



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA  
DIPARTIMENTO TERRITORIO E SISTEMI AGRO-FORESTALI  
Corso di laurea in Tecnologie forestali e ambientali L

**Analisi delle dinamiche di rinnovazione di faggio  
(*Fagus sylvatica* L.) in peccete secondarie**

Relatore

Prof. Emanuele Lingua

Laureando  
Lorenzo Rizzi  
Matricola n.  
2007527

ANNO ACCADEMICO 2023-2024



## RIASSUNTO

Negli ultimi anni i versanti montuosi delle Alpi sono stati interessati da mutamenti derivati dall'aumento delle temperature dovuto dai cambiamenti climatici (IPCC report 2023); trovando condizioni migliori, le specie arboree riescono a vegetare a quote maggiori rispetto al passato, comportando un mutamento nella composizione a precise quote (F. Keller 2000).

Questo fenomeno può essere presente anche nei boschi della fascia montana-altimontana (1400-1800 m s.l.m.), dove i popolamenti interessati da questo cambiamento sono spesso costituiti da abete rosso (*Picea abies* (L.) Karst.) e di origine secondaria, ovvero derivati da impianti artificiali realizzati dall'uomo con l'obiettivo di favorire tale popolamento per soddisfare precise funzioni (N. Mietkiewicz, 2017), generalmente di stampo economico-produttivo.

Pertanto con questo studio, che prende come esempio le peccete secondarie del Monte Tremalzo in Val di Ledro, si vuole monitorare la presenza di rinnovazione di faggio (*Fagus sylvatica* L.) o latifoglie presenti sotto copertura di abete rosso. Oltre a ciò si vuole verificare l'esistenza di relazioni che leghino la presenza di rinnovazione naturale ad alcuni fattori abiotici quali quantità di luce, altitudine e esposizione.

Per far ciò si sono monitorate 30 aree di saggio, selezionate casualmente su una superficie di 80 ha. Queste ultime sono costituite da un cerchio di raggio di 12 m, all'interno della quale si sono misurati i diametri di tutte le piante, con soglia di cavallettamento pari a 17,5 cm, e da un ulteriore cerchio concentrico di raggio di 6 m, in cui invece si è misurata l'altezza delle piante al di sotto della soglia precedente, vale a dire di quelle che possono essere considerate rinnovazione. Successivamente i dati raccolti sono stati elaborati con il programma informatico "Excel" ottenendo per il soprassuolo valori come l'area basimetrica all'ettaro, la densità, l'area basimetrica media e il diametro medio, sia per specie che totali, mentre per la rinnovazione si sono ottenuti valori di densità e altezza media. In seguito tali valori sono stati incrociati con il programma statistico "Past" in modo cercare l'esistenza di correlazioni tra diverse variabili.

I risultati descrivono un popolamento con densità pari a 380 p/ha (di cui 247 p/ha di abete rosso e 90 p/ha di faggio) e area basimetrica di 61 m<sup>2</sup>/h (di cui circa 49 m<sup>2</sup>/ha di abete rosso e circa 5,4 m<sup>2</sup>/ha di faggio). La distribuzione dei diametri è coetanea nelle specie a conifera (abete rosso, abete bianco (*Abies alba* Mill.), larice (*Larix decidua* Mill.), mentre risulta disetanea nelle latifoglie (faggio, acero (*Aecr spp.*) eccetera). La rinnovazione, con densità totale pari a 533 p/ha (323 p/ha

di faggio e 41 p/ha di abete rosso) e altezza media pari a 72 cm (circa 222 cm per il faggio e 178 cm per l'abete rosso), è costituita principalmente da faggio e, più in generale da latifoglie. Le conifere sono presenti principalmente come rinnovazione già affermata, con bassi numeri di semenzali. In generale la frequenza delle altezze è maggiore nelle classi più piccole. Invece non si sono riscontrate correlazioni tra densità di rinnovazione e densità del soprassuolo, area basimetrica, altitudine o esposizione.

In conclusione si può affermare che il faggio si è insediato e in parte affermato nell'area di studio, assieme anche ad altre latifoglie. L'assenza di correlazioni con altre variabili porta a pensare che il faggio potrebbe occupare tutta la fascia vegetazionale, ma per confermarlo si renderebbero necessari altri studi legati alle condizioni microclimatiche della stazione, data l'eterogeneità del popolamento. Risulta comunque indispensabile prevedere un riassetto della gestione selvicolturale e della filiera in vista degli scenari futuri.

## ABSTRACT

In recent years, Alps mountainous slopes have been affected by changes resulting from the increase in temperatures due to climate change (IPCC report 2023); finding better conditions, tree species can grow at higher altitudes than the past, resulting in a change in composition at specified rates (F. Keller 2000).

This phenomenon could also be present in the woods between 1400 and 1700 m above sea level, where the populations affected by this change are often constituted by spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) and of secondary stand, derived from man-made artificial plants with the aim of favoring them to meet precise functions (N. Mietkiewicz, 2017), generally economic-productive.

Therefore, the aim of this study, using the Monte Tremalzo spruce populations, situated in Val di Ledro (TN), an example, is to monitor the presence of beech (*Fagus sylvatica* L.) or other hardwood species regeneration growing under a spruce dominance. In addition, the study is aimed to verify the existence of relationships that link the presence of natural renewal to some abiotic factors such as irradiation, altitude and orientation.

In order to achieve these results, 30 test areas were monitored, which were randomly selected over an area of 80 ha. These areas consist of a 12 m radius circle, within which the diameters of all the plants, above 17,5 cm mark, have been measured and an additional 6 m radius concentric circle, where, on the other hand, the height of the plants below the previous mark has been measured, that is to say those plants that can be considered regeneration. Subsequently, all collected data were processed with the computer program "Excel", obtaining for standing trees values such as basal area per hectare, density, average basal area and the average diameter, both by species and total. Instead, considering the regeneration, values like density and average height were obtained. These values were then cross-checked with the statistical program "Past" in order to look for the existence of correlations between different variables.

The results describe a density of 380 p/ha (which 247 p/ha of spruce and 90 p/ha of beech) and basal area of 61 m<sup>2</sup>/h (which 49 m<sup>2</sup>/ha of spruce and 5,4 m<sup>2</sup>/ha of beech). The distribution of the diameters is higher in the medium classes for the coniferous species (spruce, silver fir (*Abies alba* Mill., larch (*Larix decidua* Mill.), while it's higher in the lower classes for hardwood species (beech, maple (*Acer spp.*), etc.). The regeneration, with total density equal to 533 p/ha (323 p/ha of beech and 41 p/ha of spruce), and average height equal to 72 cm (222 cm for the beech and 178 cm for

the spruce) consists mainly of beech and, more generally, of hardwoods. The conifers are present mainly as already established renewal, with low numbers of seedlings. In general, the frequency of heights is higher in smaller classes. On the other hand, there was no correlation between renewal density and stand density, base area, altitude or orientation.

In conclusion it can be said that the beech has settled and partly established itself in the study area, together with other hardwood species. The absence of correlations with other variables leads to consider that the beech could occupy the whole stand forest, but more studies are required to confirm this hypothesis. These should be related to the microclimatic conditions of the station, considering the heterogeneity of the population. However, it is essential to proceed with a reorganization of the of forestry and selvicultural management and the supply chain in preparation for future scenarios.

## INDICE

1. INTRODUZIONE .....	7
2. MATERIALI E METODI .....	9
2.1. Descrizione dell'area di studio .....	9
2.1.1. Scelta delle aree di saggio .....	11
2.2. Rilievi in campo .....	11
2.2.1. Delimitazione delle aree .....	11
2.2.2. Rilievo del soprassuolo .....	12
2.2.3. Rilievo della rinnovazione .....	12
2.3. Elaborazione dei dati .....	13
2.3.1. Soprassuolo .....	13
2.3.2. Rinnovazione .....	14
2.3.3. Correlazioni tra vari fattori .....	14
3. RISULTATI .....	17
3.1. Soprassuolo .....	17
3.2. Rinnovazione .....	20
3.3. Correlazione con vari fattori .....	23
3.3.1. Densità del soprassuolo .....	23
3.3.2. Area basimetrica .....	24
3.3.3. Altitudine .....	24
3.3.4. Esposizione .....	24
4. CONCLUSIONI .....	25
5. RINGRAZIAMENTI .....	27
6. BIBLIOGRAFIA .....	28

# 1. INTRODUZIONE

Nell'ultimo mezzo secolo si è assistito a un generale aumento delle temperature a causa dei cambiamenti climatici (IPCC report 2023), che hanno portato a variazioni in fenomeni naturali da tempo studiati e osservati dalle varie scienze.

