



UNIVERSITÀ
POLITECNICA
DELLE MARCHE

DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE ALIMENTARI E AMBIENTALI

CORSO DI LAUREA IN: SCIENZE FORESTALI, DEI SUOLI E DEL PAESAGGIO (LM 73)

SELVICOLTURA MULTIFUNZIONALE NELLE FAGGETE
IN CONVERSIONE DEL MONTE NERONE (PU)

MULTIFUNCTIONAL SILVICULTURE IN CONVERTED BEECH FORESTS OF MT.
NERONE (CENTRAL ITALY)

TIPO TESI: Sperimentale

Tesi di:
VERONICA PAZZAGLIA
1108523

Relatore:
PROF. CARLO URBINATI

Correlatore:
DOTT. ENRICO TONELLI

ANNO ACCADEMICO 2023-2024
Sessione ottobre 2024

SOMMARIO

INTRODUZIONE E SCOPO DELLA TESI

CAPITOLO 1: INTRODUZIONE

1.1 Contestualizzazione ed obiettivi della tesi	1
---	---

CAPITOLO 2: MATERIALI E METODI

2.1.1 Area di studio	2
2.1.2 Caratteri climatici	6
2.1.3 Caratteri floristici e vegetazionali	7
2.1.4 Copertura e struttura delle foreste	8
2.2 Rilevamenti in campo	
2.2.1 Delimitazione dell'area del martelloscopio	10
2.2.2 Rilevamento dei parametri dendrometrico-strutturali	13
2.2.3 Raccolta campioni per misure di accrescimento radiale	14
2.2.4 Rilevamento dei caratteri di Biodiversità potenziale (IBP)	16
2.2.5 Valutazione degli assortimenti ritraibili	20
2.3 Analisi dei dati rilevati	
2.3.1 Analisi della struttura forestale	20
2.3.2 Analisi delle relazioni clima-accrescimento e della sensibilità climatica	20
2.3.3 Confronto con altre serie di faggio Appenniniche	23
2.3.4 Simulazione degli interventi selvicolturali	24

CAPITOLO 3: RISULTATI E DISCUSSIONE

3.1 L'area a martelloscopio	27
3.2 La struttura forestale: orizzontale, verticale e cronologica	28
3.3 La biodiversità potenziale arborea (IBP)	32
3.4 Il valore degli assortimenti ritraibili	34
3.5 L'assetto cronologico, l'accrescimento e la sensibilità climatica	36
3.6 Confronto con altre serie di faggio Appenniniche	41
3.7 Simulazione degli interventi selvicolturali	45
3.7.1 Simulazione diradamento selettivo con scopo produttivo	46
3.7.2 Simulazione diradamento selettivo con scopo conservativo	48
3.7.3 Rappresentazione su <i>Cloud Compare</i> del diradamento selettivo con scopo produttivo	51
3.7.4 Rappresentazione su <i>Cloud Compare</i> del diradamento selettivo con scopo conservativo	53
3.7.5 Confronto tra le due simulazioni	54

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	58
---------------------------	----

BIBLIOGRAFIA	60
--------------	----

SITOGRAFIA	61
------------	----

1 INTRODUZIONE

1.1 Contestualizzazione ed obiettivi della tesi

I boschi sono sempre stati importanti per la produzione legnosa, ma già a partire dagli anni '70, si è compreso che essi svolgono anche innumerevoli funzioni di carattere ecologico e sociale e quindi a tutti gli effetti sono ecosistemi complessi e multifunzionali. La selvicoltura e l'asestamento forestale devono sempre più tenere in considerazione tutti i servizi espletati dalle foreste: dalla conservazione della biodiversità, alla resilienza e resistenza al cambiamento climatico, alla produzione di bioenergia, definendo caso per caso la priorità funzionale (Gaglioppa et al. 2017). Le faggete appenniniche sono importanti ecosistemi che hanno perso nel tempo il loro valore economico-produttivo a favore di altre funzioni come quella naturalistica, paesaggistica e ricreativa. Riconoscere ed apprezzare tali funzioni associate alle faggete appenniniche diventa di rilevante importanza anche ai fini di definire modelli gestionali diversi da quelli puramente a funzione produttiva. Gran parte delle faggete dell'Italia centrale sono state intensamente utilizzate a ceduo fino agli anni '50 del secolo scorso e poi o lasciate alla libera evoluzione o sottoposte ad interventi per la loro conversione a fustaie coetanee. In questi 70 anni la gestione o l'abbandono culturale, nonché la diversità vegetazionale (faggete macro o microterme, pure o miste, ecc.) hanno dato luogo a strutture diversificate che peraltro hanno in comune la loro prevalente origine agamica. Non è quindi pensabile che tutte vengano indistintamente gestite secondo le indicazioni generiche dei regolamenti forestali che sicuramente non cambiano con i tempi della ricerca che propone oggi soluzioni gestionali diverse da quelle standard. A ciò si aggiunge anche la variabilità climatica degli ultimi decenni che sicuramente incide sulla fenologia della specie, la sua capacità di produzione di seme, la sua resistenza a stress termici o idrici.

Fondamentale all'interno di questo quadro è quindi la formazione di tecnici che abbiano una visione multifunzionale del bosco, e che comprendano anche i rischi legati al cambiamento climatico. Una possibilità offerta ai tecnici o studenti forestali per confrontarsi su modelli gestionali innovativi è quella offerta dalle aree destinate a martelloscopi, ovvero aree permanenti di bosco in cui tutti gli alberi sono stati numerati, georeferenziati e inseriti in uno specifico software. Il martelloscopio costituisce una vera e propria "palestra di selvicoltura", utilizzata per la formazione forestale attraverso la simulazione di specifici interventi gestionali. Grazie all'utilizzo di apposite applicazioni, è possibile simulare interventi diversi e verificarne gli esiti in relazione agli obiettivi prefissati, in termini di gestione e conservazione della biodiversità, ma anche di resa economica dell'intervento.

Questa tesi si è svolta in gran parte all'interno del progetto PSR BIOSEIFORTE (Biodiversità e Servizi Ecosistemici in Foreste e Territorio) da poco concluso e che ha visto la collaborazione del Consorzio Forestale del Monte Nerone e dell'area Sistemi Forestali del D3A - UNIVPM. L'obiettivo principale del lavoro, svolto all'interno di una fustaia transitoria di faggio del Monte Nerone (PU), è la ricerca di un metodo per la gestione selvicolturale proattiva, che valorizzi la produzione legnosa a vantaggio delle popolazioni locali, ma anche un assetto strutturale più resiliente e utile ad aumentare la biodiversità della cenosi. Per fare questo si è proceduto: i) alla realizzazione ad hoc di un martelloscopio, con il relativo censimento e misurazione di tutti gli alberi presenti; ii) all'analisi della sensibilità climatica del faggio attraverso la relazione fra accrescimento radiale e parametri climatici; iii) alla simulazione di diversi interventi selvicolturali e confronto degli effetti prodotti

2 MATERIALE E METODI

2.1.1 Area di studio

L'area di studio è situata nel comprensorio del Monte Nerone, nel settore settentrionale della dorsale appenninica umbro-marchigiana, ed interessa i comuni di Apecchio, Cagli e Piobbico, nella provincia di Pesaro-Urbino (*figura 2.1.1*). Il comprensorio ha un'estensione di circa 6392 ha e fa parte del sottobacino del Candigliano (66618 ha).

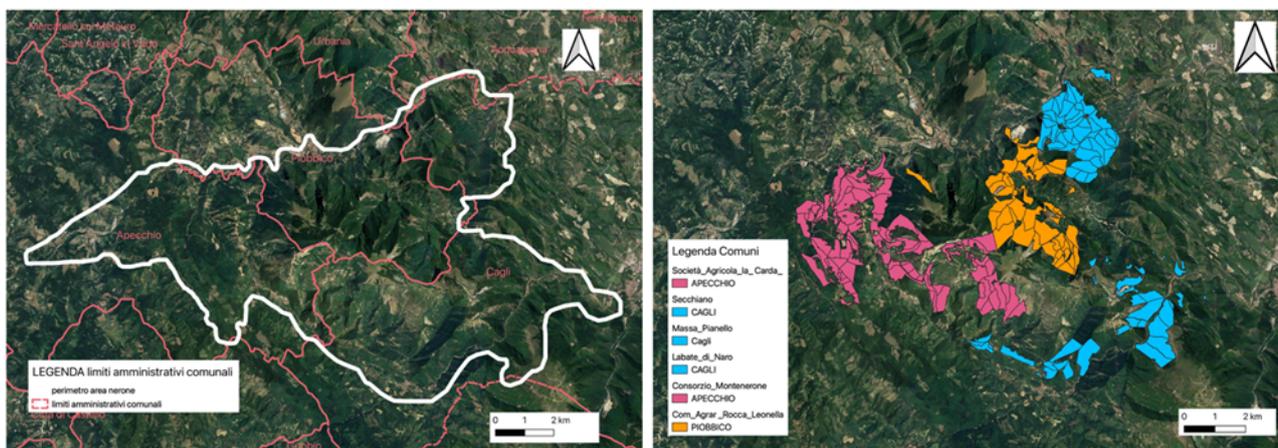


Figura 2.1.1: Sx, limiti amministrativi comunali e perimetro comprensorio Monte Nerone; Dx, suddivisione particellare per comune.

Il M. Nerone, con 1525 m s.l.m. è la vetta principale del gruppo, cui si aggiungono in ordine di altitudine: la Montagnola, orientata a sud-est che raggiunge un'altitudine massima di 1486 m s.l.m.; il Cimaio, orientato anche questo a sud-est, così denominato per il rapido susseguirsi di più cime, con un'altitudine di 1249 m s.l.m.; il Monte del Pantano (1431 m s.l.m.), che si erge al di sopra della forra del Presale; e il Monte Cardamagna (962 m s.l.m.), sul versante ovest. Il comprensorio del Nerone è ricco di formazioni rocciose, tra le più suggestive troviamo: Balza Forata, Sasso del Re, Arco di Fondarca, Sasso della Rocca e Rocca Bianca. Più del 50% del comprensorio è caratterizzato da copertura forestale, in particolare boschi misti di latifoglie a prevalenza di cerro (*Quercus cerris*) e roverella (*Q. pubescens*) o carpino nero (*Ostrya carpinifolia*) e orniello (*Fraxinus ornus*), alle quote minori, e boschi puri di faggio (*Fagus sylvatica*) sopra i 1000 m.s.l.m. Tali superfici sono principalmente gestite a ceduo, ceduo in conversione, o fustaia transitoria. Sono inoltre, localmente presenti dei rimboschimenti di conifere in cui sono evidenti dinamiche di rinaturalizzazione. La restante superficie è caratterizzata dalla presenza di seminativi e soprattutto di praterie secondarie, in cui è praticato principalmente il pascolo brado e semibrado di cavalli e bovini. Tali praterie sono ad oggi oggetto di una minore gestione rispetto al passato, con annessi come conseguenza processi di riforestazione spontanea. Il comprensorio del Monte Nerone comprende due grandi siti della Rete Natura 2000: la ZSC/SIC "IT5310017" - Monte Nerone - Gola di Gorgo a Cerbara" e la ZPS "IT5310030 - Monte Nerone e Monti di Montiego", a testimonianza del valore naturalistico dell'area (*figura 2.1.2*). La gestione agro-silvo-pastorale ha avuto un ruolo chiave nella conservazione della biodiversità, permettendo il recupero e mantenimento di habitat prioritari come le faggete con *Taxus* e *Ilex* (habitat 9210*) che rappresentano un 7% della totalità, e le praterie seminaturali secche caratterizzate dalle tipiche fioriture di orchidee (habitat 6210*) che compongono il 60% del territorio interessato, a conferma dell'importante ruolo dell'attività antropica sul territorio (*figura 2.1.3*) (Baglioni. et al., 2023).

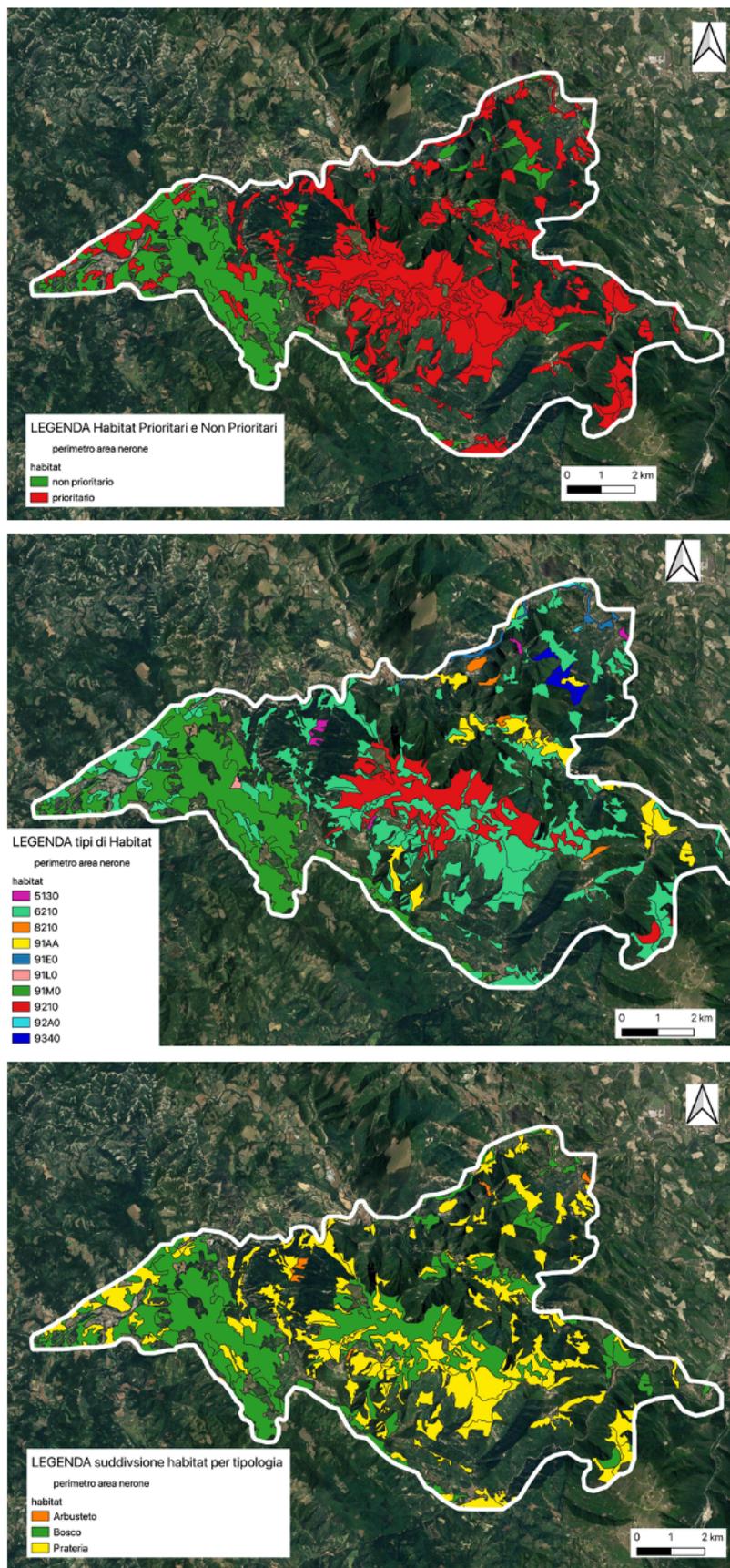


Figura 2.1.2: in alto, habitat prioritari e non nel comprensorio del Monte Nerone, Centro, tipologie di habitat presenti, in basso, suddivisione per tipologia di formazione.

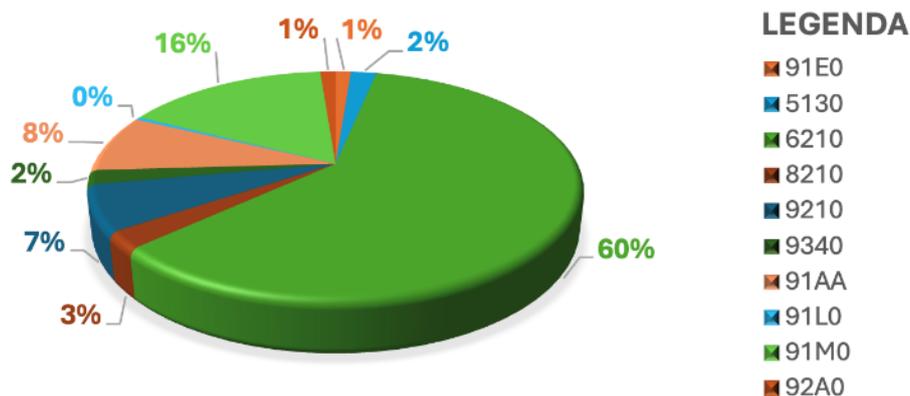


Figura 2.1.3: distribuzione percentuale delle diverse tipologie di habitat

IL comprensorio del Monte Nerone presenta diverse proprietà: Consorzio Forestale Monte Nerone, ente costituito dall'Università Agraria di Serravalle di Carda e dall'Università Agraria degli Uomini Originari della Villa di Pieia, Comunanza Agraria degli Uomini Originari di Rocca Leonella, Società Agricola la Carda S.R.L., Università Agraria degli Uomini Originari della Villa di Secchiano, Università degli Uomini della Villa di Massa e Pianello e Università Agraria degli Uomini della Villa di Monte Labate di Naro (tabella 2.1.1). L'intero complesso assestamentale si sviluppa su di un totale di 2626,51 ha (Piano Particolareggiato di Assestamento Forestale, Consorzio Forestale Monte Nerone, 2021-2030).

Tabella 2.1.1: Superficie dell'intero comprensorio suddivisa per singole proprietà, con dettaglio delle porzioni aventi vigente pianificazione assestamentale– PPAF M. Nerone 2021

Proprietà e/o soggetto gestore	Superficie catastale complessiva esaminata (ha)	Superficie esclusa dalla pianificazione (ha)	Superficie pianificata (ha)
Consorzio Monte Nerone	683,28.67	85,40.23	597,88.44
Comunanza Agraria degli Uomini Originari di Rocca Leonella	631,88.31	35,36.68	596,51.63
Società Agricola la Carda S.R.L.	547,80.09	82,93.04	464,87.05
Università Agraria degli Uomini Originari della Villa di Secchiano	394,29.03	91,44.67	302,84.36
Università Agraria degli Uomini della Villa di Massa e Pianello	174,50.41	4,56.32	169,94.09
Università Agraria degli Uomini della Villa di Monte Labate di Naro	494,57.18	0,11.65	494,45.53

L'attuale assetto fisionomico strutturale della faggeta oggetto di studio, ricadente in particelle gestite dal Consorzio Forestale Monte Nerone, deriva da un'unica matrice selvicolturale, infatti, fino agli anni '50 del secolo scorso questo bosco era un ceduo, sottoposto abitualmente a taglio a raso con matricinatura scarsa o fortemente limitata per massimizzare la resa produttiva dell'intervento in termini di legna da ardere. Venivano prodotte anche quantità cospicue di carbone vegetale e carbonella, soprattutto in piccole carbonaie ampiamente diffuse fino agli anni '60 all'interno del bosco, poste lungo le curve di livello e identificabili come aie carbonili e che oggi sono sporadicamente allestite da alcuni locali, ad altitudine inferiore, più per tradizione che per necessità

(figura 2.1.4). Successivamente, il progressivo abbandono culturale e abitativo delle zone appenniniche, ha causato modificazioni strutturali evidenti nell'area, che hanno portato nel caso dell'area oggetto di tesi alla conversione ad alto fusto.



Figura 2.1.4: a sinistra, catasta di legna da ardere; a destra, carbonaia in allestimento sul Monte Nerone

2.1.2 Caratteri climatici

L'area del Monte Nerone ricade all'interno della fascia climatica mesotemperata e criorotemperata, caratterizzata da inverni rigidi, copiose nevicate ed estati fresche. Per la caratterizzazione termopluviometrica si è fatto riferimento alla stazione di Mercatello sul Metauro (429 m s.l.m.), che indica un bioclina temperato oceanico con variazione bioclimatica submediterranea. Le temperature medie annue, registrate nell'arco di 30 anni, si aggirano attorno ai 12,2° C, le massime assolute attorno ai 33,8° C nei mesi più caldi, e le minime assolute attorno ai -7,4° C nei mesi più freddi. Non vengono riscontrati periodi di aridità estiva in quanto la curva delle temperature non interseca quella delle precipitazioni (*figura 2.1.2.1*). Le precipitazioni vengono riportate nel diagramma del bilancio idrico dove, a partire dal 20 luglio mediamente si verifica un deficit idrico che perdura fino al 25 di agosto, quando inizia l'imbibizione e la ricostruzione delle riserve. Una volta che le riserve sono state ricostituite abbiamo la saturazione, quindi surplus fino a quando, in maggio, le riserve non verranno utilizzate dalle piante. L'aumento cospicuo delle precipitazioni a partire da novembre garantisce la ricostituzione della riserva idrica. I maggiori apporti in piogge avvengono durante i mesi autunnali, mentre durante la stagione invernale le stesse avvengono anche sotto forma di precipitazioni nevose, con maggiori perturbazioni nel mese di febbraio (*figura 2.1.2.2*).

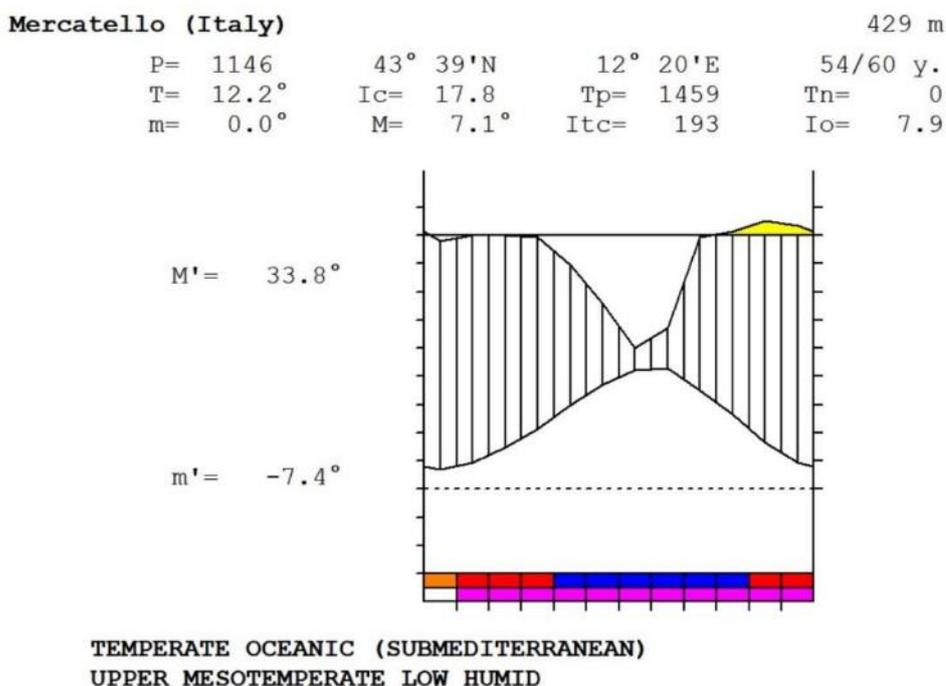


Figura 2.1.2.1: Diagramma termo-pluviometrico della stazione di Mercatello sul Metauro (PU).

Mercatello (Italy)

43°39'N 12°20'E 429 m 54/60 y.

T= 12.2 Ic= 17.8
m= 0.0 Tp= 1459
M= 7.1 Tn= 0
M'= 33.8 Itc= 193
m'= -7.4 Io= 7.9
P= 1146 mm
PE= 708 mm

TEMPERATE OCEANIC (SUBMEDITERRANEAN)
UPPER MESOTEMPERATE
LOW HUMID

Imbibing	25 Aug.
Saturation	6 Nov.
Reserve Use	29 Apr.
Deficit	20 Jul.

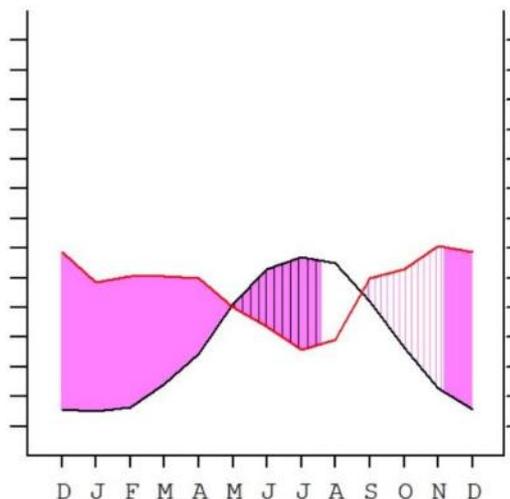


Figura 2.1.2.2: Diagramma del bilancio idrico della stazione di Mercatello sul Metauro (PU).

