

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO TERRITORIO E SISTEMI AGRO-FORESTALI

Corso di Laurea in Tecnologie Forestali e Ambientali

Analisi e monitoraggio degli sviluppi della rinnovazione artificiale in un'area interessata da un disturbo naturale ad alta severità: il caso studio di Tressilla (Baselga di Pinè, TN)

Relatore: Prof. Emanuele Lingua

Co-relatore: Dott. Davide Marangon

Laureando: Giampietro Andreatta

Matricola N° 2007523

Anno accademico 2023-2024

SOMMARIO

SOMMARIO	3
RIASSUNTO	5
ABSTRACT	6
INTRODUZIONE	7
OBIETTIVI	12
MATERIALI E METODI	13
1. Inquadramento dell'area studio	13
2. Caratterizzazione dei siti di impianto	15
3. Inquadramento geografico e composizione specifica dei plot	17
MISURAZIONI E RACCOLTA DATI	18
ELABORAZIONE DATI	19
Calcolo del numero di morti	19
Calcolo delle percentuali di mortalità	19
Calcolo dell'altezza media per plot	19
Calcolo dell'altezza media per specie	19
Stima dell'accrescimento medio per specie tra I e II rilievo	19
Calcolo degli individui brucati e % di brucamento	19
ANALISI STATISTICA	20
RISULTATI	20
1. MORTALITÀ:	20
1.1 Numero di morti	20
1.2 Percentuali di mortalità	21
1.3 Test t sulle mortalità medie	23
1.4 Classificazione dei plot in base alla % di morti	23
2. ALTEZZE	24
2.1 Altezza media per plot	24

2.2 Altezza media per specie	25
2.3 Stima dell'accrescimento medio per specie tra I e II rilievo	26
3. BRUCAMENTO	27
3.1 Numero di individui brucati e percentuale di brucamento	27
3.2 Classificazione dei plot in base al brucamento	29
4. NECROMASSA	29
4.1 Classificazione tra ceppaie e tronchi a terra	29
4.2 Volume di necromassa per plot e classificazione per classe volumetrica	30
4.3 Correlazione tra volume di necromassa e numero di individui sopravvissuti per plot	30
4.4 Correlazione tra volume di necromassa e numero di piante non brucate per plot	32
DISCUSSIONE	33
Mortalità	33
Altezze	33
Brucamento.....	34
Necromassa	35
CONCLUSIONI	36
RINGRAZIAMENTI	37
BIBLIOGRAFIA	37

RIASSUNTO

Nell'autunno del 2018 le Alpi orientali italiane sono state interessate da un evento catastrofico che ha causato l'abbattimento di oltre 8,5 milioni di m³ di legname, provocando gravissimi danni di natura ecologica, idrogeologica ed economica. In seguito a questo evento, è stato avviato un progetto denominato LIFE Vaia (Valuing Afforestation of damaged woods with Innovative Agroforestry) che prevede l'implementazione di misure innovative mirate alla ricostruzione sostenibile delle foreste attraverso cui si favorisce l'adattamento della vegetazione forestale ai cambiamenti climatici. Il Dipartimento TESAF dell'Università di Padova ha preso parte a questa iniziativa appoggiando un progetto che ha come oggetto attività di rimboschimento e monitoraggio della rinnovazione in un'area colpita severamente dalla tempesta Vaia situata a Tressilla, sull'Altopiano di Pinè (TN). All'interno del sito in cui si alternano aree in cui è ancora presente copertura forestale residua ad aree in cui questa è assente, sono stati individuati dei micro-siti ritenuti idonei per la messa a dimora di piantine di larice (*Larix decidua* Mill.), sorbo degli uccellatori (*Sorbus aucuparia* L.) e acero montano (*Acer pseudoplatanus* L.). Seguendo l'approccio della *applied nucleation*, sono stati individuati 99 plot di rinnovazione artificiale per ognuno dei quali sono state messe a dimora 10 piantine. Con la presente tesi si intende valutare e monitorare lo stato dell'arte della rinnovazione artificiale a mesi di distanza dall'impianto, osservando le dinamiche di sviluppo e confrontandole in epoche differenti con particolare riferimento ai fattori di danno, ai parametri di crescita come altezza media e incremento medio e agli eventuali benefici che potrebbe avere la necromassa sulle dinamiche di insediamento e crescita delle piantine. Dai rilievi è emerso che la mortalità totale delle piantine è del 47,16%; la specie che presenta maggior mortalità è il larice, seguito da sorbo degli uccellatori e acero montano. Il 26% dei plot è stato interessato da fenomeni di brucamento, concentrati prevalentemente in estate e particolarmente impattanti su acero montano e su sorbo degli uccellatori. Quest'ultimo risulta essere la specie con altezza media maggiore, seguito da acero montano e larice. Non è stata trovata evidenza relativamente al ruolo della necromassa. Il lavoro presentato in seguito ha l'obiettivo di avviare uno studio a lungo termine delle dinamiche che si instaureranno in seguito al trapianto della rinnovazione artificiale, evidenziandone criticità e potenzialità.

ABSTRACT

During the autumn of 2018, the Italian Eastern Alps were affected by a catastrophic event that caused the felling of over 8.5 million m³ of timber, causing serious ecological, hydrogeological and economic damage. Following this event, a project called LIFE Vaia (Valuing Afforestation of damaged woods with Innovative Agroforestry) was launched, regarding the implementation of innovative measures aimed at the sustainable reconstruction of forests through which the adaptation of forest vegetation to climate change is promoted. The TESAF Department of the University of Padua took part in this initiative by supporting a project that concerns the reforestation and monitoring of artificial regeneration in an area severely affected by the Vaia storm located in Tressilla, in Baselga di Pinè (TN). Within the site where areas with residual forest cover alternate with areas where this is absent, micro-sites have been identified and considered suitable for planting larch (*Larix decidua* Mill.), rowan of birds (*Sorbus aucuparia* L.) and mountain maple (*Acer pseudoplatanus* L.) seedlings. Following the approach of *applied nucleation*, 99 artificial regeneration plots were located, and in each of them 10 seedlings were planted. With this thesis we intend to evaluate and monitor the state of the art of artificial regeneration months after the planting, observing the dynamics of development and comparing them in different periods with particular reference to the damage factors, growth parameters in terms of average height and medium increase in height and to the hypothetical benefits that deadwood could have on establishment and growth dynamics. The surveys showed that total seedlings mortality is 47,16%; larch is the species with the highest mortality, followed by rowan and mountain maple. 26% of the total plots were affected by browsing, which mainly occurred during the summer and has had a strong impact on mountain maple and rowan. The latter is the species with the greater average height, followed by mountain maple and larch. No evidence of the influence of deadwood was found. The present work aims to start a long term study on the dynamics following seedlings transplant, highlighting issues and potentials.

INTRODUZIONE

Si definisce disturbo un evento discreto in grado di influire su di un ecosistema, su di una comunità o sulla struttura di una popolazione modificando la disponibilità di risorse del suolo e dell'ambiente fisico (Picklett e White 1985); tale influenza può essere interpretata come una deviazione dai normali modelli o del funzionamento dell'ecosistema (Forman e Gordon, 1986). Nonostante ciò, i disturbi rappresentano una parte integrante degli ecosistemi forestali ed influiscono direttamente sulla loro struttura ed evoluzione. Ad esempio, l'inizio di una determinata successione ecologica viene innescata da un disturbo che pone fine alla dinamica in atto; alcune specie sviluppano adattamenti dovuti alla stretta correlazione con disturbi ricorrenti, come le specie che sviluppano una corteccia particolarmente spessa per sopravvivere agli incendi (V. H. Dale et al., 2000) o che presentano una alta capacità di disseminazione post-incendio come il pino d'Aleppo (*Pinus Halepensis* Mill.), la cui resilienza si basa sulla produzione precoce e abbondante di coni e sullo stoccaggio di grandi semi nei coni all'interno della chioma (Tapias et al., 2001). Tuttavia, quando un disturbo, di natura abiotica (vento, incendi, frane, valanghe ecc...) o biotica (pullulazioni di insetti, brucamento, epidemie di patogeni) supera il suo normale range di variazione, può avere un impatto estremo sulla struttura e funzione delle foreste (V. H. Dale et al., 2000). In Europa, le tempeste da vento rappresentano un importante disturbo naturale per le foreste (Schelhaas et al., 2003; Seidl et al., 2017) e costituiscono il principale fattore di disturbo e agente di danno agli alberi (Motta et al., 2018); in totale, la biomassa forestale distrutta dal vento in Europa è di circa 38 milioni di metri cubi all'anno (Gardiner et al., 2013). I disturbi da vento sono disturbi complessi scatenati dall'interazione dei sistemi meteorologici regionali con la morfologia del terreno, le condizioni del popolamento e del suolo e influenzano la dinamica del popolamento e i processi del suolo. Negli ultimi 30 anni, in Europa si sono verificati vari fenomeni catastrofici che hanno avuto conseguenze importanti sui patrimoni forestali delle Nazioni interessate, tra cui le più importanti sono: Viviane (1990), Lothar & Martin (1999), Gudrun (2005) e Kyrill (2007), per una perdita complessiva di 440-450 milioni di metri cubi di legname (Motta et al. 2018). Nell'autunno del 2018, precisamente tra il 28 e il 30 di ottobre, le Alpi orientali sono state interessate da un evento catastrofico durante il quale sono stati registrati venti con raffiche che hanno superato i 200 km/h ed hanno provocato l'abbattimento di oltre 8,5 milioni di metri cubi di legname (Motta et al., 2018). L'evento, ad oggi conosciuto come "Tempesta Vaia", è stato definito come il più importante disturbo da vento avvenuto recentemente in Italia (Motta et al., 2018). Nella Provincia Autonoma di Trento, si stima una superficie schiantata di 19500 ha, ai quali corrisponde un volume superiore a 4 milioni di metri cubi di legname. In questo territorio i danni hanno interessato per: il 65% formazioni di abete rosso, il 17% boschi di abete bianco (comprese le formazioni in

mescolanza con abete rosso e faggio), il 6% pinete, il 5% faggete, il 4% lariceti e per il 3% altre formazioni forestali minori. Le aree danneggiate sono prevalentemente concentrate alle quote comprese tra i 1200 e i 1800 m s.l.m. e nella porzione orientale della Provincia (Secondo Report Schianti Vaia, Servizio Foreste e Fauna Provincia Autonoma di Trento, 2020). Dal punto di vista strutturale, sono state maggiormente interessate le formazioni forestali monoplane coetaneiformi; popolamenti puri, monostratificati e densi sono infatti più facilmente soggetti a schianti rispetto a popolamenti misti e pluristratificati (Mitchell & Ruel 2016). In Trentino è per esempio noto il problema relativo alle foreste di abete rosso della Val di Fiemme che risultano essere particolarmente sensibili ai danni da vento (Mazzucchi, 1983) e che sono, e saranno, fortemente minacciate dalle correnti epidemie di bostrico tipografo.

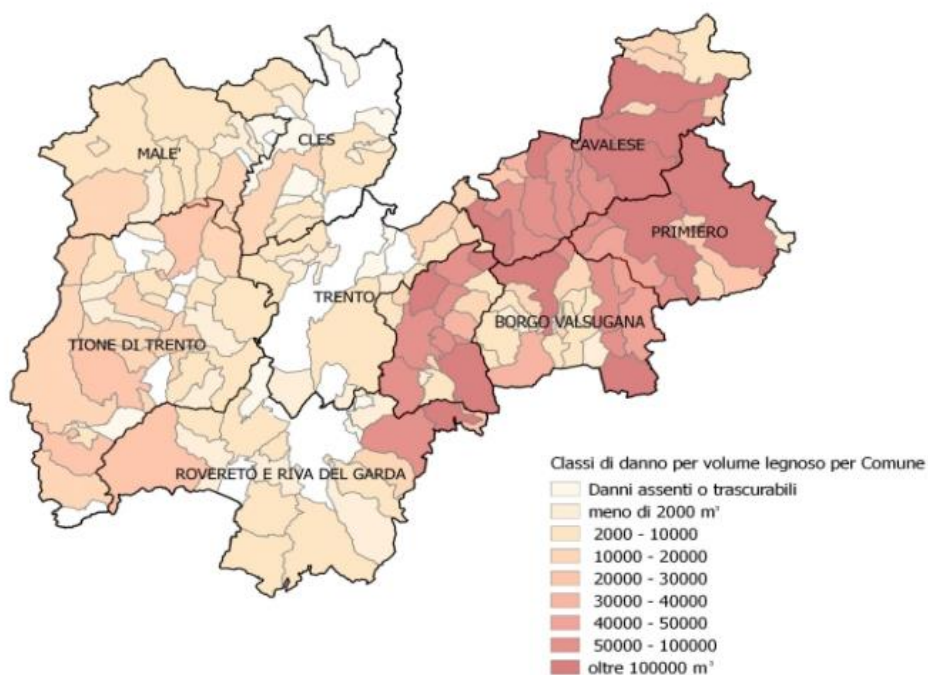


Immagine 1: Distribuzione delle classi di danno per Distretto Forestale della Provincia Autonoma di Trento (Secondo Report Vaia, Provincia Autonoma di Trento, 2019).