Nel campo della selvicoltura il clima esercita il controllo dominante sulla distribuzione dei principali tipi di vegetazione (G. Bernetti, 2007). Infatti l'espressione più diretta dei rapporti fra la vegetazione forestale ed il clima è costituita dalle fasce di vegetazione (G. Pignatti, 2011): pertanto in Italia si può assistere a un passaggio graduale dai boschi sempreverdi mediterranei, alle formazioni di caducifoglie di climi temperati fino ad arrivare alle foreste di conifere. Invece per quanto riguardano le variazioni altitudinali, considerando un gradiente termico verticale di mezzo grado ogni 100 m di quota circa (G. Pignatti, 2011, E. Valentini, 2021), si può intuire che variazioni, anche minime, delle temperature medie, possano portare ad un innalzamento delle fasce vegetazionali lungo i versanti.

Questo fenomeno è già presente e verificabile lungo il limite superiore del bosco (tree line), in cui temperature più calde hanno portato a migliori condizioni vegetative per cui le specie arboree hanno cominciato a insediarsi anche a quote più elevate, innalzando il predetto limite. Un esempio di ciò è già osservabile in altre regioni alpine come la Svizzera, in cui è stato dimostrato che specie che esigono temperature più basse, lasciano il posto a quelle che esigono temperature più alte (Keller F., 2000). È stato inoltre dimostrato che la copertura arborea si è innalzata lungo i versanti montuosi sotto tutti gli aspetti, anche se bisogna considerare che questi cambiamenti sono anche dovuti al cambiamento dell'uso del suolo da parte dell'uomo (N. Mietkiewicz, 2017).

Oltre a ciò si è osservato che certe dinamiche naturali avvengono anche in altri contesti in cui vi è una maggiore influenza antropica. Infatti, a causa dell'abbandono o perdita di interesse di interventi e impianti da cui si sono ottenuti popolamenti secondari, si è riscontrato una tendenza al ritorno ai popolamenti originari e più naturali. Per esempio a seguito del trattamento con tagli a buche in impianti di Pino laricio (*Pinus nigra laricio* (Poir.) Maire) negli Appennini, si è assistito a una diffusione di rinnovazione di abete bianco (*Abies alba* Mill.) (OI Gugliotta, 2006). Una dinamica simile può anche venire in formazioni quali i castagneti, in cui la diminuzione della pressione antropica ha innescato una serie di processi evolutivi verso il ritorno delle componenti originarie e naturali del bosco. In uno studio effettuato nel Parco Naturale Alta Valle Pesio e Tanaro (Cuneo, Piemonte) è stato osservato che i polloni di castagno (*Castanea sativa* Mill.) sono destinati ad invecchiare a scapito di altre specie come abete bianco e faggio (M. Pividori, 2006).



Considerando tutti gli aspetti di cui sopra, lo scopo di questo studio è quello di verificare la presenza di rinnovazione di faggio (*Fagus sylvatica* L.) in peccete secondarie situate lungo i versanti nord del Monte Tremalzo (Ledro, TN). Inoltre si verificherà se la rinnovazione, qualora presente, possa essere favorita da alcuni fattori abiotici quali altitudine, disponibilità di luce e esposizione.

## 2. MATERIALI E METODI

### 2.1. DESCRIZIONE DELL'AREA DI STUDIO

Per il presente studio si è scelto di analizzare la situazione del soprassuolo e della rinnovazione naturale presente in 30 aree di saggio estratte casualmente all'interno di una più ampia area di studio.

Quest'ultima area è stata scelta a seguito della consultazione del Piano di Gestione Forestale Aziendale, e cartografia allegata, del comune di Tiarno di Sotto, disponibile su richiesta presentata al Servizio Foreste della Provincia Autonoma di Trento. Si è individuata una zona di circa 80 ha, posta sul versante nord del Monte Tremalzo (CC Tiarno di Sotto, Ledro, TN) in località "Frattono". In particolare l'area comprende le particelle forestali n. 62, 63, 65 e parte della 66.

