



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Territorio e Sistemi Agro-Forestali

Corso di Laurea Magistrale in Scienze Forestali e Ambientali

**Cantieri forestali per il recupero del legname danneggiato
da tempesta e il rilascio di biomassa forestale: alcuni casi
studio nelle foreste demaniali trentine**

Relatore:

Prof. Stefano Grigolato

Correlatori:

Prof. Emanuele Lingua

Dott. Alberto Udali

Laureando:

Lorenzo Garollo

Matricola n. 1183003

ANNO ACCADEMICO 2021-2022

Riassunto

La tempesta Vaia del 2018 ha causato l'abbattimento da vento di circa 20 mila ettari di boschi in Trentino. Questo ha stravolto la gestione ordinaria dei boschi a causa delle grandi quantità di materiale a terra, favorendo quindi l'utilizzo di moderni macchinari per il recupero del legname (*salvage logging*). Queste operazioni solitamente lasciano in bosco grandi quantità di legno morto, fondamentale per l'ecosistema per il mantenimento della fertilità del suolo e la facilitazione per l'insediamento della rinnovazione e quindi per la ricostituzione dei nuovi boschi. Questo studio ha l'obiettivo di stimare la quantità di biomassa rilasciata in bosco in cantieri utilizzati con due diverse metodologie di esbosco: *Short Wood System* e *Full Tree System*. Anche il contenuto di carbonio e di nutrienti del legno morto e del suolo sono stati studiati.

I rilievi si sono basati su transetti eseguiti in aree esboscate con i due metodi. I dati raccolti sono stati suddivisi per classi diametriche e le quantità sono state stimate con il metodo di Brown per la *fine wood debris (FWD)* e con il metodo di Van Wagner per la stima del *coarse wood debris (CWD)*. È stata osservata una quantità di FWD maggiore nei cantieri esboscati con sistema FTS e una quantità di CWD maggiore nei cantieri utilizzati con sistema SWS.

Le analisi chimiche del carbonio e dei nutrienti del suolo e del legno morto hanno rilevato un contenuto maggiore di carbonio in 10 centimetri di suolo (fino ad 85 Mg C/ha) rispetto al legno morto (fino a 29 Mg C/ha).

Abstract

The Vaia storm of 2018 caused the blowdown of about 20 thousand hectares of forests in Trentino. This has upset the ordinary management of the forest with the sudden release of huge quantities of wood, thus favoring the salvage logging. These operations usually leave behind a considerable mass of residues or deadwood, fundamental for the ecosystem to maintain soil fertility and facilitate the establishment of regeneration and the reconstitution of new forest. This study aims to estimate the amount of deadwood released after the operations characterized by two different logging systems: Short-Wood (SWS) and Full-Tree System (FTS). Moreover, also the carbon and nutrient content of the deadwood was investigated and their interaction with the soil organic layer.

Deadwood in the areas logged was sampled using linear transects. The collected data were divided into diameter class and the quantity of residues was estimated using the Brown method for fine wood debris (FWD) and the Van Wagner method for coarse wood debris (CWD). A higher amount of FWD was observed in the yards cleared with the FTS system and a higher quantity of CWD in the yards logged with the SWS system. The chemical analysis of the carbon and nutrient components of the soil and deadwood samples revealed an higher amount of carbon stored in 10 centimeters of soil (up to 85 Mg C/ha), compared to deadwood (up to 29 Mg C/ha).

Sommario

1	Introduzione	7
1.1	La tempesta Vaia	7
1.2	Fattori che influenzano la resistenza di una foresta	9
1.3	Sgombero del legname danneggiato (salvage-logging)	11
1.4	Legno morto	12
1.4.1	Benefici del legno morto in bosco	13
1.5	Sistemi di utilizzazione forestale	15
1.6	Sistema di lavoro a legno corto (<i>Short Wood System</i>)	16
1.6.1	<i>Harvester</i>	17
1.6.2	<i>Forwarder</i>	20
1.7	Sistema di lavoro a pianta intera in terreni pendenti	21
1.7.1	Gru a cavo	22
2	Obiettivi	25
3	Casi studio	27
3.1	Localizzazione delle aree cantiere	27
3.2	Foreste demaniali	28
3.2.1	Foresta demaniale di Paneveggio	28
3.2.2	Foresta demaniale di San Martino di Castrozza	30
3.2.3	Foresta demaniale di Cadino	32
4	Materiali e metodi	35
4.1	Impostazione del lavoro di tesi	35
4.2	Scelta delle aree di studio	36
4.2.1	Descrizione delle particelle forestali	36
4.3	Strumentazione	38
4.4	Variabilità dei popolamenti	41
4.4.1	Confronto CHM	41

4.5	Impostazione del rilievo	42
4.5.1	Identificazione dei transetti	44
4.5.2	Rilievo nei cantieri di <i>harvester</i> e <i>forwarder</i>	45
4.5.3	Rilievo nei cantieri di gru a cavo	46
4.6	Stima del <i>deadwood</i>	48
4.6.1	Stima <i>Fine Wood Debris</i>	48
4.6.2	Stima <i>Coarse Wood Debris</i>	50
4.7	Analisi chimiche del suolo	52
4.8	Analisi chimiche del legno morto	53
5	Risultati	55
5.1	Stima del legno morto delle classi 1, 2, 3, 4	55
5.1.1	Aree <i>harvester</i> e <i>forwarder</i>	55
5.1.2	Aree gru a cavo e testata allestitrice	61
5.1.3	Confronto tra le tipologie di esbosco	67
5.2	Stima del legno morto della classe 5	72
5.3	Analisi dei nutrienti e dello stock di carbonio	75
5.3.1	Suolo	75
5.3.2	Legno morto	76
6	Conclusioni	81
	Bibliografia	83
	Allegato I:	87
	Allegato II:	89
	Allegato III:	95
	Allegato IV:	97

1 Introduzione

1.1 La tempesta Vaia

La tempesta Vaia è stata una perturbazione di forte intensità che ha colpito il nord est dell'Italia tra il 27 e il 29 ottobre 2018. Questo evento è stato caratterizzato da abbondanti precipitazioni su tutto il Triveneto, seguite da raffiche di vento che hanno raggiunto, in alcuni casi, anche i 200 km/h.

In Trentino in 72 ore in trenta località sono caduti da 300 a 500 mm di pioggia, mentre in altre cinquanta da 200 a 300 mm. Le raffiche di vento, che hanno colpito il territorio nella sera del 29 ottobre, hanno ampiamente superato gli 80 km/h nei fondovalle e i 120 km/h in molte zone di montagna. La raffica massima misurata è stata di 190 km/h al Passo Manghen.

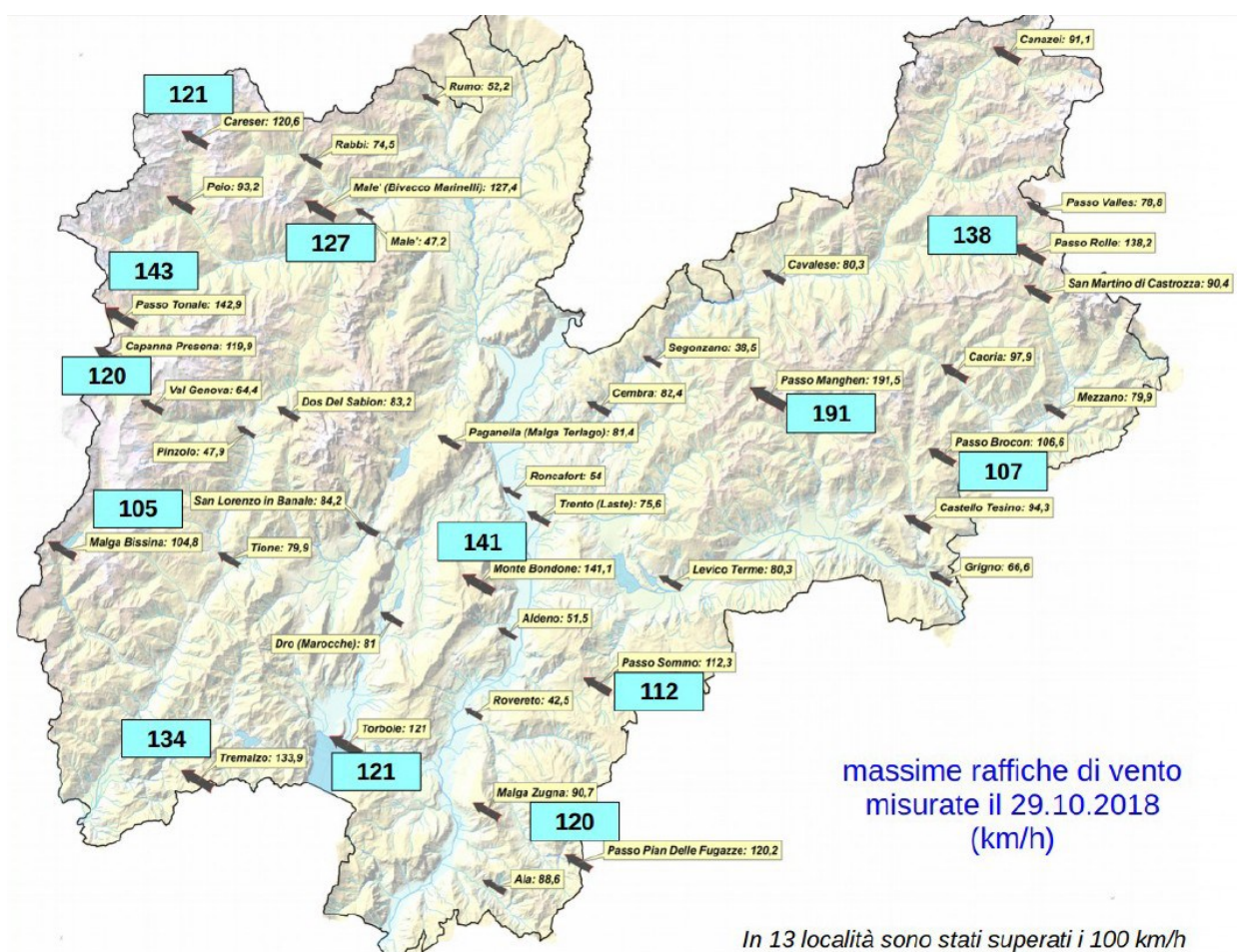


Figura 1.1: Velocità del vento misurata in alcune località della provincia di Trento la sera della tempesta Vaia (Piano d'azione, 2020).

Alle numerose criticità verificatesi nel reticolo idrografico, con diffusi dissesti idrogeologici, si sono aggiunte poi quelle dovute ai danni causati dal vento. Nella provincia di Trento sono stati

interessati da schianti circa 20.000 ha di superficie forestale, dei quali il 40% con un'intensità maggiore al 90 % di piante atterrate.

La quantità di piante atterrate è stata poi stimata rapportando la provvigione delle particelle forestali riportata nei piani di gestione forestale con l'intensità di danni per ogni superficie. Da questi calcoli si è stimato un danno al patrimonio boschivo trentino superiore a 4 milioni di metri cubi. I danni maggiori sono stati causati nei settori orientali del Trentino, soprattutto nei distretti forestali di Cavalese, Primiero, Borgo Valsugana e Pergine.

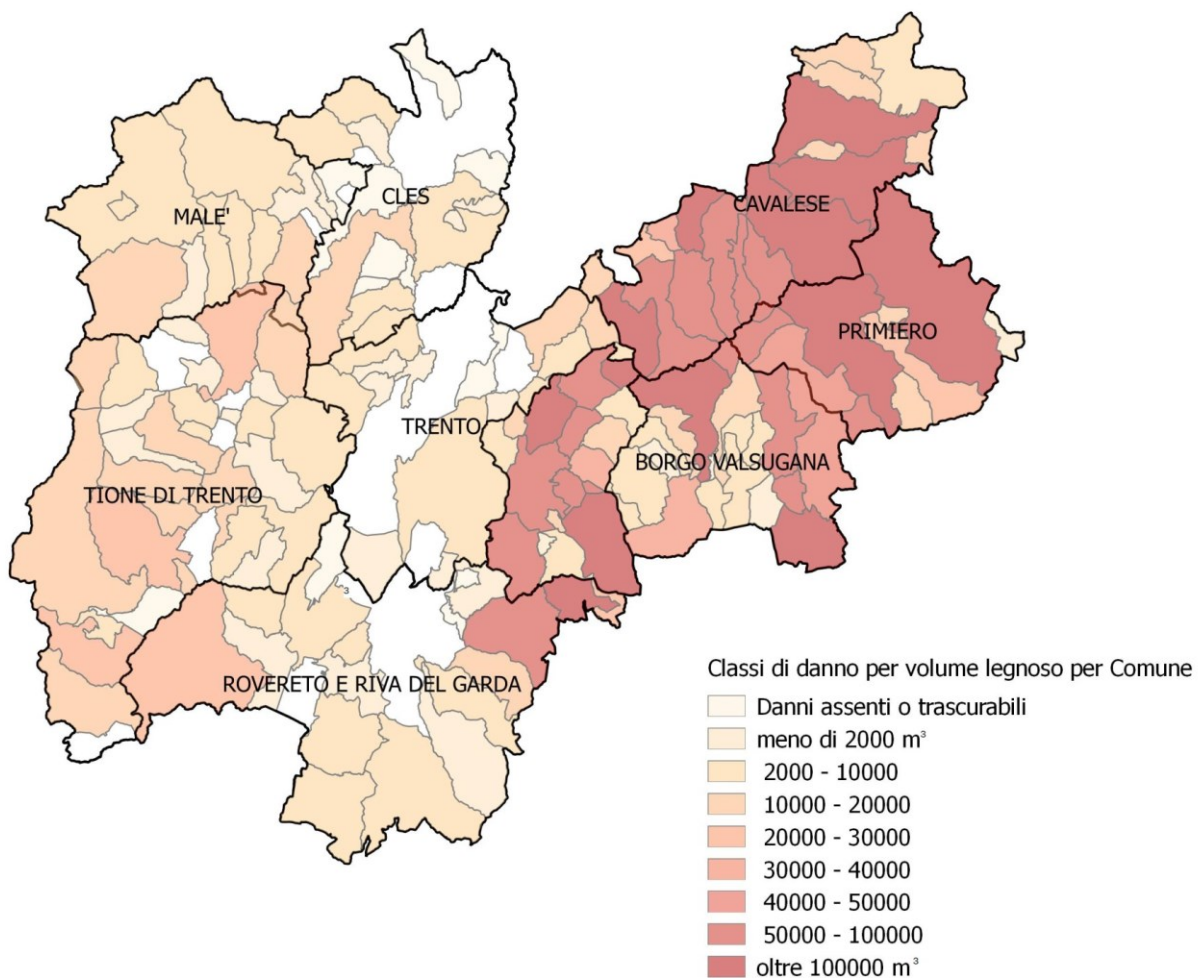


Figura 1.2: Distribuzione degli schianti nei Comuni della Provincia di Trento (Piano d'azione 2020).

1.2 Fattori che influenzano la resistenza di una foresta

Considerando l'evento Vaia da una prospettiva più generale, appare evidente come il vento sia il principale fattore di disturbo dei boschi europei. In Europa si hanno infatti in media due tempeste all'anno con intensità simile alla tempesta Vaia per un totale di 38 milioni di m³ annui (Motta R. et al. 2018).

La resistenza ai disturbi delle foreste è data dalla collaborazione dell'insieme di alberi. In particolare, la resistenza al vento a livello di singolo albero, è caratterizzata da diversi fattori che possono essere specie specifici oppure generici. Alcune specie arboree sono intrinsecamente più resistenti grazie a particolari caratteristiche, come la tipologia di apparato radicale (fittonante), la forma della chioma (poco ampia o permeabile), la resistenza meccanica del fusto (legno tecnologicamente più resistente) e la perdita delle foglie prima della stagione di riposo vegetativo (minore resistenza al vento). Altri fattori non dipendono invece dalla specie dell'albero, ma invece dalle caratteristiche proprie del singolo individuo. Queste sono le condizioni fitosanitarie, la forma della chioma e l'altezza dell'albero (la resistenza diminuisce in modo esponenziale con l'altezza) (Corona P. et al., 2019).



Figura 1.3: Esempio di versante con la fascia bassa completamente danneggiata dalla tempesta Vaia (Foto L. Garollo).

La resistenza agli schianti da vento di una foresta può essere influenzata sia dalle caratteristiche del popolamento stesso sia dall'intensità del fenomeno climatico. Struttura verticale e orizzontale, composizione specifica e stato fitosanitario possono essere considerati come i fattori che maggiormente determinano la stabilità complessiva del bosco; essi sono determinati

principalmente dalle condizioni stazionali e dalle tecniche colturali adottate e pertanto intrinseci al popolamento. Sono altrettanto rilevanti i fattori esterni al popolamento, come le condizioni topografiche e meteorologiche che risultano in alcuni casi predominanti (Schindler et al. 2012).

Secondo Bottero et al. (2013), la pressione antropica sulle foreste delle Alpi Europee è diminuita nella seconda metà del XX secolo, causando un incremento delle superfici boscate e della provvigione. Questo ha causato però una omogeneizzazione spaziale e la coetanizzazione dei boschi, con conseguente incremento della suscettibilità ai disturbi naturali.

Gli schianti da vento della tempesta Vaia hanno interessato una grande quantità di boschi con diverse caratteristiche stazionali e vegetazionali. Sono stati colpiti boschi di fasce altitudinali diverse, con composizioni specifiche differenti e con strutture varie (Confalonieri 2019).

Come riscontrato in numerosi studi, la resistenza al vento data dalle caratteristiche specifiche e strutturali del bosco risulta fondamentale con raffiche di vento con velocità massime di 100 km/h; tale soglia può arrivare fino a 150 km/h nel caso di foreste particolarmente resistenti. Oltre queste soglie le forze causate dallo spostamento delle masse d'aria prevalgono sulla resistenza degli alberi (Motta R. et al. 2018). A tal proposito è opportuno ricordare che durante la tempesta Vaia in molte località del Trentino sono state registrate raffiche con velocità superiore a 100 km/h.

Le foreste danneggiate da eventi naturali come gli schianti da vento sono quasi sempre in grado di rinnovarsi spontaneamente, tanto che in molte regioni tali fenomeni potrebbero essere considerati come gli unici fattori per innescare la rinnovazione naturale. Questi eventi però, se interessano foreste produttive (strutture monoplane e monospecifiche), causano ingenti danni a livello economico oltre che paesaggistico. La particolare vulnerabilità delle foreste produttive però dovrebbe essere intesa come un indicatore di scarsa compatibilità delle tecniche colturali adottate con l'intensificazione dei disturbi e pertanto come un incentivo al cambiamento delle strutture e delle composizioni dei boschi produttivi (Schindler et al. 2012, Motta R. et al. 2018).

1.3 Sgombero del legname danneggiato (salvage-logging)

Per *Salvage Logging* (SL) si intendono le operazioni di utilizzazione ed esbosco del legname da un'area danneggiata a causa di un disturbo naturale o antropico.



Figura 1.4: Harvester 6-wheels con catene montate su 4 ruote in un'area schiantata su terreno innevato (Foto L. Garollo).

Il *salvage logging* avviene quindi a seguito di danneggiamenti dovuti ad alluvioni, eruzioni vulcaniche, incendi, infestazioni di insetti, uragani e tempeste.

Questi interventi di recupero del legname hanno come obiettivo quello di evitare il deterioramento del legname danneggiato in foresta, al fine di limitare le perdite economiche (Lindenmayer and Noss, 2006).

Questi interventi, se realizzato senza controlli, prescrizioni e precauzioni, possono tuttavia provocare dei danni ambientali (Motta et al., 2018) arrivando a rappresentare a loro volta un ulteriore disturbo (Bottero et al., 2013).

Il *salvage logging* è spesso giustificato come tecnica per il recupero dell'ecosistema pre-disturbo, non considerando il valore ecologico e biologico che possiede il legname danneggiato rilasciato in bosco (Lindenmayer and Noss, 2006).

Nel contesto trentino, storicamente, nei boschi assestati i fini economici sono sempre stati anteposti alle funzioni ecologiche; l'obiettivo di ottenere il massimo profitto economico dalle foreste ha portato i selvicoltori ad aumentare sempre più il pregio dei popolamenti favorendo specie facilmente commercializzabili a scapito delle altre (Bottero et al., 2013).

In questo tipo di foreste, per migliorare l'accessibilità ai popolamenti e diminuire i costi di gestione, è quindi stata costruita una rete di infrastrutture come strade, piazzali e piste d'esbosco utili per l'utilizzazione delle aree boschive.

Una buona qualità del legname danneggiato, associata ad una facile accessibilità, può portare ad una generale economicità delle operazioni di SL su quasi tutti i boschi danneggiati. Il risultato è che generalmente pochi boschi interessati da disturbi vengono lasciati intoccati (Kramer et al., 2014).

1.4 Legno morto

Il legno morto è una parte fondamentale dell'ecosistema bosco. Tuttavia, fino agli anni '80, è stato considerato un impedimento alla riforestazione e pertanto veniva ignorato nelle ricerche scientifiche. La scarsa importanza a livello biologico data al legno morto, associata all'importante necessità di biomassa ad uso energetico dell'epoca, comportava un intenso sfruttamento dei residui legnosi. L'elevata utilizzazione da parte dell'uomo e i lunghi periodi di degradazione non permettevano un agevole studio degli effetti del legno morto in bosco (Frank et al., 1979).

Tutta la biomassa non vivente in un bosco, ovvero alberi morti, resti di rami, ramoscelli e piccoli pezzi di legno al suolo, costituiscono i residui di legno (*Wood Debris*) (Bessaad et al., 2021).

Nelle foreste naturali la presenza del legno morto è dovuta essenzialmente alla mortalità naturale degli alberi e ai disturbi che ne causano la morte precocemente. È quindi fondamentale capire il ruolo della biomassa nelle foreste naturali per poter affinare le strategie di gestione delle foreste coltivate. In queste gli alberi sono tagliati ad intervalli di tempo molto minori rispetto a quello che sarebbe il loro ciclo fisiologico, anticipando così la mortalità naturale degli alberi. Di conseguenza, anche la modalità di accumulo di legno morto è molto differente sia per la quantità che per la tipologia degli elementi (Frank J. et al., 1979).



Figura 1.5: Esempio di biomassa rilasciata presente all'interno di un'area schiantata e utilizzata con harvester e forwarder (Foto L. Garollo)

Ad oggi gran parte delle foreste che ricoprono le Alpi sono classificabili come boschi con finalità produttive. In queste aree, anche nei posti più remoti, l'influenza antropica dovuta all'estrazione di legno e al pascolo del bestiame perdurati per secoli hanno reso le foreste molto diverse da come sarebbero naturalmente. Lo sfruttamento ha modificato profondamente le caratteristiche strutturali e specifiche dei diversi popolamenti, causando una riduzione dell'accumulo di legno morto (Bottero et al., 2013).

1.4.1 Benefici del legno morto in bosco

La presenza di residui legnosi è di fondamentale importanza per l'ecosistema bosco (Motta et al., 2018). I benefici derivanti dal legno morto sono molteplici, alcuni non dipendono dalle sue dimensioni, altri invece sono correlati ad esse.

Il legno morto viene distinto in due classi:

- *Fine Wood Debris (FWD)*, ovvero residui di legno fini (Figura 1.6);



Figura 1.6: Esempio di presenza di legno morto fino (FWD) (Immagine L. Garollo).

- *Coarse Wood Debris (CWD)*, ovvero residui di legno grossolani (Figura 1.7).



Figura 1.7: Esempio di presenza di legno morto grossolano (CWD) (Immagine L. Garollo.)

I criteri adottati per separare le due classi non sono univoci, ma variano a seconda delle ricerche e del paese in cui queste vengono effettuate. Inoltre l'ulteriore suddivisione in sottoclassi varia in funzione degli obiettivi dei diversi studi. La soglia che viene utilizzata più frequentemente per suddividere i residui grossolani da quelli fini è compresa tra 7 e 10 cm (Bessaad et al., 2021, Brown, 1974).

Per quanto riguarda il rilascio di nutrienti, il FWD ha un'importanza maggiore rispetto al CWD, in quanto i residui fini hanno una concentrazione di nutrienti due o tre volte maggiore rispetto al materiale grosso.

L'asportazione del FWD dal suolo forestale può comportare un'alterazione del ciclo dei nutrienti e con essa una diminuzione della fertilità del sito con conseguente riduzione della crescita degli alberi nel lungo periodo dal 3% al 20% (Bessaad et al., 2021).

La presenza di legno morto, inoltre, è fondamentale per la diversificazione del sottobosco e per la creazione di microhabitat diversi. Un incremento della quantità di legno morto in bosco causa un aumento del numero e della densità di specie animali e vegetali e ne diversifica maggiormente la composizione (Müller and Bütler, 2010). L'esbosco di gran parte della biomassa causa una diminuzione della variabilità della micro topografia e una riduzione dell'eterogeneità strutturale (Kramer et al., 2014).

L'aumento della biodiversità è dovuto essenzialmente a due fattori: il primo è imputabile ad un aumento delle risorse disponibili e il secondo ad un aumento della superficie colonizzabile (Müller and Bütler, 2010). La presenza al suolo di materiale legnoso a diversi stadi di decomposizione consente, inoltre, lo sviluppo contemporaneo di specie saproxiliche, come funghi e coleotteri, con esigenze diverse. Per quanto riguarda la creazione di microhabitat, il CWD fornisce dei benefici maggiori rispetto al FWD e questo è da ricondurre essenzialmente alle sue dimensioni maggiori che gli conferisce miglior stabilità e durabilità (Frank et al., 1979).

Il CWD può avere un ruolo molto importante nella rinnovazione post disturbo offrendo protezione meccanica alle piantine. Esso può in alcuni casi fungere da sito di crescita andando a ridurre la concorrenza delle plantule con specie erbacee e arbustive (Bottero et al., 2013; Priewasser et al., 2013).

Un ulteriore effetto positivo del legno morto è quello del controllo dell'erosione del suolo. La capacità di contrastare questo fenomeno dipende dalle dimensioni del materiale. Il FWD ha una funzione mitigatrice nel breve periodo, limitando l'azione erosiva dovuta all'impatto delle gocce d'acqua sul suolo esposto (Bessaad et al., 2021). Il CWD svolge una funzione di contenimento del terreno smosso in seguito a disturbi, soprattutto se orientato trasversalmente alla linea di massima pendenza (Frank et al., 1979).

1.5 Sistemi di utilizzazione forestale

La tempesta Vaia dell'autunno 2018 ha generato uno scenario che non era mai stato osservato in epoche recenti nelle foreste delle Alpi meridionali.

