UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali

Corso di laurea in Tecnologie Forestali e Ambientali

Caratterizzazione della rinnovazione naturale in popolamenti interessati dall'attacco di *Ips typographus* L. nella Valle di Anterselva (BZ)

Relatore:

Prof. Mario Pividori

Correlatore:

Dr. Enrico Marcolin

Laureanda:

Emma Caliari

Matricola n.

2067532

ANNO ACCADEMICO 2024-2025

INDICE

RIASSUNTO 1
ABSTRACT 2
RINGRAZIAMENTI 4
1. INTRODUZIONE E OBIETTIVI DELLO STUDIO 6
1.1. L'ABETE ROSSO 7
1.1.1. Caratteristiche generali e botaniche 7
1.1.2. Areale e distribuzione 8
1.1.3. Autoecologia 8
1.1.4. Struttura dei popolamenti 10
1.2. IL LARICE 11
1.3. IL PINO SILVESTRE 12
1.4. LA RINNOVAZIONE NATURALE 12
1.5. IL SIGNIFICATO DELLA DINAMICA FORESTALE 16
1.6. I DISTURBI NEI SISTEMI FORESTALI 18
1.6.1. Danni da vento 19
1.6.2. Danni da *Ips typographus* 21
2. INQUADRAMENTO STAZIONALE 24
2.1. Inquadramento geografico 24
2.2. Inquadramento geo-pedologico 26
2.3. Inquadramento climatico 26
2.4. Inquadramento vegetazionale 28
2.5. Inquadramento ecologico 28
2.6. Inquadramento selvicolturale 30
2.6.1. Cronologia degli eventi 31
3. MATERIALI E METODI 34
3.1. AREE DI SAGGIO CIRCOLARI: individuazione, raccolta dati e misurazione 34
3.2. TRANSETTO LINEARE: individuazione, raccolta dati e misurazione 38
3.3. Elaborazione statistica 40
4. RISULTATI 42
4.1. RINNOVAZIONE: DESCRIZIONE QUALITATIVA 42
4.2. RINOVAZIONE: DESCRIZIONE QUANTITATIVA 43
5. DISCUSSIONI 52
6. CONCLUSIONI 57
7. BIBLIOGRAFIA 60

RIASSUNTO

Negli ultimi anni, i disturbi naturali abiotici e biotici sono aumentati di intensità e frequenza, come conseguenza del cambiamento climatico che induce nelle foreste alpine una riduzione della resistenza e resilienza ai disturbi. L'infestazione da bostrico tipografo (*Ips typographus*) successiva alla tempesta Vaia del 2018, è arrivata ad interessare anche la zona della Val Pusteria (BZ), in particolare la Valle di Anterselva, dove si trova l'area boscata oggetto di questo studio, in cui, successivamente all'inizio degli attacchi da parte dello scolitide nel 2022, si è verificato anche da uno schianto da vento, che ha aggravato ulteriormente lo stato dell'infestazione.

Con l'obiettivo di caratterizzare la presenza e lo stato della rinnovazione naturale insediatasi nell'area sopra citata, è stata condotta un'indagine sulla rinnovazione e su alcuni dei parametri del microsito che ne condizionano l'insediamento e l'affermazione.

Dallo studio si evince che nella particella in esame è presente un'abbondante rinnovazione naturale (17700 individui ad ettaro), prevalentemente di abete rosso (81%), con presenza di larice (10%) e minoritariamente anche di pino silvestre (3,4%).

Al fine di aumentare la resistenza e la resilienza della foresta oggetto dello studio nei confronti dei disturbi, si suggeriscono cure colturali precoci per favorire il mix di specie (per esempio favorendo l'affermazione della rinnovazione di larice valutando anche l'eventuale protezione contro la brucatura da parte della fauna selvatica). Contestualmente, nell'ambito del progetto Interreg Alpine Space ADPTNOW (per il rafforzamento della capacità di adattamento dei territori alpini altamente impattati ed esposti) a cura di Eurac Research, vengono valutati interventi di rimboschimento per incrementare la presenza di larice e pino silvestre.

Favorire il passaggio al bosco misto, unitamente allo sviluppo di un soprassuolo con struttura verticale su più piani, può ridurre il rischio di future pullulazioni del bostrico tipografo ed aumentare la resistenza della foresta agli schianti da vento.

ABSTRACT

In recent years, the intensity and frequency of abiotic and biotic disturbances have increased as a consequence of climate change, which reduces the resistance and resilience of Alpine forests to such disturbances. The infestation of the spruce bark beetle (Ips typographus) following the Vaia storm of 2018 has also reached the Val Pusteria (BZ) area, particularly the Anterselva Valley, where the forested area under study is located. There, after the beginning of the beetle attacks in 2022, a windthrow event also occurred, which further worsened the state of the infestation.

With the aim of characterizing the presence and condition of the natural regeneration established in the aforementioned area, an investigation was carried out on the regeneration and on some of the microsite parameters that influence it.

The study shows that the plot under investigation contains abundant natural regeneration, predominantly of Norway spruce (17700 individuals per hectare), with the presence of larch (10%) and, to a lesser extent, Scots pine (3.4%).

In order to increase the resistance and resilience of the forest under study to disturbances, early silvicultural treatments are suggested to promote a mixture of species (for example, supporting the establishment of larch regeneration, also considering possible protection against browsing by wildlife). At the same time, within the framework of the Interreg Alpine Space ADPTNOW project (aimed at strengthening the adaptive capacity of highly impacted and exposed Alpine areas) coordinated by Eurac Research, reforestation interventions are being evaluated to increase the presence of larch and Scots pine.

Promoting the transition to mixed forest, together with the development of a multilayered vertical stand structure, can reduce the risk of future spruce bark beetle outbreaks and increase the forest's resistance to windthrow.

RINGRAZIAMENTI

Ringrazio di cuore innanzitutto la Stazione Forestale di Valdaora e in particolare il comandante Christian Mayr, per la grande disponibilità e prontezza nell'aiuto e nel fornire tutto il materiale necessario per il mio lavoro.

Un grazie speciale va ai miei genitori, che, oltre ad avermi aiutata pazientemente e con grande impegno durante il corso dei miei rilievi (tra un lampone e l'altro), mi hanno sostenuta (e anche sopportata) in tutto il lungo periodo di elaborazione e stesura, e hanno fatto sì che non perdessi mai la fiducia e il sorriso, soprattutto nei momenti più complessi. Grazie per esserci SEMPRE, per l'enorme sostegno che mi date per e la fiducia che avete in me.

E un grande grazie alle mie super amiche compagne di corso e di bei momenti, Arianna, Lucia e Maria, non sapete quanto sia grata di avervi trovate e di aver trascorso questi tre anni con voi sempre al mio fianco.

Infine, ringrazio il mio correlatore, il dottor Marcolin e il mio relatore, il professor Pividori, per avermi dato la possibilità di realizzare questo lavoro.

1. INTRODUZIONE E OBIETTIVI DELLO STUDIO

I disturbi naturali sono l'elemento chiave nelle dinamiche degli ecosistemi forestali e garantiscono il mantenimento di un'eterogeneità spaziale e temporale. Le foreste sono in grado di adattarsi ai propri naturali regimi di disturbo (Seidl et al., 2014), tuttavia, in conseguenza al cambiamento climatico, questi ultimi stanno mutando rapidamente, così come sta aumentando la frequenza nel verificarsi di disturbi, in particolar modo di eventi con un forte impatto e ingenti danni, che porteranno a profonde ripercussioni sugli ecosistemi e sui relativi sistemi socio-ecologici (Turner, 2010). Non è ancora del tutto chiaro come questi cambiamenti possano influenzare gli ecosistemi forestali e quali meccanismi contribuiscano alla resilienza presente e futura nei confronti dei disturbi. Comprendere il ruolo dei disturbi naturali all'interno delle dinamiche forestali di lungo periodo, una parte delle quali consiste nella rinnovazione post-disturbo, diviene sempre più importante per l'evoluzione delle strategie di gestione nell'ottica di contrasto e adattamento al cambiamento climatico.

E' aumentata anche la fragilità ecologica e la vulnerabilità delle foreste europee nei confronti di disturbi come schianti da vento e attacchi di scolitidi, dal momento che la superficie coperta da foreste e la biomassa per unità di superficie sono cresciute, così come l'età media e l'altezza media dei popolamenti forestali, che si presentano dunque invecchiati e con formazioni spesso monospecifiche ed a struttura monoplana, il tutto unito a forme di gestione non sempre adeguate alle caratteristiche della stazione forestale. (Battisti, 2023)

Gli attacchi di scolitidi come *Ips typographus* (bostrico tipografo) alle foreste di conifere in ambito europeo sono in continua crescita in seguito a vari fenomeni di disturbo quali tempeste di vento e altri eventi climatici, come ad esempio siccità prolungate. Varie specie di conifere sono interessate al problema, che si manifesta con particolare intensità e frequenza a carico dell'abete rosso (*Picea abies*), soprattutto per l'ampia diffusione e l'importanza selvicolturale, rendendo dunque questa specie sempre più minacciata. In Italia il problema non è nuovo, tuttavia, disturbi di scala così rilevante come quella rappresentata dalla tempesta Vaia di fine ottobre 2018 e la successiva ondata di bostrico tipografo non erano mai stati registrati (Battisti, 2023).

Queste situazioni stanno comportando delle sostanziali trasformazioni nella struttura verticale e orizzontale dei popolamenti di abete rosso che andranno inevitabilmente a condizionare fortemente il futuro sviluppo degli stessi (Andreatta, 2021)

Il presente studio è stato condotto all'interno di un'area boscata situata nella valle di Anterselva in provincia di Bolzano, una tra le valli con i più pesanti attacchi di bostrico dell'Alto Adige nord-orientale conseguenti la tempesta Vaia del 2018; l'area di studio è stata inoltre interessata da uno schianto da vento nel febbraio 2023, evento che ha provocato un ulteriore incremento degli attacchi dello scolitide.

L'obiettivo di questo studio consiste nel monitorare e caratterizzare lo stato della rinnovazione naturale insediatasi in seguito agli attacchi da *Ips typographus* L. (bostrico tipografo), quindi alla successiva morte e rimozione degli individui colpiti, e in corrispondenza dello schianto da vento del 2023.

In particolare, ci si prefigge di:

1. Caratterizzare la rinnovazione naturale presente, attraverso la misurazione di alcuni tra i parametri del microsito che ne influenzano l'insediamento
2. Stimare la quantità di rinnovazione presente al momento del monitoraggio (a 3 anni dall'attacco del bostrico e a 2 anni dallo schianto da vento) nella particella in esame

1.1. L'ABETE ROSSO

1.1.1. Caratteristiche generali e botaniche

Picea abies (L.) Karst. è una conifera appartenente alla sezione *Picea* della famiglia delle *Pinaceae*, comunemente chiamata "abete rosso" o "peccio". Si tratta di una specie di grandi dimensioni, in grado di raggiungere e superare un'altezza di 50-60 metri e una circonferenza di 1-2 metri; può vivere fino a 400-500 anni. Possiede un portamento monopodiale, mentre la chioma ha un profilo triangolare o ogivale, con base allargata e cima sempre acuta. La corteccia è sottile e di colore rossastro. I rami principali sono numerosi, corti e relativamente sottili, ascendenti, orizzontali oppure discendenti. Le gemme sono coniche, lunghe circa 6 mm, non resinose e con perule rosso-brune. Gli aghi persistono per diversi anni (8-10), sono lunghi 15-25 mm e sono di colore verde scuro lucente.

Si tratta di una specie monoica: i conetti maschili si trovano presso l'estremità dei rametti dell'anno precedente soprattutto nella parte medio-superiore della chioma, mentre all'apice di rametti laterali, di solito più in alto, si trovano i conetti femminili; questi ultimi sono solitari, cilindrici e restano eretti fino alla fecondazione, in seguito alla quale diventano penduli. L'impollinazione avviene fra aprile e giugno. Gli strobili mantengono la forma cilindrica, rastremata alle estremità, sono penduli, di lunghezza variabile intorno a 10-15 cm e di larghezza pari a 3-4 cm; inizialmente sono verdi, poi virano al marrone quando raggiungono la maturazione, in autunno. Le squame sono sottili, coriacee e persistenti, di forma spesso romboidale. Gli strobili maturano nell'anno stesso, durante l'inverno avviene la disseminazione e successivamente essi cadono interi. Ogni squama porta due semi lunghi 3-5 mm, avvolti lateralmente da un'ala lunga 2-3 volte il seme; il seme non è dormiente e la facoltà germinativa si mantiene anche per un paio di anni.

La plantula possiede un ipocotile sottile, verde e 6-11 cotiledoni (spesso 9) lunghi 12-17 mm, ricurvi e sottili, con linee stomatifere bluastre. Le foglie primarie sono sottili, inserite su cuscinetti biancastri e con i margini dentellati anziché lisci.

La produzione di semi è tardiva in bosco (40-50 anni), più precoce in piante isolate (25-30 anni); Produzioni più abbondanti si hanno ogni 3-4 anni, che salgono a 8-10 nelle stazioni più fredde. I semi vengono dispersi principalmente per mezzo del vento, ma anche attraverso uccelli e altri animali.

Oltre che per seme, l'abete rosso si propaga per propaggine, per innesto e per talea.

L'apparato radicale è molto superficiale e le grosse radici non scendono al di sotto del mezzo metro di profondità. Esso ha quindi un andamento orizzontale e può svilupparsi anche in terreni profondi pochi centimetri; penetrando con le radici di ordine superiore attraverso gli interstizi del substrato roccioso sottostante, l'apparato radicale può però raggiungere profondità maggiori. La superficialità dell'apparato radicale è la causa principale della facilità con cui le piante di abete rosso possono venire sradicate dal vento.

1.1.2. Areale e distribuzione

L'abete rosso è la specie principale nelle foreste di conifere boreali e subalpine, dall'Europa Centrale (sulle montagne) al Nord ed Est Europa, fino ai Monti Urali, dove si mescola con l'abete siberiano (*Picea obovata*). Il suo intervallo altitudinale va dal livello del mare nel Nord Europa, fino a 2000-2200 m nelle Alpi.

Limitatamente all'areale italiano, l'abete rosso forma foreste pure anche molto estese, si trova tuttavia frequentemente anche allo stato misto, mescolato alle altitudini medio-basse con il faggio e l'abete bianco e oltre i 1800 m con le conifere montane, soprattutto con il larice.

1.1.3. Autoecologia

L'abete rosso costituisce la specie più importante della regione alpina, collocandosi soprattutto nelle fasce altimontana e subalpina. Esso scende anche nella fascia montana, costituendo ancora delle peccete. Più di frequente, però, si mescola con il faggio, a formare i piceo-faggeti, e/o con l'abete bianco negli abieteti. Resta, invece, solo marginale alle formazioni con pino silvestre, dove entra solo nelle situazioni più mature, quando l'aridità edafica si fa sentire meno.

L'ampia diffusione dell'abete rosso evidenzia la sua plasticità, carattere sfruttato dall'uomo che lo ha diffuso un po' dovunque, favorendolo per il suo legno particolarmente apprezzato.

Esigenze termiche

L'abete rosso è resistente alle basse temperature e può essere incluso nel gruppo delle nostre specie microterme, tuttavia, si mostra sensibile alle gelate tardive.

La breve persistenza delle condizioni adatte al completamento della stagione vegetativa può essere limitante, che provoca conseguenze sulla riproduzione e sulla rinnovazione. Esso, infatti, necessita per il completamento delle attività vitali, di almeno due mesi e mezzo con temperature maggiori di 10°C,

ma le condizioni ottimali sarebbero di tre mesi e mezzo con temperature superiori a 14°C, condizioni non insolite alle alte quote della montagna alpina, soprattutto centro orientale.

Il periodo di allungamento del getto apicale varia secondo l'altitudine, gli ecotipi e, anche, secondo gli individui. A bassa quota va, in media, da maggio a luglio e per un totale di circa 60 giorni. A 1900 m di altitudine, il periodo di allungamento si sposta a luglio-agosto con 35-45 giorni.

Il numero di giorni disponibile per la fotosintesi attiva è molto più lungo di quello del larice (che è caducifolio) e si estende per tutto l'autunno finché non intervengono temperature inferiori a 6°C.

Esigenze idriche

Le esigenze idriche dell'abete rosso, comprese quelle di umidità atmosferica e edafica, sono stimate elevate e dunque è molto suscettibile a danni in annate siccitose. Richiede dunque piogge frequenti nel periodo vegetativo.

I fattori decisivi che legano l'abete rosso a stazioni relativamente umide e che lo rendono suscettibile a danni da aridità consistono prima di tutto nell'apparato radicale superficiale e, quindi, incapace di eludere l'aridità, e inoltre, nella grande intercettazione di pioggia da parte delle chiome soprattutto nei popolamenti giovani non diradati. Le crisi causate dall'aridità, sono (come per tutte le specie) più sensibili quanto più il popolamento è adulto. Sequenze di annate secche provocano una notevole riduzione dell'accrescimento diametrico che, poi, tarda a riprendere il ritmo al ristabilirsi della normalità pluviometrica.

Nel periodo invernale vi è un precario bilancio idrico, si hanno perdite d'acqua per traspirazione cuticolare non compensate da un adeguato assorbimento dal suolo gelato.

Esigenze edafiche

L'abete rosso non ha particolari preferenze in fatto di terreni, purché freschi e ricchi; si adatta non solo ai suoli calcarei, ma anche a quelli fortemente acidi o torbosi. I suoli ben areati e sciolti possono favorire uno sviluppo più profondo delle radici e, pertanto, anche una maggiore elusione dell'aridità. A causa dell'assenza o del minor vigore dei concorrenti, i suoli acidi favoriscono la frequenza dell'abete rosso e la stabilità dei suoi popolamenti anche nella fascia montana.

Risulta, invece, scarsamente competitivo su suoli con carenze idriche troppo spinte, avendo un apparato radicale superficiale e non essendo efficiente quanto il faggio nello sfruttamento dell'umidità atmosferica.

Esigenze di luce

Per quanto concerne la luce, si può considerare come una specie tollerante l'ombra, dunque sopporta bene l'ombra in presenza di altri fattori favorevoli come, ad esempio, un adeguato rifornimento idrico.

(da Gellini, Grossoni, 1996; San-Miguel-Ayanz J et al, 2016; Bernetti, 1995)

1.1.4. Struttura e tessitura dei popolamenti

I popolamenti di abete rosso si comportano differentemente a seconda del piano altitudinale in cui sono posti.

- Nel **piano montano**, si presentano chiusi, infatti se vi è seme, terreno e luce, tutta la superficie è colonizzabile. Le specie si dispongono tendenzialmente in unità selvicolturali, più in relazione tra loro che con altri individui.
- Nel **piano altimontano**, hanno una distribuzione verticale che varia da quella monoplana a quella multiplana, sempre con copertura aggregata e tessitura grossolana. La presenza di una copertura aggregata è principalmente legata al modo in cui si distribuisce la rinnovazione che trova facilità di affermazione solo in particolari microambienti.
- Nel **piano subalpino**, dove le condizioni stazionali sono più difficili (si ricorda che ogni 100 metri di quota diminuisce di una settimana il periodo vegetativo), la struttura è eterogenea poiché si alternano aree in cui essa è nettamente monoplana soprattutto a contatto con la pecceta altimontana, con copertura regolare scarsa o lacunosa, ad altre tendenzialmente biplana, con un rado piano dominato di soggetti infantili, ad altre ancora in cui è multiplana con copertura a cespi.