Nel contesto odierno fortemente influenzato dai cambiamenti climatici è quindi necessario considerare non solo la frequenza degli eventi catastrofici come quello della Tempesta Vaia ma anche le conseguenti interazioni tra diversi fattori biotici e abiotici che potrebbero potenzialmente causare ingenti danni ai nostri soprassuoli (ad esempio pullulazioni di bostrico e diffusione di incendi) (Seidl & Rammer 2017), le cui tempistiche di ripristino e ricostituzione sono spesso troppo prolungate nel tempo per poter essere compatibili con le esigenze dell'uomo. In molte situazioni, quindi, è necessario intervenire attivamente per ripristinare nel più breve tempo possibile la copertura forestale sia per non perdere la fornitura dei servizi ecosistemici della foresta, sia per garantire sicurezza ed adeguata qualità della vita alle popolazioni locali (Motta et al., 2018). È quindi opportuno che gli interventi prioritizzino in particolare la ricostituzione delle foreste che svolgono una funzione di protezione diretta nei confronti di caduta massi, frane e valanghe (Berretti et al. 2006, Vacchiano et al. 2016), tenendo conto anche della funzionalità bio-ecologica del bosco e della sua complessità, elemento indispensabile per garantire maggiore resistenza e resilienza ai popolamenti forestali (Lindner et al., 2010).

In seguito ad un disturbo, in natura si possono innescare dei fenomeni di ripristino naturale in cui si osserva una ricolonizzazione iniziale messa in atto da specie arboree all'interno delle chiarie (*gap*) formati che creano nuclei di vegetazione attorno ai quali si stabiliscono altre specie, dando luogo ad un processo definito nucleazione (Archer et al., 1988; Castellanos e Figueroa, 1994; Del morale e Beatitudine, 1993; Franchi, 2003; Yarranton e Morrison, 1974). I nuclei possono essere formati da residui di specie sopravvissute al disturbo (Carrière et al., 2002b) o da specie definite pioniere, che si caratterizzano per essere particolarmente adatte a colonizzare spazi aperti, per avere elevate esigenze di luce e veloce accrescimento iniziale, per la loro rusticità e capacità di disseminare precocemente e abbondantemente (R. Mercurio, 2010). Esempi di specie tipicamente pioniere delle pendici montane sono le Pinaceae del genere *Pinus* e il larice; per quanto riguarda le latifoglie, si ricordano pioppo tremulo, betulla e orniello (G. Bernetti, 2005). Gli iniziali individui colonizzatori svolgono un ruolo significativo nel miglioramento di micro-climi aggressivi, stabilizzando il suolo e fornendo risorse per la fase iniziale della successione (Cutler et al., 2008; Del Moral e Bliss, 1993). In seguito all'insediamento di più nuclei e alla loro espansione che avviene per mezzo della disseminazione anemocora (Yarranton and Morrison, 1974; Del Moral and Bliss, 1993; Franks, 2003) o zoocora (Cabral et al., 2003; Carrière et al., 2002; Fuentes et al., 1986; Guevara et al., 1986; McDonnell and Stiles, 1893; Puryavaud et al., 2003; Slocum, 2001), si assiste alla loro collisione e fusione a formare una copertura via via più estesa, con conseguente innesco di processi di competizione e mortalità (Archer et al., 1988; Blundon et al., 1993; Castellanos e Figueroa, 1994; Russell-Smith et al., 2004).

Come riportato in precedenza, la Tempesta Vaia ha causato l'atterramento di elevate quantità di materiale legnoso. La problematica relativa alla presenza di materiale a terra può essere affrontata implementando strategie passive che prevedono assenza di interventi di recupero ("no intervention") oppure strategie attive di rimozione e sgombero riconducibili alla pratica del "salvage logging". Quest'ultima tipologia di operazione viene effettuata per conseguire diversi obiettivi, tra cui preservare il valore economico del legname, garantire la sicurezza di strade o centri abitati, ridurre il rischio di pullulazioni di insetti e favorire la possibilità di piantare altri alberi (Muller et al. 2019). Il salvage logging può influenzare molti servizi ecosistemici, come la dispersione dei semi, il ciclo dei nutrienti, la ritenzione idrica e l'assorbimento del carbonio (McIver and Starr 2000, Lindenmayer et al. 2008, 2017, Peterson et al. 2009, Serrano-Ortiz et al. 2011) e può causare danni aggiuntivi all'ecosistema (Lindenmayer et al. 2008). Tuttavia, può in alcuni casi favorire la creazione di micro siti idonei all'insediamento della rinnovazione, attraverso per esempio il rilascio di una quota di legacies (residui di legno morto o alberi vivi (Thorn et al. 2014)) e può quindi essere funzionale ad eventuali successive operazioni di ripristino e reimpianto.

Il ripristino è definito come l'assistenza al recupero di un ecosistema degradato, danneggiato o distrutto (SER, 2004). Esistono diverse tecniche di ripristino e ricostituzione ecologica delle foreste che sono specificatamente progettate per imitare processi naturali come quelli precedentemente descritti o indurre potenziali sviluppi in termini di successioni ecologiche (Corbin et al. 2016); il presupposto alla base di ciò è che i processi naturali, incluse le successioni, predomineranno al termine del periodo di gestione antropica (Holl 2002, Onaindia et al. 2013). Nell'ambito della ricostituzione ecologica, si distinguono due principali approcci: attivo e passivo (P. Meli, 2017). Si definisce il ripristino passivo come un processo atto a porre fine al precedente tipo di uso del suolo per consentire la naturale o non assistita ripresa della foresta, mentre definisce il ripristino attivo come l'insieme degli interventi antropici mirati ad accelerare e influenzare una specifica traiettoria successionale della ripresa. La ricostituzione passiva prevede la neutralizzazione del disturbo (facendo in questo caso riferimento ad attività come tagli eccessivi e abbandono dei terreni) attraverso l'implementazione di una serie di interventi come la creazione di recinzioni per limitare il pascolo, il controllo delle infestanti e la protezione da incendi finalizzati a garantire il recupero di specie native (Crouzeilles et al., 2016). Questa tecnica comporta la formazione di comunità forestali diversificate, che tuttavia non presentano copertura forestale estesa (Corbin, 2012). K. Prach et al. (2019) suggeriscono che il ripristino passivo dovrebbe essere preferito in siti di ridotta estensione con basso stress abiotico e produttività moderata che si stanno riprendendo da disturbi moderati o in siti dove attività antropica e presenza specie aliene sono limitate. Con il ripristino attivo, invece, l'uomo mette

in pratica delle operazioni con le quali interviene e influenza direttamente lo sviluppo della vegetazione nella fase post-disturbo; per esempio, interventi di impianto come quello della *applied nucleation* prevedono la creazione di clusters di vegetazione arborea in aree rade, in cui i nuclei si espandono tramite il successivo reclutamento di nuove piantine allo stesso modo in cui avviene la nucleazione naturale in successione aumentando il tasso di rimboschimento (Corbin et al, 2016). Nella la progettazione di tali interventi è bene considerare elementi come intensità del disturbo, presenza di copertura forestale residua, presenza di porta seme e distanze dai plot, dimensioni dei plot e composizione specifica. L'intensità del disturbo influisce direttamente sulla composizione del paesaggio circostante, quindi sulla presenza di isole verdi di vegetazione residua e la diffusione delle specie forestali, rappresentando quindi un elemento base per la scelta della tipologia di ripristino da attuare (Holl e Heide, 2011). Corbin et. al (2012), ad esempio, ipotizzano che la nucleazione applicata sia una strategia da implementare in contesti caratterizzati da disturbi intermedi. Determinante è anche la presenza di piante porta seme per l'espansione dei nuclei; specie con seme pesante, come alcune conifere, non raggiungono distanze di disseminazione elevate (ad esempio l'abete rosso (*Picea abies* L.) può raggiungere 40 m (Robinson e Handel, 2000)). Specie a disseminazione anemocora sono più difficilmente favorite dalle patuche di nucleazione applicata (Robinson e Handel, 2000) rispetto a specie a disseminazione zoocora come il sorbo degli uccellatori (*Sorbus aucuparia* L.), la cui densità di semi tendenzialmente aumenta nel breve periodo seguente al disturbo (Wagner et al. 2010; Szwagrzyk et al. 2021). Relativamente alle dimensioni dei plot, la teoria (e.g. MacArthur e Wilson, 1967) e due studi pratici in America Centrale (Cole et al. 2010; Zahawi e Augspurger, 2006) indicano che nuclei più grandi sono colonizzati da un numero maggiore di individui e specie rispetto ai nuclei più piccoli, i quali risentono di una minor attrazione di animali potenziali dispersori di semi (Fink et. al., 2009), di una minor efficacia nel migliorare le condizioni microclimatiche stressanti (Holl, 2002a; Zahawi e Augspurger, 2006) e di una maggior influenza della mortalità sulla complessiva struttura del nucleo (Holl et. al, 2011). I nuclei, oltre ad essere auspicabilmente situati il più vicino possibile alle fonti di semi rimanenti, dovrebbero includere una varietà di specie nell'impianto, comprese specie "conclusive", per favorire una comunità diversificata (Corbin et. al., 2012). Seppur la nucleazione applicata sia indicata come una strategia che può dare luogo a processi il più possibile affini alle dinamiche ambientali tanto da permettere l'inserimento di successioni naturali, non è ancora chiaro se tali operazioni di impianto possano soddisfare i requisiti temporali di ripristino tanto da poter essere considerati sostenibili; per esempio, in alcuni contesti potrebbero esserci un numero di nuclei naturali che si insediano nel primo decennio dopo il disturbo sufficienti a minimizzare la differenza tra i tassi di recupero della rinnovazione naturale stessa e di quella artificiale ipotetica entro due o più decenni dall'impianto (Gill e Marks, 1991). Inoltre, saranno

necessari degli studi a lungo termine per analizzare lo sviluppo composizionale, in quanto un approccio focalizzato sul veloce recupero della copertura potrebbe comunque lasciare tracce di influenza antropica in termini di composizione specifica e distribuzione spaziale, considerando che l'impianto di specie può influenzare la comunità e il suo funzionamento per decenni o più fornendo propaguli (Parrotta, 1999; Silver et. al 2004), influenzando la composizione del sottobosco (Barbier et. al 2008) e alterando il ciclo dei nutrienti (Macedo et. al 2008; Parrotta, 1999; Siddique et. al 2008; Silver et. al 2004).

OBIETTIVI

Il presente lavoro di tesi si propone di effettuare delle valutazioni relative allo sviluppo di nuclei di rinnovazione artificiale messi a dimora nella primavera dell'anno 2023 in un'area colpita da schianti, monitorando quindi il rimboschimento effettuato. In particolare, verranno analizzati parametri quali:

- Mortalità
- Altezza media e incremento medio in altezza
- Danni da brucamento
- Ruolo della necromassa

Con i risultati si intende restituire un iniziale feedback dell'impianto e riportare eventuali problematiche emergenti potenzialmente compromettenti lo sviluppo della rinnovazione artificiale.

MATERIALI E METODI

1. Inquadramento dell'area studio

Il territorio di Tressilla si estende all'interno dell'Altopiano di Pinè, collocato nel Trentino orientale in Provincia di Trento. L'altopiano si caratterizza morfologicamente per la presenza di una vastità di dossi, conche e pianori collocati all'interno della cosiddetta Valle di Pinè, rappresentata a sua volta da due valli perpendicolari di origine fluviale (Valle del Rio Regnana e Valle del Rio di Brusago). L'Altopiano, che si estende per un totale di 68,3 km², confina a Ovest con la Valle di Cembra e a Est con la Valle dei Mocheni (propaggini sud-ovest della Catena del Lagorai).

L'area di studio è collocata poco sopra l'abitato di Tressilla (sopra i 1000 m s.l.m.), sui Dossi Caolago, rilievi a matrice porfirica caratterizzati dalla presenza nelle loro parti culminali di estesi pianori. In corrispondenza di questa fascia submontana, in ambienti primitivi o fortemente antropizzati, è notevole il ruolo del pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.) che, consociandosi a varie formazioni di latifoglie collinari o montane, forma il complesso delle pinete di pino silvestre silicicole. Alle pinete silicicole collinari-esalpiche si alternano le pinete silicicole primitive e le pinete silicicole dei suoli xerici/mesici, a cui si affiancano querceti e faggete. In alcuni casi, in ambiente palustre o almeno di suoli temporaneamente asfittici per eccesso idrico, si possono trovare le pinete silicicole igrofile (I Tipi Forestali del Trentino, Servizio Foreste e Fauna, Provincia Autonoma di Trento, 2018).