L'evento ha causato infatti l'abbattimento di una grande quantità di alberi su ampie superfici (Motta et al., 2018). Solo in Trentino gli schianti hanno interessato un'area di circa 20 mila ettari con quantità stimate superiori a 4 milioni di metri cubi di legname a terra. Questo ha sconvolto la gestione ordinaria delle utilizzazioni dato che ci si è trovati a dover recuperare una quantità di legname corrispondente a quasi 10 riprese annue di tutta la provincia (Piano d'azione, 2020).

I sistemi tradizionali di utilizzazione del legname (es: utilizzazione con trattore e verricello) rimangono validi solo in condizioni particolari e per piccole aree. La situazione ha quindi reso necessario l'utilizzo di sistemi di lavoro altamente meccanizzati che fino ad allora erano impiegati solo sporadicamente, come *harvester*, *forwarder* e *skidder*. In Trentino sono così arrivate diverse importanti ditte estere attrezzate con questi macchinari con personale specializzato e formato per lavorare in tali situazioni. Gli alberi schiantati spesso sono soggetti a tensioni che ne rendono imprevedibili le reazioni al taglio dalla ceppaia. È quindi fondamentale prevedere dei sistemi di lavorazione delle piante altamente meccanizzati, che limitino i rischi per gli operatori dovuti al contatto fisico con gli alberi (Piano d'azione, 2020).

Fattori importanti nella scelta dei sistemi di utilizzazione degli schianti sono le caratteristiche del terreno e delle infrastrutture. La morfologia e l'accidentalità del terreno, l'assenza o la presenza di strade e le loro dimensioni ne condizionano la scelta.

1.6 Sistema di lavoro a legno corto (*Short Wood System*)

Il sistema *harvester* e *forwarder* è un metodo di utilizzazione forestale completamente meccanizzato che rientra nei sistemi di lavoro a legno corto.

Il sistema è di tipo combinato (da intendersi come impiego di due macchine) nato negli anni '70 nella penisola scandinava per essere impiegato nelle piantagioni forestali. A seguito delle tempeste che hanno colpito l'Europa centrale nel 1990 e nel 1999 vi è stata un'ampia diffusione di questi mezzi per il recupero del legname danneggiato. La scelta di questo metodo di esbosco è stata incentivata dalla necessità di utilizzare grandi quantità di legname in poco tempo (Spinelli, 2004). Un ulteriore vantaggio che offrono questi mezzi è proprio quello di limitare i rischi per gli operatori (Piano d'azione, 2020).

Questo metodo di lavoro ricade nel *Short Wood System* (SWS) che consiste nell'allestimento degli alberi sul letto di caduta con l'esbosco di legname allestito (legname corto).

L'applicazione del sistema SWS comporta di fatto l'allestimento in bosco e quindi il rilascio nei pressi del letto di caduta dei residui di lavorazione, mentre l'esbosco riguarda solo il legname allestito a misura (Dvořák et al. 2011). Il SWS viene anche denominato in modo specifico nel caso del sistema *harvester-forwarder* in *Cut-to length system*

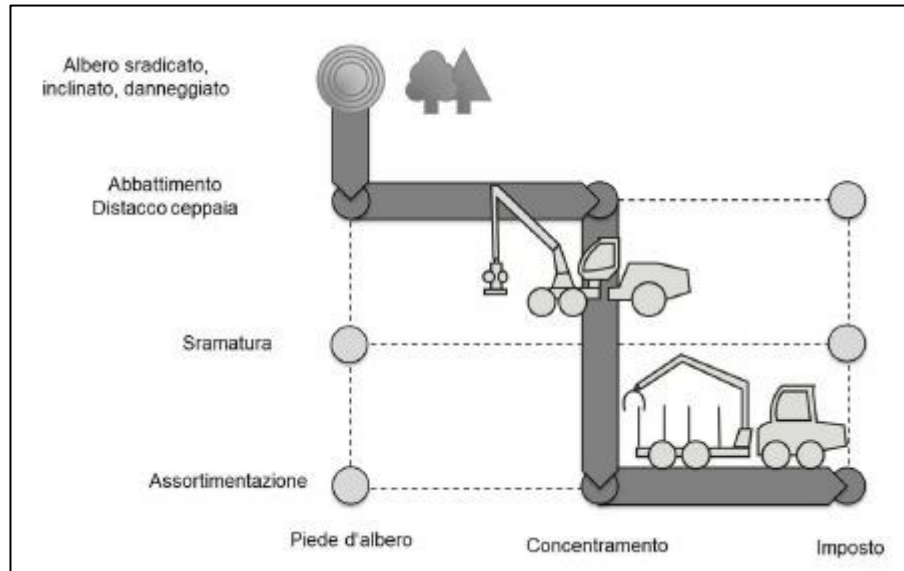


Figura 1.8: Schema delle diverse fasi di lavoro eseguite con il sistema harvester e forwarder.

1.6.1 Harvester

L'*harvester* è una macchina semovente con telaio articolato specializzata per l'abbattimento di alberi e l'allestimento del legname. La macchina si basa su un sistema di avanzamento a quattro, sei o otto ruote (in terreni pendenti è preferibile l'impiego del sei o otto ruote con catene o sovracingoli).

Sul telaio anteriore è collocato un braccio articolato idraulico su cui è montata una testata abbattitrice e allestitrice (Figura 1.9). Sullo stesso telaio è installata la cabina, che può essere girevole e autolivellante o semplicemente fissa.

Sul telaio posteriore è alloggiato il motore che alimenta le pompe idrauliche necessarie per la movimentazione del mezzo, della testata e del braccio idraulico.

Il metodo di abbattimento e allestimento con *harvester* è un sistema altamente meccanizzato, introdotto nel panorama forestale italiano a partire dagli anni 2000 (Simone-Blanc, 2010). Questo sistema permette di lavorare fino a 120 metri cubi al giorno, per arrivare anche a oltre 15000 metri cubi annui in condizioni di lavoro ottimali (Spinelli et al. 2011).

Gli *harvester* si dividono in 3 categorie in funzione della loro potenza e della loro massa (Dvořák et al. 2011).

<i>Categoria</i>	<i>Potenza</i>	<i>Massa</i>
<i>Piccoli</i>	< 70 kW	4 – 8 ton
<i>Medi</i>	70 – 140 kW	9 – 13 ton
<i>Grandi</i>	> 140	13 – 18 ton

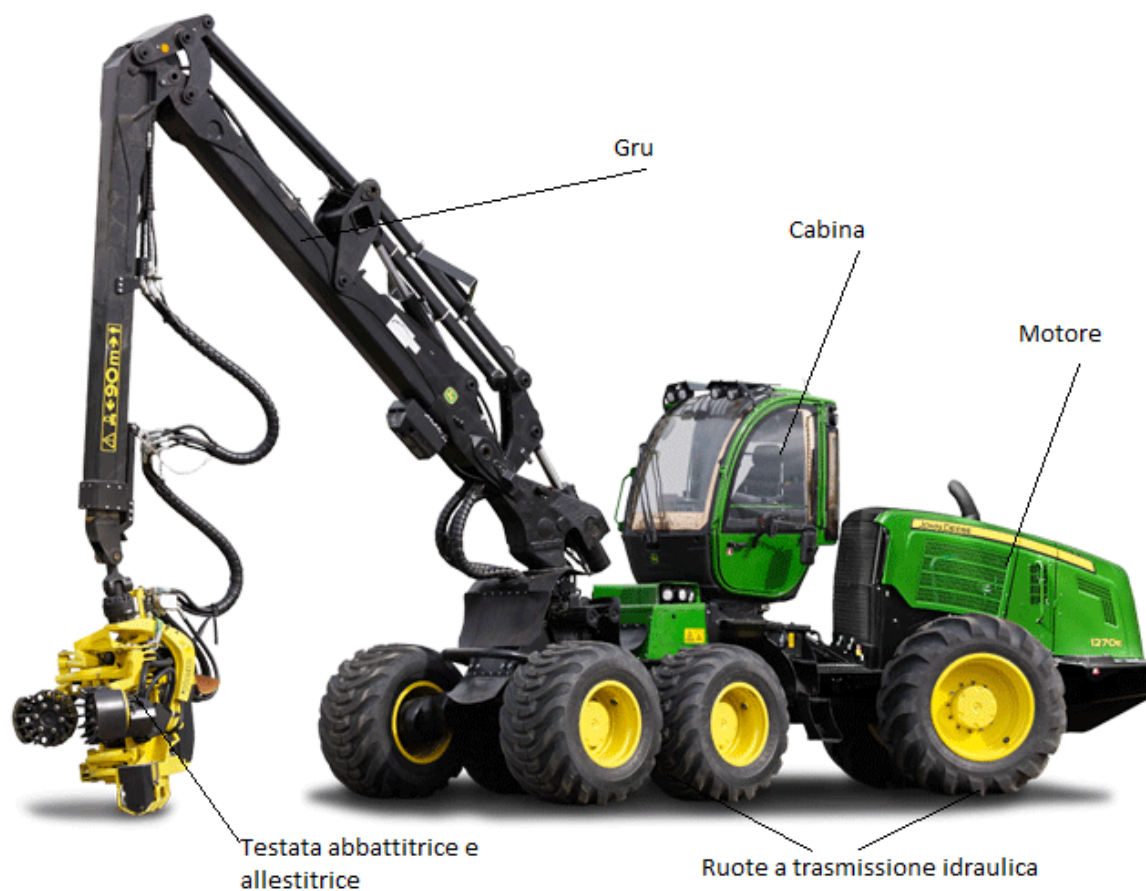


Figura 1.9 Esempio di un modello di harvester a 6 ruote ([https://www.lectura-specs.it/models/renamed/orig/harvester-forestali-1270-e-it4-john-deere\(4\).png](https://www.lectura-specs.it/models/renamed/orig/harvester-forestali-1270-e-it4-john-deere(4).png))

Le modalità di lavoro per il recupero del legname da alberi schiantati prevede però un approccio anche con operatore a terra.

Per l'allestimento di alberi schiantati un operatore munito di motosega percorre l'area separando il fusto degli alberi dalle ceppaie. Questa operazione è necessaria al fine di evitare che la catena della testata entri in contatto con detriti che possono essersi depositati sul tronco

a seguito del ribaltamento della ceppaia. Successivamente un altro operatore con l'*harvester* si occupa dell'allestimento ovvero della sramatura e della sezionatura degli alberi a lunghezze predefinite a seconda degli assortimenti che si vogliono ottenere. La lunghezza dei tronchi viene misurata con una rotella dentata presente sulla testata che, poggiando sul tronco, ne misura la lunghezza durante lo scorrimento del fusto nelle operazioni di sramatura. Gli alberi interi vengono afferrati con la pinza della testata e trascinati davanti al mezzo dove vengono quindi lavorati. Nel caso di piante di dimensioni notevoli o incastrate con altre, questa operazione non è possibile, pertanto si procede all'allestimento sul letto di caduta con la testata che corre sul tronco fermo.

I tronchi allestiti vengono poi depositati in piccole cataste lungo le piste di percorrenza del cantiere (Dvořák et al. 2011). La biomassa che rimane nel bosco, quando possibile, viene solitamente distribuita sulla pista dell'*harvester* a creare una sorta di tappeto. Questa pratica ha notevoli ripercussioni positive sul suolo distribuendo uniformemente e su una superficie maggiore il peso del mezzo, riducendo così la compattazione del terreno (Borchert et al. 2015).

L'impiego dell'*harvester* in terreni pendenti richiede una buona esperienza da parte degli operatori, ma per *harvester* tradizionali una pendenza superiore al 40% rappresenta un fattore limitante. Per lavorare in terreni pendenti si può ricorrere a *harvester* specializzati che prevedono sistemi di trazione a cingoli o integrare utilizzando un verricello con svolgimento della fune sincronizzato con la velocità di avanzamento della macchina (*cable-harvesters*).



Figura 1.10: Esempio di testata abbattitrice e allestitrice solitamente montata su harvester (<https://www.pivotti.it/category/prodotti/forestale/processori-e-harvester/>)

1.6.2 Forwarder

Il *forwarder* è un macchinario utilizzato per il trasporto dei tronchi dall'area di cantiere alla rete viaria. La macchina si basa su un sistema di avanzamento a sei o otto ruote (in terreni pendenti è preferibile l'impiego del sei o otto ruote con catene o sovracingoli).

Nella parte posteriore è posizionato il pianale di carico con gli stanti. Nella parte centrale è posizionata la gru per la movimentazione dei tronchi e nella parte anteriore si trovano il motore e la cabina di guida. Nei modelli più recenti di *forwarder*, come nell'*harvester*, la cabina è autolivellante e orientabile nella direzione di lavoro. L'intero funzionamento del mezzo è dato dalle pompe idrauliche (Dvořák et al. 2011).

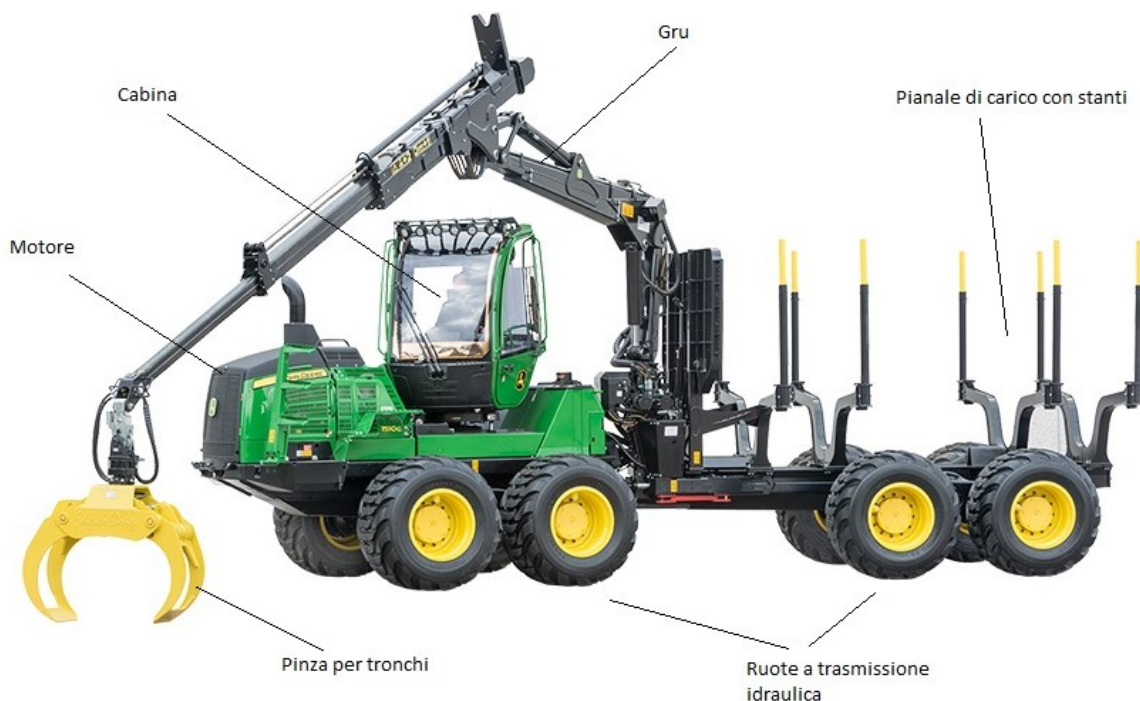


Figura 1.11: Esempio di forwarder con annotate le varie componenti (<https://www.lectura-specs.it/models/renamed/orig/forwarder-1510-g-john-deere.png>)

Il *forwarder* viene comunemente utilizzato in combinazione con l'*harvester*. Un requisito per l'impiego di questo mezzo è la disponibilità di un'alta concentrazione di legname (come nel caso di schianti a raso) (Dvořák et al. 2011). Questo mezzo ripercorre le piste create dal passaggio dell'*harvester*, carica i tronchi accatastati sul pianale e li trasporta fino ad una piazzola di scambio o di deposito intermedio, raggiungibile da mezzi stradali.

1.7 Sistema di lavoro a pianta intera in terreni pendenti

L'utilizzazione di un lotto forestale per mezzo di gru a cavo per l'esbosco e processore per l'allestimento è il sistema a pianta intera (o anche *Full Tree System* - FTS) utilizzato in particolar modo in terreni pendenti o accidentati.

Questo sistema è particolarmente diffuso nel contesto centro europeo ed in particolare nell'arco alpino. Questo metodo infatti consente di utilizzare superfici con pendenze elevate ed accidentalità importante dove risulta impossibile l'accesso con *harvester* e *forwarder*. Grazie al sollevamento del materiale trasportato il rischio di danneggiamento e compattamento del suolo è minimo (Nisbet et al. 1997).

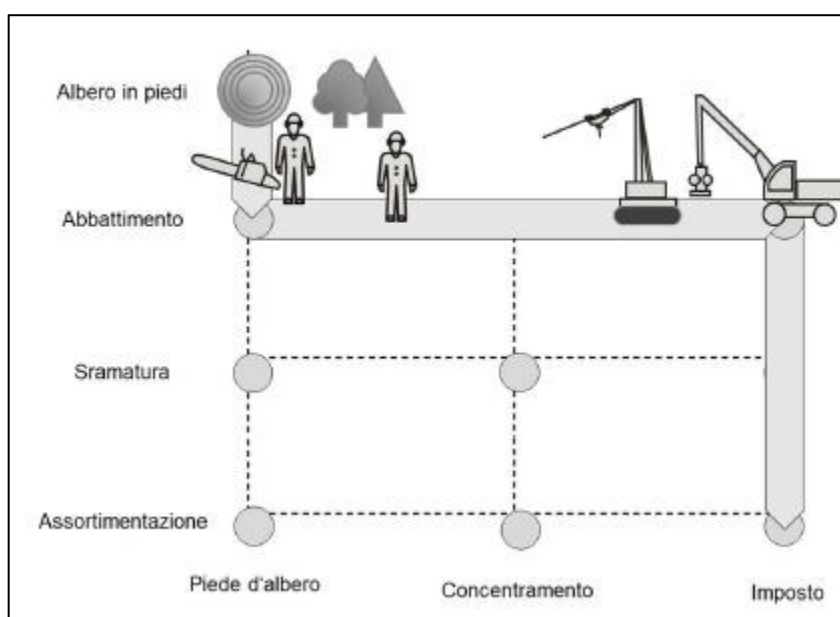


Figura 1.12: Schema delle diverse fasi di lavoro eseguite nel sistema a pianta intera con abbattimento manuale, esbosco tramite gru a cavo e allestimento con testata allestitrice (o processore)

Le gru a cavo si distinguono a seconda della posizione della stazione motrice e del luogo in cui questa viene montata (Samset, 1985). La gru a cavo può essere a stazione motrice mobile (si tratta dei sistemi che vedono l'unità motrice posizionata lungo la viabilità o in prossimità di questa) o a stazione motrice semifissa (unità che può essere posizionata in bosco in aree distanti dalla viabilità oppure lungo - o in prossimità - della viabilità). La stazione motrice mobile può essere montata su trattore, su rimorchio, su cingoli o su camion. La stazione semifissa è installata su un telaio a slitta che può essere trasportato in bosco o lasciato lungo la strada.

Nel caso di esbosco a pianta intera, l'allestimento del legname può essere effettuato in modo semi-meccanizzato, con un operatore con motosega che lavora all'imposto coadiuvato da un

escavatore con pinza per la movimentazione del legname, oppure in modo completamente meccanizzato con l'impiego di una testa allestitrice montata sul braccio di un escavatore o tramite *harvester*. Una ulteriore soluzione prevede l'impiego all'imposto o lungo strada di un sistema combinato gru a cavo e processore montati su autocarro.

1.7.1 Gru a cavo

La gru a cavo si basa sull'utilizzo di una fune portante ancorata a due estremità, sostenuta da eventuali supporti intermedi (scarpe o ritti). Su di essa scorre un carrello, trainato da una sola fune traente nel caso di sistemi bifune (portante - traente), trainato e frenato da una fune traente e da una fune di ritorno opposta nel caso del sistema trifune (portante - traente - ritorno). Mentre il sistema bifune permette solo l'esbosco in pendenza verso monte; il sistema trifune permette l'esbosco in pendenza verso monte e verso valle e può essere utilizzato nel caso di cantieri pianeggianti, in quanto il carrello non ha bisogno della forza di gravità per muoversi in una direzione (Fabiano e Marchi, 2003).

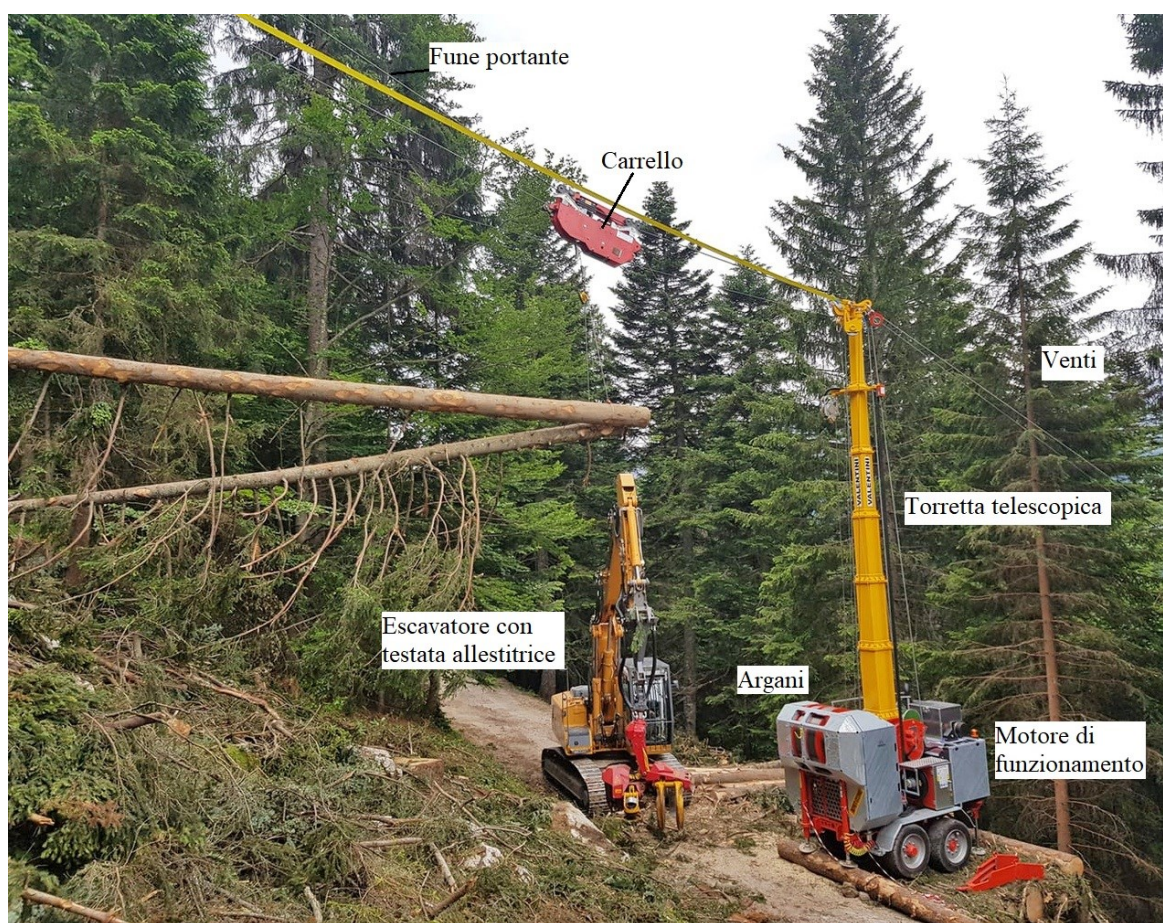


Figura 1.13: Esempio di teleferica mobile “Valentini V600” con evidenziati i componenti principali e con l'escavatore attrezzato con la testata allestitrice (<https://www.fierabolzano.it/it/agrialp/product/teleferiche-mobili-valentini>).

Il sistema motrice delle gru a cavo può essere di diversi tipi. Il moto, infatti, può essere dato da un organo indipendente con un singolo tamburo contenente la fune traente montato solitamente su di una slitta, adatto in casi in cui la viabilità non è adeguata oppure è assente. In questo sistema la fune portante viene montata e tesa con sistemi ausiliari autonomi (Molteni et al. 2016). In caso di aree adeguatamente servite può essere impiegata invece la stazione a motrice mobile, dove una torretta telescopica o ribaltabile è montata su trattore, rimorchio, cingoli o camion. Essa è dotata anche di una serie di tamburi secondari contenenti le funi necessarie per l'ancoraggio e il funzionamento della teleferica (venti, portante, traente, ecc) (Cielo et al. 2004; Molteni et al. 2016).

Il carrello può essere di diverse tipologie e dimensioni, in funzione della portata e del tipo di gru a cavo. Solitamente sono dotati di motore per l'espulsione e il riavvolgimento della fune che aggancia gli alberi. Sono utilizzati per concentrare gli alberi in prossimità della linea di gru a cavo e per sollevarli completamente o parzialmente. Il carrello è agganciato alla fune traente nel caso di sistemi bifune, mentre è agganciato anche alla fune di ritorno nei sistemi trifune. Esse, grazie al loro avvolgimento sul tamburo collocato sulla stazione motrice, permettono di trasportare il carico verso la piazzola di lavorazione.



Figura 1.14: Area schiantata in fase di utilizzazione con gru a cavo dove è possibile osservare le piante staccate dalla ceppaia da un operatore con motosega (Foto L. Garollo).

In bosco un operatore con motosega abbatte gli alberi (li separa dalle ceppaie nel caso di schianti, vedi Figura 1.14) e successivamente un altro operatore li aggancia alla fune del carrello

che li strascica verso la linea portante e infine li solleva. Carrello e argani sono controllati a distanza dagli operatori con radiocomandi. Il carrello poi trasporta gli alberi ad una piazzola di lavorazione e deposito, dove una macchina li allestisce con l'utilizzo di una testata abbattitrice e allestitrice.

La pianta intera, o parti di pianta intera, una volta raggiunto l'imposto viene sganciata e successivamente allestita da una testata allestitrice montata sul braccio di un escavatore o su un braccio montato su autocarro (Figura 1.15).



Figura 1.15: Esempio di escavatore cingolato attrezzato con testata allestitrice e sramatrice (foto L. Garollo)

2 Obiettivi

I cantieri per il recupero di legname danneggiato su superfici molto ampie come quelle interessate dalla tempesta Vaia, assumono una condizione di tipo non convenzionale e sono equiparabili ad ampi tagli raso.

Ciò genera di fatto una situazione di criticità poiché comporta la quasi completa rimozione della biomassa forestale, che nel breve e medio periodo può avere ricadute importanti in termini di stock di carbonio al suolo e di presenza di nutrienti.