(da Del Favero, 2004)

Le peccete altimontane

Il limite tra la pecceta montana e subalpina è compreso tra 900-1300 e 1600-1800 m.

Il più delle volte le peccete si collocano in una fascia intermedia, che potremmo considerare altimontana o di transizione. In questa fascia, è possibile affermare che:

- Per quanto concerne l'accrescimento, è rapido, con precoce culminazione dell'incremento in altezza (prima di 50 anni) e conclusione dell'accrescimento verso i 100-150 anni
- La rinnovazione si presenta distribuita in modo regolare, con insediamento anche sotto copertura in soprassuoli diradati
- Vi è una veloce differenziazione in classi sociali, con elevata mortalità nel piano dominato
- La struttura consiste in soprassuoli densi, uniformi, tendenzialmente monoplani; i fusti sono caratterizzati da una forte autopotatura
- Lo strato arbustivo è presente sotto copertura e diventa molto più abbondante dopo il taglio

(da Gellini, Grossoni, 1996)

1.2. IL LARICE

Larix decidua Miller. è una conifera caducifoglia, tipicamente continentale, diffusa in Europa centrale e dell'Est.

E' caratterizzata da un accrescimento molto rapido in gioventù, può raggiungere altezze intorno ai 40 m e diametri superiori al metro e l'apparato radicale è fittonante. La chioma è rada e leggera, con aghi riuniti a mazzetti su brachiblasti, non molto espansa anche negli esemplari isolati. E' caratterizzato da un'elevata longevità, con età massima vicina ai 1.000 anni nei siti dove cresce lentamente.

È una specie monoica, che in primavera produce conetti maschili di colore giallo e femminili che sfumano dal rosa al rosso, i quali maturano nell'autunno dello stesso anno; i coni femminili maturi (di lunghezza pari a 2-4 cm e diametro intorno ai 2 cm) non si desquamano ma permangono sulla pianta per diversi anni. I semi vengono prodotti ogni anno, ma in maniera più abbondante ogni 5-6 anni; questi ultimi sono piccoli e ovali o irregolarmente triangolari, di colore bruno chiaro. E' una specie microterma, ma con una grande plasticità in termini di adattamento.

La perdita annuale delle foglie influenza la fisiologia di questa specie: la riduzione del numero di giorni disponibili per la fotosintesi viene compensata da un aumento dell'assimilazione, a cui corrisponde anche una maggiore perdita d'acqua per traspirazione, che continua anche in presenza di forti venti, senza la chiusura degli stomi. Questa elevata traspirazione rende il larice poco efficiente in condizioni di elevata umidità atmosferica e sui suoli compatti e con scarsa disponibilità idrica. Ne deriva, per le giovani piantine, la possibilità di affermarsi in mancanza di competizione idrica da parte di altre specie arboree o erbacee. Per le piante adulte le eventuali carenze idriche possono, invece, essere compensate dal reperimento d'acqua in profondità; tuttavia è più xerofilo rispetto all'abete rosso. E' una specie pioniera ed eliofila, che colonizza dunque substrati disturbati da eventi calamitosi come frane e valanghe, con suoli molto poveri ricchi di sostanza minerale grezza associati ad una buona disponibilità idrica. Le condizioni di optimum per il larice sono quindi: abbondanza di luce, terreno fresco e sciolto, aria limpida e secca e ventilazione.

Il larice è l'unica conifera di origine europea ad essere caducifoglie e questa sua caratteristica riveste un ruolo importante dal punto di vista ecologico. Gli aghi creano un tappetto che non permette nuova rinnovazione di larice ma favorisce l'entrata di altre specie come quelle definitive, ad esempio l'abete rosso.

Nell'arco alpino si trova in maniera naturale nella fascia sub-alpina, alle alte quote sopra i 1800m s.l.m. sino al limite del bosco. In basso condivide lo spazio con abete rosso e abete bianco mentre più in alto con *Pinus cembra* L. e *Pinus mugo* Turra, ma può comunque formare popolamenti puri, spesso radi.

(da Del Favero, 2004; Gellini, Grossoni, 1996)

1.3. IL PINO SILVESTRE

Pinus sylvestris L. è una conifera con ampio areale, il più vasto del suo genere, che va dall'Europa sud-occidentale fino all'Asia-orientale, al nord arriva in Norvegia, poi in tutta la Siberia fino alla Manciuria rimanendo tangente il circolo polare artico. Ha un accrescimento rapido, più accentuato in gioventù e raggiunge un'altezza intorno ai 35-40 m con un diametro di al massimo un metro, mentre l'apparato radicale è variabile, in terreni leggeri e profondi si sviluppa come fittonante, mentre in terreni pesanti si ha un arresto precoce dello sviluppo del fittone, rimpiazzato da radici laterali poco profonde. La chioma è rada e di colore verde-grigio, con aghi riuniti a due, mentre la corteccia è caratterizzata, nelle piante giovani e nella parte alta di quelle adulte, da un colore arancione e si sfalda in lamelle sottili.

E' una specie monoica; i coni femminili hanno forma ovoidale-conica, sono solitari o riuniti a 2-3, caduchi nell'anno dopo la maturità, con lunghezza di 3-8 cm e larghezza di 2-3 cm a maturità, la quale viene raggiunta nell'ottobre del secondo anno dalla produzione. La disseminazione avviene in giorni caldi d'inverno o in primavera. I semi vengono prodotti verso i 10-15 anni negli individui isolati, verso i 30-40 anni in bosco, ogni anno, ma più abbondantemente ogni 2-3 anni. I semi sono piccoli e ovali e conservano la facoltà germinativa per 2-3 anni.

Nella zona alpina può giungere al limite altitudinale del bosco ma, allo stato boschivo si trova a quote più basse (1200-1600 m), spesso misto ad abete rosso e larice.

E' una specie microterma, resiste bene al gelo e a forti variazioni di temperatura, sopporta anche estati calde e lunghe, è xerofilo ed eliofilo (meno del larice) e resiste al vento. Si adatta a tutti i terreni, con preferenza verso quelli meno compatti.

(da Gellini, Grossoni, 1996)

1.4. LA RINNOVAZIONE NATURALE

Le fasi che caratterizzano lo sviluppo della rinnovazione naturale sono: la produzione di seme, la disseminazione, la germinazione del seme, la fase di plantula e l'affermazione.

Per quanto concerne la fase di plantula, essa si conclude con l'inizio della lignificazione e con la comparsa degli organi definitivi. Ciò avviene ad età molto diverse, ma generalmente dopo il secondo-terzo anno di vita.

Il processo di rinnovazione si può considerare concluso solo dopo la fase di affermazione, in cui la pianta raggiunge una sufficiente capacità di tollerare le situazioni avverse.

Il giudizio sullo stato dell'affermazione della rinnovazione richiede delle valutazioni sia di tipo quantitativo che qualitativo. Riguardo le prime, possono essere usati vari parametri, ma i più ricorrenti

sono l'altezza e il numero dei soggetti presenti in una data superficie; si ritiene che la rinnovazione sia affermata quando abbia raggiunto un'altezza tale che almeno la maggior parte dei soggetti non possa più essere interessata dall'influenza fattori limitanti, ad esempio:

- Fattori di natura biotica, considerando le molte specie animali che danneggiano la rinnovazione o ne impediscono lo sviluppo
- Competizione esercitata da specie arbustive, erbacee o piantine di altre specie arboree

Anche il numero di soggetti costituisce un parametro di difficile standardizzazione ed è influenzato dalla distribuzione della rinnovazione; in generale è da ricordare la regola che ad ambienti favorevoli si associa una rinnovazione abbondante e omogenea, ma forte mortalità, mentre negli ambienti sfavorevoli la rinnovazione è numericamente inferiore e lacunosa o a cespo, ma la mortalità è meno incidente. Infine, la numerosità della rinnovazione varia notevolmente in relazione alla distribuzione verticale del soprassuolo.

Valori indicativi di numerosità per m^2 ed altezza (cm) della rinnovazione ritenuta affermata nelle peccete montane: 0,7-0,9 piantine al m^2 e 100 cm; indice di rinnovazione = 70-90 (indice di Magini (1967), uguale al prodotto fra il numero di soggetti presenti in un m^2 e l'altezza in cm; solitamente è sufficiente che questo indice sia maggiore di 100)

I riferimenti di tipo qualitativo riguardano le caratteristiche morfologiche delle piante e la loro vitalità. Dal punto di vista morfologico si può ritenere affermato un individuo con le seguenti caratteristiche: chioma sviluppata lungo il fusto per oltre i due terzi (un mezzo nelle latifoglie), fusto sottile ed elastico almeno da metà in su, apparato radicale sufficientemente sviluppato per garantire stabilità al soggetto. La vitalità può essere valutata anche misurando la lunghezza degli ultimi getti apicali. Questa misura è molto importante soprattutto nelle specie poco tolleranti l'ombra. Queste infatti, se poco illuminate per molto tempo, sono spesso incapaci di riprendersi se poste in luce. Ad esempio, nelle peccete montane, la rinnovazione di abete rosso presente sotto copertura alta anche più di 1 m ma con getti apicali dell'ordine di uno 2 cm, è da ritenersi priva di possibilità di ripresa e quindi destinata ben presto a morire.

1.4.1. Influenza dei fattori abiotici sulla rinnovazione naturale

Per quanto riguarda l'***acqua***, è fondamentale per la germinazione e successivamente per la regolazione di tutti i processi di crescita delle piante. Ma l'eccesso d'acqua può essere deleterio per la rinnovazione; infatti, se stagnante o comunque poco ossigenata, può determinare fenomeni di asfissia dell'apparato radicale che conseguentemente provocano la morte della pianta.

Anche il ***calore (temperatura)*** gioca un ruolo determinante nel processo di rinnovazione, almeno quanto l'acqua, con la quale è fortemente correlato. Infatti la quantità d'acqua presente nel suolo dipende anche dalla temperatura, poiché al crescere di quest'ultima vi è in genere una diminuzione dell'altra. L'azione

della temperatura può essere molto complessa, come accade, per esempio, con il fenomeno dell'aridità fisiologica, deleterio per la rinnovazione (disseccamento della parte distale della pianta), che avviene quando la temperatura dell'aria è sufficientemente alta per avviare i processi vitali ma il suolo è ancora gelato. Dunque, gli ambienti preferenziali sono i luoghi nei quali lo scioglimento della neve avviene prima, come collinette, sassi affioranti, versanti più acclivi, tronchi caduti a terra ecc. Sul processo di rinnovazione incidono anche gli sbalzi termici improvvisi, che sono spesso letali, soprattutto se avvengono in primavera (gelate tardive), quando le nuove parti delle giovani piante appena formatesi sono prive di sistemi di difesa adeguati (peli, cere, lignificazione ecc.).

L'influenza della ***luce*** sul processo di rinnovazione è piuttosto complessa. Nella fase di plantula la luce non gioca un ruolo rilevante, salvo agire indirettamente; infatti, con molta luce vi è anche tanto calore e quindi forte evaporazione nel suolo e abbondante ingresso di specie erbacee e competitrici. Anche nella germinazione la luce non è sempre particolarmente rilevante, infatti essa è necessaria solo per alcune specie, mentre i semi della maggior parte delle altre germinano anche al buio. L'influenza della luce, invece, diviene molto importante a partire dalla fase di affermazione. Le specie cosiddette "pioniere", germinano preferibilmente sul terreno minerale/nudo, poiché non sono capaci di competere con lo strato erbaceo, avendo quest'ultimo un apparato radicale più competitivo e la cui presenza determinerebbe quindi effetti sulla disponibilità idrica e dei nutrienti. Per questo motivo colonizzano aree temporaneamente prive di vegetazione, situazione che si presenta in seguito a disturbi intensi. La loro tolleranza alla carenza di luce è minima/breve. Altre specie che si rinnovano in ambienti diversi ricevono in genere, almeno inizialmente, un beneficio se non vivono in piena luce. Questo avviene perché la piena luce da un lato favorisce l'ingresso di varie specie erbacee e competitrici e dall'altro lato spesso porta anche un forte calore che può determinare eccessi di evapotraspirazione. Ne consegue che la condizione ideale per la crescita iniziale della rinnovazione, esclusa quella delle specie pioniere, è la mezza luce, come si ha spesso ai margini del bosco, al bordo di piccole aperture sotto una volta delle chiome non troppo densa. Se questo stato è ottimale nei primi momenti della fase di affermazione della rinnovazione (2-3 anni), con l'andare del tempo può essere sfavorevole. Infatti, se la quantità di luce non aumenta, ad esempio per un ulteriore diradamento della volta delle chiome a causa della morte di altri soggetti, le giovani piantine tendono ad aumentare le foglie d'ombra e a ridurre notevolmente la crescita in altezza, privilegiando piuttosto quella dei rami laterali, alla ricerca di zone di maggiore illuminazione.

Alcune specie (<u>tolleranti</u>) tollerano questo stato per lungo tempo e, se liberate dalla copertura, anche dopo alcuni decenni riescono a riprendersi e anzi spesso mostrano una rapida crescita che gli permette di recuperare rispetto alle specie che hanno avuto una crescita più regolare.

Altre specie (<u>mediamente tolleranti</u>), tollerano meno le situazioni di carenza di luce, perciò già dopo un periodo non superiore al ventennio, se la luce resta poca, intristiscono e muoiono. In questa categoria

rientrano la maggior parte delle specie che partecipano solo come consociate alle formazioni ecologicamente più mature oppure che formano consorzi tipici di ambienti di transizione.

Altre specie (intolleranti) tollerano per un tempo ancor più breve la carenza di luce, mostrando già nel primo decennio di vita sotto copertura segni di deperimento, inoltre, se anche di poco tardivamente sono messe in luce, esse non riescono a riprendersi, morendo o continuando a vivacchiare in uno Stato quasi arbustivo.

È opportuno segnalare che sia nei confronti della minore o maggiore tolleranza alla carenza di luce, sia riguardo ai tempi di sopportazione, il comportamento può notevolmente cambiare anche nell'ambito della stessa specie, in relazione alle caratteristiche ambientali.

Vi sono anche alcuni fattori abiotici legati alle ***caratteristiche del suolo***. Fra questi, oltre alla disponibilità idrica e al calore, rilevanti sono anche la tessitura, perché se troppo argilloso-limosa impedisce la penetrazione della radichetta nella fase di germinazione, mentre se sabbiosa non riesce a trattenere a sufficienza l'acqua, e la reazione del suolo, che svolge un'azione indiretta nei confronti del processo di rinnovazione. In particolare, i suoli mediamente acidi (pH compreso fra 4 e 5,5) sono solitamente favorevoli al processo di rinnovazione perché selettivi nei riguardi della vegetazione erbacea, che è in queste situazioni spesso composta da poche specie. L'orizzonte olorganico, che copre il suolo e che rappresenta il substrato più diffuso in foresta, non favorisce l'emergenza, dato che in esso si creano difficili condizioni di rifornimento idrico. È molto più favorevole il substrato minerale formato da orizzonti profondi portati alla luce da lavori boschivi, da frane o da sradicamenti.

Per quanto riguarda l'influenza dei fattori biotici, riveste un ruolo importante la predazione da parte di varie specie animali, in particolare uccelli, fitomizi, micromammiferi, ungulati e animali domestici pascolatori, attivi nella fase di disseminazione e nella fase di affermazione.

(da Bernetti, Del Favero, Pividori, 2012; appunti di Selvicoltura Generale)

1.4.2. La rinnovazione naturale nelle peccete montane

Le pecette montane costituiscono delle formazioni stabili capaci di auto perpetuarsi con una certa facilità, anche se con ritmi lenti. La rinnovazione dell'abete rosso è infatti sempre presente, per lo più raccolta in sciami sia sotto copertura sia nelle chiarie o lungo i margini. Essa talvolta ha una certa difficoltà ad affermarsi a causa o di prolungati periodi di aridità estiva o per l'eccessiva competizione esercitata dalla vegetazione erbacea.

Si può osservare una micro variabilità stazionale che condiziona la distribuzione e l'affermazione della rinnovazione. Su microdossi, oppure su ceppaie o tronchi a terra, vi è un maggior irraggiamento, lo scioglimento della neve avviene prima, vi è una minore presenza e quindi competizione con le specie erbacee e, in particolare, la necromassa, costituisce un substrato più favorevole alla germinazione e

sviluppo della rinnovazione. Negli avvallamenti, vi è una maggiore disponibilità idrica, dunque anche una maggiore umidità e una maggiore protezione dall'eccessiva esposizione ai raggi solari (Johnson et al. 2019), tuttavia può esservi una maggiore presenza e competizione con la componente erbacea.

Altra caratteristica importante è la tendenza del novellame ad insediarsi a gruppi, lasciando tra questi dei tratti di terreno relativamente grandi privi di piante.

Il tempo di sopportazione della copertura è di 15-30 anni; le piantine, se lasciate troppo tempo con ridotto irraggiamento, impoveriscono eccessivamente la chioma, non riuscendo a ricostruirla una volta messa in piena luce. Tale fenomeno, caratteristico degli abeti rossi cresciuti a bassa quota, si verifica in realtà anche in quelli nati alle quote superiori, ma in tempi più lunghi a causa della lentezza della loro crescita cosicché essi supportano la copertura anche per oltre un secolo.

Bagnaresi e Baldini (1992) hanno osservato che le chiome delle giovani piantine di abete rosso hanno dapprima una forma assai raccolta e tendenzialmente sferoidale, tale forma persiste quando la fertilità è scarsa e quando, anche in condizioni di buona fertilità, il novellame non dispone di un adeguato irraggiamento: in quest'ultima condizione anzi la freccia riduce il proprio accrescimento e i rami più bassi deperiscono e si disseccano, per cui la chioma tende a svilupparsi maggiormente in senso orizzontale e ad assumere una forma ad ombrello. Quando invece la radiazione solare si mantiene su livelli elevati e la fertilità è soddisfacente, le piante assumono una forma conica sempre più slanciata per effetto del forte accrescimento della freccia.

(da Del Favero, 2004)

1.5. SIGNIFICATO DELLA DINAMICA FORESTALE

Lo studio dell'ecologia ci permette di comprendere come la foresta non sia un insieme di elementi statici, bensì una realtà dinamica definita "ecosistema" in cui la comunità biotica e l'ambiente fisico interagiscono, determinando un flusso di energia (Smith e Smith, 2009). Dunque questa dinamicità che è alla base degli ecosistemi, è regolata dalle successioni, processi di cambiamento e sviluppo nella composizione specifica delle comunità, quindi nella loro struttura e nei processi che in esse si verificano.

