



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO TERRITORIO E SISTEMI AGRO-FORESTALI

Corso di Laurea magistrale in Scienze forestali e ambientali

Monitoraggio delle tensioni delle funi portanti nei sistemi di gru a cavo a stazione motrice mobile operanti sull'arco alpino italiano.

Relatore:

Prof. Stefano Grigolato

Correlatore:

Dott. Omar Mogni

Laureando:

Giulio Zambon

Matricola n. 1132289

ANNO ACCADEMICO

2017-2018

Indice

Riassunto	7
Abstract	9
1 Introduzione	11
1.1 L'impiego delle gru a cavo nel contesto alpino	11
1.2 Tipologie di gru a cavo a fune portante.....	11
1.3 Le funi metalliche e i limiti di sicurezza	14
1.4 Vantaggi e criticità	17
1.5 Studi sulle tensioni.....	19
1.6 Obbiettivi	21
2 Materiali e Metodi.....	22
2.1 Cantieri di studio	22
2.2 Protocollo di rilievo.....	25
2.2.1 Rilievo degli elementi strutturali	25
2.2.2 Monitoraggio delle tensioni	25
2.2.3 Monitoraggio delle fasi di lavoro	26
2.2.4 Misura dei carichi	27
2.3 Impostazione delle analisi	28
2.3.1 Impostazione del dataset	28
2.3.2 Analisi video.....	31
2.3.3 Analisi GIS	32
2.3.4 Analisi statistica delle tensioni e delle fasi di lavoro	32
3 Risultati	35
3.1 Caratteristiche specifiche delle linee.....	35
3.2 Monitoraggio delle tensioni	38
3.3 Valutazione degli indici di carico dinamico	44
4 Discussione dei risultati	47
5 Conclusioni	48
6 Bibliografia.....	49
7 Allegati	51

Riassunto

Conoscendo l'importanza e l'ampio utilizzo delle gru a cavo come mezzi di esbosco nelle regioni montuose dell'arco alpino, il presente lavoro di tesi è stato svolto per osservare le condizioni di impiego e di sicurezza di questi mezzi forestali. Attraverso il monitoraggio delle tensioni delle funi portanti delle gru a cavo a motrice mobile è stato possibile desumere un quadro reale delle condizioni di sicurezza e di impiego nei cantieri forestali.

I riferimenti bibliografici denotano una limitata disponibilità di dati per quanto riguarda i monitoraggi delle tensioni nei sistemi di gru a cavo a fune portante, specialmente nel contesto alpino. Per colmare tale lacuna si è impostato un sistema di monitoraggio delle tensioni affiancato a un'analisi delle fasi di esbosco in condizioni reali di lavoro.

Gli strumenti impiegati sono stati un tensiometro per le misurazioni delle tensioni durante i cicli di esbosco, un dispositivo (*GNSS-IMU*) per il rilievo di posizione e inclinazione del carrello durante le fasi di esbosco e una videocamera. Per integrare i dati dagli strumenti sono stati misurati i carichi dei cicli monitorati e rilevati tutti gli elementi costitutivi delle linee di gru a cavo considerate. Sono state monitorate in totale 12 linee appartenenti a 10 aziende boschive diverse distribuite sul territorio alpino nelle regioni Lombardia, Trentino-Alto Adige e Friuli Venezia-Giulia, per un rilievo complessivo di 502 cicli di lavoro. Dall'analisi dati si è osservato una tendenza a superare i limiti di sicurezza imposti dalle norme di utilizzo di questi macchinari. È stato possibile riaffermare che le fasi di strascico del carico (*lateralskid*) e di viaggio con il carico (*inhaul*) siano le più critiche per le tensioni che vengono generate, come già osservato negli studi pregressi.

Sono stati calcolati gli indici descrittivi della dinamica delle tensioni nelle fasi più critiche, ma si è osservato un intervallo molto variabile di valori. Sarà necessario trattare i dati ricavati attraverso un'analisi di regressione lineare adatta alla ricerca e selezione delle variabili significative scatenanti i picchi di tensione.

Abstract

Knowing the importance and the wide use of cable cranes as means of timber extraction in the mountainous regions of the Alpine arc, this thesis was carried out to observe the conditions of use and safety of these forestry machine. Through the monitoring of the skyline tensions of mobile cable crane was showed a real picture of conditions of safety and use in the forestry sites.

The bibliographic references denote limited data availability regarding to the monitoring of tension in the standing skyline systems, especially in the Alpine context. To fill this gap, a tension monitoring system was set up for the analysis of the yarding phases in real harvesting conditions.

The instruments used were a tensiometer for the measurements of tension during the yarding cycles, a device (GNSS-IMU) to get the position and inclination of the carriage during the yarding phases and a video camera. To integrate the data measured by the instruments, all the loads of the cycles were measured, and all the elements of cable-crane lines were noticed and measured. A total of 12 lines belonging to 10 different company were monitored throughout the Alpine regions of the Lombardy, Trentino-Alto Adige and Friuli Venezia-Giulia, for a total of 502 work cycles measured. The data analysis showed a tendency to exceed the safety limits imposed by the rules of good practice of these machines. It has been possible to reaffirm that the phases of lateral skidding and hauling of the load are the most critical for the tensions that are generated, as already observed in previous studies.

The dynamic load magnitude index in the most critical phases were calculated, but a very variable range of values was found. Given the diversity of the variables measured on the sites it was not possible to derive the most significant variables that favor tension peaks. It will be necessary to process the data obtained through a linear regression analysis suitable for the research and selection of these significant variables.

1 Introduzione

1.1 L'impiego delle gru a cavo nel contesto alpino

L'utilizzo di impianti a fune è sempre stato documentato fin dall'antichità come sistema di trasporto in condizioni di attraversamento inaccessibili per via terrestre (Samset 1985).

Le teleferiche per l'esbosco sono largamente diffuse nell'utilizzazioni boschive delle zone del mondo come l'Europa centrale, la costa ovest del Nord America, il Giappone, la Turchia e la Nuova Zelanda (Bont and Heinimann 2012; Gumus and Acar 2010; Heinimann 2004). Le differenti condizioni e tradizioni in cui questi sistemi di esbosco sono stati applicati hanno sviluppato configurazioni di macchinari virtualmente illimitate e in continuo sviluppo (Samset 1985; Studier and Binkley 1974). Nel contesto centro europeo specialmente nell'arco alpino è diffuso il sistema di gru a cavo a fune portante o *standing skyline* (Figura 1.2). Questo tipo di sistema di esbosco permette di adattarsi come soluzione per i trattamenti di diradamento e tagli a scelta impiegati tradizionalmente nella gestione dei boschi alpini (Heinimann 2004; Talbot, Stampfer, and Visser 2015). L'impiego delle gru a cavo nel contesto alpino è di particolare importanza perché contribuisce all'esbosco del 20% del volume di legname tagliato nei paesi come Austria, Svizzera e nord Italia (Dupire et al. 2016).

1.2 Tipologie di gru a cavo a fune portante

Il principio su cui si basano questi impianti è l'installazione di una fune portante ancorata a due estremità, una a monte e una a valle, sostenuta da dei supporti intermedi e dei ritti di estremità (Figura 1.2). In essa un carrello scorre e trasporta il carico di tronchi dall'area di taglio alla zona di scarico e accatastamento. Il movimento del carrello viene impresso da una fune traente se l'esbosco è verso monte, mentre se è verso valle deve essere impiegata una fune di ritorno per adempiere alle operazioni di trasporto (Fabiano and Marchi 2003).

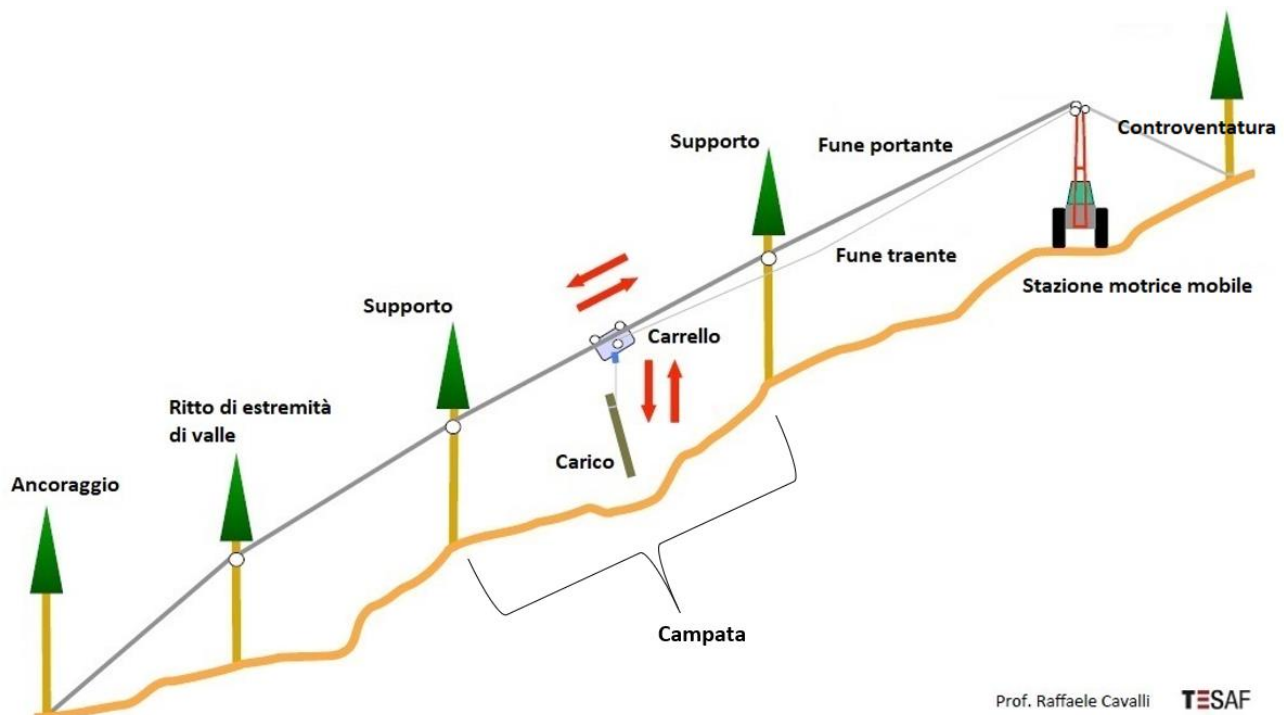


Figura 1.1 Schema di composizione di una linea di gru a cavo a fune portante con stazione motrice mobile
(estratto e elaborato dalle lezioni Prof. R. Cavalli)

Le gru a cavo a fune portante si distinguono in base alla tecnologia di macchina motrice impiegata.

La più diffusa tradizionalmente nell’arco alpino italiano è l’argano a slitta (Figura 1.2). Consiste in un argano con un singolo tamburo contenente la fune traente montato su un telaio a forma di slitta. Esso viene impiegato in situazioni molto impervie difficilmente asservite da una rete viaria forestale (Mologni et al. 2016).



Figura 1.2 Argano a slitta.

Altra tecnologia sempre più apprezzata dagli addetti al settore è invece la stazione a motrice mobile (Figura 1.1 e Figura 1.3) (Heinimann 2004). Si tratta di una torretta telescopica o ribaltabile combinata con un numero da due a quattro argani (funi portante, traente, di ritorno e svolgente per l'espulsione della fune traente) portati su un veicolo come trattore, autocarro o carrello semovente (Figura 1.4). Essendo la torretta ritto di estremità della linea la rende molto versatile come macchinario, necessita però di una rete viaria forestale capillare per il suo spostamento, allestimento e disinstallazione (Cielo et al. 2004; Mogni et al. 2016).



Figura 1.3 Tipologie di gru a cavo a stazione motrice mobile: a) portata su trattore, b) montata su autocarro, c) carrello semovente.

Entrambi le tipologie di gru a cavo possono essere dotate di carrelli automatici con sistema di espulsione della fune traente o con fune ausiliaria indipendente per raggiungere i carichi localizzati nelle zone più estreme della linea (Figura 1.4). Le gru a cavo a stazione motrice mobile prevalentemente quelle combinate con due funi (bi-funi) e in misura minore quelle dotate di tre funi (tre-funi) spesso vengono integrate anche con carrelli auto-traslanti (Figura 1.4). Questo approccio permette di ampliare l'operatività di questi macchinari in base alle necessità di configurazione richiesta.



Figura 1.4 Differenti tipologie di carrelli osservati nei siti analizzati. Numerati partendo dall'alto: a) carrello automatico (ACC) bi-fune a gravità, b) carrello automatico (ACC) bi-fune con espulsore, c) carrello automatico (ACC) tri-fune, d) carrello motorizzato con fune ausiliaria indipendente, e) carrello auto-traslante.

1.3 Le funi metalliche e i limiti di sicurezza

Le funi metalliche impiegate nelle gru a cavo sono definite funi a trefoli. Sono composte principalmente da tre elementi che sono: il **filo** unità base che in combinazione con altri fili avvolti e preformati in maniera elicoidale dà origine a un **trefolo**, infine l'**anima** dove i trefoli stessi vengono avvolti per dare origine alla fune metallica (Figura1.5).

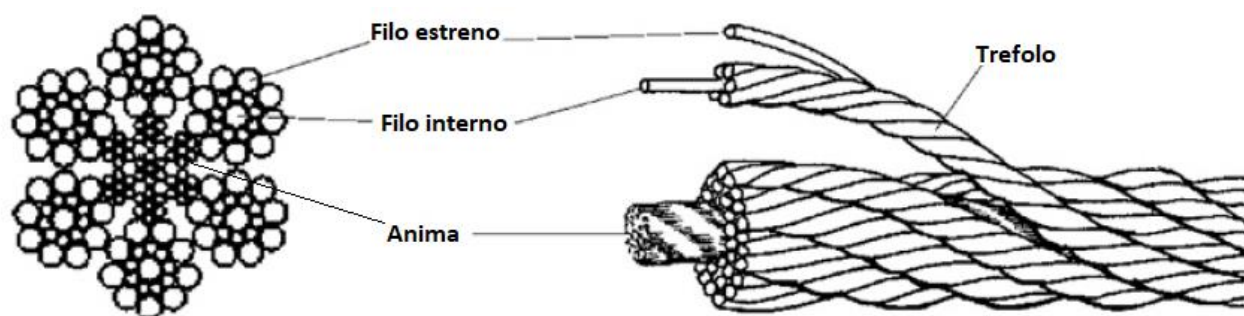


Figura 1.5 Elementi compositivi della fune a trefoli (Ackerman et al. 2017)

L' acciaio utilizzato nella costruzione delle funi è ad alto contenuto di carbonio. Si differenzia per la classe di resistenza a trazione che viene definita in base alla resistenza del singolo filamento in N/mm². Ecco alcuni esempi di tipologie di acciai e la loro resistenza a trazione (Work Safe BC 2006).

- 1370 N/mm² - mild plow steel (MPS);
- 1570 N/mm² - plow steel (PS);
- 1770 N/mm² - improved plow steel (IPS);
- 1960 N/mm² - extra improved plow steel (EIPS);
- 2160 N/mm² - enhanced o extra-extra improved plow steel (EEIPS).

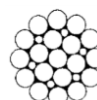
Le tipologie di funi a trefoli variano in base: la tipologia di anima, il numero e tipologia di trefoli e la direzione degli strati di avvolgimento tra i vari elementi.

L'anima ha la funzione di supporto flessibile e previene l'usura dei trefoli, esso può essere formato da: una fune di acciaio (IWRC), un trefolo (WSC) o una fune in fibra naturale o plastica (FC).

Le tipologie di trefoli impiegati nella costruzione della fune si possono definire in 3 schemi: Seale, Worrington e Filler.

Essi differiscono per la combinazione in cui fili di diametri diversi vengono avvolti nella composizione degli strati interni ed esterni del trefolo.

- *Seale*: trefolo con uguale numero di fili in entrambi gli strati con diametri più fini nello strato interno e più grossi nello strato esterno.
- *Worrington*: trefolo composto da uno strato interno formato da fili dello stesso diametro e strato esterno formato da una combinazione di fili di diametro fine e grosso alternati l'uno con l'altro.
- *Filler*: trefolo con strato esterno formato da fili dello stesso diametro. Lo strato interno è composto da un numero inferiore di fili con diametro uguale allo strato esterno, sono inseriti altri fili di diametro più piccolo per riempire gli spazi fra i due strati.



Molto usate sono le funi a trefoli ibridi. Sfruttano le migliori caratteristiche che ogni tipologia di trefolo ha, combinando diversi schemi costruttivi in base alle necessità di resistenza alle pressioni esterne, usura e flessibilità. Il trefolo ibrido *Worrington-Seale* viene molto impiegato nelle funi ad uso forestale.



La disposizione degli strati tra i fili e i trefoli è possibile osservarla in base a come varia la direzione di avvolgimento fra essi. La direzione degli avvolgimenti può essere:

- **parallelo o concorde** i fili e trefoli hanno entrambi direttrice di rotazione verso destra o sinistra.
- **crociato o discorde** i fili hanno direttrice di rotazione opposta a quella dei trefoli (destra-sinistra o sinistra-destra).

La tipologia di avvolgimento dà alla fune diverse caratteristiche di flessibilità durata o resistenza.

Attraverso una riduzione del diametro della fune o dei trefoli è possibile aumentare la caratteristica di resistenza al carico di rottura. Esistono due tipologie di funi che differiscono in base al processo di costruzione:

- **Fune compattata:** attraverso una trafila i trefoli vengono compattati e poi assemblati per la costruzione della fune.
- **Fune martellata:** fune di ordinaria costruzione che successivamente viene pressata per la riduzione di diametro.

Entrambi i processi di produzione di queste funi richiedono costi maggiori rispetto a una fune a trefoli ordinaria.

Importanti da definire sono anche i limiti di sicurezza delle funi. Descrivono il comportamento meccanico delle funi a in base alle diverse sollecitazioni esterne (Ackerman et al. 2017).

- **Limite elastico:** limite superiore dove una sollecitazione deforma permanentemente la fune. Corrisponde al **60-65 %** del **carico di rottura** o *Minumum Breaking Strenght* (MBL).
- **Limite di resistenza a fatica** o *Endurance limit* (EL): limite inferiore a quello elastico ma di fondamentale importanza per longevità della fune. Corrisponde al **50%** del **carico di rottura**. Se superato ripetutamente la fune non riesce a recuperare le caratteristiche originali perdendole gradualmente fino alla rottura.
- **Tensione massima di esercizio** o *Safe Working Load* (SWL): nelle operazioni forestali di esbosco con gru a cavo è definita convenzionalmente come il **33%** del **carico di rottura** della fune. Il valore è stato definito per sopperire alla stima delle forze dinamiche difficilmente individuabili per il movimento dei carichi e alle risposte dei supporti della linea. In certe condizioni viene portato anche al **40%**.

1.4 Vantaggi e criticità

Le gru a cavo rappresentano il principale sistema di esbosco a media o lunga distanza, in aree in cui l'elevata pendenza, l'accidentalità e le caratteristiche della rete viaria impediscano l'impiego di sistemi di esbosco terrestre (Hippoliti and Piegai 2000). In base alle condizioni stazionali i mezzi terrestri riescono a operare efficientemente su pendenze massime del 30-40% per distanze lineari massime di 100-150 metri dalla rete di viabilità forestale. Oltre questi limiti i metodi di esbosco terrestri rischiano di danneggiare l'area di taglio creando erosioni localizzate nelle piste di esbosco (Visser and Stampfer 2015). I sistemi di esbosco su fune si inseriscono efficacemente in quella fascia di aree in cui le pendenze superano il 35-40% e con distanze lineari tra i 300-1500 metri dalla rete di viabilità forestale (Figura 1.6).









SISTEMA TECNOLOGICO E CRITERI				
	SISTEMA TERRESTRE		SISTEMA FUNE	SISTEMA AEREO
ABBATTIMENTO				
ESBOSCO				
CRITERI	Pendenza <35% Non accidentato Alta capacità portante	Pendenza <50% Non accidentato Alta capacità portante	Pendenza 35-100% Accidentato Capacità portante indifferente	Pendenza > 50% Accidentato Capacità portante indifferente
Distanza da strada < 300 m		Distanza da strada 300-1000 m		Distanza da strada > 1000 m

Figura 1.6 Tipologie di sistemi di utilizzazione in relazione al contesto applicativo (estratto dalle lezioni Prof. S. Grigolato e rielaborato da Heinimann 2004).

L'impiego delle teleferiche è assodato in letteratura che sia il metodo meno invasivo per quanto riguarda gli impatti sull'area di taglio. Intrinseco al funzionamento del sistema è la gestione del carico in sospensione o semi-sospensione (Figura 1.7), che limita l'interazione dannosa con il suolo e il popolamento arboreo (Owende et al. 2001). Inoltre, una pianificazione dettagliata dei cantieri nel posizionamento delle linee permette di tener conto delle peculiarità paesaggistiche, naturalistiche e etero protettive delle aree sottoposte a utilizzazione (Gumus and Acar 2010).



Figura 1.7 A sinistra trasporto del carico in sospensione (sistema di estrazione CTL), a destra trasporto del carico in semi-sospensione (sistema di estrazione WTS).