L'obiettivo del presente studio è quello di verificare se il sistema di esbosco (pianta intera, legno corto) ha un effetto sulla quantità e distribuzione diametrica dei residui di lavorazione rilasciati al suolo.

Nello specifico, si intende verificare se c'è una differenza in termini di quantità di residui rilasciati nell'utilizzazione di boschi disturbati imputabile al sistema impiegato. I due sistemi considerati sono un sistema a legno corto (SWS) completamente meccanizzato e basato sull'impiego di *harvester* e *forwarder* e un sistema a pianta intera (FTS) basato sull'impiego di gru a cavo e processore all'imposto.

A supporto delle considerazioni sugli elementi e sui nutrienti rilasciati, nonché sul carbonio, verranno analizzate le caratteristiche chimiche sia dei residui rilasciati sia dei suoli tramite il prelievo di campioni.

3 Casi studio

3.1 Localizzazione delle aree cantiere

Al fine del progetto di tesi sono state identificate sei aree di cantieri per il recupero del legname danneggiato dalla tempesta Vaia.

Le zone scelte sono ubicate nel Trentino orientale all'interno delle Foreste Demaniali della Provincia autonoma di Trento.

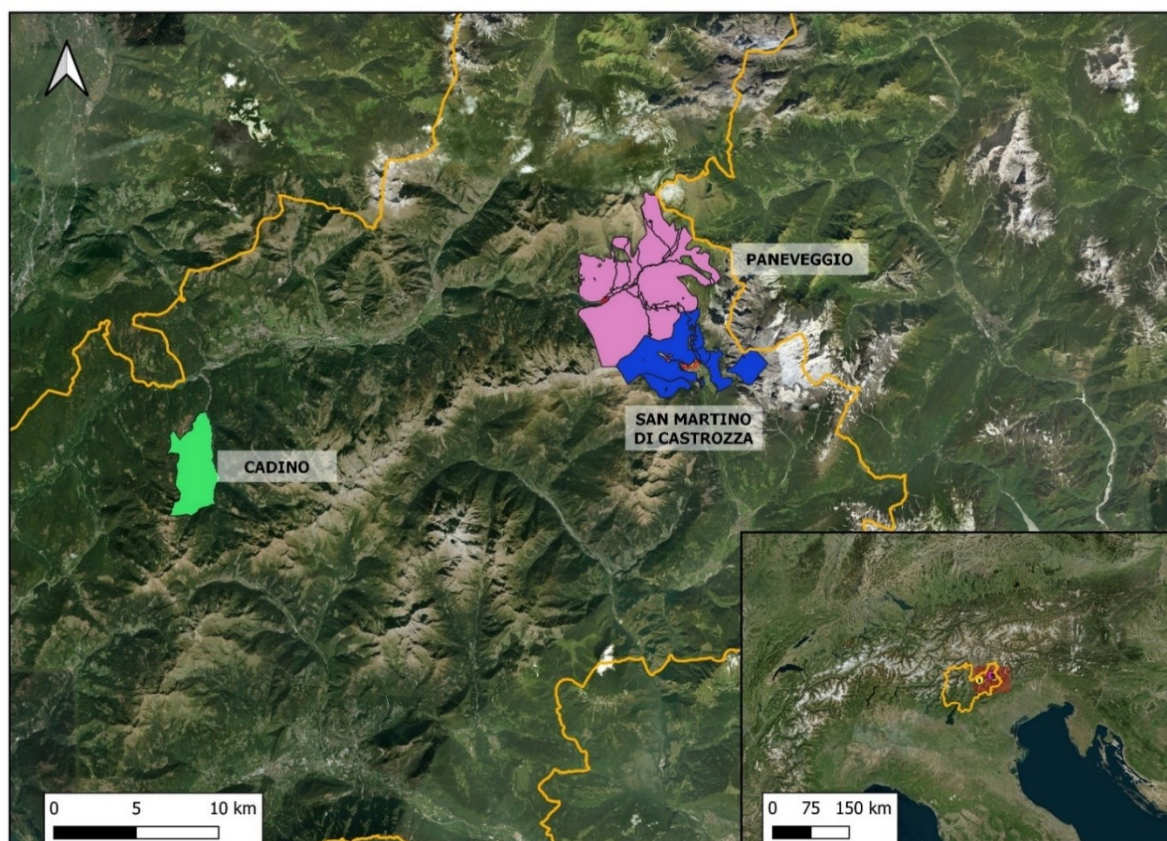


Figura 3.1: Inquadramento geografico delle foreste demaniali trentine oggetto di rilievo (Immagine L. Garollo).

I cantieri descritti sono così localizzati:

Tabella 3.1 Distribuzione delle aree studio con relativo metodo di esbosco ed anno di utilizzazione.

<i>Ubicazione cantiere</i>	<i>Metodo di esbosco</i>	<i>Anno di utilizzazione</i>
<i>Foresta demaniale di Paneveggio</i>	harvester e forwarder	2019
	gru a cavo	2020

<i>Foresta demaniale di San Martino di Castrozza</i>	gru a cavo	2019
<i>Foresta demaniale di Cadino</i>	harvester e forwarder	2020
	harvester e forwarder	2021

3.2 Foreste demaniali

Le foreste demaniali in Trentino nascono come proprietà feudali montane. Fino alla fine della Grande Guerra furono amministrate come patrimonio dello Stato Austriaco. Al termine del conflitto, nel 1918, e con l'annessione del Trentino Alto-Adige all'Italia, vennero poi inglobate nel patrimonio indisponibile dello Stato Italiano.

Dopo l'istituzione della Regione autonoma Trentino Alto-Adige vi fu il trasferimento del patrimonio ad essa; tali aree passarono infine alla Provincia autonoma di Trento nel 1973 (www.forestedemaniali.provincia.tn.it/).

Attualmente le foreste demaniali in provincia di Trento sono otto e comprendono complessivamente circa 11.500 ha di boschi, pascoli e improduttivi. La loro gestione è affidata all'Agenzia Provinciale delle Foreste Demaniali.

3.2.1 Foresta demaniale di Paneveggio

Ubicazione geografica

La foresta demaniale di Paneveggio, collocata nel Trentino nord orientale, è la più estesa delle foreste demaniali trentine con una superficie di 4379 ha. Essa ricade nei Comuni Catastali (C.C.) di Moena II, Predazzo, Tonadico II e Siror. La foresta demaniale di Paneveggio è situata nella parte superiore della valle del torrente Travignolo. La proprietà è compresa tra il Lago di Forte Buso, il Passo Rolle e il Passo Valles; a sud è delimitata dalla catena del Lagorai, mentre a Nord da Cima Venegia, Passo Valles e Cima Iuribritto.

Le esposizioni sono piuttosto variabili a causa delle numerose valli laterali che incidono i versanti.

La foresta è attraversata dalla Strada Statale (S.S.) n. 50 del Passo Rolle che collega Predazzo con San Martino di Castrozza. Da essa, poco sopra l'abitato di Paneveggio, si dirama la Strada Provinciale (S.P.) n. 81 del Passo Valles che collega la valle del Cordevole (BL).

La quota minima è di 1450 m s.l.m. in prossimità del lago di Forte Buso, la quota massima è di 2697 m s.l.m. corrispondente alle Cime di Ceremana.

Il corso d'acqua principale è il torrente Travignolo che attraversa la proprietà con i suoi numerosi affluenti (rio Vallazza, rio Val Miniera, rio di Valbona, rio Val Ceremana, ecc.). Nelle parti sommitali della proprietà sono presenti anche alcuni laghi di origine glaciale (laghi di Colbricon, lago di Cavallazza e lago Iuribrutto).

Geologia e Pedologia

L'area di Paneveggio si caratterizza per la presenza di numerose formazioni geologiche. I porfidi del Piastrone Porfirico Atesino occupano la parte più consistente della foresta e presentano affioramenti sia in destra che in sinistra orografica del torrente Travignolo. Altri substrati litologici presenti in minore quantità sono: le Arenarie di Val Gardena, derivanti dalla sedimentazione di detriti porfirici; la Formazione a Bellerophon, costituita da rocce sedimentarie, e la Formazione di Werfen, composta da marne e arenarie.

I suoli presenti nella foresta Demaniale sono vari e influenzati da diversi fattori (substrato roccioso, condizioni climatiche e stagionali, ecc.). Generalmente sopra i 1900 metri sono presenti suoli giovani, superficiali e poco evoluti. La Carta dei suoli della provincia di Trento del 1965 indica che a quote inferiori, è invece possibile trovare Podzoli umoferrici e Podzoli bruni, terreni con buona profondità e con buone caratteristiche chimiche e fisiche per la crescita delle piante.

Clima

Sul territorio della Foresta Demaniale di Paneveggio sono presenti due stazioni metereologiche ancora attive (Passo Rolle e Passo Valles) e una dismessa ma attiva fino al 2003 (Forte Buso), grazie alle quali si è potuto analizzare temperature e piovosità degli ultimi decenni. Dall'analisi della serie storica dei dati meteo è possibile classificare il clima di quest'area come di tipo continentale. Infatti queste zone sono caratterizzate da escursioni termiche annue contenute e assenza di periodi di siccità. Il periodo di maggiore intensità delle piogge corrisponde ai mesi più caldi.

Vegetazione

Dal punto di vista fitoclimatico la foresta demaniale di Paneveggio ricade in una zona endalpica esterna con limitate aree di transizione al mesalpico. Le condizioni sono quindi ottimali per l'abete rosso (*Picea abies L.*), che risulta essere la specie prevalente e maggiormente diffusa su tutta la proprietà, seguito da larici (*Larix decidua Mill.*) e cembri (*Pinus cembra L.*). La collocazione della foresta Demaniale di Paneveggio nella fascia altitudinale altimontana, combinata ad un clima continentale con le precipitazioni concentrate nel periodo vegetativo, rende l'area estremamente favorevole alla tipologia forestale delle peccete.

I popolamenti presenti nella foresta demaniale sono costituiti principalmente da ampie formazioni coetanee derivanti da una serie di fattori colturali e da eventi storici che ne hanno influenzato lo sviluppo. Le formazioni coetaneiformi sono infatti derivanti dai trattamenti tipici impiegati in val di Fiemme, che consistevano nel taglio raso del soprassuolo e successivo rimboschimento artificiale, attività perdurata fino agli anni '90. La coetanizzazione veniva accentuata anche dal pascolamento ovi-caprino in bosco. I tagli raso sono stati impiegati inoltre per sopperire alla necessità di legname dovuta alla ricostruzione post bellica conseguente al primo conflitto mondiale.

La tipologia forestale che interessa le aree oggetto di studio, secondo il Piano di Gestione Forestale Aziendale in vigore, è la pecceta altimontana tipica, largamente dominata dall'abete rosso. Questa formazione è quella maggiormente diffusa all'interno della foresta di Paneveggio (67% della superficie boscata). La pecceta altimontana tipica si trova generalmente a quote comprese fra i 1500 m s.l.m. e i 1900 m s.l.m. in area mesalpica o endalpica. Si distingue dalla pecceta montana per l'assenza di specie fagetali. Occupa generalmente stazioni fresche, in esposizione poco assolata e di media pendenza. Soprattutto alle quote più alte è possibile osservare una struttura a collettivi, ma con chiome ancora in gran parte in contatto tra loro (Odasso et al. 2018).

3.2.2 Foresta demaniale di San Martino di Castrozza

Ubicazione geografica

La foresta demaniale di San Martino di Castrozza ricade nei C.C. di Tonadico II e Siror e si estende su una superficie totale di circa 1980 ettari, nel Trentino nord orientale. La proprietà si trova nella porzione più settentrionale del bacino del torrente Cismon.

La foresta demaniale è attraversata ad est dalla S.S. 50 del Passo Rolle, che collega San Martino di Castrozza con la Val di Fiemme e nella parte più centrale da una strada comunale che da San Martino porta a Malga Ces.

La proprietà si estende da una quota minima di 1303 m s.l.m. all'ingresso dell'abitato di San Martino di Castrozza a una quota di 2697 m s.l.m. sulle Cime di Ceremana. La foresta demaniale di San Martino di Castrozza confina a nord con la foresta demaniale di Paneveggio da Cima di Ceremana fino a cima Punta Rolle.

L'orografia generale risulta maggiormente accidentata verso est, ai piedi delle Pale di San Martino, mentre nel versante opposto sono presenti pendii poco acclivi, con alternanza di ampi terrazzamenti e di solchi vallivi poco pronunciati.

Il corso d'acqua principale è rappresentato dal torrente Cismon. Esso è caratterizzato in sinistra orografica da una serie di affluenti secondari a carattere torrentizio a causa dell'elevata permeabilità del substrato calcareo. In destra orografica, sul versante del Lagorai, il differente substrato impermeabile influenza la tipologia dei corsi d'acqua che presentano aste torrentizie decisamente maggiori.

Geologia e Pedologia

L'area di San Martino evidenzia tre situazioni ben distinte caratterizzate da substrati litologici diversi:

- Il versante in sinistra Cismon è costituito da rocce carbonatiche, dalle più antiche Arenarie della Val Gardena, alla Formazione a Bellerophon, fino alle più recenti della Formazione di Werfen;

- i versanti Cavallazza – Cime di Ceremana, sono composti da porfido quarzifero del Piastrone Atesino, che forma tutta la catena del Lagorai;

- i versanti Tognola e Ces, infine, sono caratterizzati da una roccia madre metamorfica, con ampie zone costituite da banchi di detriti quaternari con pessima stabilità.

Per quanto riguarda il suolo, i processi pedogenetici sono influenzati da più fattori (substrato roccioso, condizioni climatiche e stagionali, ecc.). Dalla Carta dei suoli della provincia di Trento del 1965 emerge come alle quote più elevate si trovino suoli rendzina o ranker, ovvero suoli giovani, superficiali, poveri di risorse e spesso su forti pendenze. A quote inferiori si trovano invece terre brune calcaree e podzoli umoferrici, suoli più o meno profondi con ottime

caratteristiche edafiche, che risultano l'optimum per l'abete rosso, in particolare su substrati porfirici.

Clima

La foresta demaniale di San Martino di Castrozza presenta un clima di tipo continentale con precipitazioni comprese fra i 1300 e i 1500 mm annui con una distribuzione principalmente equinoziale. L'area presenta una piovosità elevata in tutta la stagione vegetativa.

Vegetazione

Da un punto di vista fitoclimatico la foresta demaniale di San Martino di Castrozza è collocata in una zona di transizione tra il mesoendalpico e l'endalpico, ambiente favorevole all'abete rosso ma che consente la crescita di specie mesofile come abete bianco e faggio.

L'attuale struttura della foresta demaniale è il risultato della pressione antropica esercitata nello scorso secolo di conseguenza alla Prima Guerra Mondiale e di alcuni eventi naturali che hanno condizionato lo sviluppo del soprassuolo vegetale, come la tempesta del 1926.

La tipologia forestale che interessa le aree oggetto di studio, secondo il Piano di Gestione Forestale Aziendale in vigore, è la pecceta altimontana tipica, largamente dominata dall'abete rosso. Tale formazione è diffusa per circa 700 ettari sulla foresta di San Martino di Castrozza.

3.2.3 Foresta demaniale di Cadino

La foresta demaniale di Cadino si estende sulla sinistra orografica della Val Cadino, vallata laterale della bassa Val di Fiemme. Ricade interamente nel C.C. di Valfloriana ed ha una superficie di circa 1270 ha.

La proprietà non è attraversata da nessuna strada a pubblico transito, ma solo da strade forestali. La Strada Provinciale 31 del Passo Manghen, che congiunge la Val di Fiemme con la Valsugana, percorre il confine orientale della proprietà e da essa si imboccano gli unici tre accessi alla proprietà.

La foresta si estende da una quota minima di 950 m s.l.m. in località Canton ad una massima di 2412 m s.l.m. sulla sommità della Pala delle Buse. L'area è delimitata a nord dal rio Catarinello, ad est dalla S.P. 31 del Passo Manghen, a sud dal rio Valletta e ad ovest dal crinale che congiunge il Cimon del Tres alla Pala delle Buse. La morfologia è caratterizzata da versanti

fortemente acclivi e scoscesi, soprattutto nella parte orientale, e da versanti più dolci che salgono fino a diventare un altipiano nelle zone superiori.

Il corso d'acqua principale è il rio Cadino, che raccoglie tutti i numerosi affluenti come il rio Catarinello, il rio dei Zocchi, il rio dei Brenzi di Fuori, il rio dei Buoi e il rio Valletta, caratterizzati da fenomeni di trasporto solido intenso nel caso di forti piogge.

Geologia e Pedologia

Dall'analisi della carta litologica del Trentino si evince che il substrato litologico della foresta Demaniale di Cadino è costituito per gran parte da porfido quarzifero del Piastrone Atesino, caratteristico della catena del Lagorai. A nord e in prossimità del rio Cadino l'area è caratterizzata da depositi glaciali e alluvionali.

La composizione geologica permette la formazione di suoli fertili per la vegetazione boschiva. Alle quote più basse si trovano terre brune, che regrediscono a podzol umo-ferrici alzandosi di quota, mantengono comunque una buona struttura e conferiscono un'ottima fertilità. Nelle parti sommitali sono presenti invece ranker, suoli giovani, molto acidi e poco profondi.

Clima

La piovosità media annua è di 800/900 mm distribuiti uniformemente durante la stagione vegetativa, nella stagione invernale si registra un calo delle precipitazioni. Escursioni termiche accentuate fra estate e inverno e regime delle piogge prevalentemente equinoziale fanno sì che il clima sia di tipo continentale.

Vegetazione

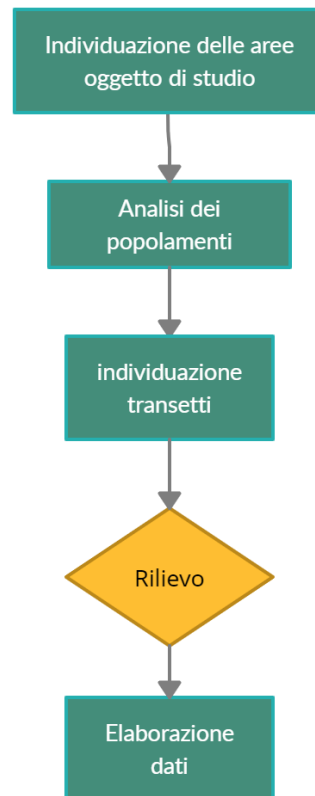
Da un punto di vista fitoclimatico la foresta demaniale di Cadino è situata nella regione endalpica/mesalpica, anche se la vegetazione e il clima sono comunque influenzati dalle correnti miti che risalgono la bassa valle dell'Avisio. Infatti è abbastanza diffusa la presenza di singoli individui di faggio con un discreto portamento nelle abetine delle fasce basali. Tuttavia sulla proprietà risulta ancora ampiamente diffuso l'abete rosso, favorito nella gestione passata a discapito di abete bianco e faggio. Le formazioni tipiche della foresta di Cadino sono l'abeteto dei suoli fertili fino ai 1550 metri circa, la pecceta altimontana tipica fino ai 1900 m circa; a quote superiori sono presenti formazioni pioniere come la larici-cembreta a rododendro.

Le aree di studio, secondo il Piano Aziendale di Gestione Forestale Aziendale, ricadono nella tipologia della pecceta altimontana tipica.

4 Materiali e metodi

4.1 Impostazione del lavoro di tesi

Si riporta di seguito un diagramma di flusso che descrive la sequenza delle fasi di lavoro di tesi.



Si è proceduto inizialmente individuando le possibili aree di studio (Capitolo 2), in modo tale che rispettassero i requisiti prefissati per l'applicazione del metodo di Brown (1974) e per arrivare a stimare i quantitativi di residui ad ettaro.

Una volta localizzate le aree boscate è stata eseguita un'analisi a tavolino dei popolamenti antecedenti gli schianti, esaminando i piani di gestione forestale delle Foreste Demaniali e confrontando i risultati osservati con il personale forestale di zona.

Nelle operazioni di rilievo in campo sono stati posizionati i transetti e sono stati eseguiti i rilievi del legno morto. I dati ottenuti sono stati elaborati per quantificare la biomassa presente nei diversi cantieri utilizzati con gru a cavo e con *harvester e forwarder*.

4.2 Scelta delle aree di studio

I cantieri di utilizzazione degli schianti della tempesta Vaia del 2018 oggetto di studio sono stati individuati all'interno delle Foreste Demaniali Trentine. La scelta di questi cantieri è stata effettuata tenendo in considerazione alcuni fattori:

- l'area doveva essere schiantata a raso;
- la superficie doveva essere ampia per permettere l'individuazione di piste di *harvester* e *forwarder* e di linee di gru a cavo sufficientemente lunghe per eseguire i rilievi;
- il popolamento doveva essere il più possibile omogeneo nelle diverse aree per quanto riguarda composizione specifica, caratteristiche strutturali e dimensione degli alberi.

Per verificare queste caratteristiche, dal momento che gli schianti erano già stati utilizzati, si è proceduto osservando i dati presenti sul Piano di Gestione Forestale Aziendale delle tre Foreste Demaniali interessate dallo studio e confrontandosi con il personale forestale di zona.

Sono così stati individuati 6 cantieri forestali, 3 utilizzati con il sistema *harvester* e *forwarder* (HF) e 3 con il sistema gru a cavo e testata allestitrice (GRU). Per entrambe le tipologie sono stati scelti cantieri utilizzati in annate diverse, dal 2019 al 2021, come riassunto in Tabella 4.1.

Tabella 4.1: Localizzazione e anno di utilizzazione dei cantieri oggetto di studio.

	<i>Cantiere 1</i>	<i>Cantiere 2</i>
<i>Paneveggio</i>	HF 2019	GRU 2020
<i>S.Martino di Castrozza</i>	GRU 2019	GRU 2021
<i>Cadino</i>	HF 2020	HF 2021

4.2.1 Descrizione delle particelle forestali

Per avere un inquadramento delle aree schiantate oggetto di studio è stato necessario consultare i diversi Piani di Gestione Forestali Aziendali. È bene considerare che i suddetti piani sono stati redatti circa dieci anni prima degli schianti Vaia del 2018 (Tabella 4.2) e dei rilievi (2021). Non sono da escludere quindi possibili discrepanze fra i dati contenuti in essi e i valori reali relativi al popolamento al momento degli schianti.

I dati estrapolati dai piani sono così riassunti nella successiva tabella.

Tabella 4.2: Riassunto dei principali dati contenuti nei piani di gestione forestale delle tre Foreste Demaniali interessate dallo studio.

Proprietà	Paneveggio		S. Martino di Castrozza		Cadino	
<i>Anno piano</i>	2010		2010		2009	
<i>Cantiere</i>	HF 2019	GRU 2020	GRU 2019	GRU 2021	HF 2020	HF 2021
<i>Particella forestale</i>	37	21	26	22	39	49
<i>Località</i>	Bocche	Campedelotti	Bosch de la Cesa	Sorgenti Cavallazza	Slavini Alti	Campivolo di Catarinello
<i>Altitudine media</i>	1650	1550	1570	1670	1660	1640
<i>Esposizione</i>	Sud	Sud-est	Sud-est	Sud	Est	Nord-ovest
<i>Tipologia reale</i>	Pecceta altimontana tipica	Pecceta altimontana tipica	Pecceta altimontana tipica	Pecceta altimontana tipica	Pecceta altimontana tipica	Pecceta altimontana tipica
<i>Superficie particella (ha)</i>	24,28	18,38	14,48	19,92	16,88	20,12
<i>% schiantata</i>	69,7	63,5	92,5	27,5	96,3	19,1
<i>Provvigione mc/ha</i>	442,51	517,97	456,13	321,15	399,58	414,33

4.3 Strumentazione

La scelta della strumentazione necessaria per lo svolgimento dei rilievi è stata effettuata tenendo conto del grado di precisione necessario al fine del calcolo della biomassa e della necessità di potersi muovere agevolmente all'interno di superfici sconnesse a causa degli schianti e dell'esbosco.

- Bussola Suunto KB-20/R

La bussola è stata impiegata per il rilievo dell'Azimut delle linee di esbosco di gru a cavo e delle piste di percorrenza degli *harvester* e *forwarder*. In questo modo è stato poi possibile il tracciamento dei transetti laterali paralleli ad esse.



Figura 4.1: Bussola utilizzata per i rilievi (<https://www.suunto.com/it-it/Prodotti/Bussole/Suunto-KB-20/Bussola-gialla-Suunto-KB-20360R-G/>).

- Clisimetro Suunto PM-5

Il clisimetro è stato utilizzato per la misurazione dell'inclinazione di ogni singolo transetto, necessaria per il successivo calcolo del coefficiente di correzione della pendenza. Lo strumento è dotato di una ghiera girevole immersa in liquido a funzionamento stabile, con la possibilità di una lettura ottica di pendenza su una delle due scale espresse in gradi o in %.



Figura 4.2: Clisimetro utilizzato per i rilievi (<https://www.suunto.com/it-it/Prodotti/Bussole/Suunto-PM-5/Suunto-PM-5360-PC-Opti-Clinometer/>).

- Metro a stecca e cordella metrica

Questi due strumenti sono stati utilizzati per la misura delle varie distanze e altezze necessarie per il rilievo. Il metro a stecca, composto da singole aste di 20 cm di lunghezza richiudibili, è stato utilizzato per la misura dei diametri maggiori di 7,6 cm e per le misure minori di 2 m. La cordella metrica, costituita da un nastro graduato in materiale sintetico avvolto su un tamburo, è stata invece utilizzata per le misure maggiori, in particolare per misurare l'interdistanza dei transetti centrali e la distanza di quelli laterali. La cordella è anche stata adoperata per la misura della distanza lungo la pista o la linea di esbosco fra un blocco di transetti e l'altro.

- Calibro (Brown 1974)

Il calibro è stato autocostruito secondo le indicazioni contenute in "Handbook for inventorying downed woody material" di James K. Brown. Costruito in materiale rigido e non deformabile, è dotato di due beccucci opposti, aventi uno un'ampiezza di 6 mm e l'altro di 25 mm. La lunghezza dell'impugnatura è pari a 76 mm. Queste misure corrispondono agli estremi delle classi di diametro in cui sono stati suddivisi gli elementi contati durante il rilievo. Infatti questo strumento è stato utilizzato per suddividere i vari elementi intersecanti il transetto nelle diverse classi considerate.



Figura 4.3: Immagine del calibro utilizzato per i rilievi (Foto L. Garollo)

- GPS – Avenza Map

Per la funzione GPS è stato utilizzato uno smartphone comune, in quanto non è richiesta una precisione elevata della posizione dei transetti. Tramite Avenza Map sono state anche catturate le immagini dalla metà del transetto verso gli estremi, in modo da avere delle immagini georeferenziate.