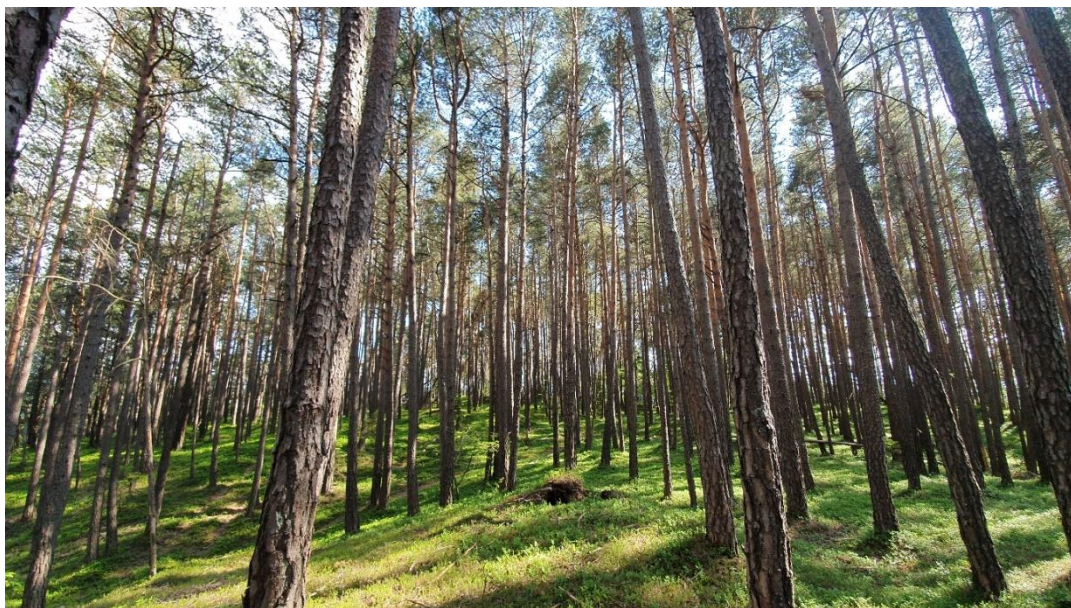


Immagine 2: struttura tipica della pineta silicicole dei suoli xerici o mesici presenti a Tressilla (TN).

Nella fattispecie, l'area di studio è interessata dalla presenza di formazioni forestali tra cui dominano le pinete silicicole dei suoli xerici che sono state fortemente danneggiate dalla tempesta Vaia tanto da comportare necessità di realizzazione di interventi volti al ripristino e alla riqualificazione delle zone colpite (l'Ufficio Distrettuale Forestale dell'Altopiano di Pinè rientra tra quelli che hanno subito perdite stimate a circa 122.000 metri cubi (Secondo Report Vaia, Provincia Autonoma di Trento, 2019).



Immagine 3: Schianti da vento causati dalla Tempesta Vaia presso la località Bedolpian, zona adiacente all'area del sito studio di Tressilla - Fonte: Ivan Giovannini.

L'ASUC di Tressilla ha quindi preso parte al progetto denominato "LIFE Vaia" predisponendo 15 ha di proprietà boschive interessate da schianti; all'interno di questi, sono stati individuati 2 siti pilota di 2,5 ha ricadenti all'interno di superfici interessate da schianti del soprassuolo arboreo per più del 95%. Il progetto prevede la messa a dimora di specie officinali e alimurgiche all'interno dei due siti; lo spazio non utilizzato è destinato invece all'impianto di 99 nuclei di rinnovazione artificiale oggetto del presente studio. L'obiettivo di tale impianto è di recuperare la superficie boschiva e aumentarne la resilienza attraverso l'applicazione di tecniche agroforestali innovative. L'area in oggetto si contraddistingue per la presenza di zone pianeggianti e di pendici acclivi; dal punto di vista geologico la roccia madre è il porfido quarzifero, mentre il principale tipo di suolo presente è quello dei suoli bruni lisciviati (Carta dei Suoli della Provincia di Trento, 1965). La superficie è prevalentemente

caratterizzata da assenza di copertura boschiva, con limitata presenza di copertura forestale residua rappresentata da piccoli nuclei di pineta. Le aree schiantate sono state liberate del materiale schiantato; sono invece tutt'ora presenti residui di lavorazione quali ramaglie e ceppaie, queste ultime utilizzate anche ai fini del progetto come elementi di facilitazione per lo sviluppo della rinnovazione artificiale. La vegetazione ad oggi presente è rappresentata prevalentemente da graminoidi, alte erbe (felci) e da tappeti di erica (*Erica carnea* L.), mentre il soprassuolo è composto, laddove presenti, da nuclei di rinnovazione naturale riconducibili ad una varietà di specie tra cui pioppo tremulo (*Populus tremula* L.), pino silvestre, rovere (*Quercus petraea* Liebl.), salicene (*Salix caprea* L.), abete rosso (*Picea abies* L.), castagno (*Castanea sativa* Mill.), faggio (*Fagus sylvatica* L.). La differente morfologia del terreno e la variabilità delle caratteristiche edafiche comportano variabilità di distribuzione delle suddette specie vegetali e arboree; sono presenti siti ove il suolo risulta essere nudo e ricco di scheletro e rocce affioranti e siti in cui presenziano nuclei di rinnovazione affermata.



Immagine 4: particolare del sito di Tressilla

2. Caratterizzazione dei siti di impianto

Le operazioni di impianto hanno previsto la messa a dimora di piantine di larice, sorbo e acero montano in 99 plot da 10 individui ciascuno. I siti di impianto, come precisato in precedenza, sono stati individuati nelle superfici del sito pilota che non sono state interessate dalle operazioni di impianto di piante alimurgiche e officinali e risultano essere distribuiti in contesti caratterizzati da

caratteristiche geomorfologiche ed ecologiche differenti; alcuni di essi sono situati in vicinanza alle strade forestali, altri in siti pendenti interessati dalla presenza di vegetazione arborea ed erbacea affermata e altri ancora nelle zone culminali pianeggianti e rade. Nella stragrande maggioranza dei casi, i siti sono localizzati in corrispondenza di una ceppaia che funge da punto di riferimento per l'impianto delle piantine e può potenzialmente svolgere funzioni di facilitazione e protezione nei confronti delle stesse. L'impianto è stato effettuato nel raggio di 1-2 metri di distanza attorno al punto centrale del plot, contrassegnato con una bandierina rossa riportante l'iniziale della specie. Il materiale messo a dimora consiste in piantine in pane di terra. Seppur le aree individuate dal progetto siano complessivamente 99, in realtà l'impianto è stato effettuato in 81 di esse in conseguenza all'esaurimento del materiale.



Immagine 4: plot con sorbo



Immagine 5: plot con larice



Immagine 6: plot con acero montano

3. Inquadramento geografico e composizione specifica dei plot

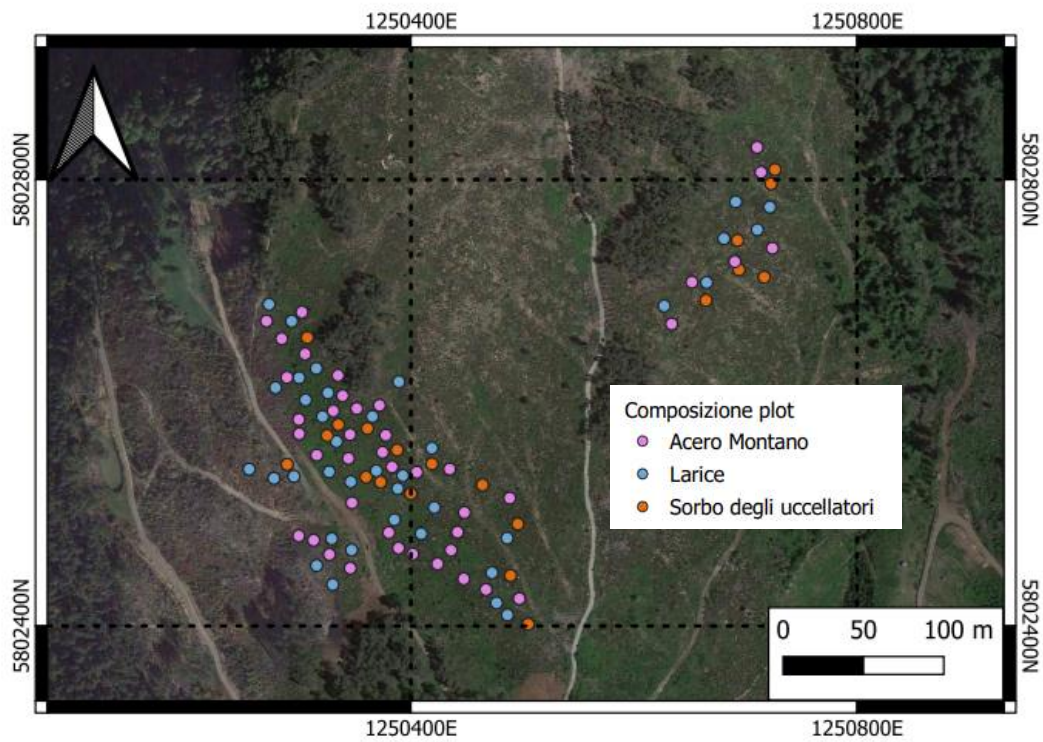


Immagine 7: Distribuzione e composizione specifica dei plot

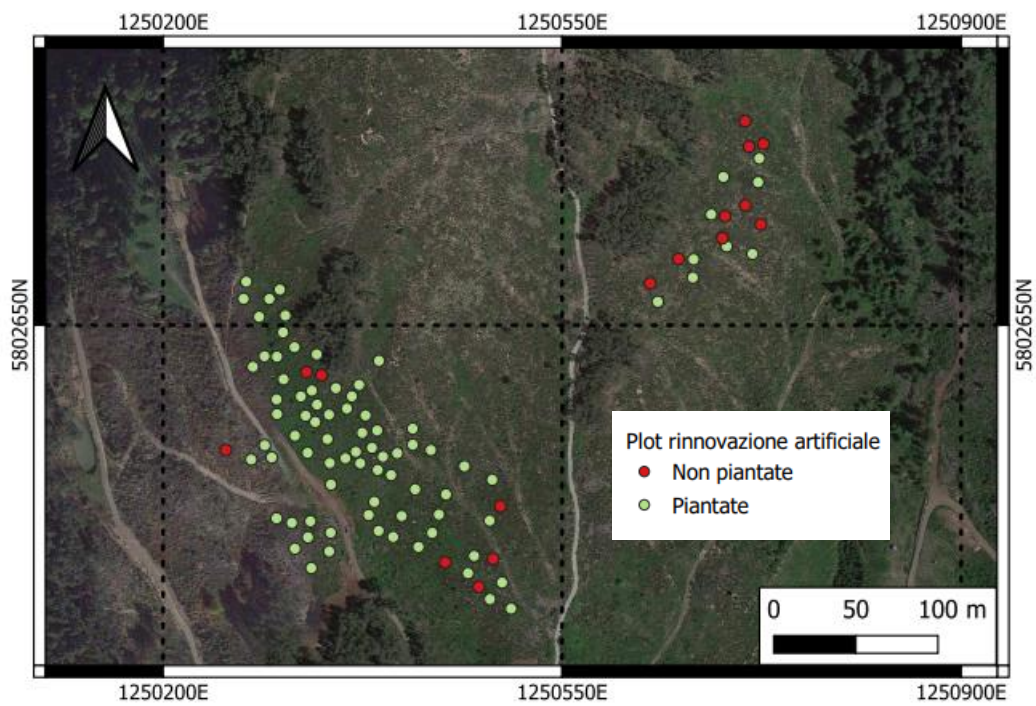


Immagine 8: Plot con piante e plot senza piante

MISURAZIONI E RACCOLTA DATI

Sono stati effettuati 2 rilievi, rispettivamente ad agosto e ad ottobre dell'anno 2023, con i quali sono state svolte le seguenti operazioni:

- Conteggio delle piantine morte
- Misurazione delle altezze delle piantine vive
- Quantificazione delle piantine danneggiate da brucamento
- Misurazione di diametro e altezza dell'eventuale necromassa presente
- Individuazione delle coordinate geografiche del plot in oggetto

La raccolta dati è stata effettuata attraverso l'applicazione "ODK Collect", con la quale è stato possibile riportare agevolmente i dati all'interno di folders preimpostati dove venivano inoltre registrate le coordinate per la geolocalizzazione dei plot. I 99 plot sono stati individuati utilizzando il GPS degli smartphone basandosi sulle rispettive coordinate geografiche riportate su di un apposito foglio Excel. La prima operazione consisteva nel contrassegnare il plot apponendo del nastro segnalatore sulla bandierina, onde evitare di ripetere le misurazioni nel medesimo plot. In seguito, sono state effettuate il conteggio delle piante morte e misurazione dell'altezza delle piantine vive tramite l'ausilio di un metro pieghevole considerando come punto terminale di misurazione l'ultima gemma apicale. Successivamente, venivano misurati diametro (cm) e altezza (m) dell'eventuale necromassa presente mediante l'impiego di un cavalletto dendrometrico. Infine, l'operazione conclusiva consisteva nella localizzazione geografica del plot posizionandosi nel punto centrale e registrando le coordinate geografiche con GPS (precisione di 5 m).