2.1.3 Caratteri floristici e vegetazionali

L'area del Monte Nerone riveste una notevole importanza per gli aspetti floristici, per tale motivo, sono state istituite dalla regione Marche diverse Aree Floristiche, al fine di tutelare il patrimonio di biodiversità presente sul massiccio. L'importanza dell'Area floristica "Monte Nerone - la Montagnola" deriva dalla presenza di varie specie nemorali, subrupicole e pabulari, genericamente sporadiche nell'Appennino calcareo umbro-marchigiano, particolarmente nel suo settore settentrionale. Di notevole interesse è l'esistenza di una stazione di *Leucopoa dimorpha*, specie genericamente rara in tutto il settore superiore dell'Appennino marchigiano, che sembra avere qui l'estremo limite settentrionale del suo areale appenninico e una delle rare stazioni di *Lonicera alpigena* (Caprifoglio alpino) finora note per la parte settentrionale delle Marche. Di grande interesse, nella Valle dell'Infernaccio, è la concentrazione a quota relativamente bassa di elementi floristici rari nell'Appennino marchigiano, con presenza di caratteristiche specie rupicole e nemorali, orofite microterme ed endemismi; da segnalare sono *Cardamine chelidonia*, *Parnassia palustris*, *Primula auricula*, *Lomelosia graminifolia*, *Polygonatum verticillatum*, *Trisetaria villosa*, *Carex brachystachys* e *Carex frigida*. Alcune specie hanno in quest'area una delle poche stazioni note per esse nell'Appennino marchigiano (*Frangula rupestris*) o talora l'unica stazione come per *Malcolmia orsiniana* e si presentano con netto carattere di relitti di antiche flore dei periodi glaciali e interglaciali pleistocenici. Si rinvencono inoltre altre entità notevoli per la flora regionale come *Solenanthes apenninus*, *Campanula latifolia*, *Rosa spinosissima*, *Digitalis ferruginea* e *Veratrum lobelianum*. Per quanto riguarda l'Area floristica "Fondarca" molte delle entità ivi rappresentate sono interpretabili come elementi relitti di antiche flore dei periodi glaciali pleistocenici. Di particolare interesse la presenza di una stazione di *Berberis vulgaris* (Crespino), rarissimo nelle Marche.

2.1.4 Copertura e struttura delle foreste

Le categorie forestali (riferibili all'Inventario e Carta dei tipi forestali delle Marche) presenti nel comprensorio del Monte Nerone sono relative a Cerrete, Lecce, Orno-Ostreti, Querceti di roverella, Rimboschimenti di conifere e Faggete (*Figura 2.1.4.1*) (IPLA, 2000; Piano Particolareggiato di Assestamento Forestale, Consorzio Forestale Monte Nerone, 2021-2030).

Le Cerrete, ovvero boschi a prevalenza di cerro, oltre a *Quercus cerris* comprendono anche *Prunus avium*, *Acer campestre*, *Fagus sylvatica*. Nello strato arbustivo e lianoso *Pyrus pyraster*, *Cornus sanguinea*, *Cornus mas*, *Hedera helix*. Il cerro si spinge, sui rilievi appenninici, fino a circa 1000-1100 m s.l.m., insinuandosi nelle faggete submontane, in esposizioni calde meno soggette a gelate tardive. Esigente in termini di acqua, poco resistente ai ritorni di freddo ed eccessi di calore estivo.

I boschi a prevalenza di leccio (Lecce) comprendono, oltre a *Quercus ilex*, poche caducifoglie, tra cui *Fraxinus ornus*, *Quercus pubescens* e *Ostrya carpinifolia*. Nello strato arbustivo dominano le sempreverdi, tra cui *Phyllirea media*, *Arbutus unedo*, *Rhamnus alaternus*, *Pistacia peregriana subsp. longifolia*, *Rosa sempervirens*.

Il carpino nero (*Ostrya carpinifolia*) e l'orniello (*Fraxinus ornus*) sono le specie più comuni nel territorio. Il carpino nero è diffuso particolarmente sui rilievi montuosi, in versanti con diverse esposizioni, preferibilmente freschi, con maggiore disponibilità idrica, anche se con l'orniello può colonizzare anche pascoli aridi. Tra le altre specie caducifoglie che si possono ritrovare nello strato arboreo abbiamo *Acer obtusatum*, *Quercus pubescens s.l.*, *Laburnum anagyroides*, *Sorbus aria*, e *Corylus avellana*. Nello strato arbustivo: *Coronilla emerus*, *Daphne laureola*, *Cornus mas*, *Cornus sanguinea*, *Prunus spinosa*, *Cytisus sessilifolius*, *Lonicera caprifolium* e *xylosteum*, *Malus sylvestris*, *Acer campestre*, *Juniperus communis*.

La roverella è la quercia più comune nell'area presa in considerazione, ma anche nel territorio regionale. *Quercus pubescens* è tra le querce la più xerofila, che tende ad eludere l'aridità estiva con la fioritura, ed entrata in vegetazione, più precocemente rispetto al leccio. L'ingresso di specie arbustive del mantello comprende: *Cytisus sessilifolius*, *Spartium junceum*, *Juniperus communis*, *J. oxycedrus subsp. oxycedrus*, *Colutea arborescens*.

Nei rimboschimenti di conifere, tra le specie principalmente utilizzate troviamo pino nero (*Pinus nigra*), cedro dell'Atlante (*Cedrus atlantica*), abete rosso (*Picea excelsa*), cipresso dell'Arizona (*Cupressus arizonica*), pino silvestre (*Pinus sylvestris*) e abete greco (*Abies cephalonica*). Nella stragrande maggioranza dei casi è riscontrabile l'insediamento di latifoglie autoctone, tra cui ciliegio (*Prunus avium*), roverella (*Quercus pubescens*) o orniello (*Fraxinus ornus*). Il piano arbustivo non è sempre presente in quanto limitato dalla copertura che è densa e continua. Qualora sia presente è rappresentato da ginepro (*Juniperus communis*), rosa (*Rosa canina*), emero (*Coronilla emerus*), e rovi (*Rubus sp.*), eventualmente, anche se fortemente ridotta, la presenza di corniolo (*Cornus mas*).

La distribuzione del faggio (*Fagus sylvatica*) è particolarmente legata alle precipitazioni che, nelle condizioni ottimali, devono superare i 1500 mm annui, con temperature annue variabili tra i 6° e i 12°. Nel piano arbustivo si trovano prevalentemente rosa canina (*Rosa canina*), sambuco (*Sambucus*), corniolo (*Cornus mas*), raramente tasso (*Taxus baccata*) e agrifoglio (*Ilex aquifolium*).



Figura 2.1.4.1: A) Cerrete B) Fagete C) Rimboschimenti a prevalenza di pino nero

2.2 Rilevamenti in campo

2.2.1 Delimitazione area martelloscopio

I rilevamenti si sono svolti nel periodo marzo-ottobre 2023 in una faggeta pura e di proprietà del Consorzio Forestale Monte Nerone. Il soprassuolo è in una fase a fustaia transitoria derivante da interventi di avviamento a fustaia coetanea di ceduo oltre turno.

La cenosi è ubicata all'interno della particella 19 del Piano Particolareggiato di Assestamento Forestale del Consorzio Monte Nerone 2021-2030 (*figura 2.2.1.1*). La stessa area nell'immagine del volo GAI del 1954 (Istituto Geografico Militare, IGM) appare priva di copertura forestale, probabilmente a seguito di un taglio a raso del ceduo con rilascio di matricine ed una fascia arborea perimetrale, probabilmente per limitare l'accesso al bestiame dei pascoli limitrofi e salvaguardia della rinnovazione agamica (*figura 2.2.1.2*).



Figura 2.1.1.1: Immagine area del Martelloscopio da Google Earth Pro 2023.

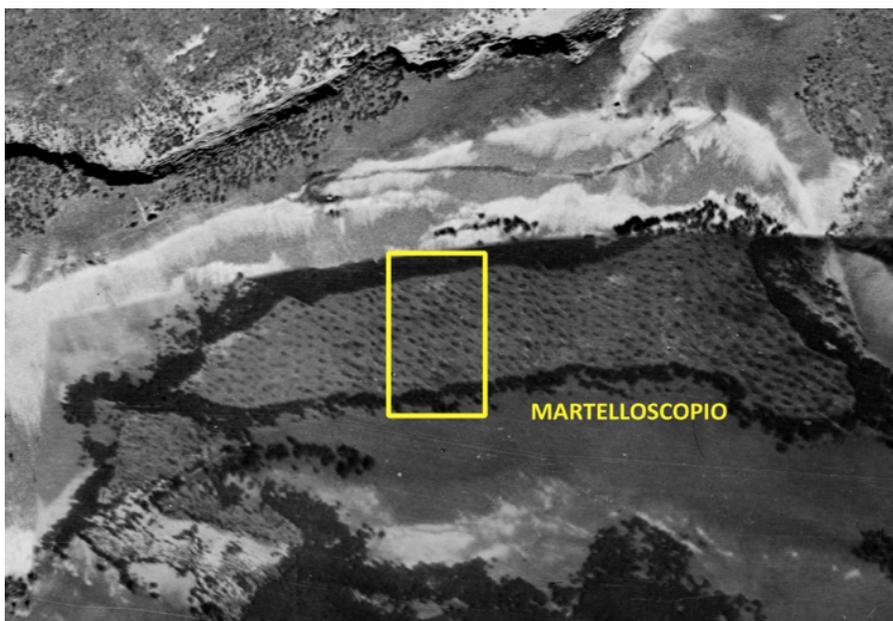


Figura 2.2.1.2: Immagine area del Martelloscopio da volo GAI 1954-55.

All'interno dell'area si sono svolte operazioni di rilevamento adottando diversi strumenti. L'area individuata si presenta consona ai criteri da rispettare per la realizzazione di un martelloscopio per la rete internazionale Integrate+ (Radu, 2023), quali:

- obiettivi del martelloscopio,
- morfologia, accessibilità e condizioni di sicurezza del sito,
- rappresentatività del soprassuolo (tipo di foresta, caratteristiche del popolamento e tipologia di gestione vigente),
- presenza di un piano di assestamento forestale.

Si è proceduto con la fase di perimetrazione dell'area, avvenuta nel mese di marzo 2023, adottando come confini rispettivamente nella parte nord ed est, la strada provinciale (SP15-Monte Nerone), nella parte sud il limite del bosco, mentre nella parte ovest il limite della particella forestale 19 del suddetto piano di assestamento (Figura 2.2.1.3).

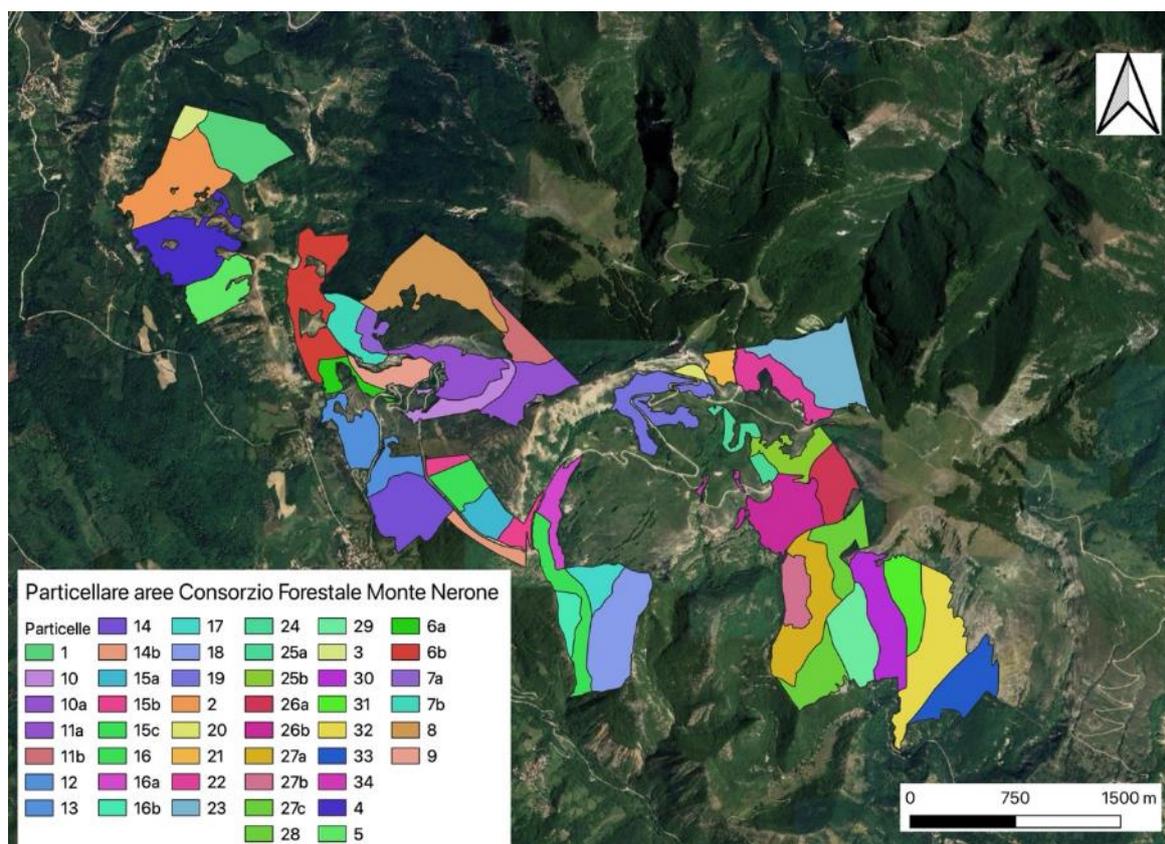


Figura 2.2.1.3: particellare delle aree gestite dal Consorzio Forestale Monte Nerone; la particella 19 è quella oggetto di analisi.

Il martelloscopio che deve avere una superficie di 1 ha e possibilmente una forma regolare (quadrata o rettangolare) è stato poi suddiviso in quattro quadranti, ognuno con una superficie di 2866 m² (Lizzi, 2023). Le caratteristiche dell'area perimetrata, ascrivibili al tipo forestale faggeta, coetaneiforme, sono relative ad un'esposizione sud-est, con una pendenza media del 22%. la gestione è a fustaia transitoria derivante da una matrice a ceduo. riportate nella *tabella 2.2.1.1* sottostante.

Si è poi assegnato un codice numerico per ognuno degli individui presenti all'interno dell'area, riportato sul fusto con vernice bianca per una migliore visibilità (Figura 2.2.1.4). Al fine di stimare la valenza ecosistemica del soprassuolo, è stata censita anche la presenza di dendromicrohabitat su ciascun individuo (Kraus et al, 2016); i dati raccolti durante il censimento, saranno poi ulteriormente analizzati anche attraverso l'uso dell'indice di biodiversità potenziale.

Tabella 2.2.1.1: Sintesi delle caratteristiche generali dell'area del martelloscopio.

CARATTERI STAZIONALI E TIPOLOGICI	
Altitudine (m s.l.m.)	1424
Esposizione	Sud-Est
Pendenza media %	22
Tipo forestale	Faggeta
Struttura	Coetaniforme
Gestione	Fustaia transitoria



Figura 2.2.1.4: numerazione e marcatura dei fusti

2.2.2 Rilevamento dei parametri dendrometrico-strutturali

A partire dal mese di maggio 2023, sono stati effettuati ulteriori rilievi strutturali in campo, tramite l'utilizzo del sistema *Field-Map* (figura 2.2.2.1) un sistema integrato (cavalletto dendrometrico elettronico, distanziometro, ipsometro, sistema di georeferenziazione, tablet pc e software annesso) portatile per effettuare censimenti e inventari forestali. *Field-Map* è in grado di fornire in tempo reale una visualizzazione grafica e georeferenziata e della loro posizione nel popolamento e di esportare tale informazione in forma vettoriale. I dati misurabili sono il diametro del fusto, l'altezza totale della pianta, la proiezione, inserzione e profondità della chioma (Mattioli ed al., 2009). Una volta identificato l'individuo si procede all'assegnazione su software *Field-map* del numero della pianta. Quindi, attraverso il telemetro/ipsometro laser *TruPulse*, *Field-Map* è in grado di misurare la distanza orizzontale e determinate grazie all'angolo di inclinazione dello strumento, l'altezza delle piante presenti nell'area di studio. Dal punto di controllo iniziale (centroide) georeferenziato con un ricevitore GPS, vengono mappate le posizioni di tutte le piante presenti all'interno dell'area delimitata. Il cavalletto dendrometrico elettronico misura del diametro delle piante a 130 cm da terra ed invia in tempo reale via Bluetooth i dati al software di *Field-Map*. Per una stima più appropriata del diametro, sono state effettuate due misurazioni su ciascuna pianta, in corrispondenza del diametro maggiore e del diametro minore, mediate poi dal sistema. Su 50 individui sono state misurate le altezze con un ipsometro *Vertex III*, ponendosi ad una distanza di circa 20-25 m, pari all'incirca all'altezza della pianta da misurare; sono state registrate le altezze totali e CBH-Crown Base Height, ovvero altezze inserzione chioma per 20 piante su cui è stato effettuato il carotaggio, mentre, a partire dai 50 alberi per cui è stata misurata l'altezza totale, è stato possibile costruire la relazione diametro altezza del popolamento (curva ipsometrica). Tutti i dati sono stati caricati su *Q-Field*, innovativa app in ambiente GIS per l'acquisizione di dati in campo. Tale applicazione si integra perfettamente con QGIS e rappresenta una soluzione completa, intuitiva, gratuita e Open Source, utile per l'elaborazione successiva dei dati. La realizzazione del martelloscopio ha consentito anche di applicare tecniche innovative di rilevamento mediante la tecnologia LiDAR. All'interno del martelloscopio sono stati infatti acquisiti dati 3D, utilizzando GeoSLAM Zeb Horizon, un laser scanner *hand-held* con tecnologia SLAM le cui principali caratteristiche sono: portata di 100 m, risoluzione di 300.000 punti al secondo e accuratezza relativa fino a 6 mm (Lizzi, 2023). L'utilizzo di GeoSLAM ha permesso la ricostruzione 3D della struttura del bosco e l'estrazione dei principali parametri dendrometrici di ogni singola pianta (figura 2.2.2.2).



Figura 2.2.2.1: stazione computerizzata *Field-Map*



Figura 2.2.2.2: restituzione del rilievo fatto con mobile laser scanner da cui è possibile estrarre le altezze.

2.2.3 Raccolta campioni per misure di accrescimento radiale

Il faggio (*Fagus sylvatica*) è la specie forestale più importante e maggiormente diffusa nel piano montano dell'Appennino e risulta avere una spiccata sensibilità climatica. Il clima è un fattore fondamentale che influenza la distribuzione geografica delle specie arboree, influenzando la rigenerazione, la crescita e la mortalità. Pertanto, i cambiamenti climatici possono alterare considerevolmente la distribuzione spaziale delle specie e la struttura demografica delle loro popolazioni. Tali cambiamenti nelle popolazioni forestali sono più evidenti nelle aree soggette a significativi cambiamenti climatici a lungo termine (Klopčič et al. 2022). La sensibilità climatica delle specie arboree può essere studiata con un approccio dendrocronologico, mediante lo studio degli anelli legnosi (Schweingruber, 1996). I fattori climatici a cui il faggio è maggiormente sensibile sono le gelate tardive, le gelate precoci e la siccità estiva. Per gelata tardiva si intende un fenomeno in cui la temperatura scende al di sotto dello zero, quando la pianta è già in ripresa vegetativa o fioritura. In un normale anello di accrescimento, infatti, è ben distinguibile il legno primaverile da quello estivo, mentre in un anello con accrescimento anomalo dovuto ad una gelata, si avrà uno spessore minore, in relazione al periodo vegetativo più corto e al danneggiamento degli organi fogliari al momento della gelata. A livello fogliare, il danno è causato dalla formazione di ghiaccio nel mesofillo, tra le cellule e i vari tessuti fogliari dei germogli (Nolè et al., 2018). I maggiori danni ai tessuti si verificano per temperature inferiori a -2 o -3°C (Till, 1956; Rychnovská et al. 1989; Mayer et al., 1988; Tranquillini e Plank, 1989), danni che possono ridurre la crescita radiale del 90% (Dittemar et al., 2006; Ningre e Colin, 2007). Gli organi del faggio, soprattutto foglie e legno, sono meno resistenti al freddo rispetto a quelli delle conifere. In particolare, il legno omoxilo delle conifere, grazie alla presenza delle punteggiature areolate lungo i vasi, è più adatto a contrastare il problema delle bolle d'aria che vengono a crearsi a seguito del ciclo di congelamento e scongelamento dell'acqua nei vasi, che causano embolia nelle latifoglie. Il fenomeno della siccità estiva, al contrario, si verifica per la combinazione di una serie di condizioni climatiche come l'aumento delle temperature (medie e massime), la diminuzione delle piogge, una maggior quantità di radiazione solare ed una elevata pressione di vapore (Camarero et al., 2015). La siccità estiva invece provoca processi di microfillia, ingiallimento e filloptosi anticipata, anche su individui adulti, già ad agosto. Il conseguente deficit

idrico è il fattore che maggiormente limita la diffusione del faggio alle quote inferiori con clima di tipo submediterraneo (Ebene, A., et al 2012). Anche in questo caso il disturbo si manifesta attraverso lo spessore anomalo dell'anello, più stretto del normale, a causa della chiusura anticipata della stagione vegetativa. Lo spessore dell'anello è, inoltre, direttamente proporzionale alla durata del disturbo.

Durante i rilievi in campo, si è proceduto alla raccolta di carote legnose da 15 individui, di classi diametriche diverse distribuite nei quattro quadranti del martelloscopio. Sono inoltre state utilizzate altre 5 carote incrementali da altrettanti individui di un ceduo invecchiato limitrofo all'area del martelloscopio. Tutti i campioni sono stati estratti mediante carotaggio, con succhiello di Pressler da 50 cm, eseguito a 1.30 m da terra. I campioni prelevati sono stati posti su supporto legnoso e identificati con un codice univoco di appartenenza con sigla del luogo, MN-Monte Nerone, la specie, FS (*Fagus sylvatica*), il numero della pianta scritto con vernice indelebile bianca sulla corteccia al momento della numerazione. Su ogni supporto, a fianco del codice identificativo, sono stati riportati anche il diametro e l'altezza della pianta campionata. In laboratorio i campioni sono stati incollati su appositi supporti legnosi per essere levigati con fogli di carta abrasiva progressivamente più fine (da P150 a P600) per rendere omogenea la superficie. Poi si è proceduto con la misurazione degli anelli legnosi, con un misuratore semi-automatico (LINTAB), dotato di software di interfaccia TSAP-Win™ (Rinntech, Heidelberg, Germany) (Figura 2.2.3.1) (Tonelli E., 2018). Gli incrementi radiali sono stati misurati con una risoluzione di 10^{-2} mm. Partendo dai singoli campioni di carote legnose, sono state prodotte serie grezze, serie indicizzate e probabilità di produzione di seme (annate di pasciona). Le analisi sono proseguite con la produzione delle relazioni clima accrescimento, prendendo in considerazione temperature medie, minime e massime, precipitazioni e indice SPEI (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index).



Figura 2.2.3.1: sx, carotaggio con succhiello di Pressler, dx in alto, esempio di campioni legnosi, dx in basso, stazione laboratorio con misuratore semiautomatico LINTAB

2.2.4 Rilevamento dei caratteri di biodiversità potenziale

Per valutare la potenzialità di un soprassuolo forestale ad accrescere la propria biodiversità è stato utilizzato l'Indice di Biodiversità Potenziale (IBP) messo appunto in Francia nel 2008, nell'ambito di un programma nazionale di ricerca e sviluppo, condotto dal Centro Nazionale della Proprietà Forestale (CNPF). In Italia, il progetto LIFE GoProFor partecipa al Comitato Internazionale di Esperti dell'IBP ed ha adattato il sistema francese al contesto italiano. L'IBP è un indice che prevede stime e valutazioni sull'assetto fisionomico-strutturale dei soprassuoli finalizzato a individuare al loro interno la presenza di nicchie ecologiche che possano ospitare una biodiversità multi-taxa. Si tratta di uno strumento a supporto della gestione forestale proprio per incentivare un approccio multifunzionale. IBP utilizza 10 fattori importanti da rilevare in un soprassuolo, sette dei quali sono relativi alle caratteristiche endogene del soprassuolo e alla gestione forestale e tre al contesto ambientale dell'area presa in considerazione.