- Spago con punti noti

Per la materializzazione del transetto sul terreno, sono stati utilizzati degli spaghi sintetici, con dei segni colorati a distanze prestabilite (Rizzolo R., 2016), in funzione dei diametri da rilevare. Questo è stato fissato con l'applicazione di due picchetti di legno alle estremità.

- QGIS

È un software GIS Open Source che consente di eseguire analisi di tipo territoriale. Esso è stato utilizzato per la redazione della cartografia di inquadramento e per l'analisi dei popolamenti precedenti agli schianti attraverso *Canopy Height Model* (CHM). Grazie a questo software è stato possibile verificare il posizionamento dei transetti nelle aree schiantate.

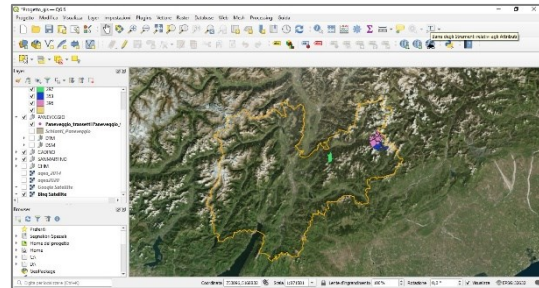


Figura 4.4: Programma utilizzato per l'elaborazione delle cartografie e dei dati lidar (Immagine L. Garollo).

- InfoStat

È un software statistico che permette di eseguire varie analisi per il confronto tra popolazioni. Nello studio è stato utilizzato per verificare se le differenze di quantità tra un cantiere e l'altro dello stesso anno fossero dovute al metodo di esbosco, utilizzando il test di *Mann – Whitney*.

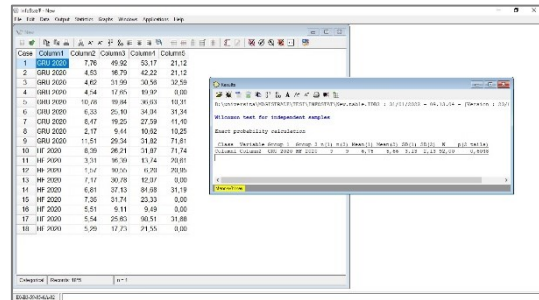


Figura 4.5: Programma utilizzato per l'analisi statistica dei dati (Immagine L. Garollo).

4.4 Variabilità dei popolamenti

Nonostante la grande quantità di cantieri eseguiti a seguito della tempesta Vaia non è stato possibile individuare sei cantieri presentanti le medesime condizioni stazionali.

Per ottenere dati perfettamente confrontabili sarebbe stato infatti necessario trovare dei popolamenti identici dislocati in luoghi diversi.

Il confronto risulta ad oggi maggiormente difficile a causa delle scarse informazioni sulle caratteristiche dei luoghi oggetto di studio precedentemente agli schianti e al loro esbosco.

Come indicato nei piani di gestione forestale, le strutture dei popolamenti non sono omogenee in tutta la particella. Poiché il secondo e il terzo blocco di transetti sono stati individuati ad una distanza prefissata a partire dal primo è probabile che, muovendosi all'interno della particella, ci sia una variazione della struttura e/o della densità del popolamento.

L'ubicazione geografica è un altro elemento che influisce sul portamento e sulle dimensioni degli alberi. Le particelle forestali, infatti, pur essendo a quote simili, hanno caratteristiche morfologiche e pedologiche diverse. Come confermano le analisi del suolo (Capitolo 5.3), il contenuto di molti elementi varia nelle tre aree di interesse.

4.4.1 Confronto CHM

Per l'analisi della situazione dei popolamenti pre-Vaia, oltre alla consultazione dei piani di gestione forestale, è stato analizzato il CHM in ambiente GIS, che permette di ricavare distribuzione e altezza degli alberi nelle aree oggetto di rilievo. Per le aree interessate dallo studio sono disponibili rilievi Lidar risalenti al 2014. Con l'utilizzo di QGIS è stata condotta un'elaborazione dei raster *Digital Terrain Model* (DTM) e *Digital Surface Model* (DSM) per ottenere il CHM. Da questo, attraverso una tematizzazione del layer, è possibile la creazione di cartografia dalla quale si possono osservare la distribuzione e i range di altezza delle piante nelle aree oggetto di rilievo. Lo studio relativo alla differenziazione dei popolamenti si è basato sull'analisi visiva delle cartografie ottenute (vedi Allegato II).

Dai confronti eseguiti la situazione dei popolamenti risulta essere piuttosto variabile. Nell'area HF2019 e nell'area GRU2021 la densità degli alberi è minore rispetto a quella degli altri cantieri. Inoltre in alcune aree è possibile osservare come la maggior parte degli alberi superino i 30 metri di altezza, mentre in altre solo alcuni esemplari li superano (HF2020 e GRU2021).

4.5 Impostazione del rilievo

Il sistema di campionamento è basato sul metodo di Brown (1974) riadattato da Rizzolo (2016) per adattarlo meglio alle condizioni delle foreste italiane. Questo metodo, studiato inizialmente per stimare una quantità di biomassa combustibile per il rischio di incendi, è stato ulteriormente rivisto per fornire un indice di necromassa presente dopo l'utilizzazione di un cantiere forestale.

Si tratta di un metodo campionario impostato sul rilievo della biomassa a terra tramite transetti. Dai valori così ricavati è poi possibile ottenere un estimatore della quantità di biomassa rilevata attraverso la formula di Brown (1974) per gli elementi con diametro inferiore a 203 mm e attraverso il metodo di Van Wagner (1968) per gli elementi di diametro superiore a tale soglia.

Sia nei cantieri utilizzati con il sistema *harvester* e *forwarder* sia in quelli utilizzati con gru a cavo vengono distinte le superfici interessate dal passaggio dei mezzi forestali e sottostanti la linea di gru a cavo dalle aree circostanti, dove è stato prelevato solamente il materiale legnoso. Nelle due diverse tipologie di aree sono stati eseguiti transetti con orientamento differente. Questa distinzione è stata fatta per ottenere dei valori di DW medi che potessero rappresentare al meglio le due diverse tipologie di aree.

Per la materializzazione al suolo del transetto viene utilizzato uno spago della lunghezza predefinita fissato alle estremità con due picchetti. L'operazione consiste quindi nel conteggiare tutto il legno morto che con il proprio asse interseca la linea del transetto, suddividendolo nelle varie categorie proposte da Brown (1974). Per facilitare la misurazione degli elementi e per suddividerli nelle varie classi si è utilizzato un particolare calibro (Figura 4.3).

La biomassa è FWD se ha un diametro inferiore a 76 mm, mentre è considerata CWD se ha un diametro superiore. FWD e CWD vengono suddivisi a loro volta in altre 5 classi (Brown, 1974):

Tabella 4.3: Criteri di suddivisione delle diverse classi di legno morto.

n. classe	Diametro min	Diametro max	Macroclasse
Classe 1	0	6 mm	FWD
Classe 2	6 mm	25 mm	
Classe 3	25 mm	76 mm	
Classe 4	76 mm	203 mm	CWD
Classe 5*	> 203 mm		

* Nel seguente studio, come adattamento del metodo di Brown (1974), è stata inserita un'ulteriore classe al fine di effettuare delle considerazioni sulla quantità di legno morto lasciato in bosco avente misure commerciali.



Figura 4.6: Picchetto centrale del transetto di rilievo sulla pista di passaggio di harvester e forwarder (foto L. Garollo).

In campo si procede percorrendo il transetto e annotando su un'apposita scheda di campagna (vedi allegato I) il numero di elementi per ogni classe sotto i 203 mm, per quelli con diametro maggiore si riporta specie, tipologia di elemento, diametro inferiore e superiore e lunghezza.

Nelle superfici interessate solamente dall'asportazione del legname, si eseguono dei transetti con una lunghezza di 20 metri (vedi Figura 4.7). Questi vengono suddivisi a loro volta in sub transetti all'interno dei quali vengono conteggiati elementi di diverso diametro. Gli elementi della prima classe vengono contati in 3 sub transetti di 1 metro all'inizio, nella parte centrale e alla fine; quelli della seconda classe vengono conteggiati in 3 sub transetti di 1,20 metri distribuiti come nella classe precedente. Gli elementi di terza, quarta e quinta classe si contano invece su tutta la lunghezza del transetto. L'orientamento di questi transetti è parallelo alla pista forestale o alla linea di gru a cavo.

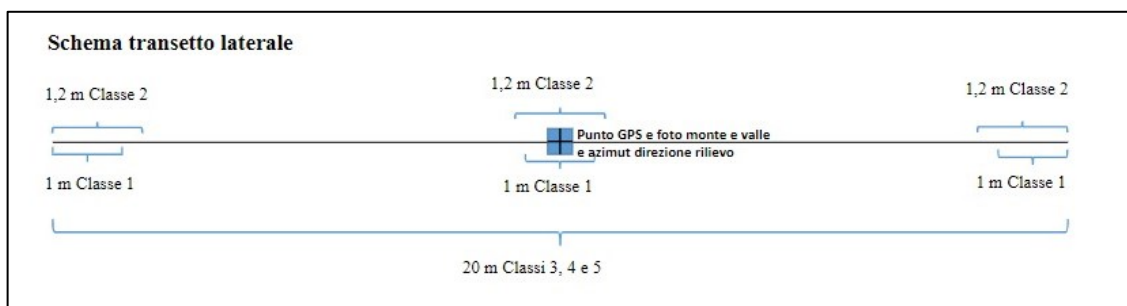


Figura 4.7: Schema contenente le modalità di conteggio delle diverse classi di legno morto all'interno dei transetti laterali.

Nelle zone di passaggio dei mezzi forestali o sottostanti la linea di gru a cavo si imposta un transetto differente (vedi Figura 4.8). Il transetto viene infatti suddiviso in 4 semitransetti da 5

metri disposti parallelamente, egualmente separati, su una distanza di 20 metri. In questo caso gli elementi di prima e di seconda classe vengono conteggiati sul primo e sul terzo semitransetto, mentre gli elementi di terza, quarta e quinta classe vengono conteggiati su tutti e 4 i semitransetti.

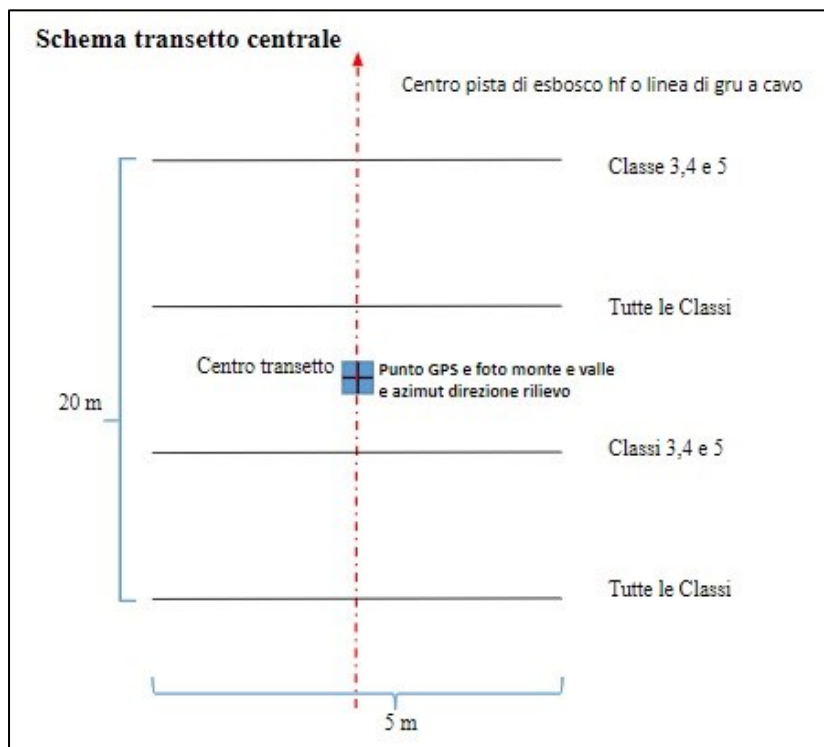


Figura 4.8: Schema del transetto e delle modalità di conteggio degli elementi di legno morto all'interno dei transetti centrali.

Per ciascun cantiere si eseguono tre blocchi di rilievi ad un'interdistanza di 75 metri reali. Ogni blocco è composto da un transetto sull'area di passaggio o sottostante la linea e da due laterali, ovvero laddove è stato prelevato solo il materiale legnoso.

4.5.1 Identificazione dei transetti

Per l'identificazione dei transetti è stato individuato un codice alfanumerico contenente indicazioni riguardanti l'area, il numero progressivo del transetto e la sua localizzazione rispetto alla pista d'esbosco nei cantieri di *harvester* e *forwarder* e rispetto alla linea di gru a cavo negli altri. Il codice è così composto:

A 001 C 00

Dove:

- la prima lettera corrisponde ad un determinato cantiere;
- le tre cifre indicano il numero del transetto nel medesimo cantiere;
- la seconda lettera indica la posizione del transetto rispetto alla pista/linea (C=centrale, S=sinistra, D=destra) rispetto al senso di percorrenza;
- le ultime due cifre indicano la distanza dall'asse centrale.

4.5.2 Rilievo nei cantieri di *harvester* e *forwarder*

Nei cantieri utilizzati con *harvester* e *forwarder*, per il posizionamento dei transetti è necessario svolgere uno studio preliminare al fine di individuare una pista con le caratteristiche adeguate.

I requisiti della pista di transito dei mezzi forestali sono:

- essere sufficientemente lunga per eseguire tre blocchi di rilievi;
- rappresentare le condizioni medie del cantiere, evitando quindi di prendere in considerazione quelle sui margini dell'area schiantata o con situazione particolari che possano influenzare i risultati (es: pista su cui ne convergono altre e quindi interessata da un elevato passaggio di mezzi forestali);
- essere distanziata da quelle parallele per evitare che i rilievi laterali vadano a sovrapporsi sull'area di passaggio delle piste laterali.

Il primo blocco di rilievi viene eseguito a circa 20-25 metri dall'inizio della pista, in modo da evitare l'influenza della strada o della pista da cui si dirama. Si posiziona un picchetto che corrisponderà al centro del transetto centrale. In questo punto si effettua la misurazione della pendenza con il clisimetro, dell'azimut con la bussola e si rilevano le coordinate GPS del punto.

I punti medi dei transetti laterali sono posizionati ad una distanza di 10 metri dal picchetto centrale. Questa distanza viene misurata perpendicolarmente all'orientamento della pista d'esbosco in quel punto. I transetti vengono materializzati a terra utilizzando degli spaghi di lunghezza nota fissati alle estremità con due picchetti. Una volta posizionati i transetti si procede quindi con il conteggio del FWD e la misurazione del CWD.

Nei punti centrali dei transetti si effettua la misurazione della pendenza con il clisimetro, dell'azimut con la bussola e si rilevano le coordinate GPS.



Figura 4.9: Fase di rilievo: misurazione del diametro della biomassa intersecante il transetto materializzato con lo spago (Foto D. Benetel).

4.5.3 Rilievo nei cantieri di gru a cavo

Per quanto riguarda i cantieri utilizzati con il metodo gru a cavo e processore, i requisiti della linea di esbosco oggetto di studio sono gli stessi della pista di *harvester* e *forwarder*. I requisiti della linea di gru a cavo quindi sono:

- essere sufficientemente lunga per eseguire almeno due blocchi di rilievi (meglio tre);
- rappresentare le condizioni medie del cantiere, evitando quindi di prendere in considerazione quelle sui margini dell'area schiantata o con situazione particolari che ne possano falsare i risultati;
- essere distanziata da quelle parallele per evitare che i rilievi laterali vadano a sovrapporsi all'area sottostante le linee laterali.

In questo studio, a causa delle condizioni stazionali, in due cantieri su tre non è stato possibile eseguire tre blocchi di rilievo sulla stessa linea. A causa di una diffusa rete viaria in questi versanti non vi è l'esigenza di montare linee di gru a cavo di lunghezze importanti.



Figura 4.10: Esempio di cantiere utilizzato con gru a cavo dove è ben visibile la distribuzione delle linee di esbosco effettuate (Foto L. Garollo).

Nelle aree utilizzate nel 2021 l'individuazione del posizionamento della linea di gru a cavo è agevole in quanto a terra sono ben visibili i segni del trascinamento degli alberi (vedi Figura 4.10). Nei cantieri risalenti agli anni precedenti, invece, si è reso necessario osservare alcuni



Figura 4.11: Ceppaia ribaltata posta sotto una linea di esbosco. Si può notare infatti la parte superiore rovinata dal passaggio degli altri alberi (Foto L. Garollo).

indicatori del passaggio del materiale esboscato. Uno di questi indicatori è rappresentato dai danni riportati dalle ceppaie a causa delle collisioni che avvengono fra esse e gli alberi trasportati (vedi Figura 4.11).

Nei cantieri di gru a cavo, il primo blocco di rilievi viene posizionato a circa 20-25 metri dalla partenza della linea nel caso di utilizzazione con linee parallele, a 40-50 metri nel caso di utilizzazione con linee a ventaglio per evitare la sovrapposizione dei rilievi con quelle adiacenti.

Una volta individuato il primo punto si procede come nei cantieri di *harvester*, distanziando però di 15 metri anziché 10 i transetti laterali. L'aumento dell'interdistanza tra i transetti centrali e laterali è dovuto alla maggior ampiezza dell'area di lavoro delle gru a cavo rispetto a quella di *harvester* e *forwarder*.

4.6 Stima del *deadwood*

Una volta eseguiti i rilievi sui tre cantieri di *harvester* e *forwarder* e sui tre cantieri di gru a cavo e processore si procede con il calcolo del DW con la formula di Brown (1974) per gli elementi con diametro minore di 203 mm. Per gli elementi con dimensioni maggiori verrà utilizzato il metodo di Van Wagner (1968).

Per poter confrontare meglio i valori di biomassa ad ettaro ottenuti con i dati contenuti nei piani di gestione forestale è stato deciso di calcolare gli estimatori come unità di volume ad ettaro.

4.6.1 Stima *Fine Wood Debris*

Nelle fasi di rilievo in ogni transetto sono stati conteggiati gli elementi di legno morto ricadenti in ciascuna delle tre classi di FWD di Brown (1974). Per ricavare un valore di biomassa ad ettaro è necessario applicare la formula attraverso l'introduzione di alcuni fattori di correzione per adattarla meglio alle condizioni locali.

La formula generale applicata per ciascuna classe di FWD è quindi:

$$\hat{M}_{FWD} = \left(\frac{1.234 \cdot n \cdot \bar{d}^2 \cdot SG \cdot c \cdot a}{\sum L} \right) \cdot k_{decay} \cdot 10.000 \quad (4.1)$$

Dove:

- $1,234$ è una costante;
- n è il numero di elementi conteggiati nella classe;
- \bar{d}^2 è il diametro medio della classe espresso in metri;
- SG è la gravità specifica del legno rilevato;
- c è il fattore di correzione della pendenza;
- a è un fattore di correzione della giacitura pari a 1,13;
- ΣL è la somma delle lunghezze su cui vengono conteggiati le diverse classi diametriche espresse in metri;
- k_{decay} è il coefficiente di riduzione dovuto alla decomposizione (Woodall et al., 2005);
- 10.000 sono i metri quadri contenuti in un ettaro.

Per ottenere il valore dell'estimatore in volume è sufficiente dividere il tutto per la gravità specifica, semplificando quindi la formula come segue:

$$\hat{V}_{FWD} = \left(\frac{1.234 \cdot n \cdot \bar{d}^2 \cdot c \cdot a}{\Sigma L} \right) \cdot k_{decay} \cdot 10.000 \quad (4.2)$$

Inoltre, il fattore di correzione della giacitura si applica solo per gli elementi della prima e seconda classe (Brown, 1974); quindi per gli elementi della terza classe la formula si semplifica ulteriormente diventando:

$$\hat{V}_{FWD} = \left(\frac{1.234 \cdot n \cdot \bar{d}^2 \cdot c}{\Sigma L} \right) \cdot k_{decay} \cdot 10.000 \quad (4.3)$$

Il fattore di correzione della pendenza viene applicato al fine di riportare il valore dell'estimatore calcolato su una superficie inclinata ad una superficie piana. Esso viene determinato come segue:

$$c = \sqrt{1 + \left(\frac{Slope_{\%}}{100} \right)^2} \quad (4.4)$$

4.6.2 Stima *Coarse Wood Debris*

Gli elementi con diametri maggiori a 76 mm sono ricompresi nel CWD. Gli elementi della quarta classe sono stati conteggiati come descritto nel capitolo precedente applicando la formula 3.3. Gli elementi di legno morto della quinta classe con diametro maggiore a 203 mm sono stati rilevati in modo diverso. Per ciascun pezzo, infatti, è stato annotato il tipo di elemento (tronco, ceppaia, cimale, ecc.) e sono stati misurati diametro inferiore, superiore e lunghezza.

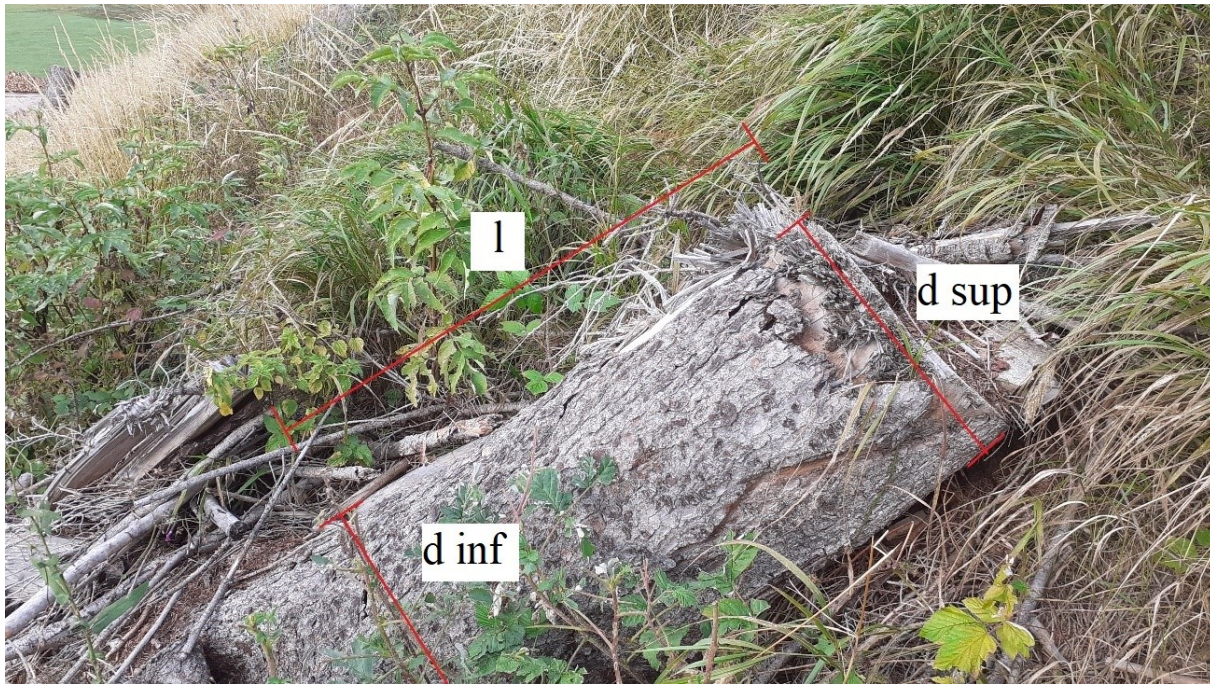


Figura 4.12: Esempio di misure effettuate su una ceppaia ribaltata (immagine L. Garollo).

Con i dati relativi agli elementi con diametro maggiore a 203 mm nel punto di intersecazione del transetto, in letteratura possiamo trovare diverse formule per calcolare il loro contributo ad ettaro (Van Wagner, 1968; Woodall e Williams, 2005; Wijdeven et al., 2005). In questo studio è stata utilizzata la formula di Van Wagner (1968).

Il metodo di Van Wagner (1968) è sviluppato per il calcolo della biomassa combustibile ed è aspecifico. Esso si basa sulla misura del diametro di ciascun elemento intersecante il transetto. Questa formula si basa su tre principi: gli elementi sono cilindrici e la conicità non porta ad errore, tutti gli elementi sono orizzontali o poco inclinati e gli elementi sono orientati casualmente.

La formula di Van Wagner (1968) da applicare per il calcolo dell'estimatore di ciascun transetto è quindi:

$$\bar{y} = \frac{\pi^2 \sum d^2}{8L} \quad (4.5)$$

Dove:

- d è il diametro medio dei pezzi espresso in metri;
- L è la lunghezza del transetto espressa in metri.

Questo metodo per la stima del volume di CWD ad ettaro si differenzia da altri (Woodall e Williams, 2005) per la semplicità delle fasi di rilievo, in quanto ha bisogno solamente della misura del diametro medio. Questo può tuttavia precludere la possibilità di avere delle informazioni in più riguardo la CWD (es: specie, lunghezza, tipo di elemento) che sarebbero utili per condurre analisi e considerazioni a livello di habitat.

4.7 Analisi chimiche del suolo

Al fine di conoscere al meglio la situazione stazionale sia in termini di fertilità del suolo in seguito a disturbo, sia per comparare le diverse aree di studio si è ritenuto utile eseguire delle analisi chimiche del suolo.

Le analisi sono state eseguite su campioni di suolo prelevati in tutti e sei i cantieri.

A causa della vicinanza dei cantieri e delle condizioni litologiche e pedologiche simili, si è proceduto al raggruppamento dei campioni raccolti per ciascuna Foresta Demaniale, ottenendone così tre.

Per limitare la soggettività del campionamento, per la raccolta del materiale da analizzare ci si è spostati in modo casuale nel cantiere, senza seguire tracce o piste di esbosco, raccogliendo circa 100 grammi di suolo ogni 50 passi in 8 punti diversi. Per il prelievo del materiale si è proceduto togliendo dalla superficie eventuali residui legnosi come ramoscelli o aghi e l'eventuale strato erboso. Quindi, con l'ausilio di una paletta, si è prelevato il suolo, senza raggiungere lo strato minerale. I vari sub-campioni ottenuti sono stati raccolti in un unico contenitore e poi miscelati per ciascuna Foresta Demaniale prima di effettuare le analisi chimiche.