Immagine 9: misurazione dell'altezza

ELABORAZIONE DATI

Di seguito si riportano i passaggi effettuati per l'elaborazione dei dati.

Calcolo del numero di morti

Per ciascuno dei due rilievi, sono state quantificate le morti per plot, sottraendo al numero totale di piantine piantate il numero delle vive rimanenti; i risultati sono stati divisi per specie.

Calcolo delle percentuali di mortalità

Sono stati calcolati la somma del numero di morti per specie, il numero totale per specie e la percentuale di morti totale per specie, calcolata tramite la seguente formula:

$$\% \text{ morti} = \frac{N \text{ morti}}{N \text{ totale}}$$

La stessa formula è stata applicata sulla somma delle morti totali di tutte 3 le specie e il numero totale di piantine messe a dimora, trovando la % di mortalità totale.

Calcolo dell'altezza media per plot

È stata calcolata l'altezza medie per plot ogni specie nei due diversi periodi.

Calcolo dell'altezza media per specie

È stata calcolata l'altezza media per ogni specie nei due diversi periodi, considerando tutti gli individui.

Stima dell'accrescimento medio per specie tra I e II rilievo

È stata fatta una stima approssimativa dell'accrescimento medio della specie tra I e II rilievo. A tal proposito, sono stati considerati esclusivamente i plot che non hanno subito perdite e danni da brucamento nel periodo intercorrente tra i 2 rilievi. In particolare, è stata fatta la differenza tra le medie delle altezze per plot nei 2 periodi e di queste è stata fatta la media ottenendo un valore indicativo di quanto sono cresciute in altezza le 3 specie tra agosto e ottobre.

Calcolo degli individui brucati e % di brucamento

Per fare una stima dell'impatto in termini numerici che questo tipo di danni hanno comportato sulle piante sono stati calcolati numero di individui brucati e numero di aree interessate da brucamento per specie e per periodo. Dal rapporto tra i valori trovati e i corrispettivi valori totali, sono state calcolate le % di individui e aree rispettivamente brucate e danneggiate.

ANALISI STATISTICA

Sono stati effettuati dei test-t sulle medie dei dati dei due rilievi per verificare la significatività delle differenze; l'ipotesi nulla, qualora accettata, implica che le medie non variano. I test sono appaiati, in quanto le variabili fanno riferimento alle stesse unità sperimentali in due periodi differenti. Inoltre, sono stati effettuati dei test di correlazione rispettivamente tra volume di necromassa e numero di individui sopravvissuti per plot e tra volume di necromassa e numero di piante non brucate per plot per verificare l'eventuale influenza che potrebbe avere la necromassa sulle piantine, in riferimento alle funzioni che essa può assolvere in termini di protezione e facilitazione.

RISULTATI

Di seguito verranno riportati i risultati dell'elaborazione dei dati dei due rilievi.

1. MORTALITÀ:

1.1 Numero di morti

I Rilievo		
	Piante morte	Piante vive
Acero	112	238
Larice	130	130
Sorbo	72	128

Tabella 1: piante morte vs vive, I rilievo

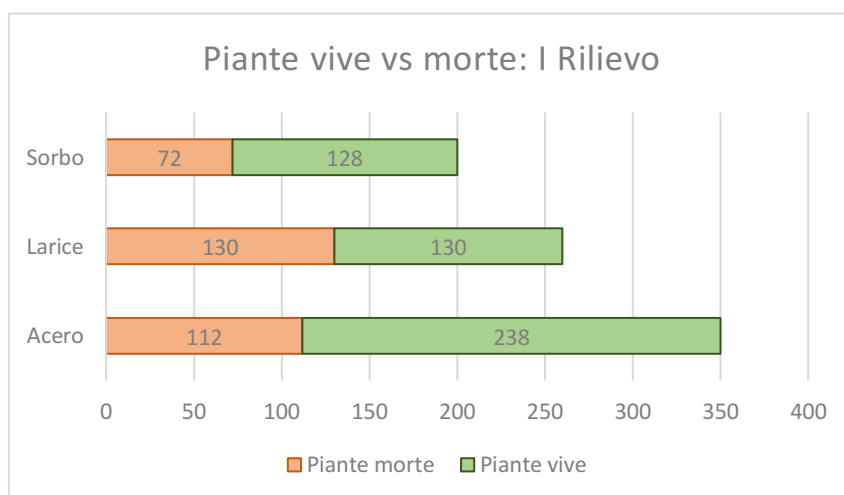


Grafico 1: piante vive vs morte, I rilievo.

II Rilievo			
	Piante morte	Piante morte tra I e II Rilievo	Piante vive
Acero	112	33	205
Larice	130	20	110
Sorbo	72	15	113

Tabella 2: piante morte vs vive, II rilievo

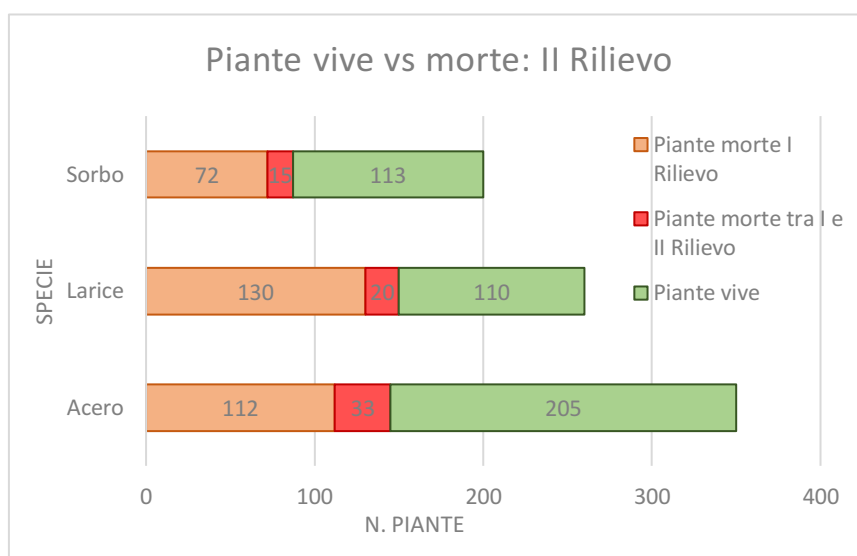


Grafico 2: piante morte vs vive, II rilievo

1.2 Percentuali di mortalità

Nelle *tabelle 3 e 4* rispettivamente per I e II rilievo sono riportati la somma del numero di morti per specie, il numero totale per specie e la percentuale di morti totale per specie.

I Rilievo			
Spp.	vivi	morti	% mort. tot.
Acero	350	112	32,34%
Larice	260	130	50,61%
Sorbo	200	72	36,21%
Tot.	810	314	38,77%

Tabella 3: % di morti totali, I rilievo

II Rilievo			
Spp.	vivi	morti	% mort. tot.
Acero	350	145	41,43%
Larice	260	150	57,69%
Sorbo	200	87	43,50%
Tot.	810	382	47,16%

Tabella 4: % di morti, II rilievo

Nel seguente *grafico 3* vengono messe a confronto le % di morte delle specie nei 2 rilievi.

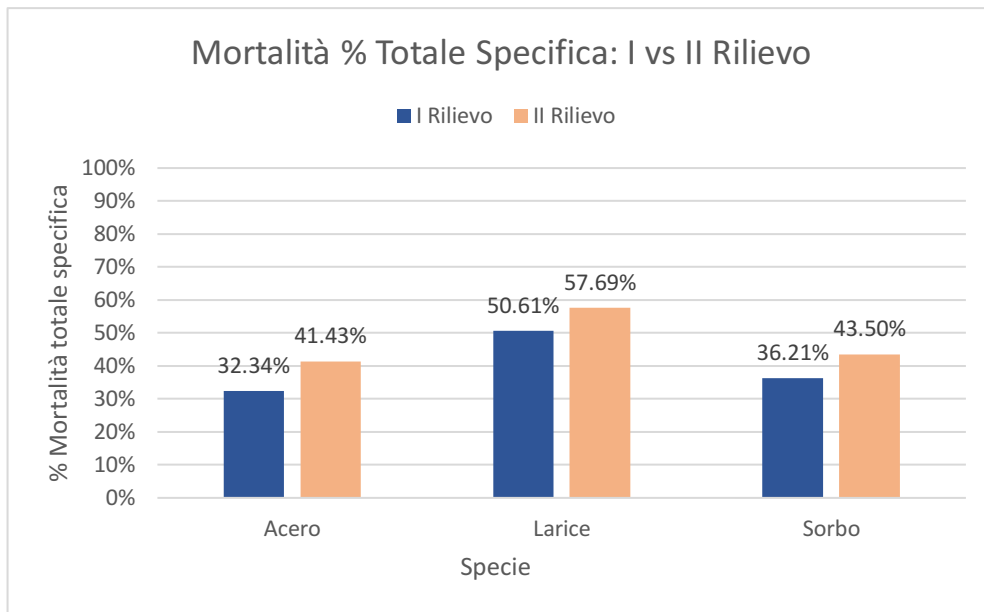


Grafico 3: mortalità % totale specifica; I vs II rilievo

Nel seguente *grafico 4* viene rappresentato il confronto tra la % di mortalità totale nei 2 rilievi.

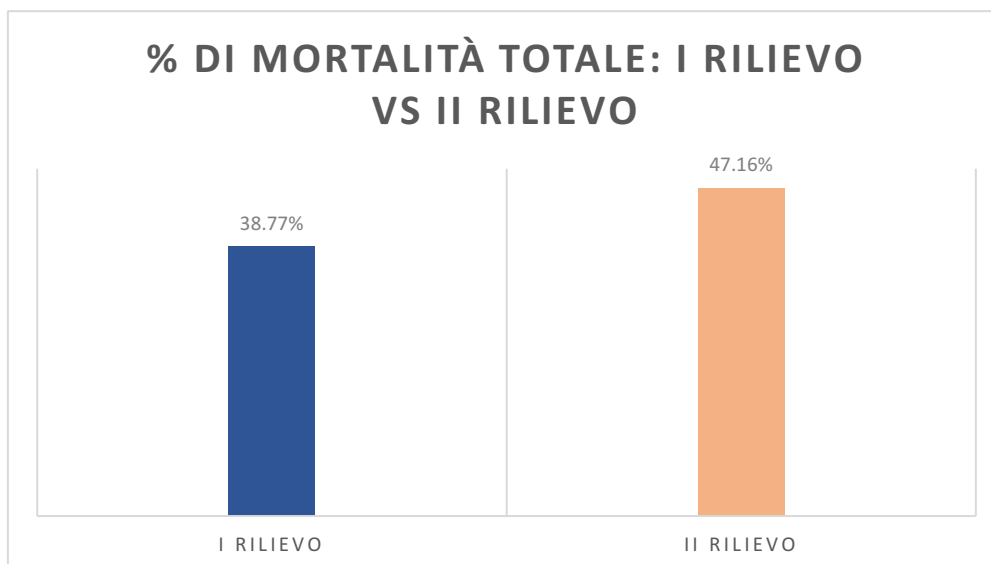


Grafico 4: % di mortalità totale; I vs II rilievo

1.3 Test t sulle mortalità medie

Nella *tabella 5* vengono riportati i risultati del test t tra le mortalità medie per specie nei 2 diversi periodi.

Test t			
Spp	Media I rilievo	Media II rilievo	p value
Acero	3,96	4,78	5,19613E-09
Sorbo	4,02	4,86	1,71921E-09
Larice	3,93	4,82	4,26625E-10

Tabella 5: test t sulle mortalità medie

Dai risultati emerge che esistono differenze statisticamente significative tra le medie in quanto $p < 0,05$ in tutti e 3 i casi. Si rifiuta quindi l'ipotesi nulla, quindi le medie delle mortalità nei 2 periodi per specie sono diverse.