I sette fattori endogeni sono:

1. **Specie autoctone:** si conta il numero di alberi più alti di 50 cm vivi o morti appartenenti a specie autoctone (in base al genere) su. a presenza di specie arboree autoctone contribuisce ad un migliore funzionamento dell'ecosistema, ad un aumento della produttività, migliore resistenza ai patogeni ed alle perturbazioni.
2. **Struttura verticale della vegetazione:** si conta il numero di strati fogliari con copertura $\geq 20\%$. Gli strati qui vengono considerati in termini di ingombro del fogliame, e non di altezza totale dell'albero, per cui anche uno stesso albero può appartenere a più strati. I diversi strati vengono suddivisi in erbaceo e semi-legnoso, legnoso molto basso, legnoso basso, legnoso intermedio, legnoso alto.
3. **Grandi alberi morti in piedi (snag):** si contano solo alberi morti in piedi di altezza ≥ 1 m, perché dal legno morto dipende anche la presenza di altre specie, soprattutto saproxiliche, utili al funzionamento dell'ecosistema.
4. **Grandi alberi morti al suolo (log),** anche in questo caso si contano solo alberi morti di lunghezza ≥ 1 m.
5. **Alberi viventi di grandi dimensioni:** il loro valore ecologico per la conservazione della biodiversità forestale è molto elevato, sebbene non siano molto rappresentati nelle foreste italiane. Contribuiscono ad aumentare il valore paesaggistico, culturale e patrimoniale. Questi individui sono spesso portatori di numerosi e diversificati dendromicrohabitat per mammiferi di piccola e media grandezza, anfibi, rettili e uccelli.
6. **Alberi viventi portatori di dendromicrohabitat:** dendromicrohabitat sono difetti e alterazioni del fusto o dei rami dell'albero che costituiscono habitat potenziali (luoghi di riproduzione, svernamento, nutrimento per specie) per specie animali e/o vegetali. Fra questi vi sono cavità di picidi, cavità del tronco con rosura, fori di uscita e gallerie scavate da insetti, ecc.
7. **Ambienti aperti (habitat associati):** si fa riferimento a superfici (radure, chiarie, gap) dove, la maggiore disponibilità di luce rispetto alle condizioni medie del soprassuolo ha consentito lo sviluppo di una flora differenziata in grado di fornire fioriture, anche temporanee.

I restati tre fattori sono invece legati al contesto sono:

8. **Continuità temporale della copertura forestale:** questo fattore è valutabile attraverso la consultazione di mappe forestali, foto aeree, documenti storici, oppure sul campo, attraverso la presenza di muretti, terrazzamenti (per cui uso agricolo), rovine di edifici. Si tratta infatti di stabilire se la copertura boschiva è tale da lungo tempo o se si tratta di boschi di recente formazione.
9. **Ambienti acquatici (habitat associati):** vengono valutati dieci tipi di ambienti acquatici, tra cui sorgente, piccolo torrente, piccolo corso d'acqua, torrente o fiume, ecc. La presenza di ambienti acquatici ad alta concentrazione di biodiversità. specie, tra cui specie igrofile, specie che si

nutrono di specie acquatiche, (anfibi, insetti, ecc.) che svolgono il loro ciclo biologico o parti di esso.

10. **Ambienti rocciosi (habitat associati):** vengono valutate otto tipi di ambienti rocciosi, tra cui falesia, lastra, campi solcati etc. Agli ambienti rocciosi è associata una biodiversità con specie particolari che non si trovano altrove.

L'Indice di Biodiversità Potenziale si valuta mediante schede di rilievo in campo, fogli di calcolo e database online per eventuale archiviazione e modifica: (www.foretpriveefrancaise.com/ibp) (Gonin et al., 2020). Il rilevamento è avvenuto utilizzando le schede fornite dal progetto LIFE GoProFor, valutando attentamente le 1092 piante censite all'interno del martelloscopio. Ciascuna pianta è stata esaminata nella sua interezza, iniziando la valutazione dalla base del tronco, lungo il fusto, e singolarmente nelle branche principali fino alla chioma. Le schede compilate sono state successivamente analizzate (*figura 2.2.4.1*).

La biodiversità potenziale arborea è stata analizzata previa consultazione ed utilizzo dell'indice di biodiversità potenziale. In primo luogo, sono stati riportati in un foglio di calcolo Excel tutti i dati relativi ai dendromicrohabitat. Successivamente, partendo dalle schede compilate in campo, si è proceduto alla realizzazione di un grafico radar riassuntivo dell'area, formato dai diversi punteggi accumulati sulla base dei 10 fattori criteri diagnostici. Sulla base del numero di dendromicrohabitat presenti, ed in relazione agli interventi selvicolturali proposti, sono stati redatti anche istogrammi riassuntivi di ciascun intervento selvicolturale simulato.



Scheda di rilevamento IBP Percorso completo o parziale

Regioni continentale e alpina
piani collinare, montano e subalpino
+ piano montano mediterraneo

RIFERIMENTI DEL RILIEVO

Nome del rilievo:
Data:
Tipo di percorso: completo - parziale
Superficie percorsa (ha) = totale (se percorso parziale) =
Se percorso lineare : larghezza x lunghezza (m) =
Nomi degli osservatori:
Commenti sulla diagnosi:

LOCALIZZAZIONE DEL RILIEVO

Provincia: città:
Nome della foresta o comprensorio / località:
Altro:
Proprietario, gestore :
Contatto per l'accesso alla foresta:
Coordinate (e riferimento.): Alt. (m) :

CRITERI DIAGNOSTICI IBP

Versione IBP : Regione : continentale o alpina
Fertilità : da fertile a moderatamente fertile/ fertilità molto bassa Piano : pianiziale e collinare, montano, subalpino o piano montano mediterraneo

A - Specie autoctone	Numero di specie autoctone, alberi vivi di altezza > 50 cm o alberi morti, comprese nel seguente elenco di generi (senza distinzione di specie)	max	collinare e mont.	subalpino
		<i>Abies</i> + <i>Acer</i> + <i>Alnus</i> + <i>Betula</i> + <i>Carpinus</i> + <i>Castanea</i> + <i>Fagus</i> + <i>Fraxinus</i> + <i>Juglans (regia)</i> + <i>Juniperus (thurifera)</i> + <i>Larix</i> + <i>Malus</i> + <i>Ostrya</i> + <i>Picea</i> + <i>Pinus</i> + <i>Populus</i> + <i>Prunus</i> + <i>Pyrus</i> + <i>Quercus</i> deciduo + <i>Quercus</i> sempreverde + <i>Salix</i> + <i>Sorbus</i> + <i>Taxus</i> + <i>Tilia</i> + <i>Ulmus</i> +	5 (3 nel subalpino)	0 1 2 5
	Copertura di tutte le specie autoctone / superficie descritta		< 50 % o ≥ 50 %	0 genere 1 genere 2 generi 3 o + generi
B - Struttura verticale della vegetazione	Numero di strati con foglie ≥ 20 % della superficie descritta (Conteggiare il numero di strati, qualunque sia la specie, autoctona o meno)			0 : 1 strato
	erbaceo e semi-legnoso			1 : 2 strati
	legnoso molto basso (< 1,5 m)			2 : 3 o 4 strati
	legnoso basso (1,5 à 7 m)			5 : 5 strati
	legnoso intermedio (7 à 20 m)			
C - Legno morto in piedi di grandi dimensioni	Numero di legno morto (LM, autoctono o meno) di altezza ≥ 1 m	max		0 : < 1 LMg/ha e < 1 LMm/ha
	LMg: di grandi dimensioni: D > 37,5 cm (D > 17,5 cm caso fertilità molto bassa ¹ e specie a crescita lenta)	3/ha		1 : < 1 LMg/ha e ≥ 1 LMm/ha
	se LMg < 1/ha → LMm di medie dimensioni: 17,5 < D < 37,5 cm	1/ha		2 : ≥ 1 e < 3 LMg/ha 5 : ≥ 3 LMg/ha
D - Legno morto al suolo di grandi dimensioni	Numero di legno morto (LM, autoctono o meno) di lunghezza ≥ 1 m	max		0 : < 1 LMg/ha e < 1 LMm/ha
	LMg: di grandi dimensioni: D > 37,5 cm (D > 17,5 cm caso fertilità molto bassa ¹ e specie a crescita lenta)	3/ha		1 : < 1 LMg/ha e ≥ 1 LMm/ha
	se LMg < 1/ha → LMm di medie dimensioni: 17,5 < D < 37,5 cm	1/ha		2 : ≥ 1 e < 3 LMg/ha 5 : ≥ 3 LMg/ha
E - Alberi vivi di grandi dimensioni	Numero di alberi vivi (autoctono o meno):	max		0 : < 1 AGD/ha e < 1 AMGD/ha
	Alberi di grandi dimensioni (AGD) : D > 67,5 cm (D > 47,5 cm caso fertilità molto bassa e specie a crescita lenta)	5/ha		1 : < 1 AGD/ha e ≥ 1 AMGD/ha
	se AGD < 1/ha → AMGD: 47,5 < D < 67,5 cm	1/ha		2 : ≥ 1 e < 5 AGD/ha 5 : ≥ 5 AGD/ha
F - Alberi vivi con dendromicrohabitat (dmh)	Numero di alberi vivi portatori di dmh (autoctone o meno; contare un massimo di 2 alberi/ha per gruppo di dmh elencati di seguito, fino a un massimo di 6 alberi/ha)			0 : < 1 albero/ha
	Cavità formate da picidi			1 : ≥ 1 e < 2 alberi/ha
	Cavità del tronco con rosura (σ > 10 cm o > 30 cm se semiaperta o aperta)			2 : ≥ 2 e < 6 alberi/ha
	Fori di uscita e gallerie scavate da insetti (σ > 2 cm)			5 : 6 o + alberi/ha
	Concavità (σ > 10 cm, prof. > 10 cm): dendrotelmi riempiti con acqua o concavità di radice o concavità con fondo duro del tronco o foro di alimentazione del picchio)			
	Alburno esposto: tronco senza corteccia o lesione da fuoco (S > 600 cm ² = A4) o corteccia parzialmente staccata (larghezza > 1 cm, profondità e altezza > 10 cm)			
	Alburno e durame esposto: cima spezzata (σ > 20 cm) o branca rotta a livello del tronco (S > 600 cm ² = A4) o fessura (larghezza > 1 cm, profondità > 10 cm, lunghezza > 30 cm)			
	Legno morto nella chioma: rami o cima (σ > 20 cm e L > 50 cm, o σ > 3 cm e > 20% della chioma morta)			
	Agglomerato di succhioni o ramuli: scopazzo batterico (> 50 cm) o riscoppi (con > 5 succhioni)			
	Crescita tumorale e cancro (σ > 20 cm)			
	Corpi fruttiferi fungini perenni: Polyporales (σ > 5 cm)			
	Corpi fruttiferi fungini effimeri: Polyporales annuali o Agaricales carnosi (σ > 5 cm o numero > 10)			
	Piante e licheni epifiti o parassiti: muschi o licheni fogliosi / fruticosi o edera / liane (> 20 % del tronco per ogni tipo) o vischio (10 agglomerati > 20 cm)			
	Nidi: grandi nidi di vertebrati (> 80 cm)			
	Microsuolo (presente a qualsiasi altezza nella chioma)			
Fuoriuscite di linfa e resina (fuoriuscita attiva > 20 cm)				

2.2.5 Valutazione degli assortimenti ritraibili

La norma europea EN 1316-1:1999 «Classificazione qualitativa del legname tondo di latifoglie. Querce e Faggio», elaborata dal Comitato Tecnico CEN/TC 175 «Legno tondo e segati», prende in considerazione una serie di caratteristiche che vanno dalla lunghezza minima del toppe, al diametro medio, alla presenza di alborno, al tasso di accrescimento, al colore, ai nodi (sani e alterati), all'eccentricità del cuore, alla presenza di marciumi. In funzione delle suddette caratteristiche, valutate tramite un esame visivo dell'aspetto superficiale del fusto, vengono identificate differenti classi di qualità per le principali specie legnose. La prima parte della norma che prende in considerazione il faggio, prevede 4 classi:

- Classe A: classe di qualità eccezionale;
- Classe B: classe di qualità normale;
- Classe C: classe di qualità inferiore;
- Classe D/IT: classe di qualità non specificata (in quest'ultima classe rientra tutto il toname escluso dalle precedenti e che per almeno il 40% del suo volume risulti utilizzabile)
- *Fuel Wood*: ovvero, come legna da ardere, carbone, trucioli, fogli, pellet e segatura

La classificazione degli assortimenti legnosi ritraibili prevede dunque le suddette classi, ognuna delle quali avrà un prezzo di mercato diverso, stimato in base alle caratteristiche del legno e del luogo in cui si trova. Ogni individuo arboreo è stato valutato in base alle caratteristiche fisionomico-strutturali del fusto, indipendentemente dalla presenza o meno di dendromicrohabitats. Nel caso della particella oggetto di studio, la valutazione degli assortimenti legnosi è stata effettuata valutando attentamente, in fase iniziale, la possibilità di ottenere materiale di pregio, o per presenza di dimensioni diametriche ridotte, altezza di difetti, associarla alla classe di *Fuel Wood*. I fattori che hanno influenzano la classificazione per le prime tre classi sono principalmente due: la presenza di nodi sani, che coincide con la presenza di rami verdi oppure già secchi ma privi di marciumi e la rettilineità del fusto nei casi in cui la deviazione massima sia compresa tra 0-10% (Nosenzo et al., 2019). I motivi legati alla scelta di classificare il popolamento in una classe piuttosto che in un'altra tengono conto anche della potenzialità economica dell'intervento.

2.3 Analisi dei dati rilevati

2.3.1 Analisi della struttura forestale

L'analisi dei dati dendrometrico-strutturali è stata effettuata a partire dai dati di campo riportati su foglio elettronico. Sono stati realizzati grafici di distribuzione di frequenza in classi diametriche da 5 cm e in classi di altezza di 3 m, calcolate sia globalmente per l'intero martelloscopio che per i 4 quadranti.

2.3.2 Analisi delle relazioni clima accrescimento e della sensitività climatica

La misurazione e analisi degli anelli legnosi è avvenuta mediante la stazione LINTAB con l'utilizzo del programma TSAP. Ogni campione misurato è stato datato al 2022, poiché l'accrescimento dell'anello al momento dei rilievi (maggio 2023) non era ancora completo. È stata inoltre effettuata una sincronizzazione visiva delle serie misurate, cercando la sovrapposizione in corrispondenza di anni caratteristici (*figura 2.3.2.1*). La qualità della sincronizzazione visiva è stata poi valutata tramite software COFECHA (Holmes 1983), che fornisce somiglianza tra soggetti di ogni campione rispetto alla cronologia media (master chronology). Le serie di ampiezza anulare (espresse in mm) sono state

successivamente standardizzate al fine di rimuovere tendenze dovute all'età dell'albero e ad altri fattori di medio-lungo termine salvaguardando la variabilità ad alta frequenza. Questa procedura è stata effettuata attraverso il pacchetto *dplR* in ambiente R, utilizzando una *spline* cubica a 25 anni smussata con un variante *cutoff* del 50% (Bunn 2010). Successivamente, è stata calcolata una media robusta delle serie indicizzate, escludendo i valori ± 6 rispetto alla deviazione standard (*outliers*). Questa operazione permette di ottenere la cronologia standard del popolamento. La cronologia standard è stata quindi confrontata con le serie climatiche di temperature (medie, minime e massime), precipitazioni e SPEI. L'indice SPEI (*Standardized Precipitation Evapotranspiration Index*), sviluppato da Vicente-Serrano et al. (2010), nasce come estensione del più diffuso indice SPI. L'indice SPI (*Standardized Precipitation Index*) è un indicatore statistico basato sul confronto tra la precipitazione registrata in un determinato luogo e in un determinato periodo di mesi (t) (dove $t = 3, 6, 12$ e 24 mesi nel presente bollettino) con la distribuzione a lungo termine della precipitazione per quel determinato luogo aggregata per lo stesso periodo di tempo. Il calcolo dello SPI si basa quindi sull'analisi di una serie storica a lungo termine di osservazioni di precipitazione aggregate su un determinato intervallo temporale, solitamente di almeno 30 anni. Nel caso dell'indice SPEI, oltre alle precipitazioni, si considera anche l'evapotraspirazione potenziale di riferimento (ET0) come secondo elemento del bilancio idroclimatico. L'indice SPEI contempla anche l'effetto della componente evapotraspirativa nel monitoraggio degli eventi siccitosi. Analogamente allo SPI, il calcolo si può effettuare su più scale temporali, solitamente 1 o più mesi, considerando le cumulate di precipitazioni ed ET0. Il procedimento di calcolo è del tutto simile allo SPI, tranne per la scelta della distribuzione probabilistica che descrive i valori cumulati di bilancio idroclimatico (log-logistica), che è differente rispetto a quella usata nello SPI per le cumulate di precipitazioni (gamma). L'utilizzo della distribuzione log-logistica, come descritto e suggerito dagli autori, è relativo anche al fatto che il bilancio idroclimatico può raggiungere valori anche negativi. L'evapotraspirazione potenziale mensile viene ottenuta come somma dei valori giornalieri di ET0, calcolati attraverso la formula di Hargreaves, che ne permette la stima utilizzando i soli valori di temperatura minima e massima giornaliera. Le serie climatiche sono state correlate (R di Pearson) con la cronologia standard. La significatività delle correlazioni è stata valutata attraverso il metodo *bootstrap* con 1000 replicazioni, impostando un $\alpha = 0.05$. Le analisi sono state condotte con il software *dendroclim2002* (Biondi e Waikul 2004). Il periodo di analisi dendroclimatica è compreso tra il 1950 e il 2022. I mesi considerati per l'analisi corrispondono all'anno biologico, ovvero da agosto dell'anno precedente alla formazione dell'anello a ottobre dell'anno in corso. I dati climatici sono stati estrapolati dalla griglia climatica E-OBS fornita da Copernicus. Gli anni caratteristici negativi (anelli molto stretti riscontrabili su più individui in maniera sincrona) sono stati confrontati con il verificarsi di eventi che limitano l'accrescimento nel faggio, tra cui annate di pasciona, siccità e gelate primaverili (tardive).

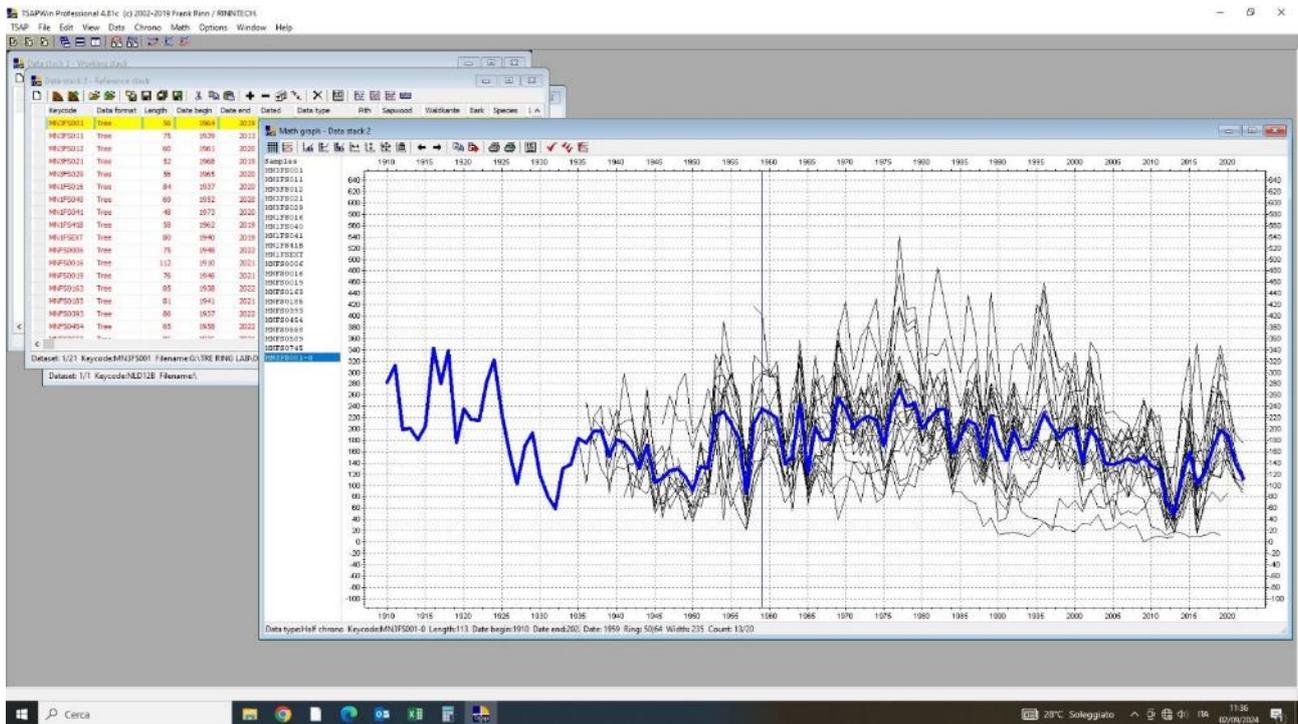


Figura 2.3.2.1: sincronizzazione visiva delle serie misurate tramite software TSAP

2.3.3 Confronto con altre serie di faggio Appenniniche

Durante le analisi sono state utilizzate anche altre cronologie di faggio dell'Appennino centrale disponibili presso il TreeringLab di UNIVPM da o presenti nell'archivio ITRDB (*International Tree Ring Data Bank*). Le cronologie prese in esame e confrontate sono distribuite lungo l'Appennino centrale, fra Emilia-Romagna, Marche, Umbria ed Abruzzo (*figura 2.3.3.1*). In Emilia-Romagna, l'area è sita nella provincia di Forlì Cesena (FC), nella Valle del Tramazzo, ad un'altitudine compresa tra i 983 ed i 1075 m s.l.m.. Nella regione Umbria, le aree sono ubicate nella provincia di Perugia (PG), sul Monte Coscerno, tra i 1200 ed i 1400 m s.l.m. e Val di Ranco tra i 1050 e 1100 m s.l.m.. Nelle Marche le aree si trovano in provincia di Pesaro Urbino (PU), più precisamente sul Monte Acuto, tra 1000 e 1450 m s.l.m., in provincia di Ancona (AN), a Val di Castro, tra 750 e 900 m s.l.m., e in provincia di Ascoli Piceno (AP), sui Monti della Laga, tra 1686 e 1764 m s.l.m.. Infine, in Abruzzo, i rilievi si sono concentrati sulla Montagna dei Fiori, in provincia di Teramo (TE) tra 1185 e 1482 m s.l.m..

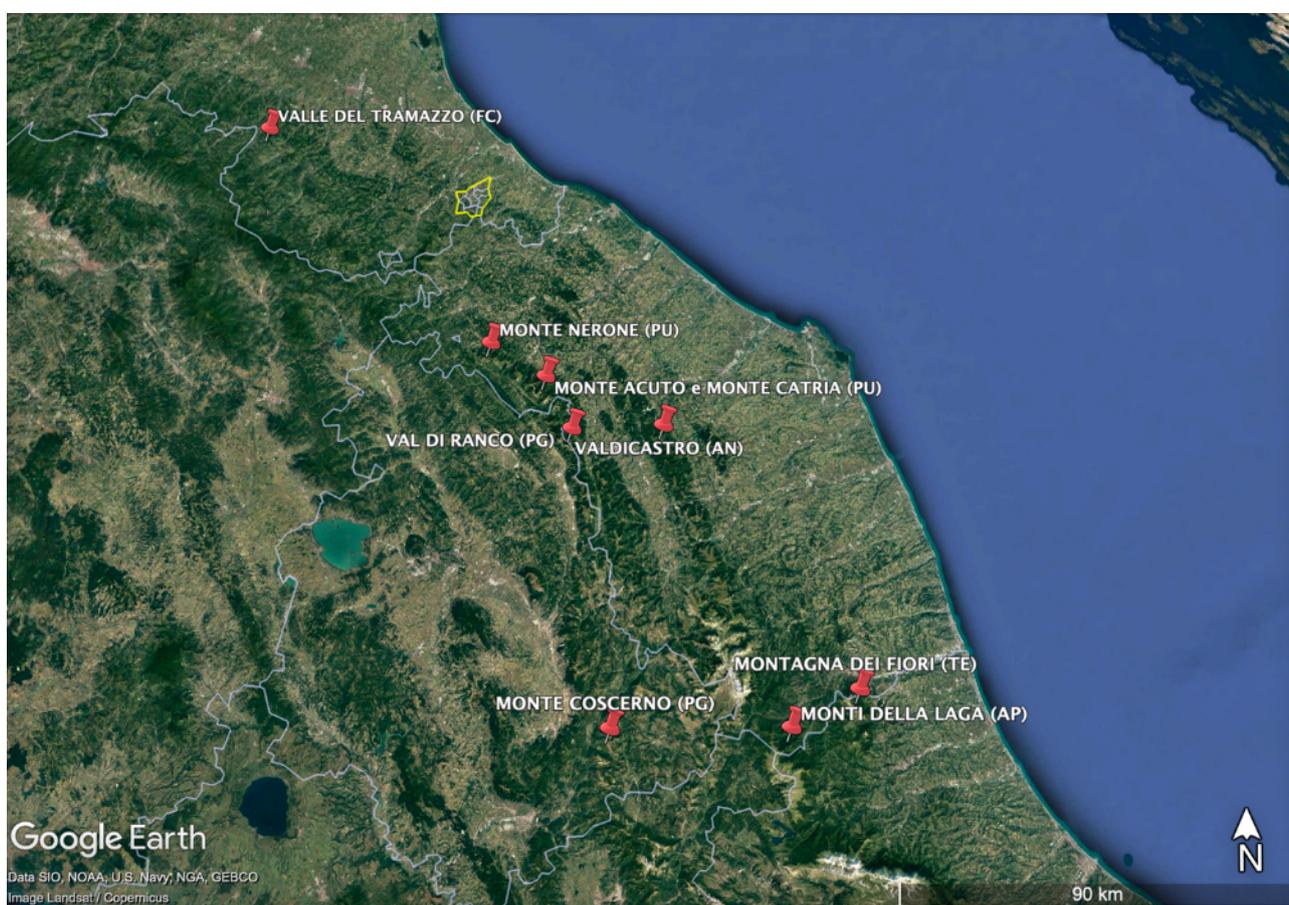


Figura 2.3.3.1: localizzazione dei siti e delle rispettive cronologie di faggio confrontate nell'analisi delle relazioni clima-accrescimento

Tabella 2.3.3.1: elenco dei siti confrontati nell'analisi clima-accrescimento, vengono riportati sigla e nome per esteso del sito, la provincia di appartenenza, le coordinate geografiche e l'altitudine espressa in m s.l.m.