Le fasi evolutive di un popolamento forestale sono:

1) Fase di rinnovazione

Inizia con la morte delle piante del ciclo precedente oppure a causa di un disturbo, che altera la struttura dell'ecosistema, della comunità o della popolazione e provoca mutamenti nelle condizioni dell'ambiente e nella disponibilità di risorse.

Si insediano i semenzali grazie all'aumentata disponibilità di risorse (acqua, luce, ecc) e ha inizio un nuovo ciclo. In questo stadio svolgono un ruolo importante le specie pioniere, ma possono essere già presenti anche specie caratteristiche degli stadi più maturi.

Dal punto di vista cronologico, la nuova generazione comprende soggetti di diverse età, vi sono infatti sia soggetti appartenenti alla vecchia rinnovazione che si sono mantenuti vitali sotto copertura, sia della nuova rinnovazione insediatesi sul suolo minerale creatosi a seguito dell'evento calamitoso. Le differenze in termini di crescita fra queste diverse generazioni sono però destinate a scomparire già nel giro di una decina di anni. A causa della scarsa disponibilità idrica, le piantine per affermarsi hanno però bisogno di un certo ombreggiamento laterale, soprattutto durante l'estate, che gli è assicurato dal margine del vecchio soprassuolo non interessato dall'evento calamitoso. Cosicché, se quest'ultimo ha interessato una piccola superficie, l'avvio di una nuova generazione è rapido e senza particolari difficoltà, mentre al crescere della superficie interessata dall'evento i tempi di reinsediamento di una nuova generazione tenderanno a dilatarsi, magari innescando fasi in cui partecipano altre specie necessarie per riequilibrare la componente viva del suolo.

La necromassa presente deriva dal disturbo e può essere molto abbondante.

2) Fase di competizione

I giovani individui sono sottoposti alla selezione naturale nella conquista di spazio, luce e risorse nutritive; si distinguono dunque individui dominanti e dominati, aumenta la mortalità e la struttura del popolamento comincia a diversificarsi.

3) Fase di stabilizzazione o maturità

Si raggiunge circa quarant'anni dopo il disturbo; la situazione si assesta, in seguito alla selezione degli individui avvenuta attraverso la competizione nella fase precedente; all'interno del popolamento la mortalità è bassa e prevale l'accumulo di biomassa, che raggiunge il suo livello massimo verso i 130-150 anni; si possono creare interruzioni della copertura, permettendo alla luce di penetrare tra le chiome e di consentire lo sviluppo di più specie erbacee-arbustive e la germinazione dei semi caduti al suolo, dunque la rinnovazione delle specie forestali sciafile.

4) Fase di decadenza

Viene innescata da fenomeni di senescenza che provocano la morte delle piante e permettono l'inizio di un nuovo ciclo con la fase di rinnovazione.

I disturbi giocano un ruolo fondamentale nelle dinamiche forestali, in quanto innescano i processi di successione (successioni secondarie), che seguono poi le fasi descritte in precedenza, dopo aver provocato la distruzione della copertura vegetale esistente in precedenza e dunque radicali cambiamenti delle caratteristiche stazionali; un disturbo può anche accelerare il processo di successione.

All'interno della successione, vi sono specie che si insediano e caratterizzano i primi stadi (specie pioniere) e specie che si affermano negli stadi successivi/ultimi (specie definitive) e che caratterizzano il popolamento nella fase matura e definitiva, che si manterrà fintantoché non si verificherà un nuovo disturbo. Le prime menzionate sono eliofile/intolleranti l'ombreggiamento, mentre le seconde menzionate sono sciafile/tolleranti l'ombreggiamento.

(da Piussi, 1994; Del Favero, 2004)

1.6. I DISTURBI NEI SISTEMI FORESTALI

Dal punto di vista dell'ecologia forestale, per disturbo si intende un qualunque evento discreto nel tempo, la cui energia liberata altera la struttura di un ecosistema, comunità o popolazione e modifica la disponibilità delle risorse e l'ambiente fisico (Pickett e White 1985).

L'individuo non è sostanzialmente in grado di adattarsi alle nuove condizioni, ma le specie e/o il sistema potranno eventualmente avere adattamenti per resistere a quel particolare tipo di evento o per favorire il processo di ricostituzione.

Lo stato di stress è una qualsiasi deviazione significativa dalle condizioni ottimali per la sopravvivenza dell'individuo, la cui vitalità diminuisce al persistere dello stress stesso. L'intensità è inferiore a quella del disturbo e la pianta è in grado di adattarsi alle nuove condizioni ed eventualmente conviverci.

Siccome gli stress, soprattutto se prolungati, contribuiscono a ridurre il vigore dei popolamenti forestali e quindi la loro resistenza, spesso i popolamenti soggetti a stress sono anche quelli più suscettibili ai disturbi; il disturbo si manifesta infatti quando la resistenza del popolamento è inferiore alla magnitudo del disturbo stesso (intensità del disturbo).

La resistenza, inoltre, non è costante durante la vita di un popolamento forestale, ma in genere tende a ridursi con l'età.

È però da ricordare che in questi casi la generalizzazione non sempre funziona, in quanto i disturbi sono caratterizzati da un'elevata eterogeneità e ogni disturbo ha un comportamento diverso.

La stabilità di un sistema è fortemente legata al livello di biodiversità che lo caratterizza; nei contesti montani acquistano molta importanza, ai fini della definizione del livello di biodiversità, la diversità strutturale, la stratificazione della vegetazione, la presenza di necromassa in piedi e a terra, tutti elementi direttamente influenzati dal verificarsi dei disturbi.

(da Del Favero, Lingua, Pividori, 2019)

1.6.1. Danni da vento

Il vento costituisce uno dei fattori ecologici che determina frequenti disturbi nel bosco; ciò avviene quando la velocità supera i 50 km/h. Costituisce uno dei motori principali che regolano il buon funzionamento dei sistemi forestali dotati di elevata densità, attuando diradamenti nella fase finale della competizione, permettendo ai soggetti dominanti di acquistare spazio sufficiente per crescere e consolidare così la propria posizione e dando così inizio alla fase di stabilizzazione. Analoga funzione ha il vento nella fase di senescenza, quando nel vecchio soprassuolo devono crearsi degli spazi necessari per l'insediamento della rinnovazione. Quando la velocità supera i 100 km/h, le possibilità che l'intero soprassuolo sia annullato a causa dell'atterramento totale crescono esponenzialmente, dando così origine a vere e proprie distruzioni (Del Favero, Lingua, Pividori, 2019).

Il vento in Europa è il principale fattore di disturbo e di danno agli alberi, con una media di due tempeste catastrofiche, come la tempesta Vaia, ogni anno. In totale, il volume di bosco distrutto dal vento in Europa è di circa 38 milioni di metri cubi all'anno (Gardiner et al. 2013). Il nord-est è stato interessato in tempi relativamente recenti (4 novembre 1966) da un altro evento avente una magnitudo paragonabile alla tempesta Vaia. In quel caso furono atterrati solo in Trentino circa 700.000 metri cubi di legname, oltre a 1.300.000 metri cubi nella vicina Austria. Alcuni altri esempi di tempeste abbattutesi in Europa nel passato sono riportati in tabella 1. (Motta et al. 2018)

La tempesta Vaia, nella notte tra il 28 e il 29 ottobre 2018, ha atterrato una quantità di piante (si stima oltre 42 milioni) pari ad alcuni milioni di metri cubi di legname (si stima ben superiori ai 10 milioni) (Andreatta, 2021). Solo in Alto Adige la massa schiantata ammonta a circa 2,2 milioni di metri cubi (dato aggiornato al 2022), pari all'1,9% della massa legnosa in piedi della provincia (circa 116 milioni di metri cubi). Le stazioni forestali più colpite sono state Nova Levante (comuni di Nova Levante, Tires e Cornedo), Nova Ponente, Fontanefredde (comuni di Aldino, Trodena e Anterivo) e San Vigilio di Marebbe (comuni di Marebbe, San Martino e La Valle). Qui si sono concentrati i 2/3 degli schianti dell'intera provincia. Pesante è stato anche l'impatto dell'evento sui boschi di protezione della provincia: 2.650 ha (1,3% del bosco di protezione provinciale). Inoltre, il 17% delle superfici schiantate ricade all'interno di un Parco Naturale, il 15% in aree facenti parti di Rete Natura 2000 e il 5% in zone di tutela UNESCO. La quantità di legname danneggiato ha superato di quasi tre volte il normale tasso di abbattimento annuale (Niedrist et al., 2022). A ciò si sono aggiunti negli anni successivi i danni causati dalla pressione della neve a seguito di eventi nevosi umidi, soprattutto in Val Pusteria (Autonome Provinz Provinz Bozen – Südtirol, 2023; Zebisch et al., 2025)

Tempesta	Anno	Nazioni colpite	Decessi	Milioni di m^3 di legno atterrati	Massima velocità vento misurata ($km\ h^{-1}$)
Viviane	1990	Germania, Gran Bretagna, Irlanda, Francia, Olanda, Belgio, Svizzera (Italia nord-ovest in modo marginale)	64	60-70	>200
Lothar & Martin	1999	Francia, Belgio, Germania	140	240	259
Gudrun	2005	Irlanda, Gran Bretagna, Danimarca, Norvegia, Svezia, Russia	7	75	>180
Kyrill	2007	Irlanda, Francia, Belgio, Olanda, Danimarca, Svezia, Austria, Germania, Repubblica Ceca, Slovacchia, Svizzera e Polonia	47	66	>250
Vaia	2018	Italia	>14	6-8	>200

Tabella 1 – Esempi di impatto sulle foreste europee di alcune tempeste verificatesi nelle foreste europee negli ultimi 30 anni. (Motta et al., 2018)

I soprassuoli più a rischio di danni da vento, sono quelli

- nella cui composizione vi siano una o più specie costituzionalmente fragili, indipendentemente dall'ambiente in cui vivono o proprio per le caratteristiche del particolare ambiente in cui vivono. L'abete rosso è proprio una di queste specie, poiché in molte situazioni tende ad avere fusti con elevati rapporti di snellezza e nel contempo radici superficiali, condizioni che lo rendono particolarmente soggetto a sradicamenti più di quanto avvenga nelle altre specie;
- monospecifici, monostratificati, con copertura regolare colma e densa, nei quali fisiologicamente il diradamento da vento prima o poi deve avvenire
- in cui il margine del bosco possiede una distribuzione verticale tale da creare una sorta di muro compatto di alberi, che costituisce un ostacolo per il vento da abbattere o da evitare, con deviazioni che generano turbolenze piuttosto pericolose per l'integrità degli alberi restanti.

La rinnovazione naturale a seguito degli schianti da vento

Gli schianti da vento provocano, a seconda dell'intensità del vento, la distruzione della copertura vegetale di una determinata area, creando i cosiddetti *gap* e modificandone le caratteristiche ambientali

Cambia la disponibilità di luce, dal momento che ne giunge una maggiore quantità al suolo, permettendo la germinazione dei semi presenti e la ripresa della crescita da parte delle giovani piante che precedentemente erano aduggiate e sono state in grado di persistere vitali in dimensioni contenute.

Le condizioni micro-stazionali sono più eterogenee e dunque influenzeranno il tipo di rinnovazione che si andrà ad insediare negli anni successivi lo schianto (Kuuluvainen et al. 2003); di particolare importanza sono il legno morto e lo sradicamento delle radici (Hörnberg et al. 1997).

Un altro aspetto importante riguarda il suolo: la capacità di germinazione e la sopravvivenza delle giovani piantine è maggiore nei terreni minerali smossi piuttosto che nei suoli indisturbati; caratteristica che dunque potrebbe favorire la rinnovazione naturale nei pressi degli alberi schiantati.

Per quanto concerne il tipo di rinnovazione, può dipendere dalla presenza di rinnovazione preesistente e dalla dimensione dello schianto. In merito alla rinnovazione preesistente, l'abete rosso rappresenta un esempio importante, poiché, grazie alla capacità delle giovani piante di rimanere ombreggiate per lunghi periodi sotto forma di piccole piante (San-Miguel-Ayanz J et al, 2016), in seguito alla rimozione degli individui dominanti con lo schianto, esse trovano condizioni di luce favorevoli cominciando a crescere piuttosto velocemente. Di conseguenza, la composizione del futuro popolamento avrà quasi sicuramente una buona parte di specie identiche a quelle che occupavano il passato soprassuolo, soprattutto se le dimensioni dello schianto non sono particolarmente estese. Se invece lo schianto è di notevoli dimensioni allora la rinnovazione può essere dominata dalle specie pioniere (Tsvetanov et al, 2016).

Inoltre, dopo un disturbo, l'attività biologica del suolo è stimolata ad attivarsi rapidamente da determinate specie in grado di affermarsi in tempi brevi e a migliorare la fertilità del terreno, riportandola a livelli simili a quelli pre-disturbo e per questo motivo possono essere considerate come specie terapeutiche (Bernetti, Del Favero, Pividori, 2012).

Durante la fase di rilievo in campo sono state trovate le seguenti specie dotate di queste caratteristiche:

- Sambuco comune (*Sambucus nigra*): è un arbusto con areale di distribuzione esteso a tutta l'Europa e fino al nord Africa e alla catena del Caucaso ad est. In termini di altitudine si distribuisce dalla pianura fino all'orizzonte montano. Si trova spesso come specie sporadica in ambienti ruderali anche fortemente antropizzati ma anche in boschi umidi o sulle sponde dei fiumi.
- Salicone (*Salix caprea*): è una pianta dal portamento principalmente arbustivo, con un'areale di distribuzione definito eurasiatico. La sua distribuzione varia dall'orizzonte collinare fino a quello montano e si trova come specie sporadica spesso ai margini dei boschi.
- Lampone (*Rubus idaeus*): è una specie arbustiva che si trova delle zone di collina fino all'orizzonte alti-montano, con areale di distribuzione centro-europeo. Si sviluppa su terreni profondi e freschi, spesso con densità molto elevate e in zone percorse da disturbi in cui funge da miglioratore del terreno

1.6.2. Danni da *Ips typographus*

Le principali fonti di criticità per le piante di abete rosso sono dovute soprattutto agli scolitidi, coleotteri xilofagi corticicoli che si insediano tra la corteccia e il legno, nutrendosi del floema e del cambio, tessuti ricchi di carboidrati e di sostanze proteiche. L'attività di scavo delle larve e degli adulti compromette la funzionalità del floema e del cambio e se la colonizzazione si diffonde, può causare la morte dell'individuo colpito Fra gli scolitidi, quello considerato più dannoso per l'abete rosso è il bostrico (*Ips typographus*) (da Del Favero, Lingua, Pividori, 2019).

Il bostrico inizia la sua attività in primavera (fine aprile) e questo fenomeno è legato ad alcuni fattori tra cui la temperatura (che deve essere sopra i 16-18 gradi), la somma termica notturna e la durata delle ore di luce. I maschi scavano sotto-corteccia delle gallerie con delle aree più ampie chiamate camere nuziali dove avviene l'accoppiamento. Questo può essere con più individui femmina, generalmente non più di 3. Da questo momento le femmine iniziano lo scavo di gallerie lunghe circa 15 cm lungo il floema dove depositano le uova. Finito questo passo, possono nuovamente involarsi e dare luogo ad un secondo accoppiamento che tecnicamente darà luogo alla cosiddetta "generazione sorella" (Montibeller, 2024). I tipici sintomi dell'attacco di questo scolitide sono l'ingiallimento e il successivo arrossamento della chioma, la perdita di aghi ancora verdi, un'abbondante resinazione del fusto e numerosi fori di entrata spesso coperti da rosura rossastra.

Questo scolitide è un elemento comune delle pecette mature, dove, in fase endemica, esercita la sua pressione a danno soprattutto di alberi cresciuti in condizioni vegetative non ottimali o comunque soggetti a varie forme di stress. E' possibile quindi considerare l'azione del bostrico anche in senso positivo, in quanto determina la diminuzione del numero di alberi deboli e in evidente stato di emergenza precoce, a vantaggio di quelli fisiologicamente migliori, attuando una vera e propria selezione naturale che contribuisce a mantenere alto il livello qualitativo del soprassuolo.

La situazione è ben diversa quando, proprio per cause esterne, spesso strettamente connesse a forme di gestione non sempre adeguate alle caratteristiche della stazione forestale, unite magari a condizioni ambientali predisponenti, i soprassuoli si trovano in uno stato di fragilità ecologica.

L'invecchiamento dei popolamenti, la presenza di formazioni monospecifiche ed a struttura monoplana, la generale condizione di stress e indebolimento degli individui dovuta all'aumento delle temperature e della frequenza e intensità degli eventi di siccità estivi, che li rende dunque più suscettibili agli attacchi, gli schianti da neve o quelli da vento e la conseguente presenza di abbondante materiale legnoso morto a terra, possono tuttavia favorire il passaggio delle popolazioni da una fase endemica ad una fase epidemica.

L'improvvisa disponibilità di grandi quantità di piante ospite determina l'incremento esponenziale del numero di individui, che iniziano ad attaccare anche piante sane o giovani e alle volte anche specie diverse (pino cembro, larice, abete bianco e pino silvestre). Con l'aumento del numero di individui lo spostamento medio per cercare il nuovo ospite si riduce notevolmente (da 500-1.000 metri in fase endemica a 100-150 metri in fase epidemica). Le pullulazioni durano in media 5-6 anni, ma la durata è molto variabile in funzione dell'andamento stagionale che influisce sulla biologia dell'insetto e sulla sua capacità di produrre più generazioni e di ridurre la mortalità invernale. Picchi di freddo invernale e inverni prolungati possono accrescere la mortalità degli individui svernanti, mentre estati fresche e piovose accrescono la resistenza delle piante. All'opposto, periodi caldi e siccitosi durante la stagione

vegetativa delle piante ne diminuiscono la resistenza e ne accrescono la suscettibilità ad attacchi parassitari.

In Alto Adige, fino all'anno 2023 sono stati registrati circa 5 milioni di metri cubi di legno danneggiato a causa dell'infestazione da bostrico, di cui quasi un terzo - 1,5 milioni di metri cubi - è già stato lavorato. Nell'anno 2024, si è registrato che circa 12.000 ettari di boschi altoatesini sono infestati dal bostrico, e, se si includono i danni causati dalla tempesta Vaia nel 2018, si parla di circa 18.000 ettari di superficie forestale danneggiata. Si tratta di oltre il 5% della superficie forestale totale della Provincia.

Dai monitoraggi dell'Ufficio di Pianificazione Forestale di Bolzano, emerge che l'infestazione sia in calo, a partire dal 2023, con 3850 ha colpiti, contro i 4400 ettari del 2022 (dati aggiornati a fine dicembre), mentre 2024 sono stati registrati 2100 ettari colpiti (dati aggiornati a novembre).