L'esbosco con gru a cavo richiede però personale specializzato e altamente formato per la gestione dei macchinari nelle diverse fasi. A differenza dei sistemi terrestri le gru a cavo richiedono l'installazione dell'impianto e smontaggio successivo a fine cantiere. Fra i costi di impiego c'è da considerare questi tempi di lavoro che possono influenzare la produttività unitaria del cantiere (m^3/h) (Enache et al. 2015; Heinimann et al. 2001; Mologni et al. 2016).

I fattori che influenzano maggiormente queste tempistiche sono: il numero di lavoratori nell'equipaggio, la tipologia di macchina impiegata, la direzione di esbosco, la presenza o meno di una rete di viabilità forestale, il clima, la morfologia del terreno e le criticità in esso (Stampfer and Kanzian 2006).

Per nulla marginali sono gli aspetti che riguardano la sicurezza sul lavoro. Le condizioni poco favorevoli di pendenza espongono i lavoratori ad alto rischio di infortunio. In particolare per la componente di operazioni manuali che devono compiere gli operai nelle fasi di : apertura e abbattimento del corridoio di esbosco con motosega, l'aggancio e sgancio dei carichi e la successiva installazione e disinstallazione della linea (Albizu-Uriónabarrenetxea et al. 2013; Tsioras et al. 2014).

Tra le cause più frequenti di infortunio con le gru a cavo risultano critiche le casistiche in cui avviene: il rimbalzo di funi collassate, la caduta di oggetti dall'alto (dalle dimensioni di piccoli attrezzi a piante intere), la rottura degli ancoraggi e degli alberi che fungono da supporto (Tsioras et al. 2011). Questi avvenimenti

accadono per una negligenza dovuta alla violazione delle norme di sicurezza o a una scarsa esperienza lavorativa (Tsioras et al. 2011). L'errata valutazione delle tensioni applicate combinata all'errata installazione degli ancoraggi e dei supporti porta ad un alto rischio del collasso della linea di gru a cavo (Fraser 1996; Hartsough 1993).

1.5 Studi sulle tensioni

Oggigiorno le pratiche impiegate nel dimensionamento di una gru a cavo sono principalmente spiegate su molti manuali forniti dalle case costruttrici o da enti di formazione. Essi si focalizzano sulle buone prassi che riguardano: l'installazione e progettazione delle linee, la sicurezza nel cantiere, la valutazione dallo stato di usura dei macchinari e delle funi. La verifica preliminare delle condizioni di esercizio delle gru a cavo viene sempre fatta attraverso formule analitiche che inquadrano il sistema dal punto di vista statico. Questo permette di semplificare il sistema modellizzandolo. Per comprendere quant'è la tensione massima applicabile (SWL) sulla fune portante si usa una formula speditiva che permette di ricavare la tensione massima dividendo il carico di rottura della fune per un coefficiente di sicurezza, convenzionalmente pari a 3 (a volte 2,5) (Pestal 1961) (Formula 1).

$$SWL [kN] = MBL [kN] / s \quad (1)$$

SWL = *Safe working load* (tensione massima applicabile)

MBL = *Minimum Breaking Load* (carico di rottura)

s = coefficiente di sicurezza

Tale coefficiente di sicurezza consente di fornire una finestra di tolleranza per le sollecitazioni dinamiche durante le operazioni di lavoro. Se esse superano il limite di tensione massima (SWL) possono indurre dei danni sulle funi e i macchinari, compromettendo la sicurezza dei lavoratori (Harrill and Visser 2013).

Successivamente in cantiere la tensione della fune portante viene controllata indirettamente durante la fase di montaggio della linea attraverso un sensore idraulico integrato nell'argano (Dupire et al. 2016).

Nel tempo i sistemi di gru a cavo si sono sviluppati e evoluti secondo le disponibilità date dal progresso tecnologico. La ricerca è continua con lo scopo di rispondere ai quesiti dati dal settore che richiede oltre alla maggior efficienza una crescente sensibilità verso aspetti di sicurezza ed ergonomia (Cavalli 2012). Fin dagli anni '60 del secolo scorso dopo la diffusione su larga scala delle gru a cavo la bibliografia presenta già i primi studi fatti sulle tensioni delle funi portanti.

I primi approcci di ricerca si focalizzavano nel modellizzare il sistema e calcolare le tensioni assumendo un'analisi statica (Harrill 2014). Ma essendo difficoltosa la rilevazione dei dati di campo (attriti e elasticità riferiti ai supporti naturali), i calcoli analitici per la modellizzazione risultavano molto complessi,

aumentando la possibilità di errori nelle stime (Fabiano et al. 2011). Ne è esempio il lavoro riportato da Sessions (1976), dove vengono spiegate pratiche empiriche di campo utilizzate in Europa per una stima indiretta tramite delle formule della tensione di montaggio delle funi portanti.

Si va così verso la necessità di studi che comprendano al meglio il comportamento delle tensioni nella realtà operativa. Fino ad ora poche ricerche si sono focalizzate sullo studio dinamico delle tensioni in condizioni reali di lavoro. Alcune ricerche applicano condizioni predeterminate di carichi e configurazioni di linee per osservare in condizioni standard il comportamento delle tensioni. Ne è l'esempio il lavoro riportato da Pyles et al. (1994). Utilizzando una configurazione di linea di gru a cavo a singola campata indagarono sulle interazioni oscillatorie fra supporti, ancoraggi e fune portante. Attraverso dei test con carichi dinamici descrissero i fenomeni amplificativi e di smorzamento delle tensioni riportando le analisi attraverso indici descrittivi le fasi del ciclo di lavoro maggiormente coinvolte. Gli indici di carico dinamico riportati dallo studio sono: il *Breakout* associato al picco di tensione che si manifesta all'inizio della fase di strascico e il *Maximum Cyclic Load Amplitude* (MCLA) indice delle variazioni massime consecutive di tensione nel ciclo di lavoro. Più recentemente è stato prodotto uno studio da Harrill e Visser (2013) su modelli in scala dei tre sistemi di gru a cavo utilizzati in Nuova Zelanda. Sono state analizzate le casistiche che danno origine alle sovratensioni nelle linee con dei test dinamici di impatto rimbalzo e trattenuta dei carichi.

Misurazioni delle tensioni in condizioni reali di operatività vengono riportate da Visser (1998) in uno studio con lo scopo di implementare un sistema di controllo delle tensioni nelle gru a cavo a stazione motrice mobile. Lo studio ha portato ad effettuare dei monitoraggi per verificare l'efficacia del sistema di controllo in tre cantieri forestali nelle Alpi austriache. Questo ha portato, come già evidenziato precedentemente da Hartsough (1993), ad osservare che il monitoraggio in sede sperimentale delle tensioni attraverso celle di carico permetteva agli operatori di prevenire i sovraccarichi delle funi portanti. Altro studio di monitoraggio è quello fatto da Harrill e Visser (2016), essi compiono un lavoro di monitoraggio in Nuova Zelanda su 8 cantieri con gru a cavo a motrice mobile con tre sistemi di gru a cavo diversi. Lo scopo principale era di monitorare in base al sistema le tensioni delle funi portanti e osservare quando si manifestano i picchi di tensione in relazione alle fasi di lavoro. Monitorarono 259 cicli di lavoro riportando le analisi delle fasi e degli indici dei carichi dinamici proposti da Pyles et al. (1994) delle casistiche analizzate. Ulteriore monitoraggio sulle tensioni compiuto in ambito operativo è quello riportato da Spinelli et al. (2016). Nel contesto alpino italiano vennero analizzati in un singolo cantiere 83 cicli di lavoro. Scopo dello studio era misurare le tensioni medie in ogni fase di lavoro con successivo calcolo degli indici dei carichi dinamici (incrementi di tensione e MCLA) e infine verificare che nelle fasi operative non si superasse la tensione massima di esercizio con successiva verifica attraverso il foglio di calcolo elettronico SkylineXL per gli assunti di dimensionamento della linea.

Altri lavori che si focalizzano sullo studio delle tensioni applicano il monitoraggio come una verifica finale in campo degli studi fatti. Scopo principale di questi studi è l'implementazione di algoritmi o di modelli di

regressione che sappiano predire le forze sviluppate durante i cicli di lavoro per restituire dei valori di dimensionamento più efficienti rispetto a quelli dei modelli statici. Ne sono esempio gli studi riportati da Womack e Laursen (1994), e Fabiano et al. (2002, 2011), Dupire et al. (2016).

I principali limiti che i monitoraggi sulle tensioni in campo riportano riguardano soprattutto la scarsa numerosità e variabilità di cicli operativi rilevati nei cantieri di gru a cavo, in particolare nel contesto alpino. Oltre a questo emerge la necessità tecnologica di utilizzare strumenti potenzialmente più sensibili e precisi per una migliore apprezzabilità dei dati (Spinelli et al. 2016).

Ne consegue quindi l'importanza di comprendere come attualmente le imprese impiegano le linee di gru a cavo e come le modalità di lavoro si ripercuotono nelle dinamiche delle tensioni.

1.6 Obbiettivi

Visto i presupposti bibliografici e il crescente interesse e impiego verso la tecnologia di gru a cavo a stazione motrice mobile si vuole:

- Rilevare le tensioni delle funi portanti in cantieri campione dell'arco alpino italiano che impiegano gru a cavo a stazione motrice mobile.
- Confrontare i dati rilevati con le specifiche di sicurezza delle singole linee analizzate.

2 Materiali e Metodi

2.1 Cantieri di studio

Sono state 10 aziende boschive con 11 tipologie diverse di gru a cavo a stazione motrice mobile (5 trifuni e 6 bifuni) per un totale di 12 linee prese in considerazione nel monitoraggio. Il periodo di rilievo è stato da aprile a luglio 2017.

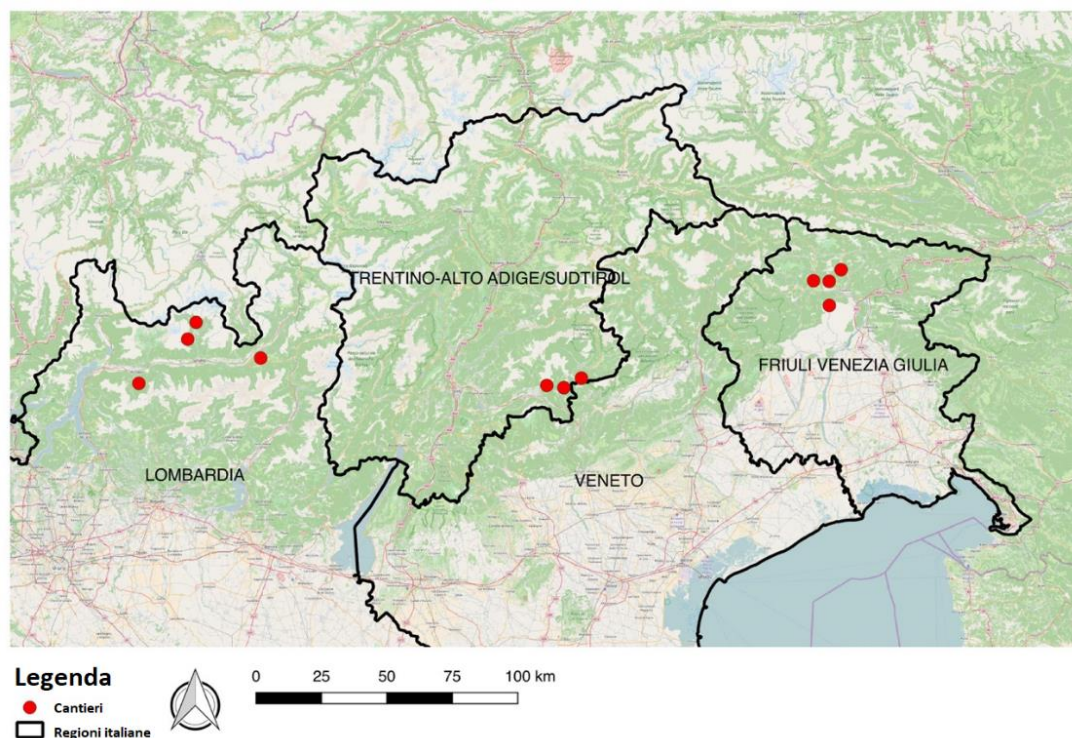


Figura 2.1 Locazione dei cantieri nelle regioni centro-orientali dell'arco alpino italiano.

I cantieri esaminati sono distribuiti equamente in tre regioni italiane dell'arco alpino centro orientale: Lombardia, Trentino Alto-Adige e Friuli-Venezia Giulia (Figura 2.1).

La selezione dei cantieri è stata possibile attraverso l'appoggio del Coordinamento Nazionale delle Imprese Boschive (CONAIBO) e la collaborazione delle aziende boschive usuali nell'impiego di gru a cavo nel contesto alpino. Le specifiche delle macchine sono presentate in due tabelle distinte per descrivere rispettivamente le tipologie di gru a cavo a motrice mobile bi-funi (Tabella 2.1) e tri-funi (Tabella 2.2).

I dati selvicolturali sono stati ricavati attraverso la documentazione di taglio fornita dalle stesse imprese o dai tecnici responsabili della loro redazione (Tabella 2.3). Le aree di taglio considerate erano composte principalmente da popolamenti puri di abete rosso (*Picea abies*), faggio (*Fagus sylvatica*) o misti con abete rosso, abete bianco (*Abies alba*), larice (*Larix decidua*) e pino silvestre (*Pinus silvestris*). I tipi di trattamenti applicati nelle diverse aree di taglio considerate comprendono tagli a buche, tagli a scelta, tagli successivi e un solo taglio raso per un cambiamento di destinazione d'uso del suolo a prato pascolo.

Tabella 2.1 Tabella riassuntiva gru a cavo bi-funi

Tipo di gru a cavo	1A	2A	3A	4A	5A	6A
Motrice mobile	Valentin V400/2T	Valentini V400/2T	Greifenberg TG700	Valentini V600/M/2/1000	Greifenberg TG860	Konrad KMS12U
Veicolo	Trattore	Trattore	Carrello (1 asse)	Carrello (2 assi)	Carrello (2 assi)	Carrello (2 assi)
Anno	2005	2014	2002	2012	2009	2014
Potenza (kW)	811*	811*	69	104	118	212
Altezza della torretta (m)	10	10	9	12.5	9	11
Peso (kg)	3200	3600	6500	10800	12000	13700
N. di controventature	2+2	5	4	4	4+1	4
Controllo fune traente	Pannello di controllo	Remoto (1 radio)	Pannello di controllo	Remoto (2 radio)	Remoto (1 radio)	Remoto (2 radio)
Traino automatico	No	No	No	Si	No	Si
Carrello	Koller HSK2002	Hochleitner BW3000	Greifenberg CRG15	Konrad Woodliner3000	Greifenberg HT30	Konrad Liftliner4000
Tipo	bi-fune ACC	bi-fune ACC	bi-fune ACC	autotraslante	bi-fune ACC con espulsore	motorizzato
Peso (kN)	2.2	2.0	1.4	11.5	2.8	9.3
Carico massimo (kN)	20	30	15	27.5	32	40
Fune portante	6x31WS FC	6x26WS IWRC (C+S)	6x19S FC	8x26WS IWRC (C+S)	6x26WS IWRC (C+S)	8x26WS IWRC (C+S)
Diametro nominale (mm)	20	16	20	22	22	22
Classe di resistenza (N/mm ²)	1770	1960	1770	1960	1960	1960
Peso lineare (kg/m)	1.42	1.14	1.44	2.34	2.3	2.3
Carico di rottura (kN)	234	201	234	451	485	469

* Potenza necessaria fornita dalla presa di potenza del trattore.

Tabella 2.2 Tabella riassuntiva gru a cavo tri-funi

Tipo di gru a cavo	1B	2B	3B	4B	5B
Motrice mobile	Valentini V600/M/3 850 spec.	Greifenberg TG T3	Valentini V600/M/3 1000	Valentini V600/M/3 1000/B10/R	Valentini V600/M/3 1000/LKW
Veicolo	Carrello (2 axes)	Carrello (2 axes)	Carrello (2 axes)	Carrello cingolato	Autocarro (2 assi)
Anno	2003	2006	2011	2010	1995/2015
Potenza (kW)	104	149	134	177	104
Altezza della torretta (m)	12.5	9.8	12.5	12.5	13
Peso (kg)	12000	12180	12000	20000	26000
N. di controventature	4	4	4	4+1	4
Controllo fune traente	Remoto (2 radio)	Pannello di controllo	Remoto (2 radio)	Remoto (2 radio)	Remoto (1 radio)
Traino automatico	Si	No	Si	Si	No
Carrello	Hochleitner BW4000	Koller HUSK2002	Hochleitner BW4000	Hochleitner BW4000	Hochleitner BW4000
Tipo	tri-fune ACC	tri-fune ACC	tri-fune ACC	tri-fune ACC	tri-fune ACC
Peso (kN)	6.4	3.9	6.4	6.4	6.4
Carico Masssimo (kN)	40	20	40	40	40
Fune portante	6x19S IWRC (C+S)	6x19F IWRC (C)	6x19S IWRC	6x19S IWRC (C)	6x19S IWRC (C)
Diametro nominale (mm)	22	22	22	22	22
Classe di resistenza (N/mm ²)	1960	1960	2160	1960	2160
Peso (kg/m)	2.4	2.34	2.32	2.28	2.32
Carico di rottura (kN)	425	431	435	448	435

Tabella 2.3 Caratteristiche delle aree di taglio.

Parametri sito	A	B	C	D	E	F	G	H	I	L	M
Area di taglio (ha)	5.0	1.5	2.0	21.7	17.6	0.6	2.2	20.2	10	3.3	2.8
Tipo di taglio	Taglio a buche	Taglio a buche	Taglio raso	Tagli successivi	Tagli successivi	Taglio a buche	Taglio a scelta	Taglio a buche	Taglio a buche	Taglio a buche	Taglio a buche
Volume tagliato (m ³)	465	152	1072	2624	1111	54	197	2100	1028	457	279
Volume medio per albero (m ³)	2.41	2.11	0.80	2.22	0.93	0.84	1.17	1.72	2.11	1.66	1.11
Intensità del taglio (m ³ /ha)	93	101	536	121	63	84	90	104	103	138	100
Composizione											
per volume (%)											
Abete rosso (Picea abies)	43	95	87	82	25	94	46	64	68	66	44
Abete bianco (Abies alba)	57	-	-	15	-	-	-	-	25	-	-
Faggio (Fagus sylvatica)	-	-	-	3	75	6	52	-	7	-	-
Larice (Larix decidua)	-	-	13	-	-	-	-	36	-	34	28
Pino Silvestre (Pinus sylvestris)	-	5	-	-	-	-	2	-	-	-	28
Tipo di gru a cavo	4B	5B	5B-3B	1B	2B	2A	3A	6A	5A	1A	4A
Linea	1	2	3	5	6	7	8	9	10	11	12

2.2 Protocollo di rilievo

2.2.1 Rilievo degli elementi strutturali

Per ogni sito di taglio analizzato sono stati rilevati gli elementi strutturali delle linee di gru a cavo. Attraverso un dispositivo *Global Navigation Satellite System (GNSS) Garmin 64sx* sono stati rilevate le posizioni di: sito di scarico, torretta della stazione motrice mobile, ancoraggi, supporti e ritti di estremità della linea. Per i supporti e i ritti sono stati rilevati anche la loro tipologia (artificiale o naturale), specie, diametro a 1,3 m con cavalletto forestale, l'altezza totale, l'altezza della fune e del punto di applicazione delle forze attraverso telemetro laser *TruPulse 360*.

2.2.2 Monitoraggio delle tensioni

Il monitoraggio delle tensioni può essere effettuato elettronicamente attraverso tensiometri con celle di carico. Le celle di carico permettono di trasformare in segnale elettrico la deformazione rilevata nel tempo su una fune con un carico applicato. Lo strumento utilizzato nel monitoraggio è un tensiometro *CableBull® SR22/800 XR* (Figura 2.2). A differenza di altri tensiometri che necessitano l'integrazione nella linea tra l'estremità della fune e l'ancoraggio, questo strumento è molto versatile per la sua veloce installazione *plug and play* in qualsiasi zona desiderata sulla fune portante in prossimità dell'ancoraggio (Figura 2.3). Lo strumento è calibrato per misurare tensioni su funi di diametro tra i 14 e 22 mm grazie a un compensatore integrato. La sensibilità di misura è di 0.0127 kN e la portata massima è di 200 kN ma può misurare valori più elevati senza riportare danni. La frequenza di rilevamento dati può essere scelta tra 4 modalità: 100 Hz, 200 Hz, 1000 Hz o 2000 Hz. La frequenza utilizzata per i rilievi è stata di 100 Hz (100 misurazioni al secondo). La ditta costruttrice tedesca *Honigmann Industrielle Elektronik GmbH* fornisce un convertitore digitale per collegare lo strumento a un PC portatile dove attraverso un software appositamente sviluppato *HCC-Easy* è possibile registrare le tensioni e visualizzare in tempo reale le misurazioni con una minima analisi statistica.