Sigla	Sito	Provincia	Latitudine (N)	Longitudine (E)	Altitudine (m s.l.m.)
VDT	Valle del Tramazzo	Forlì-Cesena (FC)	440.833	117.833	983-1075
COS	Monte Coscerno	Perugia (PG)	427.148	128.780	1200-1400
VDR	Val di Ranco	Perugia (PG)	433.577	127.662	1050-1100
ACU	Monte Acuto	Pesaro-Urbino (PU)	434.774	126.861	1000-1450
CTR	Monte Catria	Pesaro-Urbino (PU)	434.632	126.982	1100-1300
NRE	Monte Nerone	Pesaro-Urbino (PU)	435.554	125.164	1400-1445
VDC	Valdicastro	Ancona (AN)	433.629	130.404	750-900
MDL	Monti della Laga	Ascoli Piceno (AP)	427.125	133.892	1686-1796
MDF	Montagna dei Fiori	Teramo (TE)	427.885	135.876	1185-1482

2.3.4 Simulazione degli interventi selvicolturali

La fustaia transitoria che costituisce il martelloscopio dovrà nel prossimo futuro subire interventi di diradamento e pertanto sono state effettuate due simulazioni di intervento. Sulla base di due differenti approcci selettivi di gestione forestale sostenibile: a) massimizzare la produzione legnosa e b), valorizzare la biodiversità presente. Il diradamento selettivo consiste nella scelta di singole piante da abbattere, in base agli obiettivi posti (figura 2.3.4.1). Nei diradamenti selettivi il criterio di scelta delle piante da eliminare parte dalla scelta degli alberi, detti candidati, (quindi destinati ad arrivare a fine turno), eliminando in seguito le piante concorrenti, cioè che occupano lo spazio vitale dei candidati. Viene così rilasciato il popolamento accessorio degli alberi indifferenti che costituiranno il corredo boschivo a tutela e protezione dei candidati. La scelta della pianta candidata avviene valutando diversi parametri come la dimensione, la vigoria, la qualità del fusto (difetti e forma), in funzione dell'attitudine degli individui a fornire eventualmente legname di pregio, o come spesso accade nei boschi dell'appennino, legna energia (Bernetti et al., 2012).

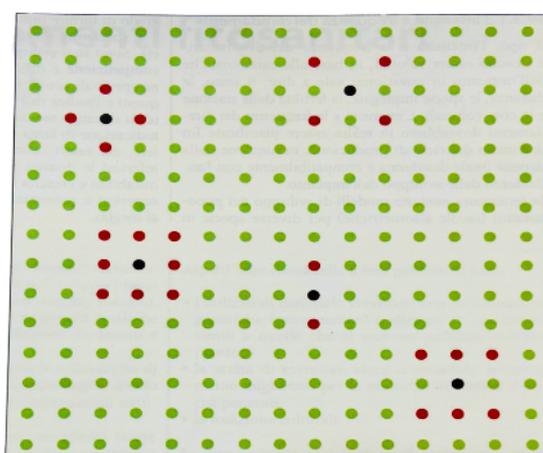


Figura 2.3.4.1: esempio di schema di diradamento selettivo. In nero i candidati, in rosso i concorrenti da eliminare, in verde gli indifferenti. La scelta del concorrente dipende dal grado di competizione dello stesso con il candidato.

Il secondo intervento finalizzato a garantire e tutelare la biodiversità presente e futura, è stato basato sull'indice di biodiversità potenziale (IBP), cercando di valorizzare e quindi rilasciare gli individui con dendromicrohabitat (figura 2.3.4.2)



Figura 2.3.4.2: esempi di dendromicrohabitat rinvenuti in alberi del martelloscopio

La simulazione relativa al diradamento selettivo con scopo produttivo è partita dapprima in laboratorio utilizzando il software *Q-GIS 3.10*, un software GIS (Geographic Information System), che permette di analizzare e editare dati spaziali e di generare cartografia. *QGIS* supporta sia dati vettoriali che raster. Importando inizialmente il progetto di *Q-Field* prodotto dal rilievo in campo durante la fase di cavallettamento e perimetrazione dell'area, si è proceduto alla selezione delle piante candidate, selezionando prima le 40 piante con diametro più grande per ciascun quadrante, scremando poi fino ad arrivare ad un totale di 25 piante poste in maniera equidistante l'una dall'altra.

Terminata questa fase di selezione delle piante candidate, si è passati al lavoro in campo, le due simulazioni sono state portate avanti singolarmente, prima la simulazione relativa al diradamento selettivo produttivo, e successivamente quello relativo al diradamento selettivo conservativo.

Una volta terminati i rilievi in campo, si è proceduto con l'analisi in laboratorio dei dati raccolti, utilizzando tablet con software *Integrate+*, all'interno del quale è stato inserito il plot totale da *Q-GIS* dell'area a martelloscopio, e dove successivamente state inserite tutte le piante considerate da abbattere per la prima e seconda simulazione. Al termine della selezione, è stato prodotto un output per ciascuna simulazione, dove vengono riportati dati sulle variazioni delle caratteristiche dendrometrico strutturali quali diametro ed altezza, tipologia di dendromicrohabitat presenti, valore economico dell'intervento, valore dal punto di vista degli habitat, area basimetrica e volume, conflitti tra valore produttivo e di biodiversità ed infine valore economico connesso alla categoria (*A, B, C, Industrial Timber, FuelWood*).

Tutti questi dati sono poi stati elaborati su foglio di calcolo Excel per produrre specifici grafici riassuntivi e di confronto tra le simulazioni. In ultima istanza attraverso l'elenco di piante censite nell'area, è stato possibile realizzare una restituzione 3D di tutte le piante presenti all'interno del popolamento attraverso *Cloud Compare*. *CloudCompare* è un software di elaborazione di nuvole a punti 3D (e mesh triangolare), originariamente progettato per eseguire il confronto tra due dense nuvole di punti 3D (come quelle acquisite con uno scanner laser) o tra una nuvola di punti e una maglia triangolare. Si basa su una specifica struttura Otree dedicata a questo compito. Successivamente, è stato esteso a un software di elaborazione cloud di punti più generico, inclusi molti algoritmi avanzati (registrazione, ricampionamento, gestione dei campi di colore, normali,

scalari, di calcolo statistico, gestione dei sensori, segmentazione interattiva o automatica, miglioramento del display, ecc).

3 RISULTATI E DISCUSSIONE

3.1 L'area del martelloscopio

La Rete *Integrate* +, promossa dall'European Forest Institute (EFI), ha come obiettivo la promozione della Gestione Forestale Integrata, che concilia la conservazione della biodiversità con la selvicoltura. Uno degli strumenti più importante per raggiungere questo obiettivo è creare in bosco delle aree dimostrative dove tutti coloro che si occupano di gestione forestale possano esercitarsi a fare valutazioni non solo di carattere economico ma anche ecologico ed ambientale. Per questo il Progetto *Integrate* ha definito una specifica procedura per la realizzazione dei martelloscopi e ha messo a punto un software che li rende operativi. Oggi *integrate* collega più di 100 siti dimostrativi in tutta Europa. Il martelloscopio del Monte Nerone, a partire dall'anno 2023 è entrato a tutti gli effetti all'interno di questa rete internazionale.

Seguendo le norme da *Integrate* imposte (superficie di 1 ha e una forma possibilmente quadrata o rettangolare), l'area del martelloscopio è stata suddivisa in quattro quadranti omologhi di superficie poco superiore ai 2500 m² (figura 3.1.1). Nella figura 3.1.2, viene riportato l'output 2D da *FieldMap* dell'intera area censita, dove i punti rappresentano le posizioni di tutte le 1092 piante presenti.

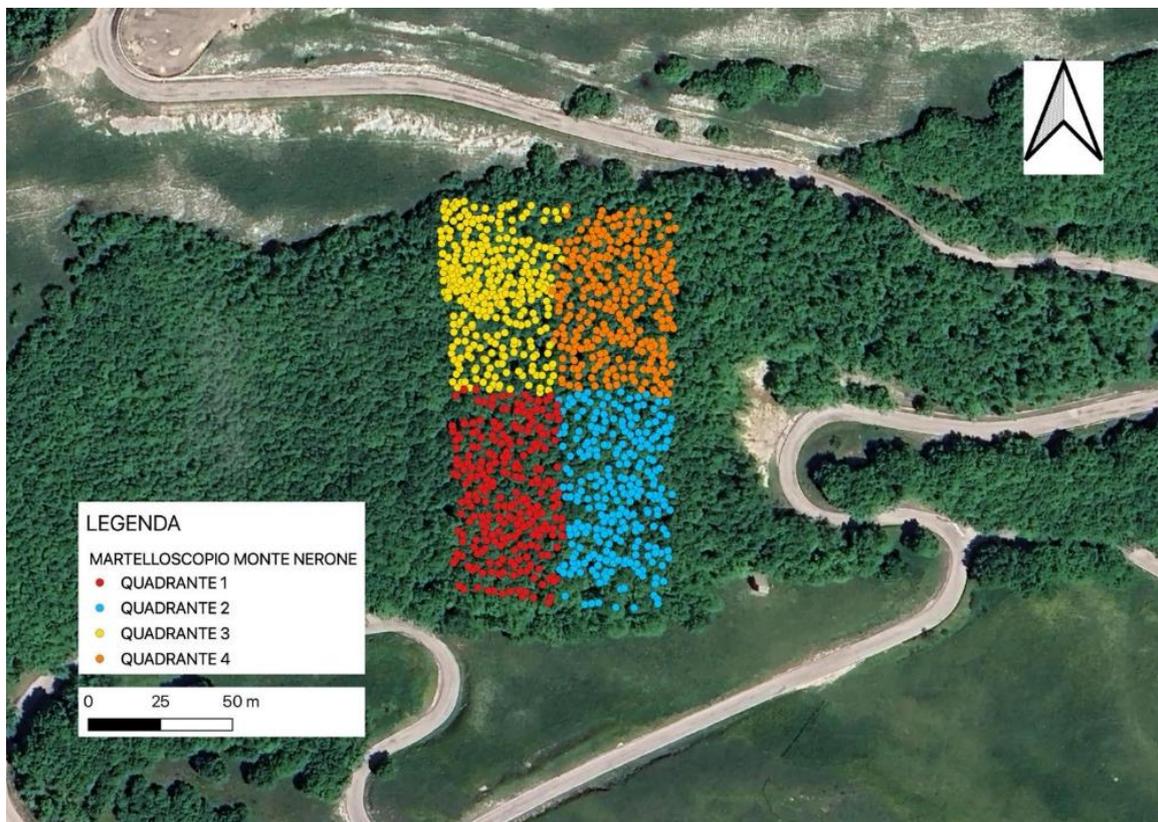


Figura 3.1.1: Area del martelloscopio suddivisa per singoli quadranti



Figura 3.1.2: posizione dei singoli alberi estratte da FieldMap dell'intera area a martelloscopio;

3.2 La struttura forestale: orizzontale, verticale e cronologica

La struttura orizzontale del popolamento è caratterizzata da una tessitura non troppo fine, anche se regolare, con copertura continua e chiome abbastanza ravvicinate. La struttura verticale è monopiana, tipica di boschi monospecifici, con alberi che presentano altezze simili, chiome raccolte in un unico piano ben distanziato da terra, con altezza di inserzione chioma variabile in base all'individuo. La copertura del bosco è colma (>90%), con un soprassuolo caratterizzato per la totalità da *Fagus sylvatica*, fatta eccezione per una sola pianta di *Acer opalus*, presente nel quadrante 1. Il bosco, monopiano, presenta chiome molto ravvicinate tra loro, creando scarsa illuminazione e con limitate possibilità da parte della rinnovazione di potersi sviluppare. All'interno dell'intera area di saggio vi è presenza quasi esclusiva di individui monocormici, con solamente due ceppaie presenti. La capacità pollonifera in questo contesto non ha più spinta e condizioni di luce tali da potersi sviluppare. Nella figura 3.2.1 sottostante viene riportata la distribuzione diametrica degli individui di tutta l'area a

martelloscopio; è evidente come la maggior parte degli individui si attestino nella classe diametrica di 20 cm, seguita dalla classe diametrica di 25 cm e 15 cm. La figura 3.2.2, riporta la frequenza per classi di altezza dell'intera area a martelloscopio; il maggior numero di individui in questo caso si concentra nella classe di 18 m, seguita dalla classe di 15 m.

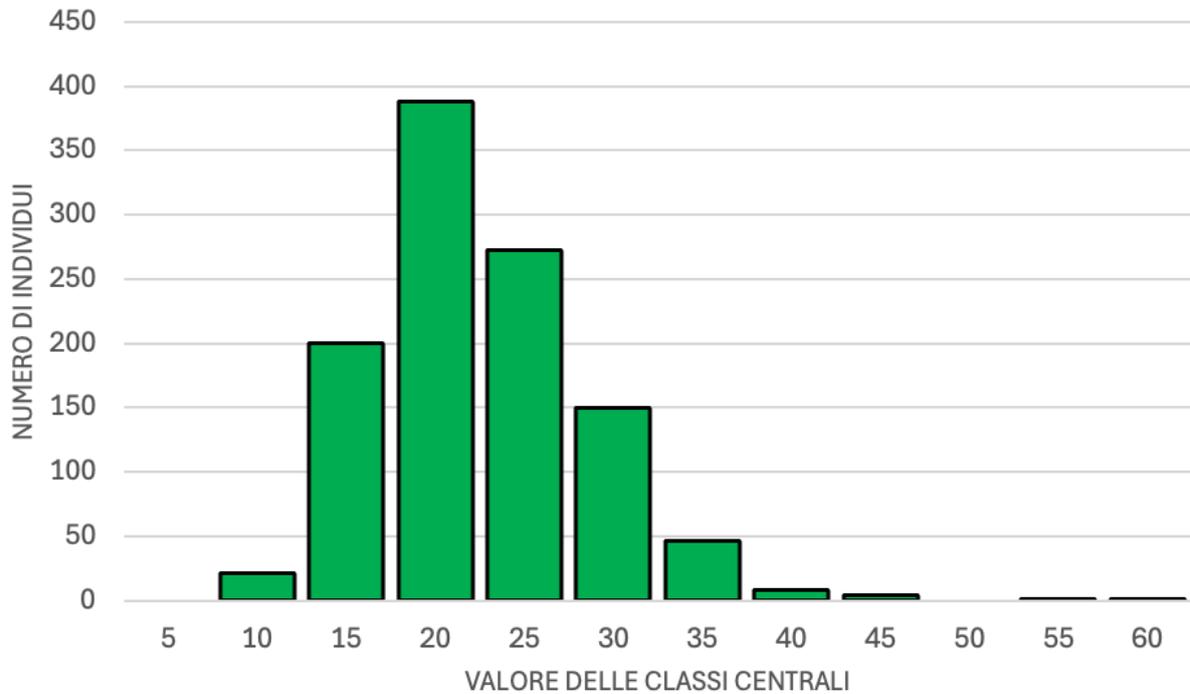


Figura 3.2.1: Distribuzione di frequenza per classi diametriche dell'intera area a martelloscopio

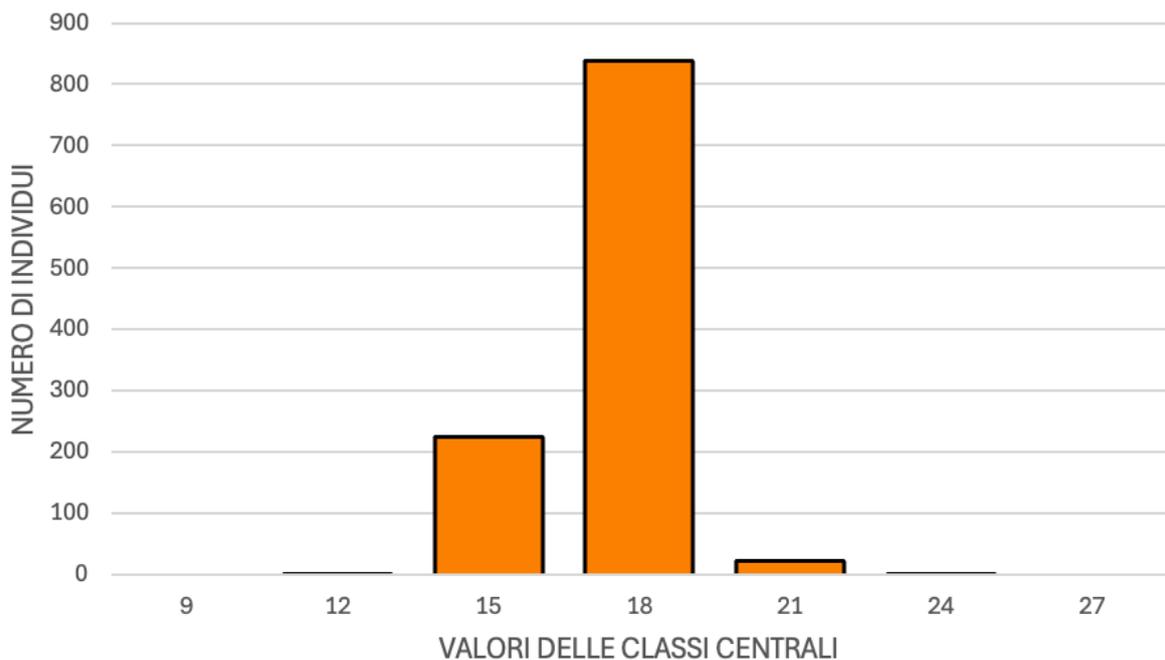


Figura 3.2.2: Distribuzione per classi di altezza dell'intera area a martelloscopio

In *figura 3.2.3* la distribuzione diametrica degli individui dei quattro quadranti, dove la maggior parte degli individui si concentra nella classe diametrica di 15 e 20 cm. Il quadrante 3 è quello con maggior numero di individui distribuiti all'interno della classe diametrica di 15 cm. Solamente pochi individui rientrano all'interno delle classi diametriche di 5, come classe diametrica minima, e di 55 e 60 cm come soglie massime. Nella *figura* successiva 3.2.4, il grafico a barre riporta la frequenza per classi di altezza dei quattro quadranti, dove la maggior parte degli individui si concentra nella classe di 15 m, seguita da 18 m. Il quadrante 3 è quello che si presenta con maggior numero di individui presenti all'interno della classe di altezza con maggiore frequenza.

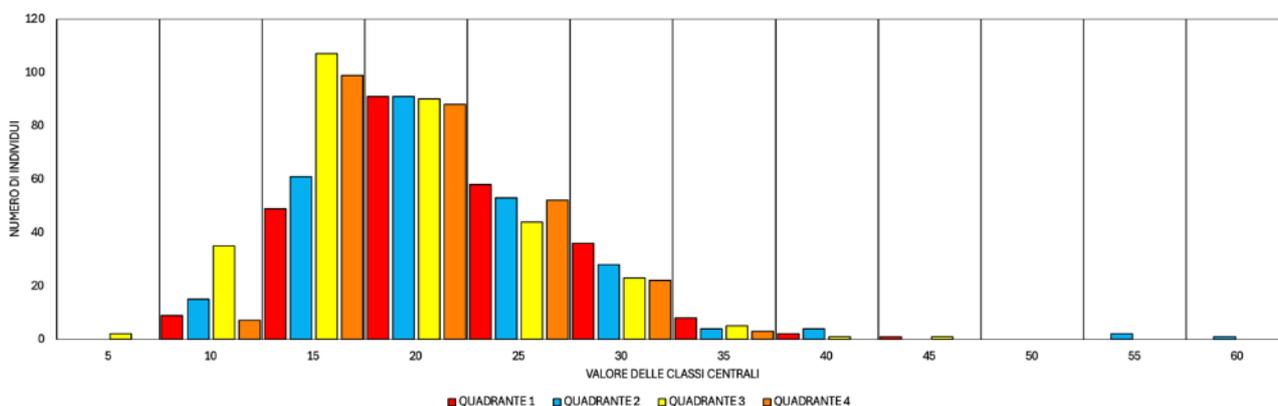


Figura 3.2.3: Distribuzione di frequenza per classi diametriche dei quattro quadranti

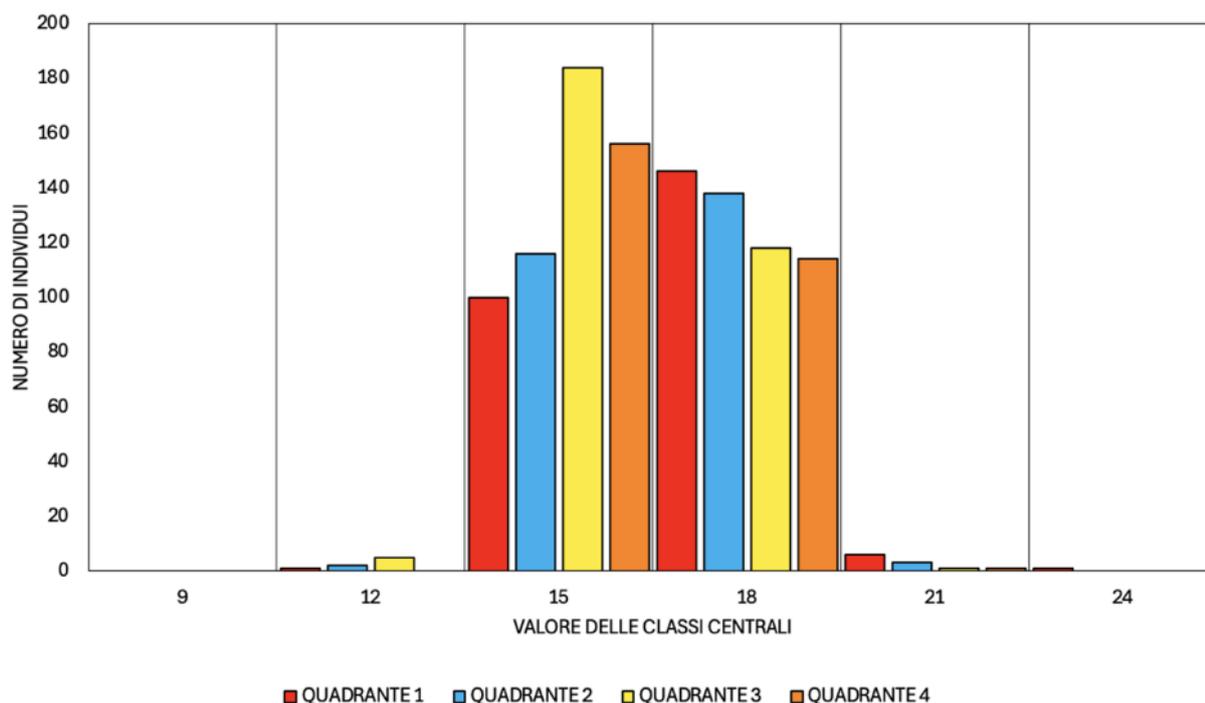


Figura 3.2.4: Distribuzione di frequenza per classi di altezza nei quattro quadranti

Successivamente, attraverso le altezze estratte è stata costruita la relazione diametro altezza riportata in *figura 3.2.5* da cui si evidenzia come l' R^2 sia molto basso, in quanto le piante con cui è stata costruita l'equazione non sono piante modello, ma questa elaborazione comprende piante che hanno dei difetti (piante piegate, sbrancature, cimature, e piante molto filate). Le altezze si concentrano principalmente tra i 15 e 17 metri, si fa in ogni caso riferimento ad una struttura monopiana. L'altezza

dominante si attesta intorno ai 18 m, mentre la minima intorno ai 14. I dati di queste altezze sono stati ottenuti mediante rilievo *GeoSlam*.