(da Ducoli, Panteghini, 2005; Ripartizione foreste della Provincia autonoma di Bolzano, 2023; Battisti, 2023; appunti di Zoologia Forestale)

Figura 1 – Versante con numerosi attacchi di bostrico in Val Badia (BZ)

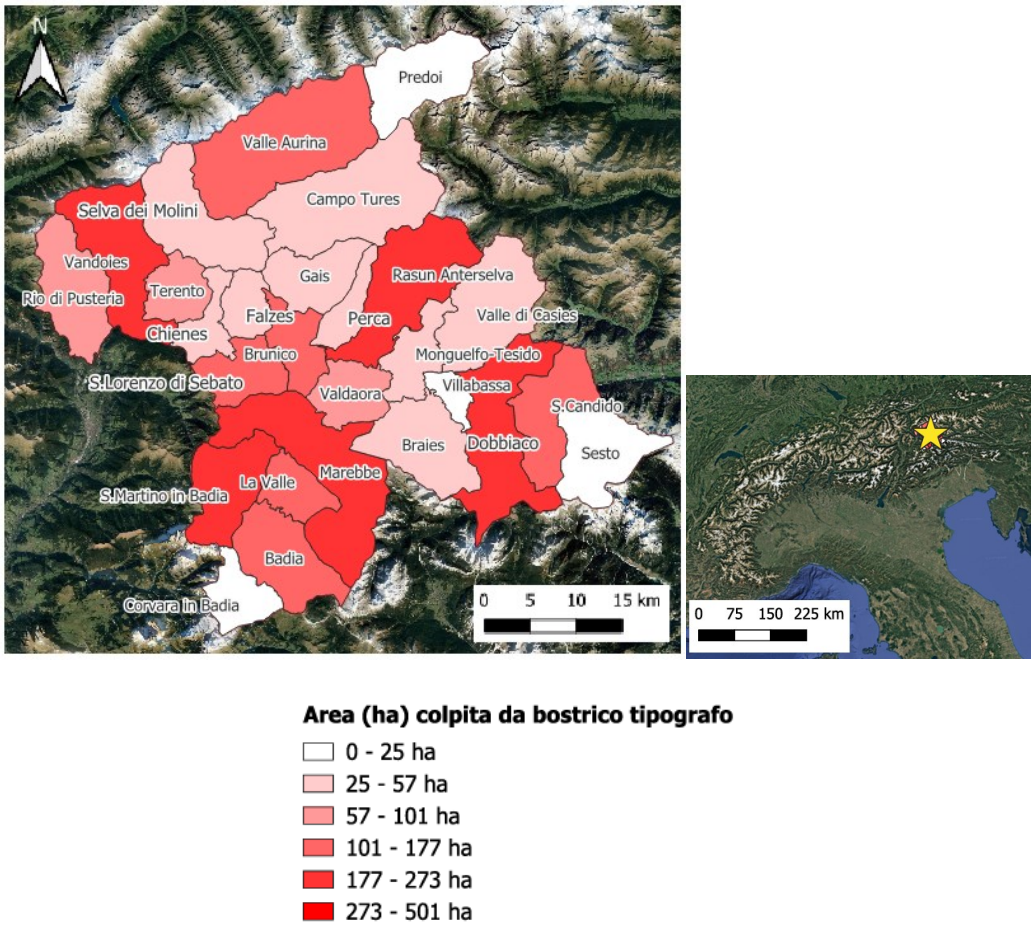

Figura 2 – Mappa raffigurante l'entità degli attacchi da parte di *Ips typographus* nei comuni dell'Ato Adige nord-orientale (tra i quali anche il comune di Rasun-Anterselva oggetto di questo studio), in termini di ettari colpiti; dati aggiornati all'anno 2023, elaborati tramite software QGIS utilizzando gli shapefile resi disponibili dalla Provincia autonoma di Bolzano sul proprio geoportale MapView

2. INQUADRAMENTO STAZIONALE

2.1. Inquadramento geografico

L'area oggetto di studio è compresa all'interno di tre particelle di estensione totale pari a 18,2 ettari in un'area boscata collocata nella Valle di Anterselva, presso la frazione di Anterselva di Sotto (Antholz-Niedertal) del comune di Rasun-Anterselva (Rasen-Antholz), in provincia di Bolzano (46,82683°N, 12,08997°E).

L'area di studio si trova ad un'altitudine tra 1100 e 1200 m s.l.m., è esposta verso nord-ovest e la pendenza è compresa tra 5 e 10 gradi.

Fa parte di tre particelle catastali, di proprietà del comune di Rasun-Anterselva:

- Particella 1032/1, con superficie di 5,7 ettari
- Particella 1030/1: con superficie di 9,3 ettari

- Particella 1033/1: con superficie di 3,1 ettari

I dati sono stati forniti dalla Stazione forestale di Valdaora (BZ).

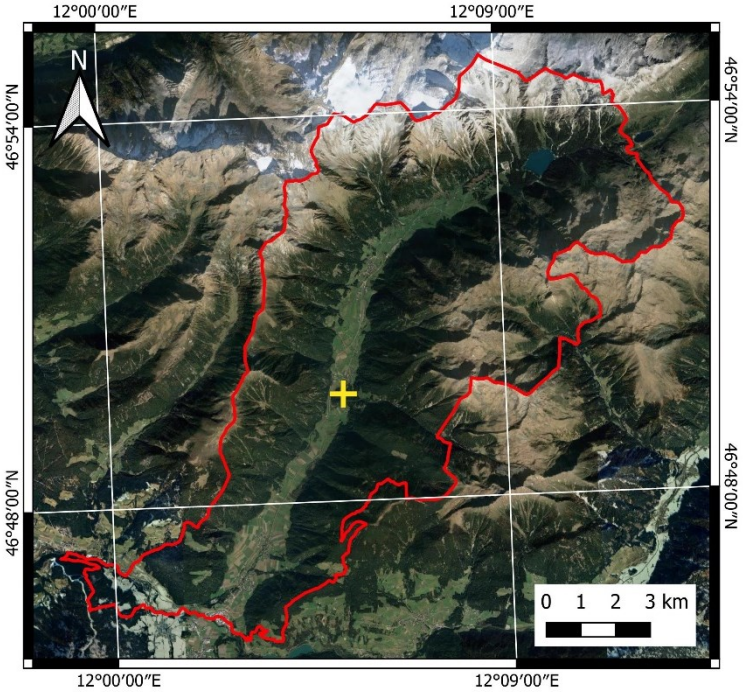

Figura 3 – Valle di Anterselva (delimitata in rosso), con indicata l'area di studio (croce gialla), in scala 1:135851 e realizzata tramite il software QGIS, ultilizzando gli shapefile resi disponibili dalla Provincia autonoma di Bolzano sul proprio geoportale MapView.

Figura 4 – Area di studio (evidenziata in viola), con le 3 particelle catastali in cui è compresa (delimitate in giallo), in scala 1:5465 e realizzata tramite il software QGIS, utilizzando gli shapefile resi disponibili dalla Provincia autonoma di Bolzano sul proprio geoportale MapView.

2.2. Inquadramento geo-pedologico

La roccia madre consiste in rocce silicatiche da intermedie ad acide, più raramente in sedimenti sciolti carbonatici-silicatici privi di calcare attivo.

Le tipologie di suoli che possono essere presenti in questa zona sono suoli bruni da poveri in basi a podsolizzati, da moderatamente secchi a molto freschi, da mediamente a molto profondi, ricchi di terra fine e in alcuni casi ricchi in scheletro.

Riguardo l'humus, in genere vi è moder tipico, in casi degradati è in transizione ad humus grezzo.

(da Autonome Provinz Bozen – Südtirol, 2010)

2.3. Inquadramento climatico

La Val Pusteria è compresa, tra le Regioni forestali in cui è stato suddiviso il territorio dell'Alto Adige, all'interno della **Regione endalpica di transizione**.

Le temperature medie annue non sono particolarmente basse (6-10°C), ma sono forti le escursioni termiche giornaliere e annue, caratterizzando così un clima di tipo continentale. Le precipitazioni non sono mai elevate, oscillando fra i 700 e i 1100 mm annui, con un solo massimo durante la stagione estiva.

Per l'analisi climatica della zona sono stati presi in considerazione i dati termo pluviometrici forniti dalla stazione meteorologica di Monguelfo (1131 m s.l.m.) (Provincia Autonoma di Bolzano – Alto Adige, n.d.).

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Media T min (°C)	-10,4	-8,6	-4,2	-0,5	4,1	7,6	9,5	9,2	5,4	1,5	-3,7	-8,8
Media T max (°C)	1,1	4,3	9,0	13,1	17,7	22,0	24,4	23,6	19,1	13,6	6,3	0,9
T media (°C)	-4,7	-2,2	2,4	6,3	10,9	14,8	17,0	16,4	12,3	7,6	1,3	-4,0
P cum mensile media (mm/mese)	26,3	26	33,6	55,8	79,4	104,3	126,1	112,9	74,7	66,8	65	35,7

Tabella 2 - Temperature medie, minime e massime mensili e precipitazioni cumulate mensili medie per il periodo 1981-2024 (stazione meteorologica di Monguelfo)

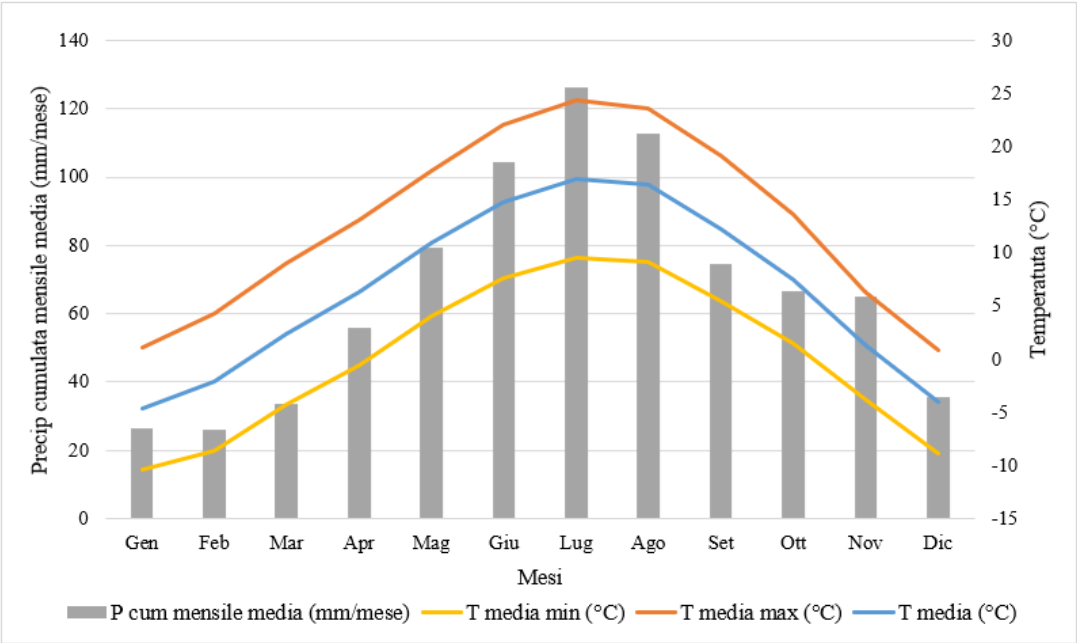

Figura 4 - Andamento delle temperature (media, minima e massima) e delle precipitazioni nell'arco dell'anno (dati *Tabella 1*)

Si nota la presenza di un massimo estivo, nel mese di luglio, mentre il minimo viene raggiunto tra i mesi di gennaio e febbraio.

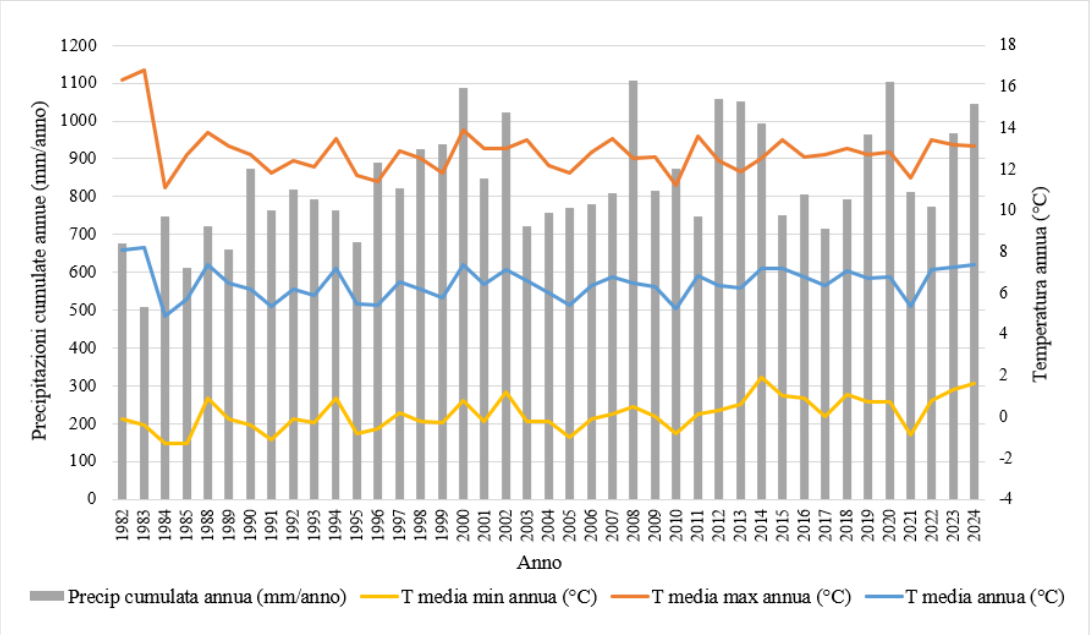

Figura 5 - Diagramma termopluviometrico stazione meteorologica di Monguelfo (BZ) per il periodo 1982-2024, in cui la piovosità media è pari a 838 mm/anno e la temperatura media è pari a 6,0 °C

(da Autonome Provinz Bozen – Südtirol, 2010; Tomasi, 2018)

2.4. Inquadramento vegetazionale

L'area di studio possiede come tipo forestale prevalente quello di pecceta montana silicatica a *Veronica urticifolia* (categoria *Fi1*, secondo il Volume 1 sulle Tipologie forestali dell'Alto Adige realizzato dalla Provincia autonoma di Bolzano).

Costituisce il tipo di vegetazione centrale del piano altomontano dei versanti in ombra della Regione endalpica (Zona dell'abete rosso), su stazioni in genere con buona disponibilità in acqua e sostanze nutritive. Il larice è di norma misto, l'abete bianco manca per ragioni climatiche. Possono essere presenti pino silvestre, sorbo degli uccellatori e isolati pini cembri.

I popolamenti sono in genere poco stratificati, uno strato arbustivo viene formato dalla rinnovazione (sorbo degli uccellatori come pioniere). La vegetazione al suolo si presenta con coperture diverse, ma di norma dominano le graminacee (*Calamagrostis villosa*, *Luzula luzuloides*, *Avenella flexuosa*), completano il quadro arbusti nani (principalmente mirtillo nero), erbe (in genere indicatrici di moderata acidità come *Oxalis acetosella*, *Veronica urticifolia*) e felci (*Gymnocarpium dryopteris*). I muschi, tra i quali spicca *Hylocomium splendens*, possono avere forti coperture. Nelle stazioni acide pianeggianti ed alle quote maggiori (morene), il mirtillo nero può divenire coprente.

Al confine dell'area di studio si trova una piccola zona corrispondente alla categoria di bosco ripariale del piano montano, con la presenza delle seguenti specie: ontano bianco, salicone, abete rosso, betulla e pioppo tremolo sporadici.

2.5. Inquadramento ecologico

Come affermato nella sezione Inquadramento climatico, la Val Pusteria è compresa all'interno della Regione endalpica di transizione.

Qui sono predominanti estese peccete montane e secondariamente anche lariceti e pinete di pino silvestre.

La Regione endalpica di transizione si suddivide, in generale, in Zona dell'abete rosso ed in Zona dell'abete bianco.

L'area di studio è collocata nella Zona dell'abete rosso e in particolare nel piano/fascia altomontano inferiore/montano superiore.

Nel piano/fascia montano superiore, si possono riassumere le seguenti caratteristiche:

- temperatura media annua di 4,5° - 6,5°C
- periodo vegetativo medio della durata di 4,5 - 5,5 mesi (numero di mesi con temperatura media superiore a 10°C)

- temperatura media annua durante il periodo vegetativo di 12° - 14°C
- percentuale di precipitazioni durante il periodo vegetativo pari al 50-60% del totale annuo

sbs		subalpino superiore – piano dei lariceti e delle cembrete, mughete
sbi		subalpino inferiore – piano delle peccete subalpine
a.mo	a.mo(s)	altomontano – piano delle peccete e dei piceo-abieteti montani
mo.m	a.mo(i)	montano medio – piano dei boschi misti di conifere e faggio. Al di fuori dell'areale del faggio sostituito dal piano altomontano inferiore *(a.mo i)*
s.mo	co.s	submontano – piano sia delle faggete che dei boschi misti di querce o delle querco-pinete. Al di fuori dell'areale del faggio sostituito dal piano collinare superiore *(co.s)*
co	co.i	collinare – piano dei querceti di roverella e degli orno-ostrieti

Figura 6 – Piani altitudinali nelle Regioni altitudinali con relativa vegetazione arborea (da Autonome Provinz Bozen – Südtirol, 2010)

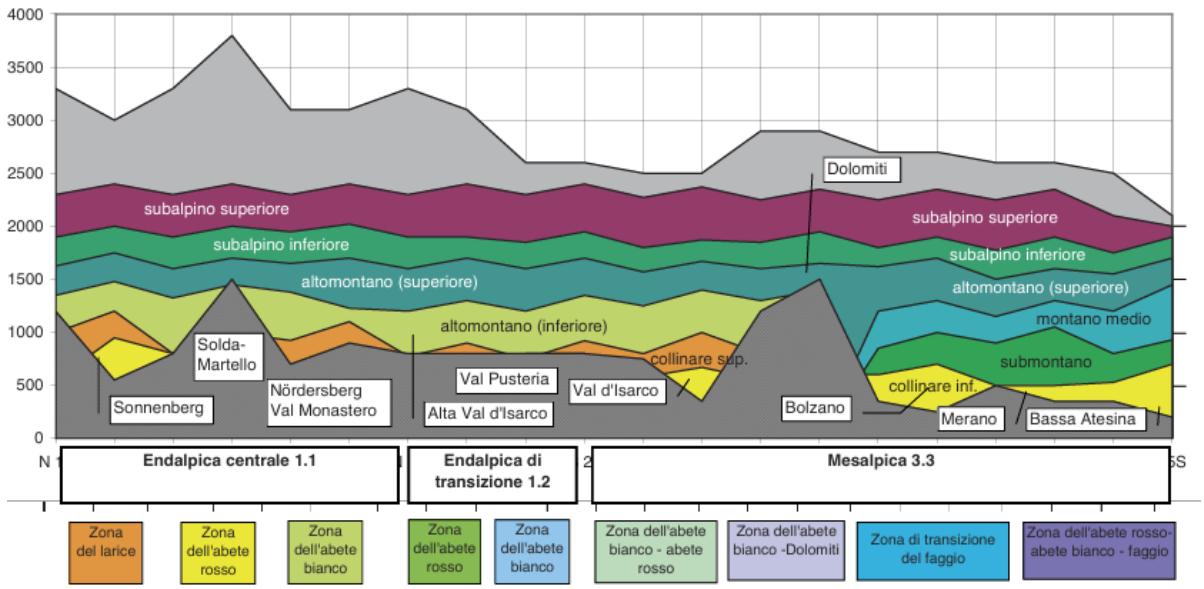

Figura 7 – Sviluppo dei piani altitudinali di *Figura 6* nelle Regioni forestali e nelle Zone forestali in Alto Adige

(da Del Favero, 2004; Autonome Provinz Bozen – Südtirol, 2010)

2.6. Inquadramento selvicolturale

La struttura originaria del popolamento, prima del verificarsi dei disturbi, consisteva in una fustaia coetaneiforme monoplana con funzione di protezione e produzione. Oltre all'abete rosso, che ovviamente era la specie più presente (83%), vi era anche una componente di larice (4%) e di pino silvestre (10%), con diametro medio nella classe dei 35 cm, un'altezza media di circa 23 metri e una provvigione di 460 m^3/ha.