1.4 Classificazione dei plot in base alla % di morti

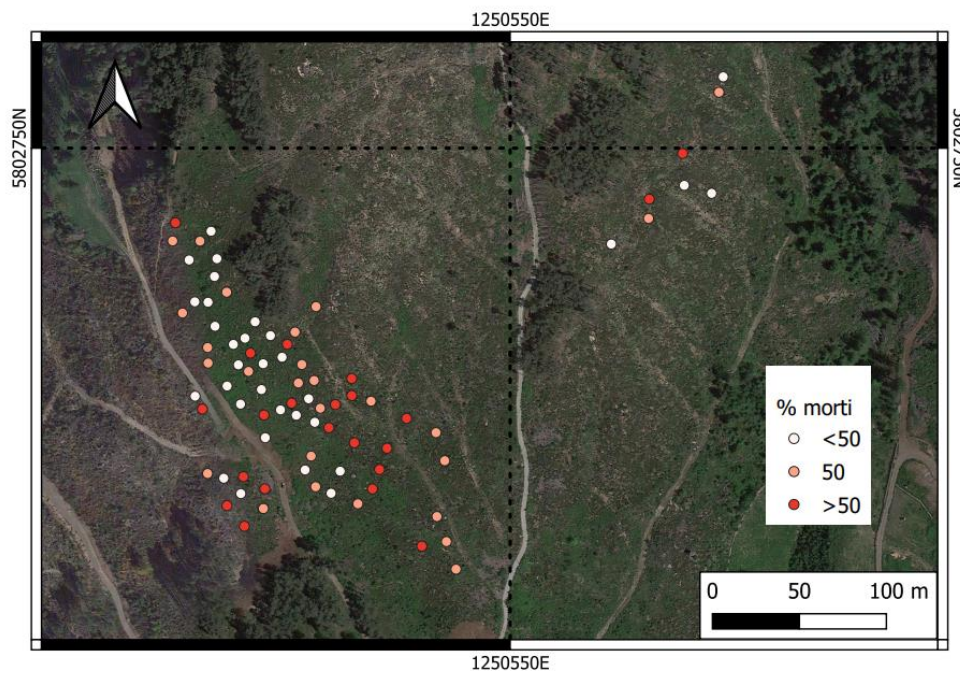


Immagine 10: Classificazione dei plot in base alla percentuale di morti; 47 plot hanno subito perdite maggiori o uguali al 50%; 34 plot hanno subito perdite inferiori al 50%

2. ALTEZZE

2.1 Altezza media per plot

I seguenti *grafici 5, 6 e 7* rappresentano le altezze medie per plot delle diverse specie nei periodi del I e del II rilievo.

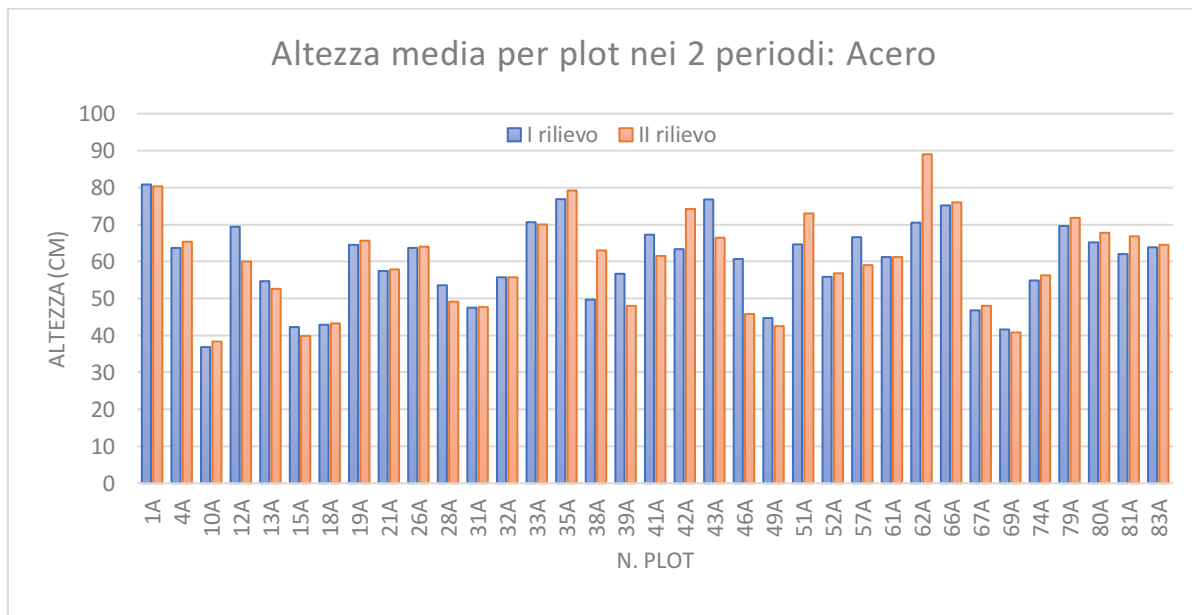


Grafico 5: media delle altezze dell'acero montano per plot; I vs II rilievo

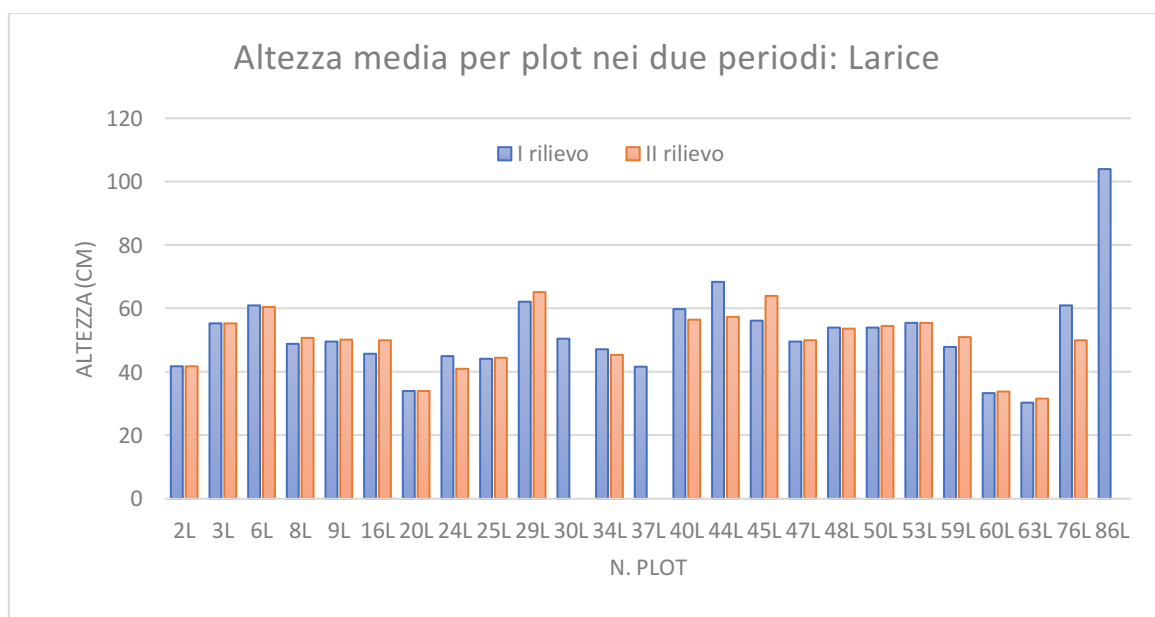


Grafico 6: media delle altezze del larice per plot; I vs II rilievo

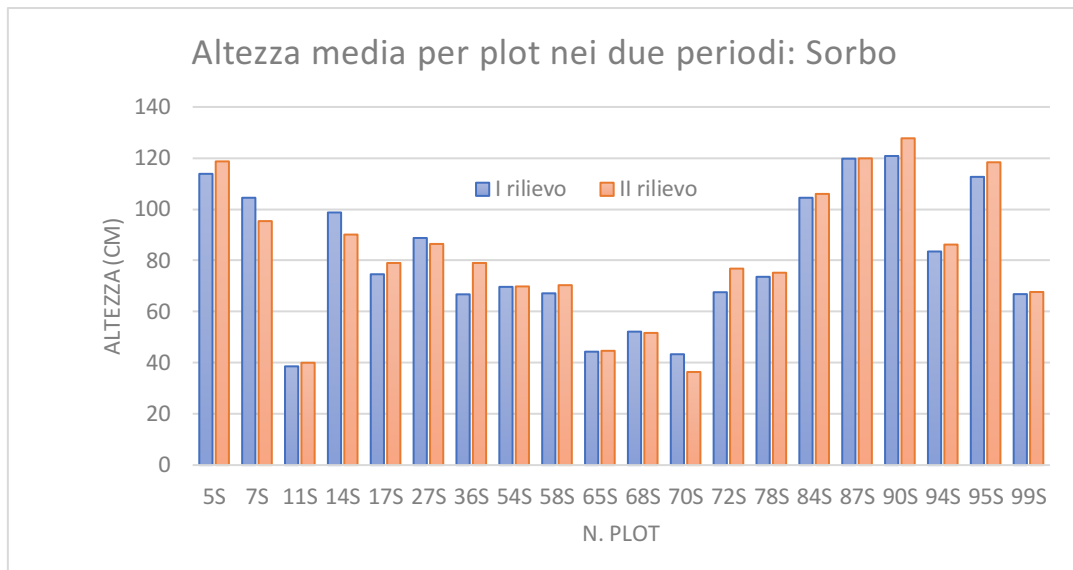


Grafico 7: media delle altezze del sorbo degli uccellatori per plot; I vs II rilievo

2.2 Altezza media per specie

Nel seguente *grafico 8* si può osservare il confronto tra la media delle altezze medie delle 3 specie nei periodi dei 2 rilievi.

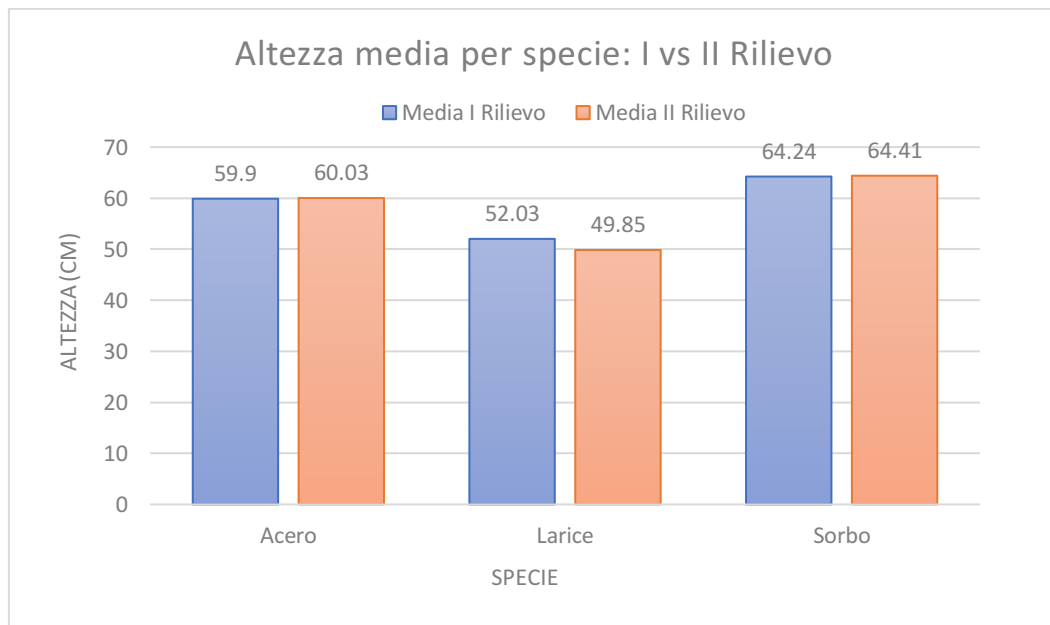


Grafico 8: altezza media per specie; I vs II rilievo

2.3 Stima dell'accrescimento medio per specie tra I e II rilievo

Nella seguente *tabella 6* sono riportati il numero dei plot per specie che sono state considerate e il valore dell'incremento medio in cm per specie; il successivo istogramma (*grafico 9*) mette a confronto gli incrementi medi per ogni specie.