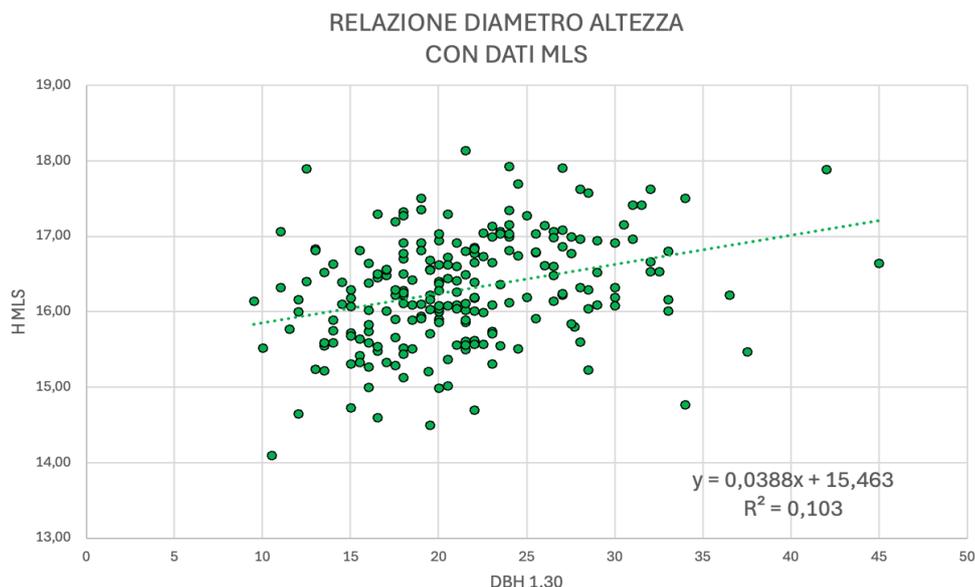


Figura 3.2.5: relazione diametro altezza derivante da altezze estratte da *GeoSlam*

I parametri dendrometrici strutturali rilevati nei 4 quadranti dell'area a martelloscopio sono riportati sinteticamente nella tabella 3.2.1, dalla quale si desume che, facendo riferimento al numero di piante presenti a quadrante, il quadrante 3 è quello che presenta un maggiore numero di piante, pari a 308, mentre il quadrante 1 è quello che presenta un numero minore di piante, pari a 254. Il dato è congruo con l'assetto geomorfologico dell'area, maggiormente pendente nei quadranti in alto, dove c'è maggior numero di piante, rispetto ai due quadranti in basso, con minore pendenza e minor numero di piante. L'area basimetrica dei quattro quadranti è complessivamente simile, con differenze di solo un metro quadrato. Anche lo stesso volume presenta delle differenze di poco conto, con volumi maggiori nei quadranti in basso rispetto a quelli in alto e maggiormente pendenti. Da sottolineare come, le stesse altezze dominanti dei quattro quadranti siano simili, riscontrando una leggera differenza con altezze minori nei quadranti in alto, rispetto ai quadranti in basso, dato osservabile e congruo rispetto a quanto citato sopra circa la pendenza dell'area in tali punti.

Tabella 3.2.1: Principali parametri dendrometrico strutturali del martelloscopio e dei quattro quadranti

	N. Individui	G (m ²)	D _g (cm)	H _g (m)	H _{dom} (m)	Volume (m ³)
QUADRANTE 1	254	10,17	22,58	16,38	18,7	85,43
QUADRANTE 2	259	10,06	22,23	16,37	18,08	83,78
QUADRANTE 3	308	9,27	19,58	16,25	17,68	75,16
QUADRANTE 4	271	8,83	20,37	16,28	17,67	71,62
TOTALE	1092	38,33	21,14	16,32	18,03	315,99

3.3 La biodiversità potenziale arborea (IBP)

Nella *tabella 3.3.1* vengono riportati i valori dei singoli parametri rilevati e il loro totale, mentre in *figura 3.3.1* il grafico radar riassuntivo. Il criterio diagnostico più rilevante è da associare al punto F- alberi vivi portatori di *dendromicrohabitat*, relativo al popolamento, mentre il criterio diagnostico legato alla gestione del soprassuolo, vede un altro 5 associato al punto H- continuità della copertura forestale. Il punteggio di 2 relativo al punto G- ambienti aperti, è strettamente legato alla presenza di numerose aie carbonili all'interno dell'area a martelloscopio. Va specificato che parte dei valori sono nulli o particolarmente bassi, ad evidenziare la limitata potenzialità con questi tipi strutturali e di gestione attuale e pregressa.

Tabella 3.3.1: punteggi dei parametri IBP dell'area a martelloscopio

CRITERI DIAGNOSTICI IBP	PUNTEGGIO
A - specie autoctone (generi)	2
B - Struttura verticale della vegetazione	1
C - legno morto in piedi di grandi dimensioni	0
D - legno morto al suolo di grandi dimensioni	1
E - alberi vivi di grandi dimensioni	0
F - alberi vivi con dendromicrohabitat	5
G - ambienti aperti	2
H - continuità temporale della copertura forestale	5
I - ambienti acquatici	0
J - ambienti rocciosi	0
TOTALE	16

In relazione ai dati ottenuti dal calcolo dell'IBP nell'area del monte Catria (Taras, 2022), per due aree di saggio effettuate in fustaie, i valori di sintesi si attestano attorno a 17 per l'area di saggio 1 e 20 per l'area di saggio 2. Questi valori tendenzialmente più elevati rispetto a quelli ottenuti nell'area del monte Nerone, sono relativi a delle gestioni differenti, oltre che dalla presenza di alberi vivi di grandi dimensioni e legno morto di grandi dimensioni sia al suolo che in piedi che hanno portato a dei valori di sintesi maggiori nell'area del monte Catria. Il valore registrato nell'area del martelloscopio del monte Nerone, che si avvicina a quelli registrati nell'area del monte Catria è di 16 punti. Di seguito viene riportato un grafico radar (*figura 3.3.2*), rappresentativo dei risultati riportati per il calcolo dell'IBP effettuato per le due aree di saggio nelle faggete del monte Catria.

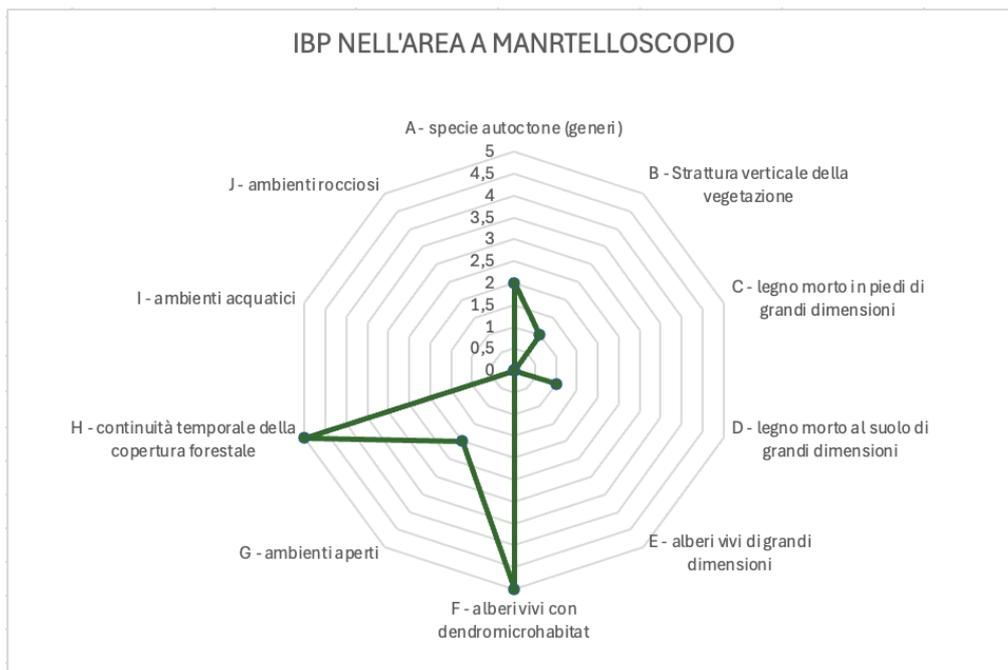


Figura 3.3.1: IBP dell'area a martelloscopio del Monte Nerone

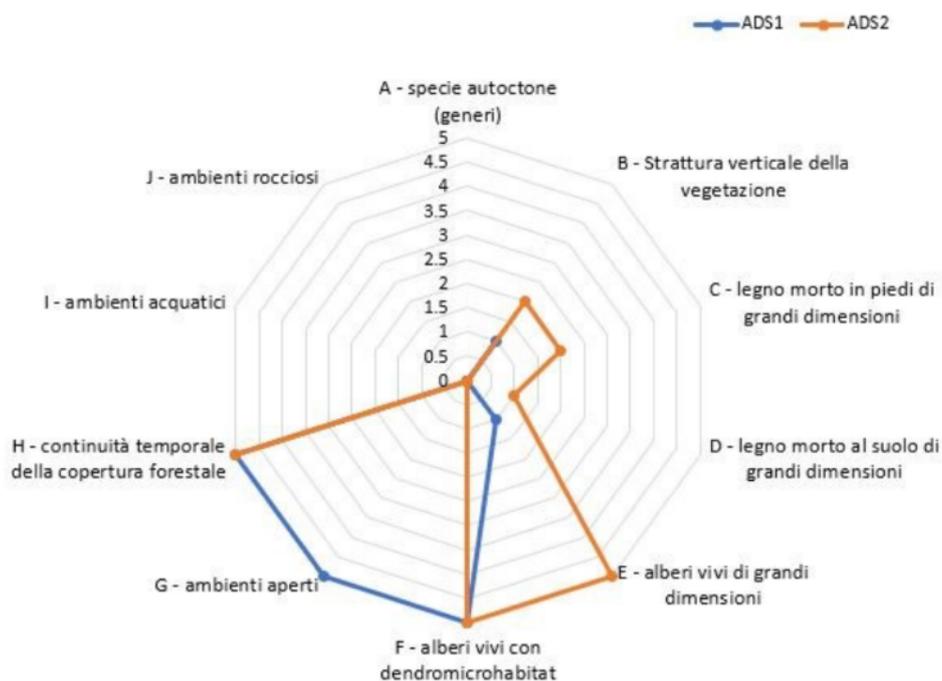


Figura 3.3.2: Confronto tra le distribuzioni delle variabili IBP ADS 1 (blu) e ADS 2 (arancione); (fonte: della tesi di LM: "Fustaie di faggio per la produzione di seme nel gruppo Monte Catria-Acuto" (Taras)

Di seguito, nella *figura 3.3.3*, viene riportato un riepilogo dei principali dendromicrohabitat presenti all'interno dell'area a martelloscopio, le sigle stanno ad indicare: *CV- cavità, IN-lesioni e ferite, BA-corteccia, DE-legno morto, GR-deformazioni/forme di crescita, EP-epifite, NE-nidi, OT-altro*. Il valore maggiore si attesta a 181, relativo alla presenza di cavità, seguite da deformazioni/forme di crescita a 97, valore legato alla grande quantità di scopazzi presenti all'interno dell'area. Il terzo valore più alto riscortato è relativo alla presenza di legno morto, legato per la maggior parte a branche e rami rotti, che hanno determinato la crescita del punteggio fino a 49.

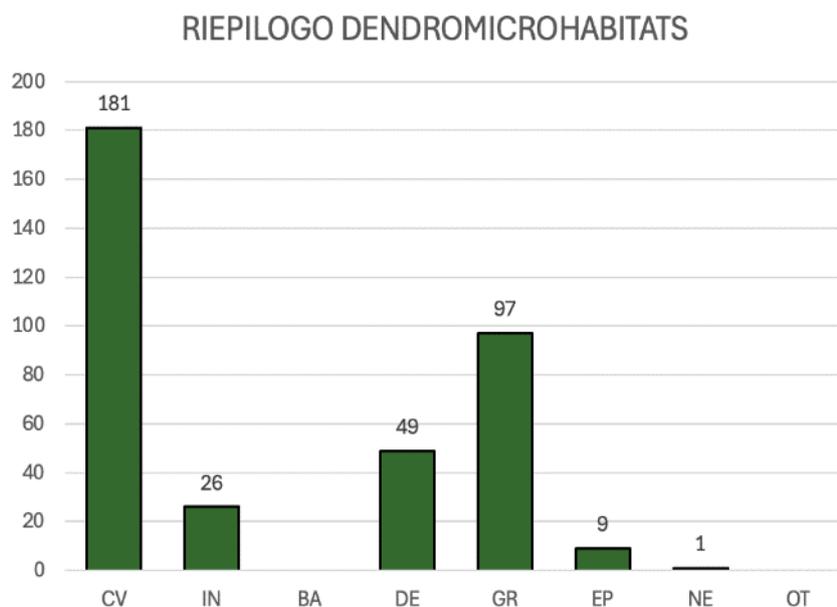


Figura 3.3.3: riepilogo dei dendromicrohabitat nell'area a martelloscopio

3.4 Il valore degli assortimenti ritraibili

All'interno del martelloscopio la valutazione degli assortimenti legnosi ritraibili è stata effettuata considerando tutto il materiale presente come *Fuel Wood*, indipendentemente dalla presenza di microhabitat, per tutti quegli assortimenti con un diametro inferiore ai 15-15,5 cm. I prezzi applicati per la stima monetaria sono di:

- 84 €/m³ il *Fuel Wood*
- 92.4 €/m³ la classe D/IT
- 100.8 €/m³ la classe C

(dati derivanti da prezzi medio di mercato del centro Italia basati sui martelloscopi in Appennino inseriti nella rete Integrate)

Le altre classi non sono state riportate in quanto all'interno del martelloscopio non sono presenti assortimenti di pregio o elevata qualità. Il valore economico nella totalità dell'area a martelloscopio è di 53.423€. In relazione alle diverse classi di appartenenza il valore rispettivo per ogni singola classe riportato è di 16 € per la classe C, 6.705€ per la classe D/IT (Industrial Timber) e di 46.702€ per la classe dei *Fuel Wood* (*tabella 3.4.1*)

Tabella 3.4.1: riassunto valore economico totale area martelloscopio

	A [euro; national currency]	B [euro; national currency]	C [euro; national currency]	D/IT [euro; national currency]	Fuel wood [euro; national currency]	Econ. Value [euro]
TOTALE €	0,00	0,00	15,99	6705,23	46702,77	53423,98

Grazie agli output prodotti dal software *Integrate +* è stato inoltre possibile effettuare un'ulteriore classificazione mediante lo stesso software, sulle due simulazioni effettuate. *Integrate+* ha preso in considerazione diametro, altezza ed eventuale presenza di dendromicrohabitat, andando a suddividere gli assortimenti legnosi appartenenti ad una classe piuttosto che ad un'altra. Sulla base delle due simulazioni portate avanti, il valore economico nella totalità dei due interventi assume dei cambiamenti, come riportato nella tabella 3.4.2 sottostante:

Tabella 3.4.2: sintesi dei dati di *Integrate+* in relazione alla tipologia di simulazione

	TOTALE DIRADAMENTO SELETTIVO CON SCOPO PRODUTTIVO	TOTALE DIRADAMENTO SELETTIVO CON SCOPO CONSERVATIVO
VALORE TOTALE DELLE PIANTE RIMOSSE	17.321 €	9.777 €
VALORE % DELLE PIANTE RIMOSSE	32,4	18,3
VALORE IN PIEDI POST-INTERVENTO	36.103 €	43.647 €
TOTALE MARTELLOSCOPIO	53.424 €	53.424€

Di seguito vengono riportati dei grafici riassuntivi (*figura 3.4.1*) con le relative tabelle circa le % appartenenti alle diverse classi degli assortimenti legnosi. Nel caso della simulazione di diradamento selettivo con scopo produttivo la percentuale (%) di *Fuel Wood* si attesta intorno al 88,4% con 90,7m³ asportati, mentre nel caso del *Industrial Timber* è relativa all'11,6% con 11,9 m³ asportati. Nella simulazione di diradamento selettivo con scopo conservativo, la percentuale di *Fuel Wood* è di 89,7% con 52 m³ asportati, mentre la percentuale di *Industrial Timber* è di 10,3% con 6 m³ asportati.

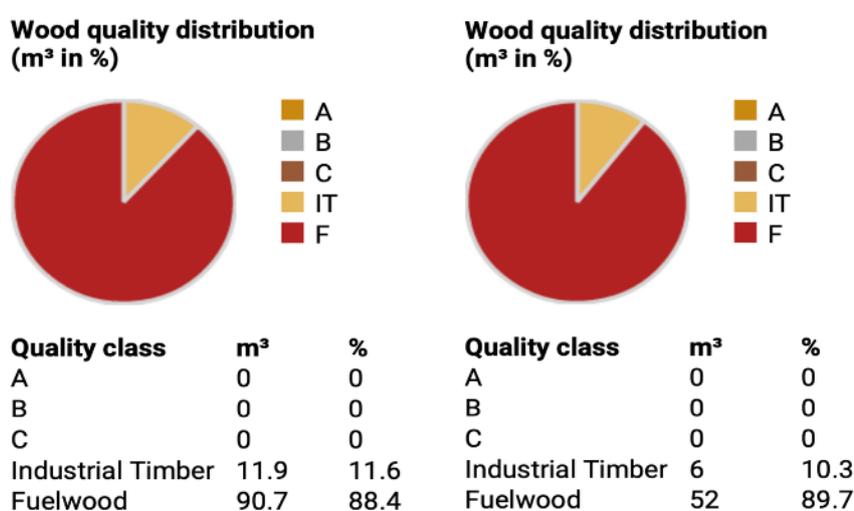


Figura 3.4.1: a sinistra, distribuzione della qualità del legname (WQD) m³ in % per la simulazione del diradamento selettivo con scopo produttivo, mentre a destra la distribuzione della qualità del legname (WQD) m³ in % per la simulazione del diradamento selettivo con scopo conservativo.

3.5 L'assetto cronologico, l'accrescimento e la sensibilità climatica

Nella *tabella 3.5.1* sono riportati i principali parametri dendrometrici delle singole piante carotate nel martelloscopio. Il numero totale di campioni analizzati è 20. L'età media del soprassuolo, calcolata sulla base dei campioni analizzati, si attesta attorno ai 72 anni.

Tabella 3.5.1: statistiche delle piante carotate nell'area del martelloscopio; viene riportata l'età del singolo campione, espressa in anni, il diametro a petto d'uomo (DBH -1.30 m), l'altezza totale della pianta (H) espressa in metri e l'altezza d'inserzione chioma (Crown Base Height- CBH), espressa in metri.

CAMPIONE	ETA' (anni)	DBH (cm)	H (m)	CBH (m)
MN1FS016	86	30,3	17,1	6,2
MN1FS040	71	28,1	17	8,3
MN1FS41B	61	19	17	8,1
MN1FSEXT	83	43		
MNFS0006	75	30	19,6	
MNFS0016	113	61,5	16,8	
MNFS0019	77	27	16,5	2,4
MNFS0163	85	31	23,1	9,3
MNFS0185	82	31,5	19,3	5,3
MNFS0393	86	30	16,4	5,7
MNFS0454	65	43	20,9	6,1
MNFS0558	87	39	20,9	3,1
MNFS0589	61	40,5	18,4	5,5
MNFS0745	81	26	18,6	3,6
MN3FS001	59	21,3	17,3	10,4
MN3FS011	84	16,2	13,2	9,4
MN3FS012	62	22,5	14,1	9,6
MN3FS021	55	15,7	15,6	7,9
MN3FS029	58	14,2	15,1	9,1

La relazione più forte tra le varie statistiche riportate in *figura 3.5.1* risulta quella tra età e diametro (R^2 di 0,379). La tendenza riportata è infatti abbastanza netta, dove all'aumentare del diametro aumenta corrispettivamente anche l'età, per cui possiamo parlare di una buona correlazione.

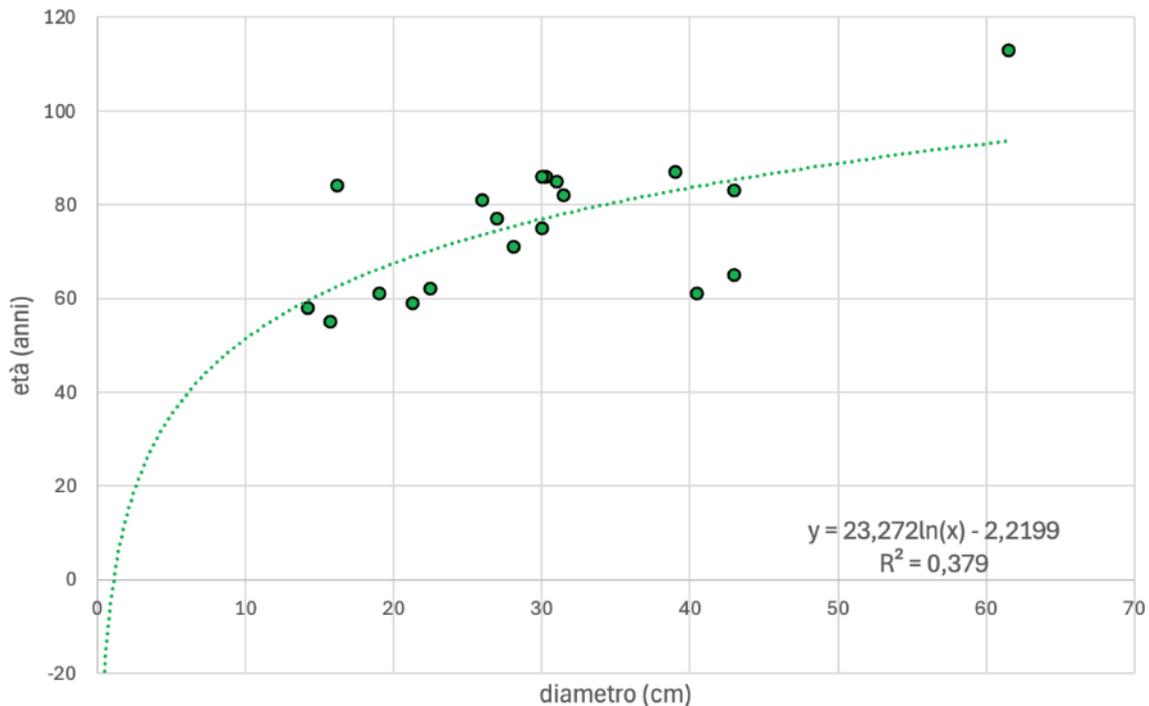


Figura 3.5.1: grafico con relazione diametro (sull'asse delle X) ed età (sull'asse delle Y)

La serie di accrescimento più lunga all'interno dell'area a martelloscopio va dal 1910 al 2023, parliamo dunque di un periodo di 113 anni. Le ampiezze medie relative agli anni sono di 2 mm circa come evidenziato nella figura 3.5.2 sottostante. Viene riportata anche in rosso la media. Grazie a questa serie cronologica è possibile valutare la presenza di annate caratteristiche, sia positive che negative. È evidente come siano presenti anche incrementi molto elevati, come nel caso del 1976 e anelli particolarmente stretti, come nel caso del 2016.