Figura 2.2 Tensiometro

Alla fine di ogni sessione di rilievo il software permette di generare due file di testo contenenti le tensioni monitorate non linearizzate e i dati riepilogativi della sessione.

Il tensiometro durante i rilievi è sempre stato posizionato all'ancoraggio opposto alla direzione di esbosco (Figura 2.3). I rilievi sono stati organizzati in due sessioni per giorno, una la mattina e l'altra il pomeriggio. In alcuni cantieri è stato possibile organizzare due giornate di rilievo in altri solo mezza giornata a causa di limitazioni metereologiche, condizioni dell'area di taglio o ritardi dovuti all'operatività del cantiere.



Figura 2.3 Installazione dell'unità di monitoraggio all'ancoraggio

2.2.3 Monitoraggio delle fasi di lavoro

Lo studio delle fasi di lavoro è stato fatto attraverso una videocamera ad alta definizione. La videocamera è stata equipaggiata con una batteria ausiliaria esterna con capacità di 20000 mAh e una SD-card da 64 GB di capienza per una registrazione continua nella giornata lavorativa. Le riprese sono state fatte con risoluzione di 720 ppm con impresso a schermo l'orario e la data. La funzione della videocamera era di filmare ogni ciclo di lavoro in ogni sua fase. Questo ha permesso temporalmente di definire anche particolari casistiche critiche in cui si sono manifestati picchi di tensione.

Oltre alla videocamera è stato impiegato un prototipo di GNSS integrato a un giroscopio e accelerometro (*Inertial Moviment Unit*) sviluppato con tecnologia Arduino® in un lavoro di tesi antecedente (Lezier 2016). Questo strumento ha permesso di raccogliere dati in termini di posizione, velocità, beccheggio e rollio del carrello dando supporto allo studio delle fasi di lavoro. La frequenza di rilievo dello strumento è di 5 Hz (5 misure al secondo).

La videocamera e il dispositivo GNSS-IMU compongono il sistema di monitoraggio (Figura 2.4) installato sul carrello delle gru a cavo.

Dopo i rilievi si è suddiviso a video ogni ciclo di lavoro per analizzarlo nelle sue fasi.

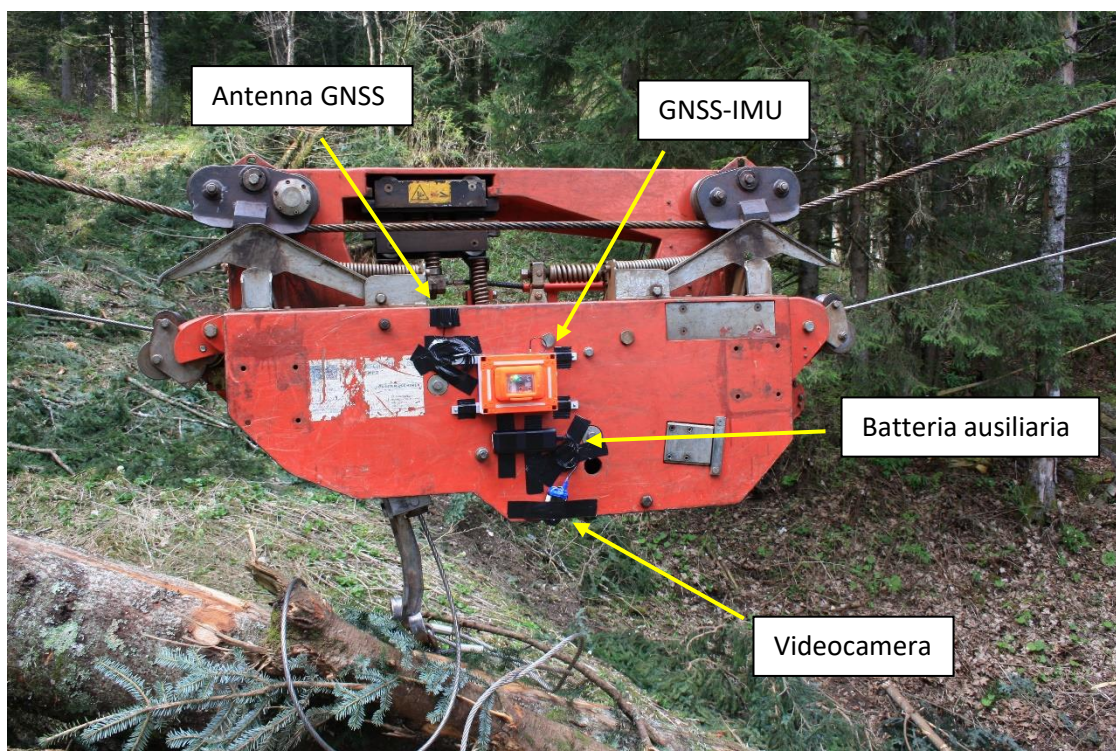


Figura 2.4 sistema di monitoraggio delle fasi di lavoro applicata al carrello della gru a cavo

2.2.4 Misura dei carichi

Per ogni ciclo di ogni cantiere è stato misurato il diametro e la lunghezza dei topi presenti a ogni carico per la stima del volume e del peso. Per il diametro si è usato un cavalletto forestale e per la lunghezza una cordella metrica. In base alla tipologia della pezzatura del carico si è adottato metodi di stima dei volumi diversi. Per le casistiche di estrazione di topi a misura standard a “legno corto” o *cut to lenght* (CTL) (Figura 1.3) si è cavallettato a metà lunghezza del toppe e poi impiegato la formula di Huber per la stima del volume (Formula 2) (Acuna et al. 2012).

$$V [m^3] = S_m [m^2] * H [m] \quad (2)$$

V = Volume

S_m = superficie a metà lunghezza

H = lunghezza totale del tronco

Mentre per le estrazioni di piante intere a “legno lungo” o *whole tree system* (WTS) (Figura 1.3) si è cavallettato a 1,3 m alla base del fusto e misurato la lunghezza per poi stimare il volume attraverso le tariffe locali (Spinelli, Magagnotti, and Lombardini 2010). Per stimare la massa cormometrica presente nel carico è stato assegnato un coefficiente di ramosità da 1 a 4. Questo coefficiente ha permesso di stimare visivamente la massa dei rami presenti. L’assegnazione delle massa ai valori del coefficiente di ramosità è

stata definita attraverso il confronto tra gli esempi riportati in bibliografia (Spinelli et al. 2006) e il consiglio dato dagli operatori, le stime di massa designate per ogni coefficiente sono:

- 4 per 200 kg a metro cubo di legno;
- 3 per 100 kg a metro cubo di legno;
- 2 per 50 kg a metro cubo di legno;
- 1 per 10 kg a metro cubo di legno.

Per la stima delle masse dei carichi si è considerato oltre alla specie, la densità del legno e la sua umidità. Attraverso l'identificazione di ogni carico si è desunto la sua densità e umidità in base al tempo trascorso dall'abbattimento. I valori presi in riferimento sono quelli teorici riportati da Giordano (1981).

2.3 Impostazione delle analisi

2.3.1 Impostazione del *dataset*

L'impostazione del dataset si è basata sulla sincronizzazione dei dati derivanti dal tensiometro, dal sistema di monitoraggio delle fasi di lavoro e dei carichi misurati. Usando più strumenti è stato necessario operare delle conversioni per uniformare i dati temporali. Trasformando la variabile tempo in un formato convenzionale di ore, minuti, secondi e centesimi di secondo (hh:mm:ss.00) o in secondi e centesimi di secondi (0000.00) in base alla necessità.

I dati rilevati hanno richiesto un processo di pre-elaborazione a scopo di ordinare i contenuti. Dopo questo passaggio sono stati creati dei file di testo necessari per le successive elaborazioni statistiche e grafiche dei dati.

Pre-elaborazione dati *GNSS Garmin 64sx*

Attraverso i dati rilevati dal dispositivo *Garmin 64sx* è stato estrapolato con il software *DNR GPS* un file di testo delle posizioni degli elementi formanti la linea di gru a cavo. Successivamente è stato implementato un file di testo per ogni cantiere con una tabella descrittiva di ogni elemento rilevato attraverso queste voci:

- Coordinate x e y (m) (estrapolate con il software *DNR GPS*) espresse nel sistema WGS84 UTM32;
- Tipo di elemento (torretta, ritto, supporto, ancoraggio);
- Specie (nel caso l'elemento sia un albero, espresso con il nome in latino);
- Diametro (cm) a 1,3 m (misurato ad altezza petto);
- Altezza totale (m);
- Altezza della fune (m);
- Altezza del punto di applicazione delle forze (m).

Il rilievo degli elementi della struttura è stato fondamentale per misurare la distanza di esbosco orizzontale unendo i dati delle posizioni del carrello forniti dal sistema di monitoraggio dei cicli.

Pre-elaborazione dati di posizione del sistema di monitoraggio GNSS-IMU

L'unità GNSS-IMU ha fornito attraverso un file di testo le posizioni del carrello durante le fasi di lavoro. Nel file viene indicato il tempo trascorso dall' inizio della registrazione in secondi con precisione fino al centesimo. Necessario per esprimere a ogni dato di posizione il tempo di rilievo in ore, minuti, secondi e centesimi di secondo (espresso in hh:mm:ss.00) si è convertito il dato attraverso la Formula 3:

$$\text{Tempo [s]} = \text{Tempo [hh:mm:ss.00]} * 24 * 3600 \quad (3)$$

Nel file di testo elaborato ogni posizione viene descritta attraverso le seguenti voci:

- Tempo (hh:mm:ss.00);
- Tempo passato dall'inizio del rilievo (s) (0000.00);
- Velocità del carrello (m s^{-1});
- Beccheggio ($^{\circ}$);
- Rollio ($^{\circ}$);
- Latitudine (00.000°);
- Longitudine (00.000°).

Il file finale è stato caricato poi su software QGIS per convertire le coordinate geografiche in coordinate metriche espresse secondo il sistema di riferimento WGS84 UTM32. Questo ha permesso le elaborazioni successive delle distanze di esbosco e l'eliminazione delle misurazioni soggette a errore.

Pre-elaborazione dati del tensiometro e sincronizzazione

I dati derivanti dal tensiometro CableBull® SR22/800 XR risultano suddivisi in due file di testo esportabili attraverso il software HCC-Easy.

10467.620000	52.939380
10467.630000	52.888452
10467.640000	53.041235
10467.650000	52.990308
10467.660000	53.066699
10467.670000	53.155823
10467.680000	53.143091
10467.690000	53.003040
10467.700000	53.066699
10467.710000	53.155823
10467.720000	53.130359
10467.730000	52.913916
10467.740000	53.003040
10467.750000	52.901184
10467.760000	53.066699
10467.770000	52.964844
10467.780000	52.926648
10467.790000	53.155823
10467.800000	52.913916
10467.810000	53.181287
10467.820000	52.799329
10467.830000	53.028503
10467.840000	53.244946
10467.850000	53.066699
10467.860000	53.130359
10467.870000	53.028503
10467.880000	53.117627
10467.890000	53.003040

Primo file

File name	[redacted].7.HED	
Path	C:\HCC\Easy_4\Data	
Size	2,159 kB	
Last modification	13/04/2017	14:22:06
Software version	6.02.23	

Sample rate	100 Hz	
Resolution	16Bit	
Input range	10V	

Channel 0		
Channel name	Tension F1	
Scale factor	41,720000	
Offset	-0,0253295894663097	
Physical range	-417 ... 417 kN	
Physical resolution	0,0127 kN	

Filter frequency	Filter not active	
Comment		
Tension F1		
mean	131,522851	kN
maximum	178,895577	kN
minimum	103,470787	kN
std. dev.	14,692340	kN

Secondo file

Figura 2.5 Esempio di file prodotti dalla sessione di monitoraggio.

Il primo file riporta in due colonne il dato del tempo e della tensione: il dato del tempo è indicato come la durata in secondi dall'inizio della sessione e il dato delle tensioni è grezzo e non linearizzato. Il secondo file presenta invece un report della sessione con un minimo di analisi statistica e l'ora di chiusura della sessione (Figura 2.5).

Si è proceduto calcolando l'ora di inizio della sessione, si sono utilizzati l'orario di chiusura della sessione e la durata totale della sessione (Figura 2.5) applicando la Formula 4:

$$\text{Tempo di inizio [hh:mm:ss.00]} = \text{Tempo di chiusura [hh:mm:ss.00]} - (\text{durata [s]} * 24^{-1} * 3600^{-1}) \quad (4)$$

Per ogni misurazione successiva è bastato aggiungere un centesimo di secondo (00:00:00.01) fino a raggiungere il tempo di chiusura di fine sessione. Per accoppiare i dati di posizione forniti dall'unità GNSS-IMU alle tensioni si è convertito i valori del tempo in secondi attraverso la stessa formula impiegata nella preelaborazione dell'unità (Formula 3). Inoltre, è stata inserita un'altra voce di correzione del tempo necessaria per lo studio corretto delle fasi di lavoro. Questa correzione deriva dal fatto che la videocamera installata sul carrello non era sincronizzata con lo stesso orario di rilievo del tensiometro e dell'unità GNSS-IMU, quindi poteva differire di qualche secondo. È stato necessario correggere lo sfasamento filmando con la videocamera l'orario del PC portatile annotando così la differenza ad ogni cantiere (Figura 2.6). Il PC portatile veniva sincronizzato ogni giorno a inizio sessione di rilievo attraverso il collegamento a rete web, mentre l'unità GNSS-IMU attraverso il sistema satellitare.



Figura 2.6 Fotogramma del video usato per sincronizzare i dati.

Anche il dato delle tensioni ricavato dal primo file di testo ha necessitato di una pre-elaborazione. Nel software *HCC-Easy* viene direttamente applicata la linearizzazione dei dati grezzi. Quindi si è dovuto applicare la formula seguente (Formula 5) per linearizzare il dato grezzo e ricavare le tensioni reali misurate in kN:

$$\text{Tensione reale misurata [kN]} = [(\text{tensione}^2 * 0.004086) + (\text{tensione} * 0.829576) + 0.829576] \quad (5)$$

Il file di testo delle tensioni poi è stato ordinato per ogni sessione di rilievo del cantiere secondo queste voci:

- Numero misurazione (n.);
- Tensione (kN);
- Tempo rilevato (hh:mm:ss.00);
- Tempo rilevato (s);
- Tempo corretto (hh:mm:ss.00);

Per le diverse linee monitorate sono stati prodotti dai 2 a 5 file di testo contenente circa 700'000 misurazioni equivalenti a due ore di rilievo.

Calcolo dei carichi e sincronizzazione

Ad ogni ciclo di lavoro della linea analizzata è stato assegnato un numero progressivo, annotata l'ora di scarico e misurato i topi per i calcoli dei volumi e delle masse. Verificata a video l'ora di scarico è stato creato un file di testo per ogni cantiere in cui ogni ciclo viene descritto secondo le voci di:

- Volume di legno stimato (m^3);
- Numero di topi (n.);
- Lunghezza del topo più lungo (m);
- Massa totale (kg);
- Massa del topo commerciale (kg);
- Massa cormometrica (kg).

Le masse poi considerate sono state trasformate per definire la componente di forza peso agente in kN. Questo passaggio è stato necessario per velocizzare le possibili relazioni con le tensioni misurate.

2.3.2 Analisi video

La videocamera installata sul carrello rimaneva attiva per tutta la giornata di rilievo. Venivano creati così diversi file di registrazione della durata di 30 minuti in formato file mp4. Si è dovuto successivamente attraverso il software *QuickTime player* tagliare o unire i file per distinguere i diversi cicli di lavoro. Con l'analisi video si è completato il file di testo delle tensioni aggiungendo per le diverse misurazioni il numero di ciclo e le fasi di lavoro.

Le fasi operative definite nell'analisi sono state indicate secondo questo schema (Spinelli et al. 2017):

- **Outhaul**: fase di corsa scarica, da quando il carrello parte dalla zona di scarico fino alla zona di carico;
- **Hook**: fase di aggancio, inizia dopo la fase *outhaul* e finisce quando l'operatore (*choker setter*) aggancia il carico;

- **Lateraliskid:** fase di strascico laterale, inizia dopo la fase *hook* e finisce quando il carrello inizia a muoversi verso la zona di scarico;
- **Inhaul:** fase di corsa con carico, inizia dopo la fase *lateraliskid* e finisce quando il carrello si ferma alla zona di scarico;
- **Unload:** fase di scarico, inizia dopo la fase *inhaul* e finisce quando il carico viene scaricato e i choker ritornano nel carrello.

Si è tenuto conto anche dei ritardi operazionali e classificandoli con la dicitura **Delay**.

2.3.3 Analisi GIS

Per ogni cantiere è stato analizzato il profilo del versante interessato dalle linee. Attraverso software *QGIS* è stato possibile ricavare i parametri caratteristici della morfologia del terreno importando le posizioni degli elementi della linea sul modello digitale di elevazione (DEM) delle aree di taglio. I modelli DEM sono stati ricavati dai geoportali regionali con risoluzione di cella da 1 a 5 metri.

Per ogni linea si sono ricavati i seguenti parametri:

- lunghezza planimetrica (m);
- lunghezza inclinata (m);
- dislivello (m);
- pendenza (%);
- lunghezza delle campate (%);
- pendenza media in un'area di 25 metri attorno alla linea (%).

2.3.4 Analisi statistica delle tensioni e delle fasi di lavoro

Le analisi statistiche sono state effettuate attraverso il software di statistica *R*. Utilizzando questo software è stato creato un algoritmo che considerasse il ciclo come unità di analisi. Sono stati inseriti come file di *input* i file di testo derivanti dal processo di pre-elaborazione uniti alle analisi *GIS* e analisi video.

Per ogni linea sono stati inseriti:

- File di testo dei carichi;
- File di testo delle posizioni rilevate dall'unità *GNSS-IMU*;
- File di testo delle tensioni suddivise per cicli e fasi di lavoro.

Successivamente si è applicato il procedimento di elaborazione seguendo questi passaggi:

- Elaborazione dati dell'unità monitorante *GNSS-IMU*;
- Elaborazione delle tensioni;
- Verifica con implementazione dei grafici dei cicli.

Conclusa l'elaborazione e la verifica dei dati si è passati all'analisi statistica dei cicli di lavoro monitorati.

Elaborazione dati unità monitorante GNSS-IMU

L'elaborazione dati dell'unità GNSS-IMU ha permesso il calcolo della distanza media di esbosco per ogni linea. Si è posto in un sistema cartesiano le coordinate metriche x e y della posizione della stazione a motrice mobile e della posizione più distante raggiunta dal carrello rispetto alla motrice a ogni ciclo. Applicando il teorema di Pitagora si è calcolato la distanza orizzontale di esbosco ponendola come l'ipotenusa sottesa dalla posizione della motrice e del carrello. Ad ogni ciclo si è calcolata questa distanza e se ne è ricavata una media per ogni linea.

Elaborazione dati del tensiometro

Nell'elaborazione delle tensioni si sono ricavati i parametri descrittivi per ogni fase di lavoro suddivisa nell'analisi video. Per ogni ciclo nelle sue fasi sono stati calcolati i valori massimi, minimi, la media e la deviazione standard dei valori di tensione misurati. È stato considerato come dato di tensione di montaggio della linea le prime duecento misure come valore di riferimento per ogni cantiere (i primi due secondi di rilievo).

Per analizzare le variazioni di tensione dovute alle fasi dinamiche del ciclo si sono calcolati i gli indici di *Breakout* e *Maximum Cyclic load amplitude* citati e trattati negli studi pregressi (Fabiano et al. 2011; Harrill and Visser 2016; Pyles et al. 1994; Spinelli et al. 2016).

Viene definito come *Breakout* l'incremento di tensione generato nella fase di strascico (*lateralskid*) in cui il carico subisce il tiro della fune. Mentre per *Maximum Cyclic Load Amplitude* (MCLA) si intende la massima escursione di tensione consecutiva durante il ciclo di lavoro. Per il calcolo del MCLA si sono considerate le fasi di *outhal* e *inhaul* dove si creano le condizioni maggiori di fluttuazioni consecutive di tensione nel ciclo (Pyles et al. 1994). Attraverso il software R è stato possibile identificare attraverso un algoritmo implementato appositamente i valori di picco superiori e inferiori consecutivi. Questo ha permesso successivamente di estrapolare attraverso un foglio di calcolo la differenza massima tra picchi superiori e inferiori consecutivi per ciclo.

Per i due rispettivi indici sono stati calcolati i seguenti fattori descrittivi: incremento di tensione (Formula 6), fattore di incremento di tensione (Formula 7) e l'indice di incremento di tensione (Formula 8).

$$\text{Incremento di tensione [kN]} = \text{Picco di tensione [kN]} - \text{tensione di montaggio [kN]} \quad (6)$$

$$\text{Fattore di incremento di tensione} = \text{Incremento di tensione [kN]} / \text{tensione di montaggio [kN]} \quad (7)$$

$$\text{Indice di incremento di tensione} = \text{Incremento di tensione [kN]} / \text{peso del carico [kN]} \quad (8)$$

Sono stati utilizzati per il calcolo dell'indice di *Breakout* le misure registrate dei picchi massimi raggiunti nella fase di *lateralskid* ad ogni ciclo e per l'indice di MCLA i valori massimi ricavati dall'analisi dei cicli nelle fasi di *outhaul* e *inhaul*.

