Grosio (SO)
Quota	m s.l.m.	1300 - 1600	1100 - 1500
Esposizione		E	S-SO
Composizione specifica	%	Abete rosso (80) e Larice (20)	Abete rosso (50), Pino silvestre (40) e Larice (10)
Pendenza del terreno	%	60	80
Temperatura dell'aria	°	< 10	< 10
Elicottero		Aérospatiale LAMA SA315 B	Eurocopter AS 350 B3 Ecureuil
Capacità di carico	kN	9,5	14
Lunghezza della corda	m	30	25

2.3.1. Cantiere Teglio

Il cantiere di Teglio consiste nell'utilizzazione di due lotti di circa 200 m³ ciascuno. Si tratta di una utilizzazione ordinaria di legname fresco di Abete rosso. I lotti si trovano nel versante sinistro orografico a lato della diga artificiale "Lago Belviso", mentre le piazzole di

scarico e rifornimento in destra orografica (Figura 2.3). La valle è caratterizzata da una strada camionabile, la quale si sviluppa affianco del torrente e raggiunge lo sbarramento della diga, dove si trova il primo piazzale di deposito. Da qui parte una strada trattorabile che continua verso l'interno della valle costeggiando il bacino artificiale. In prossimità del primo lotto di utilizzazione è presente una strada di accesso a due alpeggi, ma si tratta di un tracciato con carreggiata di 2,5 m e pendenze proibitive (> 20%) per lo sfruttamento a fini forestali.

La maggior parte del territorio della valle è di proprietà comunale, e presenta 13 particelle produttive per un totale di 522 ha. Queste particelle sono servite da 2,5 km di strada camionabile e 7,5 km di tracciati trattorabili, con una densità viaria (DV) di 19 m/ha. Tuttavia le particelle interessate dall'intervento di utilizzazione, trovandosi in sinistra orografica e essendoci la diga che costituisce un ostacolo, non sono servite da alcuna strada forestale.

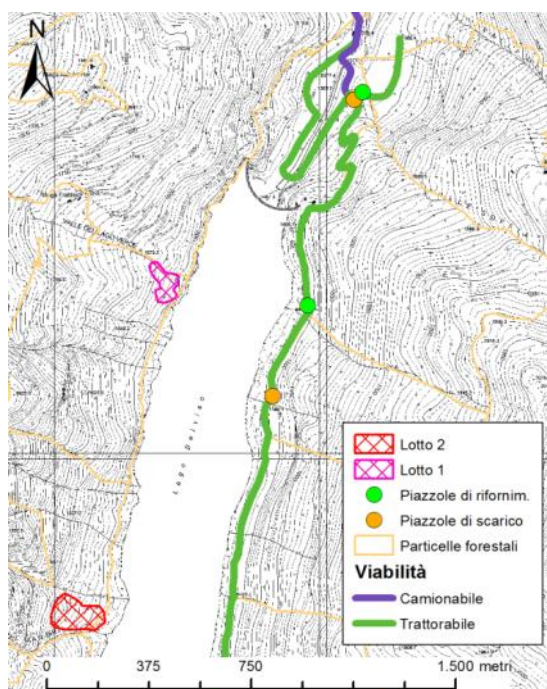


Figura 2.3. Inquadramento cantiere di Teglio.

Le operazioni di abbattimento sono state effettuate due settimane prima il cantiere di esbosco. Le piante atterrate sono state sramate e depezzate in modo da preparare carichi nell'ordine di 1 m³. In questo cantiere è stato utilizzato un elicottero Aérospatiale LAMA SA315 B, che ha una capacità di carico di 9,5 kN. Il cantiere ha avuto una durata di due giorni:

- nel primo giorno è stato utilizzato il lotto 1 ed il legname è stato stoccato nel piazzale di deposito ai piedi dello sbarramento artificiale, dove termina il tracciato camionabile. Qui il piazzale ha dimensioni sufficienti per stoccare tutto il legname esboscato, e nella stessa area si trova il piazzale di servizio per il rifornimento.
- il secondo giorno è stato utilizzato il lotto 2 ed il legname è stato sganciato sulla strada trattorabile in destra diga. Qui manca un vero e proprio piazzale di deposito ed è stato sfruttato lo spazio ai bordi della strada libero da vegetazione arborea in quanto canalone di valanga. Causa il limitato spazio per lo stoccaggio, è stato necessario l'impiego di un escavatore che movimentasse e accatastasse il legname. Il rifornimento è stato effettuato sulla strada trattorabile a 200 metri dal deposito.

2.3.2. Cantiere Grosio

Il cantiere di Grosio consiste in un intervento di *salvage logging*, con il taglio ed esbosco di legname secco colpito da un incendio boschivo nel 2005. Sono stati esboscati circa 1200 m³ di legname secco prevalentemente di Abete rosso e Pino silvestre con una quota parte di Larice. L'area è caratterizzata da elevata accidentalità e forti pendenze che rendono i lavori difficoltosi. L'area è servita in parte da una strada privata che porta al vecchio pozzo piezometrico da cui partono le condotte idriche per la centrale idroelettrica di Grosio. Più a est, nel 2007 è stato realizzato un nuovo tracciato con finalità di antincendio boschivo, che tuttavia non ha standard sufficienti per poter essere utilizzato a scopi forestali. A monte si trova la strada che porta alle località Poda e Menarolo. Dalla mappa in Figura 2.4 è possibile osservare come l'area di intervento sia apparentemente ben servita dalla rete viabile, con un'elevata densità viaria. In questo cantiere la scelta di impiegare l'elicottero è dovuta ai bassi standard della viabilità presente e all'elevata accidentalità del terreno, con elevate pendenze e frequenti salti di roccia.

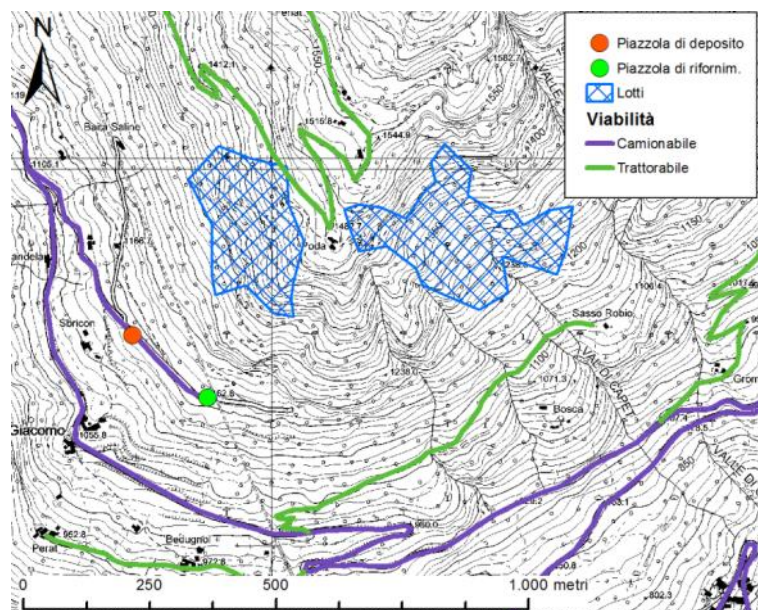


Figura 2.4 Inquadramento cantiere di Grosio.

Le operazioni di abbattimento sono state effettuate in Dicembre 2012 - Gennaio 2013, mentre le operazioni di esbosco a fine Marzo- inizio Aprile 2013. L'esbosco ha considerato il trasporto a pianta intera. A causa dell'avanzato stato di degrado delle piante a seguito del lungo periodo (8 anni) intercorso tra l'incendio e il momento dell'esbosco, le piante presentavano pochi rami ed una condizione di legno secco. Questa situazione comportava la rottura dei rami sia nella fase di aggancio e sollevamento da terra che nella fase di trasporto e soprattutto nella fase di sgancio.

In questo cantiere è stato utilizzato l'elicottero Eurocopter AS 350 B3 Ecureuil, con una capacità di carico massima di 14 kN. Il cantiere ha avuto una durata di 5 giorni. Il piazzale di deposito si trova sulla strada privata e, causa la natura del materiale esboscato (curvo e ramoso), è stato necessario l'impiego dell'escavatore per liberare il piazzale. Il rifornimento è stato effettuato in prossimità del pozzo piezometrico.

2.4. Analisi della produttività dei cantieri

In entrambi i cantieri la squadra di esbosco era composta da operatori esperti, ed includeva dipendenti della ditta boschiva e dipendenti dell'impresa di trasporto con elicottero: il pilota, almeno due operatori per ogni punto di aggancio e almeno un operatore alla piazzola di scarico.

Gli operatori all'aggancio erano responsabili per la selezione dei tronchi, la preparazione dei carichi e il raggiungimento del carico ottimale trasportabile dall'elicottero; erano composti da un tecnico dell'impresa di trasporto con elicottero, che si occupava dell'aggancio del carico e la preparazione dei cordoli, e uno o due operatori della ditta boschiva che aiutavano nella preparazione dei carichi ed eventualmente depezzavano i tronchi con motosega nel caso in cui fossero troppo pesanti.

L'operatore allo scarico si occupava principalmente del recupero dei cordoli dai carichi sganciati dal pilota. Dopo alcune rotazioni l'operatore allo scarico agganciava i cordoli preparati a mazzi di 10-20, così che il pilota potesse ritomarli in bosco e permettere agli operatori all'aggancio di preparare i carichi successivi. Lo stesso operatore si occupava anche del rifornimento, poiché la piazzola di rifornimento non era troppo distante dalla piazzola di servizio.

2.4.1. Protocollo rilievo tempi

Per entrambi i cantieri la raccolta dati è stata fatta durante le operazioni di esbosco seguendo due giornate per il cantiere di Teglio e tre giornate per il cantiere di Grosio. Al cantiere in Val Belviso (Teglio) sono inoltre precedute due giornate di rilievi in bosco in cui ogni carico è stato numerato e georeferenziato con GPS GARMIN® 62 Cs. Questa operazione è stata finalizzata a verificare successivamente tramite analisi GIS la corrispondenza tra il percorso GPS dell'elicottero durante le rotazioni e la posizione dei carichi agganciati.

Per poter rilevare tutti gli spostamenti dell'elicottero, è stato installato in cabina un GPS GARMIN® 62 Cs, con l'acquisizione della posizione con intervallo di un secondo (Horcher e Visser 2011). Inoltre per 4 ore di volo è stata installata una micro videocamera sullo specchietto dell'elicottero, in modo da riprendere le operazioni dal punto di vista del pilota (Figura 2.5).



Figura 2.5 Fotogramma della ripresa video da elicottero che mostra l'istante dell'aggancio del carico.

Per la raccolta dati nel cantiere in Val Belviso sono stati impiegati tre rilevatori:

- due rilevatori per ottenere numero identificativo, lunghezza e diametro dei tronchi sganciati ad ogni rotazione;
- un rilevatore con palmare, dotato di *software* UMT – Laubress®, per registrare le note e le variabili comunicate dai rilevatori sul materiale sganciato, misurare i tempi di rotazione e le altre fasi accessorie come i tempi di rifornimento o i tempi morti (meccanici e operativi).

Per ogni rotazione è stato rilevato il tempo in secondi, i numeri identificativi dei tronchi trasportati, numero di cordoli utilizzati, il peso del carico, lunghezza dei tronchi con cordella metrica, diametro a metà lunghezza con cavalletto dendrometrico. L'inizio e la fine della rotazione è stata definita con l'istante del rilascio del carico. Inoltre è stato predisposto un campo note in cui indicare se viene effettuato il ritorno dei cordoli o se sono stati

evidenziati problemi nella fase di aggancio o sgancio. Oltre alle rotazioni operative sono stati rilevati i tempi di rifornimento e di eventuali tempi morti. Sono stati considerati “tempi morti” i tempi che non fanno parte né della rotazione operativa né del rifornimento, come ad esempio il verificarsi di problemi al gancio elettrico (meccanico), il recupero di un carico non sganciato correttamente nella piazzola di scarico (operativo) o il trasferimento con elicottero degli operatori da un lotto di utilizzazione al successivo (operativo).

Per il cantiere di Grosio non sono stati fatti i rilievi pre-esbosco di numerazione e georeferenziazione dei carichi, in quanto già constatata l’affidabilità del rilievo GPS da elicottero nell’identificazione dei percorsi. Nel cantiere di Grosio la raccolta dati è stata eseguita in modo simile al cantiere precedente, senza però effettuare la cubatura dei carichi: causa la ramosità e sinuosità dei tronchi la cubatura con cavalletto dendrometrico e cordella metrica risultavano pressoché impossibili avendo solamente circa due minuti di tempo tra una rotazione e la successiva. Per questo motivo per la prima giornata la misura dei carichi è stata fatta tramite le comunicazioni radio del peso dal pilota. Per la seconda e terza giornata è stata installata la micro videocamera ottenendo il filmato del display della cella di carico per 3 cicli successivi (circa 3 ore di volo), da cui è possibile estrarre i pesi dei carichi per ogni rotazione (Figura 2.6). Non dovendo effettuare la cubatura, per questo cantiere è stato sufficiente un solo rilevatore con palmare, dotato di *software* UMT – Laubress®.

Per ciascun cantiere sono state campionate alcune rotelle di legname per poter dedurre in laboratorio densità e contenuto idrico.



Figura 2.6 Fotogramma della ripresa video in elicottero che mostra il display della cella di carico.

2.4.2. Organizzazione dei dati

I dati utilizzati per questo lavoro sono stati estratti dai dati del rilievo GPS da elicottero, mentre i tempi presi con *software* UMT – Laubrass® sono stati utilizzati come ausilio e verifica dei dati GPS. In Appendice B è riportato un estratto della banca dati del rilievo GPS.

I volumi dei carichi del cantiere di Teglio sono stati calcolati con l'utilizzo della formula di Huber:

$$V = \frac{D_{1/2h}^2 \cdot \pi}{4} \cdot L \quad (1)$$

dove

$D_{1/2h}$ = diametro a metà altezza, m

L = lunghezza del carico, m

I dati GPS in formato .gpx sono stati convertiti in formato .shp e quindi esportati in un foglio di calcolo excel. Per ciascun punto sono note coordinate 'xy', altitudine e orario. Dalle coordinate 'xy' sono state calcolate le distanze percorse in ciascun secondo, quindi la velocità in m/s e in km/h. Osservando l'andamento delle velocità e con l'ausilio dei tempi

rilevati con *software* UMT– Laubress®, sono state estratte tutte le rotazioni operative, le rotazioni di servizio e i tempi morti. Per ciascuna rotazione sono state quindi estratte le diverse fasi. Horcher (2008) e Horcher e Visser (2011) hanno estratto le fasi sulla base della distanza dal punto di carico (20 m) e dal punto di scarico (30 m). In questo lavoro si è ritenuto più corretto estrarre le fasi in funzione della velocità e dell’andamento della quota, poiché, a seconda delle situazioni, il pilota può prepararsi all’aggancio o allo sgancio effettuando la decelerazione a distanze variabili dal punto di carico. La definizione delle fasi di aggancio e sgancio è stata possibile grazie all’osservazione dei video registrati con la micro videocamera montata sull’elicottero (Figura 2.5). Sono state osservate 40 rotazioni e, abbinandole ai punti registrati con GPS, sono state quindi così definite le due fasi (Figura 2.7):

- aggancio (*hook*): tempo in prossimità del punto di aggancio in cui l’elicottero rimane ad una velocità inferiore ai 15 km/h;
- sgancio (*landing*): tempo in prossimità della piazzola di deposito da quando l’elicottero scende sotto i 30 km/h fino all’istante del rilascio del carico.

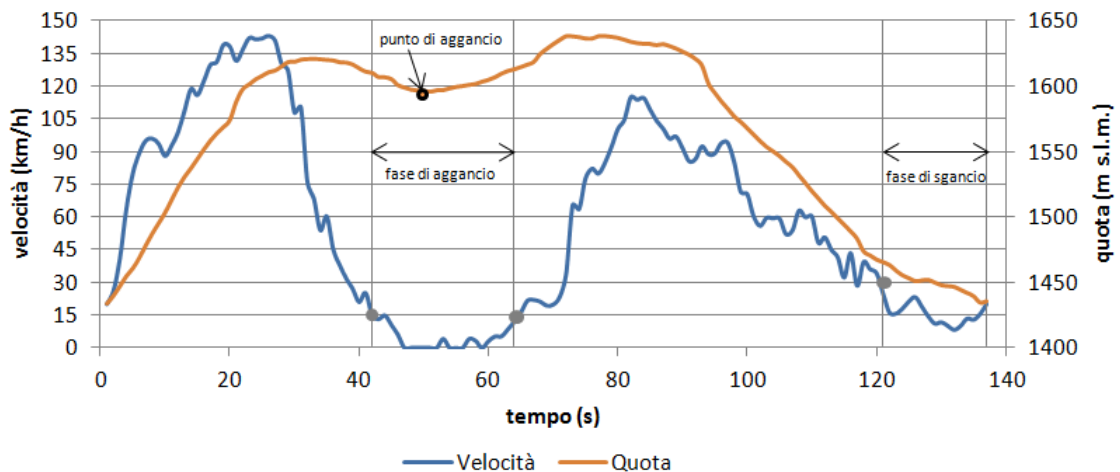


Figura 2.7 Andamento della velocità e della quota dell’elicottero di una rotazione e individuazione della fase di aggancio, fase di sgancio e punto di aggancio.