Incremento medio in h		
Spp	N. aree	Incr. medio (cm)
Acero	18	3,57
Larice	8	0,48
Sorbo	10	2,69

Tabella 6: Incremento medio in altezza

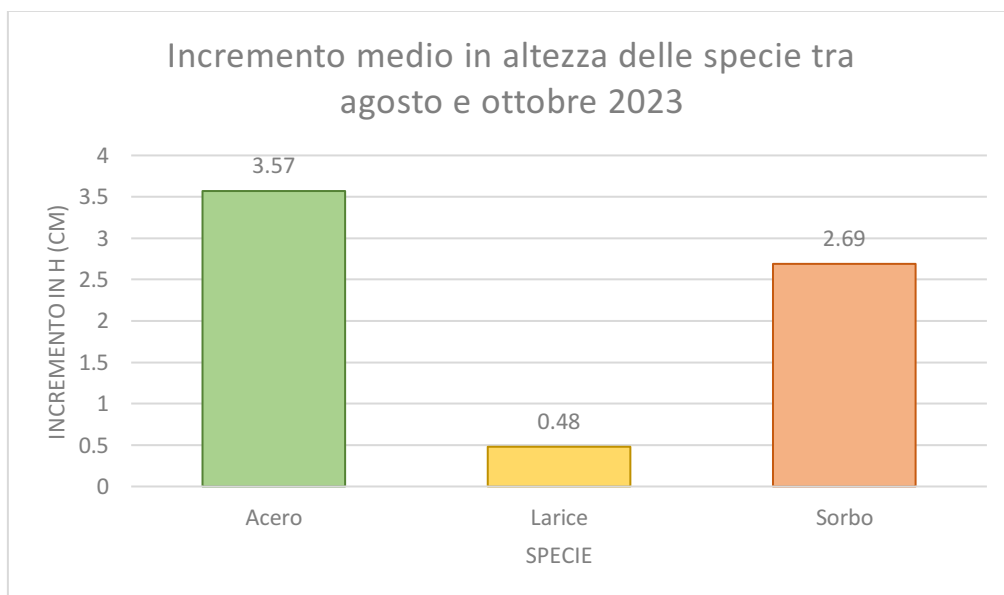


Grafico 9: incremento medio in altezza per specie tra I e II rilievo

3. BRUCAMENTO

3.1 Numero di individui brucati e percentuale di brucamento

Il brucamento da ungulati ha interessato acero montano e sorbo, mentre non ha interessato il larice. Nelle *tabelle 7 e 8* vengono riportati il numero degli individui brucati e il numero di aree interessate da brucamento per specie e per periodo.

Brucamento su Acero				
		N. brucati	N. tot.	% bruc.
I Rilievo	Piante	37	350	10,57%
	Aree	12	37	32,43%
II Rilievo	Piante	13	350	3,71%
	Aree	7	37	18,92%

Tabella 7: brucamento su acero montano

Brucamento su Sorbo				
		N. brucati	N. tot.	% bruc.
I Rilievo	Piante	17	200	8,5%
	Aree	5	20	25%
II Rilievo	Piante	1	200	0,5%
	Aree	1	20	5%

Tabella 8: brucamento su sorbo degli uccellatori

I grafici 10 e 11 mettono a confronto il numero di piante brucate per area nei due periodi per le 2 specie.

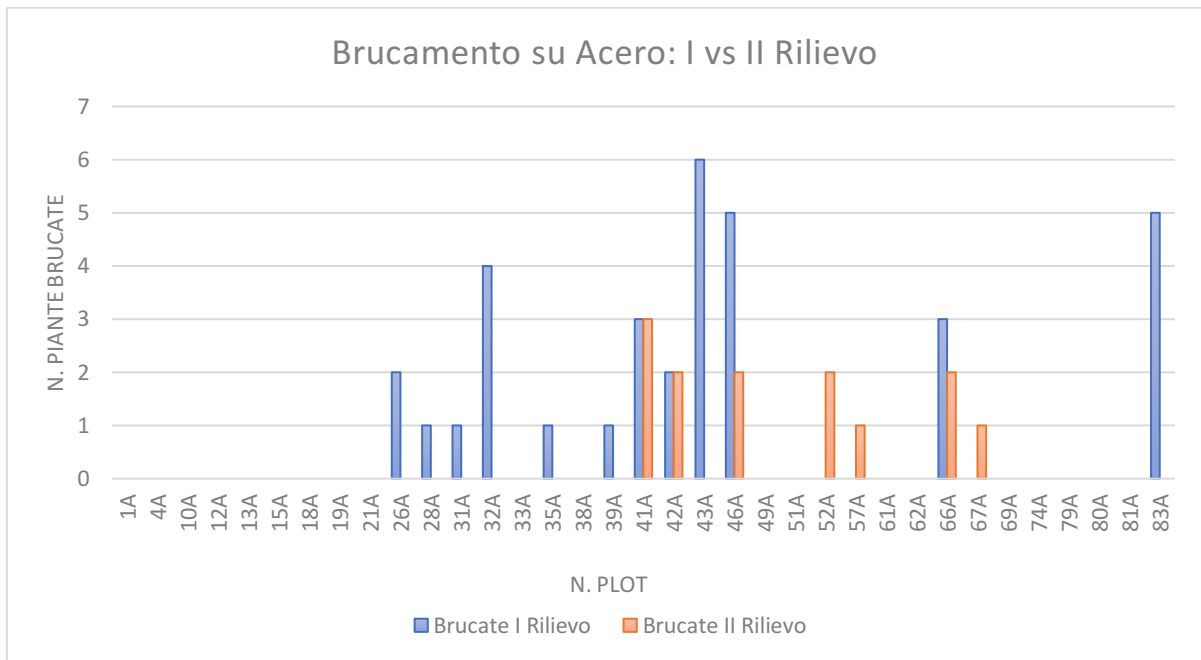


Grafico 10: brucamento su acero montano

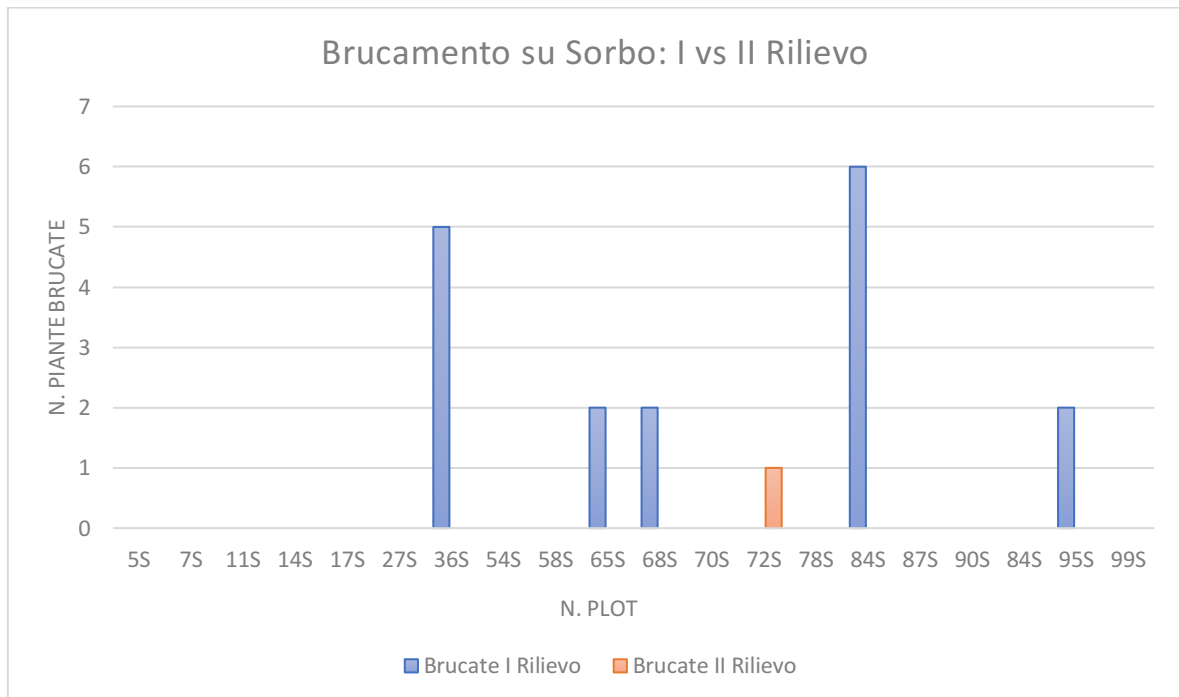


Grafico 11: brucamento su sorbo degli uccellatori

3.2 Classificazione dei plot in base al brucamento

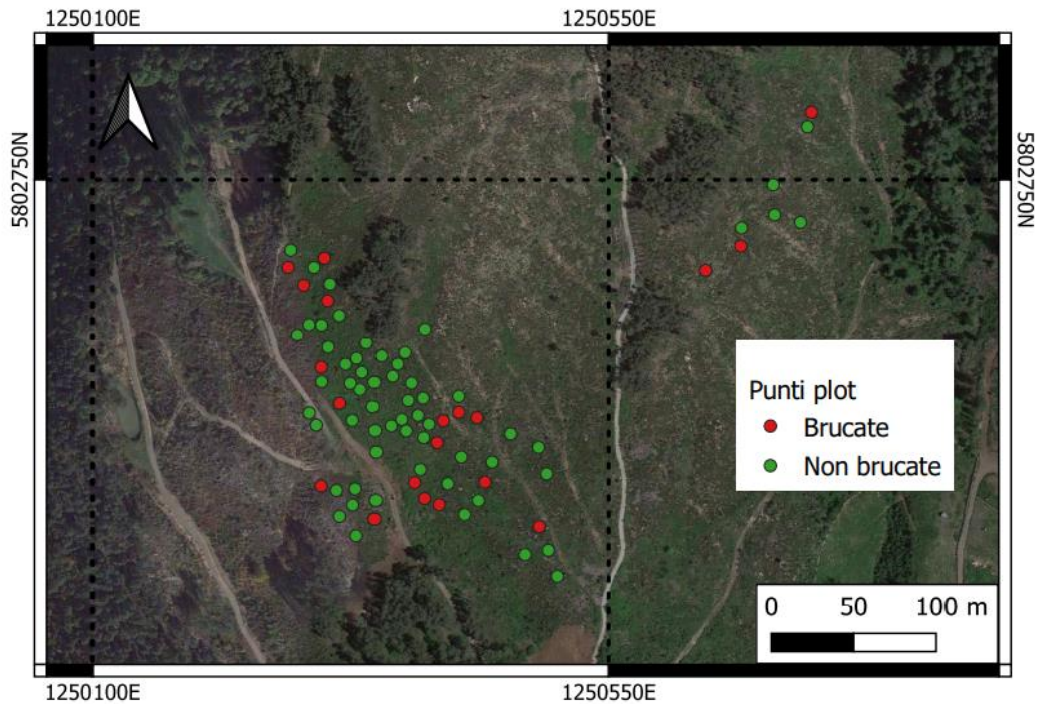


Immagine 11: classificazione dei plot in base al brucamento; sono stati interessati da brucamento 21 plot su 81

4. NECROMASSA

4.1 Classificazione tra ceppaie e tronchi a terra

Nel seguente grafico sono riportati gli elementi di necromassa divisi nelle categorie stump e log.

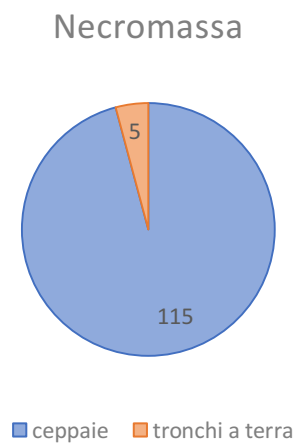


Grafico 12: ripartizione della necromassa tra stump e log

4.2 Volume di necromassa per plot e classificazione per classe volumetrica

Il volume della necromassa è stato calcolato mediante la seguente formula (Marchetti e Lombardi, 2006):

$$V (m^3) = \frac{\pi}{4} * d^2 * h$$

In cui d è il diametro della ceppaia all'altezza del taglio e h è l'altezza della ceppaia. I valori di volume sono stati divisi in classi. Il *grafico 13* rappresenta il numero di plot per ogni classe di necromassa.