Implementazione dei grafici

Attraverso i dati risultanti dalle elaborazioni precedenti si è proceduto alla creazione dei grafici descrittivi per ogni ciclo di lavoro analizzato. Attraverso le funzioni di selezione dei dati del software *R* è stato possibile creare i seguenti grafici per ogni ciclo:

- Il ciclo di lavoro con le tensioni in ogni sua fase, accoppiato al grafico spazio-tempo del carrello.
- L'analisi del MCLA nella fase di *outhaul* e *inhaul*.

Questi grafici sono stati utilizzati per verificare la correttezza delle precedenti elaborazioni e per correggere eventuali errori nella classificazione delle fasi.

Analisi statistica descrittiva e inferenziale

È stata usata l'analisi statistica descrittiva per avere un quadro delle caratteristiche delle linee e delle condizioni di sicurezza durante le fasi di lavoro.

Sono state espresse le caratteristiche delle linee a riguardo:

- La morfologia e la configurazione;
- I cicli di lavoro osservati;
- La distanza di esbosco e i carichi di legname estratto.

Nel monitoraggio delle tensioni sono state espresse:

- La distribuzione dei cicli rispetto al carico di lavoro della fune portante;
- La frequenza di superamento della tensione massima applicabile nei cicli per ogni linea.

Assumendo il singolo ciclo come unità di analisi si sono desunte le caratteristiche descrittive di ogni linea. Successivamente sono state confrontate attraverso test sulla varianza (ANOVA) le medie delle tensioni e le medie dei picchi di tensione per ogni fase di lavoro per osservare in quali fasi dei cicli si sono manifestate le tensioni più elevate. Le medie sono state confrontate attraverso il test *t* di Student trasformando i dati se necessari in forma logaritmica per la normalizzazione. Nel caso di analisi inferenziale dove la distribuzione dei dati non sia risultata normalizzata per adempiere alle assunzioni della varianza si è applicato il test non parametrico di Mann–Whitney–Wilcoxon. I test statistici sono stati considerati significativi con $P \leq 0,05$.

3 Risultati

3.1 Caratteristiche specifiche delle linee

Sono state analizzate 6 linee con configurazione a singola campata e 6 a configurazione a più campate, di cui 7 con esbosco a monte e 5 a valle. Le lunghezze delle linee misurate orizzontalmente dalla stazione motrice all'ancoraggio opposto vanno dai 138 m ai 600 m e per un dislivello che varia dai 14 m ai 213 m con una pendenza del terreno media del 42% (st. dev. 18%).

Osservando le caratteristiche di ogni singola campata risulta una lunghezza media di 132,3 m (st.dev. 101.5 m) con una lunghezza minima di 7 m e massima di 391 m. La pendenza media delle campate risulta del 18,3% (st. dev. 14.5%) con un intervallo di pendenza che varia dal 0,6% al 53,6%. Per quanto riguarda le linee a più campate tutte le configurazioni analizzate presentano una campata più grande che supera il 40% della lunghezza totale della linea. Tutti i riferimenti di configurazione di ogni linea sono riportati nella Tabella 3.1.

Delle 12 linee analizzate di gru a cavo sono state registrate complessivamente 73,4 ore di lavoro per un totale di 502 cicli completi monitorati (Tabella 3.1). Nel monitoraggio, durato uno o due giorni lavorativi, il numero di cicli osservati per linea variava dai 25 ai 71, per un rilievo temporale dalle 3,4 ore alle 9,3 ore lavorative. È stata osservata una durata media per ciclo pari a 7,43 minuti (st. dev. 2.85 minuti). Per quanto riguarda la distanza media di esbosco calcolata orizzontalmente risulta di 222,7 m (st. dev. 146,6 m) con un massimo di 569 m.

Ma più del 75 % dei cicli hanno registrato una distanza di esbosco media inferiore ai 300 m.

Il volume totale di legname esboscato comprensivo per tutte le linee ammonta a 837 m³. A ciclo venivano estratti di media 1,67 m³ (st. dev. 1.09 m³) di legname, con carichi variabili da un minimo di 0,36 m³ a un massimo di 3,03 m³. In termini di forza peso del carico sono stati stimati i valori medi per linea, i valori osservati si attestano attorno ai 14,1 kN (st. dev. 5,8 kN) pari a 1383,51 kg (st dev. 565,6 kg) (Tabella 3.2).

Tabella 3.1 Caratteristiche osservate delle linee

Linea N. ¹	Cantiere ¹	Gru cavo ¹	Direzione di esbosco	Configurazione	Lunghezza orizzontale ² (m)	Dislivello ² (m)	Pendenza media del terreno ³ %
1	A	4B	valle	multipla	438	120	30.7 (10.4)
2	B	5B	monte	singola	172	39	39.9 (15.0)
3	C	5B	valle	singola	175	46	28.2 (7.6)
4	C	3B	valle	singola	213	56	28.5 (10.2)
5	D	1B	monte	multipla	426	105	38.0 (15.6)
6	E	2B	valle	singola	348	187	54.7 (19.4)
7	F	2A	monte	singola	138	62	67.6 (46.3)
8	G	3A	monte	singola	166	14	26.5 (18.3)
9	H	6A	monte	multipla	588	200	59.8 (21.5)
10	I	5A	monte	multipla	600	195	59.6 (24.1)
11	L	1A	monte	multipla	490	213	44.1 (10.6)
12	M	4A	valle	multipla	221	63	30.6 (14.7)

Linea N. ¹	Campata 1			Campata 2			Campata 3			Campata 4			Campata 5		
	Lunghezza corda (m)	Pendenza corda (%)	Rapporto lunghezza (%)	Lunghezza corda (m)	Pendenza corda (%)	Rapporto lunghezza (%)	Lunghezza corda (m)	Pendenza corda (%)	Rapporto lunghezza (%)	Lunghezza corda (m)	Pendenza corda (%)	Rapporto lunghezza (%)	Lunghezza corda (m)	Pendenza corda (%)	Rapporto lunghezza (%)
1	311	35.4	68,2	96	3.2	21,1	49	-1.5	10,7	-	-	-	-	-	-
2	159	-24.4	87,8	22	-7.8	12,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	178	18.0	100,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	218	20.4	100,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	45	0.6	10,1	122	-8.0	27,3	179	-19.0	40,0	101	-9.4	22,6	-	-	-
6	391	50.8	100,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	7	-53.6	4,5	99	-49.1	63,9	49	-15.6	31,6	-	-	-	-	-	-
8	151	-9.5	89,9	17	-4.4	10,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	86	-30.1	13,8	190	-26.3	30,4	294	-17.2	47,0	55	-4.3	8,8	-	-	-
10	362	-19.6	56,0	96	-8.4	14,8	139	-10.4	21,5	50	-6.6	7,7	-	-	-
11	40	-29.4	7,4	131	-31.3	24,3	265	-26.3	49,1	81	-8.6	15	23	-3.1	4,3
12	144	24.1	63,4	83	7.7	36,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Note

1 Riferimento Tabella 2.1 e 2.2

2 Vedi schede linee in allegato

3 Media delle pendenze riportata con la sua deviazione standard fra parentesi

Tabella 3.2 Cicli monitorati aggregati per linea

Linea	Ore lavoro (H)	N. cicli	tempo medio ciclo (mins)	Distanza di esbosco (m)	Volume totale estratto (m ³)	Volume medio del carico (m ³)	Volume medio del tronco (m ³)	Peso medio del carico (kN)	Massa media del carico (kg)
1	7.1	71	5.60 (0.02)	214.6 (39.7)	219.4	3.09 (1.25)	2.19 (1.28)	26,2 (10,5)	2571,81 (1029,2)
2	5.7	39	7.25 (0.04)	136.5 (17.0)	82.0	2.10 (1.06)	1.45 (0.95)	18,51 (9,1)	1815,49 (888,5)
3	3.4	33	5.56 (0.02)	128.7 (13.3)	62.9	1.91 (0.66)	0.56 (0.18)	16,44 (5,6)	1612,50 (552,5)
4	4.7	36	6.00 (0.02)	119.8 (23.0)	64.1	1.78 (0.79)	0.65 (0.41)	16,16 (7,0)	1585,26 (690,9)
5	7.2	37	8.93 (0.05)	141.0 (22.0)	80.4	2.17 (0.56)	1.37 (0.65)	19,39 (4,7)	1902,16 (457,3)
6	4.9	25	10.27 (0.04)	255.8 (20.8)	22.6	0.91 (0.41)	0.36 (0.24)	9,67 (4,4)	948,45 (429,4)
7	4.6	37	5.37 (0.02)	75.9 (9.9)	34.8	0.94 (0.41)	0.69 (0.44)	8,2 (3,5)	804,22 (343,9)
8	5.4	38	6.38 (0.02)	101.2 (35.6)	27.4	0.72 (0.44)	0.17 (0.12)	7,61 (4,8)	746,59 (471,5)
9	7.9	52	6.78 (0.04)	266.2 (143.5)	81.4	1.56 (0.76)	1.06 (0.72)	14,45 (6,6)	1417,30 (648,7)
10	9.3	47	11.04 (0.03)	527.3 (38.3)	88.8	1.89 (0.62)	0.91 (0.51)	17,46 (5,4)	1713,21 (530,8)
11	8.9	44	11.71 (0.03)	441.9 (8.5)	57.6	1.31 (0.67)	0.48 (0.33)	11,85 (5,8)	1162,19 (572,4)
12	4.3	43	5.51 (0.02)	147.1 (14.9)	15.6	0.36 (0.18)	0.10 (0.13)	3,29 (1,7)	322,93 (171,7)
Totale	73.4	502	7.43 (0.05)	222.7 (146.6)	837.0	1.67 (0.93)	0.94 (0.93)	14,1 (5,8)	1383,51 (565,6)

Note

Fra parentesi sono riportate le deviazioni standard delle medie.

3.2 Monitoraggio delle tensioni

Dai grafici elaborati per ciclo è stato possibile descrivere un comportamento generale delle tensioni nelle fasi di lavoro (Figura 3.1 e Figura 3.2). L'andamento delle tensioni osservate aumenta dalla tensione di montaggio man mano che il carrello si sposta dalla motrice mobile e si avvicina al centro della campata nella fase scarica (*outhaul*). Nelle configurazioni a più campate se raggiunge un supporto le tensioni registrate tendono a diminuire, questo perché il peso del carico va a gravare sul supporto stesso (Figura 3.2). Nella fase di aggancio quando il carrello si ferma le tensioni tendono a diminuire assestandosi. Successivamente all'inizio della fase di strascico (*lateralskid*) si genera un picco di tensione molto elevato corrispondente al momento in cui il carico si muove e si solleva. Successivamente inizia la fase di trasporto, si osserva lo stesso andamento della fase di corsa scarica (*inhaul*) ma le tensioni sono maggiori e oscillano con più ampiezza a causa dell'influenza che il carico ha con il suo peso e il suo movimento dovuto agli urti col suolo e gli oggetti come ceppaie e rocce. Sempre nella configurazione a più campate è osservabile il fenomeno di riduzione delle tensioni in prossimità del supporto. Allo scarico si osserva il ripristino dei valori pari alla tensione di montaggio della linea con qualche picco dovuto al rimbalzo del carico. Osservando la Figura 3.2 si nota che nelle linee a più campate un andamento differente delle tensioni per quanto riguarda le fasi di corsa scarica e carica del carrello (*outhaul* e *inhaul*). In particolare, in base alle tensioni registrate si può presumere quale sia la campata più lunga osservando quale presenta il valore maggiore di tensione. Infine si vede dalle Figure 3.1 e 3.2 che le fasi di lavoro di *outhaul hook* e *unload* non manifestino tensioni tali da superare i limiti di sicurezza.

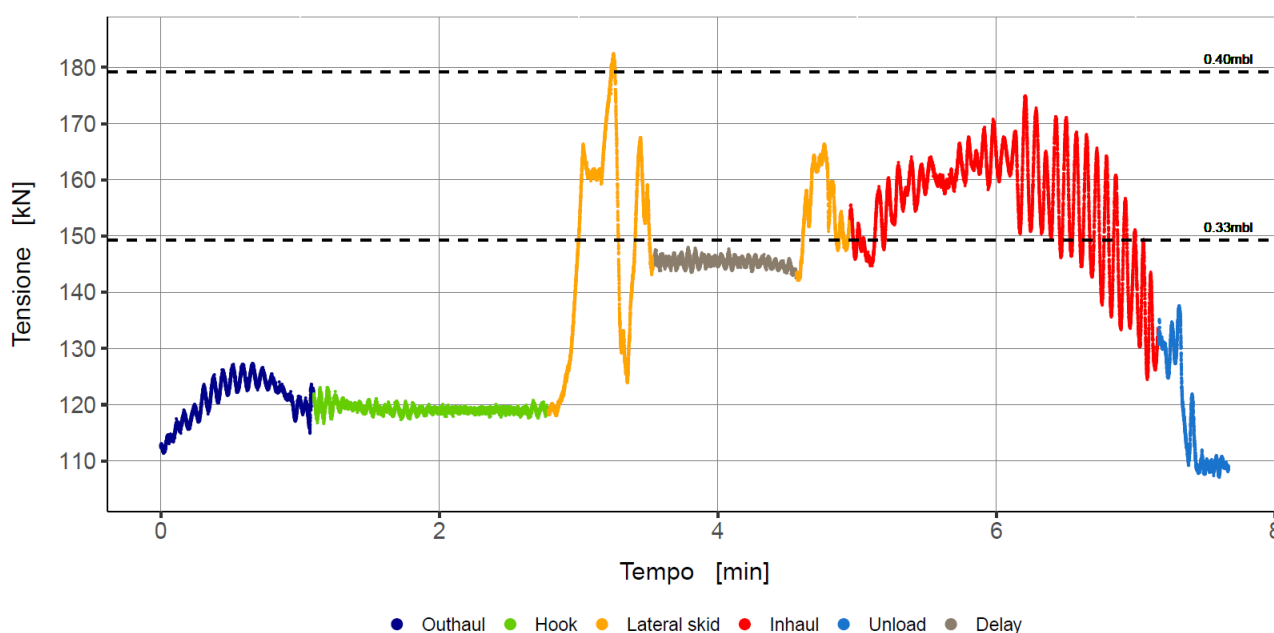


Figura 3.1 Esempio di grafico delle tensioni linea a singola campata (ciclo 72). Riportati i limiti di sicurezza con coefficiente 3 (0,33MBL) e coefficiente 2,5 (0,40MBL).

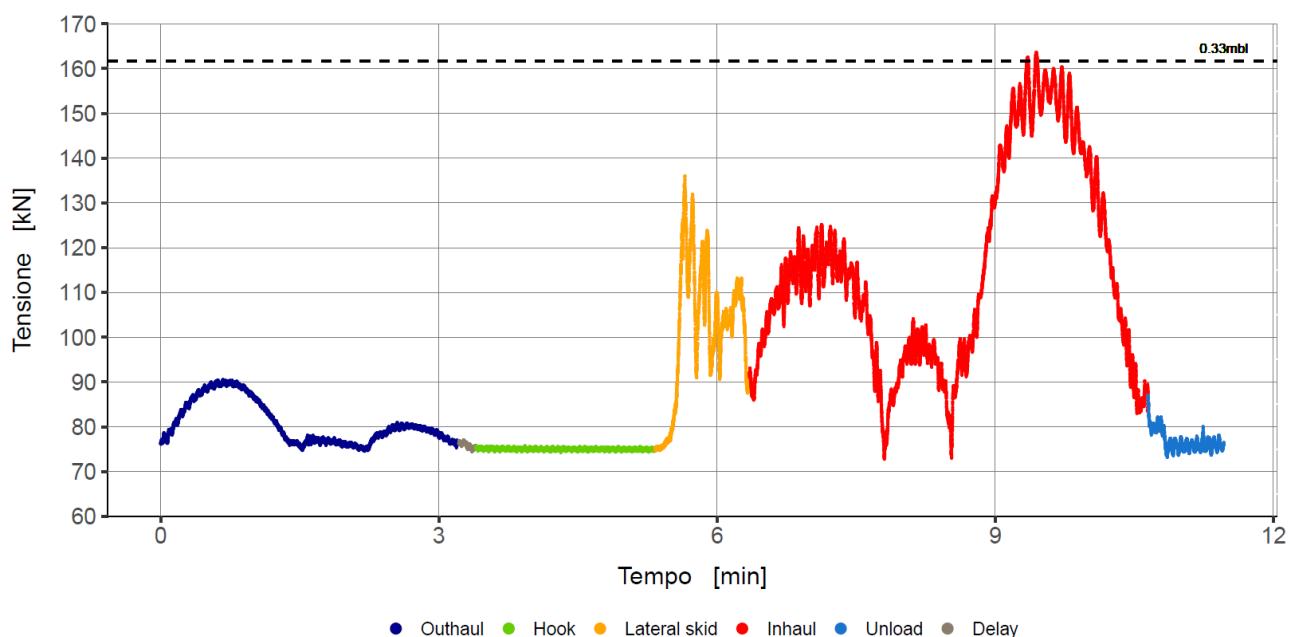


Figura 3.2 Esempio di grafico delle tensioni di liena a più campate (ciclo 416). Riportati i limiti di sicurezza con coefficiente 3 (0,33MBL) e coefficiente 2,5 (0,40MBL).

Il monitoraggio complessivo ha evidenziato che la maggior parte dei cicli monitorari (54,6%) supera il limite di sicurezza designato dalla tensione massima applicabile del 33% del carico di rottura della fune (coefficiente di sicurezza pari a 3) (Figura 3.3). Si è osservato inoltre che un modesto numero di questi cicli (18,1%) superano il 40% del carico di rottura della fune, il che significa il superamento della tensione massima applicabile data dal coefficiente di sicurezza più permissivo di 2,5 (0,40MBL) (Figura 3.3). Una casistica ristretta di 6 cicli (1,2% dei cicli totali) mostrano tensioni raggiunte che superano il 50% del carico di rottura della fune portante (0,50MBL) (Figura 3.3). Osservando la frequenza di superamento riferita alle differenti linee si può vedere che la distribuzione dei cicli tende a essere per 6 linee di superamento della tensione massima applicabile per oltre l'80% dei cicli (linee 1,2,4,6,8,11), mentre per 4 linee si rimane sotto il 20% dei cicli (linee 5,9,10,12), le restanti 2 linee superano i limiti per un 30% dei cicli di lavoro (linee 3 e 7) (Figura 3.4). Si nota che due differenti linee la numero 4 e 8 manifestano i cicli che superano di metà il carico di rottura delle funi portanti (Figura 3.4 e Figura 3.5).

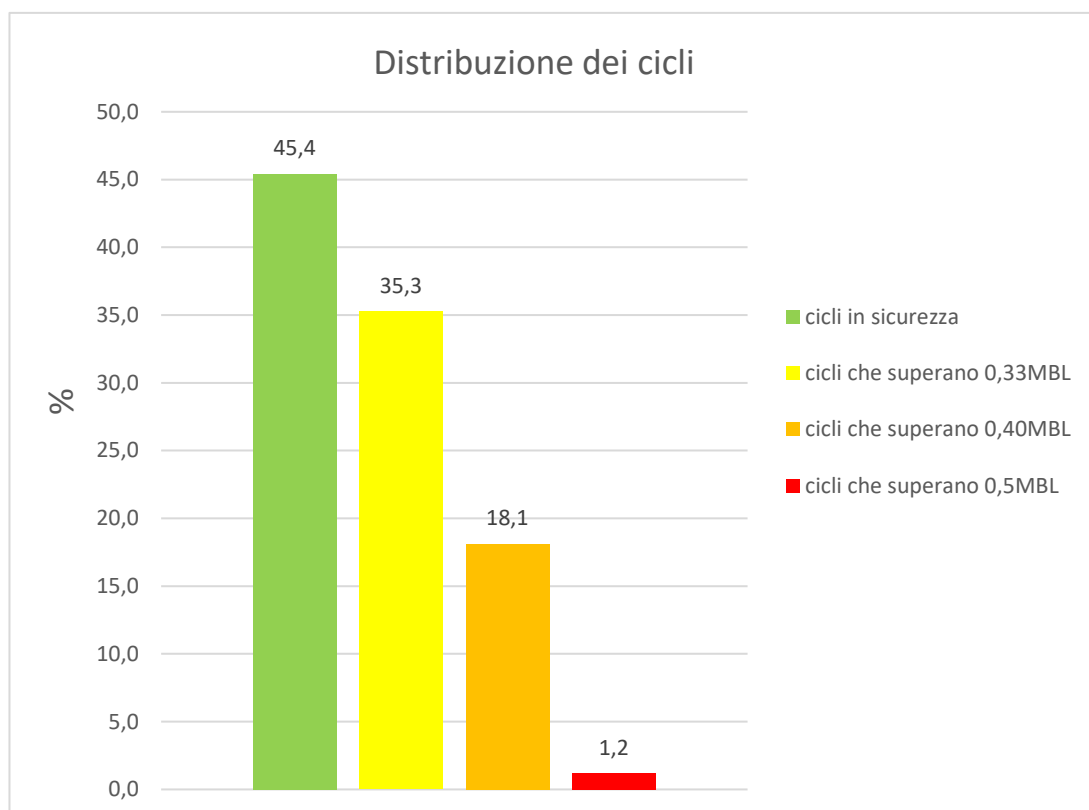


Figura 3.3 Distribuzione dei cicli secondo il carico di rottura della fune portante.