Completata la determinazione delle diverse fasi, per facilitare la visualizzazione in ambiente GIS, sono state esportate in formato .shp le rotazioni in gruppi di 20 (Figura 2.8). Per ciascuna rotazione è stato individuato tramite GIS il punto di carico, osservando nei punti

appartenenti alla fase di aggancio quello in cui vi è la quota minima e in cui è evidente un cambio di direzione della traiettoria (Figure 2.7 e 2.9). I punti delle posizioni dei carichi rilevati per il cantiere in Val Belviso hanno confermato la correttezza di questo metodo di individuazione del punto di carico.

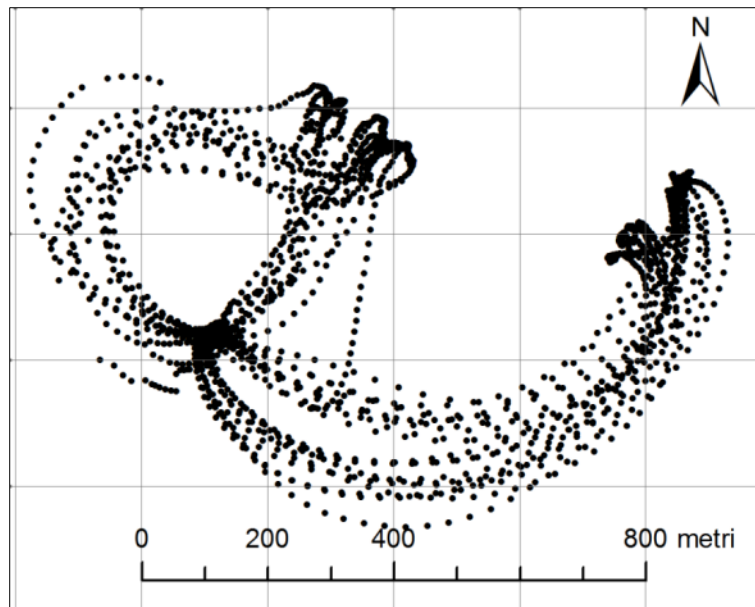


Figura 2.8 Per facilitare la visualizzazione in GIS le rotazioni sono state esportate in formato .shp in gruppi di 20.

Noto il punto di carico di ogni rotazione sono stati calcolati (Figura 2.10):

- la distanza realmente percorsa dall’elicottero dal punto di scarico all’aggancio (DistFlyOut);
- la distanza realmente percorsa dal punto di aggancio allo scarico (DistFlyIn);
- la distanza lineare tra il piazzale e il punto di carico (HorDist);
- il dislivello tra il piazzale e il punto di carico (ElevChange);
- pendenza di esbosco (Slope).

L’insieme delle variabili numeriche e temporali dedotte sono riassunte in Tabella 2.2, mentre in Appendice C è riportato un estratto dell’organizzazione dei dati.

Tabella 2.2 Descrizione delle variabili numeriche e componenti temporali dedotte da dati GPS e da rilievi in campo.

Elementi temporali		Unità
FlyOut	Tempo produttivo per l'elicottero per volare dal piazzale fino all'inizio della fase di aggancio (volo senza carico)	s
FlyIn	Tempo produttivo per l'elicottero per volare dalla zona di aggancio al piazzale (volo con carico)	s
Hook	Tempo produttivo sulla zona di aggancio (velocità < 15 km h ⁻¹)	s
Landing	Tempo produttivo in prossimità del piazzale di deposito (velocità < 30 km h ⁻¹)	s
CycleTime	Tempo dell'intera rotazione	s
Covariabili		Unità
Load	Peso del carico esterno misurato dalla cella di carico dell'elicottero	kg
Den	Densità media dei tronchi trasportati in funzione delle rotelle campionate in piazzale	kg/m ³
Vol	Volume medio per rotazione calcolato in funzione del peso del carico e della densità delle rotelle campionate	m ³
nVol	Numero di tronchi trasportati per rotazione	
HorDist	Distanza lineare orizzontale tra il punto di carico e il piazzale	m
DistFlyOut	Distanza planimetrica realmente percorsa dal punto di scarico all'aggancio	m
DistFlyIn	Distanza planimetrica realmente percorsa dal punto di aggancio allo scarico	m
ElevChange	Dislivello dal piazzale al punto di carico	m
Slope	Pendenza di esbosco	%
Fattori		Unità
Hk	Aggancio (difficoltoso = 1; regolare = 0)	0/1
Ck	Volo di ritorno con i cordoli (1) o senza i cordoli (0)	0/1
Altri dati		
Cycle	Numero consecutivo per sincronizzare i dati rilevati con GPS con le registrazioni da palmare	

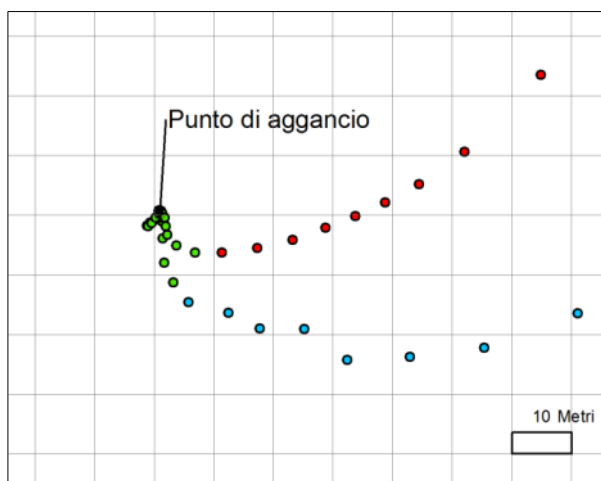


Figura 2.9 Individuazione punto di aggancio.

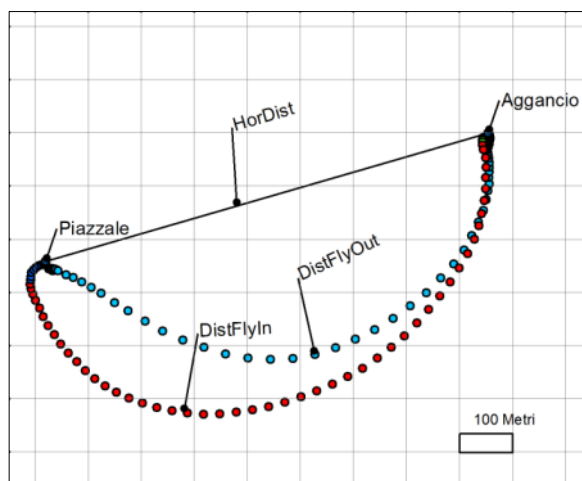


Figura 2.10 Rappresentazione delle variabili dedotte da analisi GIS da dati GPS.

2.4.3. Analisi statistica e modello di produttività

Prima di eseguire l'analisi statistica sono state filtrate dal set di dati le rotazioni ritenute anomale: tutte le prime rotazioni di ogni ciclo, le rotazioni in cui sono state registrate velocità non verosimili e le rotazioni con errori dei punti GPS non accettabili (punti di aggancio che ricadono fuori dall'area interessata dall'intervento).

L'analisi statistica è stata eseguita utilizzando il *software* Statgraphics® Centurion XVI (Versione 16.1.07), applicando il test MANOVA per l'analisi di multivarianza e la regressione lineare. È stata condotta la comparazione multipla di Sheffe sui tempi delle fasi di aggancio e di sgancio per entrambi i casi studio. La comparazione delle medie è stata fatta sulla base di un livello di significatività di 0,05.

Per la determinazione del modello sono state individuate, tra le variabili dedotte da dati GPS e rilievi di campo, quelle che restituiscono una maggiore attendibilità. Tra i modelli di produttività riportati in altri lavori (Dykstra 1975, 1976, Heinemann e Caminada 1996, Stampfer *et al.* 2002) è stata utilizzata come variabile spaziale la distanza lineare orizzontale (HorDist). In questo lavoro, avendo a disposizione i dati GPS degli spostamenti effettuati dall'elicottero, è stata utilizzata la variabile della distanza reale (DistFlyIn).

2.5. Costi di realizzazione di nuova viabilità forestale

2.5.1. *Acquisizione dei progetti*

L'analisi dei costi è stata fatta a livello di comprensorio territoriale, in modo da avere un'area studiata abbastanza ampia entro la quale ci sia un'omogeneità a livello di caratteristiche morfologiche, nonché di gestione forestale.

Il territorio analizzato in questo studio è la Valtellina. La prima parte dello studio consiste nella raccolta dati. È stata fatta una richiesta di progetti realizzati negli ultimi anni agli enti locali (Comunità Montana Valtellina di Sondrio, di Tirano e dell'Alta Valle), ad un consorzio forestale e a dottori forestali liberi professionisti.

Per un'analisi appropriata, i progetti devono essere completi di elaborati tecnici, quali planimetria, profilo longitudinale e sezioni trasversali, computo metrico e dove possibile anche la relazione tecnica. I diversi progetti forniti sono stati quindi filtrati, utilizzando solamente quelli con caratteristiche costruttive idonee al lavoro e completi di tutti gli elaborati tecnici necessari. Sono stati acquisiti e analizzati 16 progetti, per un totale di 25,8 km di strade e oltre 1000 sezioni trasversali. I progetti coprono un'area che va dal comune di Berbenno al comune di Valdidentro, in Figura 2.11 è rappresentata la localizzazione delle strade analizzate.

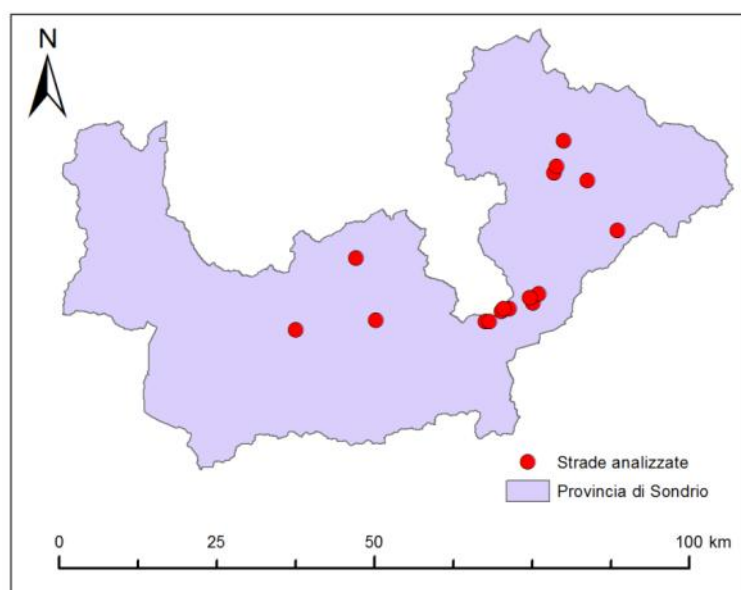


Figura 2.11 Localizzazione delle strade analizzate.

2.5.2. *Impostazione dell'analisi*

Per ogni strada è stato creato un foglio di calcolo suddiviso in due parti: una con le caratteristiche costruttive e l'altra dove sono calcolate le diverse voci di costo (Appendice D). Le caratteristiche costruttive sono analizzate per ogni singola sezione trasversale di progetto.

Le informazioni prese in considerazione per ogni progetto sono riassunte nella Tabella 2.3.

Il costo di costruzione è calcolato a livello di tratto, sulla base delle voci presenti nel computo metrico di ogni progetto, raggruppandole nelle seguenti categorie:

- Apertura del tracciato: abbattimento, allestimento e accatastamento ai lati della strada della vegetazione arborea che insiste all'interno della fascia di esbosco. Non è compresa l'estirpazione delle ceppaie.
- Sbancamento e sistemazione scarpate: scavo di sbancamento per la formazione della sede stradale in terreni di qualsiasi natura e consistenza, esclusa la roccia dura e trovanti di dimensione superiore a 1 m^3 , estirpazione delle ceppaie, trasporto del materiale all'interno del cantiere, riporto del materiale di risulta per la formazione dei rilevati, scoronamento e regolarizzazione del profilo delle scarpate.
- Scavo in roccia: scavo di sbancamento in roccia e demolizione di trovanti superiori a 1 m^3 e trasporto del materiale all'interno del cantiere.
- Pavimentazione-formazione della massiciata: realizzazione strato minimo di 20 cm con materiale di adeguata pezzatura avente diametro massimo 60 mm compreso il costipamento a umido e scarifica.
- Inerbimento scarpate: fornitura e semina di specie erbacee.
- Opere di trattenuta e sostegno: realizzazione di scogliere, gabbionate, palizzate, palificate, muratura in calcestruzzo armato, terre rinforzate e reti di trattenuta, compreso lo scavo di fondazione.
- Regimazione delle acque: posa di canalette trasversali e/o longitudinali per lo smaltimento delle acque superficiali.
- Voci accessorie: eventuali costi di singole opere, quali ponti, guadi, tratti con pavimentazione particolare (selciato, ciottolato, battuta di cemento, asfalto, ...),

tombini, piazzole e piazzali. Questa categoria di costi non rientra nel calcolo dei costi di costruzione delle strade.

Tabella 2.3 Informazioni prese in considerazione per ciascun progetto.

Dati sezione trasversale	Unità misura
Sigla progettista	
Sigla strada	
N. sezione	#
Larghezza carreggiata	m
Pendenza versante	%
Distanza progressiva	m
Larghezza apertura tracciato	m
Area di scavo terreno sciolto	m ²
Area di scavo in roccia	m ²
Larghezza scarpate	m
Altezza opere di sostegno/trattenuta	m
Dati tratto	
Sigla progettista	
Sigla strada	
n. tratto	
Larghezza carreggiata	m
Pendenza media versante	%
Lunghezza tratto	m
Pendenza tratto	m
Percentuale scavo in roccia	%
Tornante	Presenza/assenza
Copertura arborea	Presenza/assenza
Opere di sostegno/trattenuta	Presenza/assenza
Lunghezza opere di sostegno/trattenuta	m

Sono calcolate con la formula di Torricelli (2) le quantità relative ad ogni categoria a livello di tratto. Moltiplicando tali quantità con le relative voci presenti nel prezzario/computo metrico si ottiene il costo di realizzazione del tratto. Il costo ottenuto viene diviso per la lunghezza del tratto così da ottenere il costo unitario per metro lineare.

$$V_{tratto} = \frac{V_1 + V_2}{2} \cdot L \quad (2)$$

dove:

V_{tratto} = quantità (superficie,volume) della categoria calcolata a livello di tratto;

$V_1;V_2$ = quantità (larghezza, superficie) della categoria per la sezione iniziale e finale del tratto;

L = lunghezza del tratto.

Si è scelto di eseguire il calcolo dei costi per la costruzione di strade con standard idonei per l'utilizzo che queste dovranno avere, ovvero strade sfruttate regolarmente adatte al transito di autocarri.

Gli standard considerati sono:

- Apertura tracciato: larghezza di esbosco maggiorata di un metro a monte rispetto all'area di interesse della strada, per non compromettere la stabilità delle piante e non intaccare l'apparato radicale durante le operazioni di sbancamento (Hippoliti, 2003);
- Pavimentazione – massicciata stradale: carreggiata di 3 metri di larghezza, composta da uno strato minimo di 20 cm costituito da materiale siliceo avente granulometria assortita con dimensione massima degli elementi di 60 mm;
- Regimazione delle acque: canalette trasversali classiche con densità variabile in relazione alla pendenza del tratto come in Tabella 2.4 (Hippoliti, 2003);

Tabella 2.4 Spaziatura tra canalette trasversale in relazione alla pendenza del tratto stradale.

Pendenza	Spaziatura
%	m
6	50
8	42
10	38
12	33
14	29
16	26
18	23
20	21
22	20

- Inerbimento scarpate operata tramite idroseminatrice con miscela di sementi autoctoni, fertilizzanti e ammendanti;
- Opere di sostegno quali scogliere, gabbionate, palizzate, murature a seconda di quanto indicato nel progetto.

Tabella 2.5 Voci utilizzate nell'analisi di costo.