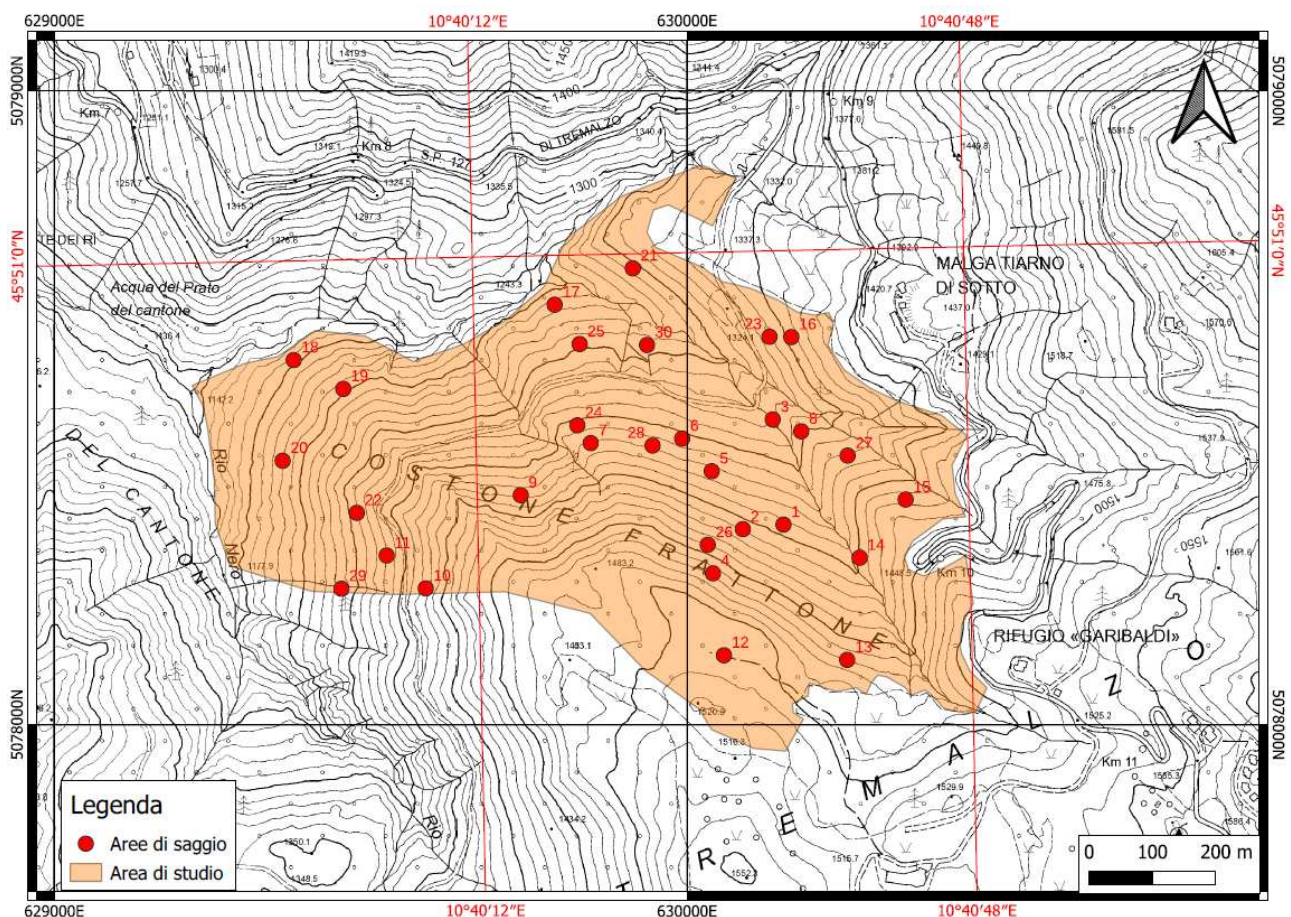


Figura 1: cartografia dell'area di studio su CTP 2017

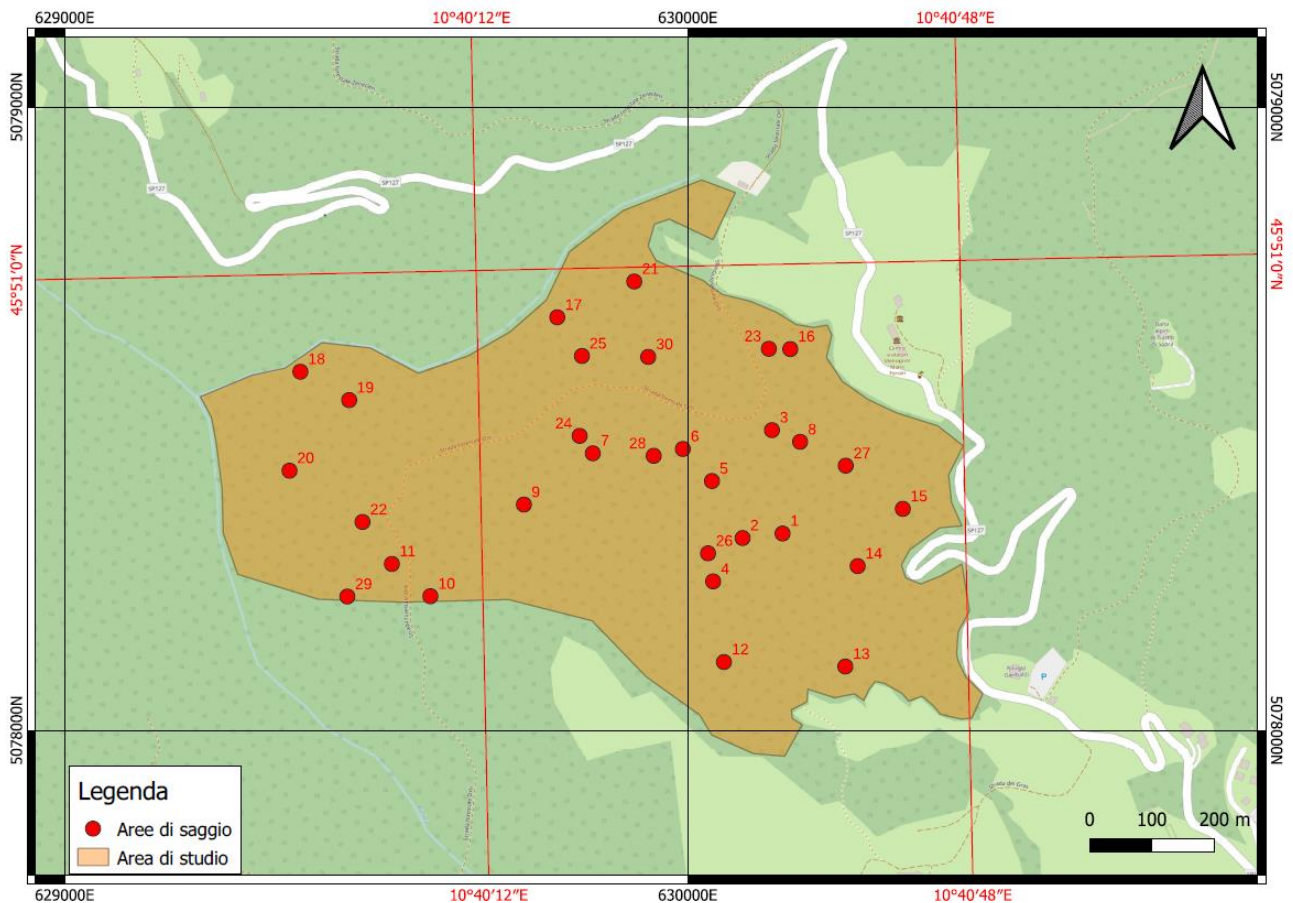


Figura 2: cartografia dell'area di studio

Dal punto di vista fitoclimatico, il versante nord del Monte Tremalzo ha caratteristiche mesalpine (evidenziate dalle minori temperature e lunghezza del periodo vegetativo rispetto alle altre condizioni presenti nella Val di Ledro, più esalpine). Le precipitazioni sono di circa 1250 mm/anno, distribuiti con un andamento pluviometrico di tipo sub-equinoziale, con picchi di precipitazioni primaverili-autunnali (picco massimo a novembre). Le temperature medie riferite a 1500 m s.l.m. sono pari a 4°C, mentre la lunghezza del periodo vegetativo (si prendono in considerazione giorni con temperature medie superiori ai 7°C) è di circa 140 g (E. Valentini, 2021).

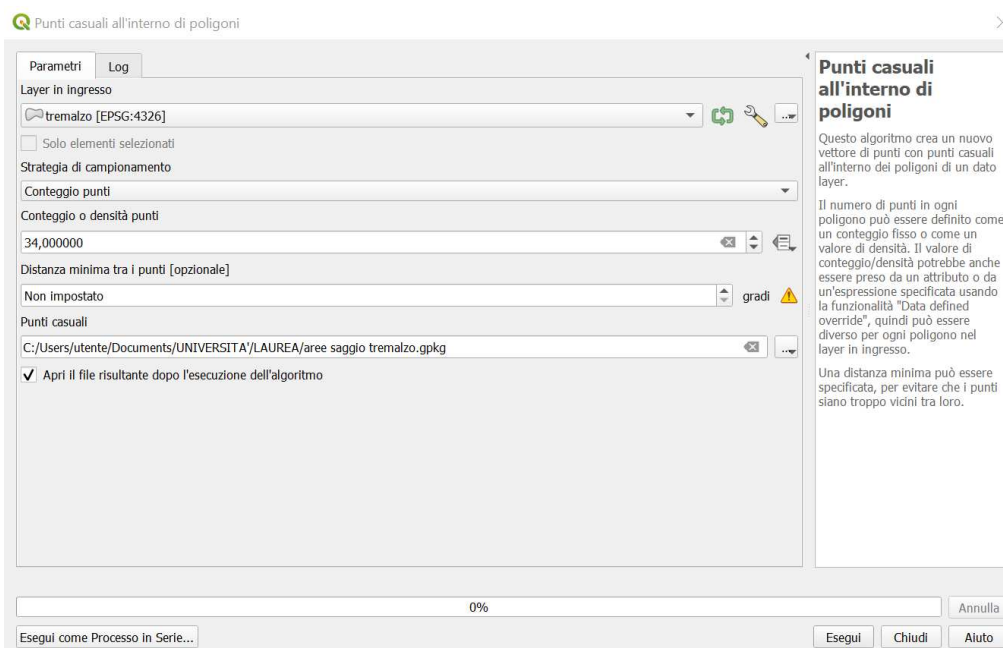
L'altitudine varia dai 1200 m ai 1500 m s.l.m.. Le pendenze variano dal medio all'elevato mentre la morfologia è spesso accidentale, con affioramenti rocciosi e pietrosità sparse sulla superficie. L'esposizione, prevalentemente nord, può variare localmente a causa della presenza di valli e valletti come quella del Rio Nero nel confine ovest e di altri torrenti secondari a Sud e Est.

La zona lungo il confine sud-est è interessata da pascoli delle malghe "Tremalzo-Tiarno di Sotto" e "Tremalzo di Bezzecca". Inoltre lungo il centro della zona di studio passa la strada forestale camionabile di tipo A "Orti", la cui presenza ha favorito vari interventi di tagli a buche nella parte

ovest e la creazione di una linea di esbosco per teleferica nella zona Est. Data l'eccessiva influenza antropica, queste ultime zone sono state escluse dall'ara di studio.

### 2.1.1. SCELTA DELLE AREE DI SAGGIO

Per la scelta delle aree di saggio si è utilizzato il programma informatico QGIS, che, grazie all'apposito strumento di processing "punti casuali all'interno di poligoni", consente di estrarre le zone nel numero designato all'interno di un poligono vettoriale precedentemente creato rappresentante l'area di studio.



*Figura 3:  
finestra su QGIS  
per impostare la  
scelta casuale  
delle aree d  
saggio*

È buona norma prevedere più aree di quelle strettamente necessarie dato che potrebbe risultare che alcune non siano, nella pratica, fisicamente raggiungibili e dunque è meglio averne di più da utilizzare in sostituzione come riserve.

## 2.2. RILIEVI IN CAMPO

### 2.2.1 DELIMITAZIONE DELLE AREE DI SAGGIO

Per quanto riguarda i rilievi in campo, per raggiungere le aree si è utilizzata l'app "Qfield", vale a dire un programma che consente di leggere i files di QGIS sul telefono: è bastato quindi visualizzare le aree di saggio sul dispositivo mobile e orientarsi con la posizione GPS, anch'essa mostrata sullo



schermo. Una volta giunti su un punto campionato, la prima operazione è stata quella di delimitare l'area di saggio, le quali hanno forma circolare con un raggio pari a 12 m.

Dunque la superficie topografica risulta essere di 452,16 m<sup>2</sup>. Le distanze sono state misurate rispetto al centro dell'area, utilizzando distanziometri elettronici o cordella metrica. Per operare lungo la massima pendenza è stato necessario utilizzare il metodo delle coltellazioni, in modo da ottenere direttamente la distanza topografica e non quella

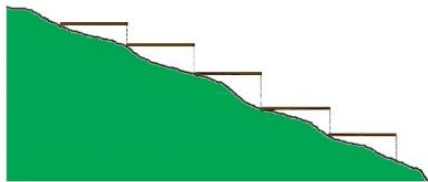


Figura 6: rappresentazione grafica del metodo delle coltellazioni

reale.

Dopo aver misurato le precedenti lunghezze, l'area è stata delimitata da picchetti. Prima di procedere con le misure è stata controllata la distanza

di eventuali piante poste lungo il confine dell'area.

Infine si è utilizzata l'app "Oruxmaps" per prendere la posizione GPS del centro dell'area e, soprattutto, dell'altitudine.