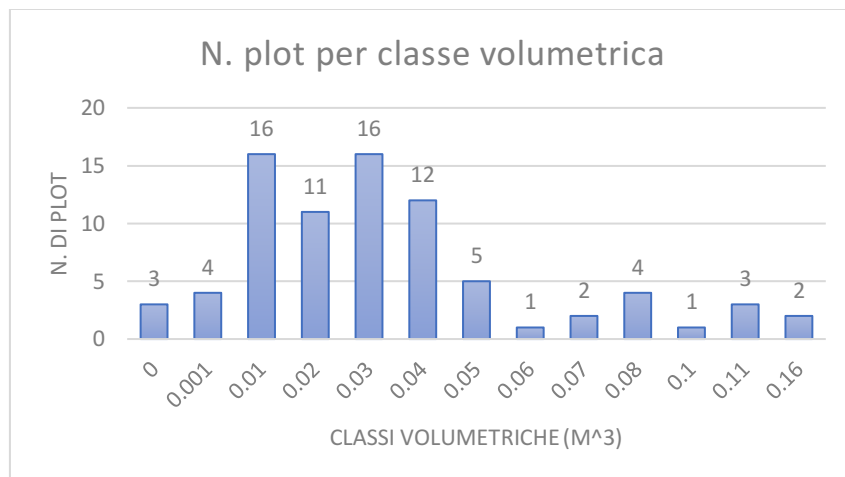


Grafico 13: numero di plot per classe volumetrica di necromassa

4.3 Correlazione tra volume di necromassa e numero di individui sopravvissuti per plot

Mediante il software Excel sono stati messi in correlazione i valori di volume di necromassa e il numero di sopravvissuti per plot (considerando i dati del II rilievo). Di seguito sono riportati i grafici relativi a tale correlazione per ogni specie e i corrispettivi valori.

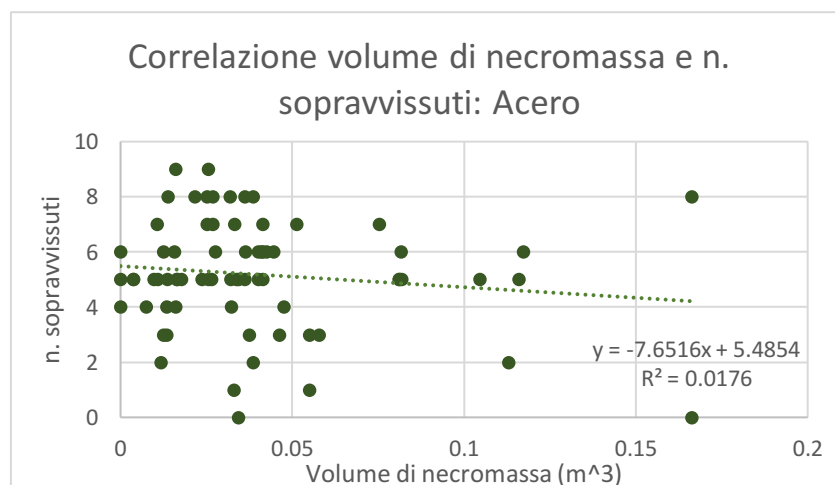


Grafico14: correlazione tra volume di necromassa e n. vivi di acero montano

$r = -0,13$; $r \text{ soglia} = 0,325$; $r < r \text{ soglia}$, si accetta l'ipotesi nulla che implica l'assenza di correlazione tra volume di necromassa e n. di individui sopravvissuti di acero montano.

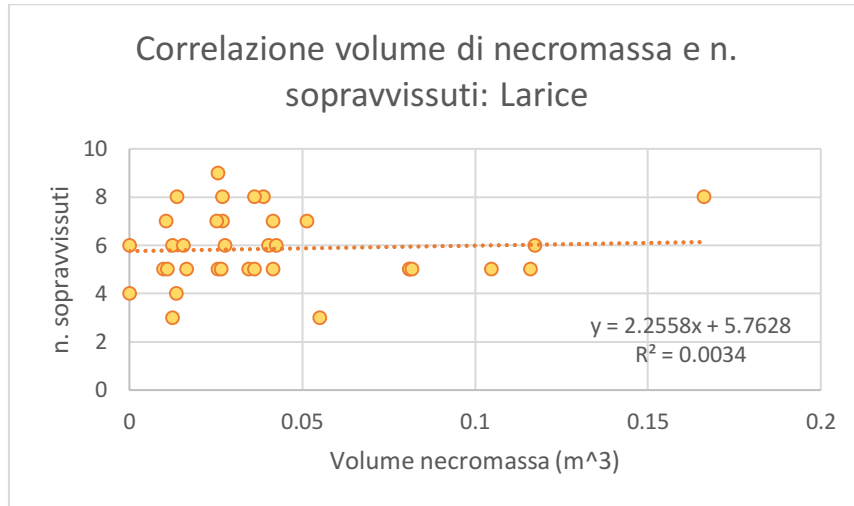


Grafico 15: correlazione tra volume di necromassa e n. vivi di larice

$r = -0,13$; $r \text{ soglia} = 0,413$; $r < r \text{ soglia}$, si accetta l'ipotesi nulla che implica l'assenza di correlazione tra volume di necromassa e n. di individui sopravvissuti di larice.

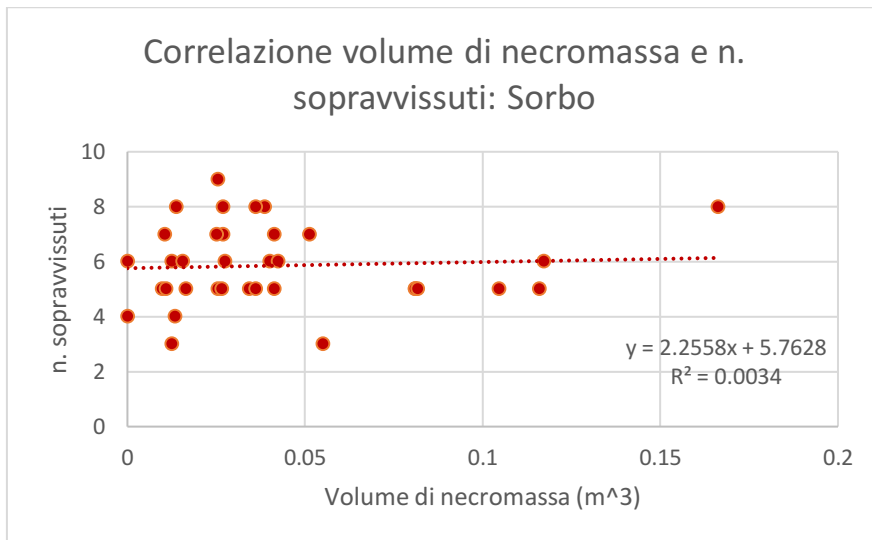


Grafico 16: correlazione tra volume di necromassa e n. vivi di sorbo degli uccellatori

$r = -0,10$; $r \text{ soglia} = 0,444$; $r < r \text{ soglia}$, si accetta l'ipotesi nulla che implica l'assenza di correlazione tra volume di necromassa e n. di individui sopravvissuti di sorbo degli uccellatori.

4.4 Correlazione tra volume di necromassa e numero di piante non brucate per plot

Di seguito sono riportati i grafici relativi a tale correlazione per acero montano e sorbo e i corrispettivi valori.

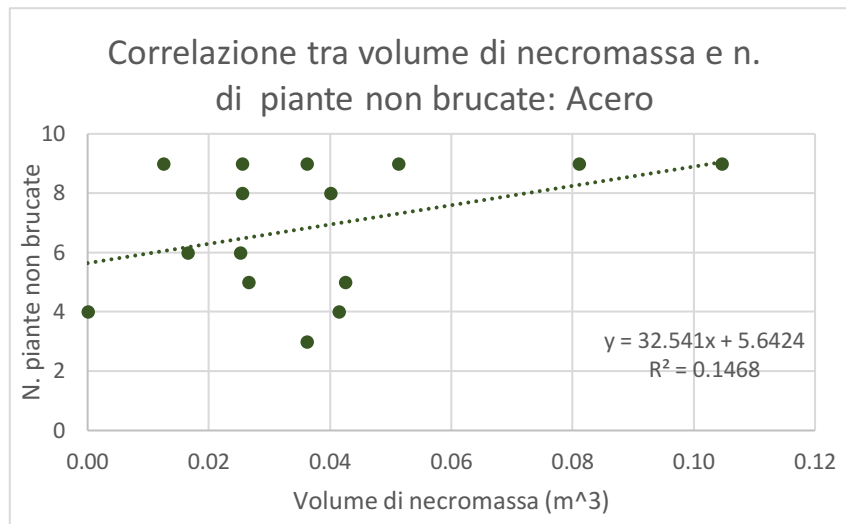


Grafico 17: correlazione tra volume di necromassa e n. di piante non brucate di acero montano

$r = 0,38$; r soglia = $0,482$; $r < r$ soglia, si accetta l'ipotesi nulla che implica l'assenza di correlazione tra volume di necromassa e n. di piante non brucate di acero montano.

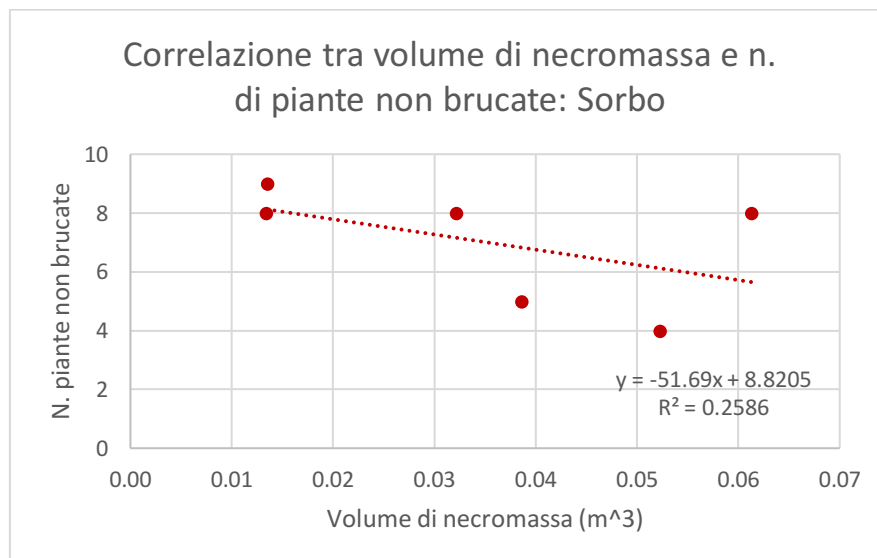


Grafico 18: correlazione tra volume di necromassa e n. di piante non brucate di sorbo degli uccellatori

$r = -0,50$; r soglia = $0,812$; $r < r$ soglia, si accetta l'ipotesi nulla che implica l'assenza di correlazione tra volume di necromassa e n. di piante non brucate di sorbo degli uccellatori.

DISCUSSIONE

Mortalità

L'elevata mortalità delle piantine nei plot osservati è probabilmente dovuta alla combinazione di diversi fattori come stress da trapianto, competizione, stress idrico e brucamento da ungulati. Palma e Laurance (2015) e Leverkus et. al (2021) affermano che il trapianto è la tecnica più utilizzata negli interventi di ripristino e favorisce maggior sopravvivenza, crescita più veloce e minor predazione; tuttavia, può influenzare negativamente lo sviluppo dell'apparato radicale, particolarmente nelle piantine prodotte in vivaio. Castro et. al (2021) ipotizzano che l'impatto sull'apparato radicale sia maggiore nel caso del trapianto rispetto alla semina diretta e che questo comporti una maggiore esposizione a stress idrici; nel caso del sito di Tressilla, caratterizzato da micro-siti xerici e fortemente esposti alla radiazione solare, tali stress potrebbero essere stati letali per le piantine, complice anche la siccità estiva. Inoltre, sono da considerare anche le dimensioni dei plot per la possibile competizione che può instaurarsi tra gli individui piantati. Nel caso studio le piantine sono posizionate in un raggio di 1-2 m attorno al punto centrale, formando plot di dimensioni decisamente ridotte; Cole et. al (2010) e Zahawi e Auspurger (2006) suggeriscono che plot con dimensioni minori di 8 m x 8 m sono significativamente meno efficienti rispetto a nuclei di dimensioni maggiori. Tuttavia, saranno necessari ulteriori studi per comprendere come densità e distanza tra individui piantati possono influenzare i movimenti dei dispersori di semi, la possibilità di insediamento dei semi e la loro sopravvivenza. In alcuni casi le piantine risultavano essere sovrastate dalla vegetazione naturale, prevalentemente da felci che potrebbero aver comportato eccessivo ombreggiamento. Su acero montano sono stati rinvenuti anche attacchi da funghi, che tuttavia non sembrano aver compromesso lo sviluppo delle piantine. Importante infine è l'impatto degli ungulati, che con il brucamento hanno indubbiamente contribuito ad aumentare la mortalità; su sorbo sono stati osservati anche danni da sfregamento.