Voce di costo	Valore	Unità di misura
Apertura tracciato	1	€/m ²
Sbancamento	8,71	€/m ³
Scavo in roccia	36,36	€/m ³
Formazione massiciata (pietrisco siliceo)	3,88	€/m ²
Inerbimento scarpate	2	€/m ²
Canalette trasvertale	50	€/m
Scogliera con massi ciclopici	54,12	€/m ²
Gabbionata	115,69	€/m ³
Muratura in cls	234	€/m ³

Le voci di costo impiegate sono state scelte in funzione delle voci utilizzate nei computi metrici dei diversi progetti e dai valori riportati dai prezziari regionali (Prezziario dei lavori forestali - Regione Lombardia 2011, Prezziario delle opere pubbliche - Regione Lombardia 2011) e sono riportate in Tabella 2.5.

I costi al metro lineare ottenuti per ogni tratto di strada sono stati raggruppati per classi di pendenza con scarto del 10%. I dati di ogni classe di pendenza sono mediati per ottenere un valore medio di costo al metro per ogni voce. I dati sono stati inseriti in un istogramma così da poter osservare la variazione delle voci di costo di ogni categoria all'aumentare della pendenza del versante.

3. RISULTATI

3.1. Cantieri di esbosco con elicottero in Lombardia

In Lombardia, dal sistema informatizzato delle denunce di taglio (SITaB), risulta che sono stati utilizzati circa 394 000 m³ di legname dal 01/03/2011 al 31/12/2011 e circa 594 000 m³ nel 2012 (Tabella 3.1). In questi due anni sono stati denunciati circa 16 000 m³ di legname esboscato con ausilio di elicottero, per un totale di 45 denunce. Considerando i dati relativi solamente alle province caratterizzate da rilievi montuosi, non avendo senso l'utilizzo dell'elicottero in pianura, risulta che in media negli anni 2011 e 2012 l'1,78% del legname denunciato è stato esboscato con utilizzo dell'elicottero. Considerando le denunce superiori a 100 m³, la percentuale di utilizzo dell'elicottero sale al 3,74%. In Tabella 3.1 sono riassunti alcuni dati relativi alle denunce di taglio, e in Figura 3.4 si può vedere la distribuzione e la dimensione delle utilizzazioni con elicottero nella Regione.

Tabella 3.1 Dati relativi alle denunce di taglio presentate dal 1/03/2011 al 31/12/2012.

Provincia	2011 (1/03-31/12)		2012		Denunce con indicato l'utilizzo dell'elicottero (2011-2012)				
	m ³	lotti > 100 m ³	m ³	lotti > 100 m ³	n	m ³	lotti >100 m ³	%	% lotti >100 m ³
Bergamo	88941	40259	107152	43013	18	3100	2767	1,58	3,32
Brescia	86351	41964	137157	72508	4	8511	8476	3,81	7,40
Como	40314	15272	66385	22093	3	619	541	0,58	1,45
Cremona	1022	328	2099	655					
Lecco	21828	6611	38196	12138					
Lodi	296	0	623	125					
Mantova	239	164	5412	5113					
Milano	10429	4883	12112	5502					
Monza Brianza	3481	350	5286	230					
Pavia	18350	7543	30698	16335					
Sondrio	68999	42956	89589	54236	19	3742	3496	2,36	3,60
Varese	53784	16524	99222	40649	1	51	0	0,03	0,00
Totale	394034	176854	593931	272597	45	16023	15280	1,78	3,74

Il 91% degli interventi in termini di superficie ha interessato boschi governati a fustaia (Figura 3.1). In Figura 3.2 si può osservare come l'uso dell'elicottero riguardi maggiormente gli interventi di *salvage logging*, mentre il 24% ha riguardato tagli di utilizzazione ordinaria, dato confermato anche dai risultati del questionario. Altra informazione interessante è il quasi totale impiego dell'elicottero da parte di proprietari pubblici (Figura 3.3).



Figura 3.1 Forma di governo dei boschi interessati da esbosco con elicottero.

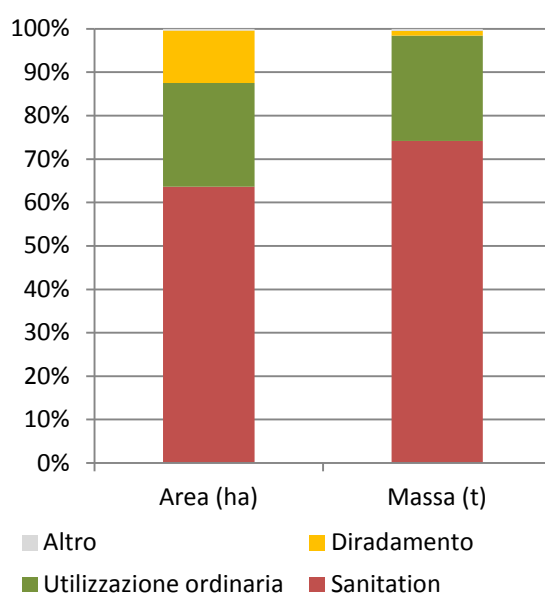


Figura 3.2 Tipo di intervento dei cantieri di esbosco con elicottero.

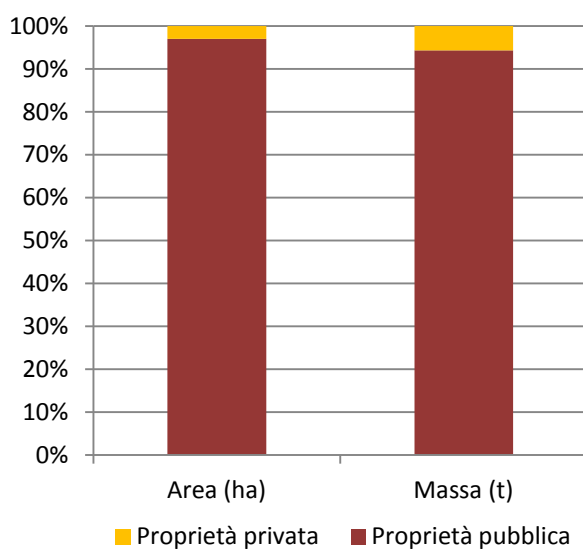


Figura 3.3 Tipo di proprietà dei boschi interessati da esbosco con elicottero.

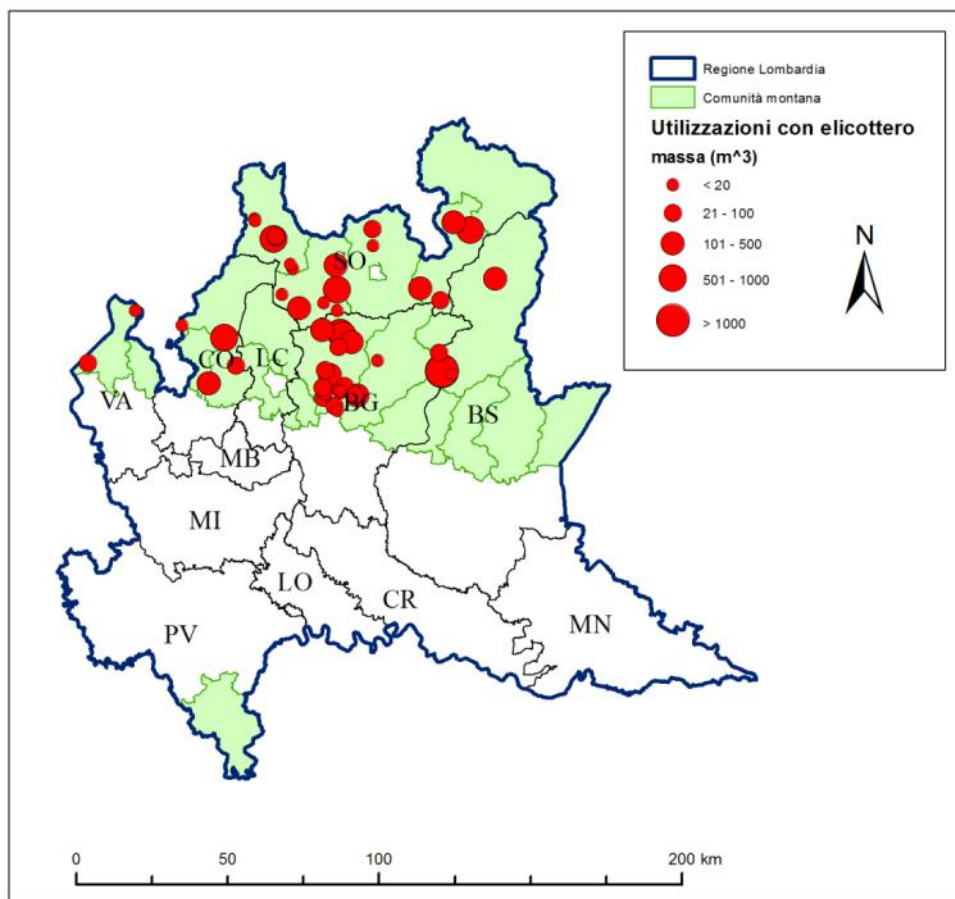


Figura 3.4 Distribuzione degli interventi di utilizzazione con elicottero.

Per quanto riguarda il questionario sottoposto alle imprese che offrono servizi di trasporto con elicottero, su 15 imprese contattate solamente 6 hanno risposto, di cui 2 hanno comunicato di non aver effettuato interventi di esbosco legname nel 2012 e 4 hanno compilato il questionario (tre italiane e una svizzera).

Tre imprese hanno come principale attività il trasporto di carichi esterni con gancio baricentrico, mentre la restante si occupa principalmente di interventi di soccorso (antincendio boschivo, soccorso alpino, 118, protezione civile) (Figura 3.5). Tutte le imprese utilizzano principalmente elicotteri leggeri e il più impiegato per il trasporto di carichi esterni con gancio baricentrico è l'Ecureuil AS 350 B3. I cantieri di esbosco si trovano prevalentemente entro un raggio di 100 km dalla sede operativa dell'azienda.

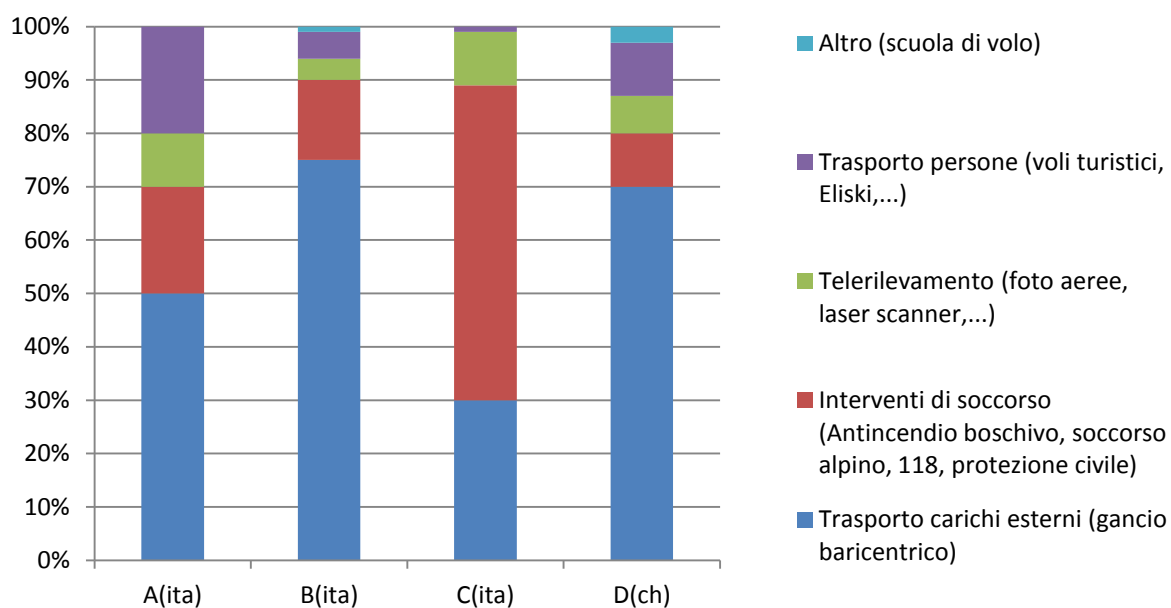


Figura 3.5 Distribuzione percentuale del lavoro svolto dalle imprese (2012).

Le imprese con attività principale di trasporto al gancio baricentrico hanno tutte lo stesso rapporto di ore di esbosco legname e di interventi a supporto delle imprese boschive rispetto alle ore totali di operatività. L'impresa svizzera, però, in termini quantitativi effettua più ore di esbosco legname e di interventi a supporto delle imprese boschive (Figura 3.6). Il maggior impiego dell'elicottero in svizzera è confermato dal numero di interventi effettuati (Figura 3.7).

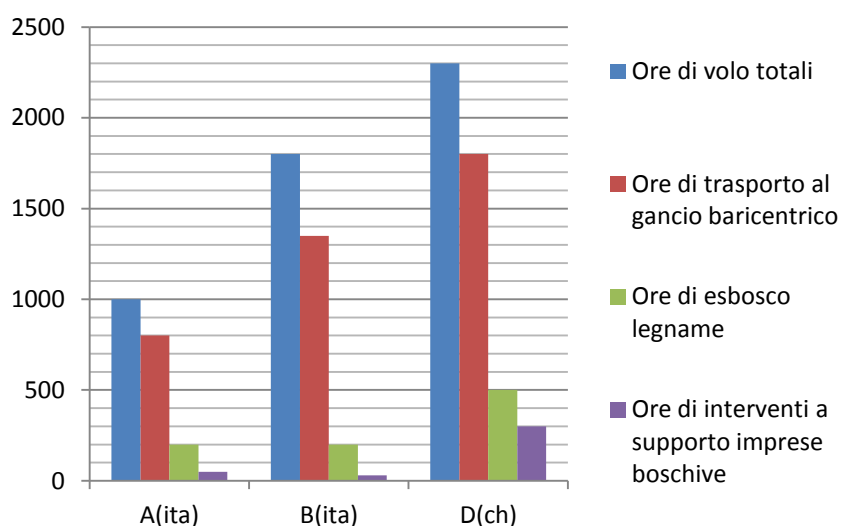


Figura 3.6 Ore di lavoro svolte dalle imprese (2012).

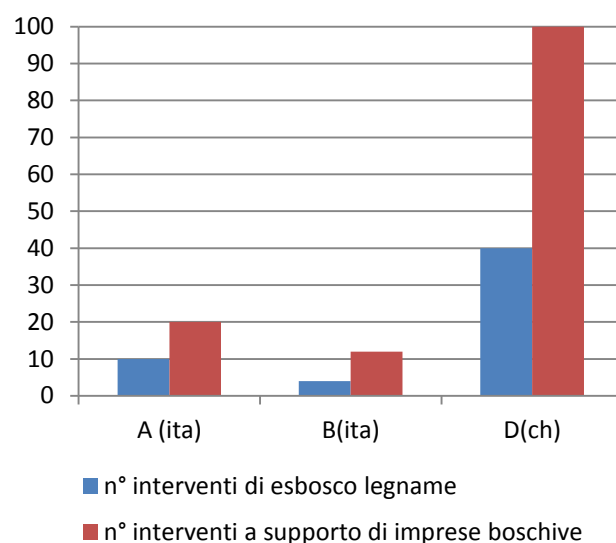


Figura 3.7 Numero di interventi di esbosco legname e a supporto delle imprese boschive (2012).

L'esperienza dei piloti è per tutte le aziende superiore alle 4000 ore, di cui in media 1500 ore di trasporto legname (Figura 3.8).

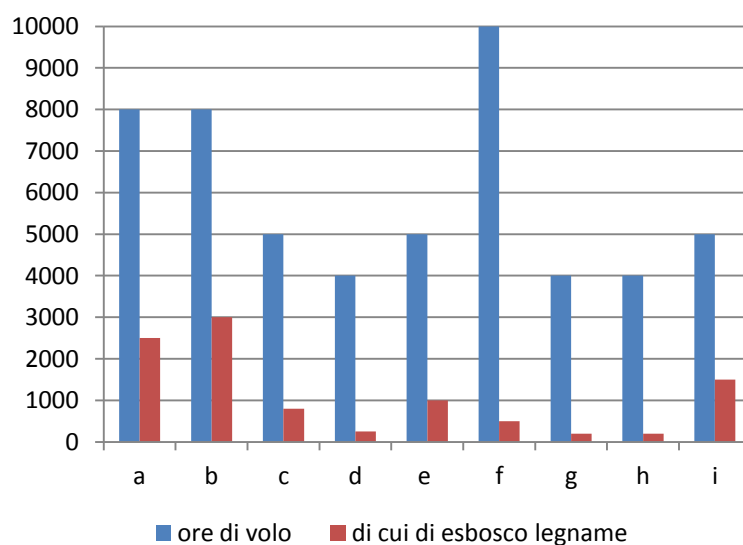


Figura 3.8 Esperienza dei piloti delle diverse imprese.