Figura 4-5: utilizzo del distanziometro per misurare il raggio dell'area di saggio



Figura 7: picchetto che delimita l'area di saggio

### 2.2.2 RILIEVI DEL SOPRASSUOLO

Dunque si è passati al rilievo vero e proprio: per quanto riguarda le caratteristiche del soprassuolo si sono misurati tutti i diametri delle piante presenti con una soglia di cavallettamento pari a 17,5. Per far ciò si è utilizzato uno strumento detto cavalletto dendrometrico, che consiste in due bracci di cui uno libero di scorrere su una scala graduata. Tutte le misure sono state prese sul tronco a un'altezza di 1,30 m (petto d'uomo).

### 2.2.3. RILIEVI DELLA RINNOVAZIONE

Invece per quanto riguarda la rinnovazione, vale a dire tutto il materiale con diametro minore della precedente soglia, è stata misurata l'altezza con cordella metrica. Essa veniva misurata dalla base

della piantina fino alla gemma del ramo più lungo. Sono state incluse anche piantine comparse al colletto delle ceppaie, che hanno buone probabilità di diventare polloni affermati. Per le piante più alte si è utilizzato un apposito strumento detto ipsometro, in questo caso di tipo Blume-Leiss; quando si punta la cima o la base di una pianta tramite l'apposito oculare, si premono i pulsanti che sganciano i pendoli a coltello, i quali a questo punto sono liberi di muoversi lungo una scala graduata. Per utilizzare lo strumento bisogna porsi a distanze prefissate, cioè distanze a cui sono riferite le scale graduate dello strumento (es. 15-20 m).



Figura 8-9-10: vari metodi di rilievo della rinnovazione, prima con cordella metrica, poi con ipsometro

## 2.3. ELABORAZIONE DEI DATI

### 2.3.1. SOPRASSUOLO

In seguito tutti i dati raccolti sono stati elaborati tramite il programma "Excel". Si è prima creato un file riguardante il soprassuolo, in cui per ogni area si è calcolata la densità all'ettaro, l'area basimetrica all'ettaro, l'area basimetrica media e il diametro medio con le seguenti formule:

$$d = \frac{N \cdot 10000}{S}$$

$$G/ha = \sum \frac{(n \cdot g) \cdot 10000}{S}$$

$$g_{medio} = \frac{G/ha}{d}$$

$$D_{medio} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi}{g_{medio}}}$$

Dove  $d$  è la densità (p/ha),  $N$  è il numero di piante totali nell'area,  $S$  è la superficie dell'area (pari a circa 452,39 m<sup>2</sup>),  $G/ha$  è l'area basimetrica (m<sup>2</sup>),  $n$  è il numero di piante per classe diametrica,  $g$  è l'area basimetrica unitaria per classe diametrica (m<sup>2</sup>),  $g_{medio}$  è l'area basimetrica media (m<sup>2</sup>) e  $D_{medio}$  è il diametro medio (cm).

Inoltre si è calcolata la densità all'ettaro per classi diametriche. Infine è stata calcolata la densità totale e l'area basimetrica totale facendo le medie dei valori delle singole aree. Questa procedura è stata svolta considerando sia ciascuna specie, sia l'intero popolamento.

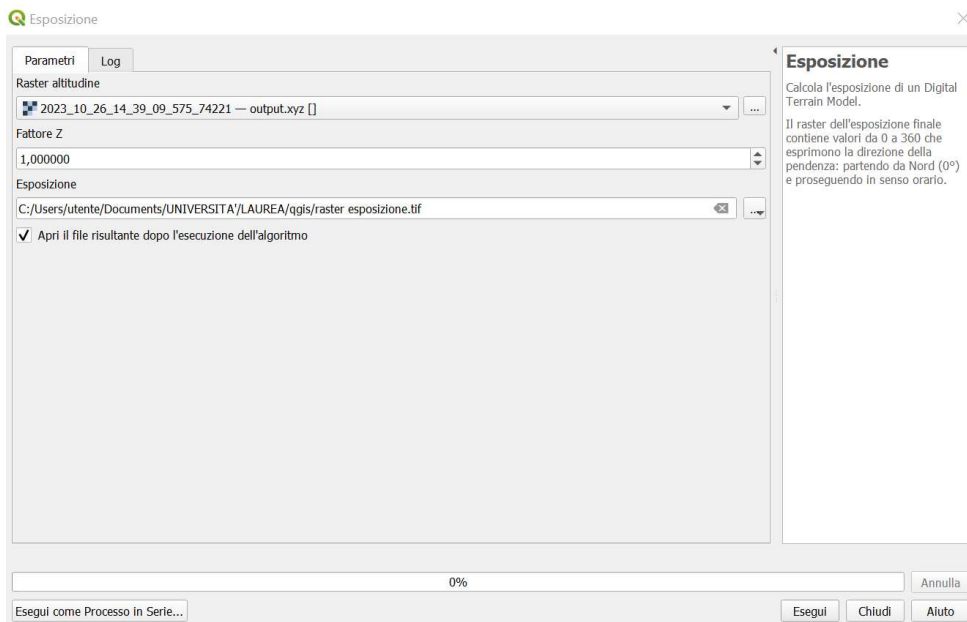
### 2.3.2. RINNOVAZIONE

Dopodiché si è creato un file con i dati riguardanti la rinnovazione in cui è stata calcolata per ogni area la densità all'ettaro, la media delle altezze e la frequenza per classi di altezze e sono state computate la media totale dell'altezza e la densità media totale con le formule viste in precedenza. Anche in questo caso la procedura è stata svolta per tutte le specie e per l'intero popolamento.

### 2.3.3. CORRELAZIONI CON VARI FATTORI

Ora, dato che il parametro "quantità di luce" non è stata misurata in via diretta, si è scelto di quantificarla indirettamente e utilizzare al suo posto i valori relativi alla densità del soprassuolo (vale a dire il numero di chiome che intercetta la luce) e l'area basimetrica, dato che la quantità e dimensione di aghi è proporzionale all'area di alburno che le alimenta. Quest'ultima relazione è lineare ed è indicata con la dicitura  $A_L:A_S$  (R. Lehnebach, 2018).

Invece l'esposizione è stata ricavata grazie allo strumento di processing di QGIS "esposizione", il quale consente, mettendo come input un raster (in questo caso il DTM 2015 scaricabile dal portale pubblico <https://siat.provincia.tn.it/stem/>), di ottenerne un altro elaborato come segue.



*Figura 11: finestra su QGIS per elaborare un raster dell'esposizione*

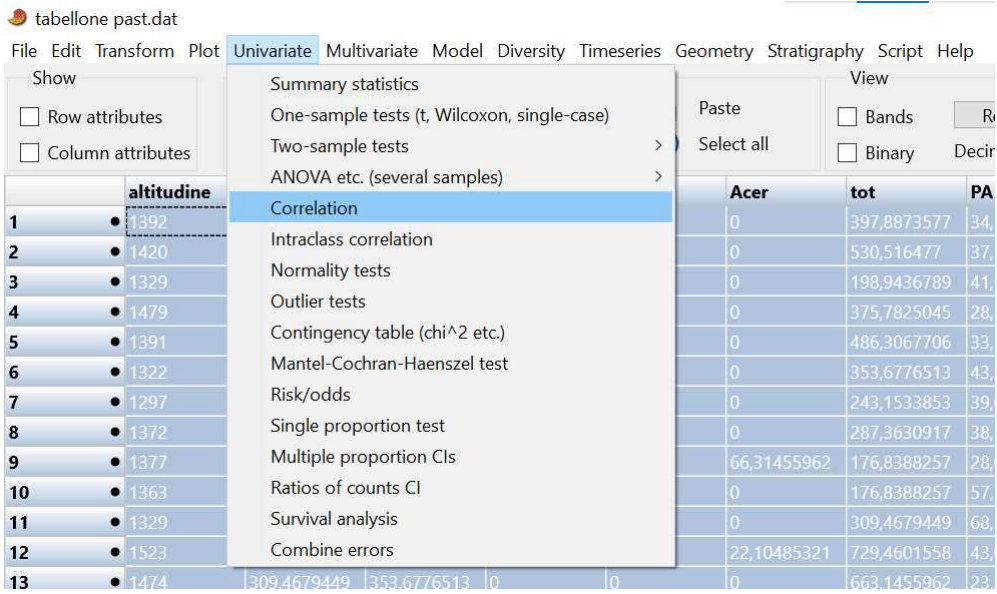
Ogni pixel è caratterizzato da un valore di esposizione da 0 a 360, attribuito seguendo il senso antiorario considerando il Nord come 0. Si sono poi presi i valori degli angoli di esposizione dei pixel corrispondenti al centro delle aree di saggio e si è attribuita una classe (1, 2, 3, 4, 5, 6, corrispondenti relativamente a sud, sud-ovest, ovest, nord-ovest, nord e nord-est. Non sono presenti aree con esposizione est o sud-est).