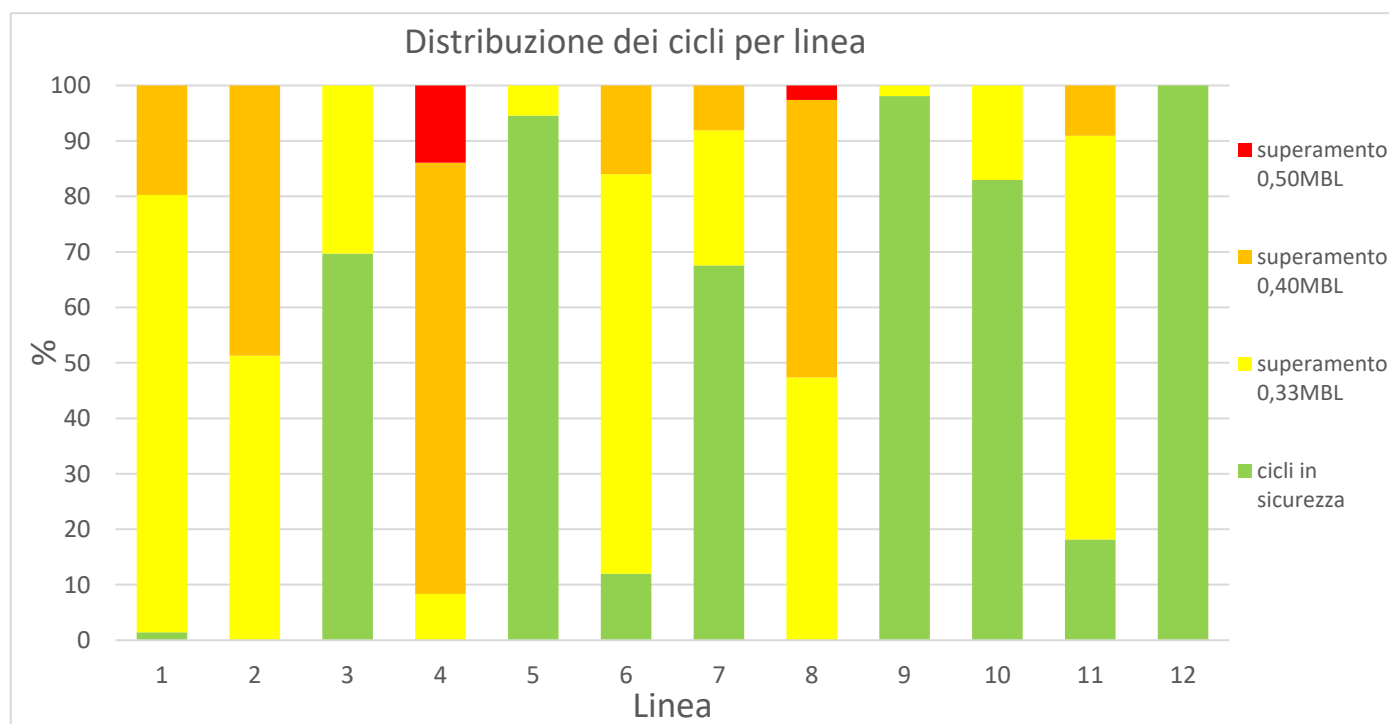


Figura 3.4 Frequenza di superamento dei cicli aggregati per linea.

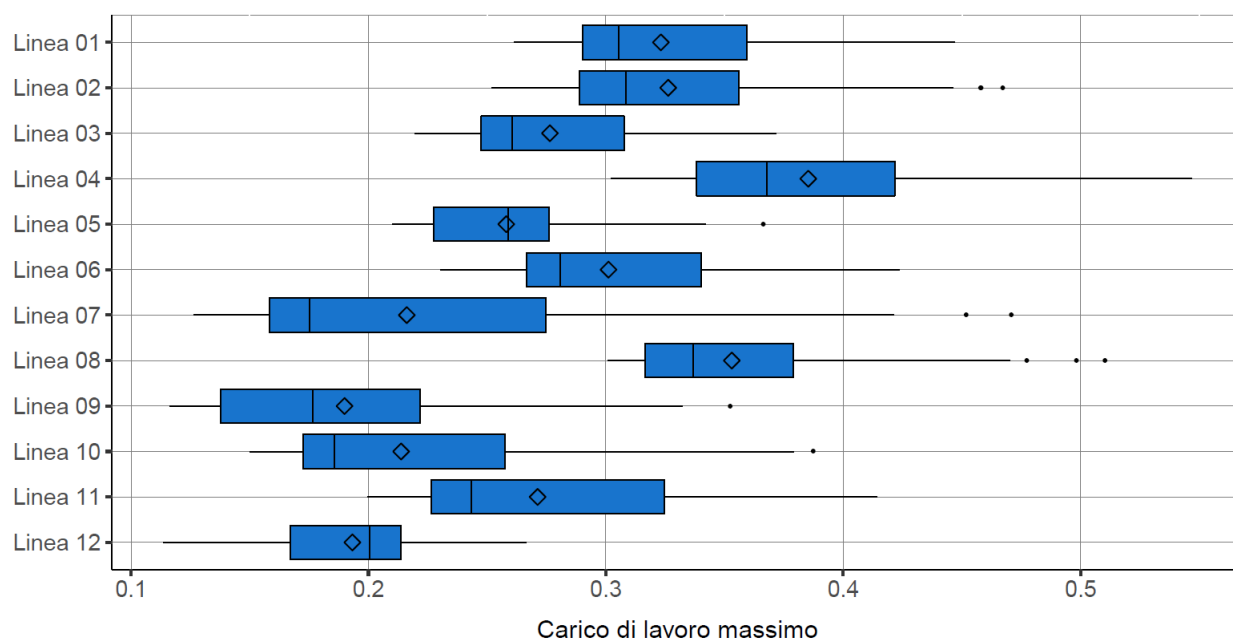


Figura 3.3 Distribuzione dei cicli secondo il carico di lavoro raggiunto con evidenziate la media e mediano per linea

Osservando la distribuzione delle tensioni nelle diverse fasi dei cicli di lavoro è emerso dall'analisi di inferenziale che le fasi di strascico laterale (*lateralskid*) e di trasporto del carico (*inhaul*) sono statisticamente più significative rispetto alle altre fasi (Tabella 3.3). Sono stati evidenziati in Tabella 3.3 i picchi massimi di tensione che superano il 33% del carico di rottura (MBL) delle funi e in rosso i picchi rilevati delle linee 4 e 8 che hanno superato il 50% del carico di rottura a conferma delle analisi descrittive precedenti. Confrontando la significatività delle due fasi è emerso che in 5 linee su 12 la fase di trasporto del carico (*inhaul*) ha una significatività differente rispetto alla fase di strascico del carico (*lateralskid*) (Tabella 3.4).

Tabella 3.3 Tabella 3.3 Distribuzione delle medie e dei valori massimi dei picchi di tensione nelle fasi del ciclo di lavoro. Ad ogni lettera corrisponde una diversa significatività all' ANOVA ($p \leq 0,05$).

Linea	MBL (kN)	SWL (kN)	Tens. Di montaggio (kN)	Outhaul (kN)	Hook (kN)	Lateral skid (kN)	Inhaul (kN)	Unload (kN)
1	448	149	114.3 (4.3) - 123.8	130.9 ^a (4.0) - 140.8	128.9 ^b (5.1) - 139.2	166.4^c (11.6) - 200.2	164.3^c (10.2) - 185.4	133.5 ^d (7.7) - 153.6
2	435	145	115.3 (5.2) - 126.5	129.4 ^a (4.5) - 140.1	119.2 ^b (6.5) - 132.3	152.4 ^c (16.8) - 190	173.4^d (15.1) - 203.2	135.2 ^e (9.8) - 158.7
3	435	145	89.5 (3.7) - 98.6	108.7 ^a (4.0) - 118.5	108.3 ^a (3.8) - 115.7	139.8^b (11.1) - 161.7	135.7^b (10.5) - 160.5	108.7 ^a (5.9) - 119.4
4	435	145	137.5 (6.1) - 147.3	151.9 ^a (6.9) - 163.6	150.9 ^a (8.1) - 164.2	196.0^b (19.6) - 237.8	187.2^b (15.2) - 224.3	151.8 ^a (11.5) - 178.6
5	425	142	90.7 (7.5) - 104	100.3 ^a (8.4) - 115.2	97.4 ^a (7.7) - 116.7	124.5^b (11.7) - 155.7	120.3^b (9.9) - 139	105.9 ^c (8.4) - 124.0
6	431	144	103.4 (7.2) - 122.5	118.3 ^a (7.0) - 135	114.1 ^b (7.4) - 134.3	153.0^c (16.2) - 182.6	150.7^c (14.3) - 178.6	112.8 ^b (6.6) - 126.3
7	201	67	26 (4.7) - 41.2	33.9 ^a (3.7) - 46.4	33.2 ^a (3.9) - 46.4	61.3^b (13.0) - 94.6	57.5^b (8.3) - 78.9	31.4 ^c (4.5) - 44.9
8	234	78	70.9 (2.2) - 77.8	74.6 ^a (2.4) - 83.2	74.6 ^a (3.4) - 84.1	95.9^b (9.0) - 119.4	89.8 ^c (7.5) - 116.6	78.1 ^d (4.1) - 90.9
9	469	156	57.5 (2.6) - 67.3	77.4 ^a (9.1) - 87.2	77.5 ^a (11.4) - 95.3	116.4^b (30.3) - 165.2	113.8^b (27.6) - 152.9	60.3 ^c (3.2) - 66.8
10	485	162	76 (2.6) - 83.8	90.4 ^a (2.4) - 97.6	77.3 ^b (3.1) - 84.2	122.4 ^c (26.9) - 187.8	142.3^d (12.2) - 172.2	86.0 ^e (5.0) - 97.1
11	234	78	49.3 (2.1) - 56.6	55.1 ^a (2.1) - 61.8	52.4 ^b (6.8) - 81.9	72.1 ^c (12.3) - 96.9	81.8^d (5.6) - 95	56.0 ^a (2.9) - 64.5
12	451	150	72.9 (6.5) - 92.1	93.3 ^a (3.3) - 107.5	69.6 ^b (7.4) - 90.4	77.8 ^c (7.7) - 93.8	104.1^d (5.6) - 120.2	90.9 ^e (7.7) - 110.5

tabella 3.4 Confronto delle medie dei picchi di tensione nelle fasi di lateralskid e inhaul nelle diverse linee.

Linea	Lateral skid (kN)	Inhaul (kN)	Significatività, p value MW
1	166.4 (11.6)	164.3 (10.2)	0.450
2	152.4 (16.8)	173.4 (15.1)	<0.001
3	139.8 (11.1)	135.7 (10.5)	0.149
4	196 (19.6)	187.2 (15.2)	0.076
5	124.5 (11.7)	120.3 (9.9)	0.080
6	153 (16.2)	150.7 (14.3)	0.758
7	61.3 (13.0)	57.5 (8.3)	0.204
8	95.9 (9.0)	89.8 (7.5)	0.001
9	116.4 (30.3)	113.8 (27.6)	0.560
10	122.4 (26.9)	142.3 (12.2)	<0.001
11	72.1 (12.3)	81.8 (5.6)	<0.001
12	77.8 (7.7)	104.1 (5.6)	<0.001

3.3 Valutazione degli indici di carico dinamico

Per approfondire i risultati riscontrati nelle precedenti analisi il calcolo degli indici di *Breakout* e MCLA possono essere indicativi come le tensioni rilevate si pongono rispetto alle tensioni di montaggio delle linee e dei carichi applicati durante il ciclo di esbosco.

Il calcolo dell'indice di *Breakout* nei suoi fattori è stato riportato per ogni ciclo facendo una media per linea (Tabella 3.5). Non sono stati utilizzati per l'analisi di questo indice tutti i 502 cicli ma 450 perché si è riscontrato in alcuni cicli una variazione del carico dovuta a una depezzatura dei tronchi successiva al primo momento di strascico (Figura 3.1). Osservando i valori in tabella è possibile notare che il picco di tensione registrato nella fase di strascico varia da 5 kN (st. dev. 8,1 kN) ai 59,4 kN (st. dev. 16.0 kN) in base alla linea di gru a cavo. Il fattore di tensione indica di quanto il picco di tensione fa aumentare la tensione della linea rispetto alla tensione di montaggio e si osservano valori assoluti di rapporto che variano da un minimo del 0.07 (st. dev. 0,12) a un massimo del 1,31 (st. dev. 0,58) in base alla linea. L'indice di tensione indica di quanto l'incremento di tensione sia in rapporto al peso del carico applicato alla fune e si osserva che in base alla linea sono presenti valori di rapporto minimi di 1,82 (st. dev. 3,44) e valori massimi di 6,24 (st. dev. 8,24).

Tabella 3.5 indice di *Breakout*. In verde le linee a configurazione a più campate in giallo le linee con configurazione a singola campata.

Linea	Incremento di tensione di <i>Breakout</i> (kN)	Fattore di tensione di <i>Breakout</i>	Indice di tensione di <i>Breakout</i>
1	50.7 (10.21)	0.44 (0.09)	2.31 (1.15)
2	36.7 (17.2)	0.32 (0.16)	2.7 (1.94)
3	49.7 (11.9)	0.56 (0.14)	3.56 (1.83)
4	59.4 (16.0)	0.43 (0.11)	4.82 (3.04)
5	31.7 (7.8)	0.35 (0.09)	1.75 (0.58)
6	49.3 (16.9)	0.48 (0.18)	5.62 (1.26)
7	34.1 (10.3)	1.31 (0.38)	6.24 (8.02)
8	24.4 (8.8)	0.34 (0.12)	4.63 (3.38)
9	58.3 (31.7)	1.03 (0.58)	5.41 (4.57)
10	43.7 (24.4)	0.58 (0.32)	2.98 (1.91)
11	22.0 (12.5)	0.45 (0.27)	2.37 (1.74)
12	5.0 (8.1)	0.07 (0.12)	1.82 (3.44)

Note

Fra parentesi sono riportate le deviazioni standard delle medie.

Il dato ottenuto dall'analisi del MCLA ha permesso di implementare i grafici delle due fasi di *outhaul* (Figura 3.6) e *inhaul* (Figura 3.7) per ogni ciclo. Osservando gli andamenti dei picchi massimi e minimi delle oscillazioni di tensione si nota una differenza sostanziale nelle due fasi. La differenza tra un picco massimo e minimo e la frequenza di picchi sono maggiori nella fase di *inhaul* (Figure 3.7). la fase di trasporto del carico (*inhaul*) si è confermata statisticamente più significativa per quanto riguarda l'indicatore MCLA (Tabella 3.6). Osservando le medie dei fattori calcolati di MCLA *inhaul* (Tabella 3.7) si vede in base alla linea che l'incremento di tensione ha valori minimi che vanno da 8,5 kN (st. dev. 4,8 kN) a 26,3 kN (st. dev. 6,4 kN). Il rapporto del fattore di tensione varia da un minimo 0,12 (st. dev. 0,07) a un massimo 0,49 (st. dev. 0,17) mentre l'indice di incremento varia da un minimo 0,55 (st. dev. 0,18) a un massimo 1,42 (st. dev. 0,61).

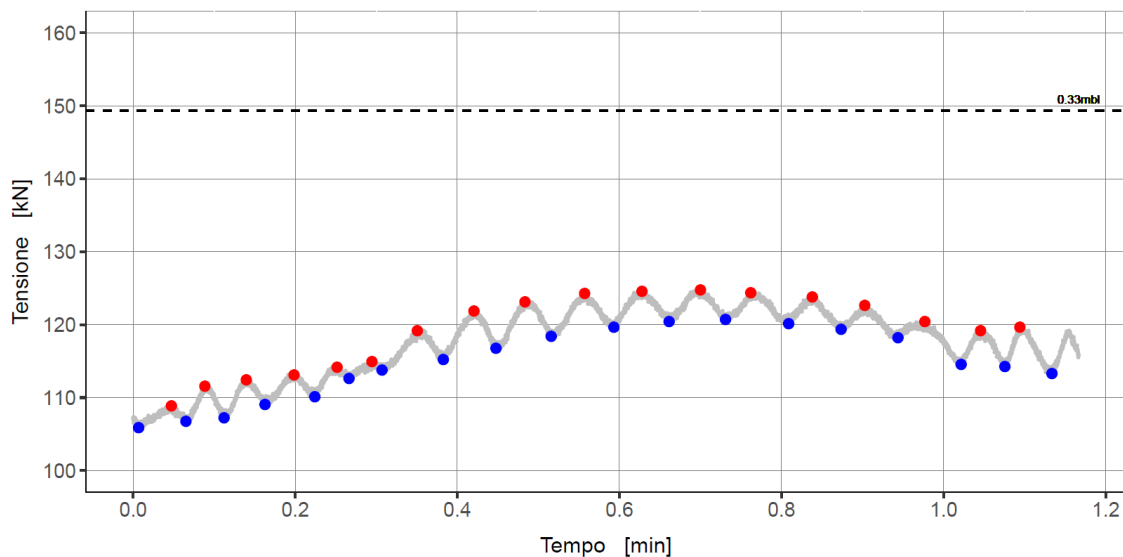


Figura 3.4 Esempio grafico MCLA outhaul (ciclo 70)

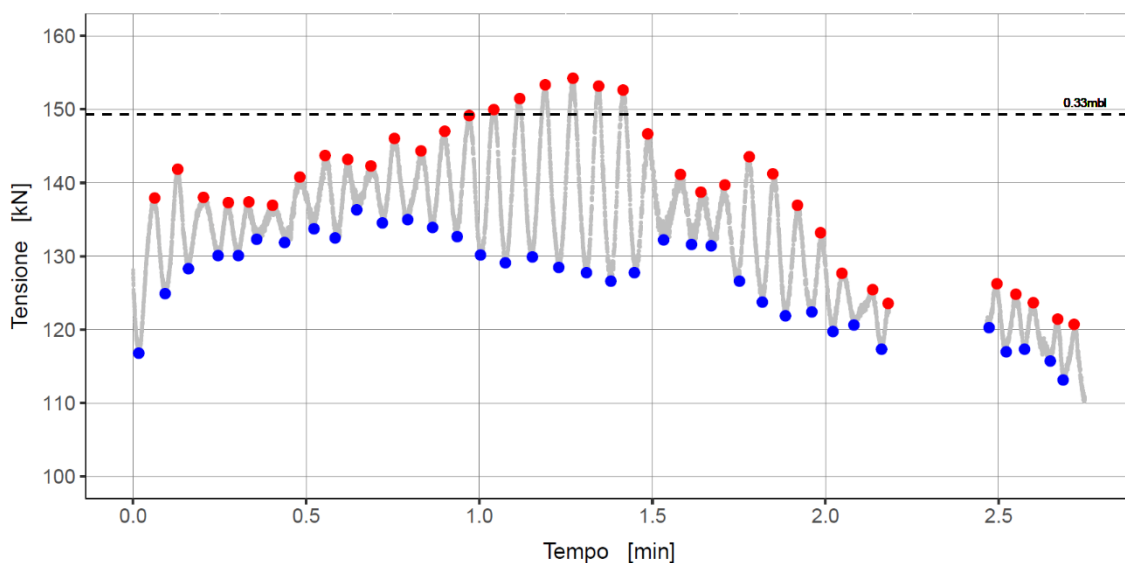


Figura 3.5 Esempio di grafico MCLA inhaul (ciclo 70)

Tabella 3.6 Confronto delle medie MCLA outhaul e MCLA inhaul nelle diverse linee.

Cable line	Outhaul MCLA	Inhaul MCLA	p value MW	p value t test
1	7.2 (1.9) - 14.0	18.7 (6.4) - 33.1	<0.001	-
2	7.0 (2.8) - 17.0	26.3 (6.4) - 37.7	<0.001	-
3	5.5 (1.7) - 11.1	14.1 (4.4) - 23.3	-	<0.001*
4	7.8 (2.4) - 13.9	19.0 (4.5) - 28.4	<0.001	-
5	3.7 (1.0) - 5.8	13.8 (4.1) - 26.7	-	<0.001*
6	5.4 (1.8) - 9.9	18.5 (6.8) - 30.0	<0.001	-
7	2.0 (0.7) - 3.6	12.4 (3.8) - 19.8	<0.001	-
8	2.5 (1.1) - 7.1	9.8 (4.2) - 20.7	-	<0.001*
9	4.8 (1.9) - 11.0	18.1 (9.2) - 47.3	<0.001	-
10	3.7 (0.6) - 5.7	19.6 (5.7) - 36.8	<0.001	-
11	1.7 (0.4) - 3.5	9.2 (2.6) - 15.8	-	<0.001*
12	3.8 (1.9) - 10.8	8.5 (4.8) - 21.4	<0.001	-

Tabella 3.7 Indice MCLA e i suoi fattori espressi nelle fasi di outhaul e inhaul.