Dai questionari oltre a dati quantitativi sono emerse altre informazioni. Gli interventi si concentrano prevalentemente nel periodo autunnale, e la durata dei cantieri di esbosco può variare dalle poche ore a più di una settimana, ma la maggior parte ha una durata di 3 giornate. Tra i fattori che influenzano negativamente la produttività del cantiere e le condizioni operative sfavorevoli sono stati indicati:

- le dimensioni dei piazzali di deposito e di rifornimento limitate, lunga distanza tra piazzale e lotto da esboscare, presenza di ostacoli (i.e. linee elettriche);
- la presenza di bosco fitto, terreno ripido e bagnato o coperto da neve;
- la presenza di vento sfavorevole, riflesso del sole;
- l'inesperienza dell'impresa boschiva, cattiva preparazione dei carichi.

Questi fattori sono estremamente variabili e perciò difficili da quantificare e modellizzare.

3.2. Modelli di produttività

Per il caso studio di Teglio, taglio di utilizzazione di legname fresco di Abete rosso, esboscato con elicottero Aérospatiale LAMA SA315 B, sono state analizzate 13,4 ore di cantiere. Per il caso studio di Grosio, taglio fitosanitario di legname secco colpito da incendio, esboscato con elicottero Eurocopter AS 350 B3 Ecureuil, sono state analizzate 14,5 ore di cantiere. La distribuzione dei tempi rilevati in campo con palmare sono rappresentati in Figura 3.9 (caso studio Teglio) e in Figura 3.10 (caso studio Grosio). La distribuzione è pressoché uguale per entrambi i cantieri:

- 91% esbosco effettivo (tempo operativo);
- 6,5% rifornimento;
- 1% riscaldamento;
- 0,5% tempo morto inevitabile (problemi al gancio elettrico);
- 1% tempo morto evitabile (perdita del carico al piazzale di deposito, volo di ricognizione area da esboscare, trasferimento operai).

I tempi si riferiscono a elicottero acceso (ad esempio non sono stati conteggiati 20 min di riparazione della corda elettrica avvenuta ad elicottero spento nel cantiere di Teglio).

La rotazione media per il caso studio di Teglio è approssimativamente 2,1 min, mentre per il caso studio di Grosio 2,2 min. In entrambi i cantieri le rotazioni con il ritorno dei cordoli al sito di aggancio hanno una durata maggiore di circa il 7-9% rispetto a una normale rotazione.

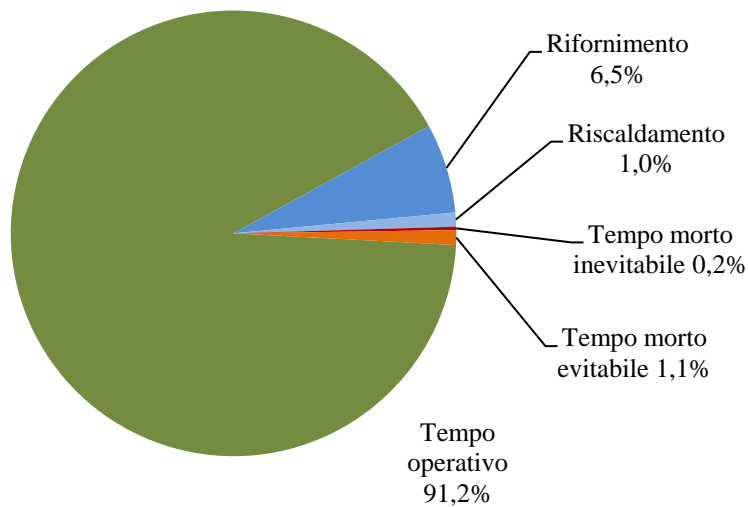


Figura 3.9 Distribuzione tempi cantiere di Teglio.

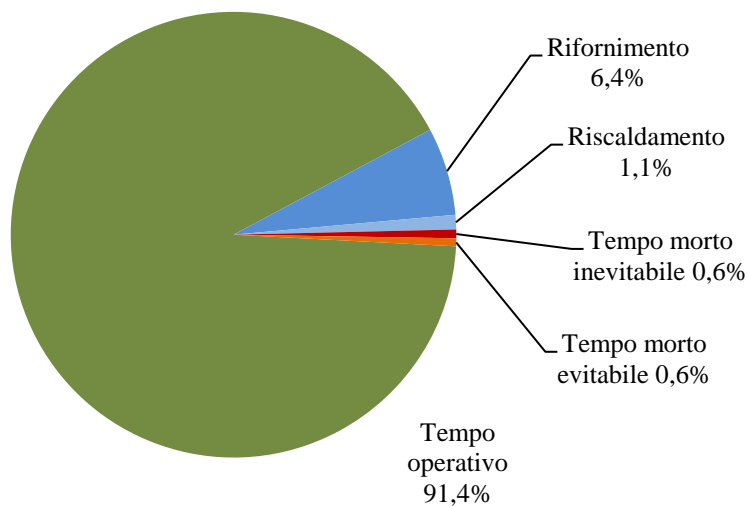


Figura 3.10 Distribuzione tempi cantiere di Grosio.

In entrambi i casi studio il rifornimento viene effettuato ogni 55-60 min con una riserva di cherosene di circa 150 l. Nel cantiere di Teglio in un ciclo di rotazioni tra un rifornimento e l'altro sono stati percorsi in media 50-55 km, con un dislivello di 2500- 3500 m e un carico trasportato di 200-220 kN. Nel cantiere di Grosio in un ciclo sono stati percorsi in media 45-50 km, con un dislivello di 4000-5000 m e un carico trasportato di 210-230 kN. Un riassunto dei risultati dell'analisi dei due casi studio è riportato in Tabella 3.2.

Dal carico medio trasportato si può dedurre la *payload capacity* media dei due casi studio, cioè la percentuale di carico trasportato rispetto alla massima capacità dell'elicottero. Nell'esbosco di Teglio la *payload capacity* media è 88%, mentre per Grosio 69%. Il valore basso del cantiere di Grosio è giustificato dalle difficili condizioni operative, dalla disponibilità di tronchi nel punto di aggancio, e dalla maggiore difficoltà di stima del carico.

Il cantiere di Teglio invece ha raggiunto un'ottima *payload capacity*, ma questo è anche dovuto alla presenza di carichi trasportati maggiori della capacità massima teorica dell'elicottero (12,38 kN rispetto ai 9,5 kN teorici). L'elicottero LAMA infatti, in produzione negli anni settanta, non ha limitazioni elettroniche che hanno gli elicotteri più recenti, e in condizioni di serbatoio vuoto riesce a trasportare un carico superiore a quello teorico.

L'AS 350 B3 al contrario ha raggiunto il carico massimo di 13,15 kN, 850 N più basso del valore massimo teorico. Questo elicottero possiede dei dispositivi di sicurezza che non permettono di andare oltre il carico massimo: ciò porta a una minore *payload capacity* media del cantiere o a una maggiore probabilità di andare in condizione di sovraccarico.

I dati mostrano una sostanziale differenza nei tempi di aggancio tra i due cantieri: nel caso studio di Grosio i tempi di aggancio risultano essere più lunghi (Tabella 3.3). Questo è causato dalla maggiore accidentalità del terreno, che rende l'operazione più difficoltosa, e al maggior numero di cordoli agganciati per ogni rotazione dovuto alla minore densità del legname. Le analisi in laboratorio delle rotelle raccolte a fine cantiere hanno infatti restituito una densità di 841,8 kg/m³ per il legname fresco del cantiere di Teglio e di 382,1 kg/m³ per il legname secco del cantiere di Grosio.

Tabella 3.2 Riassunto risultati dell'analisi dei due casi studio.

Caso studio	CycleTime	Load	Hook	Landing	HorDist	DistFlyIn	ElevChange
Teglio - Legname fresco	s	kN	s	s	m	m	m
Numero	245	245	245	245	245	245	245
Media	126,67	8,39	29,05	11,04	1009,89	1089,74	84,29
Deviazione standard	15,454	1,781	8,817	4,264	92,378	92,040	62,818
Minimo	79	3,50	12	4	528	545	10
Massimo	175	12,38	62	31	1151	1256	177
Quantile 0.05	116	7,12	23	8	972	1076	21
Quantile 0.95	137	9,86	34	14	1067	1121	148
	CycleTime	Load	Hook	Landing	HorDist	DistFlyIn	ElevChange
Grosio - Legname secco	s	kN	s	s	m	m	m
Numero	110	110	110	110	110	110	110
Media	132,33	9,66	37,00	12,64	581,59	1027,99	191,11
Deviazione standard	22,564	2,03	11,733	4,157	150,905	213,825	55,167
Minimo	86	5,00	20	4	206	502	96
Massimo	187	13,15	73	25	787	1375	303
Quantile 0.05	119	8,50	28	10	492	103	140
Quantile 0.95	147	1,12	45	15	694	1155	227

Tabella 3.3 Tempi di aggancio regolare e difficoltoso dei due casi studio.

Caso studio	Legname	Aggancio	Rotazioni	Media (s)
Teglio	Fresco	1 - difficoltoso	75	39,520
		0 - regolare	170	24,441
Grosio	Secco	1 - difficoltoso	35	51,486
		0 - regolare	75	30,240

L'analisi statistica di covarianza restituisce l'influenza di diverse variabili e fattori in entrambi i casi studio. Le variabili Hk, Ck, Load, DistFlyIn e ElevChange riescono a ben rappresentare la variazione di produttività ($R^2=67,7\%$ per il caso studio di Teglio e $R^2=78,7\%$ per il caso studio di Grosio) (Tabella 3.4). Tutti i parametri rientrano entro un livello di significatività di 0,05. La distanza orizzontale (HorDist) non è stata impiegata nel modello; si è visto dall'osservazione dei casi studio che la distanza percorsa dall'elicottero dipende, oltre che dalla distanza lineare, dalla posizione relativa del punto di aggancio rispetto al piazzale di deposito (Figura 3.11):

- carichi che si trovano sopra il piazzale di deposito (angolo di circa 180° rispetto alla direzione dello scarico) obbligano il pilota a seguire una traiettoria lunga due volte la distanza orizzontale;
- carichi che si trovano frontalmente al piazzale di deposito (angolo di circa 0° rispetto alla direzione dello scarico) non richiedono traiettorie diverse dalla distanza orizzontale;
- carichi che si trovano lateralmente al piazzale di deposito (angolo di circa 90° rispetto alla direzione di scarico) richiedono una traiettoria lunga circa 1,5 volte la distanza orizzontale.

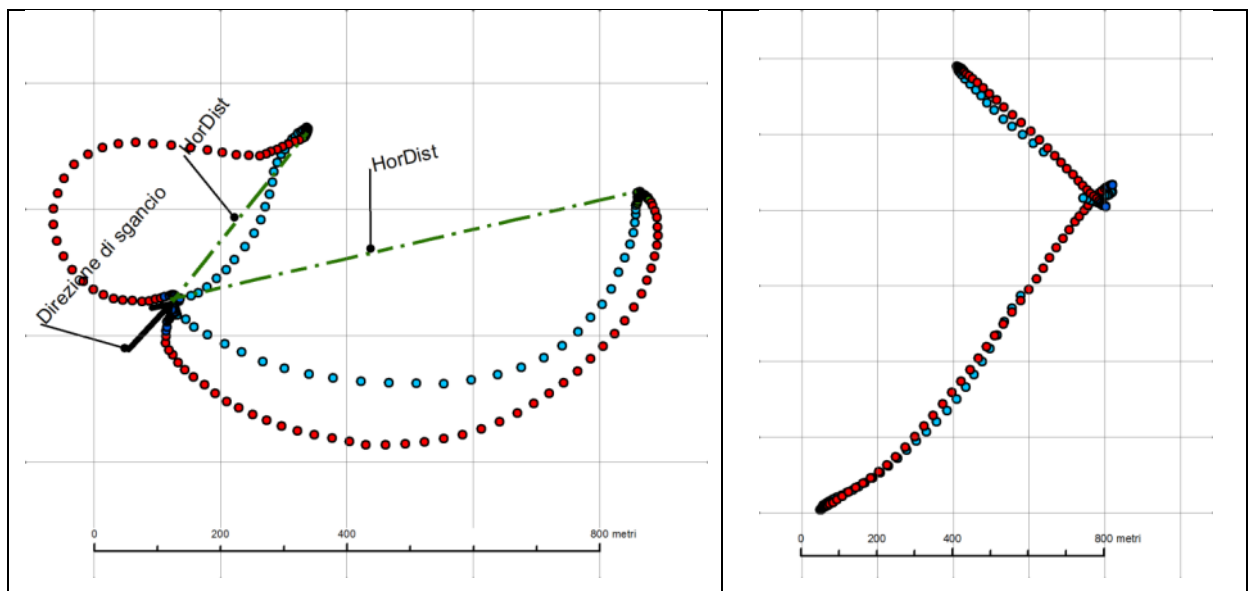


Figura 3.11 A sinistra rotazioni con carichi sopra o a lato del piazzale di deposito obbligano il pilota ad allungare la traiettoria rispetto alla distanza orizzontale (HorDist). A destra rotazioni con carichi di fronte al piazzale non richiedono traiettorie diverse dalla distanza orizzontale.

La distanza realmente percorsa dall'elicottero è una variabile che permette di avere una maggiore accuratezza del modello, ma che non è facilmente rappresentabile in ambiente GIS. Dall'osservazione ed elaborazione dei dati GPS si è visto che il rapporto tra la distanza realmente percorsa dall'elicottero (DistFlyIn) e la distanza lineare (HorDist) varia da un minimo di 1,03 ad un massimo di 2,34. Tuttavia, la scarsa variabilità dei dati rilevati non permette di estrarre una relazione valida tra questo rapporto e la posizione del carico relativamente al piazzale. Per un applicazione GIS è consigliabile considerare il valore del rapporto di 1,5, che si ha quando il punto di aggancio si trova lateralmente al piazzale di deposito, quindi considerare che la distanza percorsa dall'elicottero (DistFlyIn) sia maggiore di circa il 50% rispetto alla distanza orizzontale (HorDist).

Tabella 3.4 Variabili del modello che influenzano il tempo di rotazione.

Caso studio	Teglio – Legname fresco					Grosio – Legname secco				
Indice di variabilità	DF	SSQ	SSQ%	Indice F	Indice P	DF	SSQ	SSQ%	Indice F	Indice P
Hk	1	13804,2	14,6	216,36	>0,001	1	6978,49	7,2	76,5	>0,001
Ck	1	442,5	0,5	6,94	0,009	1	3218,31	3,3	35,28	>0,001
Load	1	2214,4	2,3	34,71	>0,001	1	817,845	0,8	8,97	0,003
DistFlyIn	1	6424,2	6,8	100,69	>0,001	1	19108,4	19,6	209,47	>0,001
ElevChange	1	13260,1	14,0	207,83	>0,001	1	2248,53	2,3	24,65	>0,001
Residui	239	63,8	0,1			239	9487	9,7		
		58270,9	61,7				55496,2	57,0		

L'analisi statistica ha restituito i modelli di produttività mostrati in Tabella 3.5. I modelli restituiscono il tempo di rotazione in termini di tempo operativo. Le figure 3.12 e 3.13 mostrano la produttività dei due cantieri in termini di metri cubi al minuto in funzione della distanza percorsa dall'elicottero dal punto di aggancio al piazzale (DistFlyIn), considerando una pendenza di esbosco (Slope) del 50%. La produttività dei due cantieri è molto differente, ma non è confrontabile in quanto sono stati differenti i modelli di elicottero utilizzati (LAMA cantiere di Teglio e AS 350 B3 cantiere di Grosio), la densità del legname esboscato (840 kg/m^3 e 382 kg/m^3) e la *payload capacity* media (85% e 70%). Dai

grafici si può osservare l'importanza della buona riuscita dell'aggancio: l'aggancio difficoltoso causa una perdita di produttività pari a circa il 10% rispetto ad un aggancio regolare.

Tabella 3.5 Equazioni dei modelli di produttività per entrambi i casi studio.