I disturbi più impattanti che si sono verificati, come è possibile vedere nella sezione "Cronologia degli eventi", sono stati:

- **Schianti da vento**
  In particolare, l'evento più impattante è avvenuto nel giorno 4 febbraio 2023 e ha provocato la caduta di 1847 m^3 di materiale legnoso su tutta la superficie delle tre particelle oggetto di studio (18 ha).
- **Attacchi da *Ips typographus***
  Gli attacchi sono iniziati nel 2022 e progrediti ogni anno, con un particolare aumento in seguito allo schianto da vento del febbraio 2023; tutte le piante colpite sono state rimosse nello stesso anno dell'attacco e della successiva morte (come previsto dall'attività di gestione selvicolturale dalla Provincia Autonoma di Bolzano), per un totale di oltre 329 m^3 su tutta la superficie delle tre particelle oggetto di studio (18 ha).

La rimozione degli individui morti a causa del bostrico e degli individui schiantati nel 2023 è stata effettuata anche per motivi di sicurezza, poiché all'interno dell'area di studio è presente un percorso di mountain bike e, in inverno, un tratto di pista per sci da fondo, molto frequentato da turisti.

Sia lo schianto da vento, sia l'attacco da parte del bostrico si sono concentrati nella parte centrale, sud-ovest e nord-ovest dell'area, dunque il popolamento è rimasto più o meno intatto solo nelle zone di margine dell'area, dove quindi si trova la copertura arborea maggiore, principalmente di abete rosso; nelle zone colpite dai disturbi, gli individui adulti rimasti sono soprattutto larici e pini silvestri, con qualche abete rosso.

Dunque, in questo studio, le piantine nate negli anni 2022, 2023 e 2024 vengono considerate "rinnovazione post-disturbi", mentre tutte le altre piantine, nate negli anni precedenti rientrano nella cosiddetta "pre-rinnovazione".

(Stazione Forestale di Valdaora; Autonome Provinz Bozen – Südtirol, 2010)

Figure 8 e 9 – Foto realizzate dalle guardie forestali della Stazione di Valdaora poco dopo lo schianto da vento del febbraio 2023

Figura 10 e 11 – Ortofoto dell'area di studio nell'anno 2020 (a sinistra) e nell'anno 2023 (a destra) successivamente allo schianto da vento

2.6.1. Cronologia degli eventi

I seguenti dati sono stati reperiti dalle schede boschive fornite dalla Stazione forestale di Valdaora (BZ) e riguardano le tre particelle di cui fa parte l'area di studio, con una superficie totale di 18 ettari. I valori volumetrici tra parentesi indicano i volumi schiantati considerando solo i fusti.

- **2007**:

- Taglio per la costruzione del laghetto nella zona turistica adiacente (135 m^3)
- Rimozione delle piante attaccate e morte a causa di *Ips typographus* (7 m^3)

- **2009**: schianto da vento (5 m^3)

- **2010-2011**: taglio per messa a dimora di tubature per il servizio idrico (248 m^3)

- **2014**:

- Diradamento con harvester (2046 m3)
- Cavallettamento totale nella particella 1033/1 (1422 m^3)

- **2015**: diradamento (44 m^3)

- **2017**:

- Schianto da vento (269 m^3)

- Rimozione delle piante attaccate da *Ips typographus* (23 m^3)

- Schianto da neve (27 m^3)

- **2018**: schianto da vento (13 m^3)

- **2019**: schianto da vento (206 m^3)

- **2020**: schianto da neve (115 m^3)

- **2021**: schianto da vento (34 m^3)

- **2022-2023**: rimozione piante attaccate e morte a causa di *Ips typographus* (>329 m^3)

- **4 febbraio 2023**: schianto da vento (1847 m^3)

(12)

(13)

(14)

Figure 12, 13 e 14 – Zona centrale (figura 12 e 13) e nord-ovest (figura 14) dell'area di studio

3. MATERIALI E METODI

Per la caratterizzazione dei micrositi di rinnovazione, sono state selezionate e analizzate 10 aree di saggio circolari di raggio 6 m (superficie di 113 m^2) all'interno dell'area di studio. Tale procedura è stata mutuata da letteratura ritenuta attinente allo studio della rinnovazione naturale in ambiente montano (Marzano et al., 2013).

3.1. AREE DI SAGGIO CIRCOLARI: individuazione, raccolta dati e misurazione

Le aree di saggio sono state scelte e centrate su nuclei di rinnovazione principalmente di abete rosso e cercando di mantenere una distribuzione e un'interdistanza sufficiente ad evitare sovrapposizioni fra aree di saggio diverse. Dopo aver individuato un nucleo di rinnovazione, lo si identifica come centro dell'area di saggio, collocandovi un'asta segnalata/evidenziata. Tramite l'utilizzo di due cordelle metriche, passando per il centro, si misura una lunghezza di 12 metri lungo le due direzioni nord-sud ed est-ovest, con l'obiettivo di creare un cerchio e lasciando le cordelle posizionate a terra lungo i due diametri individuati; in questo modo vengono delimitati 4 quadranti.

Ciascuna area di saggio è stata identificata con un numero (da 1 a 10) e ciascun quadrante al suo interno con il numero dell'area di saggio seguito da una lettera (A, B, C, D) (*Figura 15*) .

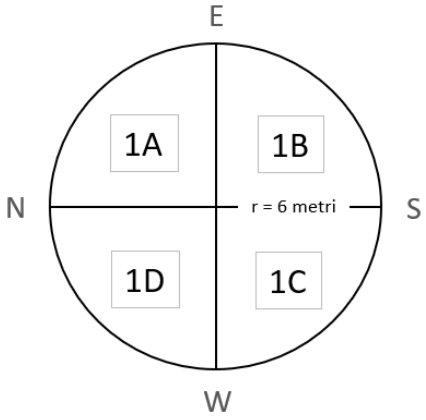

Figura 15 - Esempio identificazione dell'area di saggio numero 1 e dei suoi quadranti

Figure 16 e 17 – Esempi di nuclei di rinnovazione scelti come centro di due tra le aree di saggio circolari prescelte

Figure 18 e 19 – Esempi di aree di saggio circolare (in rosso è indicato il centro)

Una volta delimitata l'area di saggio, si procede innanzitutto con la misurazione, attraverso l'uso di applicazioni su smartphone (Asamm Software, Locus Map; JEEDORI, *Compass Level*, n.d.), di:

- coordinate GPS
- quota
- esposizione
- pendenza

Successivamente si effettua una stima visiva della copertura arborea percentuale.

Una volta raccolte queste informazioni generali, si procede con il rilevamento dei seguenti dati per ciascun quadrante all'interno dell'area di saggio.

Dunque si effettua, per ciascun quadrante:

- il rilevamento di tutta la rinnovazione naturale presente, misurando, per ciascun individuo, dopo averne identificato la specie, il diametro al colletto tramite l'uso di un calibro e l'altezza attraverso l'uso di un metro rigido e infine si effettua una stima dell'età contando gli internodi individuabili lungo il fusto
- il rilevamento degli individui adulti presenti, misurandone il diametro a 1,30 m, ricavandolo dalla misura della circonferenza effettuata con cordella metrica e l'altezza, determinata tramite l'uso dell'ipsometro di Suunto
- il conteggio delle eventuali ceppaie presenti
- la stima visiva della copertura percentuale al suolo di:

- arbusti
- erbe, distinte in erbe a foglia stretta (*Poaceae*) ed erbe a foglia larga
- pietrame e ghiaia
- necromassa grossolana (- Coarse deadwood - CWD)
- lettiera
- suolo nudo

Figura 20 – Misurazione dell'altezza della rinnovazione tramite metro rigido

Figura 21 – Misurazione del diametro al colletto tramite calibro

3.2. TRANSETTO LINEARE: individuazione, raccolta dati e misurazione

Per effettuare un'analisi quantitativa della rinnovazione naturale presente all'interno dell'area di studio, si realizza un transetto lineare di lunghezza 50 metri e larghezza 2 metri.

Si è cercato di collocare il transetto in modo che includesse tutte le diverse zone caratteristiche dell'area di studio. L'esposizione prevalente è 253°W, mentre la pendenza è 7°. La cordella metrica viene lasciata distesa a terra lungo la mediana maggiore del transetto e per tutta la sua lunghezza; per poter mantenere la larghezza di 2 metri durante il percorso del transetto, si utilizza un'asta di tale lunghezza, tenendola in mano a metà e facendola corrispondere con la cordella sottostante.

Si procede con il rilievo di tutta la rinnovazione presente all'interno del transetto, distinguendone la specie di appartenenza e misurando, per ciascun individuo, il diametro (al colletto oppure a 1,30 m per la rinnovazione con altezza superiore a 3 metri) e l'altezza. Si riportano anche gli individui adulti presenti all'interno o a ridosso del transetto, misurandone il diametro a 1,30 m.

Figura 22 – Delimitazione dell'area inclusa all'interno del transetto lineare tramite asta di lunghezza 2 metri e cordella metrica stesa su una distanza di 50 metri

Figura 23 – Collocazione delle 10 aree di saggio circolari del transetto lineare all'interno dell'area di studio

Figura 24 – Semenzale di abete rosso di 1-2 anni

Figura 25 e 26 – Semenzali di abete rosso di circa 3 anni

Figura 27 – Pre-rinnovazione di abete rosso (età superiore a 3 anni)

Figure 28 e 29 – Giovani piantine di *Larix decidua* (a sinistra) e *Pinus sylvestris* (a destra)

3.3. Elaborazione statistica

3.3.1. Descrizione quantitativa

I dati raccolti sono stati utilizzati per fornire un'analisi quantitativa, tramite la statistica descrittiva, della rinnovazione naturale, impiegando il software Excel; sono stati calcolati le frequenza ad ettaro, utilizzando i dati rilevati nel transetto, e il diametro, l'altezza e l'età medi, minimi e massimi, utilizzando i dati rilevati nelle 10 aree di saggio circolari, dal momento che, essendo il dataset derivante da queste ultime più abbondante, garantisce una maggiore precisione nei parametri calcolati.

3.3.2. Descrizione qualitativa

I dati raccolti all'interno delle aree di saggio circolari sono stati utilizzati per fornire ulteriori elaborazioni e successivamente, tramite il software PAST ver. 3.04 (Hammer et al., 2001), sono stati eseguiti i seguenti test:

- Test di differenza tra gruppi:

  E' stato utilizzato per effettuare dei confronti sia con i dati delle aree di saggio, sia con i dati del transetto, applicando il test U di Mann Whitney.

  Si tratta di un test statistico non parametrico, impiegato quando i due gruppi analizzati sono indipendenti e non hanno una distribuzione normale; i dati di ciascun gruppo vengono ordinati in modo crescente e quindi ad ogni dato viene assegnato un rango, ovvero una posizione. Invece di confrontare direttamente le medie, il test analizza come si distribuiscono i ranghi dei valori e se i ranghi di un gruppo tendono a essere più alti o più bassi rispetto all'altro. In caso positivo, il test segnala una differenza statisticamente positiva, quando il p-value risulta essere minore di 0,05.

- Test di associazione tra variabili, attraverso:
  - il modello di regressione

    Esso analizza la relazione tra una variabile dipendente e una variabile indipendente, fornendo un coefficiente di determinazione (R^2), che misura la proporzione della variabilità spiegata dalla regressione e può assumere valori compresi tra 0 e 1; più il valore è vicino a 1, più la variazione della variabile dipendente è spiegata/dovuta alla variazione della variabile indipendente e quindi la loro relazione/associazione è forte.

  - test di correlazione non parametrica (correlazione di Spearman)

    Esso analizza se la variazione di una variabile sono associate a quelle di un'altra variabile, le quali sono intercambiabili, ovvero non c'è alcuna assunzione sul fatto che una determini la variazione dell'altra. Viene fornito un coefficiente di correlazione (r_s nel nostro caso), che può assumere valori compresi tra -1 e 1; valori negativi indicano relazioni negative o inverse, valori positivi indicano relazioni positive o dirette. Più i valori sono vicini agli estremi (1 e -1), più la relazione tra le variabili è forte. La relazione tra le variabili considerate espressa dal coefficiente r_s viene ritenuta statisticamente significativa quando il valore di p-value è inferiore a 0,05, in tutti gli altri casi (p-value > 0,05) non verrà presa in considerazione.

4. RISULTATI

4.1. RINNOVAZIONE: DESCRIZIONE QUANTITATIVA

Nella rinnovazione forestale legnosa si sono rilevati individui di *Picea abies, Larix decidua, Pinus sylvestris, Sorbus aucuparia, Salix caprea, Betula pendula, Populus tremuloides* e *Sorbus nigra* (*Tab. 3*).

	Frequenza ad ettaro (n/ha)
Totale	17700
Picea abies	14400
Larix decidua	1800
Pinus sylvestris	600
Sorbus aucuparia	500
Salix caprea	200
Betula pendula	100
Populus tremuloides	100

Tabella 3 – Rinnovazione naturale: frequenze ad ettaro totale e per specie (dati rilevati nel transetto)

Considerando tutte le specie rilevate, la frequenza totale è pari a 17700 individui ad ettaro, di cui 14400 individui ad ettaro di abete rosso, 1800 individui ad ettaro di larice e 600 individui ad ettaro di pino silvestre.

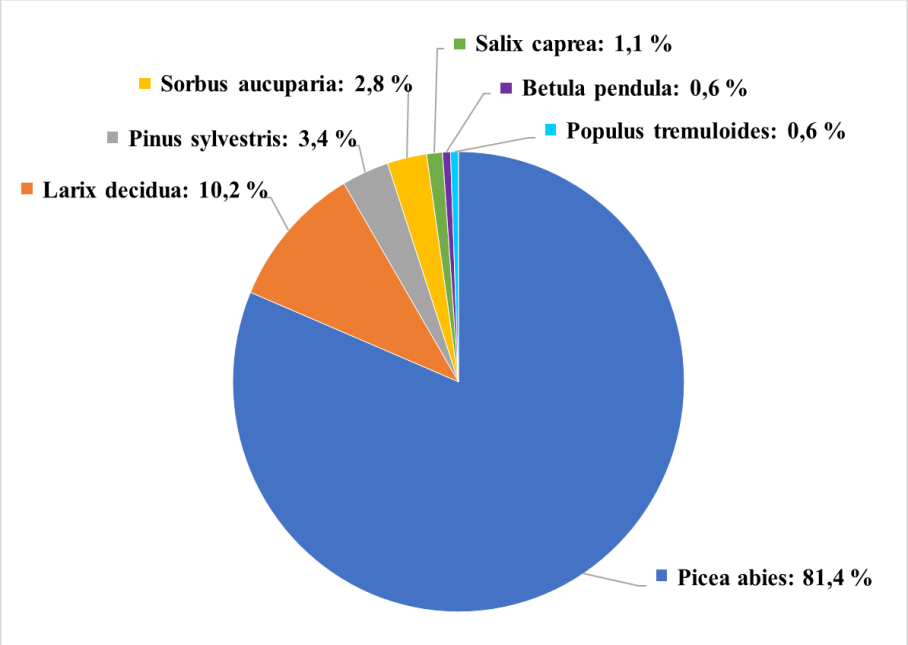

Figura 30 – Composizione specifica % della rinnovazione naturale

Le specie presenti in modo più abbondante sono l'abete rosso, che costituisce l'81,4% della rinnovazione e il larice, che ne costituisce il 10,2%.

Considerando gli individui della rinnovazione di tutte le specie rilevate, il diametro medio è pari a 0,8 cm (il diametro minimo è 0,1 cm e il diametro massimo è 4,8 cm), l'altezza media è pari a 44 cm (l'altezza minima è 2 cm e l'altezza massima è 277 cm) e l'età media è pari a 4 anni (l'età minima è 1 anno e l'età massima è 12 anni).

Successivamente, sono stati considerati solamente *Picea abies*, *Larix decidua* e *Pinus sylvestris*, in quanto gli individui appartenenti a tali specie costituivano più del 95% della rinnovazione presente.

Per quanto concerne l'abete rosso, il diametro medio è pari a 0,7 cm (il diametro minimo è 0,1 cm e il diametro massimo è 4,8 cm), l'altezza media è pari a 39 cm (l'altezza minima è 2 cm e l'altezza massima è 200 cm) e l'età media è pari a 4 anni (l'età minima è 1 anno e l'età massima è 12 anni).

Per quanto concerne il larice, il diametro medio è pari a 0,6 cm (il diametro minimo è 0,1 cm e il diametro massimo è 2,2 cm), l'altezza media è pari a 40 cm (l'altezza minima è 3 cm e l'altezza massima è 113 cm) e l'età media è pari a 3 anni (l'età minima è 1 anno e l'età massima è 9 anni).

Per quanto concerne il pino silvestre, il diametro medio è pari a 1,1 cm (il diametro minimo è 0,1 cm e il diametro massimo è 2,8 cm), l'altezza media è pari a 59 cm (l'altezza minima è 10 cm e l'altezza massima è 125 cm) e l'età media è pari a 4 anni (l'età minima è 2 anni e l'età massima è 6 anni).

	DIAMETRO COLLETTO (cm)		**ALTEZZA (cm)**		**ETA' (anni)**	
	Media	**Dev st**	**Media**	**Dev st**	**Media**	**Dev st**
Totale	0,8	0,6	44	32	4	2
Picea abies	0,7	0,6	39	26	4	2
Larix decidua	0,6	0,5	40	30	3	1
Pinus sylvestris	1,1	0,7	59	33	4	1

Tabella 4 – Diametro medio, altezza media ed età media totale e per specie, con deviazione standard

4.2. RINNOVAZIONE: DESCRIZIONE QUALITATIVA

4.2.1. Composizione media di un nucleo di rinnovazione

	Frequenza (in un nucleo)	**Frequenza %**
Totale	240	100
Picea abies	201	83,7
Larix decidua	9	3,7
Pinus sylvestris	7	2,9

Tabella 5 – Composizione media di un nucleo di rinnovazione, con la frequenza totale (di tutte le specie rilevate) e, separatamente, di *Picea abies,* di *Larix decidua* e di *Pinus sylvestris*

All'interno di un nucleo di rinnovazione, mediamente sono presenti 240 piantine (considerando tutte le specie rilevate), delle quali 201 piantine di abete rosso, 9 piantine di larice e 7 piantine di pino silvestre.