Linea	Outhaul			Inhaul		
	MCLA (kN)	MCLA fattore	MCLA indice	MCLA (kN)	MCLA fattore	MCLA indice
1	7.2 (1.9)	0.06 (0.02)	1.13 (0.30)	18.67 (6.39)	0.16 (0.06)	0.61 (0.22)
2	7.0 (2.8)	0.06 (0.02)	1.10 (0.43)	26.31 (6.43)	0.23 (0.06)	1.15 (0.38)
3	5.5 (1.7)	0.06 (0.02)	0.87 (0.27)	14.11 (4.38)	0.16 (0.05)	0.64 (0.20)
4	7.8 (2.4)	0.06 (0.02)	1.23 (0.38)	18.96 (4.48)	0.14 (0.03)	0.92 (0.34)
5	3.7 (1.0)	0.04 (0.01)	0.59 (0.16)	13.8 (4.08)	0.15 (0.04)	0.55 (0.18)
6	5.4 (1.8)	0.05 (0.02)	1.39 (0.46)	18.48 (6.76)	0.18 (0.06)	1.42 (0.61)
7	2.0 (0.7)	0.08 (0.03)	1.02 (0.34)	12.41 (3.81)	0.49 (0.17)	1.36 (0.56)
8	2.5 (1.1)	0.03 (0.01)	1.74 (0.74)	9.81 (4.24)	0.14 (0.06)	1.28 (0.75)
9	4.8 (1.9)	0.08 (0.03)	0.51 (0.21)	18.13 (9.19)	0.32 (0.17)	0.80 (0.41)
10	3.7 (0.6)	0.05 (0.01)	1.30 (0.21)	19.64 (5.67)	0.26 (0.08)	1.02 (0.35)
11	1.7 (0.4)	0.03 (0.01)	0.77 (0.21)	9.2 (2.62)	0.19 (0.05)	0.71 (0.24)
12	3.8 (1.9)	0.05 (0.03)	0.34 (0.16)	8.48 (4.81)	0.12 (0.07)	0.56 (0.28)

Note

*Valori trasformati logaritmicamente.

Fra parentesi sono riportate le deviazioni standard delle medie.

4 Discussione dei risultati

L'obiettivo di monitorare un numero cospicuo di cicli di lavoro è stato raggiunto. Il sistema di strumenti applicati per il monitoraggio delle tensioni si è confermato valido per il raggiungimento dell'obiettivo.

La combinazione del tensiometro e del sistema di monitoraggio delle fasi di lavoro ha permesso di ricavare dei dati apprezzabili. Da migliorare è la stima dei carichi basata principalmente sull'accuratezza e sensibilità dell'operatore incaricato. Le cause principali di incertezza riguardano gli errori casuali o sistematici delle misurazioni fatte, l'approssimazione della stima visiva della massa dei rami e la stima dell'umidità del legname presunta in base al tempo trascorso dall'abbattimento delle piante.

Il protocollo di rilievo ha richiesto l'impiego di numerosi strumenti, vista la necessità di sincronizzare temporalmente tutte le misurazioni fatte nei cicli ha reso complessa l'impostazione delle analisi successive. La componente di analisi che ha richiesto più dispendio di tempo è stata l'analisi video visto la numerosità di cicli monitorati.

Il dato osservato riguardante i cicli che hanno superato la tensione massima applicabile con il coefficiente di sicurezza pari a 3 è un indicatore importante. Il coefficiente viene applicato apposta per sopperire alle scarse conoscenze dinamiche ed è accettabile che i picchi di tensione fluttuino nell'intervallo designato dai coefficienti 3 e 2,5 pari al 33% e al 40% del carico di rottura. Ulteriore attenzione deve essere data alla casistica rilevata dei 6 cicli che superano il limite del 50% del carico di rottura. Far lavorare le funi metalliche in prossimità di questo intervallo di sollecitazioni si induce il fenomeno meccanico di fatica. Questo significa che sollecitare ciclicamente la fune con queste tensioni può verificare un'accelerata usura e progressivo danneggiamento fino alla rottura. Ad una prima osservazione di questi 6 cicli critici porta a notare la presenza di variabili favorevoli allo sviluppo di sovratensioni nelle linee citate in bibliografia (Fabiano et al. 2011, 2002). Entrambi le linee coinvolte (linea 4 e 8) presentano configurazione a singola campata. Inoltre, in una linea risulta essere non adeguata la fune portante impiegata per la gru a cavo in utilizzo.

I risultati ottenuti dal monitoraggio presentano uno scenario che conferma i pregressi studi sulle fasi maggiormente coinvolte da picchi di tensione. I dati osservati devono essere comunque contestualizzati in base alla configurazione della linea sapendo che le tensioni nella fasi di *lateralskid* e *inhaul* variano in base alla posizione del carrello nella campata (Bont and Heinimann 2012).

Gli indici dei carichi dinamici individuati dimostrano una grande variabilità fra le diverse linee.

È richiesta un'analisi successiva più approfondita che sappia determinare le variabili significative che provocano i picchi di tensione nel ciclo di lavoro.

5 Conclusioni

Confrontando gli obiettivi posti si può dire che il monitoraggio compiuto dia un quadro rappresentativo dell'utilizzo delle gru a cavo a stazione motrice mobile nell'arco alpino italiano. Si è osservato che il protocollo di rilievo e la scelta degli strumenti è stata efficace. Da migliorare è il metodo di stima dei carichi in particolare se si vuole studiare con precisione le correlazioni tra tensioni, carichi e produttività, magari integrando le misure con un igrometro ad aghi per legno per la stima dell'umidità. Per facilitare i rilievi di questo genere sarebbe utile lo sviluppo e l'impiego di strumenti facilmente sincronizzabili fra loro attraverso un sistema radio *wireless*, dove attraverso un *software* applicativo sia possibile poi estrarre e successivamente analizzare i dati raccolti. Comunque, la grossa mole di dati generati da questo monitoraggio non si limiterà solo per lo studio delle tensioni dinamiche delle gru a cavo a motrice mobile. Grazie ai dati raccolti sarà possibile elaborare studi successivi sulla produttività ed efficienza in relazione con le configurazioni delle linee osservate.

Il confronto delle condizioni di esercizio osservate rispetto alle specifiche di sicurezza ha permesso di desumere come realmente le aziende boschive operano e rispettino le condizioni di sicurezza. È evidente una tendenza a superare i limiti di sicurezza consigliati, ma dalle osservazioni si evince che si opera nella maggioranza nell'intervallo di tensioni non dannose per le funi portanti. Da non sottovalutare è la sensazione di maggiore confidenza data dalle caratteristiche costruttive dei mezzi che determina un possibile abbassamento della percezione dei limiti di sicurezza da parte degli operatori (Spinelli et al. 2016). Quindi è importante e necessaria la formazione sulla sicurezza verso le aziende boschive che impiegano questi mezzi. Si potrebbe ridurre la casistica osservata di cicli oltre i limiti di sicurezza rendendo obbligatorio un progetto di dimensionamento preliminare per le linee di gru a cavo. Inoltre, l'applicazione di sistemi di controllo delle tensioni integrati e più efficienti rispetto a quelli in dotazione dati dalle case costruttrici permetterebbe agli operatori di esser più coscienti delle forze in gioco.

Sapendo la complessità dei sistemi analizzati e della consistente numerosità delle variabili misurate sarà necessario applicare un metodo di analisi che sappia identificare le variabili significative per la generazione dei picchi di tensione in base alle singolarità delle linee considerate. Si dovrà procedere attraverso l'applicazione di modelli di regressione lineare e logistici misti (*Mixed Models*).

6 Bibliografia

- Ackerman, Simon; Andie; Immelman, Andrew; McEwan, Sidhika; Naidoo, and Sally Upfold. 2017. *South African Cable Yarding Safety and Operating Handbook*.
- Acuna M., Bigot M., Guerra S., Hartsough B., Kanzian C., Kärhä K., Lindroos O., Magagnotti N., Roux S., Spinelli R., Talbot B., Tolosana E., Zormaier F. 2012. *Good Practice Production Studies*.
- Albizu-Uriónabarrenetxea, P. M., E. Tolosana-Esteban, and E. Roman-Jordan. 2013. "Safety and Health in Forest Harvesting Operations. Diagnosis and Preventive Actions. A Review." *Forest Systems* 22(3):392–400.
- Bont, Leo and Hans Rudolf Heinimann. 2012. "Optimum Geometric Layout of a Single Cable Road." *European Journal of Forest Research* 131(5):1439–48.
- Cavalli, Raffaele. 2012. "Prospects of Research on Cable Logging in Forest Engineering Community." 332.
- Cielo, Paolo, -Marco Corgnati, -Franco Gottero, and -Roberto Zanuttini. 2004. "LA FILIERA FORESTA-LEGNO IN PIEMONTE." 6.
- Dupire, Sylvain, Franck Bourrier, and Frédéric Berger. 2016. "Predicting Load Path and Tensile Forces during Cable Yarding Operations on Steep Terrain." *Journal of Forest Research* 21(1):1–14.
- Enache, Adrian, Martin Kühmaier, Rien Visser, and Karl Stampfer. 2015. "Forestry Operations in the European Mountains: A Study of Current Practices and Efficiency Gaps." *Scandinavian Journal of Forest Research* 7581(April):1–39.
- Fabiano, F. and E. Marchi. 2003. "Note Pratiche Sul Dimensionamento Di Grua a Cabo Forestale." 96.
- Fabiano, Fabio, Giovanni Hippoliti, Enrico Marchi, and Franco Piegai. 2002. "Analisi Delle Sollecitazioni in Funi Portanti Di Grua a Cavo Forestali." *A.I.S.F.* (January).
- Fabiano, Fabio, Enrico Marchi, Francesco Neri, and Franco Piegai. 2011. "Skyline Tension Analysis in Yarding Operation: Case Studies in Italy." *Formec* 1–12.
- Fraser, Daniel. 1996. "HAULER TOWER COLLAPSES." 21(7).
- Giordano, G. 1981. *Tecnologia Del Legno*. UTET.
- Gumus, Selcuk and H. Hulusi Acar. 2010. "Evaluation of Consecutive Skylines Yarding and Gravity Skidding Systems in Primary Forest Transportation on Steep Terrain." *Journal of Environmental Biology* 31(1–2):213–18.
- Harrill, Hunter. 2014. "Improving Cable Logging Operations for New Zealand's Steep Terrain Forest Plantations."
- Harrill, Hunter and Rien Visser. 2013. "Modelling Dynamic Skyline Tensions in Rigging Configurations : North Bend , South Bend , and Block in the Bight Case Studies Methods Equipment." 1–8.
- Harrill, Hunter and Rien Visser. 2016. "Skyline Tension Behavior of Rigging Configurations Used in New Zealand Cable Logging." *Annual Council on Forest Engineering Meeting. September 22-24*.
- Hartsough, Bruce. 1996. "BENEFITS OF REMOTE TENSION MONITORING."
- Heinimann, H. R. 2004. "HARVESTING | Forest Operations under Mountainous Conditions." *Encyclopedia of Forest Sciences* 279–85.
- Heinimann, Hans Rudolf, Karl Stampfer, Johannes Loschek, and Leo Caminada. 2001. "Perspectives on Central European Cable Yarding Systems." *The International Mountain Logging and 11th Northwest Skyline Symposium 2001* (1):268–79.
- Hippoliti, G. and F. Piegai. 2000. *Tecniche e Sistemi Di Lavoro per La Raccolta Del Legno*. Compagnia delle Foreste.
- Lezier, Alessandro. 2016. "Sviluppo e Applicazione Di Uno Strumento per Il Rilievo Automatico Dei Tempi Di Lavoro Nelle Operazioni Di Esbosco Con Grua a Cavo."
- Mologni, Omar, Stefano Grigolato, and Raffaele Cavalli. 2016. "Harvesting Systems for Steep Terrain in the Italian Alps: State of the Art and Future Prospects." *Contemporary Engineering Sciences* 9(25):1229–42.
- Owende, Philip M., Dermot Tiernan, Shane M. Ward, and John Lyons. 2001. "Is There a Role for Cable Extraction on Low Gradient Sensitive Sites?" *Workshop on New Trends in Wood Harvesting with Cable Systems for Sustainable Forest Management in the Mountains. 18-24 June* 18–24.
- Pestal, E. 1961. *Seilbahnen Und Seilkrane Für Holz- Und Materialtransport*. Fromme.

- Pyles, M. R., K. C. Womack, and H. I. Laursen. 1994. "Dynamic Characteristics of a Small Skyline Logging System with a Guyed Tailspar." *Journal of Forest Engineering* 6(1):35–49.
- Samset, Ivar. 1985. *Winch and Cable Systems*. Vol. 18.
- Sessions, John. 1976. "Field Measurement of Cable Tensions for Skyline Logging Systems Ptccv SrpTE RII."
- Spinelli, Raffaele et al. 2016. "Skyline Tension, Shock Loading, Payload and Performance for a European Cable Yarder Using Two Different Carriage Types." *European Journal of Forest Research*.
- Spinelli, Raffaele et al. 2017. "The Effect of Carriage Type on Yarding Productivity and Cost." *International Journal of Forest Engineering* 28(1):34–41.
- Spinelli, Raffaele, Natascia Magagnotti, and Carolina Lombardini. 2010. "Performance, Capability and Costs of Small-Scale Cable Yarding Technology." *Small-Scale Forestry* 9(1):123–35.
- Spinelli, Raffaele, Carla Nati, and Natascia Magagnotti. 2006. "Recupero Di Biomassa, Alcune Utilizzazioni in Boschi Alpini." *Sherwood - Foreste Ed Alberi Oggi* 119:1–7.
- Stampfer, Karl and Christian Kanzian. 2006. "Cable Corridor Installation Times For European Yarders." *International Journal of Forest Engineering* (71).
- Studier, Donald D. and Virgil W. Binkley. 1974. *Cable Logging Systems*.
- Talbot, Bruce, Karl Stampfer, and Rien Visser. 2015. "Machine Function Integration and Its Effect on the Performance of a Timber Yarding and Processing Operation." *Biosystems Engineering* 135:10–20.
- Tsioras, Petros A., Christian Rottensteiner, and Karl Stampfer. 2014. "Wood Harvesting Accidents in the Austrian State Forest Enterprise 2000–2009." *Safety Science* 62:400–408.
- Tsioras, Petros a, Christian Rottensteiner, and Karl Stampfer. 2011. "Analysis of Accidents During Cable Yarding Operations in Austria 1998–2008." *Croatian Journal of Forest ...* 32(2):549–60.
- Visser, Rien. 1998. "Tensions Monitoring of Forestry Cable Systems." 188.
- Visser, Rien and Karl Stampfer. 2015. "Expanding Ground-Based Harvesting onto Steep Terrain: A Review." *Croatian Journal of Forest Engineering* 36(2):321–31.
- Womack, K. C. and H. I. Laursen. 1994. "Computer Model for Dynamic Skyline Behaviour." *International Journal of Forest Engineering* 5:55–62.
- Womack, Kevin C. 1989. "AN ABSTRACT OF THE THESIS OF The Dynamic Behavior of a Cable Logging Skyline and Its Effect on the Tailspar." *Civil Engineering Presented on June 6*.
- Work Safe BC. 2006. "Cable Yarding Systems Handbook. Second Edition." 183.

7 Allegati

Linea N. 1

Coordinate X:	7.110.941.218
Coordinate Y:	5.109.970.387
Provincia	Tento
Regione	Trentino-Alto adige
Altitudine (m.s.l.m.)	1218

Dati selvicolturali

Specie	Abete rosso, abete bianco
Composizione	PA 43%, AA 57%
Gestione	fustaia
Trattamento	taglio a buche
Area di taglio (ha)	5
Volume tagliato (m ³)	465
Vol. medio a albero (m ³)	2,41
Intensità di taglio (m ³ /ha)	93

Gru a cavo

Modello	Valentini V600/M/3 1000/B10/R
Veicolo	carrello cingolato
Anno	2010
Potenza (kW)	177
Altezza della torretta (m)	12.5
Peso (kg)	20000
N. di controventature	4+1
Controllo fune traente	Remoto (2 radio)
Traino automatico	Si

Caratteristiche del carrello

Modello	Hochleitner BW4000
Tipo	tri-fune ACC
Peso (kN)	6.4
Carico Massimo (kN)	40
Tipo di choker	automatici

Caratteristiche della fune portante

Tipo	6x19S IWRC
Costruzione trefolo	Seale
Diametro nominale (mm)	22
Cl. di resistenza (N/mm ²)	1960
Peso (kg/m)	2.28
Carico di rottura (kN)	448

Foto

Gru a a cavo

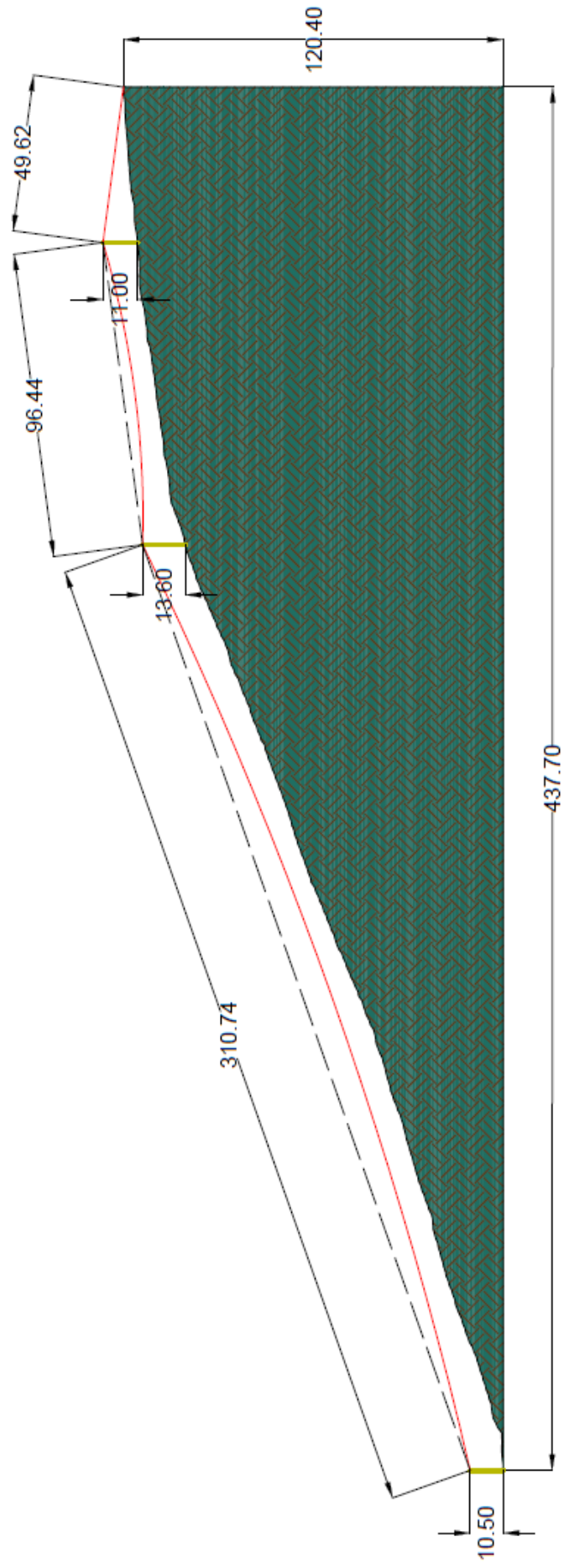


Carrello



Esbosco verso valle
 Pendenza media del terreno 31%

Perfil lineal 1



Linea N. 2

Coordinate X:	6.981.545.151
Coordinate Y:	5.106.802.724
Provincia	Tento
Regione	Trentino-Alto adige
Altitudine (m.s.l.m.)	975

Dati selvicolturali

Specie	Abete rosso, Pino silvestre
Composizione	PA 95%, PS 5%
Gestione	fustaia
Trattamento	taglio a buche
Area di taglio (ha)	1,5
Volume tagliato (m ³)	152
Vol. medio a albero (m ³)	2,11
Intensità di taglio (m ³ /ha)	101

Gru a cavo

Modello	Valentini V600/M/3 1000/LKV
Veicolo	Autocarro (2 assi)
Anno	1995/2015
Potenza (kW)	104
Altezza della torretta (m)	13
Peso (kg)	26000
N. di controventature	4
Controllo fune traente	Remoto (1 radio)
Traino automatico	No

Caratteristiche del carrello

Modello	Hochleitner BW4000
Tipo	tri-fune ACC
Peso (kN)	6.4
Carico Massimo (kN)	40
Tipo di choker	catene

Caratteristiche della fune portante

Tipo	6x19S IWRC
Costruzione trefolo	Seale
Diametro nominale (mm)	22
Cl. di resistenza (N/mm ²)	2160
Peso (kg/m)	2.32
Carico di rottura (kN)	435