Per ogni Foresta Demaniale, il passo successivo sarà quello di calcolare lo stock di carbonio (SOC) su uno scenario potenziale di suolo con 10 cm di spessore come eseguito da Papais et al.,(2014), in quanto non sono state eseguite misurazioni sulla profondità a causa del disturbo arrecato ad esso dagli schianti e dalle fasi di allestimento ed esbosco. La densità apparente del suolo sarà ottenuta dal modello di Hollis e Woods (1989), in base al quale essa viene calcolata attraverso la percentuale di carbonio organico (TOC%) contenuto nel suolo.

$$\rho = -0,00745 * TOC\% + 0,593 \quad (4.6)$$

Dove:

- ρ è la densità apparente del suolo in g/cm^3 ;
- TOC% è la concentrazione percentuale di C organico.

4.8 Analisi chimiche del legno morto

Le analisi del legno morto sono state eseguite per ciascuna classe di diametro con lo scopo di osservare le variazioni delle concentrazioni di elementi chimici in funzione delle dimensioni. Le classi 4 e 5 sono state riunite per ottenere dei valori delle analisi medi, dato che ricadono entrambe nel CWD.

In altri studi i campioni sono stati suddivisi in funzione della classe di decomposizione (Petrillo et al., 2015), dato che i rilievi erano stati eseguiti in boschi non danneggiati. Il legno morto presente a terra in questo caso è dovuto principalmente alla mortalità naturale o a qualche schianto localizzato, avvenuti nel corso degli anni. Nel caso oggetto di studio, invece, la presenza di biomassa a terra è dovuta quasi esclusivamente ad un singolo evento che porta ad avere tutta la biomassa con la stessa classe di decomposizione. Per questo è stato deciso di procedere analizzando chimicamente dei campioni di materiale di ogni singola classe diametrica.

La raccolta del materiale ha interessato, come per il suolo, ogni cantiere forestale studiato. Percorrendo i cantieri sono stati raccolti degli elementi per ogni classe diametrica, prelevando il materiale sia dalle piste di esbosco di *harvester* e *forwarder* e sotto le linee di gru a cavo, sia dalle aree limitrofe.

I sei campioni raccolti di ogni classe sono poi stati riuniti in quattro campioni complessivi corrispondenti a ciascuna classe diametrica, considerato che le caratteristiche stazionali, come quota, substrato litologico, composizione specifica e clima, sono simili fra le aree oggetto di studio.

Per la biomassa costituente il CWD, ovvero per tutti gli elementi con diametro maggiore a 7,6 cm, è stato calcolato anche lo stock di carbonio (SOC). Dato che gli elementi di FWD hanno dimensioni contenute saranno soggetti a decomposizione in tempi più brevi rispetto al CWD. Per questo motivo, si procede calcolando lo stock di carbonio solo negli elementi ricadenti in quest'ultima categoria, ipotizzando che verrà trattenuto nel legno in decomposizione per un periodo più lungo e quindi avrà dei benefici maggiori nel medio e lungo periodo.

5 Risultati

5.1 Stima del legno morto delle classi 1, 2, 3, 4

Il quantitativo di biomassa ricadente nelle prime quattro classi diametriche viene stimato con il metodo di Brown (1974). Questo metodo consente di ottenere degli estimatori di biomassa ad ettaro per ciascun transetto basandosi sul numero di elementi conteggiati su di esso. Quindi non sono necessari altri dati relativi al legno morto per poterne stimare il volume.

5.1.1 Aree *harvester* e *forwarder*

I cantieri utilizzati con *harvester* e *forwarder* sono localizzati nelle foreste demaniali di Paneveggio e di Cadino.

Per prima cosa sono stati messi a confronto i diversi cantieri utilizzati con lo stesso metodo ma in annate diverse, 2019, 2020 e 2021. Gli estimatori calcolati per ogni transetto con Brown (1974) per le prime quattro classi diametriche sono stati mediati a livello di singolo cantiere per ottenere un valore medio di ogni area.

Per il calcolo degli estimatori sono stati conteggiati gli elementi ricadenti in ciascuna classe. La numerosità di elementi ricadenti in ciascuna classe diminuisce all'aumentare del diametro (Tabella 5.1 e grafico in Figura 5.1).

Tabella 5.1: Numero di campioni conteggiati per ciascuna classe nei cantieri di *harvester* e *forwarder*.

	Classe 1 0 – 6 mm	Classe 2 6 – 25 mm	Classe 3 25 – 76 mm	Classe 4 76 – 203 mm
<i>HF 2019</i>	1696	422	250	25
<i>HF 2020</i>	2411	429	195	17
<i>HF 2021</i>	1790	303	142	19

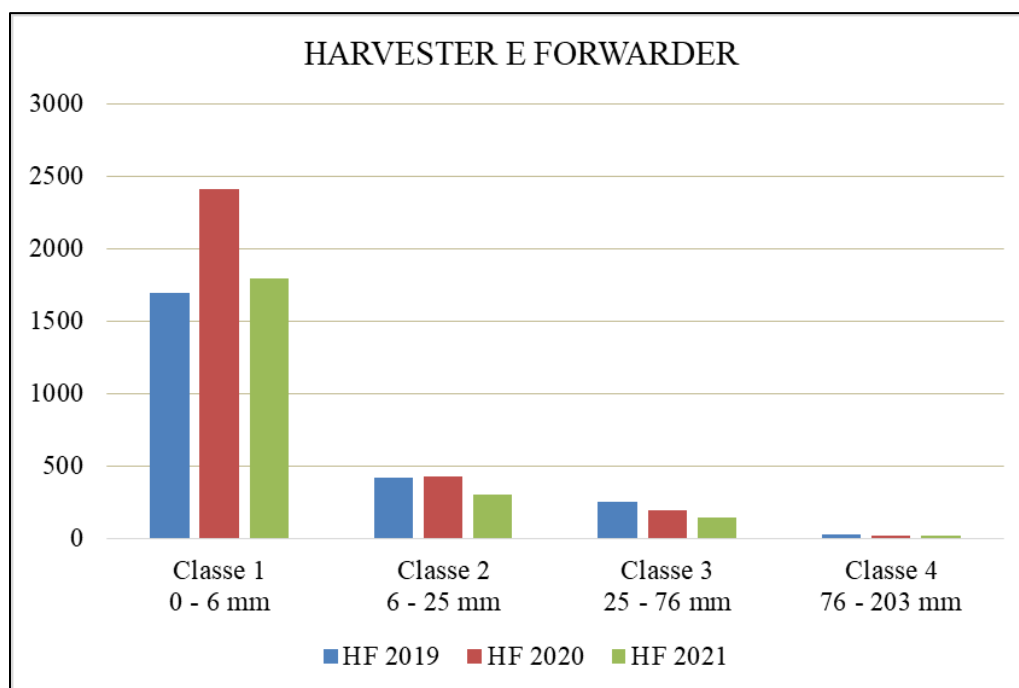


Figura 5.1: Numero di campioni conteggiati per ciascuna classe diametrica nei tre cantieri oggetto di studio.

Di seguito invece gli estimatori calcolati con il metodo di Brown (1974).

Tabella 5.2: Valori medi di volume (m^3/ha) di legno morto osservati per ciascuna classe diametrica in ogni cantiere.

	HF 2019		HF 2020		HF 2021	
	Estimatore m^3/ha	Dev.st.	Estimatore m^3/ha	Dev.st.	Estimatore m^3/ha	Dev.st.
<i>Classe 1</i>	4,067	2,83	5,660	2,13	4,386	2,22
<i>Classe 2</i>	22,199	9,22	22,808	9,83	17,450	8,09
<i>Classe 3</i>	43,927	24,55	33,493	34,03	24,172	7,42
<i>Classe 4</i>	29,573	22,40	19,574	23,82	21,959	14,25

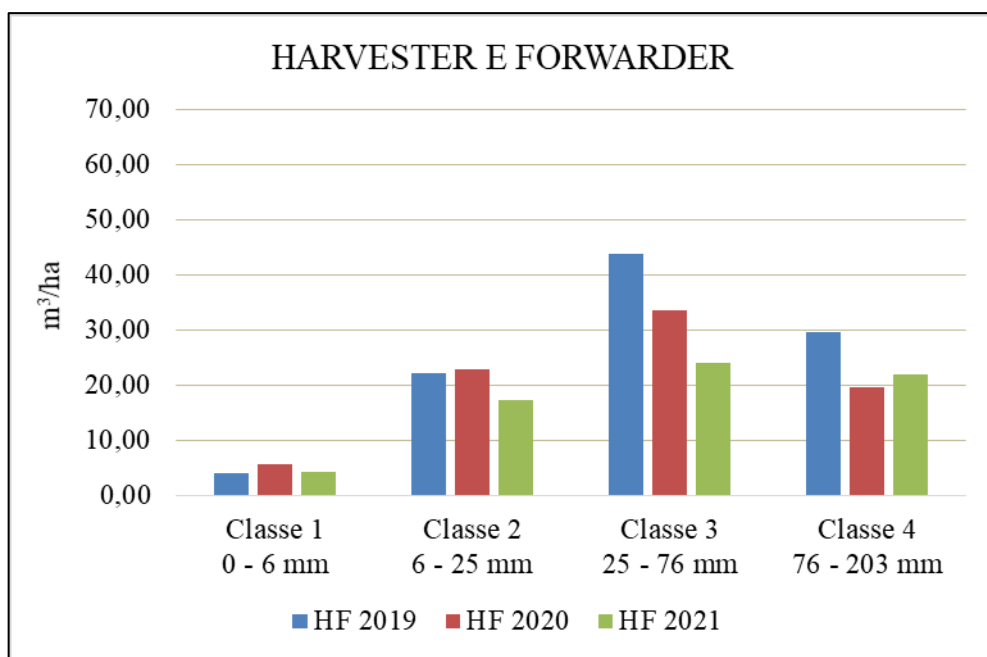


Figura 5.2: Confronto fra i volumi di legno morto di ciascuna classe diametrica dei cantieri di harvester e forwarder.

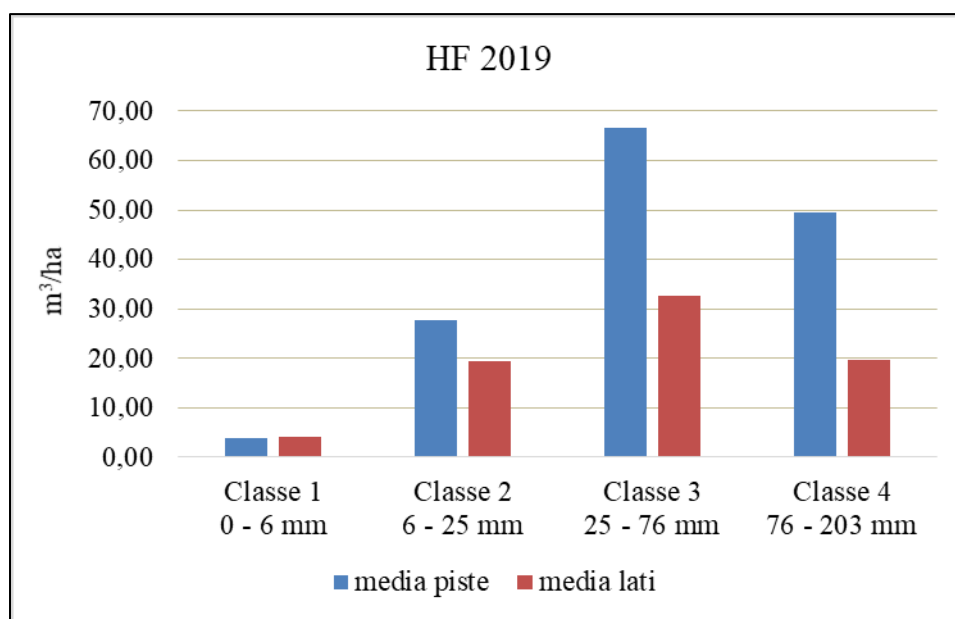
Come possiamo osservare dal grafico (Figura 5.2) e dalla tabella (Tabella 5.2), la classe che presenta il maggior contributo unitario è la terza in tutti e tre i cantieri. Gli estimatori della seconda e della quarta classe, invece, presentano valori simili. La prima classe presenta valori simili tra un cantiere e l'altro ma molto minori rispetto alle altre classi, dato che il contributo unitario di ciascun elemento è molto minore se rapportato a quello di uno delle altre classi.

Confrontando i diversi anni si nota che, ad esclusione della prima classe, che rimane costante, gli altri valori tendono a diminuire con il variare dell'anno d'esbosco. Tuttavia non è da escludere che questa tendenza sia casuale o dovuta alle caratteristiche del popolamento.

Un'ulteriore analisi spaziale possibile è il confronto fra le quantità di legno morto rilevato sulle piste di esbosco e quello relativo alle aree circostanti. Infatti i dati sono stati elaborati per singolo transetto e poi mediati a livello di cantiere. Calcolando separatamente la media degli estimatori fra i transetti centrali e quelli laterali è quindi possibile osservare la distribuzione della biomassa all'interno del cantiere.

Tabella 5.3: Estimatori (m^3/ha) del legno morto per ciascun cantiere suddivisi fra pista di esbosco e laterali.

	Classe 1		Classe 2		Classe 3		Classe 4	
	0 – 6 mm		6 – 25 mm		25 – 76 mm		76 – 203 mm	
	Pista	Lati	Pista	Lati	Pista	Lati	Pista	Lati
	m^3/ha	m^3/ha	m^3/ha	m^3/ha	m^3/ha	m^3/ha	m^3/ha	m^3/ha
<i>HF</i> 2019	3,754	4,224	27,815	19,390	66,610	32,586	49,579	19,570
<i>HF</i> 2020	5,220	5,880	26,384	21,021	65,641	17,419	27,826	15,447
<i>HF</i> 2021	3,555	4,802	16,076	18,137	31,109	20,429	31,109	17,384



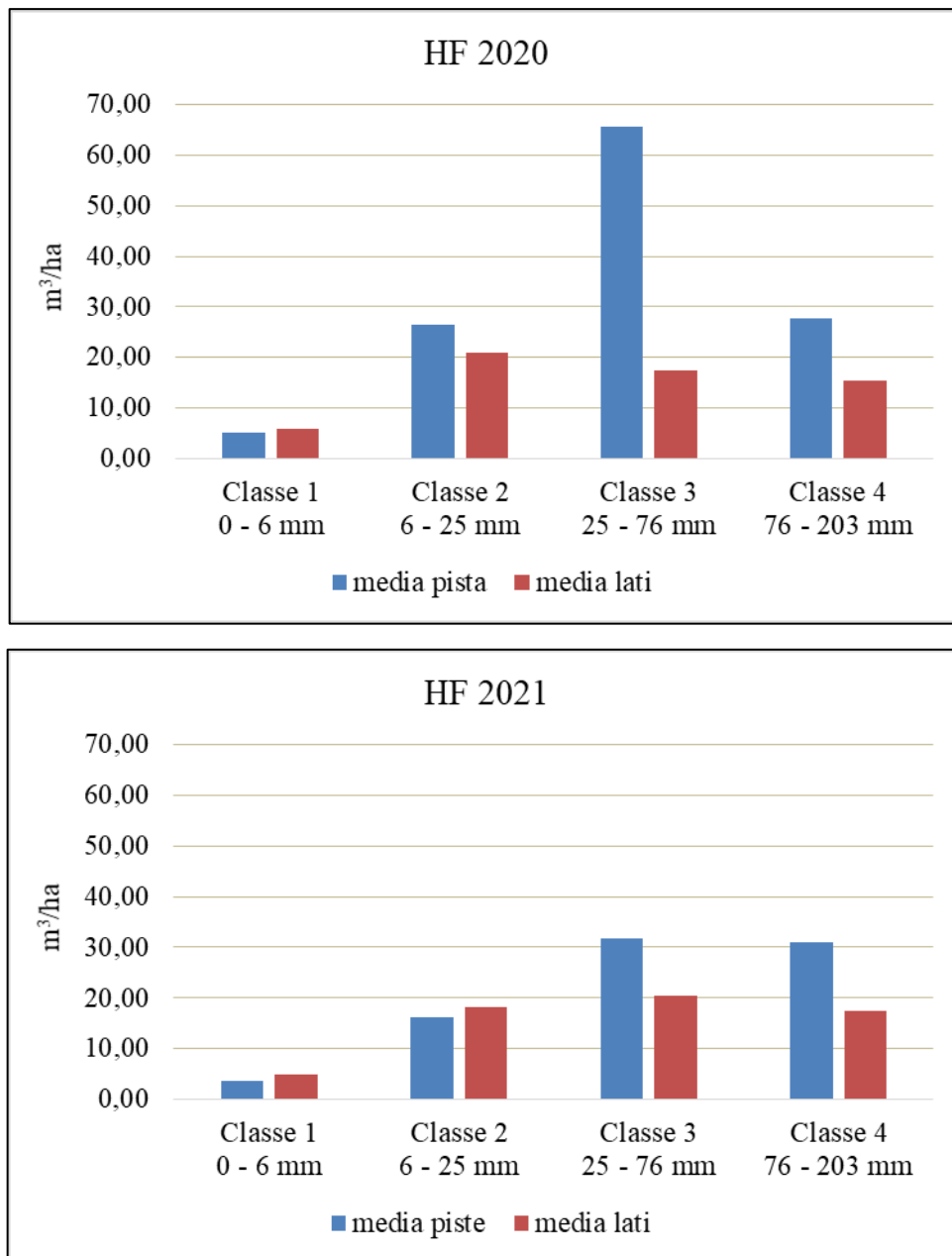


Figura 5.3: Confronto tra ogni cantiere dei valori medi degli estimatori delle classi relative a pista d'esbosco e laterali.

Dai grafici in Figura 5.3 è possibile osservare come in tutti i cantieri, indipendentemente dall'annata di esbosco, il legno morto sulle piste di passaggio di *harvester* e *forwarder* sia maggiore per la terza e la quarta classe. Infatti nella classe 3 si trova mediamente il 145% di biomassa in più sulla pista rispetto ai lati (con valori compresi tra il 55% e il 277% in più); nella classe 4 diminuisce questa differenza con valori medi del 104% (con valori compresi tra il 79% e il 153% in più). Per quanto riguarda la seconda classe, si è riscontrata una riduzione delle discrepanze volumetriche fra pista e lati; in due cantieri su tre sono stati calcolati estimatori

maggiori sulle piste di esbosco con mediamente il 19% di biomassa in più rispetto ai lati (con valori compresi tra il 43% e il -11%).

La tendenza è invece invertita nella prima classe: sulle piste, infatti, sono stati rilevati valori medi del 16% in meno rispetto ai lati (con valori compresi tra il -26% e il -11%). Questo può essere dovuto al fatto che il passaggio dei mezzi forestali, spesso dotati di cingoli e catene, causano un rimescolamento del suolo con conseguente inglobamento del materiale legnoso più sottile.

Comparando i valori fra i diversi cantieri si nota che il materiale legnoso ai lati delle piste mantiene dei valori simili. Nelle classi 2, 3 e 4 la variabilità è limitata e i valori sono compresi in un range poco ampio, ad eccezione della classe 3 nel cantiere HF 2019, dove abbiamo un estimatore circa il 50% maggiore rispetto agli altri due.

Al contrario, analizzando i valori sulle piste si ha una maggiore variabilità fra le diverse località. Considerando gli estimatori della terza classe, ad esempio, si passa da valori di circa 65 m³/ha dei primi due cantieri a circa 31 m³/ha dell'ultimo. Questa differenza può essere giustificata dal fatto che queste aree sono influenzate maggiormente dalla lavorazione dei mezzi forestali. Ad esempio, può aver influito molto il periodo di utilizzazione in concomitanza alle caratteristiche



Figura 5.4: Particolare della pista di esbosco umida con presenza di segni di scorrimento dell'acqua piovana e minime evidenze di erosione.

del suolo. Nel caso di lavorazione con terreno gelato o asciutto il rimescolamento del suolo è minore; al contrario se le lavorazioni vengono eseguite con terreno umido o bagnato, il continuo passaggio dei mezzi causa un elevato rimescolamento del suolo. In questo caso è probabile che anche elementi delle classi superiori vengano interrati. Questo può essere quanto accaduto nell'area HF2021, dove erano presenti zone umide con segni di scorrimento ed erosione dell'acqua (Figura 5.4).

5.1.2 Aree gru a cavo e testata allestitrice

I cantieri utilizzati con il metodo gru a cavo e testata allestitrice sono localizzati a Paneveggio e a San Martino di Castrozza.

Come per le precedenti aree vengono messi a confronto i cantieri per anno di utilizzazione, tra il 2019 e il 2021. I singoli estimatori calcolati per ogni transetto sono stati mediati per ogni cantiere, per avere una situazione media per ciascuna località.

Per il calcolo degli estimatori di ciascuna classe e cantiere sono stati conteggiati tutti gli elementi intersecanti i transetti di rilievo. Il numero di elementi rilevati è indicato nella successiva Tabella 5.4 e Figura 5.5.

Tabella 5.4: Numero di campioni conteggiati per ciascuna classe nei cantieri di gru a cavo e testata allestitrice.

	Classe 1 0 – 6 mm	Classe 2 6 – 25 mm	Classe 3 25 – 76 mm	Classe 4 76 – 203 mm
<i>GRU 2019</i>	2783	302	165	29
<i>GRU 2020</i>	2805	372	185	23
<i>GRU 2021</i>	5390	536	202	39

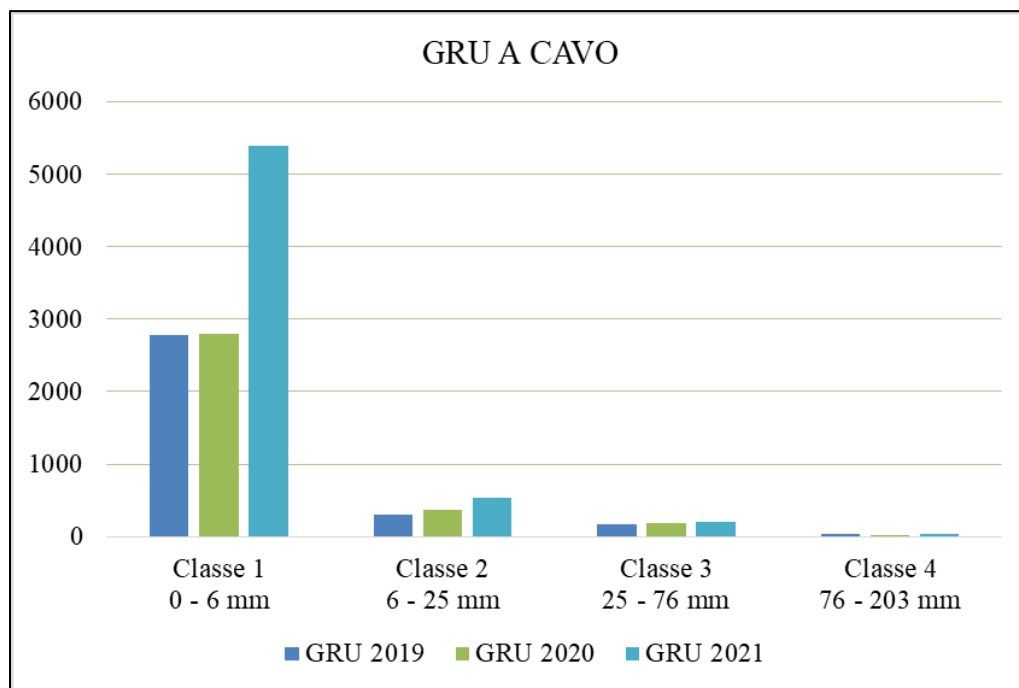


Figura 5.5: Numero di campioni conteggiati per ciascuna classe diametrica nei tre cantieri oggetto di studio.

Nella numerosità di campioni conteggiati è possibile osservare che nel cantiere GRU 2021 sono stati conteggiati un numero maggiore di elementi in tutte le classi diametriche. In campo durante i rilievi era visibile infatti la presenza di una grande quantità di legno morto a terra, come visibile in Figura 5.6. Di conseguenza anche i valori degli estimatori sono poi risultati maggiori di quelli degli altri cantieri.



Figura 5.6: Cantiere di gru a cavo 2021 con una grande quantità di biomassa a terra e con visibile il corridoio di esbosco della gru a cavo.

Gli estimatori di ciascun cantiere calcolati con il metodo di Brown (1974) sono riassunti nella tabella e nel grafico seguenti:

Tabella 5.5: Valori medi di volume (m³/ha) di legno morto osservati per ciascuna classe diametrica in ogni cantiere.

	GRU 2019		GRU 2020		GRU 2021	
	Estimatore m ³ /ha	Dev.st.	Estimatore m ³ /ha	Dev.st.	Estimatore m ³ /ha	Dev.st.
<i>Classe 1</i>	6,219	2,76	6,747	3,13	15,200	8,07
<i>Classe 2</i>	16,340	5,90	24,369	11,77	35,756	16,06
<i>Classe 3</i>	30,563	23,75	31,840	12,26	37,201	19,15
<i>Classe 4</i>	34,449	17,20	26,637	21,23	49,276	31,80

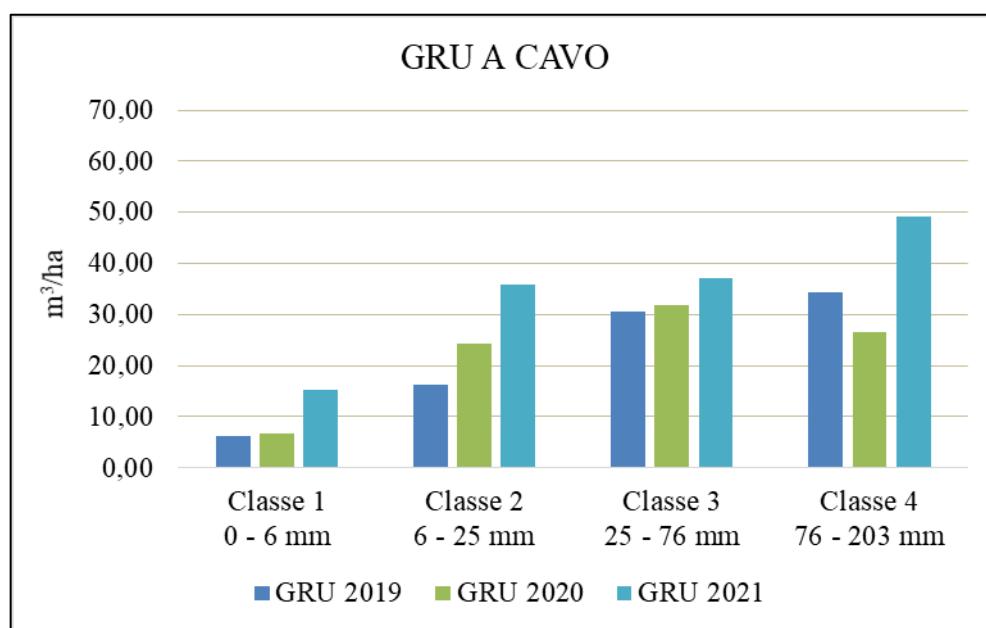


Figura 5.7: Confronto fra i volumi di legno morto di ciascuna classe diametrica dei cantieri di gru a cavo e testata allestitrice.