4.2.2. Per valutare l'eventuale effetto del disturbo sulla rinnovazione presente, le distribuzioni percentuali della rinnovazione vengono distinte in base all'età stimata e quindi in pre-rinnovazione (individui precedenti al disturbo) e rinnovazione post-disturbo. I due disturbi principali sono gli attacchi di bostrico tipografo e la seguente rimozione delle piante attaccate e morte, avvenuti a partire dal 2022 e lo schianto da vento verificatosi nel febbraio 2023. Dunque viene scelto l'anno 2022 come spartiacque per distinguere la pre-rinnovazione e la rinnovazione post-disturbo (*Fig. 35, 36, 37*).

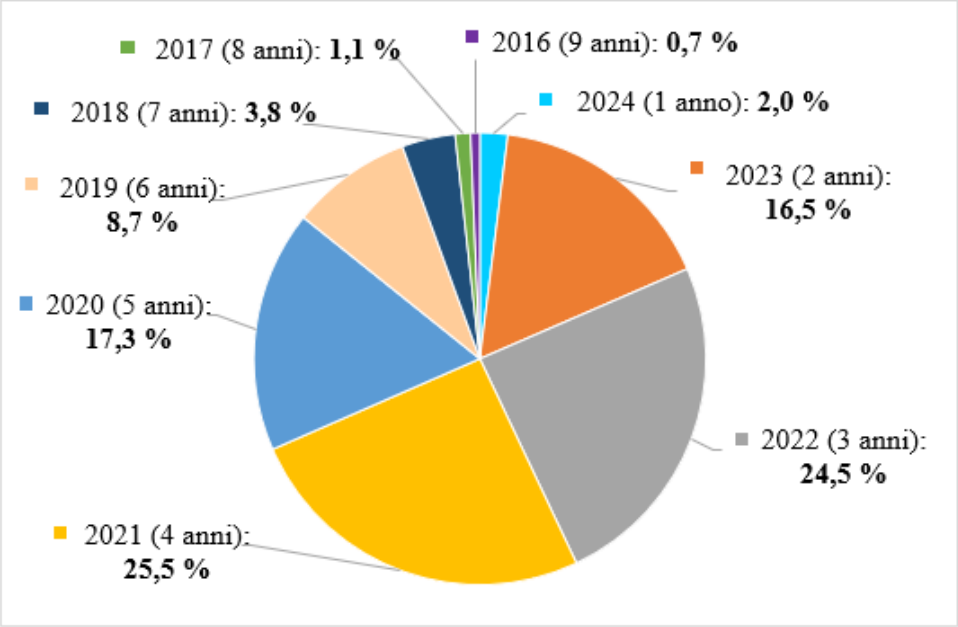

Figura 34 – Distribuzione della rinnovazione in base all'anno di nascita e la corrispondente età

Considerando solo i dati rilevati delle aree di saggio circolari, quindi non rappresentativi in termini quantitativi dell'area di studio in quanto si sono selezionati i nuclei di rinnovazione (non si è proceduto con rilievo campionario casuale/sistematico), il 2,0% della rinnovazione è nato nel 2024 (1 anno di età), il 16,5% è nato nel 2023 (2 anni), il 24,5% è nato nel 2022 (3 anni), il 25,5% è nato nel 2021 (4 anni), il 17,3% è nato nel 2020 (5 anni), l'8,7% è nato nel 2019 (6 anni), il 3,8% è nato nel 2018 (7 anni), l'1,1% è nato nel 2017 (8 anni) e lo 0,9% è nato nel 2016 (9 anni). Nel grafico non è rappresentata la percentuale nata nel 2015, nel 2014 e 2013 poiché inferiore a 0,1%.

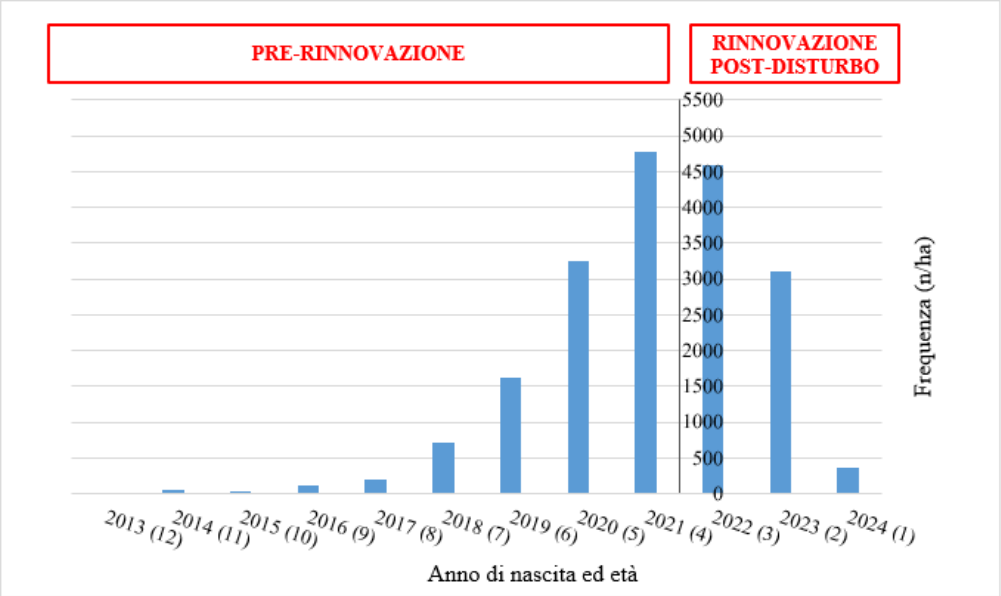

Figura 35 – Frequenza ad ettaro della rinnovazione naturale (considerando *Picea abies*, *Larix decidua* e *Pinus sylvestris*) in base all'anno di nascita ed alla corrispondente età (valore tra parentesi) rilevata nell'anno di monitoraggio; la rinnovazione è stata distinta in pre-rinnovazione e rinnovazione post-disturbo in corrispondenza dell'anno 2022, in cui sono iniziati gli attacchi di *Ips typographus* con la conseguente morte e rimozione delle piante colpite, seguiti poi dallo schianto da vento del 4 febbraio 2023.

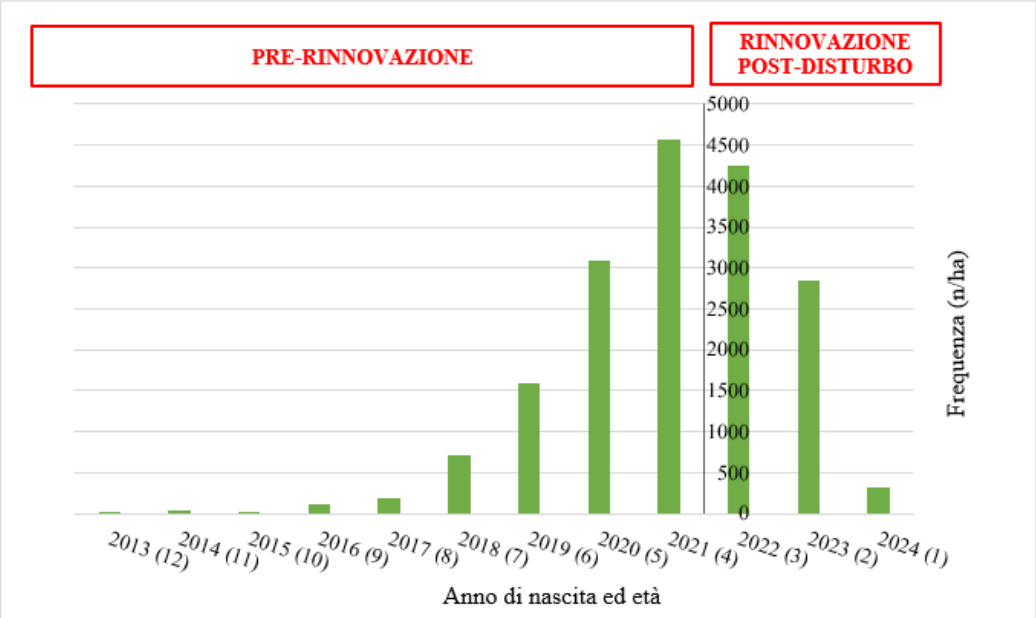

Figura 36 – Frequenza ad ettaro della rinnovazione naturale considerando solo *Picea abies* in base all'anno di nascita ed alla corrispondente età (valore tra parentesi) rilevata nell'anno di monitoraggio; la rinnovazione è stata distinta in pre-rinnovazione e rinnovazione post-disturbo in corrispondenza dell'anno 2022, in cui sono iniziati gli attacchi di *Ips typographus* con la conseguente morte e rimozione delle piante colpite, seguiti poi dallo schianto da vento del 4 febbraio 2023.

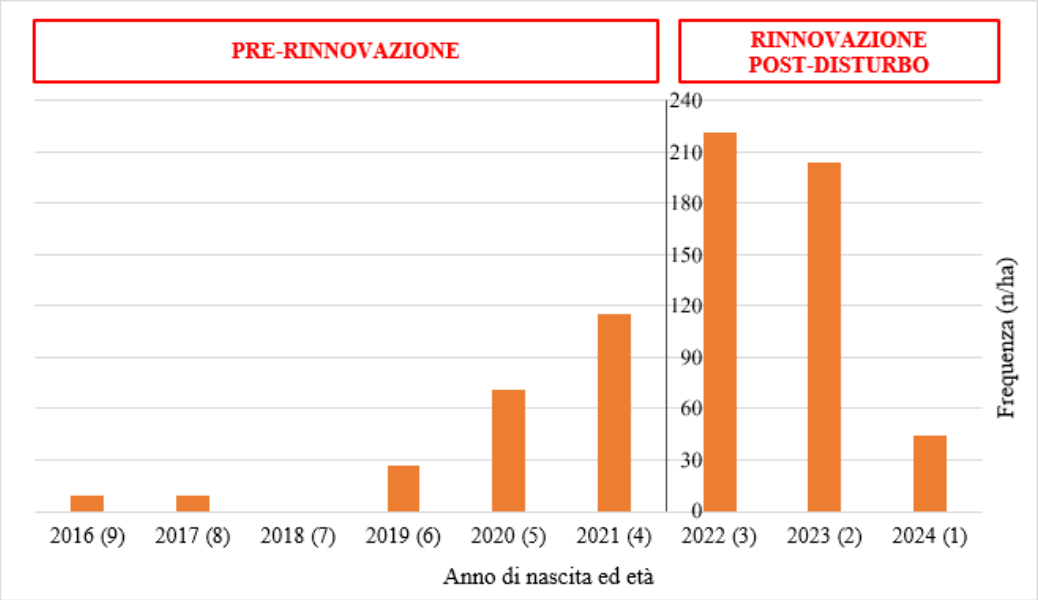

Figura 37 – Frequenza ad ettaro della rinnovazione naturale considerando solo *Larix decidua* in base all'anno di nascita ed alla corrispondente età (valore tra parentesi) rilevata nell'anno di monitoraggio; la rinnovazione è stata distinta in pre-rinnovazione e rinnovazione post-disturbo in corrispondenza dell'anno 2022, in cui sono iniziati gli attacchi di *Ips typographus* con la conseguente morte e rimozione delle piante colpite (2022), seguiti poi dallo schianto da vento del 4 febbraio 2023.

La frequenza ad ettaro della rinnovazione post-disturbo è pari a 8062 piantine ad ettaro (43%), mentre quella della pre-rinnovazione è pari a 10778 piantine ad ettaro (57%) (*Figura 35*).

Per quanto concerne l'abete rosso, la frequenza ad ettaro della rinnovazione post-disturbo è pari a 7425 piantine ad ettaro (39,5%), mentre quella della pre-rinnovazione è pari a 10372 piantine ad ettaro (55%) (*Figura 36*).

Per quanto concerne il larice, la frequenza ad ettaro della rinnovazione post-disturbo è pari a 469 piantine ad ettaro (2,5%), mentre quella della pre-rinnovazione è pari a 230 piantine ad ettaro (1,1%) (*Figura 37*).

Per quanto concerne il pino silvestre, la frequenza ad ettaro della rinnovazione post-disturbo è pari a 168 piantine ad ettaro (0,9%), mentre quella della pre-rinnovazione è pari a 177 piantine ad ettaro (0,9%).

4.2.3. Valutazione dell'impatto della brucatura ad opera degli ungulati

Dai dati rilevati nel transetto lineare, risulta che il 2,8% della rinnovazione presenta segni di brucatura (principalmente a carico dell'apice vegetativo). Sono state brucate solo piantine di abete rosso.

Dai dati rilevati nelle aree di saggio circolari, è emerso che il 2,4% della rinnovazione mostra segni di brucatura (principalmente a carico dell'apice vegetativo). In particolare, è stato brucato il 2,3% delle piantine di abete rosso e il 3,8% delle piantine di larice rilevate.

4.2.4. Coperture al suolo percentuali medie osservate nelle aree di saggio circolari

L'83% della copertura al suolo consiste in erbe a foglia larga (*Vaccinium myrtillus*), l'8% consiste in necromassa (CWD), il 5% in pietrame e ghiaia e un altro 5% in arbusti (*Rubus idaeus*), il 4% corrisponde a suolo nudo, il 2% ad erbe a foglia stretta (*Poaceae*) e l'1% a lettiera (*Fig. 39*). La somma dei valori percentuali indicati è superiore a 100, dal momento che è sono stati inclusi anche gli arbusti e la necromassa, collocati su un diverso piano (quindi anche coperture sovrapponibili alle altre sopra citate) rispetto al suolo.

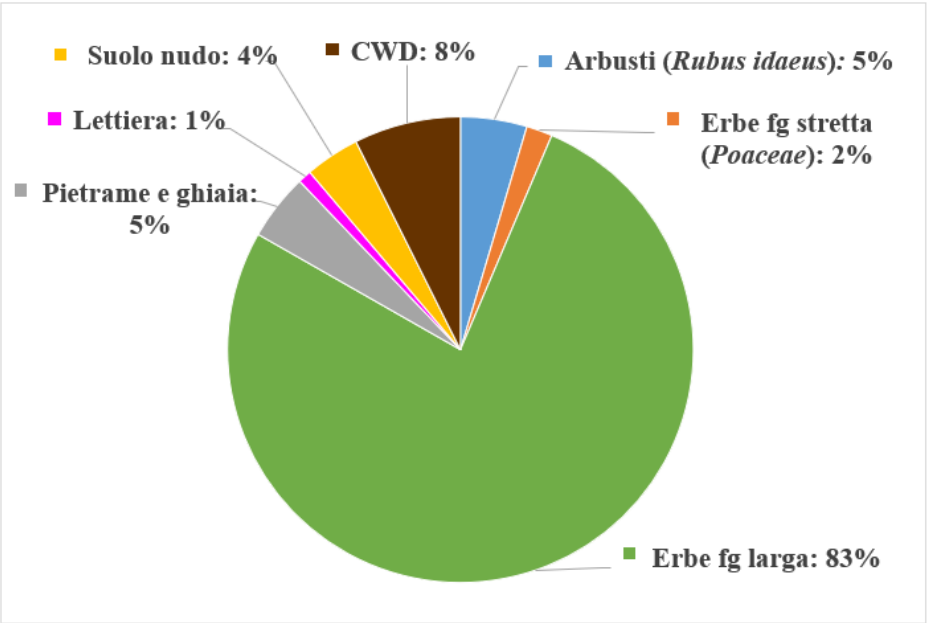

Figura 39 – Coperture al suolo % medie rilevate; la somma dei valori percentuali indicati è superiore a 100, poiché sono stati inclusi anche gli arbusti e la necromassa (CWD), che si possono anche sovrapporre su piani diversi di copertura al suolo; le erbe a foglia larga consistono principalmente in *Vaccinium myrtillus*

4.2.5. Test sulla differenza tra campioni

- **Confronto tra i diametri della rinnovazione di *Picea abies* e *Larix decidua*** (dati ottenuti dalle aree di saggio)

D_PA		***D_LD***	
N:	2010	**N:**	79
Mean rank:	1010,8	**Mean rank:**	34,163
Mann-Whitn *U*:	68207		
***z*:**	-2,1336	***p* (same med.):**	0,032879
Monte Carlo permutation:		***p* (same med.):**	0,0327

Figura 40 – Test U di Mann Whitney tra i diametri della rinnovazione di *Picea abies* (D_PA) e di *Larix decidua* (D_LD)

Per quanto concerne i diametri dell'abete rosso, il numero di osservazioni è 2010, mentre per i diametri del larice, il numero di osservazioni è 79.

Il p-value è minore di 0,05 (*Fig. 40*), dunque è possibile affermare che i diametri di abete rosso sono diversi dai diametri di larice; in particolare, il diametro delle piantine di abete rosso (0,7±0,6 cm) risulta statisticamente superiore al diametro delle piantine di larice (0,6±0,5 cm).

- **Confronto tra le altezze della rinnovazione di *Picea abies* e *Larix decidua*** (dati ottenuti dalle aree di saggio)

H_PA		***H_LD***	
N:	2010	**N:**	79
Mean rank:	1005,6	**Mean rank:**	39,387
Mann-Whitn *U*:	79119		
***z*:**	-0,052394	***p* (same med.):**	0,95821
Monte Carlo permutation:		***p* (same med.):**	0,9604

Figura 41 – Test U di Mann Whitney tra le altezze della rinnovazione di *Picea abies* (H_PA) e di *Larix decidua* (H_LD)

Per quanto concerne le altezze dell'abete rosso, il numero di osservazioni è 2010, mentre per le altezze del larice, il numero di osservazioni è 79.

Il p-value è maggiore di 0,05 (*Fig. 41*), dunque è possibile affermare che le altezze della rinnovazione di abete rosso (39±26 cm) non presentano differenza significativa dalle altezze della rinnovazione di larice (40±30 cm).

- **Confronto tra le età della rinnovazione di *Picea abies* e *Larix decidua*** (dati ottenuti dalle aree di saggio)

E_PA		***E_LD***	
N:	2010	**N:**	79
Mean rank:	1016,9	**Mean rank:**	28,067
Mann-Whitn *U*:	55473		
***z*:**	-4,6446	***p* (same med.):**	3,4081E-06
Monte Carlo permutation:		***p* (same med.):**	0,0001

Figura 42 – Test U di Mann Whitney tra le età della rinnovazione di *Picea abies* (E_PA) e di *Larix decidua* (E_LD)

Per quanto concerne le età dell'abete rosso, il numero di osservazioni è 2010, mentre per le età del larice, il numero di osservazioni è 79.

Il p-value è minore di 0,05 (*Fig. 42*), dunque è possibile affermare che le età della rinnovazione di abete rosso sono diverse dalle età della rinnovazione di larice; in effetti, l'età media dell'abete rosso (4 anni ± 2) è superiore a quella del larice (3 anni ± 1).