Caso studio	Elicottero	Legname	Equazione
Teglio	Aérospatiale LAMA SA315 B	Fresco	$\text{CycleTime} = 45.5164 + 8.23674 * \text{Hk} - 2.05362 * \text{Ck} + 0.016899 * \text{Load} + 0.0566035 * \text{DistFlyIn} + 0.118845 * \text{ElevChange}$
Grosio	Eurocopter AS 350 B3	Secco	$\text{CycleTime} = 39.1416 + 8.96689 * \text{Hk} - 7.41338 * \text{Ck} + 0.014955 * \text{Load} + 0.0686309 * \text{DistFlyIn} + 0.0859639 * \text{ElevChange}$

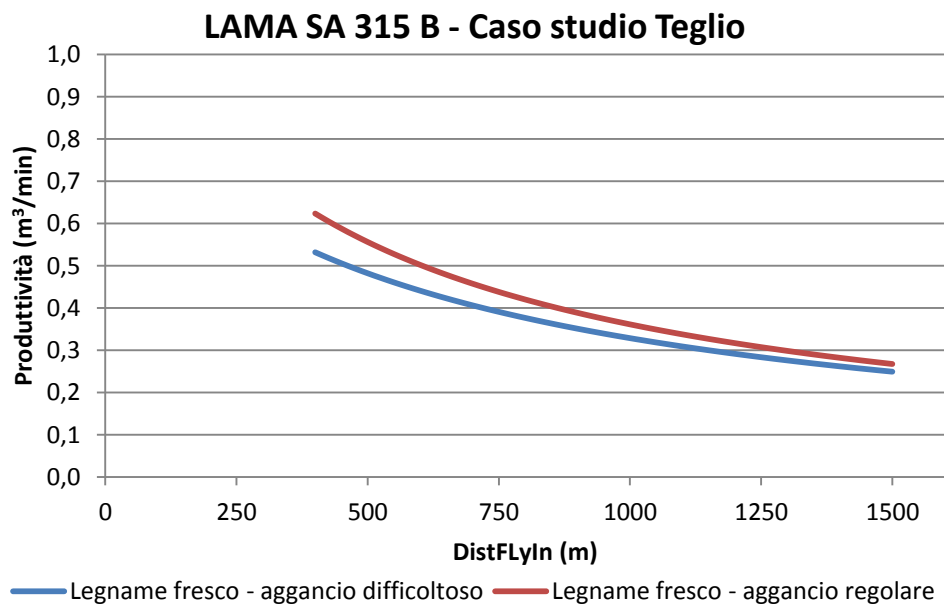


Figura 3.12 Produttività di esbosco di legname fresco (840 kg/m³) nel cantiere di Teglio, considerando pendenza di esbosco (Slope) 50%, carico (Load) 8,07 kN, rotazioni senza ritorno di cordoli (Ck=1).

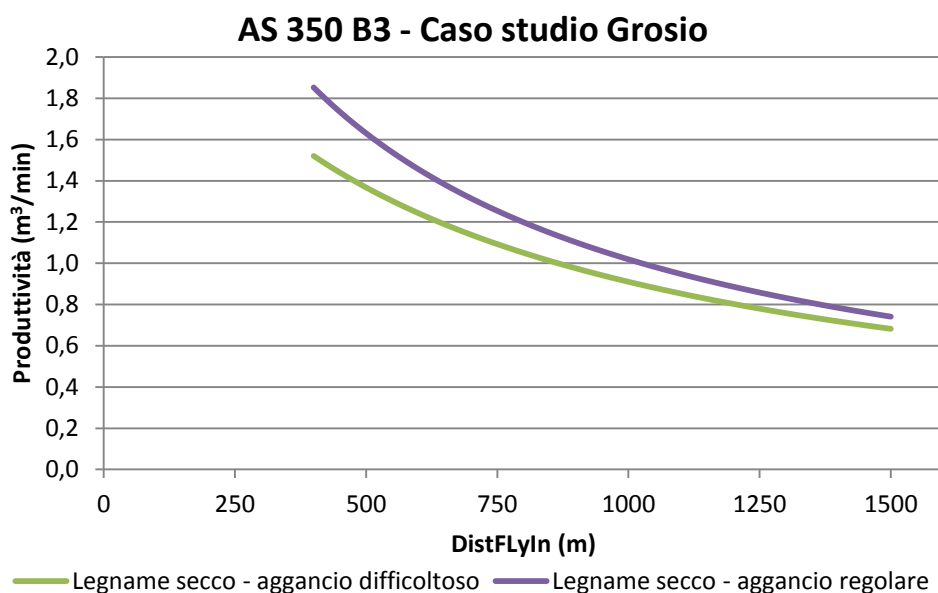


Figura 3.13 Produttività di esbosco di legname secco (382 kg/m^3) nel cantiere di Grosio, considerando pendenza di esbosco (Slope) 50%, carico (Load) 9,8 kN, rotazioni senza ritorno di cordoli ($Ck=1$).

Il grafico in Figura 3.14 permette di confrontare la produttività dei due modelli di elicottero all'aumentare della *payload capacity*, considerando una distanza di 800 m, densità del legname pari a 840 kg/m^3 , pendenza di esbosco del 50%, aggancio regolare e rotazione senza ritorno di cordoli. Nel grafico sono evidenziate le *payload capacity* che si sono avute nei due casi studio.

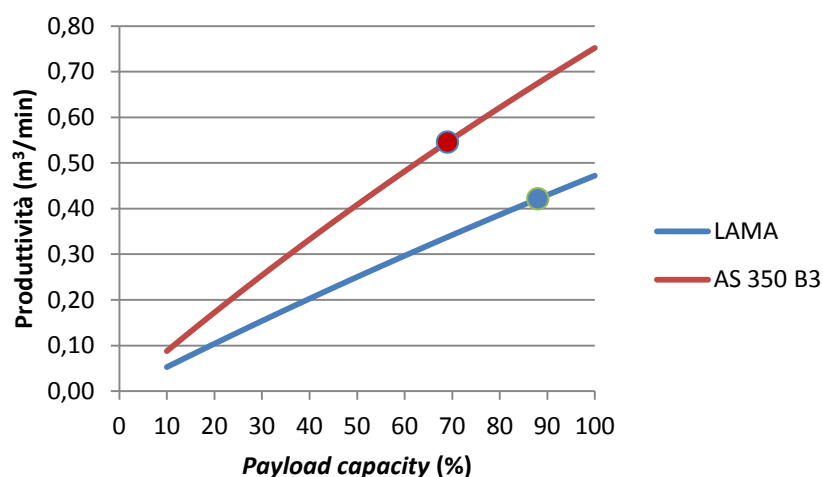


Figura 3.14 Produttività in funzione della *payload capacity*, considerando una distanza (DistFlyIn) di 800 m, densità 840 kg/m^3 , pendenza di esbosco (Slope) 50%, aggancio regolare ($Hk=-1$) e rotazione senza ritorno di cordoli ($Ck=1$).

Per poter considerare la produttività oraria bisogna tenere in considerazione che il tempo operativo restituito dai modelli costituisce il 91% del tempo di lavoro dell'elicottero (Figure 3.9 e 3.10), che include anche riscaldamento, rifornimento e tempi morti. Il grafico in Figura 3.15 mostra la produttività oraria dei due modelli di elicottero analizzati, considerando costante una *payload capacity* pari all' 85%, densità del legname pari a 840 kg/m³, pendenza di esbosco del 50%, aggancio regolare e rotazione senza ritorno di cordoli.

Dai grafici è evidente la maggiore produttività dell'elicottero AS 350 B3, dovuta alla maggiore capacità di carico. Come riportato in precedenza, però, è più difficile raggiungere una *payload capacity* alta con questo elicottero a causa dei dispositivi di sicurezza che limitano il carico a 14 kN, a differenza dell'altro modello di più vecchia fabbricazione.

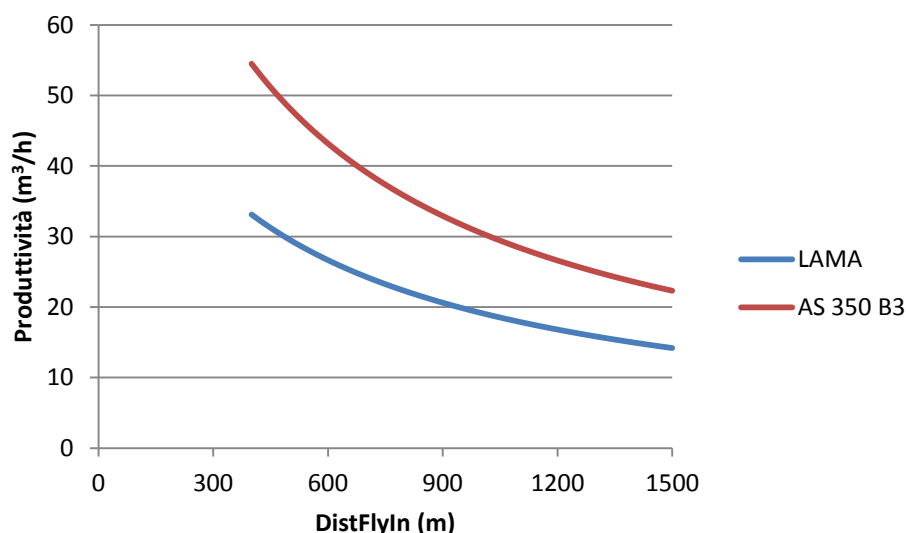


Figura 3.15 Produttività oraria all'aumentare della distanza percorsa dall'elicottero (DistFlyIn), considerando *payload capacity* dell' 85%, densità 840 kg/m³, pendenza di esbosco (Slope) 50%, aggancio regolare (Hk=-1) e rotazione senza ritorno di cordoli (Ck=1).

3.3. Costi di realizzazione di viabilità forestale

Su 1062 sezioni di strade analizzate, il calcolo dei costi di costruzione è stato eseguito su 958, filtrando dal calcolo le sezioni che comprendevano i tornanti.

In Figura 3.16 è riportato il grafico dell'andamento dei costi di costruzione al metro lineare in cui si può osservare la variazione di ogni voce.

I costi per la massicciata stradale e per la regimazione delle acque non sono influenzati dalla pendenza del versante. Forte influenza ha invece l'inclinazione del versante sui costi di sbancamento in roccia e opere di sostegno. All'aumentare della pendenza aumentano i volumi di sbancamento e la percentuale di roccia nello scavo. In versanti con pendenza del 60% incomincia ad esserci la necessità di realizzare opere di sostegno e all'aumentare dell'inclinazione aumenta la presenza di queste opere e l'altezza delle stesse. Oltre il 70% di pendenza del versante i costi diventano importanti superando i 100 € al metro lineare.

Questa relazione costi – pendenza del versante non tiene conto di altri fattori importanti che influenzano i costi di costruzione come la percentuale di scavo in roccia, la coesione del terreno o la presenza di aree umide. Si tratta quindi di un'indicazione di massima, utile a livello di pianificazione. A questi costi vanno aggiunti le spese per la realizzazione di piazzole di scambio e deposito, opere di attraversamento corsi d'acqua e impluvi o stabilizzazione del fondo stradale (selciato, acciottolato, asfalto, battuto di cemento, etc.)

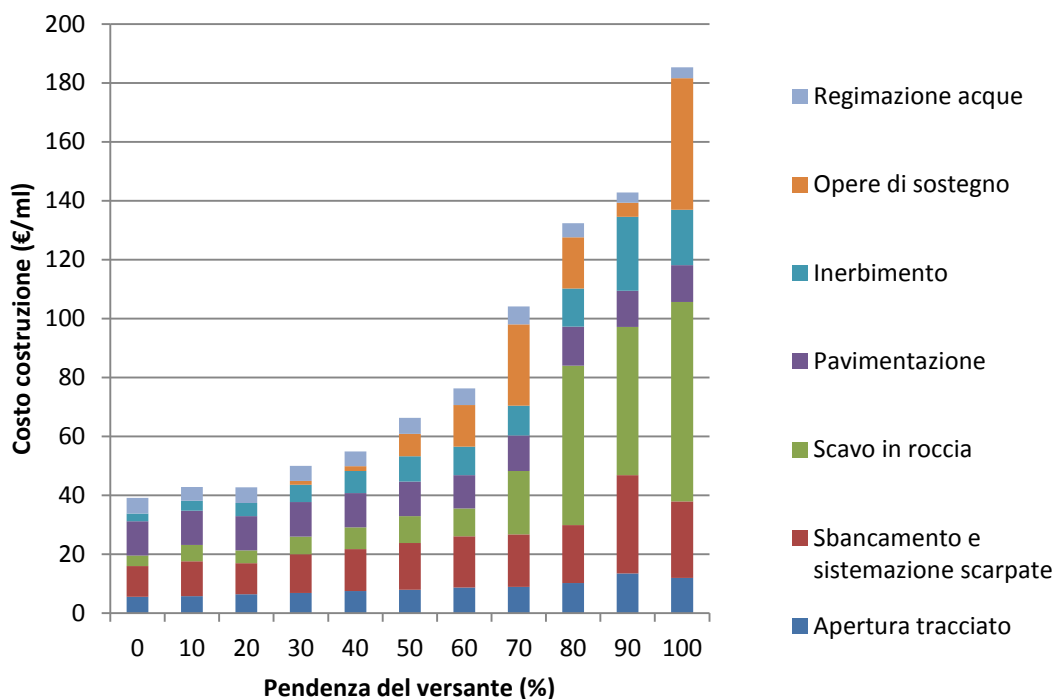


Figura 3.16 Costo unitario di costruzione nuova strada forestale all'aumentare della pendenza del versante.

4. DISCUSSIONE

4.1. Impiego dell'elicottero in aree con carenza di viabilità forestale

L'impiego dell'elicottero per l'esbosco di legname è una soluzione che permette di avere un'alta produttività, ma anche elevati costi. I dati raccolti in questo studio hanno permesso solo di valutare la produttività, ma se si applicano le voci di costo riportate dal prezzario regionale dei lavori forestali 2011 (Tabella 4.1) si può ottenere una rappresentazione dell'andamento dei costi di esbosco al metro cubo al variare della distanza percorsa dall'elicottero (Figura 4.1). L'elicottero AS 350 B3 permette di avere costi di esbosco più bassi di circa 15 €/m³ rispetto all'elicottero LAMA. I costi tendono ad uniformarsi se si considera la maggiore facilità per il LAMA di raggiungere una *payload capacity* più elevata.

Dal grafico si può osservare come il costo di esbosco superi i 50 €/m³ per l'elicottero AS 350 B3 per distanze superiori a 800 m. Ai costi di esbosco elevati bisogna però associare la situazione di scarsa viabilità forestale che spesso caratterizza i cantieri, e quindi il mancato costo per la realizzazione di nuove strade forestali.

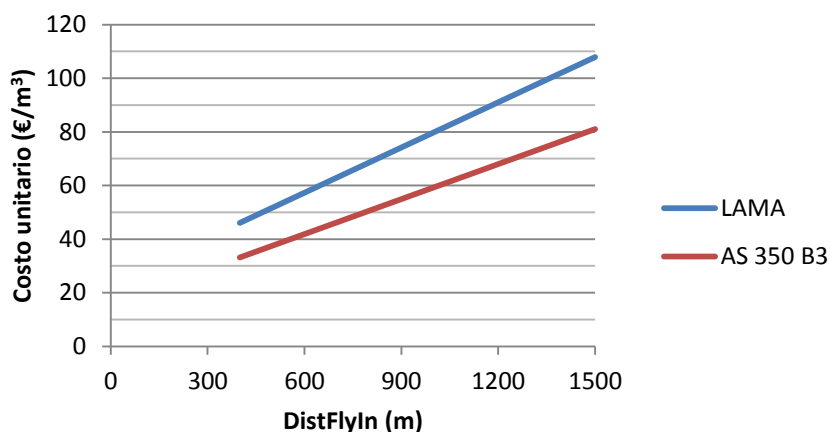


Figura 4.1 Costo di esbosco al metro cubo all'aumentare della distanza (DistFlyIn), considerando *payload capacity* dell' 80%, densità 840 kg/m³, pendenza di esbosco (Slope) 50%, aggancio regolare (Hk=-1) e rotazione senza ritorno di cordoli (Ck=1).

Tabella 4.1 Voci di costo nolo di elicottero per esbosco legname (prezziario lavori forestali Regione Lombardia 2011).

Voce	Descrizione	Costo
B.45	Nolo di elicottero per il trasporto di materiali, compreso l'operatore addetto continuativamente alla manovra e le autorizzazioni al volo. Esempio: Lama S.A. 315 B. con portata massima al gancio fino a 1000 Kg. (escluso il trasferimento)	24,1 €/min
B.47	Nolo di elicottero per il trasporto di materiali, compreso l'operatore addetto continuativamente alla manovra e le autorizzazioni al volo. Esempio: AS 350 ECUREIL B3 con portata massima al gancio fino a 1400 Kg. (escluso il trasferimento)	30,12 €/min

Supponendo un modello teorico a strade parallele, data una certa densità viaria (DV), il valore di spaziatura tra le strade (S) e della distanza media di esbosco (E) possono essere definiti dalle relazioni (Cielo 2003):

$$S = \frac{10000}{DV} \quad (3)$$

$$E = \frac{S}{4} = \frac{2500}{DV} \quad (4)$$

Questa equivalenza è valida solo in caso in cui l'esbosco è possibile sia da valle che da monte e che le linee di esbosco siano perpendicolari ad essa. Il valore così ottenuto di E è teorico e deve essere maggiorato di un coefficiente k che tiene conto del fatto che le reti di strade e di vie d'esbosco nella realtà non corrispondono ad un modello ideale. Questo fattore può variare da 1,3 a 2 (Cielo 2003).