Come possiamo osservare dal grafico in Figura 5.7 e dalla Tabella 5.5, nei cantieri utilizzati con gru a cavo e testata allestitrice non c'è una classe di DW che prevale nettamente sulle altre.

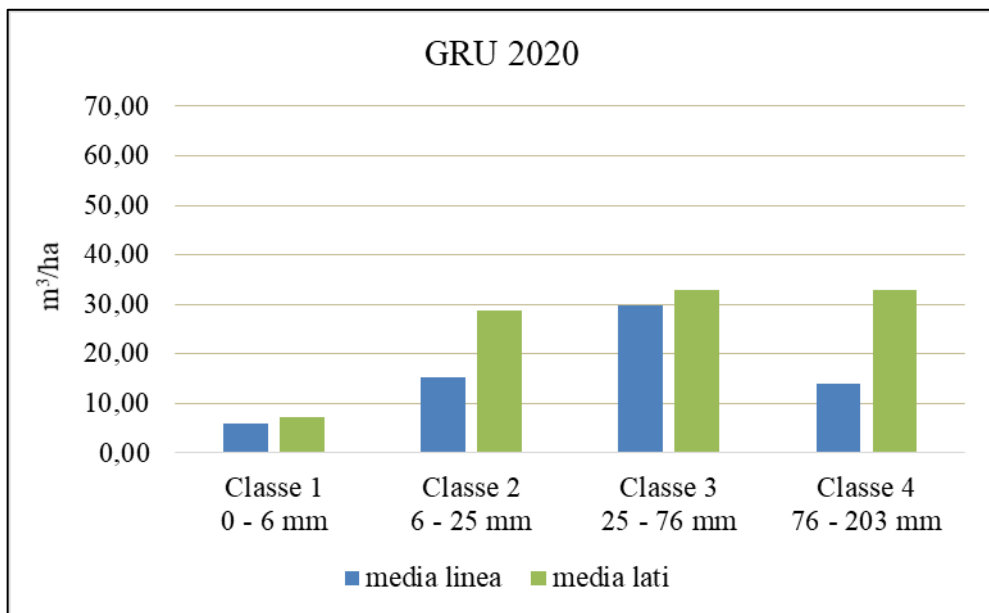
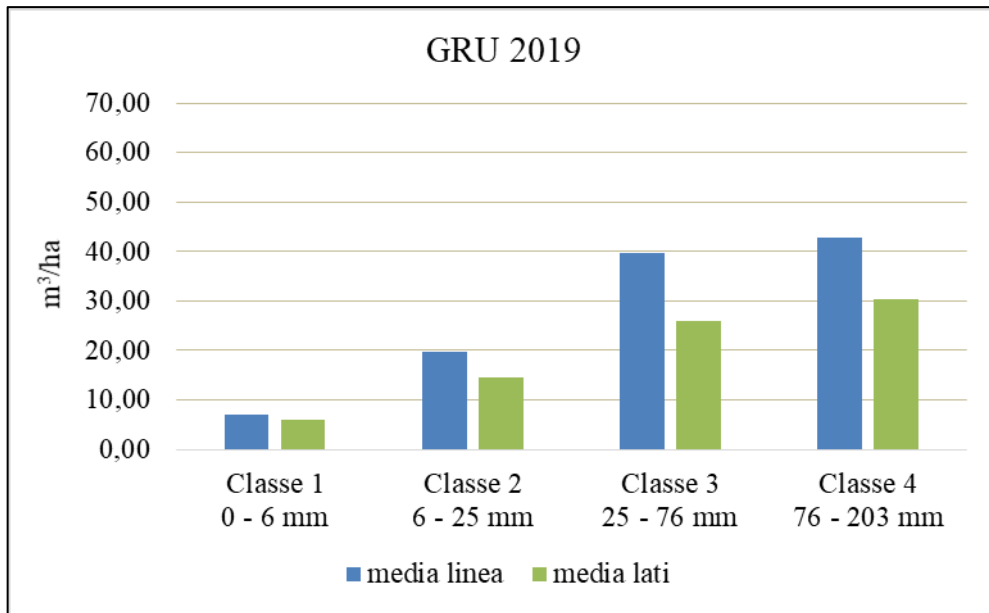
La classe più consistente nei cantieri GRU 2019 e 2021 è la quarta, mentre nel cantiere GRU 2020 è la terza, a differenza di quanto emerso in quelli utilizzati con *harvester* e *forwarder* dove in tutti e tre i cantieri la classe predominante era la terza.

Si può notare una tendenza generale all'aumento del DW di tutte le classi all'aumentare del tempo intercorso tra gli schianti e l'utilizzazione.

Come per l'*harvester* e *forwarder* anche per i cantieri utilizzati con il metodo gru a cavo e testata allestitrice viene eseguito un confronto fra le diverse aree all'interno del cantiere. Si dividono infatti i transetti effettuati sotto le linee di esbosco da quelli effettuati nelle fasce laterali. In questo modo è possibile osservare la concentrazione di materiale nelle diverse zone dei cantieri.

Tabella 5.6: *Estimatori (m³/ha) del legno morto per ciascun cantiere suddivisi fra sottostanti la linea di esbosco e laterali.*

	Classe 1		Classe 2		Classe 3		Classe 4	
	0 – 6 mm		6 – 25 mm		25 – 76 mm		76 – 203 mm	
	Linea	Lati	Linea	Lati	Linea	Lati	Linea	Lati
	m ³ /ha	m ³ /ha	m ³ /ha	m ³ /ha	m ³ /ha	m ³ /ha	m ³ /ha	m ³ /ha
<i>GRU</i> <i>2019</i>	6,917	5,870	19,677	14,671	39,760	25,965	42,775	30,287
<i>GRU</i> <i>2020</i>	5,827	7,207	15,357	28,875	29,823	32,848	13,891	33,010
<i>GRU</i> <i>2021</i>	11,021	17,290	28,061	39,603	49,729	30,938	44,864	51,482



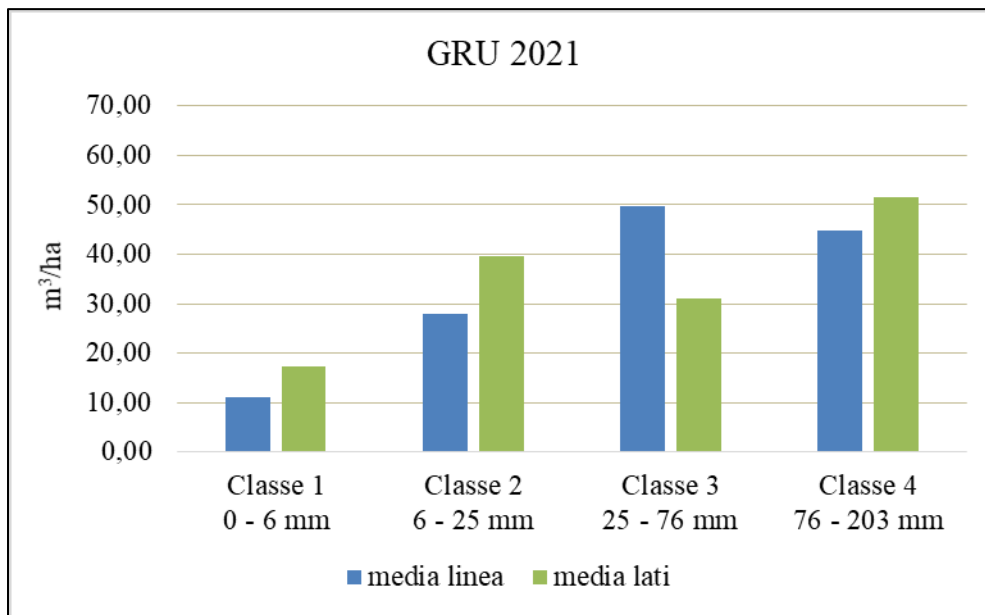


Figura 5.8: Confronto tra ogni cantiere dei valori medi degli estimatori delle classi relative a pista d'esbosco e laterali.

Osservando i dati raccolti è possibile notare come la concentrazione di legno morto abbia una distribuzione disomogenea tra i diversi cantieri. Nel 2019 è possibile notare che la quantità di biomassa per ogni classe è sempre maggiore sotto la linea di esbosco e che aumenta all'aumentare della classe. Nel cantiere dell'anno successivo, al contrario, sono presenti estimatori maggiori ai lati anziché sotto la linea. Nel cantiere del 2021 invece la quantità di legno morto è maggiore ai lati per quanto riguarda le classi 1, 2 e 4 e maggiore sotto la linea per la classe 3.

Nel cantiere GRU 2021 si osservano valori di biomassa maggiori rispetto alle altre annate.

Un fattore importante che deve essere considerato al fine di comprendere la distribuzione e la quantità di materiale rimasto in bosco in seguito ad utilizzazione è la naturale degradazione delle piante atterrate.

Come è possibile notare in Tabella 5.5, la quantità di materiale presente a seguito di utilizzazione nel 2019, quando lo stato di degradazione delle piante era pressoché nullo, risulta essere minore e pertanto paragonabile ad utilizzazioni ordinarie condotte con metodo FTS. Questa tecnica comporta la quasi totale asportazione della ramaglia dal bosco, compresi i cimali. Negli anni successivi, con il disseccamento delle piante e la loro degradazione, è possibile osservare un aumento della biomassa in bosco. L'aumento della quantità di materiale è imputabile alla maggior predisposizione alla rottura dei rami secchi rispetto a quelli verdi a causa della perdita di elasticità dovuta al disseccamento. Pertanto gli urti conseguenti al

trascinamento nelle fasi di concentramento ed esbosco del materiale causano la perdita di rami e rametti. Il livello di degradazione del legno ha un'influenza maggiore nei cantieri utilizzati con gru a cavo rispetto a quelli utilizzati con *harvester* e *forwarder*. Con quest'ultimo metodo, infatti, si procede all'esbosco del solo tronco lasciando la ramaglia e i cimali al suolo anche in condizioni ordinarie.

Un'ulteriore differenza del sistema gru a cavo e testata allestitrice è data dal fatto che un operatore aggancia manualmente gli alberi da esboscare al carrello. Questo solitamente consente di effettuare una cernita del materiale da agganciare, rilasciando in bosco quello non commerciabile.

A seguito delle considerazioni sopra riportate, risulta poco attendibile un'analisi della distribuzione e localizzazione del materiale nelle aree oggetto di studio come eseguita al capitolo 4.2 per *harvester* e *forwarder*.

5.1.3 Confronto tra le tipologie di esbosco

Tenendo conto delle considerazioni effettuate nei capitoli precedenti riguardanti i singoli metodi di esbosco, si procederà con il confronto dei cantieri per ciascuna delle annate di utilizzazione per verificare se le differenze sono o meno significative. Questa comparazione viene effettuata per verificare se le differenze nella quantità di legno residuo nei cantieri di ciascun anno dipenda dal metodo di esbosco o sia casuale. Per fare questo viene eseguito il test *Mann-Whitney U* per campioni indipendenti con un indice di accuratezza del 5% ($\alpha=0,05$). L'ipotesi nulla H_0 di questo metodo è che i due campioni siano estratti dalla stessa popolazione e pertanto che le loro distribuzioni di probabilità siano uguali. L'ipotesi alternativa H_a è invece che i due campioni provengano da popolazioni diverse e che quindi le differenze siano imputabili al diverso metodo di esbosco. L'ipotesi nulla viene accettata quando il *p-value* è maggiore ad α .

Cantieri 2019

I cantieri del 2019 sono situati in località *Bocche* a Paneveggio (HF) e in località *Bosch de la cesa* a San Martino di Castrozza (GRU). Nella Tabella 5.7 e nel grafico (Figura 5.9) è possibile osservare il confronto tra gli estimatori di ciascuna classe tra i due cantieri.

Tabella 5.7: Confronto tra gli estimatori delle diverse classi diametriche tra i cantieri del 2019.

	Classe 1 0 – 6 mm	Classe 2 6 – 25 mm	Classe 3 25 – 76 mm	Classe 4 76 – 203 mm
<i>HF2019</i>	4,07	22,20	43,93	29,57
<i>GRU2019</i>	6,22	16,34	30,56	34,45

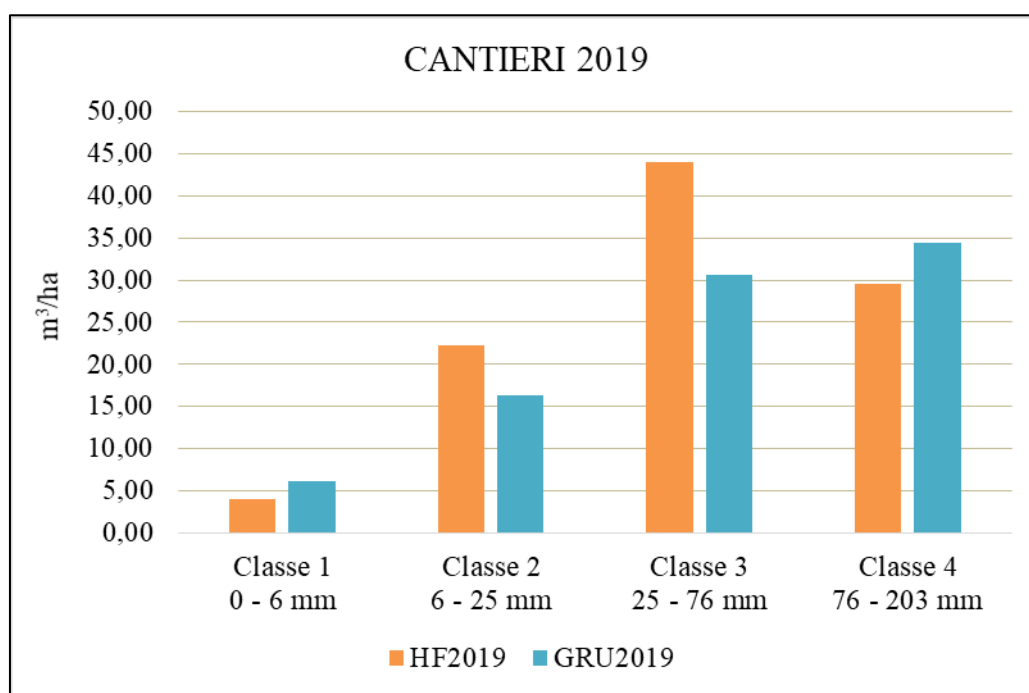


Figura 5.9: Confronto degli estimatori di ciascuna classe diametrica tra i due cantieri del 2019.

Come è possibile notare, le differenze tra i due cantieri sono piuttosto marcate, soprattutto nella classe 1 e nella classe 3, con differenze di circa il 50% fra gli estimatori.

Da un punto di vista statistico sono riassunti nella tabella seguente i valori di *p-value* forniti dal test da confrontare con l'indice α .

Tabella 5.8: Valori di *p-value* ricavati dai test di Mann-Whitney per l'anno 2019.

	α	<i>p-value</i>
<i>Classe 1</i>	0,05	0,0503
<i>Classe 2</i>	0,05	0,1903
<i>Classe 3</i>	0,05	0,1135
<i>Classe 4</i>	0,05	0,4236

Come possiamo osservare nella Tabella 5.8 il *p-value* è maggiore a 0,05 in tutte le classi. Questo ci permette di accettare l'ipotesi nulla e di dire quindi che non ci sono differenze significative tra gli estimatori dei due cantieri del 2019.

Cantieri 2020

I cantieri utilizzati nel corso del 2020 sono situati in località *Slavini alti* a Cadino (HF) e in località *Campedelotti* a Paneveggio (GRU). Nella Tabella 5.9 e nel grafico in Figura 5.10 seguenti è possibile analizzare i valori degli estimatori di ciascuna classe dei due cantieri.

Tabella 5.9: Confronto tra gli estimatori delle diverse classi diametriche tra i cantieri del 2020.

	<i>Classe 1</i> 0 – 6 mm	<i>Classe 2</i> 6 – 25 mm	<i>Classe 3</i> 25 – 76 mm	<i>Classe 4</i> 76 – 203 mm
<i>HF2020</i>	5,66	22,81	33,49	19,57
<i>GRU2020</i>	6,75	24,37	31,84	26,64

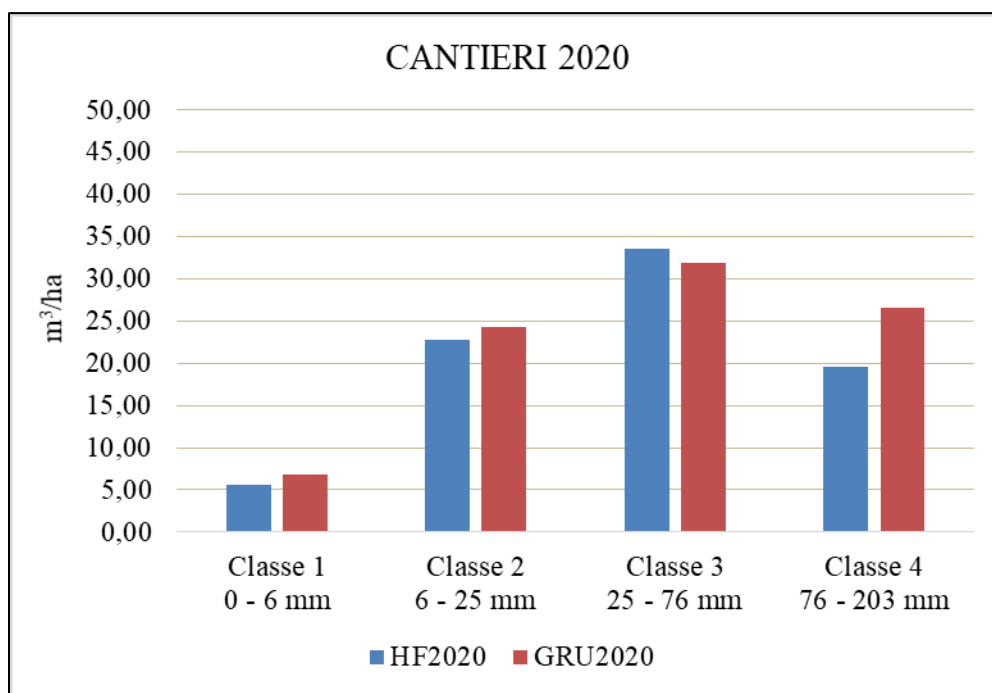


Figura 5.10: Confronto degli estimatori di ciascuna classe diametrica tra i due cantieri del 2020.

Osservando il grafico e i dati in tabella è possibile notare che nei cantieri dell'anno 2020 i valori degli estimatori tra *harvester* e *forwarder* e gru a cavo si discostano meno rispetto all'anno precedente. Infatti la differenza più importante si ha per la classe 4 ed è circa del 25%.

Tabella 5.10: Valori di *p-value* ricavati dal test di Mann-Whitney per l'anno 2020.

	α	<i>p-value</i>
Classe 1	0,05	0,6048
Classe 2	0,05	0,9314
Classe 3	0,05	0,3401
Classe 4	0,05	0,2805

Anche nei cantieri di questo anno il *p-value* risulta essere sempre maggiore ad α , come è possibile vedere in Tabella 5.10. I valori sono inoltre tendenzialmente maggiori, ad indicare quindi una maggior omogeneità dei campioni. Possiamo pertanto accettare l'ipotesi H_0 e dire che non ci sono differenze significative tra i due cantieri e che quindi i campioni appartengono alla stessa popolazione.

Cantieri 2021

Gli ultimi cantieri utilizzati nel corso del 2021 sono situati in località *Campivolo di Catarinello* a Cadino (HF) e in località *Sorgenti Cavallazza* a San Martino di Castrozza (GRU). In Tabella 5.11 e nel grafico in Figura 5.11 sono riassunti e confrontati i dati relativi ai cantieri del 2021.

Tabella 5.11: Confronto tra gli estimatori delle diverse classi diametriche tra i cantieri del 2021.

	Classe 1 0 – 6 mm	Classe 2 6 – 25 mm	Classe 3 25 – 76 mm	Classe 4 76 – 203 mm
<i>HF2021</i>	4,39	17,45	24,17	21,96
<i>GRU2021</i>	15,20	35,76	37,20	49,28

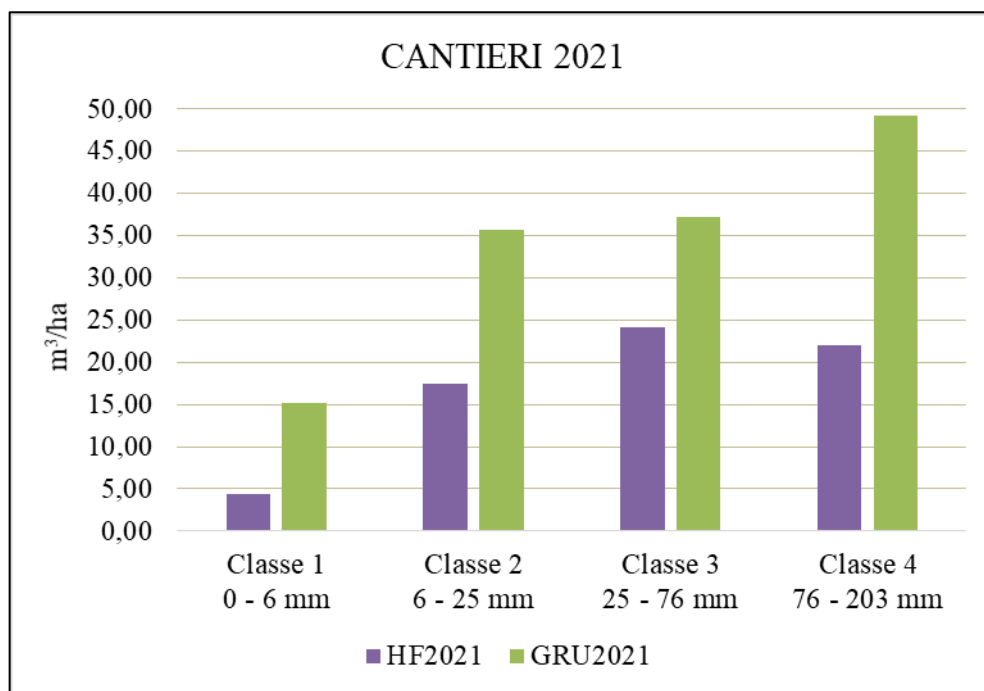


Figura 5.11: Confronto degli estimatori di ciascuna classe diametrica tra i due cantieri del 2021.

Nei cantieri del 2021 possiamo osservare che gli estimatori del cantiere di gru a cavo sono maggiori a quelli del cantiere *harvester e forwarder*. Ad esempio nella classe 4 la differenza è maggiore del 100%.

Tabella 5.12: Valori di p -value ricavati dai test di Mann-Whitney per l'anno 2021.

	α	p -value
Classe 1	0,05	0,0012
Classe 2	0,05	0,0056
Classe 3	0,05	0,1135
Classe 4	0,05	0,0106

I cantieri del 2021 si differenziano da quelli degli altri anni. Infatti i valori di p -value riportati in Tabella 5.12 sono minori del valore di α in 3 classi su 4. Per queste si può dire che la differenza tra gli estimatori dei due cantieri è significativa ed è quindi dovuta alla differente modalità di esbosco. Per la classe 3 invece il p -value calcolato è maggiore di α , anche se di poco, e quindi per essa si può accettare l'ipotesi H_0 .

5.2 Stima del legno morto della classe 5

Per il legno morto rilevato avente diametro maggiore di 203 mm (Classe 5) le stime sono state eseguite con il metodo di Van Wagner (1968). La scelta di considerare questi elementi in modo indipendente è dovuta principalmente al fatto che in situazioni ordinarie corrisponderebbero ad assortimenti commerciali che verrebbero esboscati. È probabile che la loro presenza a seguito dell'utilizzazione sia dovuta quasi esclusivamente al fatto che i cantieri riguardano boschi disturbati. Infatti molto spesso questi elementi sono topi lasciati attaccati alla ceppaia sradicata per evitarne il ribaltamento oppure topi con un'estremità spezzata e quindi non adatti ad essere lavorati.

Inoltre, anche le funzioni ecologiche ed ecosistemiche si differenziano tra le due tipologie di legno morto. Gli elementi di diametro maggiore, infatti, danno un contributo più importante per la formazione di microhabitat (Frank et al., 1979) e per la facilitazione della rinnovazione post disturbo (Bottero et al., 2013; Priewasser et al., 2013), mentre le classi minori danno un maggior contributo per quanto riguarda l'apporto di sostanze nutritive (Bessaad et al., 2021).

Sui dati ottenuti si verificherà con il test di Mann-Whitney U se le differenze quantitative tra l'esbosco con *harvester* e *forwarder* e l'esbosco con gru a cavo per ogni anno sono

statisticamente significative o se sono dovute al caso. Anche in questo caso l'intervallo di incertezza utilizzato è del 5% ($\alpha=0,05$).

Il valore degli estimatori della biomassa sono stati calcolati per ogni transetto e poi mediati all'interno del singolo cantiere. I dati così ottenuti sono riassunti in Tabella 5.13 e nel grafico in Figura 5.12.

Tabella 5.13: Valori degli estimatori in m^3 calcolati per ogni cantiere per la biomassa con diametro maggiore a 203 mm.

	<i>HF</i>	<i>GRU</i>
2019	64,61	23,90
2020	73,96	64,97
2021	116,47	49,90

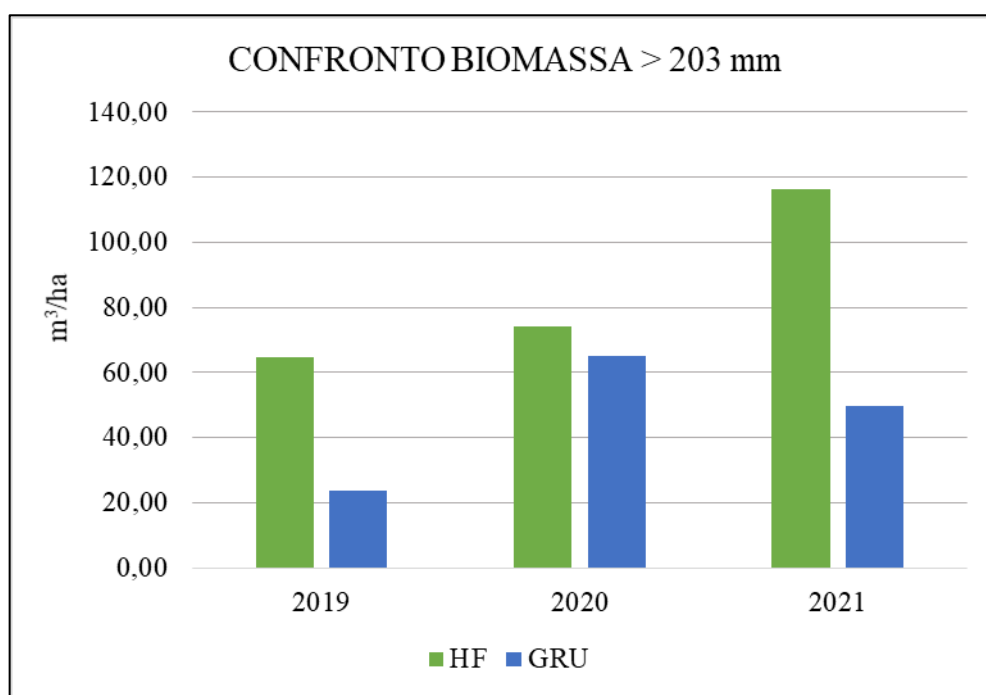


Figura 5.12: Confronto fra gli estimatori di ogni cantiere per ogni anno di utilizzazione.