- **Confronto tra aree di saggio circolari e transetto lineare**
  - Confronto tra i diametri della rinnovazione misurati nelle aree di saggio circolari e i diametri della rinnovazione misurati nel transetto lineare

D_AdS		***D_trans***	
N:	2128	**N:**	168
Mean rank:	1064	**Mean rank:**	84,493
Mann-Whitn *U*:	1,7771E05		
***z*:**	-0,12688	***p* (same med.):**	0,89903
Monte Carlo permutation:		***p* (same med.):**	0,9012

Figura 43 – Test U di Mann Whitney tra i diametri della rinnovazione misurati nelle aree di saggio e i diametri della rinnovazione misurati nel transetto, relativamente a *Picea abies*, *Larix decidua* e *Pinus sylvestris*

I diametri misurati nelle aree di saggio circolari (relativamente alle sole piantine di *Picea abies*, *Larix decidua* e *Pinus sylvestris*, per un numero di osservazioni pari a 2128), e quelli misurati nel transetto lineare (per un numero di osservazioni pari a 168), non risultano statisticamente differenti poiché il p-value è maggiore di 0,05.

- Confronto tra le altezze rilevate nelle aree di saggio circolari e le altezze rilevate nel transetto lineare

H_AdS		*H_trans*	
N:	2128	**N:**	168
Mean rank:	1064,5	**Mean rank:**	83,974
Mann-Whitn *U*:	1,7861E05		
***z*:**	-0,017409	***p* (same med.):**	0,98611
Monte Carlo permutation:		***p* (same med.):**	0,987

Figura 44 – Test U di Mann Whitney tra le altezze misurate nelle aree di saggio e le altezze misurati nel transetto, relativamente a *Picea abies*, *Larix decidua* e *Pinus sylvestris*

Le altezze misurate nelle aree di saggio circolari (relativamente alle sole piantine di *Picea abies*, *Larix decidua* e *Pinus sylvestris*, per un numero di osservazioni pari a 2128), e le altezze misurate nel transetto lineare (per un numero di osservazioni pari a 168), non risultano statisticamente differenti, poiché il p-value è maggiore di 0,05.

4.2.6. Test sull'associazione tra variabili

- **Regressione: relazione tra diametro ed età**

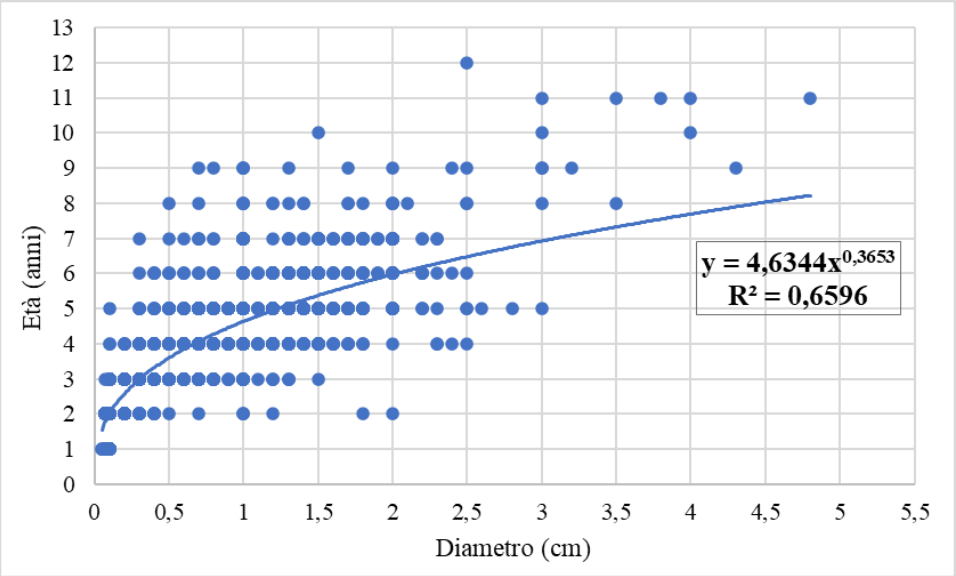

Figura 45 – Relazione fra il diametro misurato e l'età stimata in campo attraverso il conteggio degli internodi, considerando solo individui di *Picea abies*, *Larix decidua* e *Pinus sylvestris*; è riportata l'equazione della curva e il valore di R^2; il numero totale di piantine appartenenti a queste tre specie rilevate nelle 10 aree di saggio è 2128

L'equazione che descrive la relazione è di tipo potenza ed è pari a $y = 4{,}6344x^{0{,}3653}$, mentre il corrispondente valore di R^2 è pari a 0,6596.

E' stata scelta una curva di tipo esponenziale (potenza) e la relativa equazione poiché consiste nella forma, tra quelle possibili, che fornisce un valore di R^2 più alto ed è dunque la forma in cui la variazione di Y (età) è spiegata per la maggior parte dalla variazione di X (diametro) (il 66% della variazione dell'età è spiegata dalla variazione del diametro).

- **Correlazioni di Spearman**

Il pino silvestre non è stato considerato in queste analisi, dal momento che non era presente in un numero di aree di saggio sufficiente.

All'interno della matrice di correlazione ottenuta sono state selezionate e qui riportate solo le correlazioni r_s significative (p-value < 0,05) tra le variabili analizzate (*Tab. 6*).

La frequenza della pre-rinnovazione di abete rosso è correlata negativamente con il numero di ceppaie presenti (r_s = -0,62953), così come la frequenza della pre-rinnovazione totale è correlata negativamente con la copertura percentuale arborea (r_s = -0,67832).

Inoltre, la frequenza della rinnovazione di 2 anni è correlata positivamente con la copertura % di foglia larga (r_s = 0,65855).

Infine, l'età media della rinnovazione di larice è correlata negativamente con il numero di ceppaie (r_s = - 0,791).

	Numero ceppaie
F prerinn abete rosso	-0,62953
Età media rinn larice	-0,791

	Copertura arborea
F prerinn totale	-0,67832

	Copertura fg larga
F rinn 2 anni	0,65855

Tabella 6 - Valori del coefficiente r_s di Spearman per le correlazioni significative (p-value < 0,05) trovate

Sono state analizzate anche le correlazioni tra le frequenze (totali, per specie, per la pre e post rinnovazione) e le diverse tipologie di coperture al suolo, così come tra le frequenze e il numero di individui adulti presenti e il numero di ceppaie, ma in tutti i casi il p-value risultava maggiore di 0,05, confermando la non significatività del test e che dunque non esiste una relazione significativa tra le variabili sopra citate.

5. DISCUSSIONI

Le tre specie di conifere rilevate nella rinnovazione naturale dell'area oggetto di questo studio, ovvero abete rosso, larice e pino silvestre, sono le stesse che formavano il popolamento originario. L'abete rosso si riconferma come la specie prevalente, costituendo l'81,4% della rinnovazione (14400 individui/ha), seguito poi dal larice, seconda specie per abbondanza, che costituisce il 10,2% della rinnovazione (1800 individui/ha). Il pino silvestre, nonostante formasse il 10% del popolamento adulto precedente il disturbo (mentre il larice solo il 4%), è molto meno abbondante, con una frequenza percentuale del 3,4% (600 individui/ha).

Un nucleo di rinnovazione è mediamente composto da 240 piantine (considerando tutte le specie rilevate), di cui 201 di abete rosso (83,7%), 9 di larice (3,7%) e 7 di pino silvestre (2,9%). Confrontando le frequenze percentuali, si nota dunque che il larice è meno abbondante all'interno dei nuclei di rinnovazione rispetto a quanto rilevato nel transetto lineare (dove costituisce il 10,2% della rinnovazione). I dati di frequenza dei nuclei di rinnovazione non sono considerabili come rappresentativi in termini quantitativi dell'area di studio dal momento che sono stati selezionati (non si è proceduto con rilievo campionario casuale/sistematico), tuttavia si può supporre che il larice sia favorito maggiormente al di fuori dei nuclei di rinnovazione, probabilmente a causa dell'elevata densità dell'abete rosso e della conseguente competizione da parte di questa specie all'interno dei nuclei.

Si può ipotizzare, dunque, che la composizione specifica del futuro popolamento sarà simile a quella del soprassuolo adulto prima del disturbo.

La resilienza delle peccete nei confronti dei disturbi naturali in termini di capacità di rigenerarsi dipende molto dalla presenza di rinnovazione ad uno stadio avanzato, poiché le giovani piantine di abete rosso sono in grado di rimanere ombreggiate per lunghi periodi sotto forma di piccole piante e dopo la rimozione degli individui dominanti con lo schianto, trovano condizioni di luce favorevoli cominciando a crescere piuttosto velocemente, prevalendo dunque sul resto della rinnovazione di altre specie (San-Miguel-Ayanz J et al, 2016; Tsvetanov et al, 2016).

Tuttavia, la quota di larice e pino silvestre potrebbe aumentare, dal momento che, in alcune zone, tra gli individui adulti resistiti allo schianto, vi sono soprattutto pini silvestri e larici, mentre pochi sono gli abeti rossi; dunque, in mancanza di apporto di semi da parte dell'abete rosso, in queste zone potrebbero essere favorite le altre due specie, soprattutto in presenza di suolo nudo (che si è evidenziato a seguito degli schianti da vento). Rimane però concreta la possibilità di insediamento e affermazione degli individui facenti parte della pre-rinnovazione di abete rosso (semenzali già presenti e sopravvissuti al disturbo).

Tra la rinnovazione naturale, le altre specie rilevate sono latifoglie pioniere, tipiche colonizzatrici degli ambienti disturbati; tuttavia la loro presenza è sporadica e non sono state osservate zone in cui fossero

preponderanti sulle conifere. Riguardo gli arbusti, l'unico presente è il rovo, nelle zone a minor copertura arborea, concentrato in nuclei densi, spesso mescolati a quelli della pre-rinnovazione. I nuclei di pre-rinnovazione già di una certa età e dimensione (maggiore o uguale alle dimensioni del rovo) che si ritrovano ora immersi in nuclei di rovo, potrebbero trarre beneficio dalla sua presenza (effetto pacciamatura), in termini di protezione dalla brucatura degli ungulati e per il mantenimento dell'umidità del suolo.

Durante i rilievi in campo, si è notato che diversi nuclei di rinnovazione (la metà delle aree di saggio realizzate) si trovavano in zone di impluvio e piccoli avvallamenti. Qui, i nuclei erano più densi e le piantine si trovavano molto più ravvicinate tra loro. Ciò potrebbe essere dovuto ad un maggiore accumulo di semi e ad una maggiore disponibilità idrica del microsito, dunque anche una maggiore umidità.

Per quanto concerne le dimensioni della rinnovazione delle conifere, il pino silvestre risulta essere generalmente più grande rispetto all'abete rosso e al larice, con dimensioni superiori sia in diametro che in altezza, nonostante l'età media sia invece simile. Questo potrebbe essere dovuto al fatto che il pino silvestre abbia un comportamento da specie pioniera, caratterizzata dunque da un rapido accrescimento iniziale. La specie con l'età massima maggiore è l'abete rosso (12 anni), mentre il larice arriva a 9 anni e il pino silvestre a 6 anni.

Confrontando le dimensioni della rinnovazione di abete rosso con le dimensioni di quella del larice, è emerso che i diametri di abete rosso risultano statisticamente superiori ai diametri delle piantine di larice e allo stesso modo le età. Questo è in accordo con la relazione significativa positiva trovata tra diametro ed età delle piantine (R^2 = 0,6596). La rinnovazione di larice sembra quindi essersi insediata per lo più a seguito del disturbo mentre le piantine di abete rosso hanno iniziato ad insediarsi anche a seguito dei prelievi legnosi degli anni precedenti.

All'interno delle zone rilevate la rinnovazione insediata ha un diametro medio pari a 0,8 cm, un'altezza media di 44 cm e un'età media delle piantine di 4 anni. Vi sono anche piante sporadiche di rinnovazione naturale già da considerarsi affermata (ad esempio degli abeti rossi con un diametro di 4,8 cm, un'altezza di 200 cm e un'età di 12 anni). Ai margini dell'area colpita dallo schianto e dal bostrico, sono presenti dei nuclei molto densi di abete rosso con rinnovazione affermata, sviluppatasi quindi all'interno di aperture della copertura forestale, che è già di grandi dimensioni ma con le chiome che ancora toccano terra (con un'altezza intorno a 3,5-4 m e un diametro ad 1,30 m da terra di circa 7 cm).

L'anno 2022 è stato considerato come lo spartiacque per distinguere la pre-rinnovazione dalla rinnovazione post-disturbo, dal momento che, a partire dal 2022, sono iniziati gli attacchi da bostrico e le successive rimozioni delle piante colpite, seguite dal verificarsi, nel 2023, dello schianto da vento su molte delle piante residue sopravvissute al bostrico. La rinnovazione post-disturbo, ovvero le piantine

di 1, 2 e 3 anni, costituiscono il 43% della rinnovazione, mentre le piantine nate prima dei disturbi (pre-rinnovazione), sono pari al 57% della rinnovazione. I due disturbi principali hanno dunque provocato un forte impulso alla rinnovazione naturale, dal momento che in soli 3 anni si è sviluppata quasi la metà della rinnovazione attualmente presente, distribuita all'interno di un arco temporale di 9 anni.

Osservando il generale andamento temporale della frequenza della rinnovazione (*Fig. 35*), si nota anche che già in seguito al 2015-2016 vi è stato un notevole impulso. E' importante tenere presente che nel 2014 era stato effettuato un diradamento, con la rimozione di 2046 m^3 di materiale in 18 ettari e negli anni successivi si sono verificati dei piccoli schianti all'interno dell'area. Questi eventi hanno molto probabilmente innescato il processo di rinnovazione, che tuttavia riguarda prevalentemente l'abete rosso. Il larice, invece, è aumentato soprattutto in corrispondenza dei due disturbi più recenti, che sono di tipo diverso, in linea con le consuete dinamiche della rinnovazione di questa specie, che per germinare ed affermarsi necessita di disturbi severi che espongano il suolo minerale. Il larice infatti è una specie prettamente pioniera, mentre l'abete rosso ha un comportamento più plastico e la rinnovazione riesce ad insediarsi anche con la sola riduzione della copertura da parte del popolamento adulto dovuta, per esempio, ad un diradamento. Anche il pino silvestre, molto probabilmente si è insediato con dinamiche simili al larice. Questo spiega il fatto che l'età massima rilevata di larice e pino silvestre sia inferiore a quella dell'abete rosso. In particolare, osservando i grafici sull'andamento della frequenza della rinnovazione di abete rosso e larice (*Fig. 36-37*), si nota che quella dell'abete rosso ha piantine con un'età di almeno 1-2 anni più vecchie rispetto alla rinnovazione di larice.

In generale, tra gli anni 2021-2022 per l'abete rosse e tra gli anni 2022-2023 per il larice, si è registrato il picco di sviluppo della rinnovazione, che sta tuttavia già subendo un calo negli ultimi 2 anni.

Durante i rilievi in campo sono state annotate tutte le piantine che presentavano segni di brucatura da parte di ungulati (cervidi prevalentemente, che sono stati anche avvistati all'interno dell'area), in modo da poter poi valutare l'impatto di questo disturbo sulla rinnovazione. All'interno del transetto lineare, il 2,8% della rinnovazione presente è stata brucata, ma solo a carico dell'abete rosso; all'interno delle aree di saggio circolari, è stato brucato il 2,4% della rinnovazione, in particolare il 2,3% delle piantine di abete rosso e il 3,8% delle piantine di larice. La porzione maggiormente interessata dal danno è l'apice vegetativo. In generale, l'impatto di questo disturbo non sembra essere elevato; nel transetto, la preferenza ricade nettamente sull'abete rosso, mentre nelle aree di saggio circolari, sul larice, anche se in modo non marcato.

Confrontando le dimensioni della rinnovazione rilevata nel transetto lineare e nelle aree di saggio circolari, è emerso che i diametri rilevati in queste ultime non sono statisticamente differenti da quelli rilevati nel transetto, così anche l'altezza di tali piantine. Il fatto che le altezze rilevate nelle aree di saggio e nel transetto non risultino statisticamente differenti e che i valori percentuali di rinnovazione interessata da brucatura nelle aree di saggio e nel transetto siano simili, fornisce un'interessante

informazione. L'ipotesi che gli ungulati concentrino la brucatura sui nuclei di rinnovazione, dal momento che ciò permette loro di non doversi spostare continuamente alla ricerca di piantine da brucare, essendo tutte concentrate in un unico punto, qui non è confermata. Le aree di saggio, che rappresentano i nuclei di rinnovazione, dovrebbero essere più colpite da brucatura e quindi avere individui con altezze diverse, in particolare inferiori, rispetto al transetto, che invece è sviluppato su una superficie più estesa e che non per forza include nuclei di rinnovazione, ricalcando la situazione di una minor concentrazione di piantine che porterebbe l'ungulato a doversi spostare continuamente per brucare.

In assenza di copertura arborea (piante adulte), si è rilevata una copertura del suolo quasi totale da parte di *Vaccinium myrtillus*; viceversa, nelle zone dove vi era ancora copertura arborea, la presenza di *Vaccinium myrtillus* veniva a diminuire fino a scomparire all'interno della zona del popolamento adulto rimasta quasi totalmente intatta, dunque con copertura arborea decisamente superiore (qui si è riscontrata una presenza di rinnovazione di età superiore rispetto a quella rilevata nelle aree a scarsa o nulla copertura arborea). La presenza di mirtillo è minore anche nella zona centrale, la più colpita dallo schianto, dove invece prevalgono rovi, pietrame e ghiaia. In seguito allo schianto da vento del 2023, la necromassa derivante è stata quasi completamente rimossa e sono stati lasciati solo rami (di dimensioni ridotte) e le ceppaie rovesciate.

La maggior parte delle piantine di 1-2 anni è stata rilevata nelle zone con copertura di mirtillo, in particolare quando si presentava secco nella parte più vicina al suolo e portando le foglie solo verso l'alto, lasciando quindi il suolo più libero e con una maggiore disponibilità di luce.

All'interno dei nuclei di rinnovazione e dunque nelle aree di saggio, le ceppaie rovesciate erano poco presenti, in un numero massimo di due, mentre molto più numerose erano le ceppaie ancora radicate (stump), derivanti probabilmente dal diradamento del 2014 e dalla rimozione delle piante colpite dal bostrico. In totale, nelle 10 aree di saggio, sono state rilevate 135 ceppaie (1195 ceppaie/ha).

Per quanto concerne le associazioni significative tra variabili ottenute (correlazione di Spearman), è possibile affermare che:

La copertura e la frequenza della rinnovazione risultano correlate dal momento che, con poca copertura da parte degli individui adulti, si è notata la presenza di un'elevata copertura da parte di *Vaccinium myrtillus* (foglia larga), quindi si può supporre che dove la copertura da parte delle piante adulte è minore, vi sia una più abbondante rinnovazione di 2 anni di età; per lo stesso motivo, laddove vi è poca copertura da parte delle piante adulte, si ha una frequenza di rinnovazione più alta.