A seguito delle precedenti fasi, si è scelto di rimuovere l'area 23, in quanto l'eccessivo numero di individui di rinnovazione hanno ripetutamente mostrato questa zona come outlier durante gli studi di correlazione di Pearson.

Successivamente si è creata una tabella riassuntiva totale, a doppia entrata, in cui per ogni area si riportavano i valori riguardanti il soprassuolo e la rinnovazione, totali e per specie, l'altitudine e l'esposizione. Questa è servita poi come base per i calcoli delle correlazioni sul software statistico "Past".

Infine tutti i dati sono stati successivamente raccolti e riassunti con grafici e tabelle.





*Figura 12: procedura per creare una tabella con i risultati della correlazione lineare di Pearson sul software "Past"*

### 3. RISULTATI E DISCUSSIONE

#### 3.1. SOPRASSUOLO

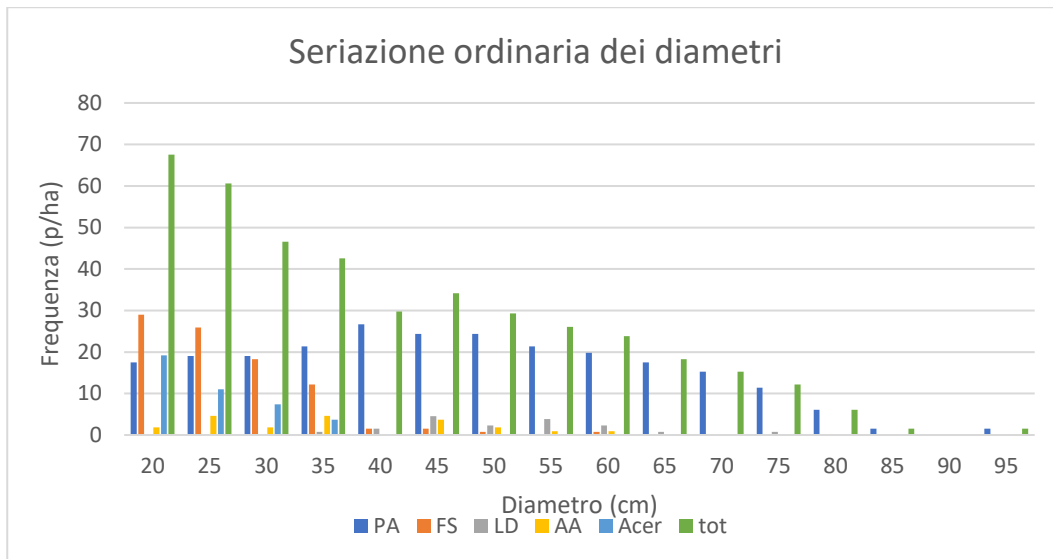
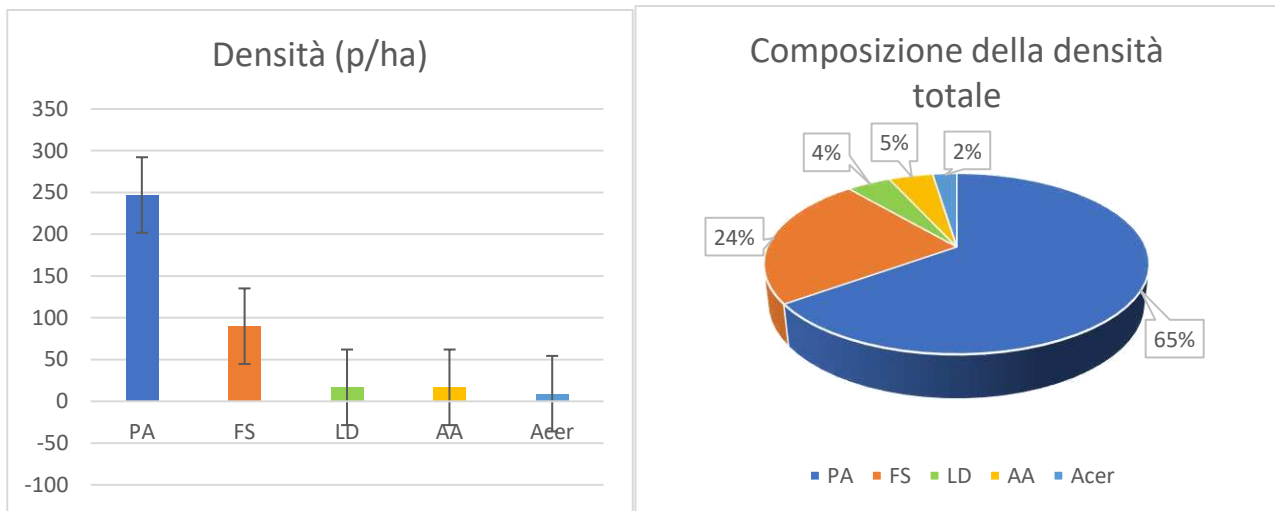


Figura 13: seriazione ordinaria dei diametri, totale e per specie, del soprassuolo

Dalla distribuzione dei diametri si evidenzia come l'abete rosso restituisce una curva a campana tipica dei popolamenti coetanei. Anche larice e abete bianco dimostrano avere una struttura simile, seppure a frequenze minori. Inoltre le classi più rappresentate hanno diametri maggiori rispetto alle latifoglie. Questo dimostra che queste specie hanno caratterizzato la struttura del popolamento negli ultimi anni, con situazioni poco movimentate in altezza, tendenti al monoplano, e con diametri pressoché simili. Tutto ciò accentua il fatto che il popolamento è di origine secondaria, dove presumibilmente gli abeti rossi derivano da impianti e i larici dall'utilizzo su ex pascoli.

A contrario le specie a foglia larga hanno una distribuzione tendente al disetaneo, con molti individui presenti nelle classi minori: questo dimostra come queste siano specie introdotte solo di recente, con piante giovani che stanno ancora affrontando i processi di competizione che porteranno allo sviluppo del popolamento (R. Mercurio, 2010).



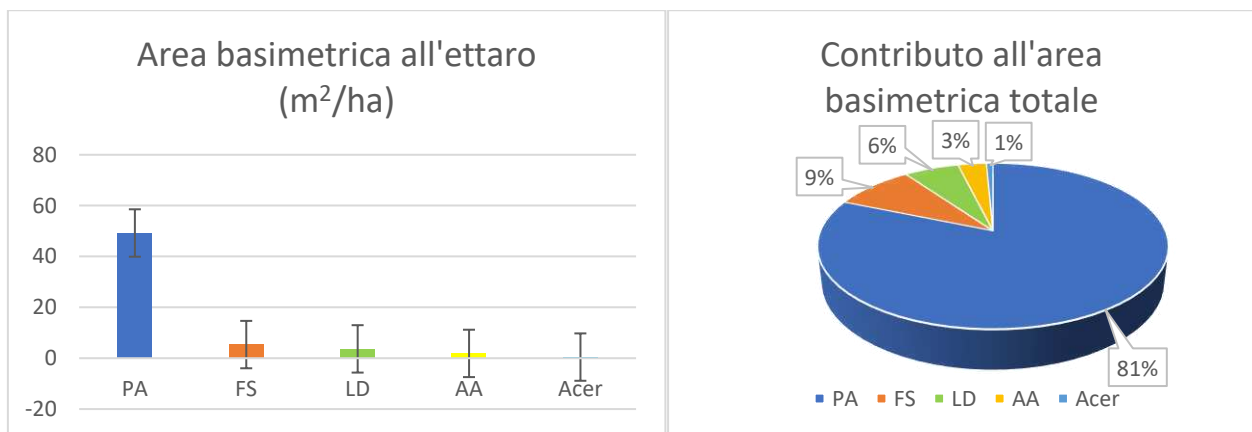
	PA	FS	LD	AA	Acer	Totale
n/ha	247	90	17	17	9	380
dev.st	102	116	35	64	21	145
intervallo%	15,42	48,18	77,44	142,08	85,33	53,99

Figura 14-15: densità per specie e composizione della densità.

Tabella 1: sintesi dei valori di densità.

La densità totale è circa pari a 380 p/ha. La deviazione standard è di 144 p/ha, che porta a un intervallo di confidenza percentuale di circa 14 %.

Come prevedibile, l'abete rosso è la specie più diffusa, costituendo il 65% della densità totale con 247 p/ha. Seguono faggio (90 p/ha, 24% del totale), abete bianco e larice (17 p/ha, circa 4%), e acero (9 p/ha, 2%). Gli errori sono elevati nelle specie meno rappresentate, buoni invece i valori per l'abete rosso.



	PA	FS	LD	AA	Acer	Totale
G/ha	49,24	5,36	3,66	1,89	0,44	60,58
dev.st	20,03	7,28	7,57	7,79	1,00	16,21
intervallo%	15,19	50,73	77,12	154,10	85,16	9,99
g medio	0,22	0,05	0,06	0,01	0,01	0,16
d medio	52	21	15	4	5	45

Figura 16-17: area basimetrica per specie e contributo all'area basimetrica

Tabella 2: sintesi dei valori di area basimetrica.