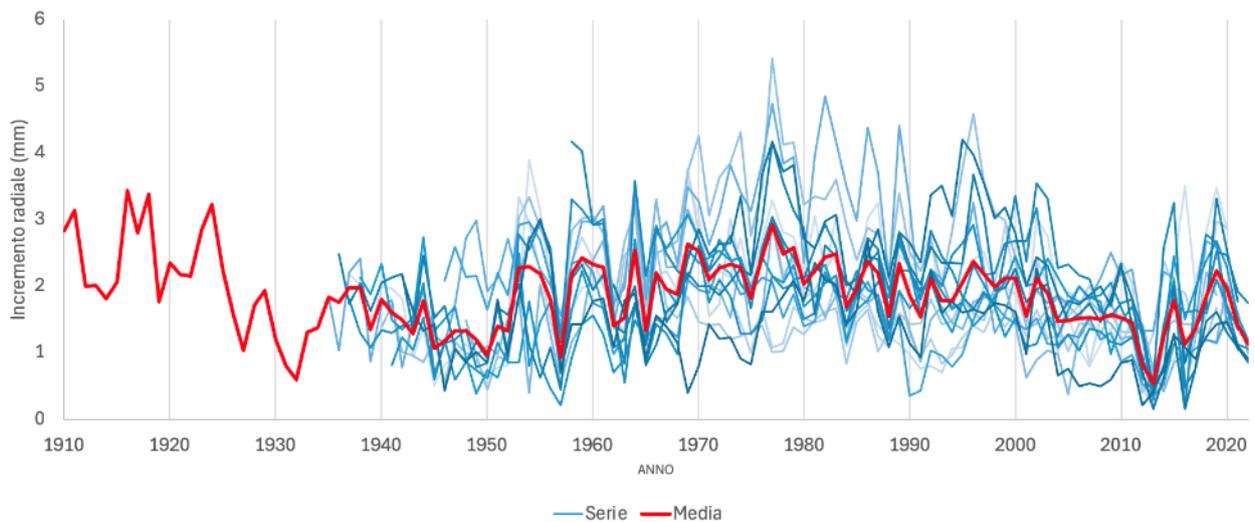


Figura 3.5.2: cronologie individuali e media del faggio del martelloscopio del M. Nerone

Gli anni negativi caratteristici ritornano anche sulle serie indicizzate dove l'effetto dell'età della pianta sull'incremento è stato rimosso attraverso il detrending. Nella figura 3.5.3 si osserva come le

serie cronologiche siano ben sincronizzate in concomitanza di anni caratteristici positivi e soprattutto negativi determinati da fattori eventi meteo-climatici di particolare entità. Nel caso del faggio facciamo riferimento a gelate tardive, gelate precoci, siccità estiva, annate di pasciona (produzione molto abbondante di seme che utilizza risorse normalmente destinate all'accrescimento). Nel 1957 il drastico calo nell'ampiezza anulare è associabile ad una gelata primaverile, come nel caso del 2016 e 2017. Da considerare che in base ai dati climatici, il 2017 è stata un'annata caratterizzata da una severa siccità estiva. Nel caso dell'anno 2016, oltre alla gelata tardiva, l'accrescimento radiale potrebbe essere stato limitato anche dagli effetti di una concomitante pasciona (Figura 3.5.6).

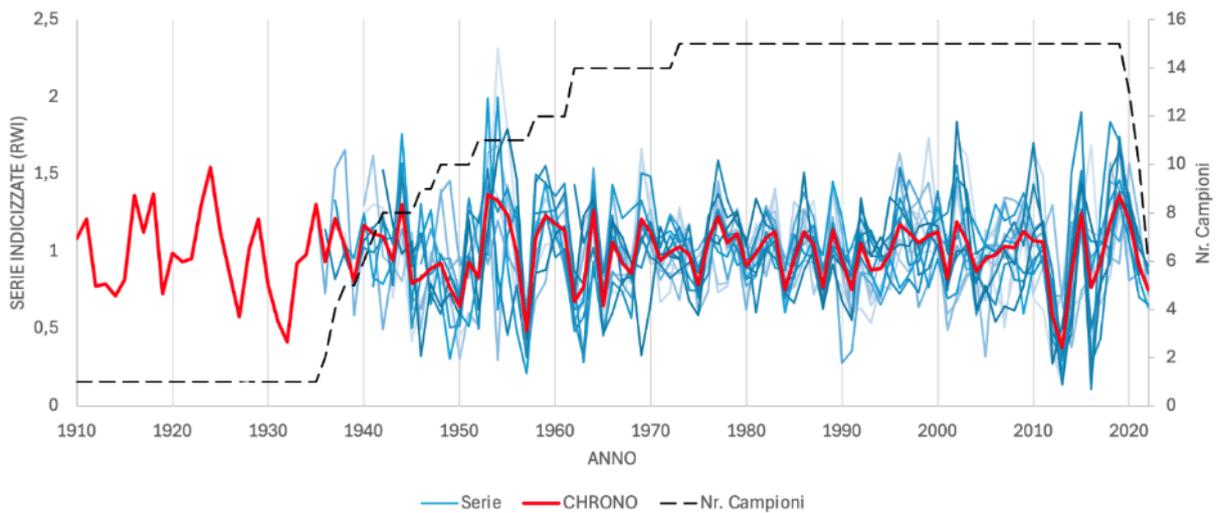


Figura 3.5.6: cronologie individuali e media indicizzate di faggio nel martelloscopio M.Nerone

Lo stesso picco negativo del 1986 potrebbe essere dovuto ad una pasciona, come anche nel 2004. Possiamo infatti interpretare questi picchi negativi come relazioni ad annate di pasciona, come riportato anche nella figura 3.5.7 sottostante:

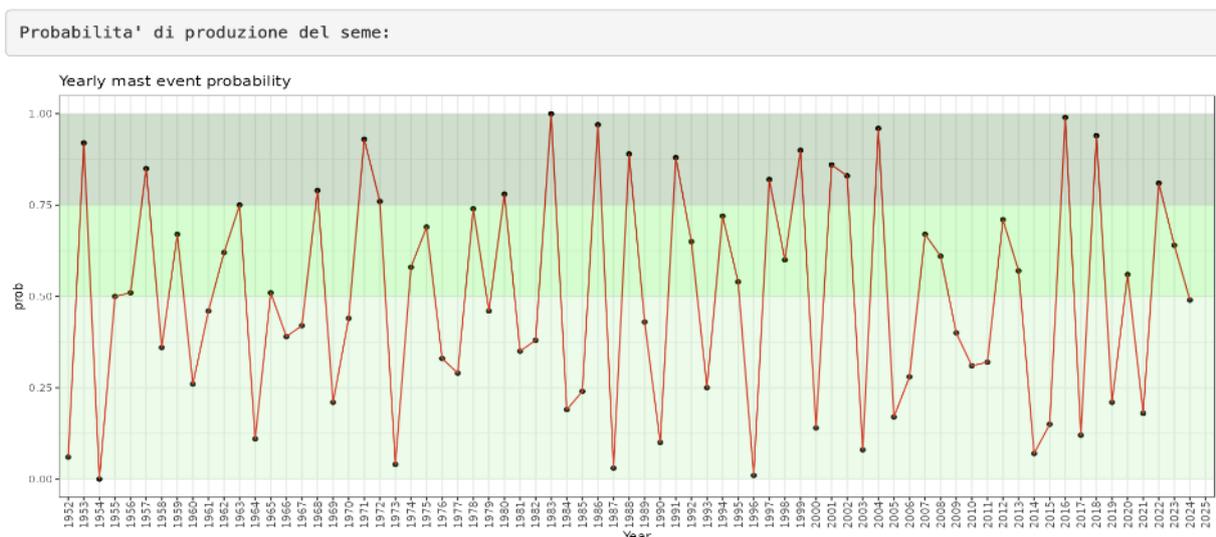


Figura 3.5.7: Previsione della probabilità che si verifichi un evento di pasciona. In ascissa gli anni correnti nei quali si prevede che avvenga la produzione abbondante di seme. In ordinata la probabilità che si verifichi l'evento (elaborazione con ShinyForeMast, Chiavetta e Marzini 2021).

Riguardo alle relazioni tra clima e accrescimento, le temperature medie (T med), hanno un effetto negativo nei mesi di agosto e settembre dell'anno precedente alla formazione dell'anello (*Figura 3.5.8*). Anche le temperature massime (TMax) risultano molto importanti nella determinazione dell'ampiezza anulare in particolare quelle di agosto, settembre ed ottobre dell'annata precedente alla formazione dell'anello) ad indicare che temperature massime troppo elevate estivo-autunnali possono limitare significativamente l'incremento del fusto nella successiva stagione vegetativa. Nel caso delle temperature minime (T min), si evidenzia un effetto positivo con le temperature di maggio. Questa relazione può essere spiegata con un aumento termico pre-estivo che tende ad allungare il periodo vegetativo, riducendo il rischio di gelate tardive (primaverili). Infine, le temperature medie di luglio hanno un effetto negativo sull'incremento nell'anno in corso, ma è una correlazione meno incisiva rispetto a quelle precedentemente descritte (Di Filippo et al., 2007; Piovesan et al., 2005).

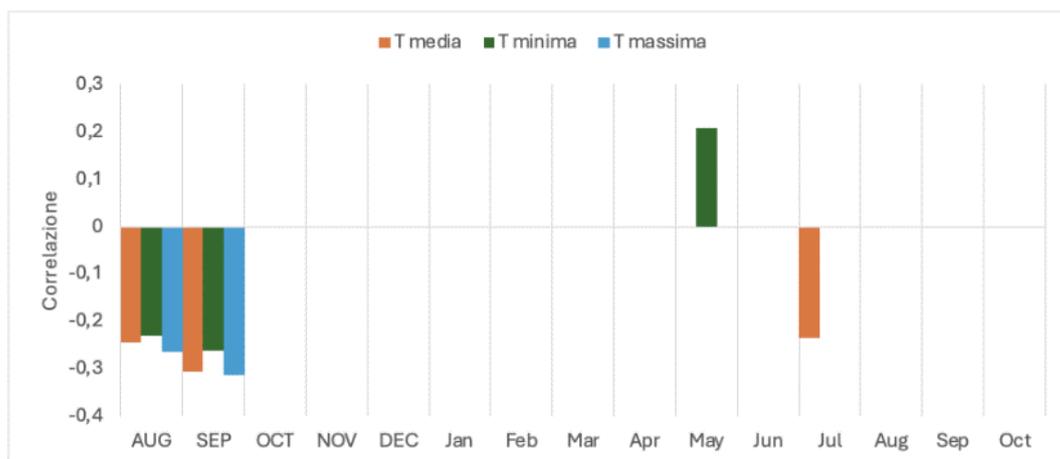


Figura 3.5.8: Correlazioni tra cronologia standard e temperature medie, minime e massime. Sono riportati solamente i valori significativi ($\alpha=0,05$).

In figura 3.5.9 sono riportate le relazioni tra incrementi e le precipitazioni e l'indice SPEI. Si evidenzia come in agosto e settembre dell'anno precedente, i valori siano positivi; quindi, maggiore è la precipitazione in quei mesi, e maggiore sarà la crescita della pianta. Nel caso di maggio, al contrario, maggiori saranno le precipitazioni e minore sarà l'accrescimento della pianta, in quanto in condizioni di temperature più basse e maggiore copertura nuvolosa, la pianta fotosintetizza di meno, e di meno si accresce ritardando l'inizio della stagione vegetativa. Maggiore l'indice SPEI, maggiore il grado di umidità, per cui ci sarà elevata precipitazione, con temperature non troppo alte e globalmente una evapotraspirazione potenziale più bassa (ETP). L'indice SPEI a tre mesi (SPEI3) che quantifica la siccità nel breve periodo, risulta significativa la relazione nei mesi di agosto e settembre dell'anno in corso. Lo SPEI a sei mesi indica la siccità nel medio periodo, mentre lo SPEI a 12 mesi la siccità nel lungo periodo. Nel periodo vegetativo si evidenzia l'influenza delle condizioni di siccità di breve periodo. Le condizioni di siccità di medio periodo (6 mesi) sono significative nei mesi di agosto e settembre limitando l'accrescimento nell'anno successivo.

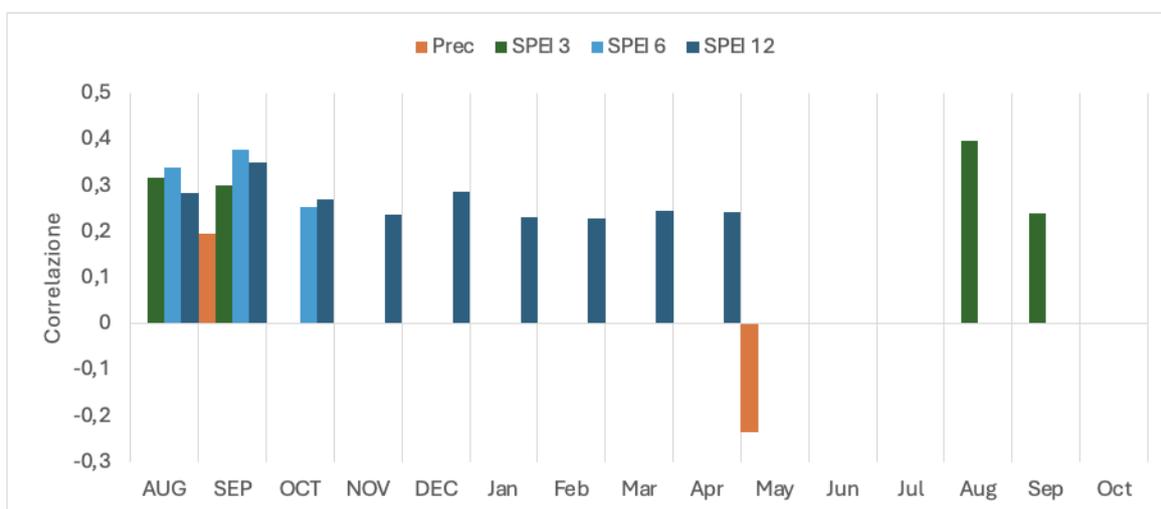


Figura 3.5.9: diagramma dendroclimatico delle precipitazioni e indici SPEI a 3, 6 e 12 mesi;

Vengono riportate di seguito le correlazioni mobili; nella figura 3.5.10 sottostante vediamo evidenziate correlazioni mobili su finestre di 40 anni. Nell'immagine è infatti evidente come le precipitazioni di agosto e settembre dell'anno precedente abbiano nel complesso un effetto stabile in tutto il periodo, mentre le precipitazioni nel mese di maggio dell'anno in corso risultano significative solo nella parte finale dell'intervallo temporale considerato (a partire dagli anni '70). Considerando le temperature minime (T min), si verifica il medesimo effetto (figura 3.5.11); l'influenza del mese di maggio compare anche per le temperature minime nell'ultimo periodo di analisi (stabilmente a partire dagli anni '70).

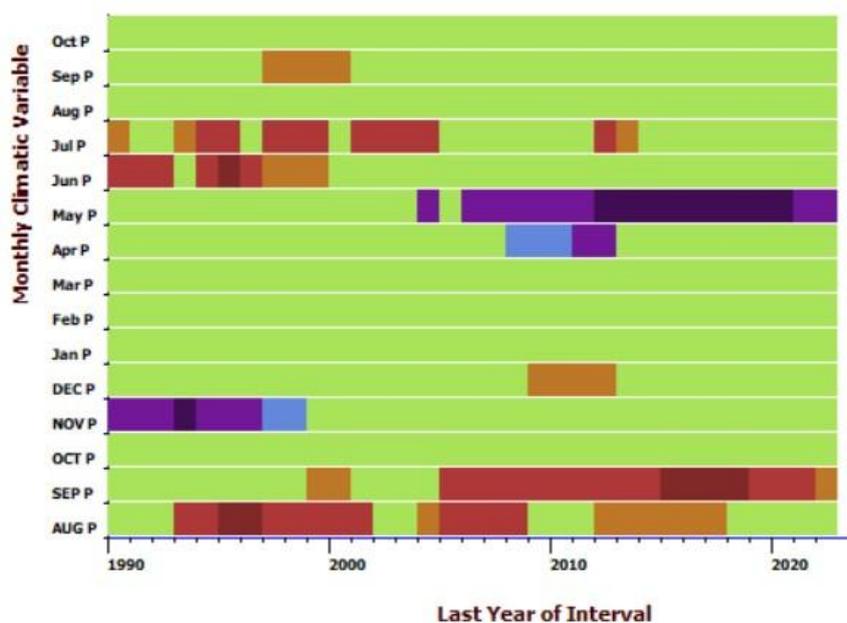


Figura 3.5.10: la figura mostra la correlazione su finestre mobili (40 anni) tra cronologia standard e precipitazioni mensili; asse X è riportato l'ultimo anno della finestra temporale considerata;

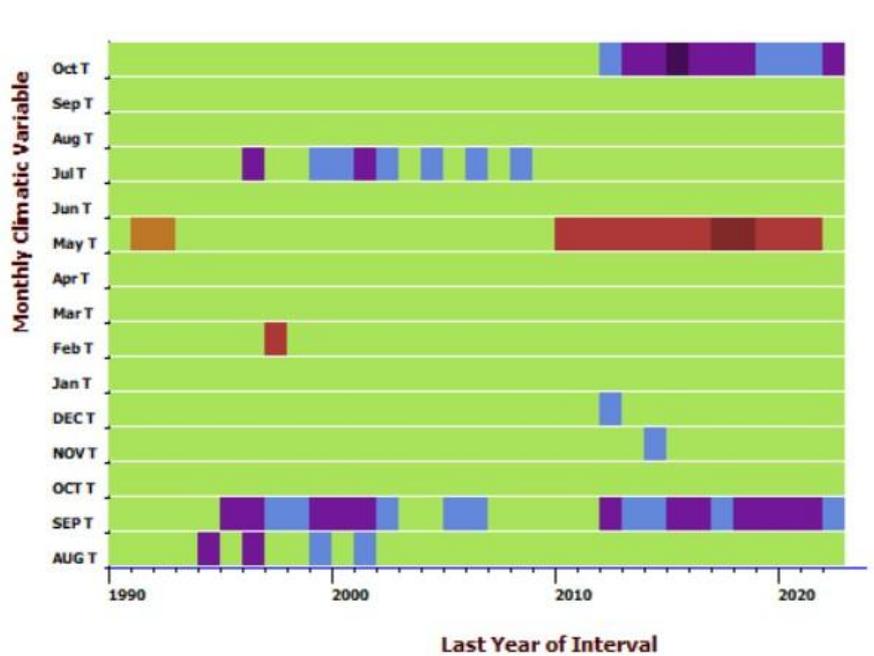


Figura 3.5.11: la figura mostra la correlazione su finestre mobili (40 anni) tra cronologia standard e temperature minime; asse X è riportato l'ultimo anno della finestra temporale considerata;

3.6 Confronto con altre serie di faggio Appenniniche

L'analisi dendrocronologica comparativa delle 8 cronologie disponibili per l'appennino centrale, mette a confronto i dati relativi a 574 individui arborei (Tabella 3.6.1). la cronologia più lunga, di 135 anni è quella della Val di Ranco (PG), mentre quella più breve nella Valle del Tramazzo, così come le lunghezze medie, 88 anni in Val di Ranco e 46 anni in Val del Tramazzo. L'ampiezza media degli anelli risulta maggiore nel sito di Val di Castro (2,16mm) e minore per i siti del monte Acuto (1,6mm) e Montagna dei Fiori (1,6mm). Questo fatto può essere associabile all'altitudine dei due siti, dal momento in cui il sito di Val di Castro si trova ad altezze più basse, comprese tra i 750 e i 900 m s.l.m., mentre il sito della Montagna dei Fiori si attesta attorno ai 1185-1482, il monte Acuto è anch'esso tra i più elevati, con un'altezza compresa tra i 1000 ed i 1450 m s.l.m. L'altro sito con altitudine massima più elevata è relativo ai Monti della Laga con 1686-1796 m s.l.m.. La deviazione standard risulta più elevata per il sito della Val Di Ranco (1,2) e più bassa per il sito dei Monti della Laga (0,65). L'autocorrelazione è caratterizzata da valori più alti per il sito di Val di Ranco (0,71), e più bassi per Valle del Tramazzo (0,57). La sensibilità media ha il suo valore massimo per la Valle del Tramazzo (33,57%) e valore minimo per i Monti della Laga (20,62%). L'Rbar presenta il valore più alto per il Monte Coscerno (0,6), mentre il più basso per i Monti della Laga (0,38); questo valore più basso per i Monti della Laga è giustificato dal fatto che presenta il maggior numero di serie (191) e dal fatto che le cronologie dei Monti della Laga erano distribuite su due aree di studio situate ad altitudini diverse, per cui le loro serie hanno un maggiore scostamento rispetto alla loro serie media.

Tabella 3.6.1: statistiche dendrocronologiche delle cronologie medie utilizzate come confronto all'area del martelloscopio di monte Nerone; L Max (lunghezza massima), L Media (lunghezza media), STDV (deviazione standard), AC1 (autocorrelazione di primo ordine), MS% (sensibilità media), Rbar (intercorrelazione seriale);

SITI	N.	L MAX (anni)	L MEDIA (anni)	MEDIA (mm)	STDV (mm)	AC1	MS (%)	Rbar
MNR	20	113	72	1,78	0,72	0,58	30,5	0,59
VDT	141	65	46,5	1,62	0,75	0,57	33,57	0,51
ACU	60	120	81	1,6	0,74	0,61	32,9	0,54
VDC	17	94	66,6	2,16	0,99	0,62	30,12	0,43
VDR	31	135	88,5	2,14	1,2	0,71	30,16	0,49
MDF	60	106	67,9	1,6	0,7	0,58	32,21	0,59
COS	54	128	87	1,99	1,03	0,66	30,69	0,6
MDL	191	94	51,5	1,97	0,65	0,65	20,62	0,38
Tot	574							

Gli 8 siti hanno in comune anni caratteristici con ampiezza degli anelli molto ridotta (*figura 3.6.1*), in particolar modo c'è un unico anno in cui tutte le serie hanno misurato un anello dall'ampiezza molto ridotta, il 1957. Ci sono anche altri anni in cui solo alcune cronologie hanno riportato anelli ridotti, ovvero il 1994, con picco negativo registrato per il monte Acuto, monte Nerone, Val di Ranco e monte Coscerno, Valdicastro e Montagna dei Fiori. C'è una buona sincronizzazione tra il monte Nerone ed il monte Acuto nell'anno 1992 e 2016, dove sono state registrate gelate primaverili. Nel caso delle due serie della Valle del Tramazzo e del monte Nerone, queste risultano essere meno sincronizzate vista la lontananza e differenza di altezza dei due siti dove sono state prelevate le carote legnose. Il 2013 è stato registrato come picco negativo in tutte le serie presenti fino a quella data, fatta eccezione per la Valle del Tramazzo, Val di Ranco e Monti della Laga. Il picco negativo del 1957 va ancor di più a sostegno di quanto già riscontrato dalle cronologie del monte Nerone, dimostrando che la gelata primaverile di quell'anno (5 maggio 1957) è stata particolarmente dannosa per lo sviluppo del faggio in tutto l'appennino centrale (Lori L., 2019).

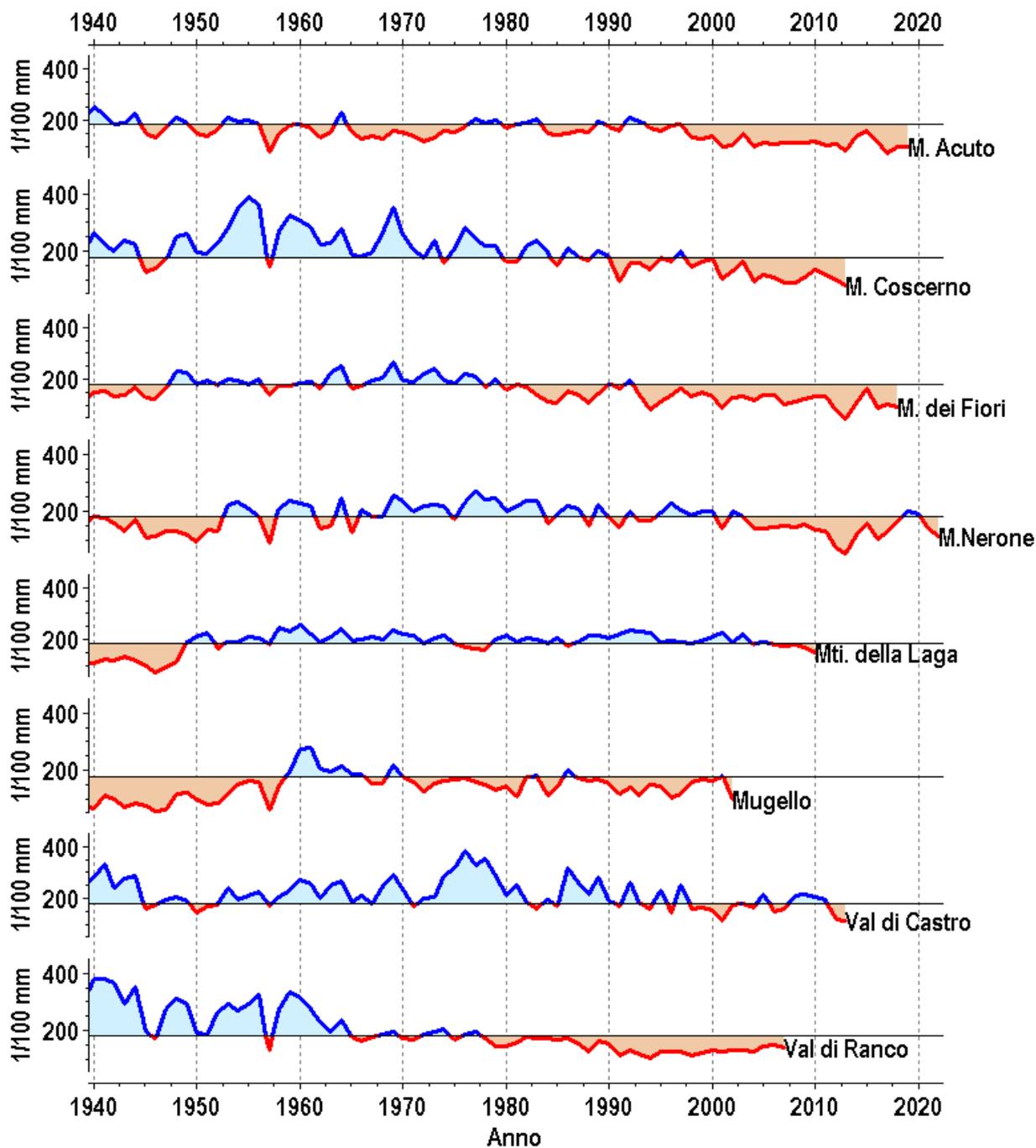


Figura 3.6.1: Cronologie medie di ampiezza anulare negli otto siti a confronto. La linea nera orizzontale rappresenta l'incremento medio globale nel periodo 1940-2022. Gli anni in colore blu hanno un valore superiore alla media, in rosso inferiore.