In merito alla relazione tra il numero ceppaie e la frequenza della pre-rinnovazione di abete rosso, se le ceppaie derivassero dal diradamento del 2014 ci si aspetterebbe una relazione diretta (positiva) tra queste due variabili. Viceversa, se le ceppaie derivassero dal prelievo delle piante colpite dal bostrico, si presume che prima della loro rimozione la copertura fosse ancora piuttosto alta e dunque in

corrispondenza di queste ceppaie vi fosse una minore presenza di pre-rinnovazione, che porterebbe a una relazione inversa (negativa) tra il numero delle ceppaie e la frequenza della pre-rinnovazione di abete rosso.

La correlazione negativa tra l'età del larice e il numero ceppaie può derivare dal fatto che lo sviluppo della rinnovazione di larice sia avvenuto prevalentemente in seguito allo schianto da vento.

Osservando la Valle di Anterselva nel suo complesso, che si sviluppa in direzione nord-est, si è notato come i versanti esposti a est e sud-est siano stati colpiti molto più pesantemente dagli attacchi di bostrico tipografo rispetto ai versanti esposti a ovest e nord-ovest.

All'interno del Monitoraggio del bostrico tipografo per il periodo 2019–2022 realizzato dalla Ripartizione foreste della Provincia autonoma di Bolzano, sono presenti dei grafici che mostrano l'andamento delle catture dello scolitide negli anni rilevati tramite due trappole collocate una nel distretto di Brunico e l'altra nel distretto di Monguelfo. I due andamenti sono dissimili e ciò testimonia come l'insetto si stia comportando in maniera differenziata all'interno del territorio provinciale; questo può essere riconducibile alla variabilità sia climatica che stazionale dei luoghi in cui esso si è diffuso. Guardando ad esempio i dati di quota ed esposizione delle due trappole, si può vedere come quella esposta a sud-ovest (*Figura 46*) presenta per l'anno 2022 una crescita sensibilmente maggiore, a differenza di quella esposta a nord-ovest (*Figura 47*). Ciò testimonia quanto già detto in precedenza, ovvero che le caratteristiche stazionali e climatiche condizionano fortemente il tasso di crescita della popolazione dello scolitide. Non a caso sono proprio le piante esposte a sud a risentire maggiormente di estati calde e siccitose, che le rendono più vulnerabili agli attacchi.

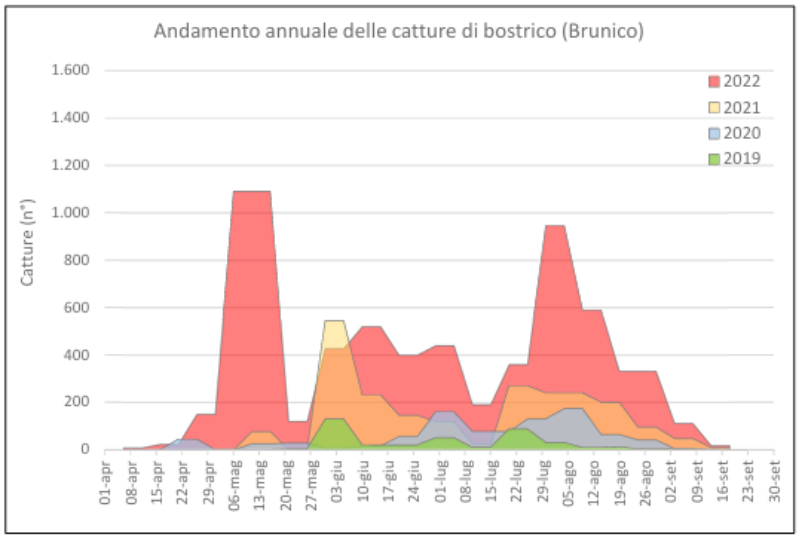

Figura 46 – Andamento annuale delle catture in una trappola di bostrico nel distretto di Brunico; la trappola si trova a 1396 m s.l.m. ed esposizione sud-ovest (Ripartizione foreste della Provincia autonoma di Bolzano, 2023)

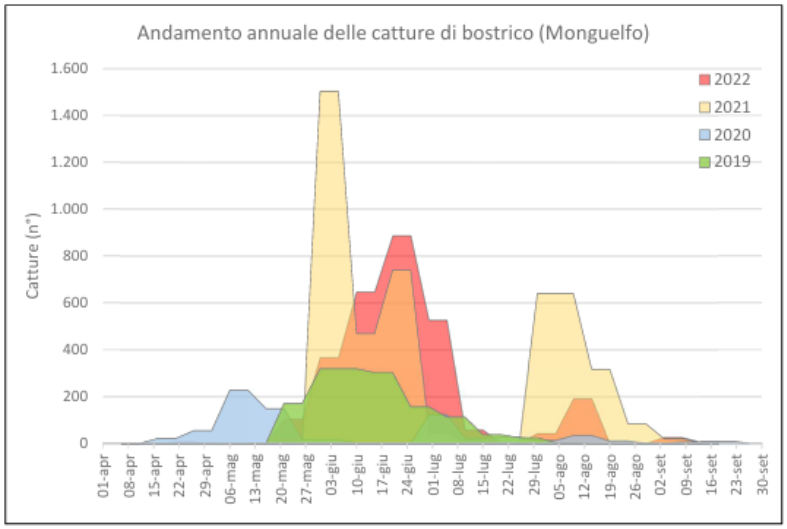

Figura 47 – Andamento annuale delle catture in una trappola di bostrico nel distretto di Monguelfo; la trappola si trova a 1211 m s.l.m. ed esposizione nord-ovest (Ripartizione foreste della Provincia autonoma di Bolzano, 2023)

6. CONCLUSIONI

In conclusione, all'interno dell'area boscata di Anterselva di Sotto oggetto di questo studio, in seguito ai due principali disturbi quali gli attacchi da bostrico tipografo (ancora in atto) e lo schianto da vento del 2023, è presente un'abbondante rinnovazione naturale (17700 individui/ha, considerando tutte le specie rilevate). C'è la possibilità che il nuovo popolamento futuro, possa non essere più coetaneiforme e monostratificato come in precedenza, bensì più disetaneo e pluristratificato, dal momento che i vari disturbi verificatesi nel corso del tempo in questa zona, hanno portato all'insediamento e allo sviluppo di numerosi nuclei di rinnovazione, lasciando però intatte diverse porzioni adulte del popolamento. Tuttavia, come esposto in precedenza, la specie preponderante rimane l'abete rosso, aspetto che presuppone l'evoluzione futura di un soprassuolo composto principalmente da questa specie. Il fatto che il larice costituisca il 10% dell'attuale rinnovazione naturale, porta ad ipotizzare che la sua quota nella composizione specifica del futuro popolamento adulto possa essere maggiore rispetto alla situazione prima del disturbo.

Come affermato all'interno del piano delle attività di gestione selvicolturale della Provincia Autonoma di Bolzano, nella pratica selvicolturale va favorita la mescolanza specifica, dove possibile. I boschi misti sono nel complesso più stabili nei confronti dei disturbi naturali, tra cui anche gli attacchi parassitari, rispetto a quelli puri.

Il larice e il pino silvestre si sono dimostrati più resistenti ai danni da vento, dal momento che nella zona colpita dallo schianto, la maggior parte delle piante adulte sopravvissute sono larici e pini silvestri.

Sarebbe perciò importante incrementare la frequenza di queste altre due specie di conifere (*Larix decidua* e *Pinus sylvestris*). Per fare ciò, diventa necessaria la salvaguardia da possibili danni e disturbi nei confronti dei nuclei di queste due specie che sono già presenti nell'area; di significativa importanza è il mantenimento del monitoraggio dell'impatto della brucatura da parte degli ungulati, che, come è emerso da queste analisi, al momento non rappresenta un problema rilevante per la rinnovazione, ma non si esclude la possibilità che il fenomeno aumenti. Nel caso in cui ciò accadesse, quindi, si suggerisce di valutare l'installazione di shelter e/o di recinzioni attorno ai nuclei. In tal modo si potrebbe garantire lo sviluppo di questa quota parte di rinnovazione per rafforzare la trasformazione o la compartecipazione delle specie già naturalmente presenti a formare un futuro bosco misto. Oltre a questo, nell'ottica di ridurre la presenza futura di abete rosso, per integrare la rinnovazione naturale già presente, sarà possibile la realizzazione di un intervento di rimboschimento artificiale mirato alla messa a dimora di piantine delle due specie in questione (larice e p. silvestre). Anche in questo caso, il fenomeno della brucatura va monitorato prevedendo (in caso di necessità) l'eventuale installazione delle strutture di protezione per le piantine.

In questo ambito, in Val Pusteria è in corso un programma di avvicinamento e formazione alla riforestazione artificiale mirata e adattata al clima, all'interno del progetto Interreg Alpine Space ADPTNOW (per il rafforzamento della capacità di adattamento dei territori alpini altamente impattati ed esposti), a cura di Eurac Research (Eurac Research, 2024).

Come è stato sottolineato dagli esperti che hanno tenuto i primi workshop su questo tema (Eurac Research, 2024), i rimboschimenti artificiali devono avere lo scopo di integrare la rinnovazione naturale, dunque non devono mai essere estesi, bensì mirati, selettivi e complementari ed effettuati solo nel caso in cui lo sviluppo naturale non procedesse in linea con gli obiettivi stabiliti (ad esempio, non è abbastanza rapido, non avviene in misura sufficiente o ha un'incertezza troppo elevata).

Laddove ottenere mescolanza specifica fosse difficile e non fosse possibile procedere con un intervento di riforestazione artificiale, il piano delle attività di gestione selvicolturale della Provincia afferma la fondamentale importanza di favorire con gli interventi selvicolturali la ricchezza strutturale del bosco, con una presenza bilanciata di stadi giovanili, adulti e maturi di abete rosso, evitando superfici estese con la stessa struttura. Il bostrico attacca abitualmente piante adulte e mature nel bosco puro e monoplano di abete rosso, mentre se questi individui sono presenti in minor misura (bosco misto), oppure in nuclei ben distanziati tra loro, il potenziale di attacco del bostrico è inferiore.

Questo studio ha evidenziato anche l'importanza dei diradamenti dal punto di vista dell'impulso dato all'insediamento e allo sviluppo della rinnovazione. Regolari interventi per cure colturali diventano quindi fondamentali per la stabilità della struttura del patrimonio boschivo, per la creazione di popolamenti misti a struttura verticale diversificata su più piani in modo da ridurre il rischio di danni (vulnerabilità) e migliorare l'adattabilità (resilienza) alle mutevoli condizioni climatiche.

Nell'area di studio, tutte le piante attaccate dal bostrico e successivamente morte sono state rimosse, così come tutto il materiale schiantato nel febbraio 2023, per motivi di sicurezza legati alla presenza di un percorso di mountain bike e di un tratto di pista per sci da fondo. Secondo il piano delle attività di gestione selvicolturale della Provincia, lo sgombero dal bosco delle piante morte ad opera del bostrico (in cui lo scolitide non è più presente) non ha alcun influsso sul futuro sviluppo della sua popolazione. Nei boschi di protezione, queste piante possono avere un ruolo importante, ancora per un certo periodo di tempo, per il mantenimento della funzione protettiva (ad esempio per mitigare il rischio di valanghe, caduta massi, erosione superficiale del terreno) e per tale motivo esse vengono rilasciate in bosco, del tutto o in parte, nel caso in cui vi sia una prioritaria funzione protettiva da garantire. Inoltre, queste piante secche in piedi offrono una protezione efficace dall'esposizione al sole per quelle limitrofe ancora vive, impedendo che quest'ultime improvvisamente soggette ad un carico radiativo superiore (senza la chioma a proteggerne i fusti poiché piante di bosco e non di margine), subiscano uno stress tale da emettere sostanze volatili caratteristiche della pianta sofferente, che attirerebbero il bostrico.

Inoltre, lasciare a terra parte del materiale schiantato dal vento, in modo da incrementare la presenza di necromassa, avrebbe un effetto positivo sulla rinnovazione, creando substrati favorevoli al suo sviluppo (velocizzandone l'insediamento) e garantendo anche una maggiore protezione alle nuove piantine.

Gli schianti da vento e gli attacchi da bostrico su larga scala, superata la fase di emergenza, forniscono l'occasione per adeguare strutture e gestione forestale agli scenari di cambiamento climatico, per aumentare la resistenza e la resilienza dei popolamenti forestali ai disturbi, che, a causa del cambiamento climatico, sono destinati ad aumentare di frequenza nei prossimi decenni.

7. BIBLIOGRAFIA

Andreatta, G. (2021). Tempesta Vaia e attacchi da bostrico: riflessioni sul bosco coetaneo o disetaneo e sul taglio raso. *L'Italia forestale e montana*, *76*(6), 337-345.

Asamm Software, s. r. o. (n.d.). *Locus Map* [App per smartphone]

Autonome Provinz Bozen – Südtirol. (2010). *Tipologie forestali dell'Alto Adige: Volume 1: tipi forestali, regioni forestali, chiave dei tipi forestali*. Provincia Autonoma di Bolzano – Alto Adige.Piano di gestione Parco naturale Vedrette di Ries-Aurina

Battisti, A. (2023). Clima e abete rosso: una difficile convivenza. *L'Italia forestale e montana*, *78*(2), 69-76.

Bernetti, G. (1995). *Selvicoltura speciale* (Collana Scienze forestali e ambientali, n. 2). UTET, Torino.

Boscaro, M. (2016). Studio della dinamica forestale nella pineta litoranea di pino marittimo di Porto Caleri. Relatore Pividori M. Dipartimento territorio e sistemi agro-forestali, Facoltà di Tecnologie Forestali e Ambientali, Università degli studi di Padova, Legnaro.

Castagneri, D. (2023). Appunti delle lezioni di Statistica applicata

Del Favero, R. 2004. *I boschi delle regioni alpine italiane*. CLEUP, Padova

Del Favero, R., Lingua, E., Pividori, M. (2019). *Selvicoltura per la protezione dai disturbi* (Collana Conoscere). Compagnia delle Foreste.

Ducoli, A., Panteghini, P. (2005). *Prove di lotta al bostrico in Valle Camonica*. Tipografia Brenese, Breno (Bs)

Eurac Research. (2024, 29 ottobre). *ADAPTNOW – Formazione sulla riforestazione mirata e resiliente al clima in Val Pusteria*. In *Center for Climate Change and Transformation. News & Events*. Eurac Research. Consultato il 29 agosto 2025.

Faccoli, M. (2024). Appunti delle lezioni di Zoologia forestale

Gellini R., Grossoni P., 1996. *Botanica forestale. Vol. I – Gimnosperme*. CEDAM, Padova

Hammer, Ø. (2014). *PAST: Paleontological statistics. Reference manual (Version 3.04)*. Natural History Museum, University of Oslo

Hammer, Ø., Harper, D.A.T., and P. D. Ryan, 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1): 9pp.

Hörnberg, G., Ohlson, M. & Zackrisson, O. 1997: Influence of bryophytes and microrelief conditions on Picea abies seed regeneration patterns in boreal old-growth swamp forests. — Can. J. For. Res. 27: 1015–1023

JEEDORI. (n.d.). *Compass Level* [App per smartphone]

Johnson, A. C., & Yeakley, J. A. (2019). Microsites and climate zones: seedling regeneration in the alpine treeline ecotone worldwide. *Forests*, *10*(10), 864.

Kuuluvainen T, Kalmari R. 2003. Regeneration microsites of Picea abies seedlings in a windthrow area of a boreal old-growth forest in southern Finland. Annales Botanici Fennici 40 (6): 401-413

Lingua, E. (2025). Appunti delle lezioni di Selvicoltura generale

Marzano, R., Garbarino, M., Marcolin, E., Pividori, M., & Lingua, E. (2013). Deadwood anisotropic facilitation on seedling establishment after a stand-replacing wildfire in Aosta Valley (NW Italy). *Ecological Engineering*, *51*, 117-122.

Microsoft Corporation. (n.d.). *Microsoft Excel* [Software per fogli di calcolo]

Montibeller, S. (2024). L'impatto del bostrico (Ips Typographus), sull'area forestale del Trentino centrale

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.

Piussi, P. (1977). Problemi di Ecologia Nei Boschi di Picea Delle Alpi: Il Punto di Vista di un Forestale. *Italian Journal of Zoology*, *44*(1-2), 87-96.

Piussi, P. (1994). *Selvicoltura generale* (Collana Scienze forestali e ambientali). UTET, Padova

Provincia Autonoma di Bolzano – Alto Adige. (n.d.). *Mapview: Geoportale Alto Adige*. Consultato da dicembre 2024 ad agosto 2025

Provincia Autonoma di Bolzano – Alto Adige. (n.d.). Consultato a febbraio e ad agosto 2025

QGIS Development Team. (n.d.). *QGIS Geographic Information System* (versione 3.34.11) [Software GIS]

Ripartizione foreste della Provincia autonoma di Bolzano. (2023). *Monitoraggio del bostrico tipografo: analisi dei risultati nel periodo 2019–2022*. Provincia autonoma di Bolzano – Alto Adige.

Salvadori, C. R. I. S. T. I. N. A., & Stergulc, F. (2008, October). Indirizzi selvicolturali per il contenimento dei danni da bostrico nelle foreste delle Alpi orientali. In *Riassunti III Congresso Nazionale di Selvicoltura (Ciancio O ed), Taormina (Italy), 16th-18th October*

San-Miguel-Ayanz J, De Rigo D, Caudullo G, Houston Durrant T, Mauri A. 2016. *European atlas of forest tree species*. Publication Office of the European Union, Luxembourg.

Seidl, R., Rammer, W., & Spies, T. A. (2014). Disturbance legacies increase the resilience of forest ecosystem structure, composition, and functioning. *Ecological Applications*, *24*(8), 2063-2077.

Selvicoltura produttiva: Bernetti, G., Del Favero, R. & Pividori M. (2012). *Selvicoltura produttiva – manuale pratico*. Gruppo 24 ore, Edagricole.

Sparber, W., Zebisch, M., Niedrist, G., Alberton, M., & Habicher, D. (2022). Scenari per l'Alto Adige verso la neutralità climatica: analisi scientifiche per il Piano Clima–Update 2022.

Stazione Forestale di Valdaora. (n.d.). *Schede boschive*. [Documento interno/non pubblicato]

Tsvetanov, N., Dountchev, A., Panayotov, M., Zhelev, P., Bebi, P., & Yurukov, S. (2018). Short-and long-term natural regeneration after windthrow disturbances in Norway spruce forests in Bulgaria. *IForest-Biogeosciences and Forestry*, *11*(5), 675.

Turner, M. G. (2010). Disturbance and landscape dynamics in a changing world. *Ecology*, *91*(10), 2833-2849.

Varotto, M. (2024). Analisi del comportamento della rinnovazione naturale a seguito della tempesta Vaia: un caso studio nella Piana di Marcesina (VI). Relatore Pividori M. Dipartimento territorio e sistemi agro-forestali, Facoltà di Scienze Forestali e Ambientali, Università degli studi di Padova, Legnaro.

Zebisch, M., Pedoth, L., Pörnbacher, M., Renner, K., Fritsch, U., Alberton, M., ... & Thaler, F. (2025). Rischi climatici e adattamento-Verso un Alto Adige resiliente al clima.