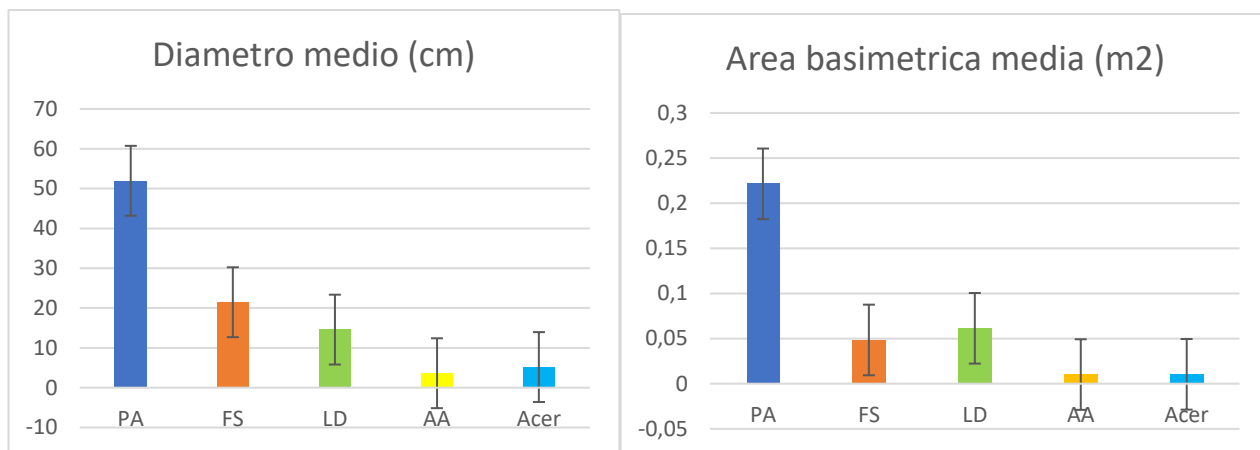


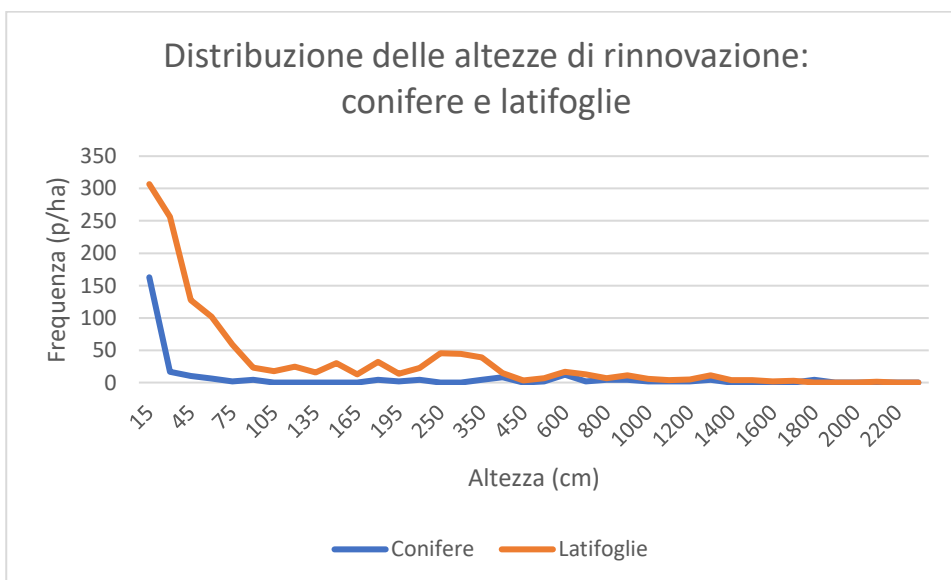
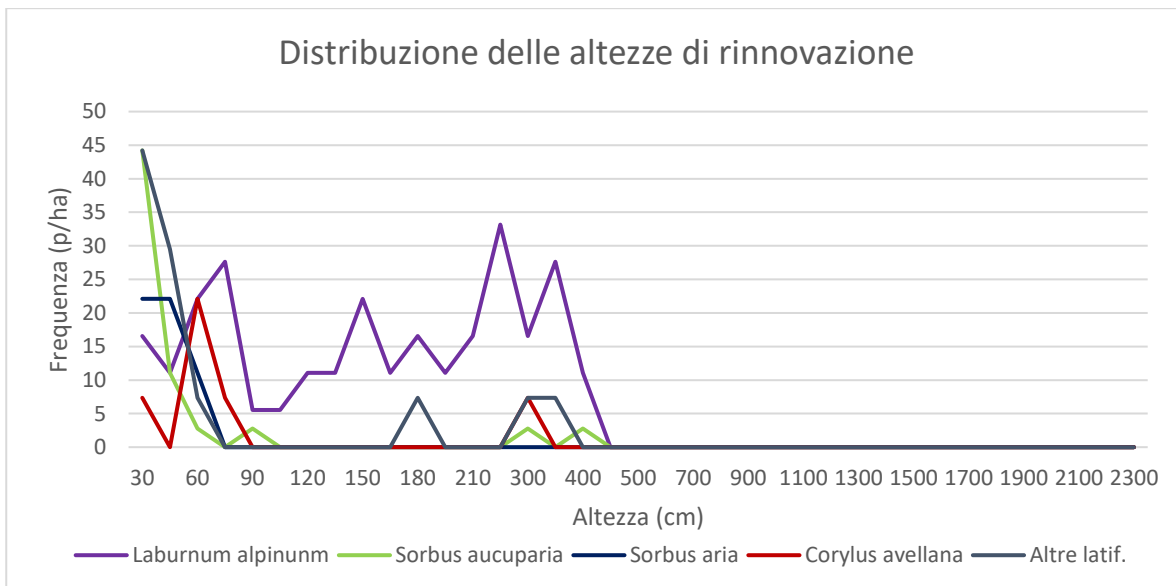
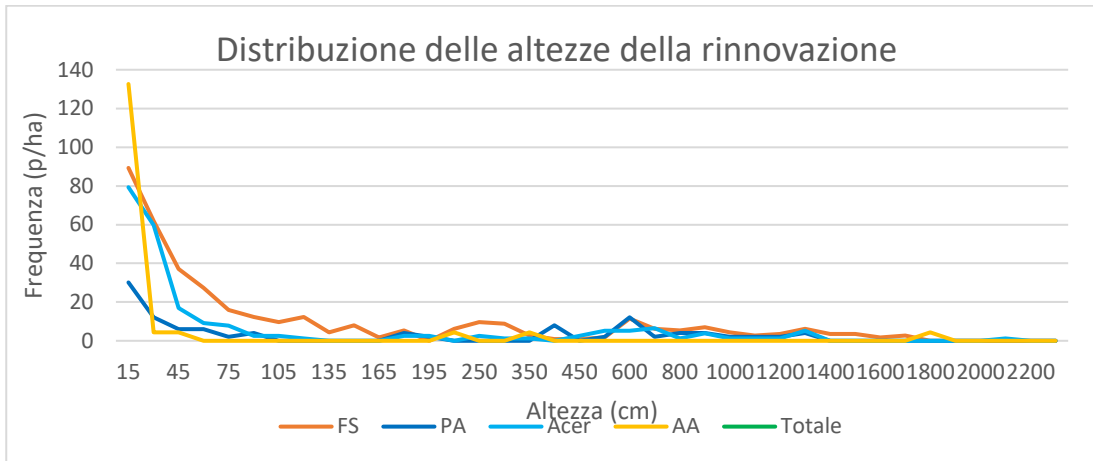
Figura 18-19: area basimetrica media e diametro medio per specie

Per quanto riguarda l'area basimetrica, i valori medi di popolamento sono di circa 61 m<sup>2</sup>/ha, con una deviazione standard di circa 16 m<sup>2</sup>/ha che portano ad un intervallo di confidenza del 10%. L'area basimetrica media risulta essere di circa 0,16 m<sup>2</sup>, mentre il diametro medio di circa 45 cm.

Anche in questo caso, la specie che influenza di più i valori totali è l'abete rosso (circa 49 m<sup>2</sup>/ha, 81% del totale). Seguono faggio (circa 5,4 m<sup>2</sup>/ha, 9% del totale) larice (circa 3,7 m<sup>2</sup>, 6% del totale), abete bianco (1,9 m<sup>2</sup>/ha, 3%) e acero (0,4 m<sup>2</sup>/ha, 1%). È interessante notare come la percentuale di presenza di abete rosso è aumentata rispetto alla percentuale della densità. Questo perché, come si può osservare dalle formule del capitolo precedente, l'area basimetrica totale dipende dall'area basimetrica unitaria, il quale è un valore che aumenta esponenzialmente all'aumentare della classe diametrica, dato che rappresenta una superficie.