Considerando i valori di costo dedotti dall'analisi dei progetti di nuove strade forestali, è stato valutato il costo al metro cubo da attribuire alla costruzione della strada. È stata ipotizzata la realizzazione di una nuova strada in una compresa assestata di 100 ha con una ripresa annua di 300 m³. Viene calcolato il costo di realizzazione con diversi scenari di pendenza del versante (40, 60 e 80%) considerando una lunghezza della strada variabile in relazione alla densità viaria e quindi alla distanza media di esbosco che si vuole ottenere. Dal costo totale della strada è stata calcolata la quota annua di ammortamento ipotizzando una durata di 25 anni e un valore residuo della strada pari al 50% del costo iniziale.

Il costo al metro cubo è stato dedotto dividendo la quota di ammortamento per la ripresa annua. Il grafico in Figura 4.2 mostra il costo al metro cubo all'aumentare della densità viaria DV. In Figura 4.3 è rappresentata la stessa relazione all'aumentare della distanza media di esbosco E, calcolata considerando un coefficiente k pari a 1,5. Le diverse

curve si riferiscono alle diverse classi di pendenza del versante. Dal grafico si può osservare come, in un versante con pendenza del 60%, aumentare la densità viaria di 10 m/ha porti ad un costo di ammortamento pari a circa 5 €/m³. Questo costo di produzione legato alla costruzione della strada forestale è influenzato, oltre che dalla quota di ammortamento, dalla quantità di legname esboscato: all'aumentare della ripresa diminuisce il costo unitario della strada; al contrario se non viene sfruttata l'intera ripresa il costo unitario sarà più elevato. Il costo considera la sola realizzazione della strada e non tiene conto dei costi di manutenzione ordinaria e della perdita di superficie produttiva, pari a circa 10 m² per ogni metro di strada.

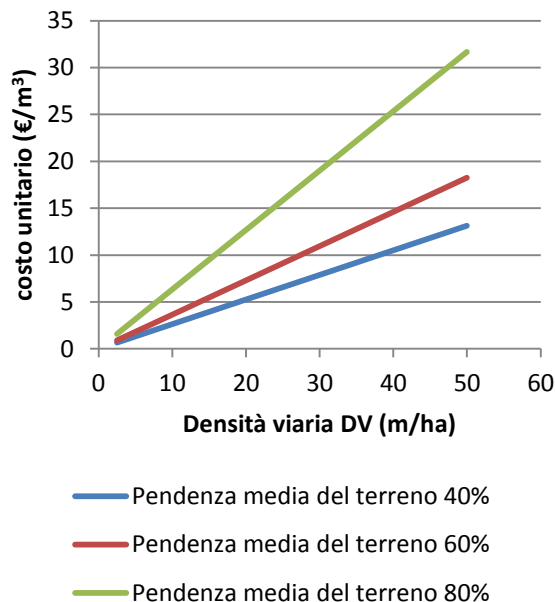


Figura 4.2 Costo unitario per la realizzazione della rete di viabilità forestale in aree con diverse pendenze del terreno al variare della densità viaria DV, considerando una compresa di 100 ha con una ripresa annua di 300 m³.

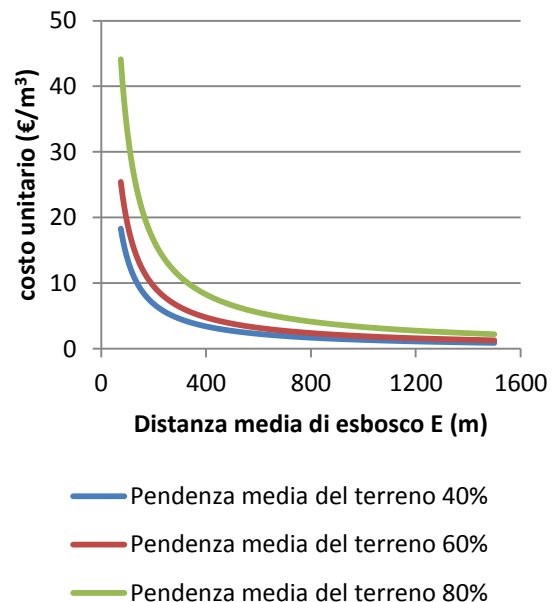


Figura 4.3 Costo unitario per la realizzazione della rete di viabilità forestale in aree con diverse pendenze del terreno al variare della distanza media di esbosco E, considerando una compresa di 100 ha con una ripresa annua di 300 m³.

5. CONCLUSIONI

Negli ultimi anni si è visto un aumento dell'impiego dell'elicottero per l'esbosco di legname nelle Alpi centrali italiane. L'analisi delle denunce di taglio presentate tramite il sistema informatizzato della Regione Lombardia (SITaB) ha indicato che l'elicottero viene impiegato per esboscare l'1,78% del volume denunciato. Poiché nelle denunce l'utilizzo dell'elicottero si può comunicare tramite un campo note opzionale, e non è noto se tutto il legname indicato nella denuncia sia stato interamente esboscato con elicottero o solamente in parte, i dati non possono essere considerati precisi. Il sistema di denuncia di taglio informatizzato della Regione Lombardia (SITaB) permette comunque di avere una conoscenza di massima sull'impiego dell'elicottero nelle Alpi centrali italiane. Due anni di denunce non hanno permesso di valutare il *trend* dell'utilizzo di questo sistema di esbosco, informazione che sarà invece disponibile fra qualche anno.

Il questionario rivolto alle imprese che offrono servizi di trasporto con elicottero non è stato compilato da tutte le aziende contattate. La mancanza di un numero adeguato di risposte al questionario non ha permesso di effettuare il sondaggio voluto, tuttavia è stato comunque possibile estrarre informazioni utili a comprendere l'importanza dell'esbosco di legname per le aziende che offrono il servizio.

In questo lavoro di tesi è stata analizzata la produttività di esbosco legname con elicottero di due specifici casi studio. I due cantieri studiati hanno riguardato un taglio di utilizzazione ordinaria (Teglio) e un intervento di *salvage logging* in un bosco colpito da incendio (Grosio). Durante i rilievi in campo si è constatato come, in accordo con Messingerova e Lukac (2005), risulta utile avere due squadre di aggancio in bosco in modo che ciascuna abbia più tempo per la preparazione dei carichi. Nel caso studio di Teglio è stata impiegata un'unica squadra di aggancio composta da tre operatori, mentre nel cantiere di Grosio due squadre con due operatori ciascuna. Il pilota rappresenta l'operatore che gestisce tutte le operazioni, decidendo quando effettuare il ritorno dei cordoli, quando fare rifornimento, dando indicazioni all'aggancio e allo sgancio. Per permettere un lavoro ottimale è fondamentale la comunicazione radio. Nel caso in cui la piazzola di deposito non sia sufficientemente grande per stoccare tutto il legname proveniente dal lotto di

utilizzazione, è necessario un ulteriore operatore su un escavatore per movimentare e accatastare il legname in parte alla piazzola.

La distribuzione dei tempi rilevati mostra che il tempo di esbosco effettivo rappresenta il 91% del tempo totale di lavoro dell'elicottero. La produttività del cantiere di Grosio risulta più elevata del cantiere di Teglio a causa della minore densità del legname e della maggiore capacità di carico dell'elicottero utilizzato. Al contrario, i tempi di aggancio risultano più lunghi nel caso studio di Grosio a causa delle maggiori difficoltà operative (accidentalità del terreno ed elevate pendenze). Il ritorno dei cordoli in bosco porta ad una maggiorazione dei tempi di rotazione pari al 7-9%. Questo valore risulta essere significativamente inferiore alle percentuali (20-25%) riportate da Heinimann e Caminada (1996) e Stampfer *et al.* (2002).

I modelli di produttività sono stati estratti in funzione della distanza percorsa dall'elicottero (DistFlyIn), del dislivello (ElevChange), del peso del carico (Load), e dalle variabili *dummy* del ritorno di cordoli in bosco e della durata della fase di aggancio (aggancio regolare/difficoltoso). A differenza di altri studi di produttività, non è stato considerato nel modello il tipo di intervento selvicolturale (Stampfer *et al.* 2002, Christian e Brackley 2007, Krag e Clark 1996). Anche l'esperienza del pilota (Stampfer *et al.* 2002, Horcher e Visser 2011) non è stata considerata, poiché l'esbosco è stato eseguito in entrambi i casi studio dallo stesso pilota con elevata esperienza.

In entrambi i casi studio la produttività risulta fortemente influenzata dall'efficienza della fase di aggancio: un aggancio difficoltoso porta ad una perdita di produttività di circa il 10% rispetto ad un aggancio regolare. Anche la preparazione dei carichi gioca un ruolo importante nella efficienza dell'esbosco. Carichi troppo pesanti portano ad una perdita di tempo, obbligando il pilota a riappoggiare il carico sul posto e procedere all'aggancio di un nuovo carico. Al contrario, carichi troppo leggeri portano ad una perdita di produttività eseguendo rotazioni trasportando una percentuale bassa della massima capacità di carico (*payload capacity*). L'elicottero AS 350 B3 Ecureuil ha maggiori difficoltà a sfruttare la massima capacità di carico, a causa di dispositivi di sicurezza che apportano delle limitazioni. L'elicottero LAMA SA315 B riesce, invece, a raggiungere una *payload capacity* media più elevata, riuscendo a trasportare carichi con pesi anche superiori alla massima capacità di

carico teorica. Questo porta però ad una maggiore sollecitazione della struttura dell'elicottero e, quindi, ad un maggior rischio delle operazioni.

L'analisi sui costi di realizzazione di nuove strade forestali ha portato ad una relazione con la pendenza del versante utile per un'applicazione a livello pianificatorio. Un ulteriore lavoro di tesi su produttività e costi dell'esbosco di legname con gru a cavo permetterebbe di operare un interessante confronto tra differenti sistemi di esbosco, tenendo in considerazione anche i costi di produzione legati alla realizzazione e alla manutenzione di strade forestali.

BIBLIOGRAFIA

2011. Prezziario regionale lavori forestali. Regione Lombardia.
2011. Prezziario delle opere pubbliche. Regione Lombardia.
- Abdi E., Majnounian B., Darvishsefat A. e Mashayekhi Z., Sessions J. 2009. A GIS-MCE based model for forest road planning. *Journal of Forest Science* 55 (4): 171-176.
- Akay A.E. 2006. Minimizing total costs of forest roads with computer-aided design model. *Sadhana Academy Proceedings in Engineering Sciences* 31:621-633.
- Akay A. E., Sessions J., Bettinger P., Toupin R. e Eklund A. 2006. Evaluating the salvage value of fire-killed timber by helicopter- Effects of yarding distance and time since fire. *Western Journal of Applied Forestry*. 21 (2): 102-107.
- Akay A.E., Acar H.H. e Sessions S. 2008. An analysis of utilizing helicopter logging in turkish forestry. *Journal of Applied Sciences* 8 (21): 3910-3916.
- Baldini S. 1977. Prove preliminari di esbosco con elicottero. *Il Montanaro d'Italia-Monti e Boschi*. 28 (1): 53-69.
- Bigsby H. e Ling P. 2013. Long-term productivity of helicopter logging in Sarawak. . *International Journal of Forest Engineering*, DOI: 10.1080/19132220.2013.791197.
- Born R.G. 1995. Production and cost analysis of a helicopter thinning operation in the Oregon Coast Range and comparison to HELIPACE production estimates. Dept.For.Eng., Oregon State University, Corvallis.
- Bruce J.C., Han H.S., Akay A.E. e Chung W. 2011. ACCEL: Spreadsheet-based cost estimation for forest road construction. *Western Journal of Applied Forestry* 26:189-197.
- Cavalli R. e Grigolato S. 2010. Influence of characteristics and extension of a forest road network on the supply cost of forest woodchips. *J Forest Res-Jpn* 15:202-209.
- Cielo P., Gottero F., Morera A. e Terzuolo P. 2003. La viabilità agro-silvopastorale: elementi di pianificazione e progettazione. IPLA – Regione Piemonte: 106 p.
- Christian L.E. e Brackley A.M. 2007. Helicopter logging productivity on harvesting operations in southeast Alaska, using ecologically based silvicultural prescriptions. *WJAF* 22(2):142-147.
- Conway S. 1976. *Logging Practices: Principles of Timber Harvesting Systems*. Miller Freeman Publications. USA. 416 p.
- Dykstra D. P. 1975. Production rates and costs for cable, balloon, and helicopter yarding systems in Old-growth Douglas-fir. For. Research Lab., School of Forestry, Oregon State University, Corvallis. Res. Bull. 18. 57 p.
- Dykstra D. P. 1976. Production rates and costs for yarding by cable, balloon, and helicopter comparing for clearcuttings and partial cuttings. Forest Research Laboratory School of Forestry Oregon State University. Corvallis, OR. 44 p.

- Faccoli M., Finozzi V. e Gatto P. 2011. Sanitation Felling and Helicopter Harvesting of Bark Beetle-Infested Trees in Alpine Forests: An Assessment of the Economic Costs Forest Products Journal 61 (8): 675-680.
- Hayati E., Majnounian B. e Abdi E. 2012. Qualitative evaluation and optimization of forest road network to minimize total costs and environmental impacts. iForest - Biogeosciences and Forestry 5:121-125.
- Hartsough B. Lambert M. e Miles J. 1985. Airship logging: parameters affecting load factors. Transactions of the ASAE-American Society of Agricultural Engineers, 28.
- Heinimann H.R. e Caminada L. 1996. Helicopter logging in Switzerland, analysis of selective logging operations. In: I.B. Hedin. [Ed.] Proc. of a Joint Symp. of IUFRO 3.06 Forest Operations Under Mountainous Conditions and the 9th Pacific Northwest Skyline Symposium: Addressing Today's Social and Environmental Issues. May 13- 16, 1996, Campbell River, British Columbia. For. Eng. Res. Inst. Can. Spec. Rep. SR-116: pp 45-50.
- Hippoliti G. 2003. Note pratiche per la realizzazione della viabilità forestale. Arezzo: Compagnia delle foreste. p. 96.
- Horcher A. 2008. Improving helicopter yarding with onboard GPS. Phd Dissertation, online at www.scholar.lib.vd.edu/theses. Virginia Tech, Blacksburg, USA.
- Horcher A. e Visser R. 2011. Using on-board GPS to identify training needs of helicopter pilots. Croatian Journal of Forest Engineering, 32, 481-488.
- Jourgholami M., Abdi E. e Chung W. 2012. Decision making in forest road planning considering both skidding and road costs: A case study in the Hyrcanian forest in Iran. IForest 6.
- Krag R.K. e Clark M. 1996. Helicopter logging in clearcut, patch-cut, and single-tree selection harvests: Queens Charlotte Islands, British Columbia. In: J. Sessions [Ed.]. Proc. IUFRO XX World Congress, Subject Group S3.06 "Forest Operations Under Mountainous Conditions". Dept. For. Eng. , Oregon State University, Corvallis: pp. 54-72.
- Lugo A.E. e Gucinski H. 2000. Function, effects, and management of forest roads. Forest Ecology and Management. 133:249-262.
- Manzone M. e Balsari P. 2011. Forestry use of the helicopter. In: FORMEC 2011. 44th International Symposium on Forestry Mechanization. Pushing the boundaries with research and innovation in forest engineering (eds. Stampfer K., et al.) GRAZ, A.
- Messingerova V. e Lukac T. 2005. Helicopter logging. Journal Nova Mechanizacija Sumarstva 26 (2 (Special Issue)): 67-72.
- Messingerova V. e Tajbos J. 2006. Technological and environmental parameters of helicopter timber extraction in Slovakia. Croatian Journal of Forest Engineering 27 (2): 123-133.
- Potočník I. 1996. The multiple use of forest roads and their classification. The Seminar on Environmentally Sound Forest Roads and Wood Transport. Sinaia, Romania. Proceedings, 103-117.
- Sloan H., Tollenaere J. e Croff C. 1994. Technology advances in helilogging: A case study of the K-MAX in Appalachian Hardwoods. In: J. Sessions and L. Kellogg [Eds.] Proc. of the

- meeting on "Advanced technology in forest operations: applied ecology in action". Dept. of For. Eng., Oregon State University, Corvallis: pp. 237-246.
- Spinelli R., Nati C. e Magagnotti N. 2007. Recovering logging residue: experiences from the Italian Eastern Alps. *Croat J For Eng* 28: 1-9.
- Stampfer K., Gridling H. e Visser R. 2002. Analyses of parameter affecting helicopter timber extraction. *International Journal of Forestry Engineering* 13(2): 61-68.
- Tonetti R. 2012. Permessi di taglio tramite internet. Quattro anni di informatizzazione dei dati in Lombardia. *Sherwood- Foreste ed Alberi Oggi*. 185 (6): 11-15.
- Wang J, Grushecky S. T. e McNeel J. 2005. Production analysis of helicopter logging in West Virginia: a preliminary case study. *Forest Products Journal* 55 (12): 71-76.
- Zambon M. 2012. Utilizzazioni forestali, viabilità e sicurezza. *Sherwood*, 18: 22-23.