Vengono ora analizzate le relazioni clima accrescimento, complessivamente il quadro delle risposte delle faggete dell'Appennino centrale alle precipitazioni (*figura 3.6.2*), evidenzia alcuni pattern comuni, che indicano una notevole sensibilità del faggio alle precipitazioni sia nell'anno di formazione dell'anello, sia in quello precedente. In diversi siti, infatti, le risposte sono positive all'aumento delle precipitazioni, sia nell'estate precedente, che nella primavera-estate. Di un certo interesse è inoltre la risposta negativa di Val di Tramazzo, Monte Acuto, Val di Ranco e Monte Coscerno nel mese di maggio. Infatti, questo mese si caratterizza come un mese chiave per la dinamica di accrescimento delle faggete, dove un aumento delle precipitazioni può significare una minore disponibilità di irraggiamento solare e conseguente maggior rischio di gelate tardive.

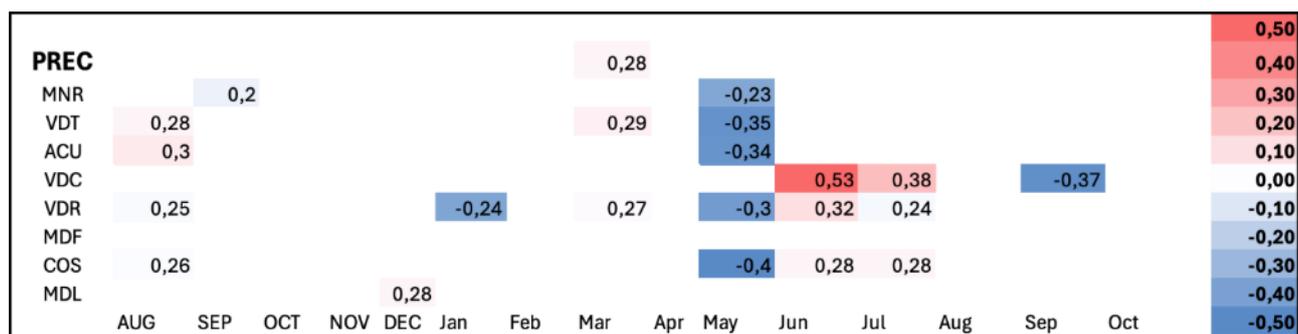


Figura 3.6.2: relazioni precipitazioni-accrescimento del faggio nell'Appennino centrale;

Ponendo il focus sulle temperature massime (TMax) (*figura 3.6.3*), le faggete oggetto di studio: Monte Nerone, Monte Acuto, Val di Ranco e Monte Coscerno, presentano correlazioni prevalentemente negative, soprattutto nel mese estivo di agosto dell'anno precedente. L'accrescimento e la formazione dell'anello, sono strettamente correlate alla stagione precedente, a testimoniare come la sensibilità della specie sia fortemente legata alle condizioni di siccità di quel periodo (agosto). Emerge nuovamente il mese di maggio come momento caratteristico per alcune situazioni come il monte Coscerno, la Valle di Tramazzo e la Montagna dei Fiori, particolarmente soggette a gelate tardive per la loro posizione geografica.

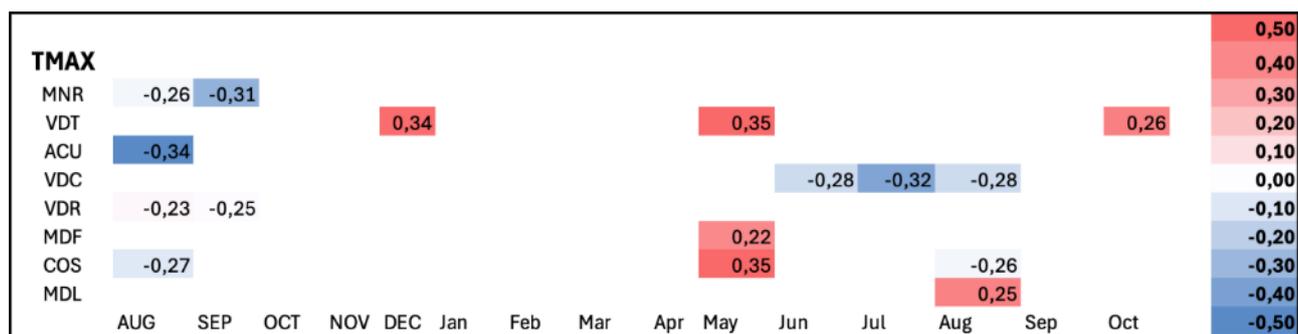


Figura 3.6.3: relazioni temperature massime-accrescimento del faggio nell'appennino centrale;

3.7 Simulazione degli interventi selvicolturali

I dati raccolti in campo tramite stazione computerizzata Field map hanno consentito la rappresentazione planimetrica dell'area e sono stati riportati ed elaborati con software *QGIS3.10* quadrante per quadrante. L'intera area adibita a martelloscopio e suddivisa nei quattro quadranti, viene riportata nella figura sottostante, dove sono evidenziate tutte le posizioni dei singoli individui presenti (*figura 3.7.1*). Si evidenzia chiaramente la mancata presenza di un sesto d'impianto, in quanto l'area del martelloscopio deriva da un bosco ceduo, pertanto di origine agamica, progressivamente convertito ad alto fusto, con ancora oggi la presenza in alcuni casi di due individui provenienti dalla stessa ceppaia.

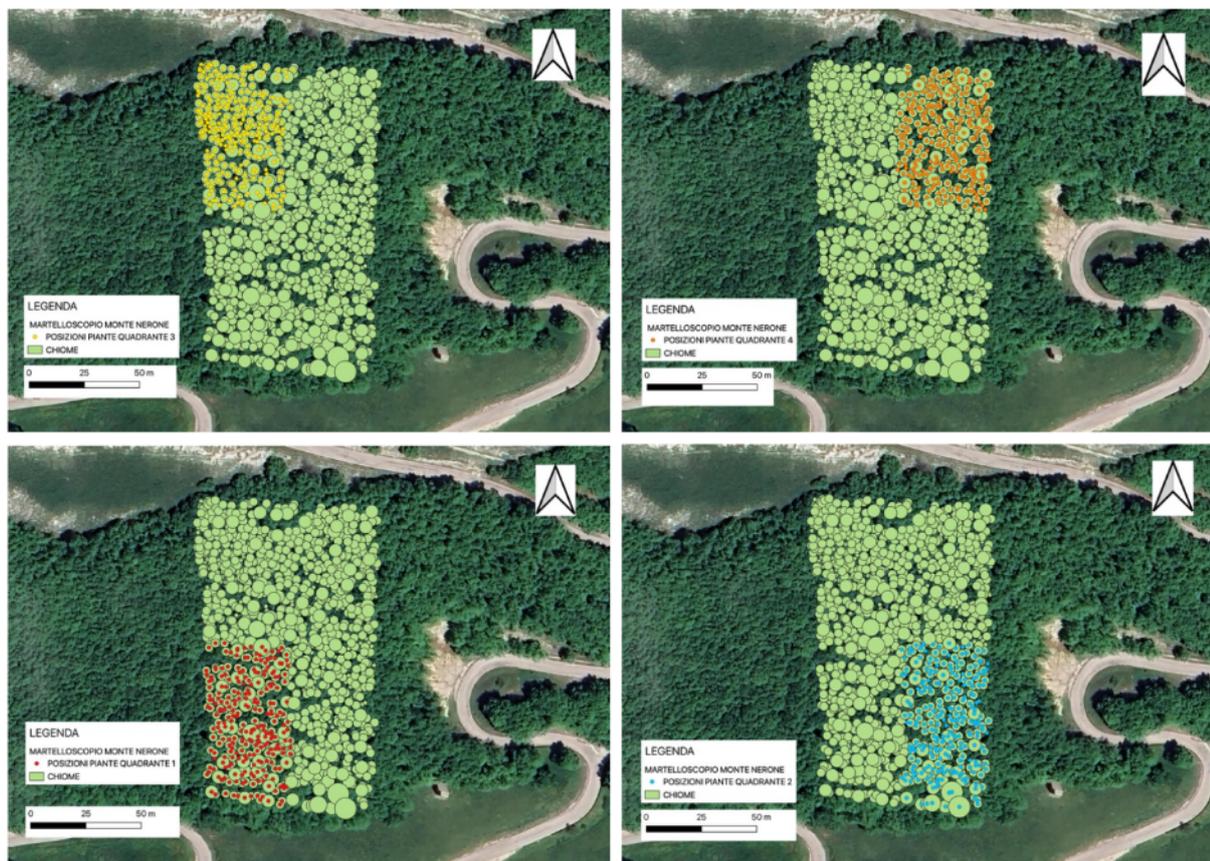


Figura 3.7.1: singoli quadranti del martelloscopio con posizioni dei singoli individui e relative chiome

Una volta terminata la parte di suddivisione per colore dei singoli quadranti, si è proceduto alla stima dell'area di proiezione delle chiome, attraverso la funzione buffer di QGIS. Le chiome sono in molti casi sovrapposte anche per via dall'elevata densità di individui presenti all'interno dell'area. I punti parzialmente non in connessione fra loro derivano invece da aie carbonili presenti all'interno del popolamento. I due tipi di simulazione portati avanti riflettono da un lato la possibilità di incrementare la produzione legnosa, cercando di rendere il bosco più irregolare con prelievi puntuali, attraverso un diradamento selettivo con scopo produttivo. Dall'altro lato, la seconda simulazione si pone come obiettivo principale quello di valorizzare la biodiversità presente e potenziale attraverso un diradamento selettivo con scopo conservativo. I dati di sintesi ante-post-intervento relativi ai parametri dendrometrici sono riportati nella *tabella 3.7.1* da cui si osserva come, la percentuale di prelievo di massa legnosa asportata nella prima simulazione, sia superiore alla seconda finalizzata all'aumento di biodiversità.

Tabella 3.7.1: Principali parametri dendrometrico-strutturali prima e dopo le due simulazioni di diradamento

PARAMETRI DENDROMETRICI	PRE INTERVENTO	POST-INTERVENTO DIRADAMENTO SELETTIVO	POST-INTERVENTO BIODIVERSITA'
Densità (nr. di individui)	1092	759	879
G m ²	38,33	26	31,29
Diametro medio Dg (cm)	21,14	20,95	21,48
Altezza media Hg (m)	16,32	16,31	16,33
Altezza dominante (m)	18,03	17,85	17,87
Volume m ³	315,99	213,31	258,3

3.7.1 Simulazione diradamento selettivo con scopo produttivo

Attraverso il diradamento selettivo si è proceduto nella scelta delle piante candidate, dapprima selezionando mediante l'ausilio di *QGIS* le piante candidate, le piante tagliate ed infine le piante da lasciare. Questa prima fase di analisi effettuata in laboratorio, ha visto inizialmente selezionare per quadrante, le 40 piante aventi altezze maggiori. Di queste 40 piante, 25 sono state scelte come piante candidate, uniformemente distribuite all'interno di ogni singolo quadrante (*figura 3.7.1.1*). La scelta delle piante candidate è stata poi opportunamente verificata con rilievo in campo, sostituendo eventuali piante scelte da rilievo Gis ed effettivamente storte o cimate, così da avere degli alberi dritti e consoni secondo il criterio del diradamento selettivo per la scelta. Una volta selezionate le piante candidate, si è passati alla scelta delle piante da tagliare, piante che rispetto alle candidate potevano essere considerate come concorrenziali o con alcuna possibilità di sviluppo, come piante sottochioma, storte, con biforcazione molto bassa, inserzione chioma eccessivamente bassa, difettate, con alterazioni del tronco o della sua base, con branche o rami morti. Con questo diradamento selettivo volto a massimizzare la produzione legnosa e garantire una maggiore differenziazione di età del soprassuolo, il tasso di prelievo totale è arrivato al consono 30% di area basimetrica sul totale, più precisamente del 32%.

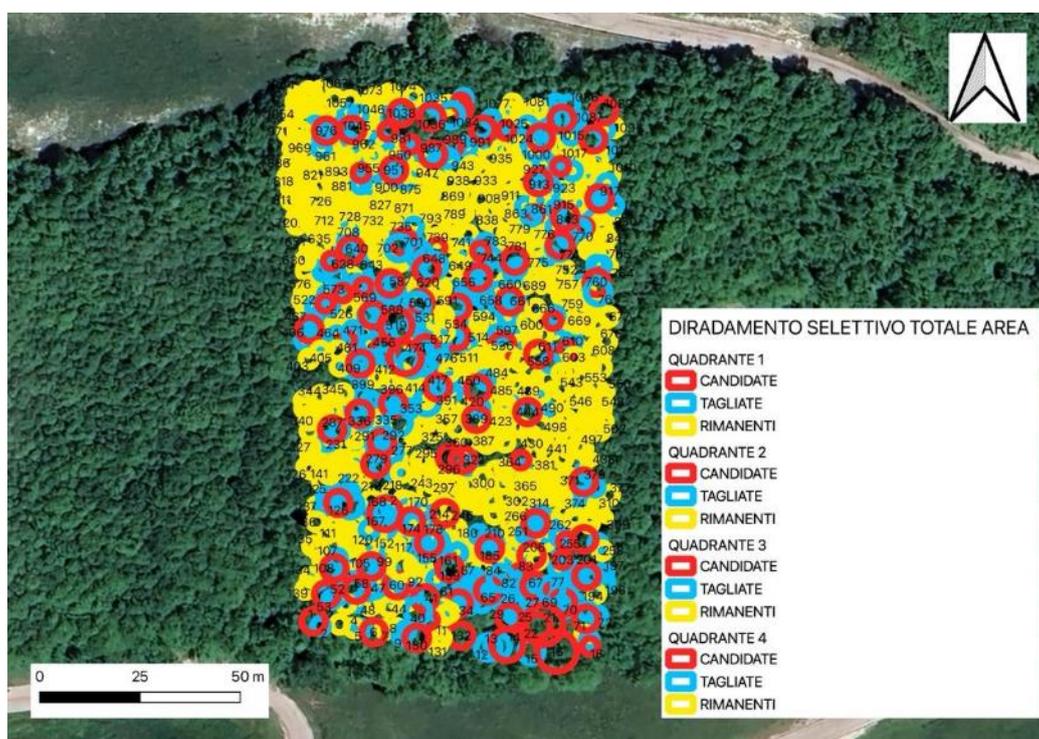


Figura 3.7.1.1: diradamento selettivo totale del martelloscopio; in rosso le piante candidate, in azzurro le piante tagliate ed in giallo le indifferenti.

Di seguito vengono riportati i grafici riassuntivi dei principali parametri dendrometrico strutturali di ciascun quadrante pre e post-intervento. È evidente dai grafici a barre (figura 3.7.1.2), come il quadrante 1 abbia avuto una percentuale di prelievo maggiore in termini di numero di individui, con 92 piante rimosse, mentre il quadrante 2 sia quello con il minor numero di piante asportate, pari a 74. I risultati in termini di volume asportato si aggirano come già specificato attorno al 30%, con quantitativi maggiori solo nel caso del primo quadrante, dove il valore è pari al 35% in meno di volume legnoso. Il diametro medio, l'altezza media e l'altezza dominante sono rimasti pressoché invariati in tutti e quattro i quadranti analizzati.

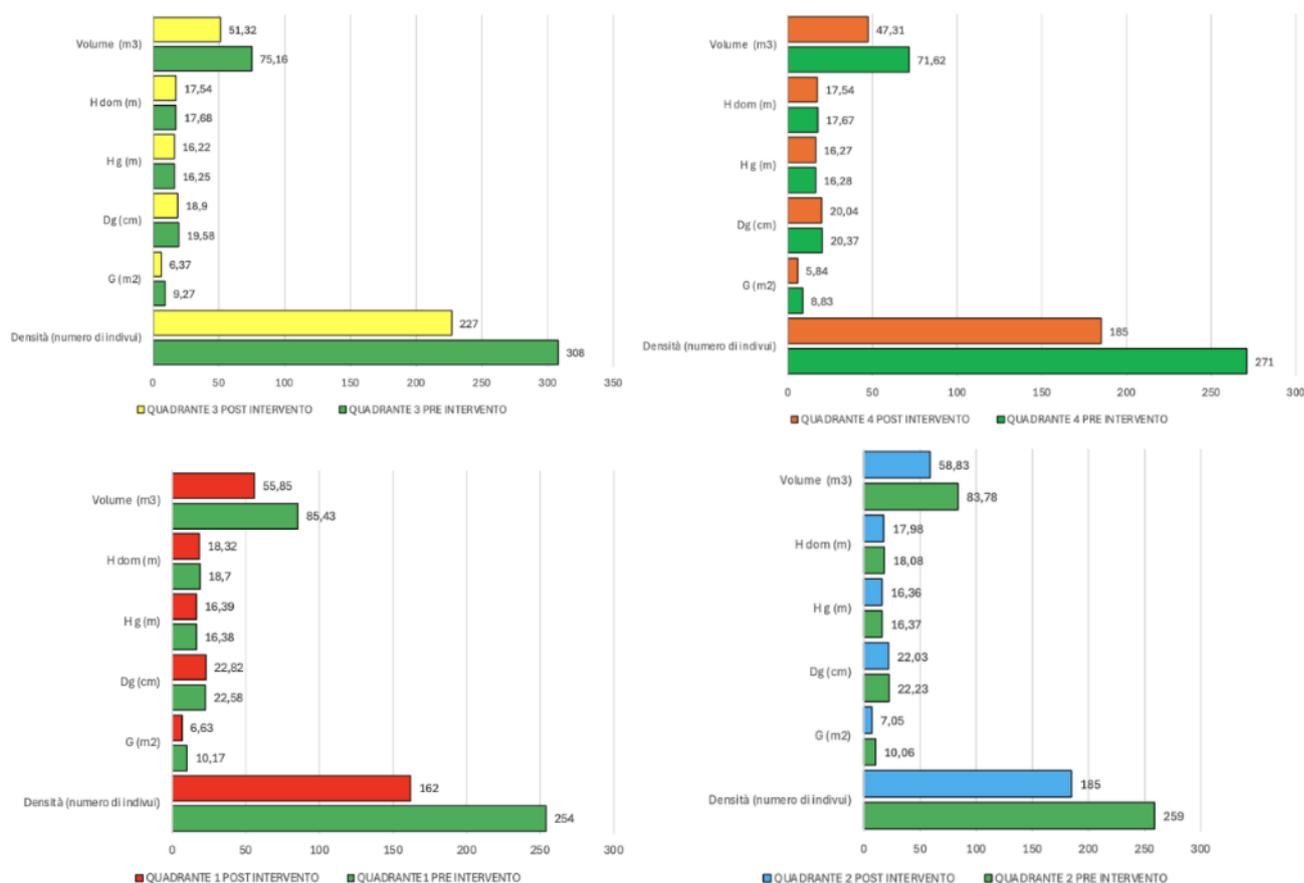


Figura 3.7.1.2: confronto dei quattro quadranti tra le condizioni pre e post-intervento dei principali parametri dendrometrico struttural; in basso a sinistra il quadrante 1, in basso a destra il quadrante 2, in alto a sinistra il quadrante 3, in alto a destra il quadrante 4;

3.7.2 Simulazione diradamento selettivo con scopo conservativo

La seconda simulazione ha come principale obiettivo quello di preservare al massimo la biodiversità presente all'interno del martelloscopio. Per onorare tale scopo si è proceduto come prima cosa a stilare una lista delle piante presenti all'interno di ciascun quadrante per poi effettuare la selezione delle piante da abbattere direttamente in campo, valutando la presenza di elementi caratteristici per biodiversità. Una volta raccolti i dati in campo, facendo riferimento all'app TreeMicrohabitats per valutare e porre il codice corretto ad ogni singola pianta portatrice di dendromicrohabitat, si è passati alla fase di elaborazione dei dati. I dati raccolti sono infatti stati riportati tramite progetto *Q-field* su tablet utilizzando l'applicazione Integrate+ per effettuare la simulazione (figura 3.7.2.1).

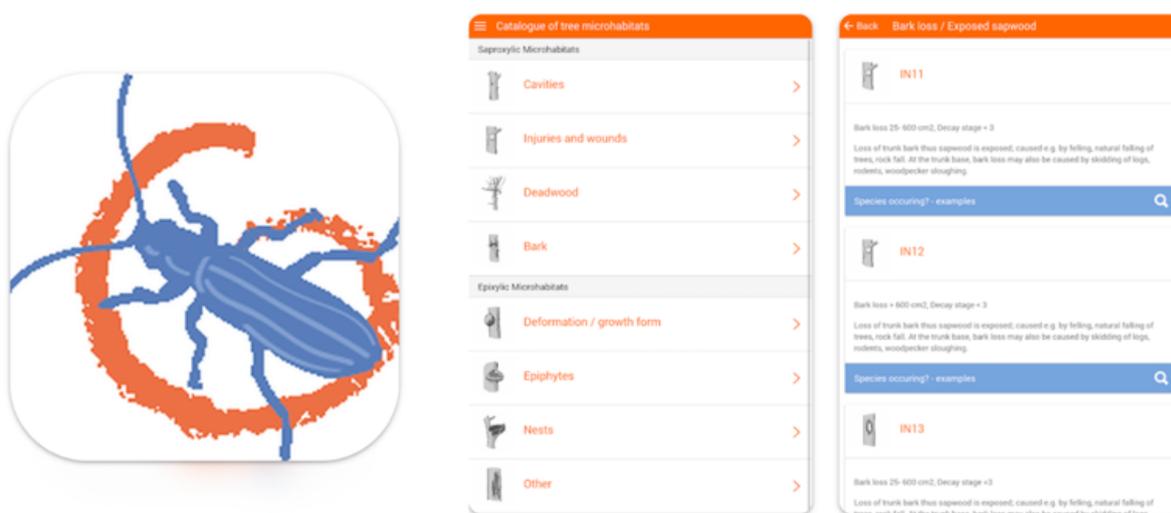


Figura 3.7.2.1: a sinistra l'applicazione Integrate +, a destra le diverse categorie a cui far riferimento nella classificazione dei dendromicrohabitats relativa all'app TreeMicroHabitats.

Con questa simulazione, non venivano scelte piante da candidare, ma questo tipo di intervento è stato studiato appositamente scegliendo e valutando individuo per individuo. Il principale criterio adottato nella scelta delle piante da abbattere prevedeva l'assoluta mancanza di dendromicrohabitat, o qualora fossero stati presenti dendromicrohabitat, ma la pianta fosse risultata particolarmente storta, pendente, con una biforcazione eccessivamente bassa, veniva rimossa. Nel caso delle piante non portatrici di dendromicrohabitat veniva valutata la loro posizione; quindi, se fossero state eventualmente delle competitori nei confronti di piante ricche di biodiversità, queste sarebbero state opportunamente rimosse (figura 3.7.2.2). Con questo intervento volto a massimizzare la biodiversità presente nel martelloscopio, il tasso di prelievo totale è arrivato al 18 % di area basimetrica sul totale. I dati raccolti in campo sono poi stati ulteriormente analizzati quadrante per quadrante.