Foto

Gru a cavo

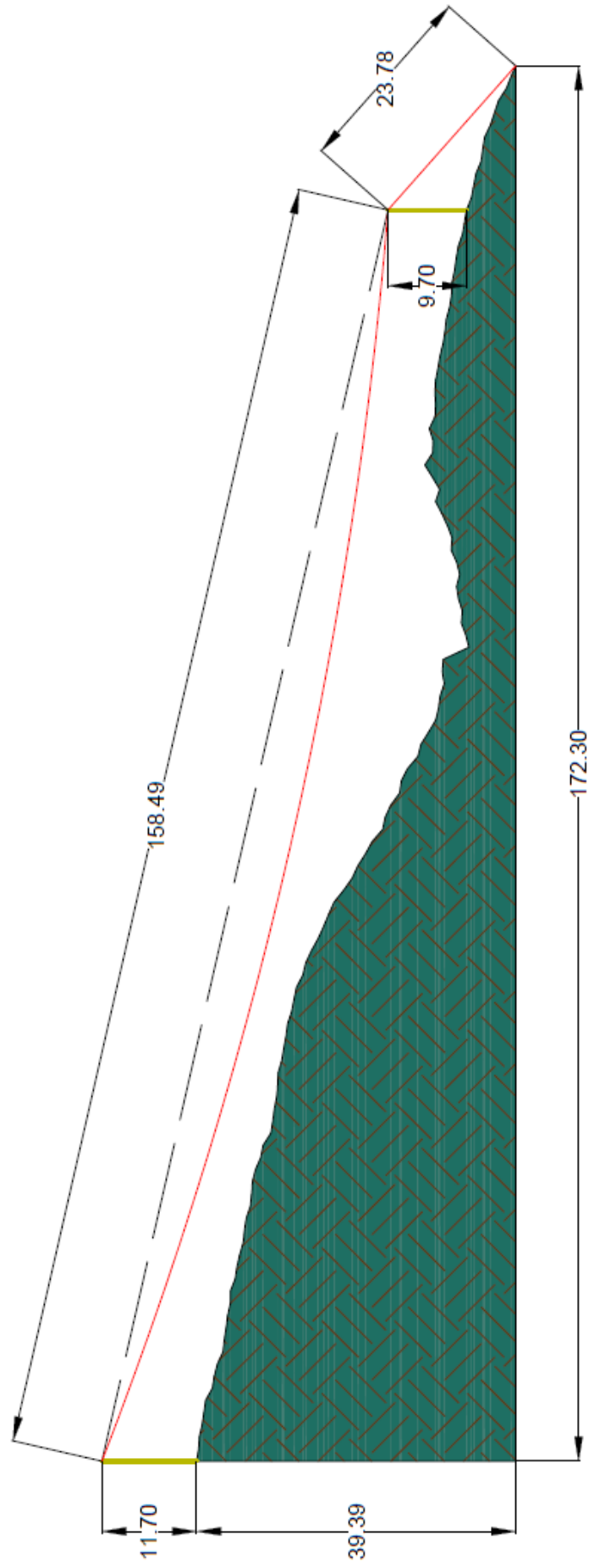


Carrello



Perfil linea 2

Esbosco verso monte
Pendenza media del terreno 40%



Linea N. 3

Coordinate X:	7.046.055.003
Coordinate Y:	5.106.170.479
Provincia	Tento
Regione	Trentino-Alto adige
Altitudine (m.s.l.m.)	1140

Dati selvicolturali	
Specie	Abate rosso, Larice
Composizione	PA 87%, L 13%
Gestione	fustaia
Trattamento	taglio raso
Area di taglio (ha)	2
Volume tagliato (m ³)	1072
Vol. medio a albero (m ³)	0.80
Intensità di taglio (m ³ /ha)	536

Gru a cavo	
Modello	Valentini V600/M/3 1000/LKV
Veicolo	Autocarro (2 assi)
Anno	1995/2015
Potenza (kW)	104
Altezza della torretta (m)	13
Peso (kg)	26000
N. di controventature	4
Controllo fune traente	Remoto (1 radio)
Traino automatico	No

Caratteristiche del carrello

Modello	Hochleitner BW4000
Tipo	tri-fune ACC
Peso (kN)	6.4
Carico Massimo (kN)	40
Tipo di choker	catene

Caratteristiche della fune portante

Tipo	6x19S IWRC
Costruzione trefolo	Seale
Diametro nominale (mm)	22
Cl. di resistenza (N/mm ²)	2160
Peso (kg/m)	2.32
Carico di rottura (kN)	435

Foto

Gru a cavo

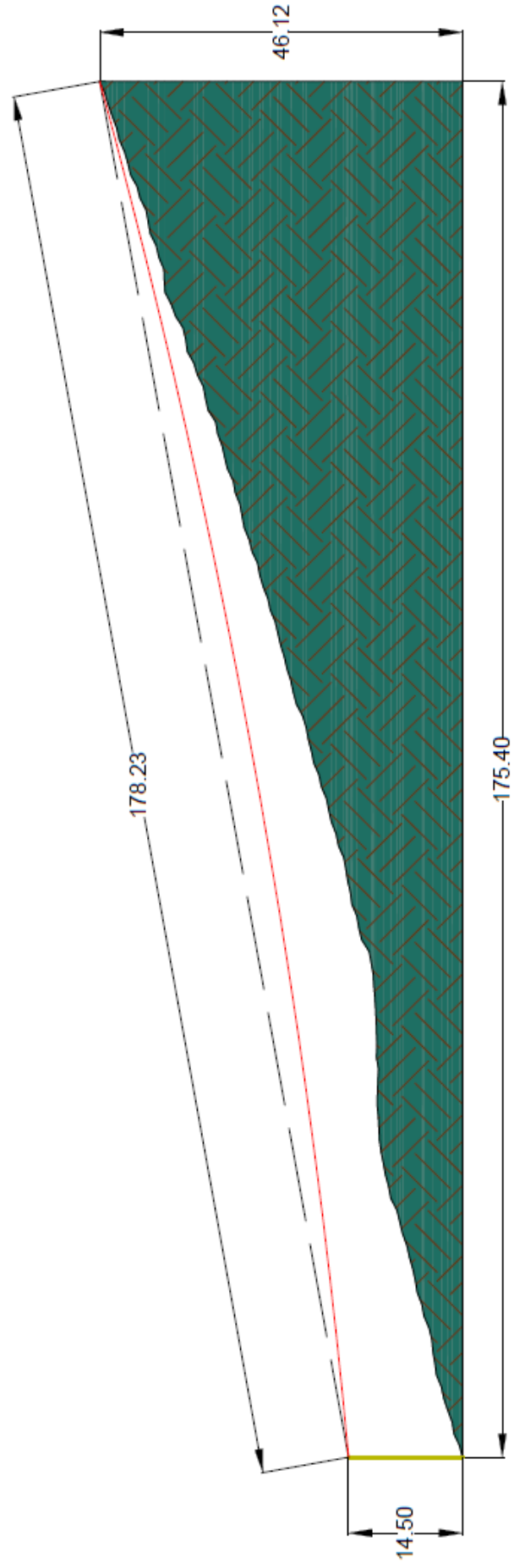


Carrello



Profilo linea 3

Esbosco verso valle
Pendenza media del terreno 28%



Linea N. 4

Coordinate X:	7.045.948.223
Coordinate Y:	5.106.198.997
Provincia	Tento
Regione	Trentino-Alto adige
Altitudine (m.s.l.m.)	1141

Dati selvicolturali

Specie	Abate rosso, Larice
Composizione	PA 87%, L 13%
Gestione	fustaia
Trattamento	taglio raso
Area di taglio (ha)	2
Volume tagliato (m ³)	1072
Vol. medio a albero (m ³)	0.80
Intensità di taglio (m ³ /ha)	536

Gru a cavo

Modello	Valentini V600/M/3 1000
Veicolo	Carrello (2 axes)
Anno	2011
Potenza (kW)	134
Altezza della torretta (m)	12.5
Peso (kg)	12000
N. di controventature	4
Controllo fune traente	Remoto (2 radio)
Traino automatico	Si

Caratteristiche del carrello

Modello	Hochleitner BW4000
Tipo	tri-fune ACC
Peso (kN)	6.4
Carico Massimo (kN)	40
Tipo di choker	catene

Caratteristiche della fune portante

Tipo	6x19S IWRC (C)
Costruzione trefolo	Seale
Diametro nominale (mm)	22
Cl. di resistenza (N/mm ²)	2160
Peso (kg/m)	2.32
Carico di rottura (kN)	435

Foto

Gru a cavo

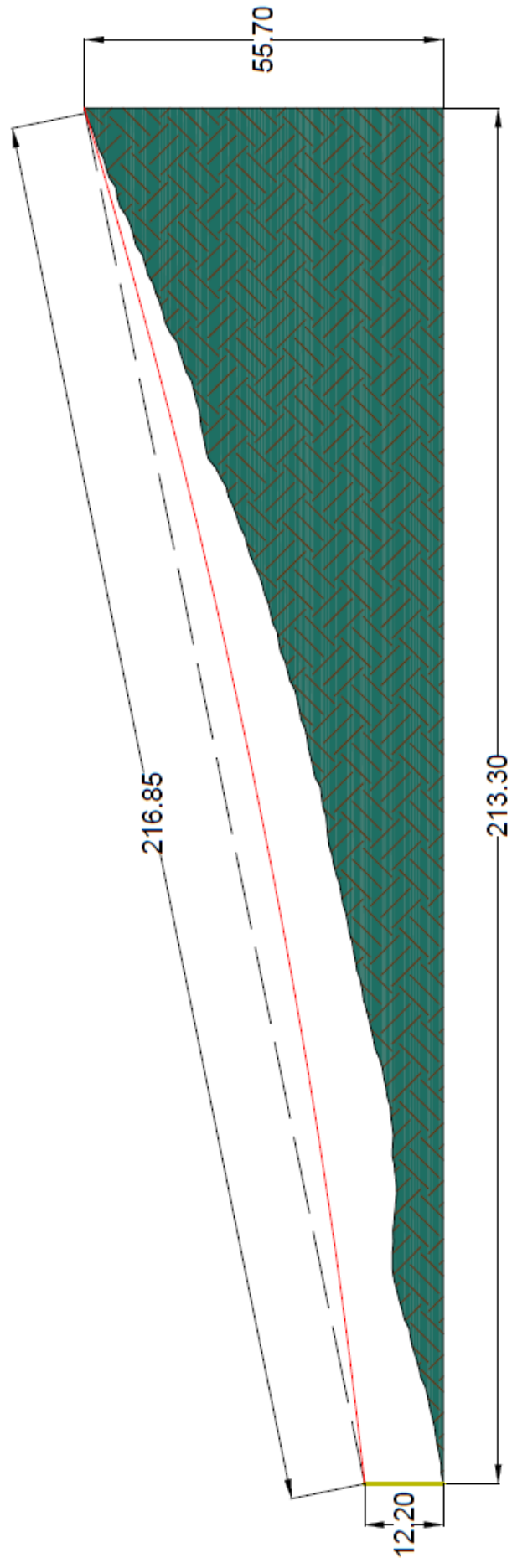


Carrello



Profilo linea 4

Esbosco verso valle
Pendenza media del terreno 28%



Linea N. 5

Coordinate X:	8.066.800.547
Coordinate Y:	5.154.599.808
Provincia	Udine
Regione	Friuli-Venezia Giulia
Altitudine (m.s.l.m.)	1095

Dati selvicolturali

Specie	Abete rosso, Faggio, Abete bianco
Composizione	PA 82%, F 3% AA 15 %
Gestione	fustaia
Trattamento	tagli successivi
Area di taglio (ha)	21.7
Volume tagliato (m ³)	2624
Vol. medio a albero (m ³)	2.22
Intensità di taglio (m ³ /ha)	121

Gru a cavo

Modello	Valentini V600/M/3 850 spec.
Veicolo	Carrello (2 axes)
Anno	2003
Potenza (kW)	104
Altezza della torretta (m)	12.5
Peso (kg)	12000
N. di controventature	4
Controllo fune traente	Remoto (2 radio)
Traino automatico	Si

Caratteristiche del carrello

Modello	Hochleitner BW4000
Tipo	tri-fune ACC
Peso (kN)	6.4
Carico Massimo (kN)	40
Tipo di choker	catene

Caratteristiche della fune portante

Tipo	6x19S IWRC (C+S)
Costruzione trefolo	Seale
Diametro nominale (mm)	22
Cl. di resistenza (N/mm ²)	2160
Peso (kg/m)	2.32
Carico di rottura (kN)	435

Foto

Gru a cavo

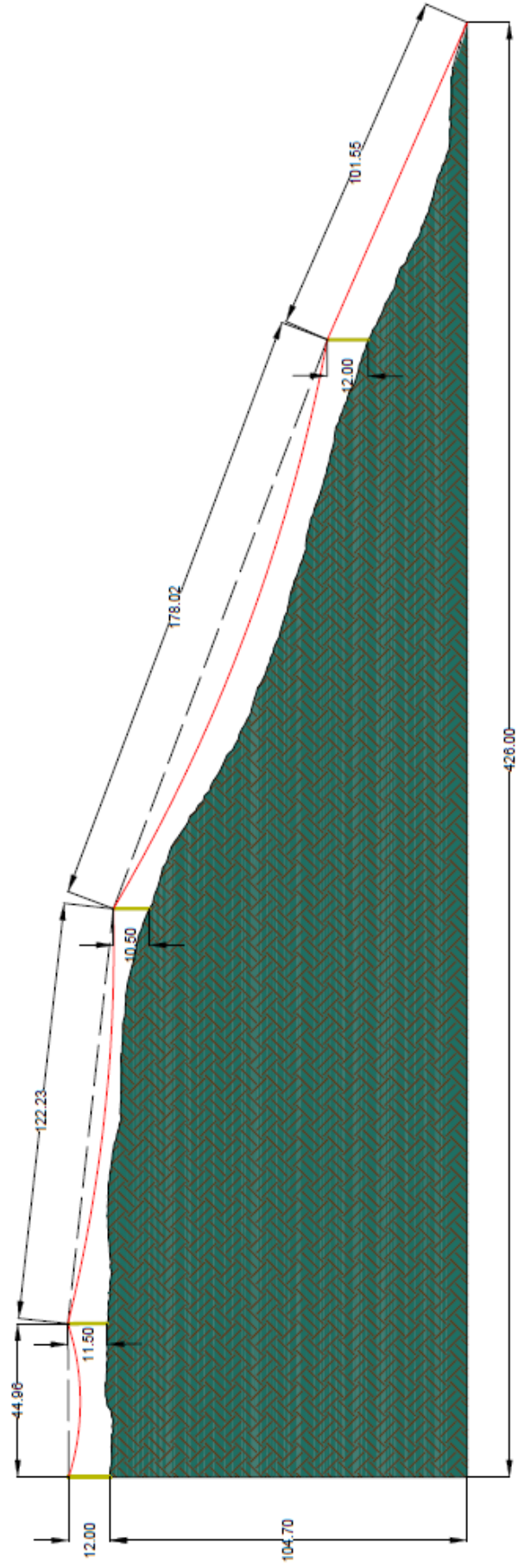


Carrello



Perfil linea 5

Esbosco verso monte
Pendenza media del terreno 38%



Linea N. 6

Coordinate X:	8.029.391.261
Coordinate Y:	5.141.039.695
Provincia	Udine
Regione	Friuli-Venezia Giulia
Altitudine (m.s.l.m.)	950

Dati selvicolturali

Specie	Abate rosso, faggio
Composizione	PA 25%, F 75%
Gestione	fustaia
Trattamento	tagli successivi
Area di taglio (ha)	17.6
Volume tagliato (m ³)	1111
Vol. medio a albero (m ³)	0.93
Intensità di taglio (m ³ /ha)	63

Gru a cavo

Modello	Greifenberg TG T3
Veicolo	Carrello (2 axes)
Anno	2006
Potenza (kW)	149
Altezza della torretta (m)	9.8
Peso (kg)	12180
N. di controventature	4
Controllo fune traente	Pannello di controllo
Traino automatico	No

Caratteristiche del carrello

Modello	Koller HUSK2002
Tipo	tri-fune ACC
Peso (kN)	3.9
Carico Massimo (kN)	20
Tipo di choker	catene

Caratteristiche della fune portante

Tipo	6x19S IWRC (C)
Costruzione trefolo	Filler
Diametro nominale (mm)	22
Cl. di resistenza (N/mm ²)	1960
Peso (kg/m)	2.34
Carico di rottura (kN)	431

Foto

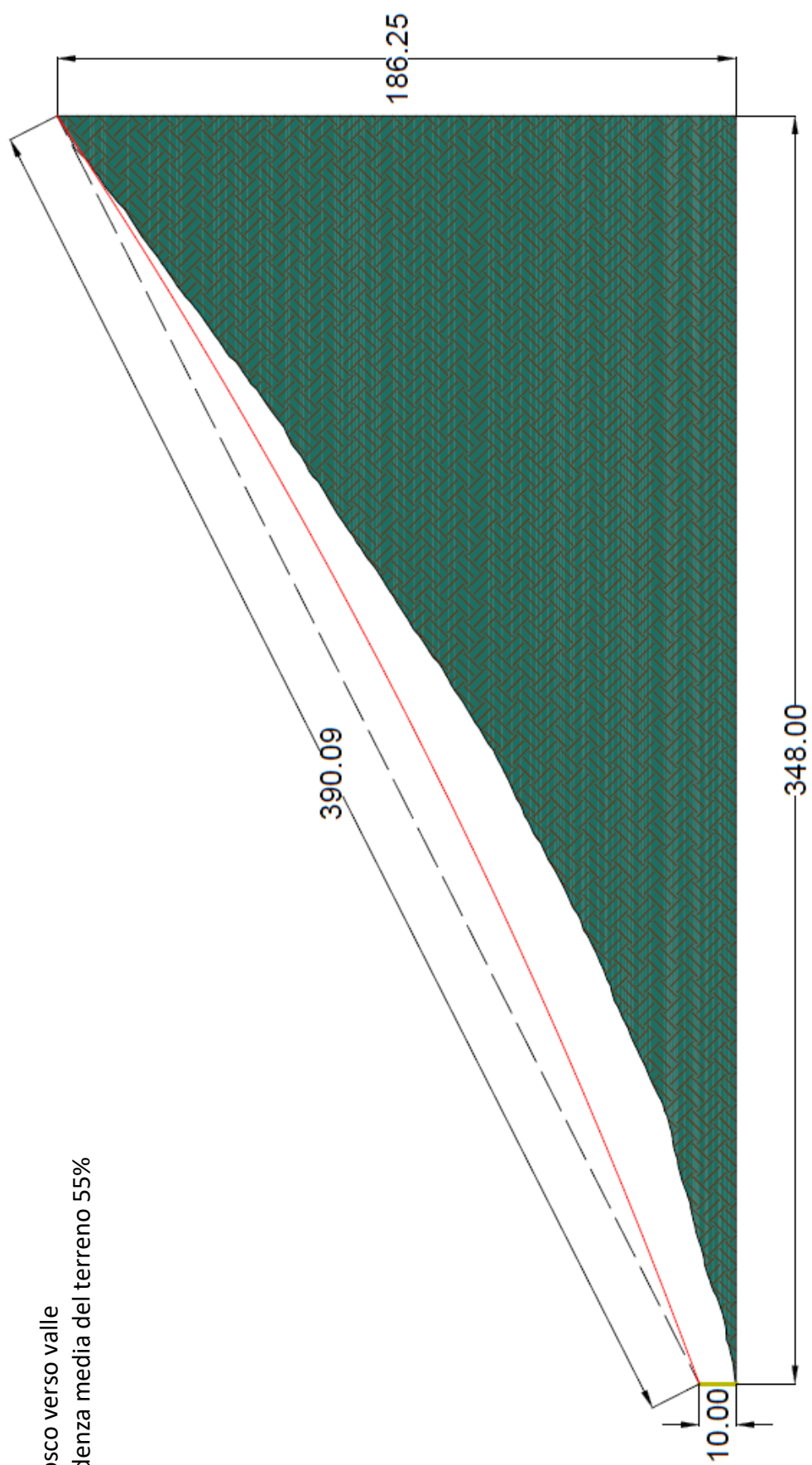
Gru a cavo



Carrello



Profilo linea 6



Esbosco verso valle
Pendenza media del terreno 55%

Linea N. 7

Coordinate X:	7.966.031.155
Coordinate Y:	5.149.985.794
Provincia	Udine
Regione	Friuli-Venezia Giulia
Altitudine (m.s.l.m.)	793

Dati selvicolturali

Specie	Abate rosso, Faggio
Composizione	PA 94%, F 6%
Gestione	fustaia
Trattamento	taglio a buche
Area di taglio (ha)	0.6
Volume tagliato (m ³)	54
Vol. medio a albero (m ³)	0.84
Intensità di taglio (m ³ /ha)	84

Gru a cavo

Modello	Valentini V400/2T
Veicolo	Trattore
Anno	2014
Potenza (kW)	811*
Altezza della torretta (m)	10
Peso (kg)	3600
N. di controventature	5
Controllo fune traente	Remoto (1 radio)
Traino automatico	No

Caratteristiche del carrello

Modello	Hochleitner BW3000
Tipo	bi-fune ACC
Peso (kN)	2
Carico Massimo (kN)	30
Tipo di choker	Fune metallica