APPENDICE A

Questionario *online* rivolto alle aziende che offrono servizi di trasporto con elicottero

Impiego dell'elicottero per l'esbosco di legname in ambiente alpino

Il presente questionario rientra nell'attività di ricerca di una tesi di laurea magistrale in Scienze Forestali e Ambientali dell'Università degli Studi di Padova inerente l'impiego dell'elicottero nell'esbosco di legname in ambiente alpino. La compilazione del questionario è anonima e i risultati dell'indagine saranno in seguito presentati alle ditte che contribuiranno alla compilazione. Si ringrazia per la preziosa collaborazione.

Stefano Grigolato

Università degli Studi di Padova
Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali
Viale dell'Università 16, 35020 Legnaro PD, Italy
tel. +39 049 827 2701
mob. +39 331 172 5095
email: stefano.grigolato@unipd.it

* Required

Azienda e dotazione

Sede legale *

Comune e provincia

Anno di costituzione *

Impresa Pubblica/Privata *

- ☐ Privata
☐ Pubblica

Numero dipendenti *

	0	1	2	3	4 o più
Amministrazione	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Tecnici	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Piloti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Altro	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Ambito territoriale *

- ☐ Liguria
☐ Piemonte
☐ Valle d' Aosta
☐ Lombardia
☐ Trentino Alto Adige
☐ Veneto
☐ Friuli Venezia Giulia
☐ Francia
☐ Svizzera
☐ Austria
☐ Slovenia
☐ Other:

Tipologia di lavoro

Indicare in termini percentuali la distribuzione delle ore di volo per le diverse attività rispetto alle ore totali di volo con riferimento l'anno 2012. Si prega di fare attenzione che le percentuali totali sommate arrivino a 100%

A *

Trasporto persone (tra cui voli turistici, Eliski, ...)

B *

Interventi di soccorso (ad esempio Antincendio boschivo, Soccorso Alpino, 118, Protezione Civile ...)

C *

Telerilevamento (ad esempio foto aeree, laser scanner ...)

D *

Trasporto carichi esterni per mezzo del gancio baricentrico

E *

Altro (ad esempio Scuola di volo ...)

F

In caso di "altro" specificare

Flotta *

Modelli di elicottero utilizzati, anno di acquisto e capacità massima di carico al baricentro a serbatoio pieno (anno di riferimento 2012) (indicare con * quelli solitamente impiegati per lavori di esbosco legname)

Attività inerente il settore forestale

Ore di volo totali annue della flotta *

Anno di riferimento 2012

Ore complessive di trasporto al gancio baricentrico (sia per lavori forestali che per altri tipologie di interventi) *

Anno di riferimento 2012

Ore complessive per esbosco legname *

(Anno di riferimento 2012)

Ore complessive per interventi a supporto delle imprese boschive (installazione linee gru a cavo, spostamento argani.....) *

(Anno di riferimento 2012)

Numero di cantieri di esbosco legname *

(Anno di riferimento 2012)

Numero di interventi a supporto delle imprese boschive *

(Anno di riferimento 2012)

Piloti

Per lavori di esbosco di legname utilizza i propri piloti o in alternativa piloti esterni?

- ☐ piloti della ditta
☐ piloti esterni
☐ entrambi

Numero di piloti nell'organico della ditta con esperienza in attività di esbosco di legname *

- ☐ Nessuno
☐ 1
☐ 2
☐ 3
☐ 4 o più

Esperienza pilota 1

Indichi le ore di lavoro totali del pilota

di cui di esbosco legname

Esperienza pilota 2

Indichi le ore di lavoro totali del pilota

di cui di esbosco legname

Esperienza pilota 3

Indichi le ore di lavoro totali del pilota

Pianificazione e organizzazione attività di esbosco legname

Calcolo costo del servizio

- ☐ €/min
☐ €/rotazione
☐ €/m³
☐ Other:

Operazione di aggancio

Operatori della ditta presenti in bosco per ciascuna squadra addetta all'operazione

- ☐ 1
☐ 2
☐ 3 o più

Operazione di sgancio

Operatori della ditta presenti all'imposto per ciascuna squadra addetta all'operazione

- ☐ 1
- ☐ 2
- ☐ 3 o più

Durata degli interventi di esbosco di legname

Il cantiere tipo richiede una durata di intervento di (sono consentite più scelte):

- ☐ qualche ora
- ☐ mezza giornata
- ☐ una giornata
- ☐ due giornate
- ☐ tre giornate
- ☐ quattro giornate
- ☐ una settimana
- ☐ più di una settimana

Sistema di aggancio del carico *

Attrezzatura utilizzata per l'aggancio del carico (corda elettrica e lunghezza, gancio elettrico, ...)

Quali aspetti e procedure vengono specificate alle imprese boschive per assicurare una efficace cooperazione nelle operazioni di aggancio e sgancio per l'esbosco di legname

Riportare un elenco puntuale dei principali aspetti e procedure indicate alle imprese boschive e loro squadre (ad esempio preparazione dei carichi, visibilità ...)

Problematiche principali di logistica del cantiere negli interventi di esbosco legname

Riportare un elenco puntuale dei principali aspetti problematici ricorrenti (ad esempio distanza punti di appoggio per rifornimento, mancanza e dimensioni piazzali per sgancio, accesso squadre, viabilità ...)

Condizioni operative ottimali

Riportare un elenco puntuale delle condizioni migliori per l'esbosco di legname in termini di morfologia del terreno e soprassuolo forestale

Condizioni operative peggiori

Riportare un elenco puntuale delle condizioni peggiori per l'esbosco di legname in termini di morfologia del terreno e soprassuolo forestale

Estensione degli interventi di esbosco di legname

Il cantiere tipo prevede interventi su (sono consentite più scelte):

- ☐ superfici con estensione inferiore a 1 ha (piccole)
- ☐ superfici con estensione tra 1 ha e 10 ha (medie)
- ☐ superfici con estensione superiori a 10 ha (grandi)
- ☐ superfici piccole e accorpate
- ☐ superfici piccole ma distanti tra loro ma nella stessa area di intervento
- ☐ superfici medie accorpate
- ☐ superfici medie ma distanti tra loro ma nella stessa area di intervento
- ☐ Other:

Gli interventi di esbosco legname hanno riguardato per lo più:

- ☐ Legname danneggiato da incendio o da attacchi di insetti o altri patogeni (piante secche)
- ☐ Utilizzazione ordinaria (legname fresco)
- ☐ Other:

Tempo di rotazione medio per interventi di esbosco legname in utilizzazioni ordinarie (legname fresco)

- ☐ inferiore a 1 minuto
- ☐ tra 1 e 2 minuti
- ☐ tra 2 e 3 minuti
- ☐ tra 3 e 4 minuti
- ☐ superiore a 4 minuti

Tempo di rotazione medio per interventi di esbosco legname danneggiato (legname secco)

- ☐ inferiore a 1 minuto
- ☐ tra 1 e 2 minuti
- ☐ tra 2 e 3 minuti
- ☐ tra 3 e 4 minuti
- ☐ superiore a 4 minuti

Per quanto riguarda i cantieri di esbosco legname la ditta è contattata da:

- ☐ Direttore lavori (Dottore Forestale ...)
- ☐ Direttamente dall'impresa boschiva
- ☐ Other:

Prima dell'inizio lavori prende conoscenza dell'area di cantiere attraverso:

- ☐ Visita aerea dell'area
- ☐ Visita a terra dell'area
- ☐ In sede con incontro con impresa boschiva/direttore lavori
- ☐ Si avvale della cartografia regionale
- ☐ Si avvale di cartografia specifica per voli aerei
- ☐ Other:

Periodo dell'anno in cui si registrano il maggior numero di interventi di esbosco legname

(sono consentite più scelte)

- ☐ Gennaio
- ☐ Febbraio
- ☐ Marzo
- ☐ Aprile
- ☐ Maggio
- ☐ Giugno
- ☐ Luglio
- ☐ Agosto
- ☐ Settembre
- ☐ Ottobre
- ☐ Novembre
- ☐ Dicembre

Cantiere più distante

Distanza dalla sede della ditta in cui stazionano gli elicotteri dal cantiere di esbosco legname più distante effettuato

- ☐ < 100 km
- ☐ 100 - 200 km
- ☐ 200 - 300 km
- ☐ > 300 km
- ☐ Other:

NOTE

Inserire eventuali note o commenti

APPENDICE B

Estratto banca dati rilievo GPS da elicottero

Punto GPS	Coordinate UTM 32 N		Quota	Data e ora	Distanza al punto successivo	Velocità	Rotazione	Fase*
	Y	X	m s.l.m		m	km h ⁻¹	ID	
2219	5106301,37	588097,94	1433	2012/11/21 7:48:53	8,87	31,9	R12	A
2220	5106285,43	588094,92	1438	2012/11/21 7:48:54	16,22	58,4	R12	A
2221	5106289,15	588082,73	1444	2012/11/21 7:48:55	12,74	45,9	R12	A
2222	5106294,56	588065,41	1454	2012/11/21 7:48:56	18,14	65,3	R12	A
2223	5106299,17	588045,87	1461	2012/11/21 7:48:57	20,08	72,3	R12	A
2224	5106302,16	588021,40	1468	2012/11/21 7:48:58	24,65	88,7	R12	A
2225	5106302,55	587994,57	1474	2012/11/21 7:48:59	26,83	96,6	R12	A
2226	5106293,95	587968,41	1482	2012/11/21 7:49:00	27,54	99,1	R12	A
2227	5106283,15	587943,60	1493	2012/11/21 7:49:01	27,06	97,4	R12	A
2228	5106269,60	587920,75	1503	2012/11/21 7:49:02	26,56	95,6	R12	A
2229	5106250,99	587901,77	1514	2012/11/21 7:49:03	26,58	95,7	R12	A
2230	5106231,29	587884,27	1524	2012/11/21 7:49:04	26,35	94,9	R12	A
2231	5106209,50	587867,81	1532	2012/11/21 7:49:05	27,31	98,3	R12	A
2232	5106181,43	587855,54	1539	2012/11/21 7:49:06	30,64	110,3	R12	A
2233	5106154,34	587841,93	1544	2012/11/21 7:49:07	30,31	109,1	R12	A
2234	5106125,91	587827,96	1550	2012/11/21 7:49:08	31,68	114,0	R12	A
2235	5106095,04	587814,02	1555	2012/11/21 7:49:09	33,87	121,9	R12	A
2236	5106064,60	587798,92	1561	2012/11/21 7:49:10	33,98	122,3	R12	A
2237	5106033,68	587781,73	1568	2012/11/21 7:49:11	35,37	127,3	R12	A
2238	5106002,53	587763,86	1575	2012/11/21 7:49:12	35,91	129,3	R12	A

Punto GPS	Coordinate UTM 32 N		Quota	Data e ora	Distanza al punto successivo	Velocità	Rotazione	Fase*
	Y	X	m s.l.m		m	km h ⁻¹	ID	
2239	5105973,26	587745,10	1582	2012/11/21 7:49:13	34,76	125,2	R12	A
2240	5105944,45	587727,50	1591	2012/11/21 7:49:14	33,76	121,5	R12	A
2241	5105917,48	587706,86	1599	2012/11/21 7:49:15	33,96	122,3	R12	A
2242	5105891,73	587685,43	1610	2012/11/21 7:49:16	33,51	120,6	R12	A
2243	5105866,08	587663,68	1615	2012/11/21 7:49:17	33,62	121,0	R12	A
2244	5105844,10	587642,35	1620	2012/11/21 7:49:18	30,63	110,3	R12	A
2245	5105823,18	587616,98	1621	2012/11/21 7:49:19	32,88	118,4	R12	A
2246	5105798,72	587592,52	1624	2012/11/21 7:49:20	34,60	124,6	R12	A
2247	5105775,59	587568,19	1626	2012/11/21 7:49:21	33,57	120,9	R12	A
2248	5105755,82	587545,51	1627	2012/11/21 7:49:22	30,09	108,3	R12	A
2249	5105738,31	587525,27	1628	2012/11/21 7:49:23	26,76	96,3	R12	A
2250	5105723,57	587504,68	1627	2012/11/21 7:49:24	25,32	91,1	R12	A
2251	5105711,54	587487,07	1625	2012/11/21 7:49:25	21,33	76,8	R12	A
2252	5105701,65	587471,91	1625	2012/11/21 7:49:26	18,10	65,2	R12	A
2253	5105697,74	587462,92	1623	2012/11/21 7:49:27	9,80	35,3	R12	A
2254	5105693,10	587448,68	1621	2012/11/21 7:49:28	14,98	53,9	R12	A
2255	5105692,42	587440,27	1620	2012/11/21 7:49:29	8,44	30,4	R12	A
2256	5105689,30	587431,73	1620	2012/11/21 7:49:30	9,09	32,7	R12	A
2257	5105686,83	587422,25	1619	2012/11/21 7:49:31	9,79	35,2	R12	A
2258	5105684,13	587411,93	1617	2012/11/21 7:49:32	10,67	38,4	R12	A
2259	5105682,90	587403,68	1615	2012/11/21 7:49:33	8,35	30,0	R12	A
2260	5105682,67	587395,64	1613	2012/11/21 7:49:34	8,04	28,9	R12	A
2261	5105684,48	587389,43	1612	2012/11/21 7:49:35	6,47	23,3	R12	A
2262	5105686,41	587384,92	1609	2012/11/21 7:49:36	4,91	17,7	R12	A

Punto GPS	Coordinate UTM 32 N		Quota	Data e ora	Distanza al punto successivo	Velocità	Rotazione	Fase*
	Y	X	m s.l.m		m	km h ⁻¹	ID	
2263	5105687,90	587380,42	1607	2012/11/21 7:49:37	4,75	17,1	R12	A
2264	5105687,95	587375,70	1605	2012/11/21 7:49:38	4,72	17,0	R12	A
2265	5105687,46	587373,00	1599	2012/11/21 7:49:39	2,74	9,9	R12	H
2266	5105686,99	587370,92	1599	2012/11/21 7:49:40	2,13	7,7	R12	H
2267	5105687,08	587369,14	1599	2012/11/21 7:49:41	1,78	6,4	R12	H
2268	5105687,51	587368,28	1598	2012/11/21 7:49:42	0,96	3,5	R12	H
2269	5105688,16	587367,58	1598	2012/11/21 7:49:43	0,96	3,5	R12	H
2270	5105688,38	587367,27	1598	2012/11/21 7:49:44	0,38	1,4	R12	H
2271	5105688,28	587367,65	1599	2012/11/21 7:49:45	0,40	1,4	R12	H
2272	5105688,06	587368,35	1601	2012/11/21 7:49:46	0,73	2,6	R12	H
2273	5105687,85	587368,82	1602	2012/11/21 7:49:47	0,51	1,9	R12	H
2274	5105687,86	587369,28	1603	2012/11/21 7:49:48	0,46	1,7	R12	H
2275	5105688,08	587369,67	1605	2012/11/21 7:49:49	0,45	1,6	R12	H
2276	5105688,20	587370,13	1606	2012/11/21 7:49:50	0,48	1,7	R12	H
2277	5105687,76	587370,60	1606	2012/11/21 7:49:51	0,64	2,3	R12	H
2278	5105686,78	587371,93	1608	2012/11/21 7:49:52	1,65	5,9	R12	H
2279	5105686,36	587373,71	1610	2012/11/21 7:49:53	1,83	6,6	R12	H
2280	5105687,63	587376,71	1613	2012/11/21 7:49:54	3,25	11,7	R12	H
2281	5105689,13	587380,78	1615	2012/11/21 7:49:55	4,34	15,6	R12	R
2282	5105688,87	587386,20	1618	2012/11/21 7:49:56	5,42	19,5	R12	R
2283	5105689,54	587394,00	1621	2012/11/21 7:49:57	7,83	28,2	R12	R
2284	5105694,32	587409,55	1625	2012/11/21 7:49:58	16,27	58,6	R12	R
2285	5105699,17	587422,16	1627	2012/11/21 7:49:59	13,51	48,6	R12	R
2286	5105707,48	587436,49	1630	2012/11/21 7:50:00	16,58	59,7	R12	R