Anche con questi valori, gli errori sono stati maggiori nelle specie meno rappresentate, mentre sono più contenuti per quanto riguarda l'abete rosso. Ulteriore fonte di errore può essere derivata, oltre che dall'errore umano, anche dall'eterogeneità della composizione delle aree di saggio.

### 3.2. RINNOVAZIONE

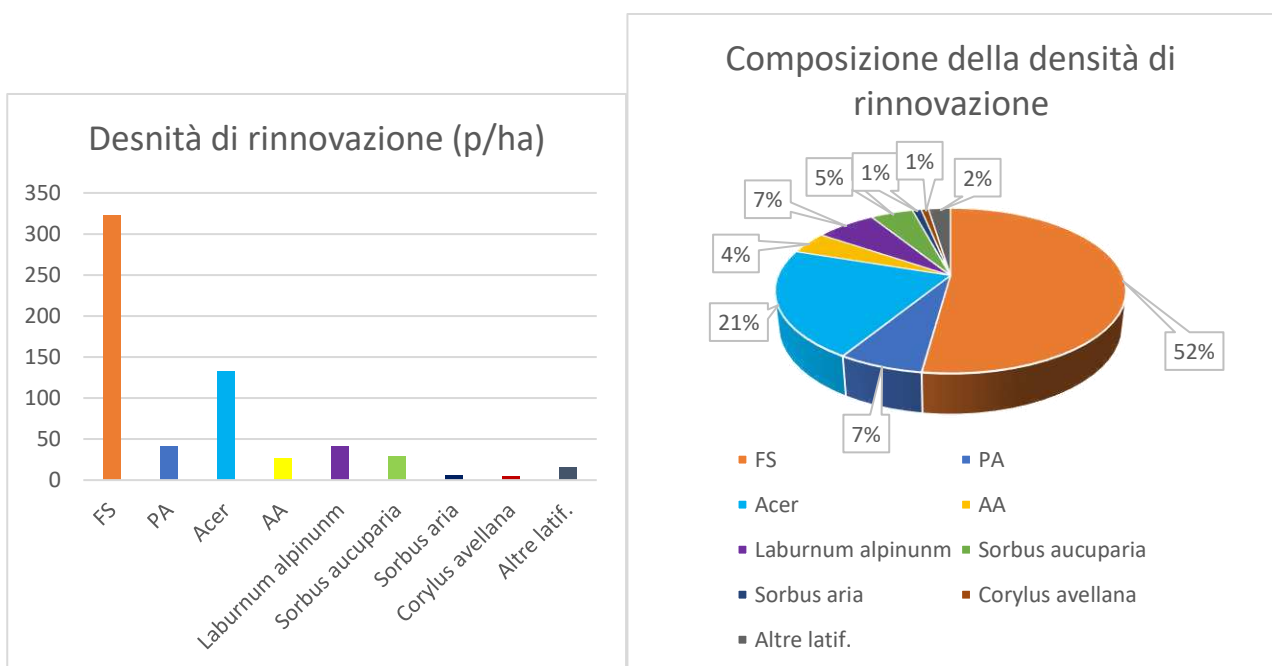


*Figura 20-21-22: distribuzione delle frequenze per classi di altezza della rinnovazione, per specie, conifere e latifoglie e totale*

In tutte le specie si può osservare come vi è un maggior numero di piante basse rispetto a piante alte: questo fenomeno è prevedibile, dato che, con l'aumentare dell'età, i tanti individui germinati entrano in una forte fase di competizione, soprattutto per la luce. Dunque la mortalità aumenta e il numero di individui cala velocemente (R. Mercurio, 2010).

Si evidenzia inoltre il maggior numero di individui di specie di latifoglie rispetto alle conifere, le quali risultano essere in fase di regressione.

Faggio e acero risultano essere le specie che si rinnovano di più, mantenendo discrete frequenze anche in varie classi di altezza.



*Figura 23-24-25: densità di rinnovazione per specie e composizione della densità di rinnovazione, per specie e per conifere-latifoglie*

	FS	PA	Acer	AA	Conifere	Latifoglie	Totale
n/ha	323	41	132	27	68	551	631
dev.st	314	92	185	119	144	499	533
intervallo%	36,26	83,5	52,28	166,28	79,38	33,81	31,54

Laburnum alpinum	Sorbus aucuparia	Sorbus aria	Corylus avellana	Altre latif.
41	29	6	5	15
140	61	26	15	63
126,91	78,82	157,26	121,83	154,57

Tabella 3-4: sintesi dei valori di densità di rinnovazione

Le medie riguardanti la densità totale della rinnovazione risultano essere di 631 p/ha, con una deviazione standard di 533 p/ha, la quale ha portato a un intervallo di confidenza percentuale di circa il 32%.

Le specie più presenti risultano essere faggio (circa 323 p/ha, che rappresentano circa il 52% del totale) e acero (238 p/ha, 21%). L'abete rosso è poco presente (41 p/ha, 7%).

È interessante notare come in un contesto globale, le conifere siano poco presenti nella rinnovazione (solo il 11%), che invece è costituita quasi totalmente da specie a foglia larga (89%).

Gli intervalli di confidenza sono ampi. C'è però da considerare che essi sono maggiori tra le specie meno rappresentate. Inoltre gioca un ruolo fondamentale l'eterogeneità delle aree, in cui si alternano zone con scarsa o nulla rinnovazione (es. area 1 e area 5) a zone con alti conteggi (es. area 10).

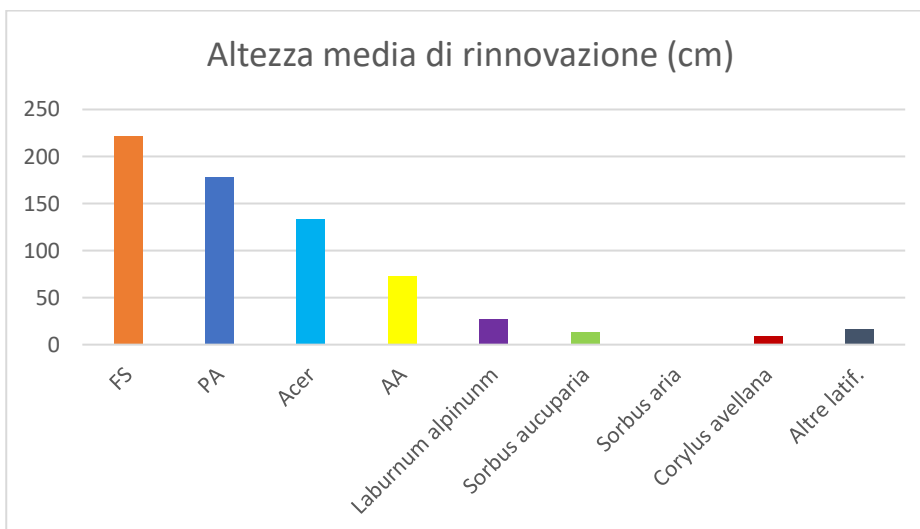


Figura 26: altezza media di rinnovazione per specie.

Tabella 5: sintesi dei valori di altezza media di rinnovazione

	FS	PA	Acer	AA	Laburnum alpinum	Sorbus aucuparia	Sorbus aria	Corylus avellana	Altre latif.	Conif.	Latif.	Tot.
media h	222	178	133	73	27	13	1	9	16	252	421	72
dev.st	259	341	299	330	73	44	6	33	58	467	403	61
Intervallo %	43,46	71,54	83,85	169,29	98,96	127,97	171,83	139,62	139,83	69,21	35,79	31,58

L'altezza media totale risulta essere di circa 72 cm, con una deviazione standard di 61 cm e un intervallo di confidenza percentuale pari al 31,58%.

Le specie con l'altezza media maggiore risulta essere faggio (circa 222 cm), abete rosso (178 cm) e acero (133 cm).

Altro dato interessante è quello delle medie delle altezze delle conifere, che è rappresentata da un valore abbastanza alto con un intervallo relativamente ridotto: considerando anche le medie di densità precedenti, si osserva che la rinnovazione di conifere è costituita da pochi individui già affermati, mentre la quella delle latifoglie ha ormai occupato il sottobosco.

Anche in questo caso gli intervalli sono ampi, ma anche qui bisogna considerare, osservando anche le distribuzioni di frequenza, che il popolamento è costituito da elevati numeri di piante piccole e pochi numeri di piante alte: ciò ha causato una notevole deviazione standard, che ha aumentato l'intervallo di confidenza. Inoltre gioca un ruolo fondamentale, tra delle specie meno rappresentate, il basso numero di individui campionati.