Come si osserva dai risultati ottenuti, la quantità volumetrica ad ettaro di elementi con diametro maggiore a 203 mm è sempre maggiore nei cantieri di *harvester e forwarder*. Questo può essere dovuto al fatto che in fase di allestimento con l'harvester l'operatore seziona i tronchi in modo da esboscare solo il legname di qualità. Al contrario, con l'esbosco con la gru a cavo l'operatore aggancia la pianta intera, pertanto anche le parti con difetti vengono portate fuori dal bosco.

Questa differenza può essere variabile, quindi, in funzione della quantità di alberi stroncati o con le ceppaie sradicate, ma ancora integri.

Per verificare se la differenza in ogni anno è effettivamente dovuta al metodo di esbosco e non al caso, si esegue il test di *Mann-Whitney U*, confrontando i cantieri utilizzati con sistemi differenti per ogni anno.

Tabella 5.14: Valori di p-value ricavati dal confronto degli estimatori dei due cantieri di ogni anno.

<i>Anno di esbosco</i>	<i>p-value</i>
2019	0,8100
2020	0,7967
2021	0,1455

Come possiamo osservare dai dati riportati in Tabella 5.14 il valore di *p-value* è sempre maggiore a 0,05, pertanto non c'è una differenza statisticamente significativa tra le due popolazioni. Le differenze, in particolare nel 2019 e nel 2020, sono dovute ad altri fattori.

La biomassa calcolata in questo capitolo è per gran parte quella che si perde a causa dell'utilizzazione straordinaria. Infatti, come riportato sopra, questi elementi sono in gran parte topi che non possono essere utilizzati perché spezzati o necessari ad evitare il ribaltamento della ceppaia.

5.3 Analisi dei nutrienti e dello stock di carbonio

Al fine di valutare la quantità di elementi nutritivi e di carbonio stoccati nel suolo e nella biomassa di boschi disturbati sono state condotte delle analisi su campioni prelevati nelle zone di studio. I dati ottenuti riguardano una situazione media a circa 3 anni dagli schianti.

5.3.1 Suolo

Le analisi del suolo organico sono state eseguite per ciascuna foresta Demaniale. I risultati delle analisi sulla quantità dei principali elementi del suolo sono riassunti in Tabella 5.15.

Tabella 5.15: Analisi del suolo relative a campioni prelevati dai cantieri oggetto di studio.

<i>Elemento</i>		<i>Paneveggio</i>	<i>San Martino</i>	<i>Cadino</i>
<i>N</i>	g/kg ss	7,35	9,41	5,20
<i>C organico</i>	g/kg ss	127,47	186,99	86,51
<i>Ca</i>	mg/kg ss	3577,62	2054,58	1299,39
<i>Fe</i>	mg/kg ss	20637,05	22152,22	15272,03
<i>K</i>	mg/kg ss	4677,20	4794,01	3349,72
<i>Mg</i>	mg/kg ss	4294,74	3821,68	1991,27
<i>Mn</i>	mg/kg ss	455,77	267,18	201,66
<i>P</i>	mg/kg ss	395,21	576,63	384,75

Come possiamo osservare, la concentrazione dei diversi elementi varia anche considerevolmente da una località all'altra. Ad esempio, per la concentrazione di C organico tra la foresta di Cadino e quella di San Martino di Castrozza c'è una differenza di quasi 100 g/Kg ss. Anche per gli altri elementi possiamo rilevare che le concentrazioni sono inferiori nella foresta di Cadino rispetto alle altre due. Tra Paneveggio e San Martino invece le differenze sono minori, alcuni elementi sono presenti in maggior quantità nella prima (Ca, Mg, Mn) ed altri nella seconda (N, C, Fe, K, P).

Dalla concentrazione di carbonio organico è quindi possibile calcolare la densità apparente dei suoli utilizzando la pedofunzione di Hollis e Wood (1989). Da questo valore, ipotizzando uno

spessore potenziale di 10 cm, è poi possibile risalire alla quantità di carbonio organico (SOC) stoccato nel suolo. Nella Tabella 5.16 sono riassunti i valori di SOC.

Tabella 5.16: SOC stock potenziale di carbonio organico (Mg/ha) con profondità di suolo di 10 cm.

FORESTA	SOC Mg/ha
<i>Paneveggio</i>	63
<i>San Martino</i>	85
<i>Cadino</i>	45

Ipotizzando quindi il suolo organico con una profondità di 10 cm abbiamo valori con differenze rilevanti, in quanto a Cadino c'è quasi il 50% in meno di SOC rispetto a San Martino di Castrozza, la località con il contenuto maggiore.

5.3.2 Legno morto

Le analisi sulla biomassa sono invece state eseguite suddividendo i campioni per classe diametriche e non per località. In questo caso, la classe 4 è stata riunita alla classe 5 in modo da raggruppare tutta la biomassa che riguarda il CWD.

Tabella 5.17: Risultati delle analisi dei nutrienti contenuti nella biomassa.

		Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4-5
		0 - 6 mm	6 - 25 mm	25 - 76 mm	>76 mm
<i>N</i>	g/kg ss	10,86	4,05	3,92	4,30
<i>C</i>	g/kg ss	559,76	533,15	530,75	518,51
<i>Ca</i>	mg/kg ss	6566,98	3197,47	3525,09	1227,86
<i>Fe</i>	mg/kg ss	300,73	81,71	24,21	46,23
<i>K</i>	mg/kg ss	1306,38	332,58	512,07	365,57
<i>Mg</i>	mg/kg ss	616,37	325,67	207,80	123,72
<i>Mn</i>	mg/kg ss	310,38	163,82	128,02	64,28
<i>P</i>	mg/kg ss	666,34	108,56	84,60	50,79

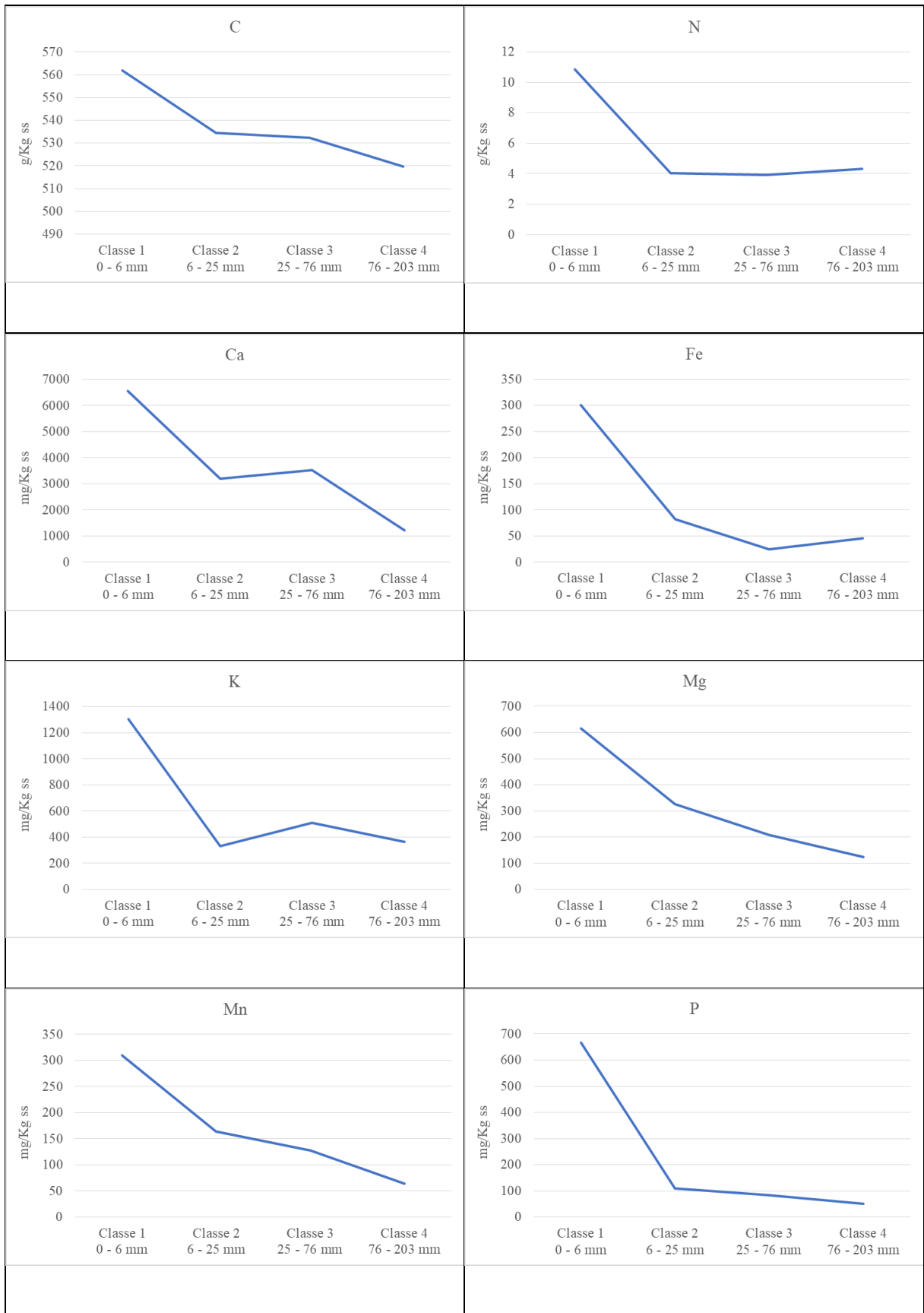


Figura 5.13: Concentrazione degli elementi contenuti nelle diverse classi di legno morto.

Come è possibile osservare dai grafici in Figura 5.13 e in Tabella 5.17, la concentrazione di elementi nei campioni prelevati tende a diminuire all'aumentare del diametro della classe. Infatti la concentrazione di tutti gli elementi (C, N, Ca, Fe, K, Mg, Mn, P) è sempre maggiore nella prima classe. Quasi tutti hanno un minimo di concentrazione nella classe diametrica più grande, ad esclusione di N e Fe che lo hanno nella classe 3 e K che lo ha nella classe 2. Dato che una buona parte degli elementi nutritivi sono contenuti nella corteccia, essa sarà in proporzione sempre minore rispetto al legno all'aumentare del diametro degli elementi e questo giustifica la tendenza sopra riscontrata.

Un approfondimento riguarda il calcolo del carbonio stoccato (SOC) nella biomassa a terra. I valori di CWD ricavati sommando gli estimatori della quarta e quinta classe di ciascun cantiere sono riassunti nella Tabella 5.18.

Considerando una densità del legno secco di abete rosso pari a 410 kg/m^3 , è stato eseguito il calcolo della biomassa ad ettaro in termini di massa. Da questa è stato possibile risalire al SOC ad ettaro per ogni cantiere.

Tabella 5.18: SOC stock di carbonio contenuto nel CWD in ogni cantiere oggetto di rilievi.

Cantiere	CWD (m³/ha)	CWD ss (Mg/ha)	SOC (Mg/ha)
<i>HF 2019</i>	94,18	38,62	20
<i>HF 2020</i>	93,53	38,35	20
<i>HF 2021</i>	138,43	56,76	29
<i>GRU 2019</i>	58,35	23,92	12
<i>GRU 2020</i>	91,61	37,56	19
<i>GRU 2021</i>	99,18	40,66	21

Osservando la Tabella 5.18 è possibile osservare che in quattro cantieri su sei la quantità di carbonio organico stoccata nel CWD è circa la stessa. Solo in due cantieri si discosta

sensibilmente, ovvero nel cantiere HF 2021 dove ne abbiamo circa un 50% in più e nel cantiere GRU 2019 con un 40% in meno.

Nello studio di Petrillo et al. (2015) è stato calcolato lo stock di carbonio organico nel CWD in alcuni siti della Val di Rabbi (TN) in boschi non danneggiati. I valori osservati variano da un minimo di 3 Mg/ha ad un massimo di 17 Mg/ha. I valori di SOC maggiori riscontrati nelle aree schiantate non sono imputabili ad una variazione del contenuto percentuale di carbonio, bensì ad un maggior quantitativo di legno morto al suolo.

Se invece consideriamo il carbonio complessivo della componente vegetale (alberi in piedi, legno morto, ecc.) in un bosco non disturbato i valori di SOC risultano sicuramente maggiori rispetto ad un bosco schiantato ed utilizzato.

6 Conclusioni

Lo studio condotto ha avuto lo scopo di effettuare una stima della quantità di legno morto rilasciato a seguito dell'utilizzazione di schianti causati dalla tempesta Vaia nel 2018. Sono stati effettuati dei confronti tra due modalità di esbosco che più frequentemente vengono adottate per l'utilizzazione di grandi quantità di legname, ovvero il sistema *harvester e forwarder (HF)* e *gru a cavo e testata allestitrice (GRU)*.

Dai risultati ottenuti si è quindi potuto osservare come nei cantieri utilizzati con il sistema HF mediamente siano presenti volumi inferiori di legno morto appartenenti alla prima, seconda e quarta classe, con valori di 4,70 m³/ha per la prima, di 20,82 m³/ha per la seconda e di 23,70 m³/ha per la quarta.

Nei cantieri utilizzati con il sistema GRU i valori medi di queste classi sono rispettivamente di 9,39 m³/ha, 25,49 m³/ha e di 36,79 m³/ha. La differenza relativa alle prime due classi è imputabile alla maggior interferenza che ha il passaggio dei mezzi forestali come harvester e forwarder all'interno del bosco rispetto alla gru a cavo. Infatti il transito dei mezzi causa un rimescolamento del suolo che può incorporare il legno morto delle classi più piccole, impedendone il corretto conteggio nelle fasi di rilievo.

Per quanto riguarda invece le rimanenti due classi i valori sono molto simili per la terza con 33,86 m³/ha per HF e 33,20 m³/ha per GRU, mentre per la quinta abbiamo un valore medio molto maggiore nei cantieri utilizzati con HF con 85,01 m³/ha rispetto ai 46,26 del sistema GRU. Questa differenza si presume possa essere causata dal fatto che nell'utilizzazione con il metodo *SWS* con *harvester* l'operatore esegue l'allestimento in bosco, scartando fin da subito eventuali topi non idonei al commercio. Nel sistema con gru a cavo e testata allestitrice l'utilizzazione e la cernita del materiale viene condotta principalmente nella piazzola di scarico; con l'esbosco *FTS* inoltre si ha l'asportazione dal bosco del cimale che con sistema *SWS* viene lasciato in bosco.

Analizzando le differenze tra i cantieri dello stesso anno di utilizzazione è possibile osservare che le differenze non sono statisticamente significative per tutte le classi per gli anni 2019 e 2020, mentre nel 2021 nelle classi 1, 2 e 4 è possibile osservare una differenza statisticamente significativa adottando un grado di confidenza del 95%. Pertanto generalmente la quantità di legno morto a seguito dell'utilizzazione di boschi schiantati non è influenzata dal sistema di esbosco, ma da altri fattori legati alle caratteristiche del popolamento e all'utilizzazione.

Un aspetto da evidenziare è che, nonostante i diversi cantieri siano utilizzati con gli stessi macchinari, le ditte utilizzatrici erano diverse; questo può avere avuto delle ripercussioni sulla quantità e sulla distribuzione della biomassa rilasciata in bosco a causa delle differenti modalità di lavoro che possono esserci state.

L'importanza del legno morto è stata confermata da numerosi studi; tuttavia è difficile individuare delle linee guida sul rilascio di esso durante le utilizzazioni (Müller e Bütler, 2010) e in Italia non ci sono indicazioni a riguardo. I benefici dati da legno morto sono molteplici, sia relativamente alla biodiversità (Motta et al. 2018, Müller and Bütler, 2010) sia per quanto riguarda lo stock di carbonio (SOC), fattore sempre più importante in un'ottica di Climate-Smart Forestry (CSF) (Bowditch et al., 2020). In questo elaborato è stata calcolata infatti la quantità di carbonio immagazzinata nel CWD di ogni cantiere. In tutti e sei i cantieri analizzati i risultati variano tra 12 e 29 Mg/ha di carbonio organico stoccato. In quattro cantieri i valori riscontrati ricadono in un intervallo compreso tra 19 e 21 Mg/ha; questi valori sono generalmente molto maggiori rispetto a quelli osservati da Petrillo et al. (2015) in boschi non disturbati.

Pur non essendo trascurabile il contenuto di C nel CWD nelle foreste subalpine, risulta essere molto maggiore quello contenuto nel suolo (Petrillo et al., 2015). Dalle analisi effettuate in questo studio sono stati osservati valori di C stoccato nel terreno compresi tra i 45 e gli 85 Mg/ha ipotizzando una profondità pari a 10 cm. Questi valori tuttavia sottostimano la quantità reale in quanto generalmente le aree studiate presentano suoli fertili e profondi (terre brune e podzol).

Come osservato da questo studio, i disturbi da vento sono importanti per l'accumulo di legno morto, anche nel caso in cui gli schianti vengano utilizzati con pratiche di *salvage logging*. Gli effetti del legno morto in foresta faciliteranno, quindi, anche l'insediamento della rinnovazione e con essa la rinascita del bosco (Bottero et al., 2013; Priewasser et al., 2013).

Bibliografia

- Bessaad, A.; Bilger, I.; Korboulewsky, N. “Assessing Biomass Removal and Woody Debris in Whole-Tree Harvesting System: Are the Recommended Levels of Residues Ensured?”. 2021
- Blanc Simone. “Analisi e valutazioni sull’impiego della manodopera e delle macchine nel comparto agro-forestale”. 2010
- Borchert H., Huber C., Göttlein A., Kremer J.. “Nutrient Concentration on Skid Trails under Brush-Mats – Is a Redistribution of Nutrients Possible”. 2015
- Bottero A., Garbarino M., Long N.J., Motta R.. “The interacting ecological effects of large-scale disturbances and salvage logging on montane spruce forest regeneration in the western European Alps”. 2013
- Bowditch E, Santopuoli G, Binder F, del Río M, La Porta N, Kluvankova T, Lesinski J, Motta R, Pach M, Panzacchi P, Pretzsch H, Temperli C, Tonon G, Smith M, Velikova V, Weatherall A & Tognetti R., “What is Climate-Smart Forestry? A definition from a multinational collaborative process focused on mountain regions of Europe”. 2020
- Brown J.K., “Handbook for inventorying downed woody material”. 1974
- Cielo P., Corgnati M., Gottero F., Zanuttini R., “La filiera foresta-legno in Piemonte”. 2004
- Confalonieri M., “La tempesta “Vaia” in Trentino: l’evento, le conseguenze, il ripristino”. 2019
- Corona P., Chirici G., Romano R., Cesaro L.. “Danni da vento: strategie di monitoraggio e gestione forestale”. 2019.
- Dvořák J., Bystrický R., Hošková P., Hrib M., Jarkovská M., Kováč J., Krilek J., Natov P., Natovová L.. “The Use of Harvester Technology in Production Forests”. 2011
- Fabiano F., Marchi E., “Note pratiche sul dimensionamento di gru a cavo forestale.”. 2003
- Frank J. Triska and Kermit Cromack, Jr. “The Role of Wood Debris in Forests and Streams”. 1979
- Hollis J.M., Woods S.M., “The measurement and estimation of saturated soil hydraulic conductivity”. 1989
- Kramer K., Brang P., Bachofen H., Bugmann H., Wohlgemuth T.. “Site factors are more important than salvage logging for tree”. 2014
- Lindenmayer D.B., Noss R.F.. “Salvage logging, ecosystem processes, and biodiversity conservation”. 2006

- Mologni O., Grigolato S., Cavalli R., “Harvesting Systems for Steep Terrain in the Italian Alps: State of the Art and Future Prospects.”. 2016
- Motta R., Ascoli D., Corona P., Marchetti M., Vacchiano G.. “Selvicoltura e schianti da vento. Il caso della “tempesta Vaia””. 2018
- Müller J., Büttler R.. “A review of habitat thresholds for dead wood: a baseline for management recommendations in European forests”. 2010
- Nisbet T., Dutch J., Moffat A.. “Whole - tree harvesting - A guide to good practice”. 1997
- Odasso M., Miori M., Gandolfo C., “I tipi forestali del Trentino”. 2018
- Papais E., Gallo A., Bini C., “Valutazione dello stock di carbonio di suoli forestali del Friuli V.G. (NE Italia)”. 2014
- Petrillo M, Cherubini P, Sartori G, Abiven S, Ascher J, Bertoldi D, Camin F, Barbero A, Larcher R, Egli M., “Decomposition of Norway spruce and European larch coarse woody debris (CWD) in relation to different elevation and exposure in an Alpine setting”. 2015
- Priewasser K. Brang P., Bachofen H., Bugmann H., Wohlgemuth T.. “Impacts of salvage-logging on the status of deadwood after windthrow in Swiss forests”. 2013
- Rizzolo R., “Fuel models development to support spatially-explicit forest fire modelling in eastern italian alps”. 2016
- Samset I., “The Function of cable systems. In: Winch and cable systems”. 1985
- Schindler D., Bauhus J., Mayer H.. “Wind effects on trees”. 2012
- Servizio Foreste e Fauna, Provincia Autonoma di Trento. “Piano d'azione, III aggiornamento”. 2020
- Spinelli R.. “L'harvester in Italia”. 2004
- Spinelli R., Magagnotti N., Picchi G., “Annual use, economic life and residual value of cut-to-length harvesting machines”. 2011
- Van Wagner C.E., “The line intersect method in forest fuel sampling”. 1968
- Wijdeven, S.M.J., Vaessen O.H.B., van Hees A.F.M., Olsthoorn A.F.M., “Volume calculations of coarse woody debris; evaluation of coarse woody debris volume calculations and consequences for coarse woody debris volume estimates in forest reserves”. 2005
- Woodall C., Williams M., “Sampling protocol, estimation, and analysis procedures for the down woody materials indicator of the FIA program”. 2005

ALLEGATI

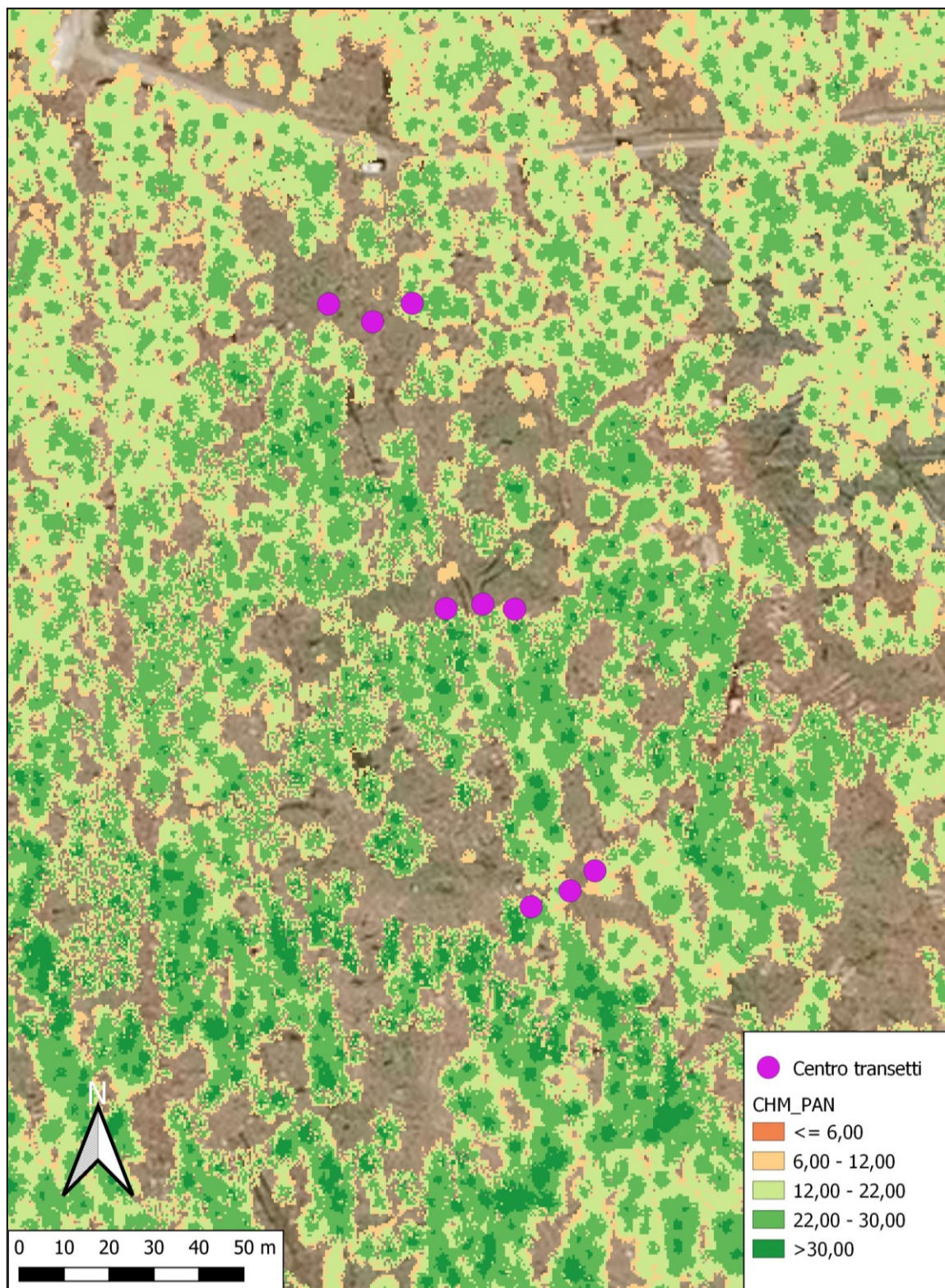
Allegato I: Scheda di campagna utilizzata per i rilievi