Punto GPS	Coordinate UTM 32 N		Quota	Data e ora	Distanza al punto successivo	Velocità	Rotazione	Fase*
	Y	X	m s.l.m		m	km h ⁻¹	ID	
2287	5105720,94	587453,16	1632	2012/11/21 7:50:01	21,42	77,1	R12	R
2288	5105735,77	587471,89	1633	2012/11/21 7:50:02	23,89	86,0	R12	R
2289	5105752,61	587491,98	1631	2012/11/21 7:50:03	26,22	94,4	R12	R
2290	5105770,91	587512,59	1630	2012/11/21 7:50:04	27,56	99,2	R12	R
2291	5105790,33	587533,96	1631	2012/11/21 7:50:05	28,87	103,9	R12	R
2292	5105811,53	587556,00	1634	2012/11/21 7:50:06	30,59	110,1	R12	R
2293	5105836,62	587577,60	1631	2012/11/21 7:50:07	33,11	119,2	R12	R
2294	5105862,06	587600,35	1631	2012/11/21 7:50:08	34,13	122,9	R12	R
2295	5105888,71	587622,16	1633	2012/11/21 7:50:09	34,43	124,0	R12	R
2296	5105916,00	587642,02	1633	2012/11/21 7:50:10	33,75	121,5	R12	R
2297	5105942,61	587661,12	1632	2012/11/21 7:50:11	32,76	117,9	R12	R
2298	5105970,31	587678,82	1632	2012/11/21 7:50:12	32,87	118,3	R12	R
2299	5105997,78	587695,43	1632	2012/11/21 7:50:13	32,10	115,6	R12	R
2300	5106025,03	587712,52	1629	2012/11/21 7:50:14	32,16	115,8	R12	R
2301	5106051,39	587729,84	1628	2012/11/21 7:50:15	31,55	113,6	R12	R
2302	5106077,07	587746,33	1625	2012/11/21 7:50:16	30,52	109,9	R12	R
2303	5106103,29	587761,18	1622	2012/11/21 7:50:17	30,13	108,5	R12	R
2304	5106129,37	587773,95	1619	2012/11/21 7:50:18	29,03	104,5	R12	R
2305	5106156,97	587784,46	1614	2012/11/21 7:50:19	29,53	106,3	R12	R
2306	5106179,35	587795,73	1606	2012/11/21 7:50:20	25,07	90,2	R12	R
2307	5106200,56	587809,89	1599	2012/11/21 7:50:21	25,49	91,8	R12	R
2308	5106223,00	587825,18	1592	2012/11/21 7:50:22	27,16	97,8	R12	R
2309	5106244,44	587839,87	1583	2012/11/21 7:50:23	25,99	93,6	R12	R
2310	5106263,66	587854,90	1576	2012/11/21 7:50:24	24,40	87,8	R12	R

Punto GPS	Coordinate UTM 32 N		Quota	Data e ora	Distanza al punto successivo	Velocità	Rotazione	Fase*
	Y	X	m s.l.m		m	km h ⁻¹	ID	
2311	5106282,65	587869,55	1570	2012/11/21 7:50:25	23,98	86,3	R12	R
2312	5106300,96	587883,12	1565	2012/11/21 7:50:26	22,79	82,1	R12	R
2313	5106318,57	587894,54	1558	2012/11/21 7:50:27	20,99	75,6	R12	R
2314	5106335,73	587905,58	1541	2012/11/21 7:50:28	20,41	73,5	R12	R
2315	5106352,80	587918,25	1531	2012/11/21 7:50:29	21,26	76,5	R12	R
2316	5106372,00	587931,89	1522	2012/11/21 7:50:30	23,55	84,8	R12	R
2317	5106387,00	587947,29	1515	2012/11/21 7:50:31	21,50	77,4	R12	R
2318	5106394,90	587963,18	1508	2012/11/21 7:50:32	17,74	63,9	R12	R
2319	5106404,45	587978,73	1501	2012/11/21 7:50:33	18,26	65,7	R12	R
2320	5106410,63	587991,17	1496	2012/11/21 7:50:34	13,88	50,0	R12	R
2321	5106405,45	587993,79	1492	2012/11/21 7:50:35	5,81	20,9	R12	R
2322	5106410,54	588000,29	1487	2012/11/21 7:50:36	8,26	29,7	R12	R
2323	5106412,92	588018,73	1482	2012/11/21 7:50:37	18,59	66,9	R12	R
2324	5106408,82	588027,60	1477	2012/11/21 7:50:38	9,77	35,2	R12	R
2325	5106406,28	588036,60	1473	2012/11/21 7:50:39	9,35	33,7	R12	R
2326	5106401,40	588045,02	1469	2012/11/21 7:50:40	9,73	35,0	R12	R
2327	5106390,68	588049,04	1465	2012/11/21 7:50:41	11,45	41,2	R12	R
2328	5106382,52	588053,64	1461	2012/11/21 7:50:42	9,37	33,7	R12	R
2329	5106375,73	588060,39	1456	2012/11/21 7:50:43	9,57	34,5	R12	R
2330	5106366,34	588064,15	1453	2012/11/21 7:50:44	10,12	36,4	R12	R
2331	5106359,49	588067,34	1449	2012/11/21 7:50:45	7,55	27,2	R12	S
2332	5106354,76	588070,43	1446	2012/11/21 7:50:46	5,65	20,3	R12	S
2333	5106350,34	588072,04	1443	2012/11/21 7:50:47	4,71	16,9	R12	S

* A= andata; R= ritorno; H= aggancio; S= sgancio.

APPENDICE C

Estratto organizzazione dei dati utilizzati per l'analisi di produttività

Rotaz	n° ck	Payload	Time	And	Agg	Rit	Sga	Ck	DistFlyOut	DistFlyIn	HorDist	ElevChange
		kg	sec	sec	sec	sec	sec		m	m	m	m
80	1		113	23	33	45	12	NO	471	891	450	227
81	1		103	21	31	38	13	NO	376	736	361	221
82	1		103	33	33	34	3	SI	374	717	332	234
83	2		155	23	79	48	5	NO	371	927	297	220
84	1		128	36	35	46	11	NO	964	1082	671	129
85	2		142	60	30	44	8	SI	1029	1110	659	128
RIPOSO + RIF			86									
PAUSA			4384									
RISC			64									
86	2	1150	147	45	34	54	14	NO	716	1224	577	141
87	2	520	112	36	25	41	10	NO	875	1166	660	124
88	3	1010	305	34	198	47	26	NO	923	1174	676	110
89	2	1300	176	56	57	54	9	SI	953	1231	680	136
90	1	600	95	20	33	35	7	NO	451	714	391	223
91	2	500	119	22	50	37	10	NO	451	738	402	218
92	2	950	100	24	26	37	13	NO	453	697	405	231
93	1	820	111	37	29	37	8	SI	414	765	376	232
94	2	1250	134	36	40	49	9	NO	968	1140	718	125
95	3	1110	151	34	51	52	14	NO	910	1173	698	113
96	1	980	245	34	152	46	13	NO	944	1127	694	88
97	1	920	133	47	29	45	12	SI	990	1086	694	101
98	2	600	89	22	26	30	11	NO	353	660	345	205
99	1	790	86	22	23	35	6	NO	376	645	352	211
100	3	780	253	23	188	33	9	NO	412	655	333	209
101	1	980	101	31	25	37	8	SI	370	643	343	223
102	1	980	108	36	21	41	10	NO	883	1081	705	107
103	1	900	103	30	20	40	13	NO	899	1080	711	105

Rotaz	n° ck	Payload	Time	And	Agg	Rit	Sga	Ck	DistFlyOut	DistFlyIn	HorDist	ElevChange
		kg	sec	sec	sec	sec	sec		m	m	m	m
104	1	960	106	34	20	40	12	NO	861	1089	702	104
105	1	1120	121	35	26	48	12	NO	937	1163	714	121
106	1	1050	149	56	34	48	11	SI	974	1102	739	109
107	1	800	104	25	41	33	5	NO	351	608	335	217
108	1	850	98	22	26	37	13	NO	368	743	346	214
109	2	900	90	23	24	35	8	NO	352	642	345	209
110	2	950	112	25	44	36	7	NO	338	729	321	202
111	2	1000	138	37	60	31	10	SI			299	224
RIF			219									
112	2	750	124	44	40	33	7	NO	428	580	388	229
113	2	450	110	22	48	33	7	NO	391	572	340	206
114	1	920	149	45	36	48	20	NO	977	1100	764	102
115	2	790	348	36	258	43	11	NO	1226	1128	753	95
116	1	1200	135	41	24	49	21	NO	1033	1303	777	118
117	2	620	167	41	87	30	9	SI	360	590	318	212
118	1	1000	122	33	27	46	16	NO	877	1097	763	104
119	1	1250	137	32	36	47	22	NO	939	1155	758	110
120	2	1020	129	36	35	49	9	NO	944	1111	767	102
121	2	900	140	36	48	46	10	NO	971	1112	756	106
122	1	1020	96	23	26	35	13	NO	361	530	325	201
123	2	700	99	21	36	37	5	NO	385		303	196
124	1	1020	93	20	34	28	11	NO	317	580	295	188
125	3	1170	147	44	46	47	10	SI	355	781	317	205
126	1	850	142	50	40	45	7	SI	944	1103	741	101
127	1	800	124	38	32	44	10	NO	979	1132	737	96
128	2	1240	139	37	44	46	12	NO	887	1151	708	107
129	2	810	111	37	23	43	8	NO	911	1060	711	98
130	2	1310	157	35	53	55	14	NO	914	1260	749	97
131	1	870	136	53	29	41	13	SI	934	1065	685	100
132	1	880	104	23	34	29	18	NO	375	502	324	196
133	2	1050	92	25	26	31	10	NO	341	506	270	189

Rotaz	n° ck	Payload	Time	And	Agg	Rit	Sga	Ck	DistFlyOut	DistFlyIn	HorDist	ElevChange
		kg	sec	sec	sec	sec	sec		m	m	m	m
134	2	540	94	23	29	31	11	NO	303	522	266	195
135	1	750	93	24	28	37	4	NO	257	658	236	196
136	1	600	115	41	35	32	7	SI	311	766	201	198
RIF			301									
137	1		235	51	132	38	14	NO	782	981	599	123
138	1	850	114	36	31	33	14	NO	964	1044	688	98
139	1	1200	121	42	22	48	9	NO	932	1075	694	95
140	1		112	37	25	40	10	NO	969	1047	650	108
141	1		127	36	37	40	14	NO	935	1054	663	105
142	2		146	49	46	41	10	SI	988		687	102
143	2		84	24	21	36	3	NO	209		180	184
144	2		100	21	35	37	7	NO	244		206	187
145	1		103	32	25	35	11	SI			284	200
146	2	1150	130	39	24	52	15	NO		1053	737	86
147	1		116	34	25	44	13	NO	911	1139	740	71
148	2		117	39	31	35	12	NO	884	1075	698	86
149	1	1050	126	34	30	51	11	NO	901	1069	727	66
150	1		117	35	25	45	12	NO	979	1146	727	78
151	1	1000	134	36	35	47	16	NO	977	1230	712	86
152	2		115	35	28	40	12	NO	818	1072	695	71
153	1		148	36	61	35	16	NO	892	1079	722	67
154	2		105	22	40	34	9	NO	376	633	341	187
155	2		124	49	30	34	11	SI	417	616	332	202
156	1		137	52	27	41	17	SI	911	1155	707	69
157	1	1000	106	35	22	40	9	NO	834	1083	703	55
158	2		122	32	31	42	17	NO	858	1075	716	40
159	1		122	35	36	41	10	NO	903	1091	716	69

Rotaz = numero progressivo rotazione; n° ck = numero di cordoli agganciati con il carico; payload = carico trasportato; And = andata; Agg = aggancio; Rit = ritorno; Sga = sgancio; Ck = ritorno cordoli in bosco; DistFlyOut = distanza planimetrica realmente percorsa dal punto di scarico all'aggancio; DistFlyIn = distanza planimetrica realmente percorsa dal punto di aggancio allo scarico; HorDist = distanza lineare orizzontale tra il punto di carico e il piazzale; ElevChange = dislivello dal piazzale al punto di carico.

APPENDICE D

Estratto foglio di calcolo costi realizzazione nuove strade forestali

Progettista	Strada	Sez.	Carreggiata	Pend. versante	Pend. media	Distanza prog	Quota progetto	Pend. tratto	Largh. fascia lineare	Scavo	Riporto	Scavo in roccia	Scavo in roccia	Largh. Scarpate	Lunghezza scogliera	H scogliera	Scogliera
		n.	m	%	%	m	m s.l.m.	%	m	m ²	m ²	m ²	%	m	m	m	
MD	PES	1	8,4	50		0	1163,85		1,5	0	0	5,57		0		0	NO
MD	PES	1-2	5,7		51,5			13,3					81				NO
MD	PES	2	3	53		45,16	1169,85		9,53	1,29	2,53	0		8,3		0	NO
MD	PES	2-3	3		55,5			16,5					0				NO
MD	PES	3	3	58		86,6	1176,68		11,59	1,51	3,93	0		10,88		0	NO
MD	PES	3-4	3		54,5			16,9					0				NO
MD	PES	4	3	51		128,94	1183,85		6,05	1,85	0,5	0		4,38		0	NO
MD	PES	4-5	3		62,5			10,1					0		1	4	SI
MD	PES	5	3	74		160,1	1187		10,06	1,38	2,81	0		5,83		4	SI
MD	PES	5-6	3		79,5			17,1					21		1	4	SI
MD	PES	6	3	85		189,35	1192		6,53	0,5	1,16	0,5		4,51		0	NO
MD	PES	6-7	3		72,5			19,9					50				NO
MD	PES	7	3	60		234,91	1201,05		5,37	1,09	0	1,09		1		0	NO
MD	PES	7-8	3		35			8,6					46				NO
MD	PES	8	3	10		294,76	1206,21		3,48	0,15	0,15	0		0,59		0	NO
MD	PES	8-9	3		41,5			2,1					0				NO
MD	PES	9	3	73		326,23	1206,86		7,44	1,71	2,45	0		11,696		0	NO
MD	PES	9-10	3		76,5			15,8					27		10	2	SI
MD	PES	10	3	80		343,4	1209,58		8,24	1,08	1,94	1,07		4,64		2	SI
MD	PES	10-11	3		68,5			4,7					76		10	2	SI
MD	PES	11	3	57		416,31	1213,02		7,93	0	1,92	2,44		2,6		0	NO
MD	PES	11-12	3		57			4,5					100				NO
MD	PES	12	3	57		469,85	1215,44		7,78	0	1,8	0,93		4,32		0	NO
MD	PES	12-13	3		61			5,6					100				NO
MD	PES	13	3	65		483	1216,18		5,51	0	1,25	0,78		2,98		0	NO
MD	PES	13-14	3		61			3,7					100				NO

Sez.	Apertura tracciato			Sbancamento e sistemazione scarpate			Scavo in roccia			Pavimentazione			Inerbimento scarpate			Opere di sostegno			Regimazione acque			Totale
n.	m ²	€	€/ml	m ³	€	€/ml	m ³	€	€/ml	m ²	€	€/ml	m ²	€	€/ml	m ²	€	€/ml	n	€	€/ml	€/ml
1																						
1-2	339	339	7,5	29	254	5,6	126	4573	101,3	257	999	22,1	187	375	8,3	0	0	0,0	1,54	308	6,8	151,6
2																						
2-3	520	520	12,6	58	505	12,2	0	0	0,0	124	482	11,6	397	795	19,2	0	0	0,0	1,65	330	8,0	63,5
3																						
3-4	458	458	10,8	71	620	14,6	0	0	0,0	127	493	11,6	254	509	12,0	0	0	0,0	1,72	344	8,1	57,2
4																						
4-5	313	313	10,1	50	438	14,1	0	0	0,0	93	363	11,6	109	217	7,0	4	216	6,9	0,87	174	5,6	55,3
5																						
5-6	301	301	10,3	27	239	8,2	7	266	9,1	88	340	11,6	151	302	10,3	4	216	7,4	1,20	239	8,2	65,1
6																						
6-7	362	362	8,0	36	315	6,9	36	1317	28,9	137	530	11,6	126	251	5,5	0	0	0,0	2,08	416	9,1	70,1
7																						
7-8	385	385	6,4	37	323	5,4	33	1186	19,8	180	697	11,6	48	95	1,6	0	0	0,0	1,49	297	5,0	49,8
8																						
8-9	235	235	7,5	29	255	8,1	0	0	0,0	94	366	11,6	193	387	12,3	0	0	0,0	0,28	55	1,8	41,2
9																						
9-10	169	169	9,8	24	209	12,2	9	334	19,5	52	200	11,6	140	280	16,3	20	1082	63,0	0,66	133	7,7	140,2
10																						
10-11	735	735	10,1	39	343	4,7	128	4653	63,8	219	849	11,6	264	528	7,2	20	1082	14,8	1,17	233	3,2	115,5
11																						
11-12	528	528	9,9	0	0	0,0	90	3280	61,3	161	623	11,6	185	370	6,9	0	0	0,0	0,83	166	3,1	92,8
12																						
12-13	114	114	8,6	0	0	0,0	11	409	31,1	39	153	11,6	48	96	7,3	0	0	0,0	0,24	48	3,6	62,3
13																						
13-14	265	265	7,4	0	0	0,0	36	1310	36,5	108	417	11,6	59	118	3,3	0	0	0,0	0,48	97	2,7	61,6