Caratteristiche della fune portante

Tipo	6x26WS IWRC (C+S)
Costruzione trefolo	Warrington-Seale
Diametro nominale (mm)	16
Cl. di resistenza (N/mm ²)	1960
Peso (kg/m)	1.14
Carico di rottura (kN)	201

Foto

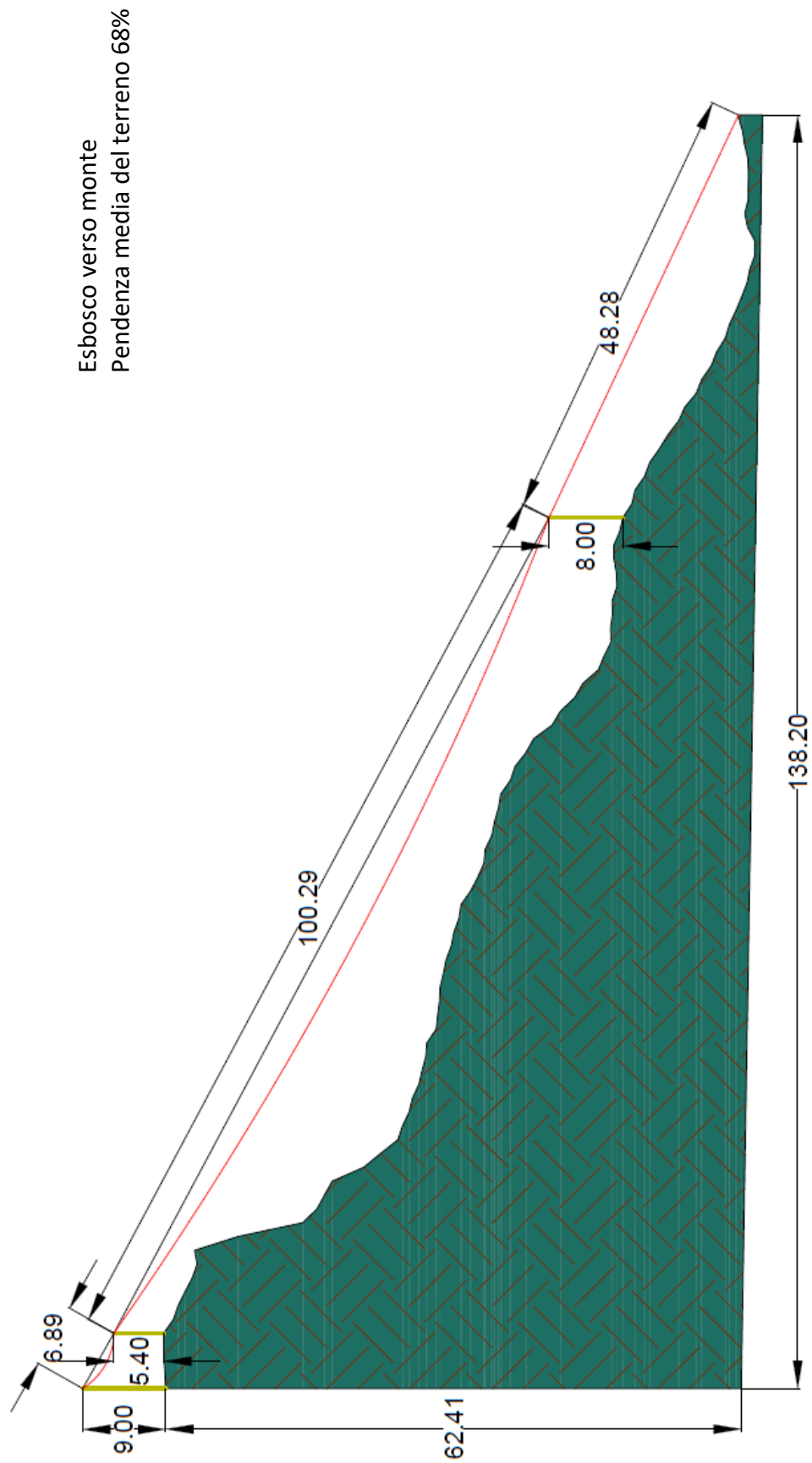
Gru a cavo



Carrello



Perfil linea 7



Linea N. 8

Coordinate X:	8.024.549.708
Coordinate Y:	5.150.039.066
Provincia	Udine
Regione	Friuli-Venezia Giulia
Altitudine (m.s.l.m.)	965

Dati selvicolturali

Specie	Abate rosso, Faggio, Pino silvestre
Composizione	PA 46%, F 13%, PS 2%
Gestione	fustaia
Trattamento	taglio a scelta
Area di taglio (ha)	2.2
Volume tagliato (m ³)	197
Vol. medio a albero (m ³)	1.17
Intensità di taglio (m ³ /ha)	90

Gru a cavo

Modello	Greifenberg TG700
Veicolo	Carrello (1 asse)
Anno	2002
Potenza (kW)	69
Altezza della torretta (m)	9
Peso (kg)	6500
N. di controventature	4
Controllo fune traente	Pannello di controllo
Traino automatico	No

Caratteristiche del carrello

Modello	Greifenberg CRG15
Tipo	bi-fune ACC
Peso (kN)	1.4
Carico Massimo (kN)	15
Tipo di choker	catene

Caratteristiche della fune portante

Tipo	6x19S FC
Costruzione trefolo	Seale
Diametro nominale (mm)	20
Cl. di resistenza (N/mm ²)	1770
Peso (kg/m)	1.44
Carico di rottura (kN)	234

Foto

Gru a cavo



Carrello



Perfil linea 8

Esbosco verso monte
pendenza media del terreno 27%



Linea N. 9

Coordinate X:	5.629.027.087
Coordinate Y:	5121257.52
Provincia	Sondrio
Regione	Lombardia
Altitudine (m.s.l.m.)	1810

Dati selvicolturali

Specie	Abate rosso, Larice
Composizione	PA 64%, L 36%
Gestione	fustaia
Trattamento	taglio a buche
Area di taglio (ha)	20.2
Volume tagliato (m ³)	2100
Vol. medio a albero (m ³)	1.72
Intensità di taglio (m ³ /ha)	104

Gru a cavo

Modello	Konrad KMS12U
Veicolo	Carrello (2 assi)
Anno	2014
Potenza (kW)	212
Altezza della torretta (m)	11
Peso (kg)	13700
N. di controventature	4
Controllo fune traente	Remoto (2 radio)
Traino automatico	Si

Caratteristiche del carrello

Modello	Konrad Liftliner4000
Tipo	motorizzato
Peso (kN)	9.3
Carico Massimo (kN)	40
Tipo di choker	automatici

Caratteristiche della fune portante

Tipo	8x26WS IWRC (C+S)
Costruzione trefolo	Seale
Diametro nominale (mm)	22
Cl. di resistenza (N/mm ²)	1960
Peso (kg/m)	2.3
Carico di rottura (kN)	469

Foto

Gru a cavo

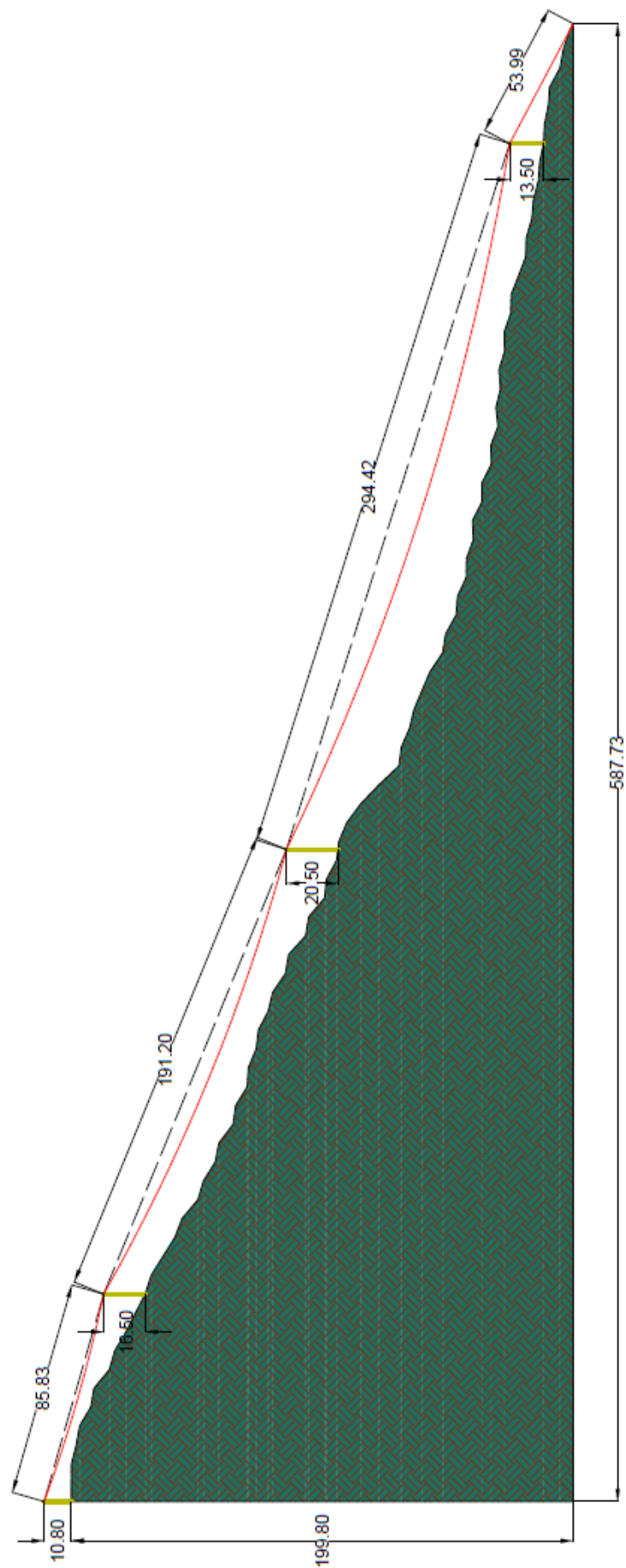


Carrello



Perfil line 9

Esbosco verso monte
Pendenza media del terreno 60%



Linea N. 10

Coordinate X:	5.446.802.189
Coordinate Y:	5.104.547.361
Provincia	Sondrio
Regione	Lombardia
Altitudine (m.s.l.m.)	1288

Dati selvicolturali	
Specie	Abete rosso, Abete bianco Faggio
Composizione	PA 68%, AA 25%, F 7%
Gestione	fustaia
Trattamento	taglio a buche
Area di taglio (ha)	10
Volume tagliato (m ³)	1072
Vol. medio a albero (m ³)	0.80
Intensità di taglio (m ³ /ha)	536

Gru a cavo	
Modello	Greifenberg TG860
Veicolo	Carrello (2 assi)
Anno	2009
Potenza (kW)	118
Altezza della torretta (m)	9
Peso (kg)	12000
N. di controventature	4+1
Controllo fune traente	Remoto (1 radio)
Traino automatico	No

Caratteristiche del carrello

Modello	Greifenberg HT30
Tipo	bi-fune ACC con espulsore
Peso (kN)	2.8
Carico Massimo (kN)	32
Tipo di choker	Fune metallica

Caratteristiche della fune portante

Tipo	6x26WS IWRC (C+S)
Costruzione trefolo	Warrington-Seale
Diametro nominale (mm)	22
Cl. di resistenza (N/mm ²)	1960
Peso (kg/m)	2.3
Carico di rottura (kN)	485

Foto

Gru a cavo

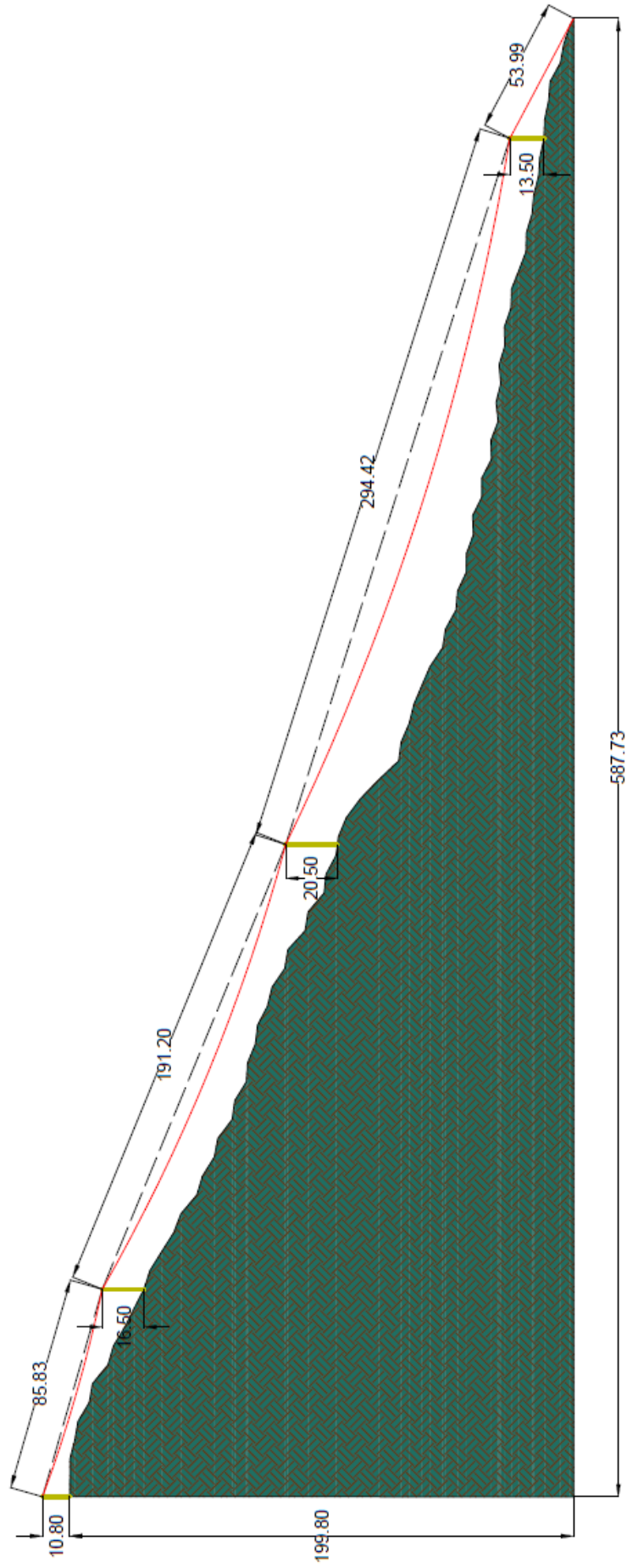


Carrello



Perfil línea 10

Esbosco verso monte
Pendenza media del terreno 60%



Linea N. 11

Coordinate X:	5.903.940.594
Coordinate Y:	5.114.528.289
Provincia	Sondrio
Regione	Lombardia
Altitudine (m.s.l.m.)	1575

Dati selvicolturali

Specie	Abate rosso, Larice
Composizione	PA 66%, L 34%
Gestione	fustaia
Trattamento	taglio a buche
Area di taglio (ha)	3.3
Volume tagliato (m ³)	457
Vol. medio a albero (m ³)	1.66
Intensità di taglio (m ³ /ha)	138

Gru a cavo

Modello	Valentin V400/2T
Veicolo	Trattore
Anno	2005
Potenza (kW)	811*
Altezza della torretta (m)	10
Peso (kg)	3200
N. di controventature	2+2
Controllo fune traente	Pannello di controllo
Traino automatico	No

Caratteristiche del carrello

Modello	Koller HSK2002
Tipo	bi-fune ACC
Peso (kN)	2.2
Carico Massimo (kN)	20
Tipo di choker	Fune metallica

Caratteristiche della fune portante

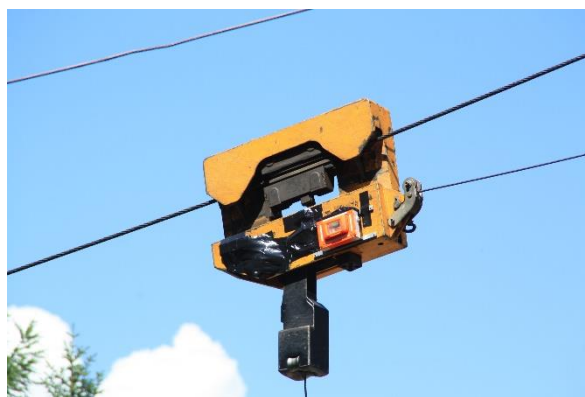
Tipo	6x31WS FC
Costruzione trefolo	Warrington-Seale
Diametro nominale (mm)	20
Cl. di resistenza (N/mm ²)	1770
Peso (kg/m)	1.42
Carico di rottura (kN)	234

Foto

Gru a cavo

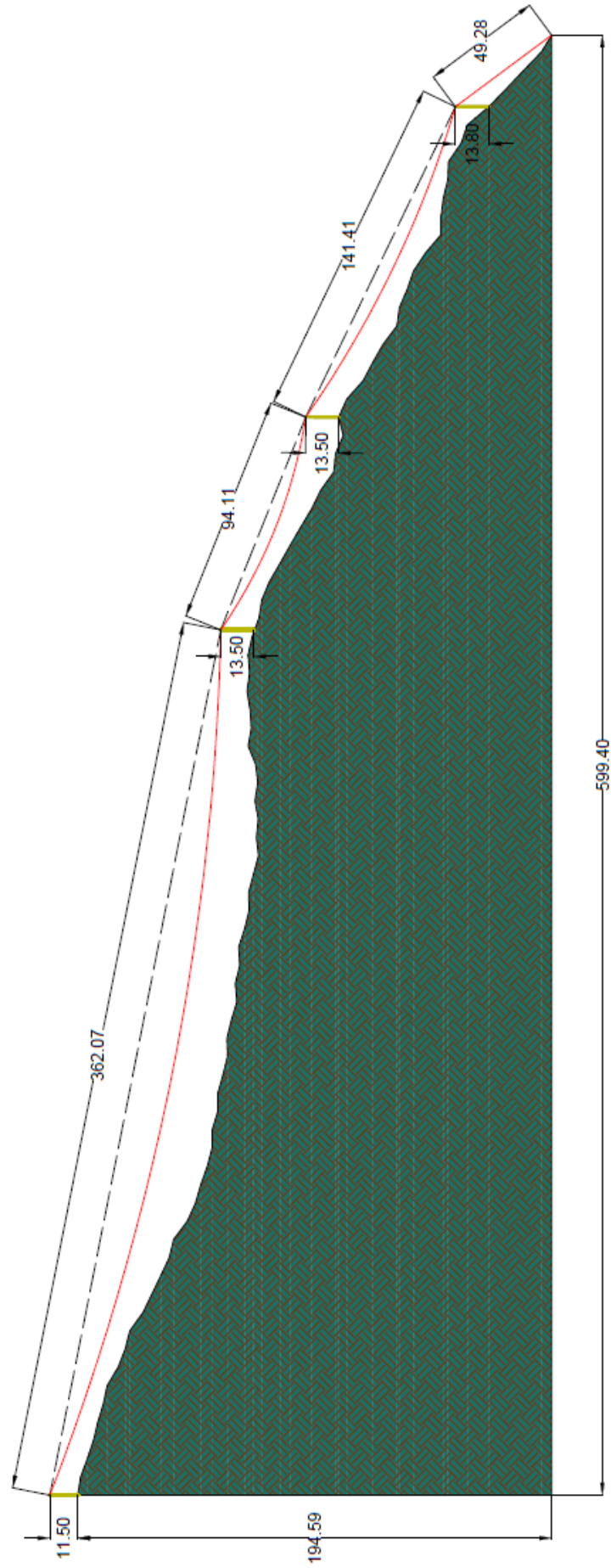


Carrello



Perfil linea 11

Esbosco verso monte
pendenza media del terreno 44%



Linea N. 12

Coordinate X:	5.659.928.245
Coordinate Y:	5.127.567.426
Provincia	Sondrio
Regione	Lombardia
Altitudine (m.s.l.m.)	1820

Dati selvicolturali

Specie	Abate rosso, Larice, Pino silvestre
Composizione	PA 44%, L 28%, PS 28%
Gestione	fustaia
Trattamento	taglio a buche
Area di taglio (ha)	2.8
Volume tagliato (m³)	279
Vol. medio a albero (m³)	1.11
Intensità di taglio (m³/ha)	100

Gru a cavo

Modello	Valentini V600/M/2/1000
Veicolo	Carrello (2 assi)
Anno	2012
Potenza (kW)	104
Altezza della torretta (m)	12.5
Peso (kg)	10800
N. di controventature	4
Controllo fune traente	Remoto (2 radio)
Traino automatico	Si

Caratteristiche del carrello

Modello	Konrad Woodliner3000
Tipo	autotraslante
Peso (kN)	11.5
Carico Massimo (kN)	27.5
Tipo di choker	catene

Caratteristiche della fune portante

Tipo	8x26WS IWRC (C+S)
Costruzione trefolo	Warrington-Seale
Diametro nominale (mm)	22
Cl. di resistenza (N/mm²)	1960
Peso (kg/m)	2.34
Carico di rottura (kN)	451

Foto

Gru a cavo



Carrello



Esbosco verso valle
Pendenza media del terreno 30%

Profilo linea 12