Cod. transetto					
Zona:		Data e ora:			
Tipo esbosco:		Anno esbosco:			
Abc area:	N transetto:	Rif.linea esb.:	Dist.linea esb.:		
Azimut:	Pendenza:	<input type="checkbox"/> GPS <input type="checkbox"/> foto monte/valle			
N. classe 1 (<0.6cm)	Elementi >20.3cm				
	tipo	Dsup	Dinf	L	
N. classe 2 (0.6-2.5cm)					
N. classe 3 (2.5-7.6cm)	H duff	H-cop. lettiera	H-cop. residui	H-cop. erba	H-cop. arbusti
N. classe 4 (7.6-20.3cm)	Note (decomposizione, presenza massi ecc):				

Allegato II: cartografia con CHM delle aree di studio

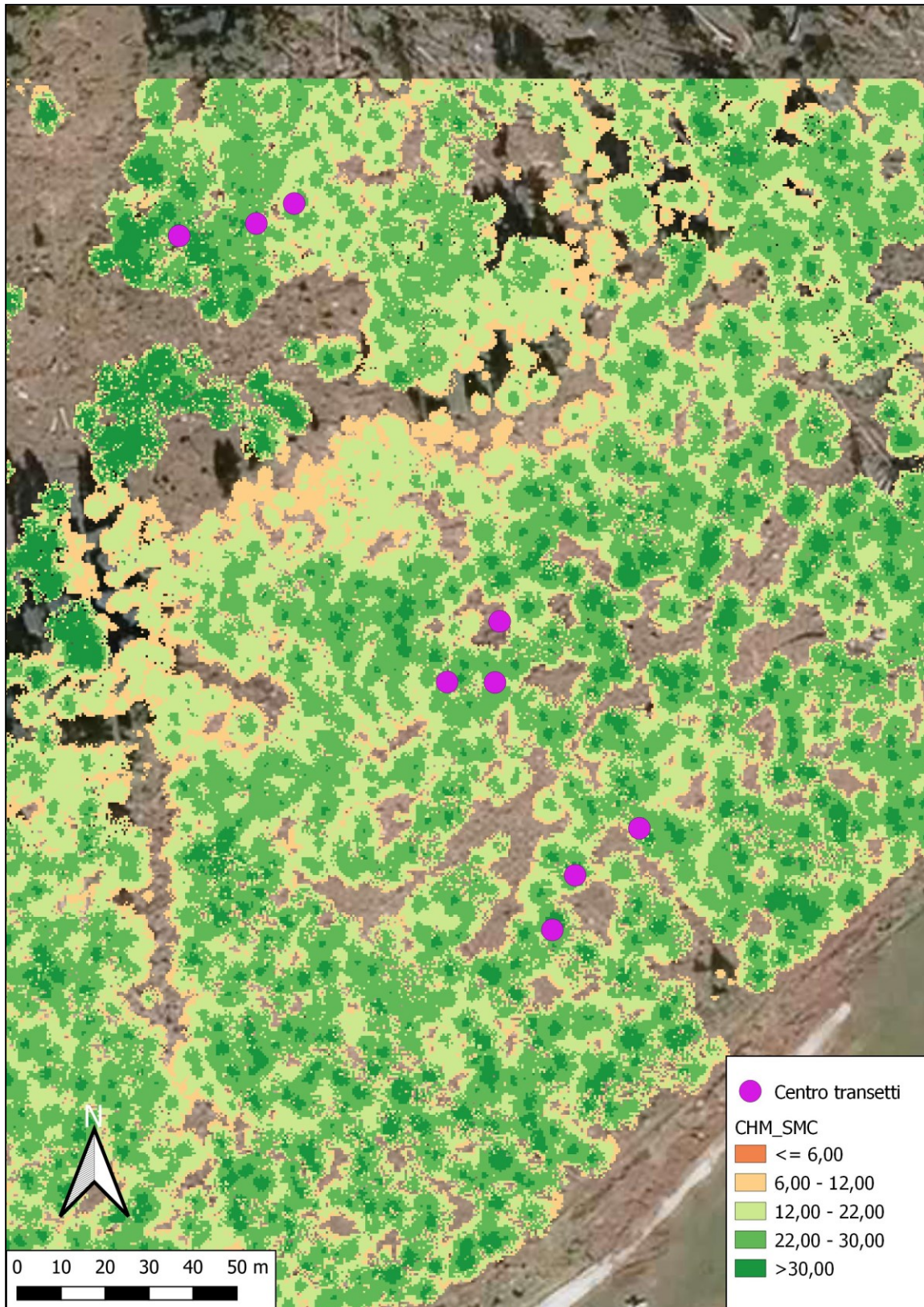
○ AREA HF2019 – Costa Bocche – Paneveggio

Cartografia in cui è possibile osservare una copertura lacunosa in alcune zone e con altezza della copertura inferiore nella parte più a nord.



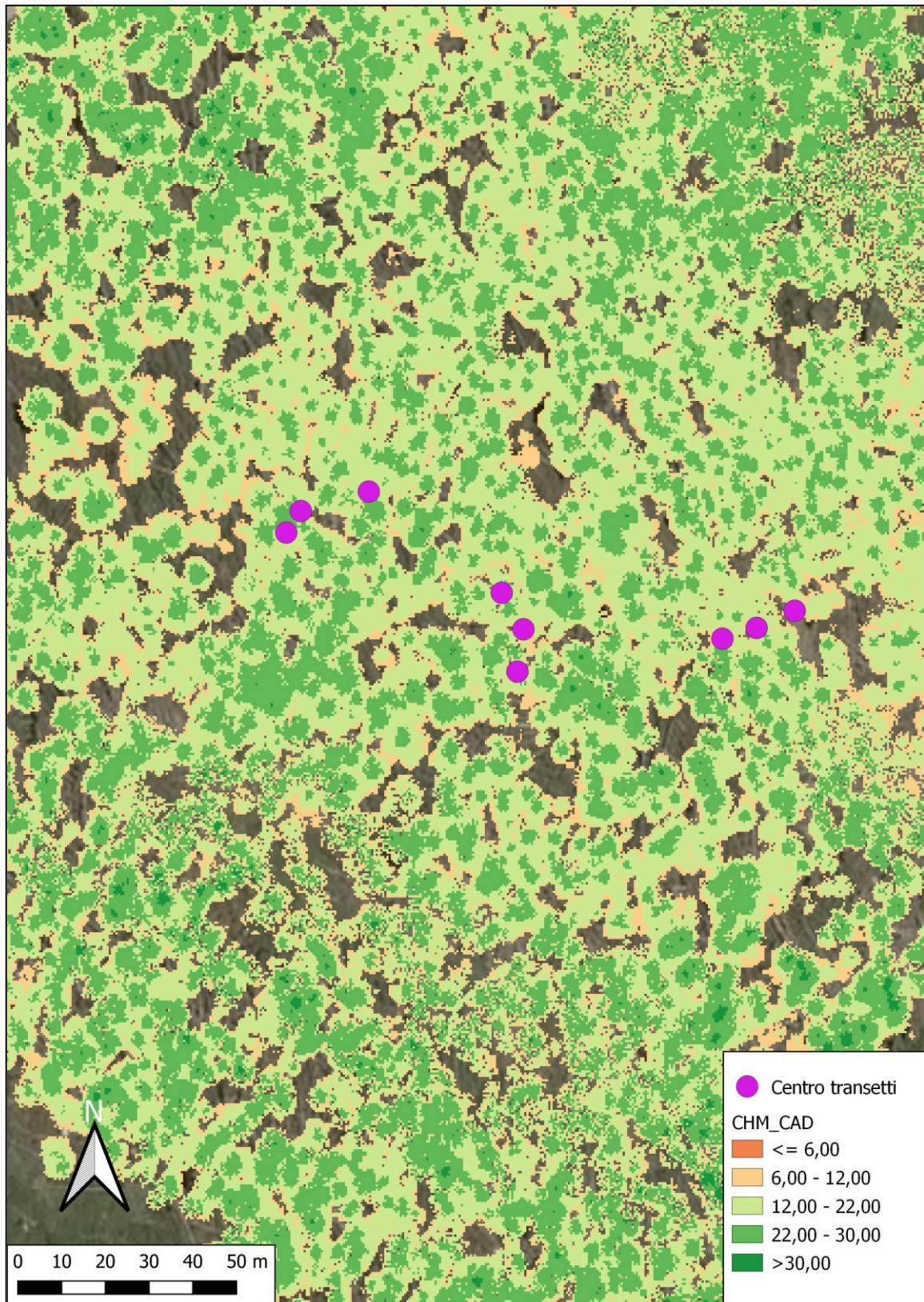
○ AREA GRU2019 – Bosch de la Cesa – San Martino di Castrozza

Area con una copertura più colma rispetto alla precedente e con altezze degli alberi generalmente superiori a 30 metri, soprattutto nelle zone di rilievo.



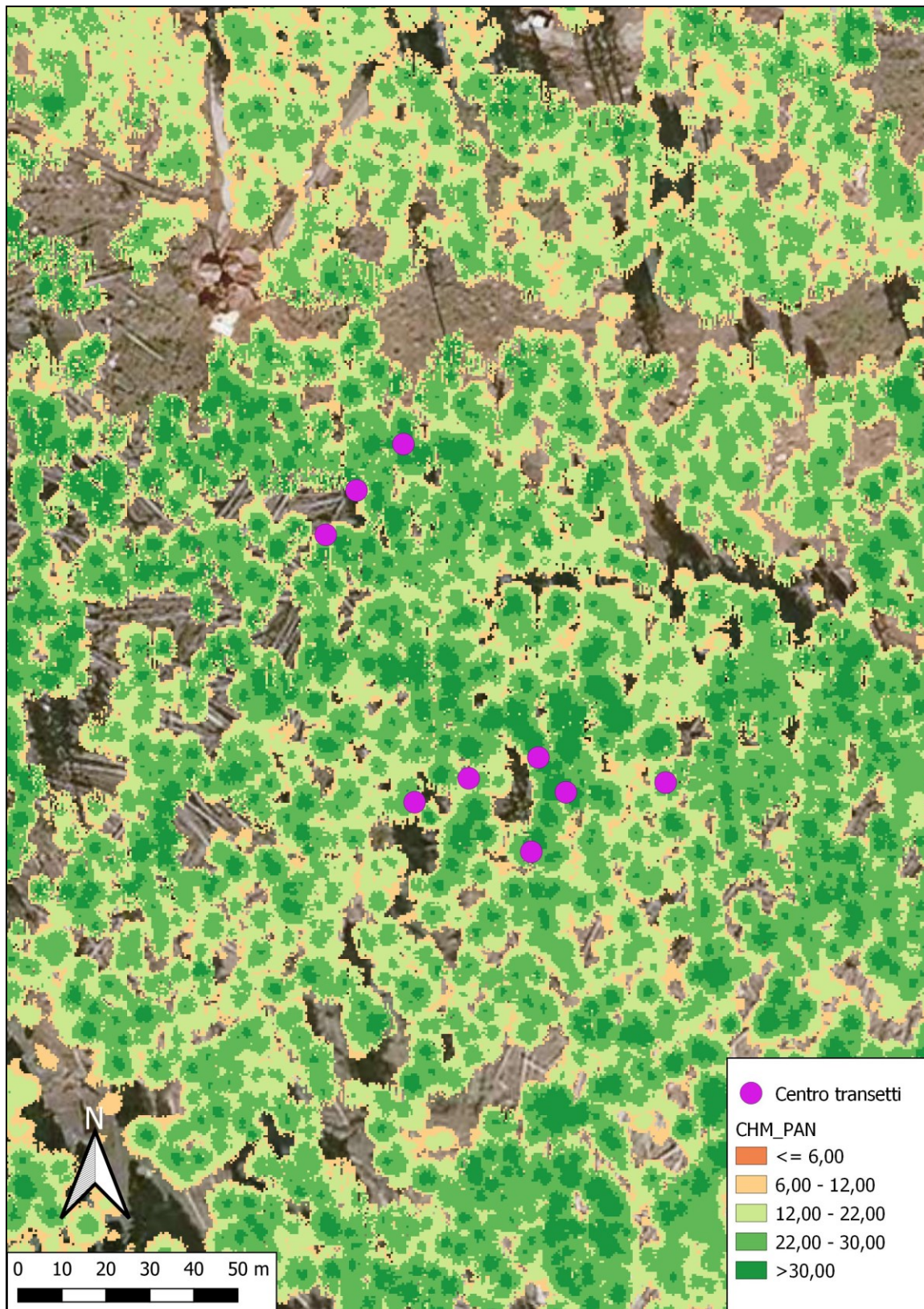
○ AREA HF2020 – Slavini Alti – Cadino

Area con una copertura colma e omogenea su tutta la superficie ma con altezza che raramente supera i 30 metri, ad indicare un popolamento non ancora maturo.



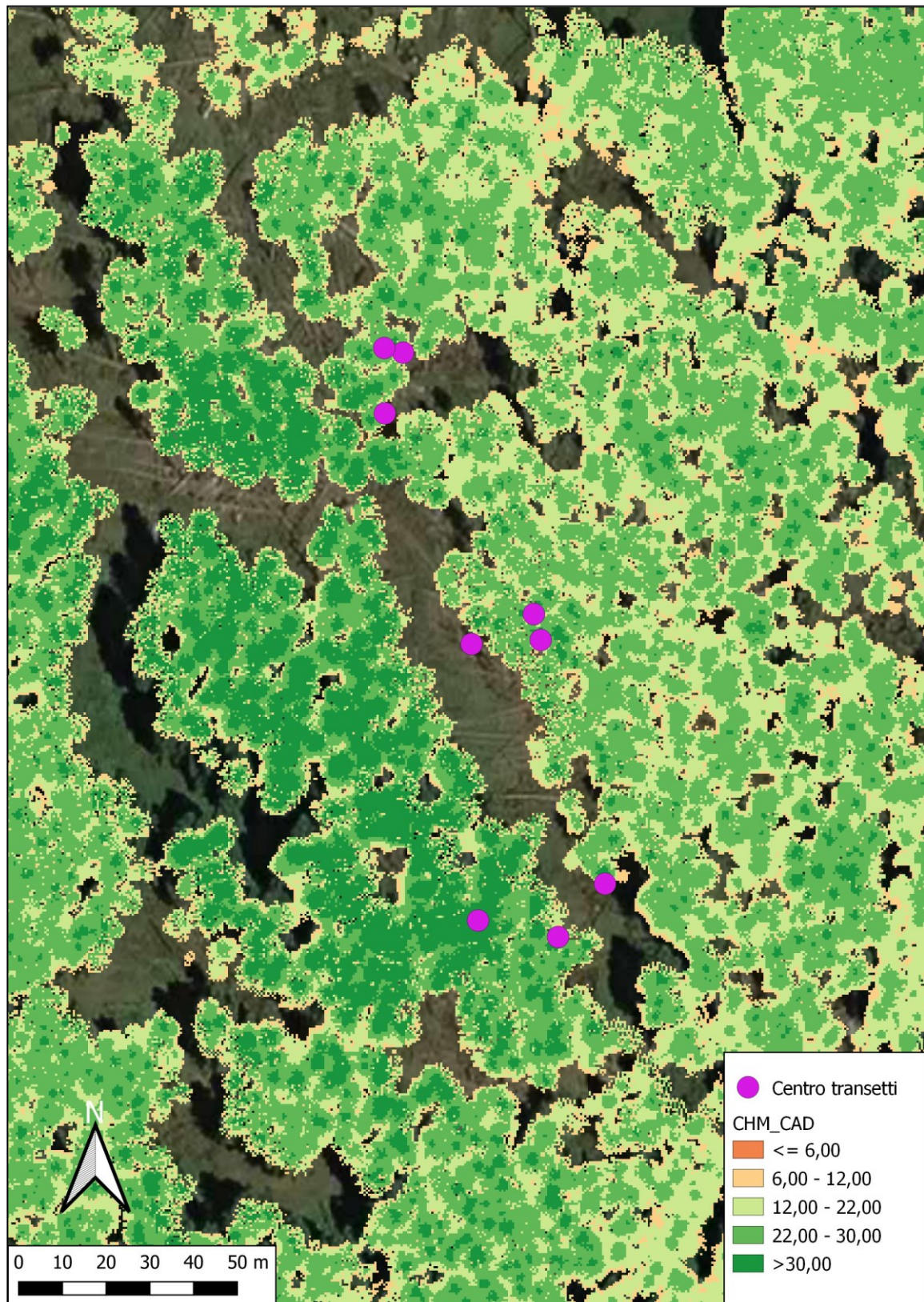
○ **AREA GRU2020 – Campedelotti – Paneveggio**

Area con copertura densa ed omogenea come nella precedente, ma questa volta con altezze che molto spesso superano i 30 metri. Infatti quest'area risulta essere quella con una provvigione particellare maggiore.



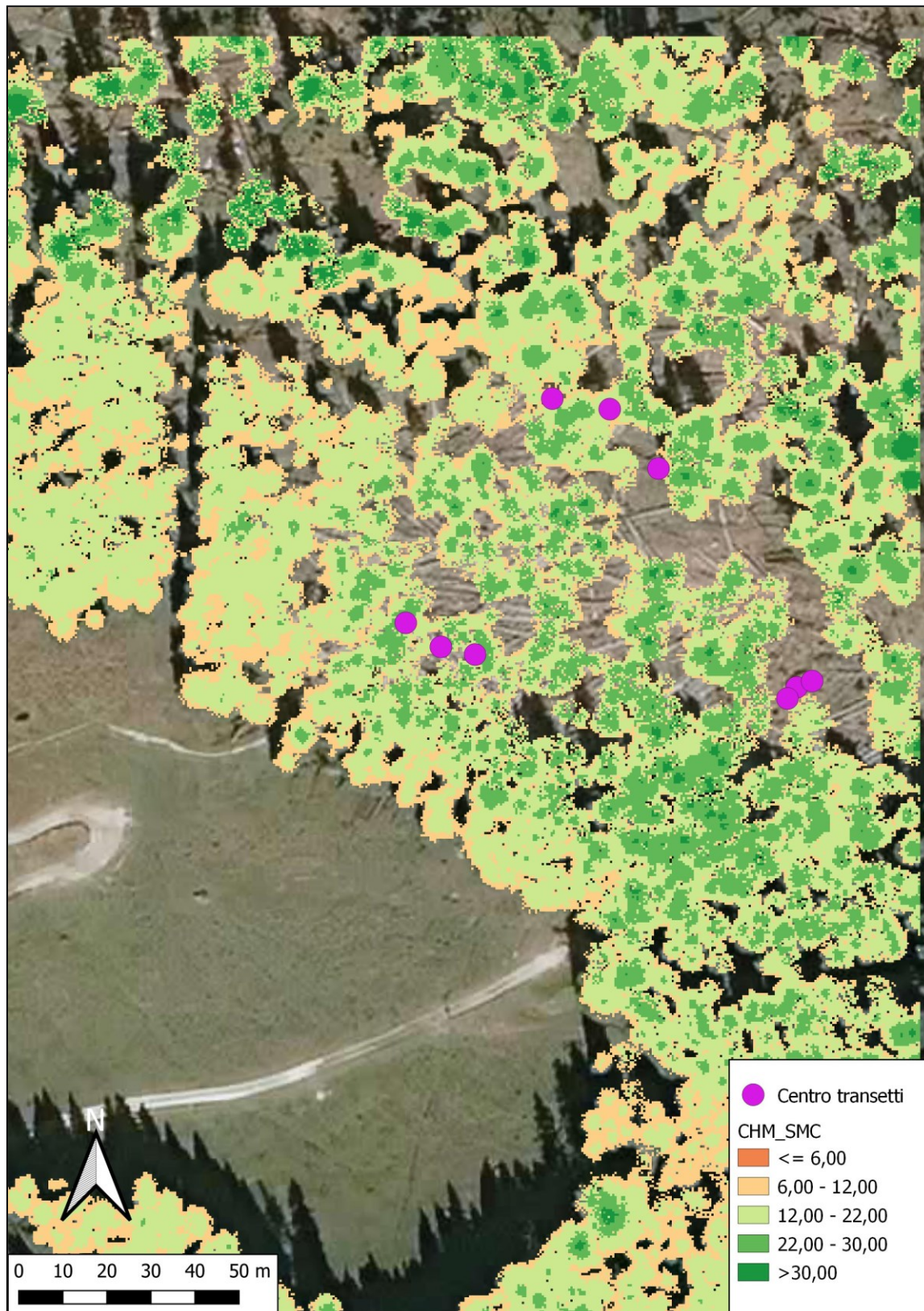
○ AREA HF2021 – Campivolo di Catarinello – Cadino

Area con copertura densa interrotta da alcuni varchi probabilmente dovuti a precedenti tagliate. Tuttavia è possibile osservare come l'altezza degli alberi superi molto i 30 metri.



○ AREA GRU2021 – Sorgenti di Cavallazza – San Martino di Castrozza

Area con una copertura non così colma e altezze degli alberi che solo in alcuni luoghi superano i 30 metri di altezza. Questa zona risulta essere infatti quella con la provvigione particellare minore.



Allegato III: Tabella con risultati analisi complete del suolo

<i>Elemento</i>	<i>SAN MARTINO</i> <i>mg/kg secco</i>	<i>CADINO</i> <i>mg/kg secco</i>	<i>PANEVEGGIO</i> <i>mg/kg secco</i>
<i>C organico</i>	185860	85801	126343
<i>C inorganico</i>	1134	710	1123
<i>N</i>	9414,58	5201,57	7352,67
<i>Ag</i>	<0,4	<0,4	<0,4
<i>Al</i>	30945,47	18900,19	29003,42
<i>As</i>	10,65	9,37	7,90
<i>B</i>	19,36	13,92	21,12
<i>Ba</i>	98,92	174,66	196,81
<i>Be</i>	0,84	0,84	0,98
<i>Ca</i>	2054,58	1299,39	3577,62
<i>Cd</i>	<0,07	<0,07	<0,07
<i>Co</i>	5,25	3,05	6,67
<i>Cr</i>	43,63	35,69	33,15
<i>Cu</i>	9,47	4,89	9,64
<i>Fe</i>	22152,22	15272,03	20637,05
<i>Hg</i>	<0,1	<0,1	<0,1
<i>K</i>	4794,01	3349,72	4677,20
<i>Li</i>	44,56	49,44	52,35
<i>Mg</i>	3821,68	1991,27	4294,74
<i>Mn</i>	267,18	201,66	455,77
<i>Mo</i>	2,14	1,93	1,69
<i>Na</i>	229,13	269,16	244,62
<i>Ni</i>	5,91	3,82	8,13
<i>P</i>	576,63	384,75	395,21
<i>Pb</i>	52,84	39,07	48,92
<i>S</i>	791,39	393,19	517,12
<i>Sb</i>	<0,8	<0,8	<0,8
<i>Se</i>	<0,8	<0,8	1,15
<i>Si</i>	94,70	100,41	89,24

<i>Sn</i>	1,07	1,33	1,10
<i>Sr</i>	16,91	13,33	18,72
<i>Ti</i>	645,97	421,04	709,15
<i>Tl</i>	<0,8	<0,8	<0,8
<i>V</i>	56,65	31,39	56,57
<i>Zn</i>	57,33	38,56	71,63

Allegato IV: Tabella con risultati analisi complete del legno morto

<i>Elemento</i>	<i>Classe 1</i> <i>mg/kg secco</i>	<i>Classe 2</i> <i>mg/kg secco</i>	<i>Classe 3</i> <i>mg/kg secco</i>	<i>Classe 4</i> <i>mg/kg secco</i>
<i>C organico</i>	559761	533149	530753	518508
<i>C inorganico</i>	2059	1421	1605	1249
<i>N</i>	10863	4047	3924	4300
<i>Ag</i>	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4
<i>Al</i>	437,51	152,97	41,56	97,67
<i>As</i>	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8
<i>B</i>	8,64	3,91	3,27	2,18
<i>Ba</i>	113,10	56,65	54,27	22,60
<i>Be</i>	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07
<i>Ca</i>	6566,98	3197,47	3525,09	1227,86
<i>Cd</i>	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07
<i>Co</i>	0,36	<0,1	<0,1	<0,1
<i>Cr</i>	5,63	1,91	0,43	1,43
<i>Cu</i>	8,15	2,45	1,89	1,27
<i>Fe</i>	300,73	81,71	24,21	46,23
<i>Hg</i>	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
<i>K</i>	1306,38	332,58	512,07	365,57
<i>Li</i>	0,45	<0,1	<0,1	<0,1
<i>Mg</i>	616,37	325,67	207,80	123,72
<i>Mn</i>	310,38	163,82	128,02	64,28
<i>Mo</i>	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4
<i>Na</i>	<4	<4	<4	<4
<i>Ni</i>	3,97	0,97	0,51	0,77
<i>P</i>	666,34	108,56	84,60	50,79
<i>Pb</i>	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8
<i>S</i>	591,82	141,12	106,68	75,63
<i>Sb</i>	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8
<i>Se</i>	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8
<i>Si</i>	499,76	152,97	32,19	107,90

<i>Sn</i>	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8
<i>Sr</i>	19,64	11,55	12,43	3,84
<i>Ti</i>	11,57	3,68	0,67	2,00
<i>Tl</i>	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8
<i>V</i>	0,84	<0,4	<0,4	<0,4
<i>Zn</i>	83,12	40,26	28,39	15,81

Vorrei esprimere un grazie sincero a tutte le persone che mi hanno permesso di raggiungere questo importante traguardo, standomi vicine e incoraggiandomi nei momenti fondamentali di questo percorso.

Innanzitutto desidero ringraziare il mio relatore Prof. Stefano Grigolato e il Dott. Alberto Udali per avermi indirizzato nelle varie fasi di questo studio e per avermi seguito costantemente rispondendo sempre ad ogni mio dubbio.

Un ringraziamento particolare va al Dott. Paolo Kovatsch, Direttore dell'Agenzia Provinciale delle Foreste Demaniali, per la sua disponibilità e per la cortesia mostrata, soprattutto nelle fasi di preparazione del lavoro. Grazie anche a tutti i componenti dell'Ufficio Tecnico Gestionale di Cavalese che hanno risposto sempre con gentilezza alle mie domande e richieste.

Vorrei ringraziare i componenti delle Stazioni Forestali Demaniali di Paneveggio e Cadino e di S. Martino e Caoria per l'accoglienza dimostrata nelle foresterie e per la cura con cui si sono resi disponibili ad aiutarmi nell'individuazione delle aree su cui eseguire i rilievi.

Per concludere, ringrazio Davide Benetel per la collaborazione nella preparazione e nell'esecuzione dei rilievi.