### 3.3. CORRELAZIONE TRA VARI FATTORI

#### 3.3.1. DENSITÀ DEL SOPRASSUOLO

N/ha	PA	FS	Acer	Latif.	Conifere	Tot.
PA	-0,041473	-0,18434	-0,16388	-0,24765	0,18587	-0,17238
FS	0,15728	0,18724	-0,33877	-0,10394	0,011415	-0,09215
Acer	-0,15734	-0,14221	0,16468	-0,09199	0,26309	-0,00634
tot	0,0033856	-0,10674	-0,44044	-0,40134	0,10738	-0,33698

*Tabella 6: sintesi dei valori di correlazione tra densità del soprassuolo e di rinnovazione*

Come prima operazione si è svolta una correlazione di Pearson tra alcuni valori di densità di rinnovazione e quelli di densità del soprassuolo. Come si può notare i valori di r di sono piuttosto bassi o non significativi, pertanto non esiste una correlazione tra i due fattori. Interessante notare anche come i valori di r relativi alla rinnovazione di faggio e acero non sono legati alla densità di piante del soprassuolo delle stesse specie. Stessa cosa vale anche per l'abete rosso.



### 3.3.2. AREA BASIMETRICA

G/ha	PA	FS	Acer	Latif.	Conifere	Tot.
PA	-0,23688	-0,15577	0,13764	-0,0663	0,013207	-0,00757
FS	0,20094	0,23925	-0,31304	0,026905	-0,05781	-0,04514
Acer	-0,14147	-0,10526	0,15715	0,2831	-0,07022	0,019625
tot	-0,32012	-0,2942	-0,12118	-0,13268	-0,2647	-0,28275

*Tabella 7: sintesi dei valori di correlazione tra area basimetrica del soprassuolo e densità di rinnovazione*

Anche per quanto riguarda la correlazione tra la densità di rinnovazione e l'area basimetrica del soprassuolo non si evidenziano valori di  $r$  significativi, pertanto non esiste una correlazione tra le due variabili. Ciò vale anche se si considerano i dati delle singole specie, anche se rapportate alle stesse corrispondenti del soprassuolo.

### 3.3.3. ALTITUDINE

	PA	FS	Acer	Latif.	Conifere	Tot.
Altitudine	-0,18327	-0,05518	-0,33952	-0,28363	-0,19076	-0,25968

*Tabella 8: sintesi dei valori di correlazione tra altitudine e densità di rinnovazione*

Considerando l'altitudine ci si aspetterebbe una correlazione negativa per cui maggiore è l'altitudine, minore è la densità di rinnovazione. Invece neppure in questo caso si sono evidenziate correlazioni, pertanto si rigetta la precedente ipotesi.

### 3.3.4. ESPOSIZIONE

	PA	FS	Acer	Conifere	Latifoglie	tot.
esposizione	-0,02581	-0,1844	-0,33635	0,048069	-0,42178	-0,3734

*Tabella 9: sintesi dei valori di correlazione tra esposizione e densità di rinnovazione*

Nemmeno osservando l'esposizione si possono vedere correlazioni con la densità di rinnovazione.

Va comunque detto che la maggior parte delle aree avevano esposizione verso nord, vale a dire come il versante del monte. Quindi i valori osservati hanno carattere indicativo, e non sono di per sé sufficienti a escludere totalmente una possibile correlazione, anche se rimane improbabile.

## CONCLUSIONI

Dal presente studio si può dimostrare come il faggio si stia man mano sempre di più insediando all'interno delle peccete secondarie. Ciò è evidenziato dal buon numero di piantine all'ettaro, che costituiscono più della metà della rinnovazione totale. Questo si può osservare anche dalla distribuzione delle altezze, che evidenziano come questa specie sia presente prima con una buona quantità di semenzali e successivamente con un discreto numero di individui alti, ben affermati e di futuro. Anche dalla seriazione dei diametri si può vedere che essa è presente con un buon numero di individui nelle classi più basse e indicativamente più giovani: questo è importante perché dimostra come il faggio non solo si sia insediato, ma sta man mano diventando parte del soprassuolo creando copertura.

Inoltre questa tendenza è presente anche negli aceri, ma con numeri di densità e altezze minori.

Oltre a ciò si evidenzia una regressione della rinnovazione delle conifere, che costituiscono circa 1/10 del totale, con numeri di densità bassi e altezze medie alte, segno che sono presenti perlopiù individui già affermati mentre risultano scarsi i semenzali.

Dopodichè si deve considerare che la rinnovazione di faggio, ma anche quella delle altre latifoglie, non risulta influenzata da fattori esterni. Infatti, a contrario di quanto ci si aspetterebbe, non si registrano correlazioni negative con densità del soprassuolo o area basimetrica. Questo non si è verificato nemmeno per l'altitudine, il che potrebbe significare che il faggio potrebbe già essere in grado di insediarsi nell'intero versante. Bisogna però considerare che questi boschi hanno caratteristiche di eterogeneità (come si osserva dalle ampie deviazioni standard dei risultati) che possono rendere difficoltoso lo studio della rinnovazione legata a variabili generali. Inoltre, non disponendo di un numero sufficiente di aree per gruppo, è stato possibile ottenere solamente dati indicativi riguardo a correlazioni con l'esposizione. Dunque si renderà necessario proseguire con altri studi, anche interdisciplinari, legati ad altri fattori, concentrandosi in particolare sulle situazioni microclimatiche della stazione.

In conclusione il faggio e altre latifoglie stanno prendendo piede nelle foreste di abete rosso di origine secondaria, il che porta a riflettere sulla validità dell'attuale gestione boschiva, impostata ancora con trattamenti di diradamenti e tagli successivi di fustaie coetanee per l'ottenimento di legname da opera o da imballaggio. Infatti con l'avvento del faggio cambieranno non solo le

caratteristiche dei boschi, ma anche la quantità e il tipo di prodotto ottenibile, rendendo necessario una riorganizzazione e adeguamento della filiera alle condizioni future.

## RINGRAZIAMENTI

In queste ultime righe, voglio ringraziare tutte le persone che hanno contribuito alla stesura di questo elaborato. Innanzitutto desidero ringraziare il Comune di Ledro, in particolare il suo corpo di Custodia Forestale Comunale, il cui personale è stato di grande supporto tecnico-logistico oltre che morale. Un grazie va anche ai forestali del CFT della Stazione di Ledro, i quali mi hanno messo a disposizione i piani di gestione e le cartografie necessarie per l'inquadramento e il successivo studio. Ringrazio di cuore la mia famiglia, in particolare mio padre, il quale mi è stato di indispensabile aiuto soprattutto nella fase di rilievo, e i miei amici che mi hanno sempre supportato e caricato. Un grazie va al dot. forestale Damiano Fedel e all'Università degli Studi di Padova, che mi hanno concesso tutta l'adeguata strumentazione che mi ha consentito di concludere in modo rapido e efficace i rilievi. Infine ringrazio il prof. Emanuele Lingua, per il supporto tecnico-scientifico ricevuto in particolare durante la fase di analisi dei dati, senza il quale non sarebbe stato possibile estrapolare le conclusioni i cui sopra.

## BIBLIOGRAFIA

E. Valentini: Piano di Gestione Forestale Aziendale 2017-2026, *Comune di Ledro, ex comune di Tiarno di Sotto*, (2021).

F. Keller, F. Kienast, M. G. Bernetti: i nomi delle fasce di vegetazione. *Botanica e Selvicoltura, Accademia Italiana di Scienze Forestali, Firenze, Italy*, pp. 113-120, (2007).

G. Pignatti: la vegetazione forestale di fronte ad alcuni scenari di cambiamento climatico in Italia, *Rivista di Selvicoltura ed Ecologia Forestale, Volume 8*, pp. 1-12, (2011).

IPCC, 2023: Sections. In: *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 35-115, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.

M. Pividori, F. Armando, M. Conedera: dinamiche post-colturali in un ceduo misto di castagno ai suoi limiti ecologici, *Rivista di Selvicoltura ed Ecologia Forestale, Volume 3*, pp. 86-90, (2006).

N. Mietkiewicz, D. Kulakowski, J. Rogan, P. Bebi: long-term change in sub-alpine forest cover, tree line and species composition in the Swiss Alps, *Journal of vegetation science*, (2017).

O. Gugliotta, R. Mercurio, E. Albanesi: dinamiche della rinnovazione naturale in tagli a buche in pinete di pino laricio (*Pinus laricio* Poiret) dell'Appennino meridionale, *Rivista di Selvicoltura ed Ecologia Forestale*, Volume 3, pp. 380-386 (2006).

R. Lehnebach, R. Beyer, V. Letort and P. Heuret: The pipe model theory half a century on: a review, *Annals of Botany*, Volume 121, Issue 5, pp. 773–795, (2018).

R. Mercurio: le dinamiche delle foreste, *Cooperativa Libreria Universitaria Editrice Bologna*, pp. 1-7 (2010).

Cartografie: portale geocartografico trentino - <https://siat.provincia.tn.it/stem/>