Altezze

Il sorbo degli uccellatori è la specie con altezza media superiore, seguito da acero montano e larice. In tutte e 3 le specie si denota una diminuzione dell'altezza media dal I al II rilievo; ciò è dovuto all'effetto della mortalità e del brucamento nei singoli plot. L'acero montano è la specie con incremento medio in altezza maggiore, seguito da sorbo degli uccellatori e larice. L'altezza delle

piantine può rappresentare un fattore attrattivo per gli ungulati agenti di brucamento in virtù della maggior visibilità (Smit et. al 2012). Inoltre, il raggiungimento di un'altezza superiore ad eventuali elementi protettivi come necromassa e altre piante può esporre la piantina a fattori come vento, radiazione solare e quindi stress idrico (Castro et. al 2021). L'assenza di elementi protettivi e l'esposizione agli stress ambientali delle piantine possono spiegare l'elevata mortalità di alcune specie.

Brucamento

I danni da brucamento rappresentano uno dei fattori più influenti sulla sopravvivenza e sulla crescita delle piante di giovane età; l'azione degli ungulati erbivori è un importante fattore che influenza la rinnovazione in aree colpite da schianti da vento (Senn e Odermatt, 2002; Ramming, 2006), tanto da essere una delle principali cause di fallimento degli interventi di ripristino (Anthelme et. al 2014). Attacchi ripetuti possono avere come conseguenza la riduzione della crescita, mantenendo le piantine entro un range di altezza tale da renderle suscettibili al brucamento per anni (Gill, 1992). L'entità del danno dipende dalla specie che lo causa, dall'intensità e dal periodo in cui avviene l'attacco; la riduzione della crescita o la morte dipendono da età e dimensioni della pianta. Individui giovani o di piccole dimensioni hanno maggiori probabilità di morire rispetto a piante di dimensioni maggiori (Krefting e Stoeckler, 1953; Hartwell, 1973; Hartwell e Johnson, 1983). Specie diverse presentano caratteristiche diverse in termini di resilienza; studi condotti da Eiberle (1975) suggeriscono ad esempio che il sorbo degli uccellatori sembra essere particolarmente resiliente, anche nei casi in cui l'altezza della pianta viene ridotta a pochi centimetri dal terreno; d'altro canto, rappresenta una delle principali specie più appetite e ricercate dagli ungulati, sin dai primi stadi di sviluppo (Motta, 2003). L'acero montano è la specie più appetita dalle popolazioni di capriolo dell'Europa Centrale, assieme all'abete bianco; ciò è in accordo con i risultati, in quanto l'acero montano è la specie che ha subito maggiori danni da brucamento nei plot osservati. La maggior parte dei danni sono stati registrati nel periodo estivo; ciò è in linea con quanto teorizzato da Gill (1992), ovvero che l'impatto del brucamento sulle latifoglie è maggiore nei mesi estivi.

Necromassa

La necromassa rappresenta un elemento utile all'insediamento della rinnovazione in quanto può contribuire a creare un micro-clima funzionale allo sviluppo delle piante, può fornire nutrienti attraverso la decomposizione e può agire da barriera contro gli erbivori (Catro 2013; Marañón-Jiménez e Castro, 2013; Marcolin et. al 2019). Nelle dinamiche naturali, i tronchi a terra (“nurse logs”) rappresentano siti particolarmente sfruttati da alcune specie specializzate come abete rosso e abete bianco per la germinazione in quanto ciò garantisce dei vantaggi per esempio in termini di competizione con le piante del sottobosco (Thom, D., Ammer, C., Annighöfer, P. et. al 2023). Nei confronti del brucamento, una maggiore rugosità del suolo conferita dalle “legacies” (ad esempio ramaglie, tronchi, ceppaie, detriti legnosi) può rendere più complicato l'accesso ad alcune specie di ungulati o non rendere visibili le piantine. Tuttavia, questi fattori di facilitazione potrebbero non essere sufficienti a garantire lo sviluppo di alcune specie più sensibili al cambiamento climatico (Seidl et. al 2014) o comunque in un contesto di rinnovazione artificiale caratterizzato dalla presenza di piantine la cui altezza è tale per cui risultano essere facilmente individuabili. Sono stati osservati casi in cui alcune piantine sono state messe a dimora direttamente adiacenti o sotto la ceppaia, mentre in altri sono state disposte nei dintorni. Non sono state trovate correlazioni che provino il ruolo della necromassa nella protezione da brucamento o nella facilitazione alla crescita. Tuttavia si ritiene che andrebbero svolti test più approfonditi che considerino variabili più indicative del volume per determinare la presenza di eventuali correlazioni.

CONCLUSIONI

Le operazioni di ripristino ecologico concorrono al raggiungimento o al mantenimento a lungo termine di condizioni di stabilità e integrità dei sistemi forestali interessati da disturbi che ne hanno alterato struttura e componenti. Nel caso del sito di Tressilla, caratterizzato dalla quasi completa assenza di copertura arborea, la strategia di intervento implementata con il Progetto LIFE Vaia ha come obiettivo principale quello di ricostituire una soddisfacente copertura forestale in breve tempo e di aumentarne la resilienza, basandosi sul metodo di ripristino attivo dell'*applied nucleation*. Ad oggi, sulla base di quanto osservato in 2 rilievi svolti rispettivamente in agosto e in ottobre dell'anno 2023, si conclude che è stata persa circa il 47% della consistenza iniziale di piantine messe a dimora. Il brucamento da ungulati ha danneggiato notevolmente le piante di acero montano e sorbo degli uccellatori, mentre non ha interessato le piantine di larice, che tuttavia risulta essere la specie che ha subito la mortalità più elevata. Seppur sia ormai noto da molti studi come la necromassa possa svolgere un ruolo fondamentale nella facilitazione della crescita e nella difesa delle piantine da erbivori, in questo caso studio non sono state trovate correlazioni che confermino tale ipotesi. Nel presente caso studio si denota un contesto ambientale in cui la rinnovazione naturale risulta essere ampiamente diffusa e talvolta ben insediata; questo fattore può influenzare l'intervento di ripristino effettuato, in quanto le dinamiche naturali andranno inevitabilmente ad intrecciarsi con quelle dei plot artificiali. D'altra parte, il metodo dell'*applied nucleation* presuppone che, in tempistiche più o meno lunghe, le dinamiche naturali si inseriscano e prevalgano su quelle temporaneamente innescate dall'uomo, ripristinando un equilibrio naturale. Attraverso successivi monitoraggi si potranno osservare fattori come percentuale di mortalità, tasso di espansione dei nuclei e diversificazione specifica eventualmente confrontandoli con quelli relativi ai nuclei di rinnovazione naturale presenti nella medesima area, la cui presenza può rappresentare un elemento funzionale all'applicazione di metodi "*no intervention*" di tipo passivo. Inerentemente al tema del ripristino ecologico, Dollinger C., Rammer W. e Seidl R., basandosi su uno studio da loro condotto nel 2023, esplicitano come sia necessario valutare quale tra metodo attivo e passivo sia meglio utilizzare in base alle caratteristiche dell'area considerata, in quanto dalla loro elaborazione risulta che il metodo di tipo attivo è, seppur di poco, più efficace di quello passivo, il quale però viene considerato come una viabile opzione. In tal senso, il sito di Tressilla potrà quindi in futuro rappresentare un caso studio utile per valutare, analogamente allo studio sopra riportato, non solo l'efficacia dell'*applied nucleation* e il successo del progetto in termini di sostenibilità ambientale ed economica, ma anche quale tra approccio passivo e attivo potrebbe essere il più funzionale agli obiettivi di ripristino prefissati.

RINGRAZIAMENTI

Ritengo doveroso esprimere la mia gratitudine nei confronti delle persone che hanno contribuito a rendere possibile la stesura di questa tesi.

In primo luogo, voglio ringraziare tutti i membri della mia famiglia a partire dai miei genitori, Mario e Silvia, e mia sorella Angelica per il loro continuo e prezioso supporto che hanno offerto nell'intero trascorso del mio percorso accademico.

Ringrazio il professore Emanuele Lingua e il Dott. Davide Marangon per la disponibilità e per i consigli che mi hanno permesso di realizzare questo lavoro e che mi saranno utili nella mia carriera professionale. Un ringraziamento particolare va al mio collega Daniele Tait per l'aiuto fornito in fase di rilievo e di raccolta dati.

Ringrazio tutti i ragazzi del gruppo "Trentini e Tesserati", con i quali ho potuto trascorrere dei momenti preziosissimi e che mi hanno accompagnato in questo percorso a Legnaro.

Un immenso grazie va ai miei insostituibili amici per il loro affetto, in particolar modo Ketty, che mi ha sempre assistito, nelle gioie e nei dolori, vicino e lontano da casa.

Infine, dedico questo lavoro ai miei nonni Guido e Gisella, che mi hanno sostenuto economicamente ed emotivamente e che mi hanno trasmesso le passioni che ho approfondito e continuerò ad approfondire nel mio percorso accademico. La consapevolezza di rendervi fieri mi ha dato la forza di credere in me stesso. Grazie.

BIBLIOGRAFIA

Atkinson, Joe, and Stephen P. Bonser. "'Active' and 'passive' ecological restoration strategies in meta-analysis." *Restoration Ecology* 28.5 (2020): 1032-1035.

Bernetti, Giovanni. "33. SPECIE ARBOREE PIONIERE E SPECIE ARBOREE CONCLUSIVE." *L'Italia forestale e montana* 60.3 (2005): 331-333.

Castro, J., Morales-Rueda, F., Navarro, F. B., Löf, M., Vacchiano, G., & Alcaraz-Segura, D. (2021). Precision restoration: A necessary approach to foster forest recovery in the 21st century. *Restoration Ecology*, 29(7), e13421.

Chirici, Gherardo, et al. "Stima dei danni della tempesta "Vaia" alle foreste in Italia." *Forest@* 16 (2019): 3-9.

Corbin, J. D., Robinson, G. R., Hafkemeyer, L. M., & Handel, S. N. (2016). A long-term evaluation of applied nucleation as a strategy to facilitate forest restoration. *Ecological Applications*, 26(1), 104-114.

Corbin, Jeffrey D., and Karen D. Holl. "Applied nucleation as a forest restoration strategy." *Forest Ecology and Management* 265 (2012): 37-46.

Dale, V. H., Joyce, L. A., McNulty, S., & Neilson, R. P. (2000). The interplay between climate change, forests, and disturbances. *Science of the total environment*, 262(3), 201-204.

Dale, Virginia H., et al. "The interplay between climate change, forests, and disturbances." *Science of the total environment* 262.3 (2000): 201-204.

De Meo, I., Cantiani, M., Cocciardi, D., & Paletto, A. (2012). Comunità locali e governance del territorio: un'indagine percettiva nell'Altopiano di Pinè. *Dendronatura*, 33(1).

Dollinger, Christina, Werner Rammer, and Rupert Seidl. "Climate change accelerates ecosystem restoration in the mountain forests of Central Europe." *Journal of Applied Ecology* (2023).

Gill, R. M. A. "A review of damage by mammals in north temperate forests: 3. Impact on trees and forests." *Forestry: An International Journal of Forest Research* 65.4 (1992): 363-388.

I tipi forestali del Trentino – Descrizione e aspetti dinamici 2018. Provincia Autonoma di Trento.

Leverkus, Alexandro B., and Jorge Castro. "An ecosystem services approach to the ecological effects of salvage logging: valuation of seed dispersal." *Ecological Applications* 27.4 (2017): 1057-1063.

Mitchell, S. J. "Wind as a natural disturbance agent in forests: a synthesis." *Forestry* 86.2 (2013): 147-157.

Motta, R., Ascoli, D., Corona, P., Marchetti, M., & Vacchiano, G. (2018). Selvicoltura e schianti da vento: il caso della "tempesta Vaia". *Forest@*, 15(1), 94-98.

Moya, D., De las Heras, J., López-Serrano, F. R., & Leone, V. (2008). Optimal intensity and age of management in young Aleppo pine stands for post-fire resilience. *Forest Ecology and Management*, 255(8-9), 3270-3280.

Prach, Karel, et al. "Possibilities and limitations of passive restoration of heavily disturbed sites." *Landscape Research* (2019).

Rammig, A., Fahse, L., Bebi, P., & Bugmann, H. (2007). Wind disturbance in mountain forests: simulating the impact of management strategies, seed supply, and ungulate browsing on forest succession. *Forest Ecology and Management*, 242(2-3), 142-154.

Ronchetti G. 1965. Carta dei suoli della Provincia di Trento. Ministero Agricoltura e Foreste.

Stato di attuazione del Piano d'Azione per la gestione degli interventi di esbosco e ricostituzione dei boschi danneggiati dalla Tempesta Vaia 2019. Provincia Autonoma di Trento.

Swanson, Mark E., et al. "Experimental downed woody debris-created microsites enhance tree survival and growth in extreme summer heat." *Frontiers in Forests and Global Change* 6: 1224624.

Thom, Dominik, et al. "Regeneration in European beech forests after drought: the effects of microclimate, deadwood and browsing." *European Journal of Forest Research* 142.2 (2023): 259-273.