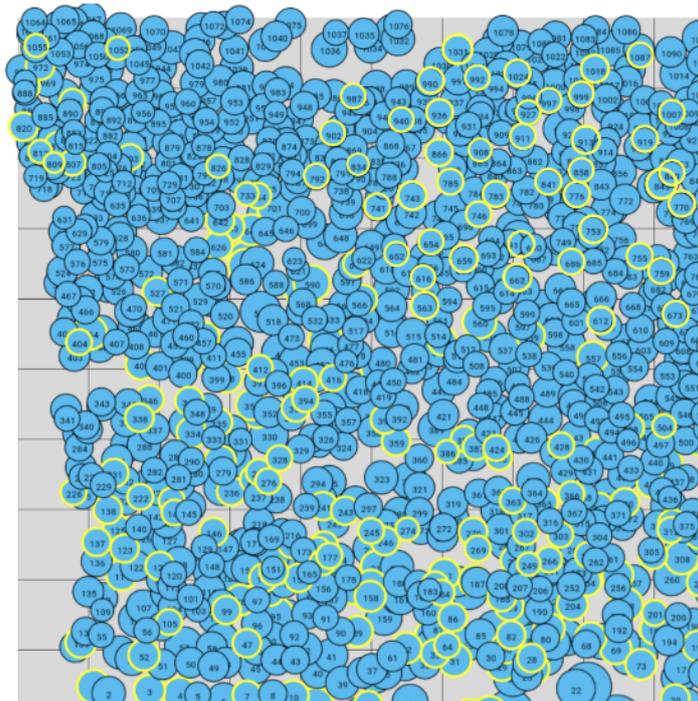


Figura 3.7.2.2: simulazione intervento sulla biodiversità totale del martelloscopi; cerchiare in giallo le piante rimosse.

Di seguito vengono riportati i grafici riassuntivi dei principali parametri dendrometrico strutturali di ciascun quadrante pre e post-intervento. È evidente dai grafici a barre (figura 3.7.2.3), come il quadrante 2 abbia avuto una percentuale di prelievo maggiore in termini di numero di individui, con 69 piante rimosse, mentre il quadrante 3 sia quello con il minor numero di piante asportate, pari a 32. I risultati in termini di volume asportato vedono quantitativi maggiori nel primo (23,5%) e secondo quadrante (22%). Il diametro medio, l'altezza media e l'altezza dominante sono rimasti invariati in tutti e quattro i quadranti analizzati.

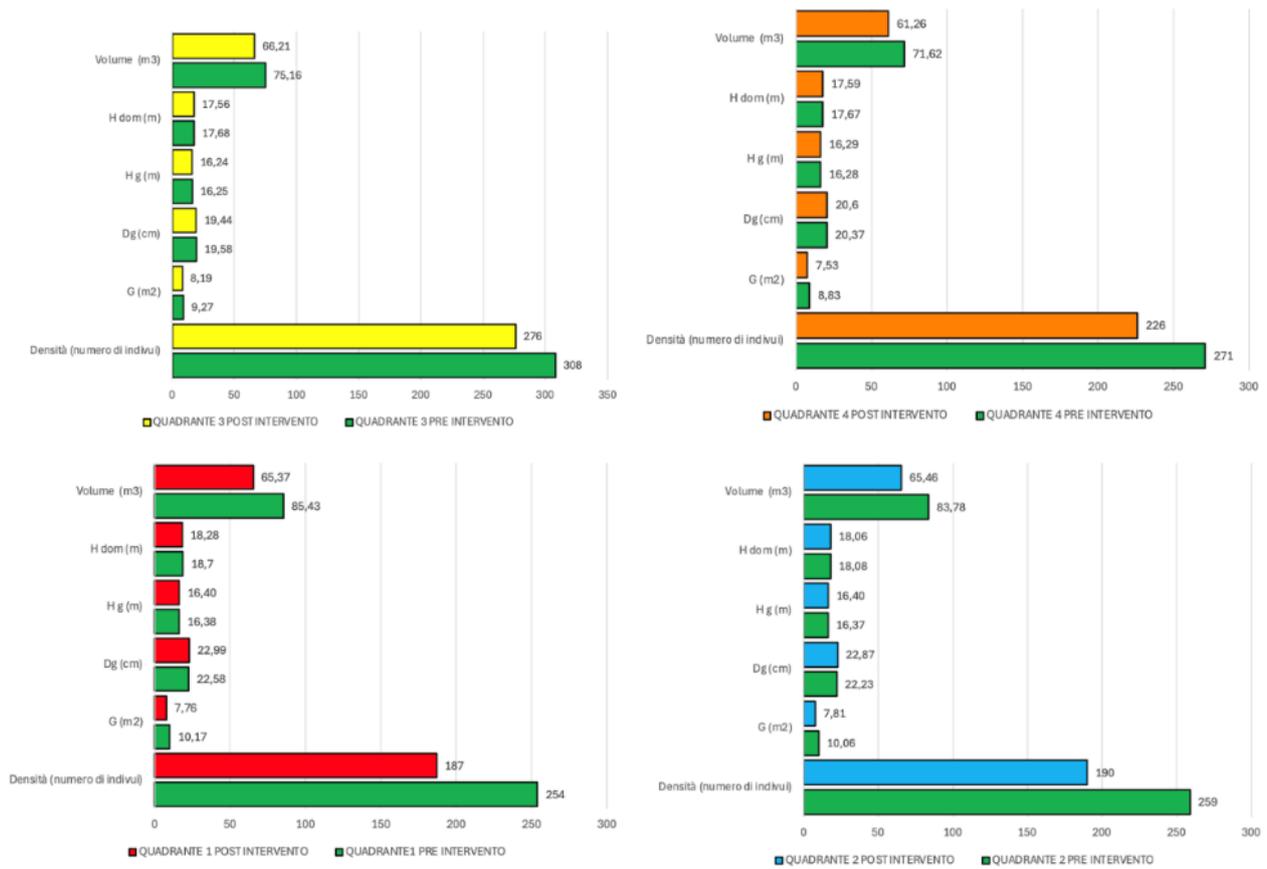


Figura.3.7.2.3: confronto dei quattro quadranti tra le condizioni pre e post-intervento dei principali parametri dendrometrico struttural; in basso a sinistra il quadrante 1, in basso a destra il quadrante 2, in alto a sinistra il quadrante 3, in alto a destra il quadrante 4

3.7.3 Rappresentazione su Cloud Compare del diradamento selettivo con scopo produttivo

Al fine di avere una rappresentazione 3D dell'area a martelloscopio, la simulazione di intervento di diradamento selettivo con scopo produttivo è stata ulteriormente elaborata attraverso software cloud compare, con elaborazioni per singolo quadrante e nella totalità di intervento. Nella figura riportate in seguito (*figura 3.7.3.1*) vengono rappresentate le condizioni ante intervento, con la scelta delle piante candidate riportate in rosso, con la scelta delle sole piante tagliate/rimosse rappresentate in nero senza le candidate, ed infine nella loro totalità, con piante candidate e piante tagliate/rimosse. Le immagini, in 3D, rappresentano nella sua interezza il martelloscopio, anche grazie alla visualizzazione della nuvola di punti sulla gradazione del verde.

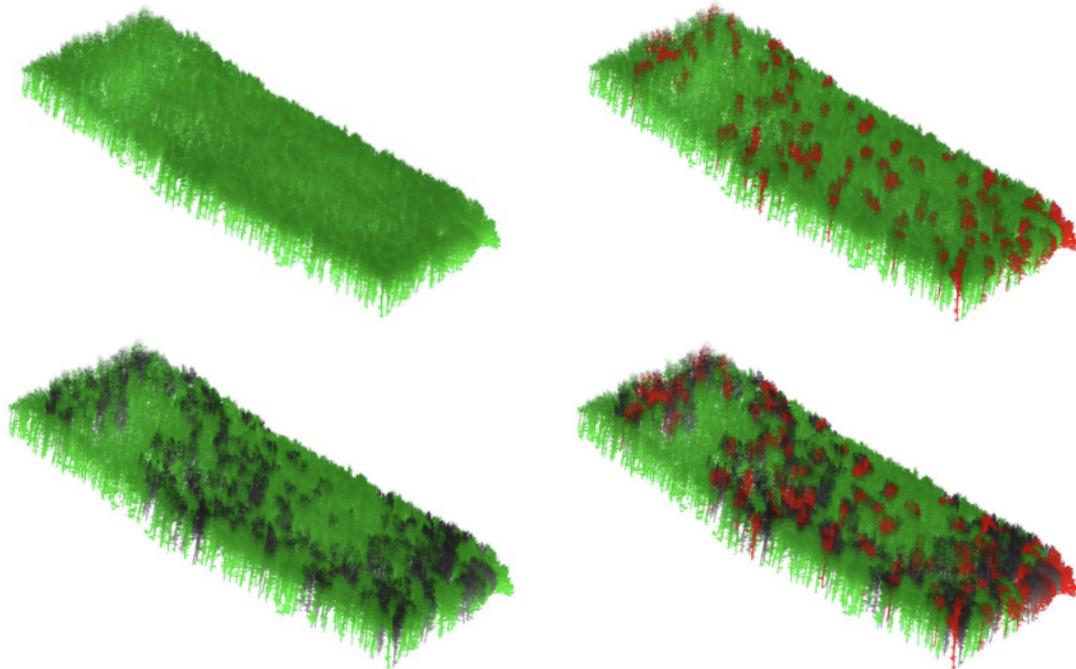


Figura 3.7.3.1: Martelloscopio del monte Nerone, in alto a sinistra pre-intervento, in alto a destra con la scelta delle piante candidate in rosso, in basso a sinistra con la scelta delle piante tagliate/rimosse in nero, in basso a destra la totalità di piante candidate (in rosso) e piante rimosse (in nero).

Al fine di avere maggiori informazioni circa l'assetto del soprassuolo visto dall'alto, sono riportate nella *figura 3.7.3.2* da *Cloud Compare*, le diverse fasi che hanno portato alle modifiche del soprassuolo sopra citate.

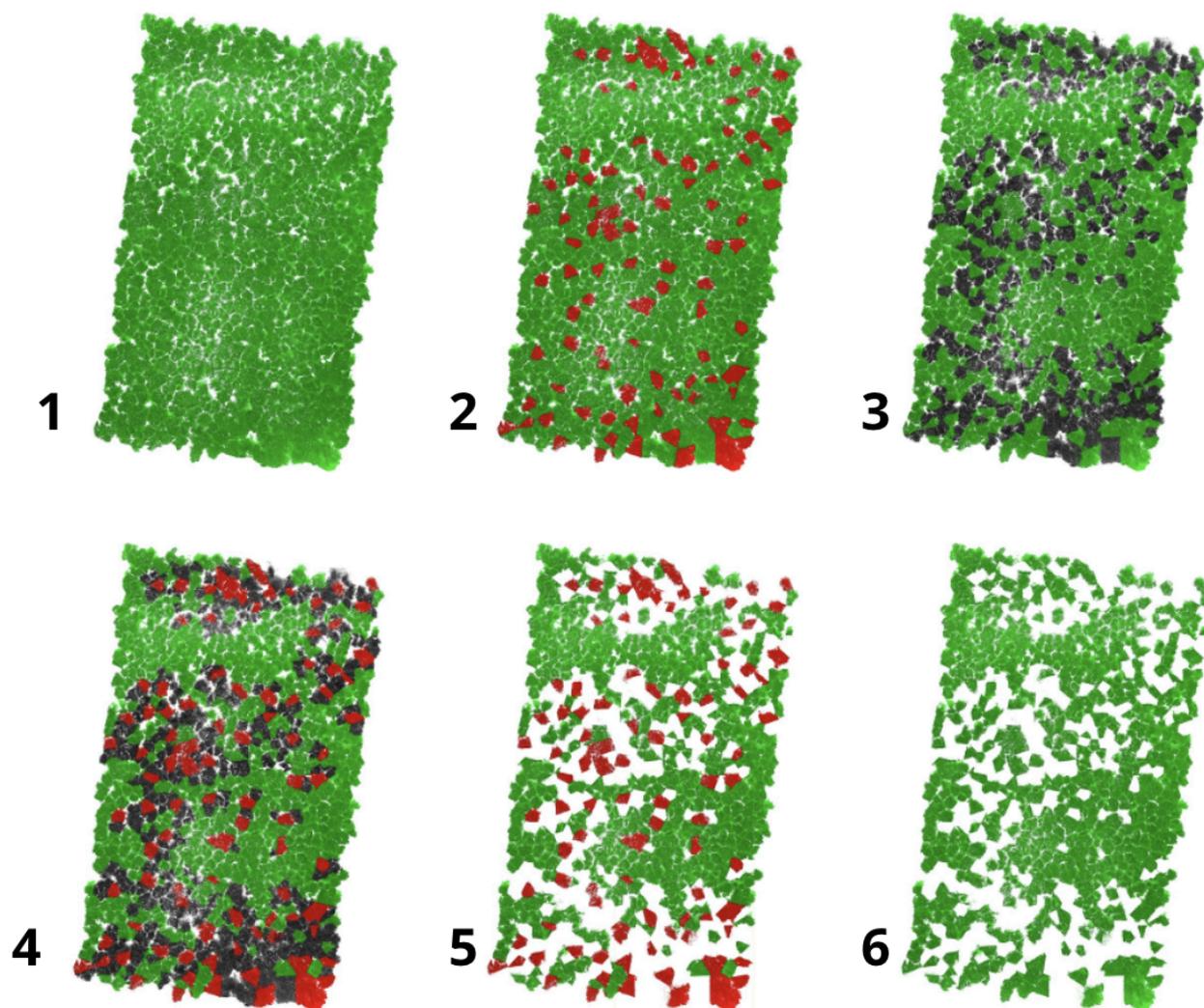


Figura 3.7.3.2: vista dall'alto del martelloscopio del Nerone (insieme dei quattro quadranti); 1. Il martelloscopio nella sua interezza; 2. Le piante candidate (in rosso); 3. Le piante tagliate/rimosse in nero; 4. L'insieme di piante candidate e rimosse/tagliate; 5. Le piante candidate con l'effetto del taglio sul martelloscopio; 6. Il martelloscopio senza la selezione delle candidate, nella situazione post-intervento;

3.7.4 Rappresentazione su Cloud Compare del diradamento selettivo con scopo conservativo

La rappresentazione 3D dell'area a martelloscopio dopo la simulazione di diradamento selettivo con scopo conservativo è stata ulteriormente elaborata attraverso software Cloud Compare, con analisi per singolo quadrante e nella totalità di intervento. Nella *figura 3.7.4.1* riportata in seguito vengono rappresentate le condizioni pre-intervento e con la scelta delle piante tagliate/rimosse rappresentate in nero. Le immagini 3D rappresentano nella loro interezza ogni singolo quadrante oggetto di studio, anche grazie alla visualizzazione della nuvola di punti sulla gradazione del verde.

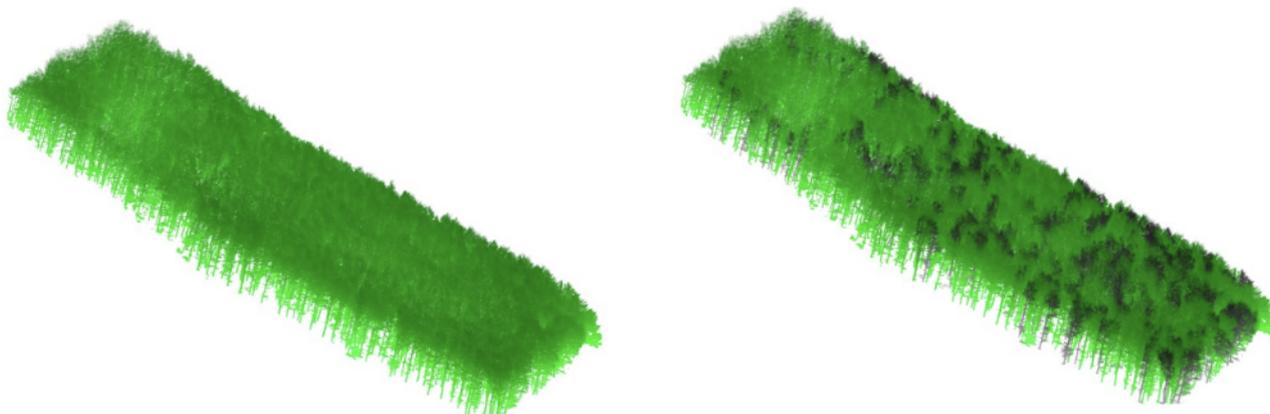


Figura 3.7.4.1: Martelloscopio del monte Nerone, sinistra pre-intervento, a destra con la scelta delle piante tagliate/rimosse in nero;

Al fine di avere maggiori informazioni circa l'assetto del soprassuolo visto dall'alto, vediamo riportate in immagine da Cloud Compare, il risultato della simulazione del diradamento selettivo con scopo conservativo (*figura 3.7.4.2*)

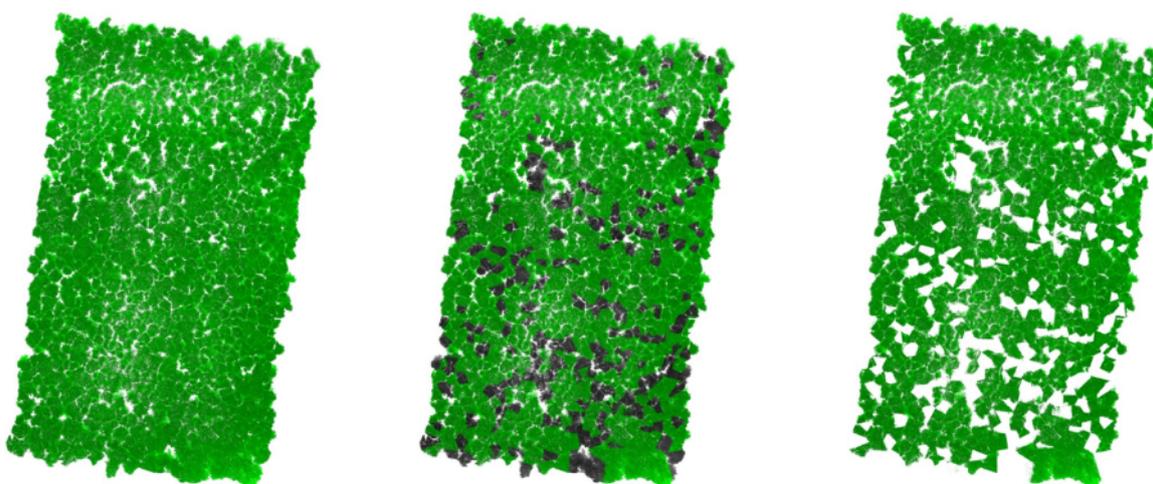


Figura.3.7.4.2.: vista dall'alto del martelloscopio del Nerone (insieme dei quattro quadranti); rispettivamente a sinistra il martelloscopio nella sua interezza, al centro le piante tagliate/rimosse in nero; a destra il martelloscopio senza la selezione delle rimosse/tagliate, nella situazione post-intervento.

3.7.5 Confronto tra le due simulazioni

Mettendo a confronto le due simulazioni effettuate, si può notare come, il maggior numero di piante rimosse sia nella simulazione relativa al diradamento selettivo con scopo produttivo, con una differenza di individui tagliati tra le due simulazioni pari a 120. Rispetto al dato iniziale delle 1092 piante, con il diradamento selettivo con scopo produttivo sono state rimosse complessivamente 333 piante, mentre con il diradamento selettivo con scopo conservativo sono state rimosse 213 piante. (figura 3.7.5.1)

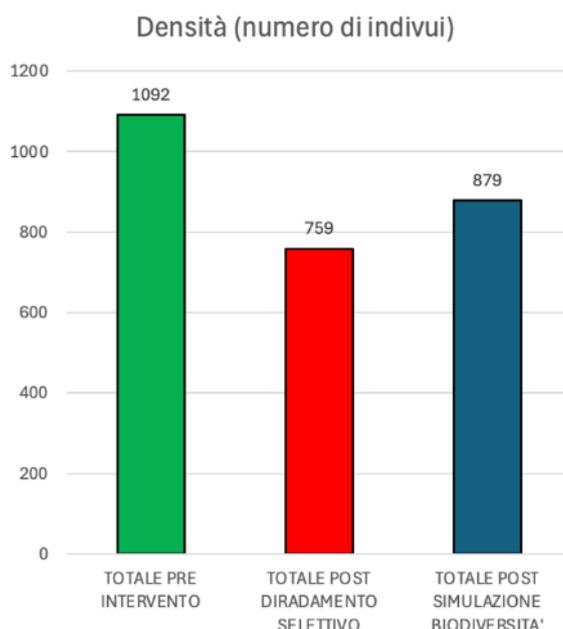


Figura 3.7.5.1: confronto numero di individui pre-post-intervento

In termini di volume e di area basimetrica, è evidente come il diradamento selettivo con scopo produttivo abbia portato a ridurre maggiormente i m^3 presenti all'interno del martelloscopio, rispetto al diradamento selettivo con scopo conservativo. Tale dato si riflette anche nell'area basimetrica (figura 3.7.5.2).

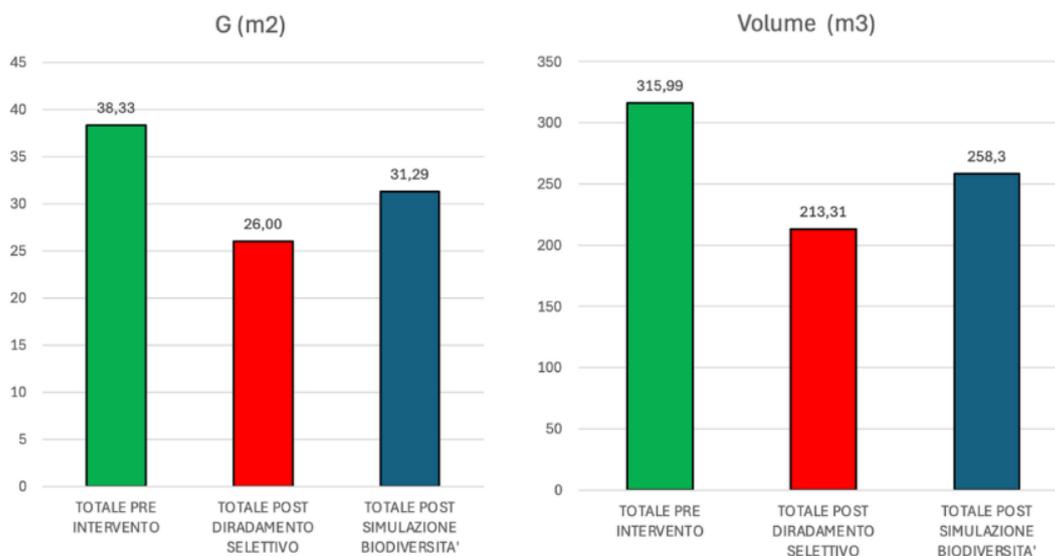


Figura 3.7.5.2: confronto volume e area basimetrica pre-post-intervento

Per quanto riguarda diametro medio, altezza media e altezza dominante, gli interventi non hanno portato ad alterazioni significative, come evidenziato nelle *tabelle 3.7.5.1 e 3.7.5.2*.

Tabella 3.7.5.1: dati post-intervento diradamento selettivo con scopo produttivo

DATI QUADRANTI POST-INTERVENTO (DIRADAMENTO SELETTIVO CON SCOPO PRODUTTIVO)						
	Densità (numero di individui)	G (m2)	Dg (cm)	Hg (m)	H dom (m)	Volume (m3)
QUADRANTE 1	162	6,63	22,82	16,39	18,32	55,85
QUADRANTE 2	185	7,05	22,03	16,36	17,98	58,83
QUADRANTE 3	227	6,37	18,9	16,22	17,54	51,32
QUADRANTE 4	185	5,84	20,04	16,27	17,54	47,31
TOTALE	759	26	20,95	16,31	17,85	213,31

Tabella 3.7.5.2: dati post-intervento diradamento selettivo con scopo conservativo

DATI QUADRANTI POST-INTERVENTO (DIRADAMENTO SELETTIVO CON SCOPO CONSERVATIVO)						
	Densità (numero di individui)	G (m2)	Dg (cm)	Hg (m)	H dom (m)	Volume (m3)
QUADRANTE 1	187	7,76	22,99	16,40	18,28	65,37
QUADRANTE 2	190	7,81	22,87	16,40	18,06	65,46
QUADRANTE 3	276	8,19	19,44	16,24	17,56	66,21
QUADRANTE 4	226	7,53	20,6	16,29	17,59	61,26
TOTALE	879	31,29	21,48	16,33	17,87	258,30

In relazione alla biodiversità presente all'interno del martelloscopio, ed in relazione alle due simulazioni effettuate, è stato possibile creare un confronto circa la presenza dei principali dendromicrohabitat presenti e rimossi o lasciati durante la simulazione del taglio. Come da figura sottostante (*figura 3.7.5.3*), è evidente come, nella simulazione del diradamento selettivo con scopo produttivo, rispetto alla totalità di cavità presenti nel tronco, ben 57 piante portatrici di dendromicrohabitat siano state rimosse, mentre nel caso del diradamento selettivo con scopo conservativo, 148 piante siano rimaste in piedi e solamente 33 abbattute (*figura 3.7.5.4*).

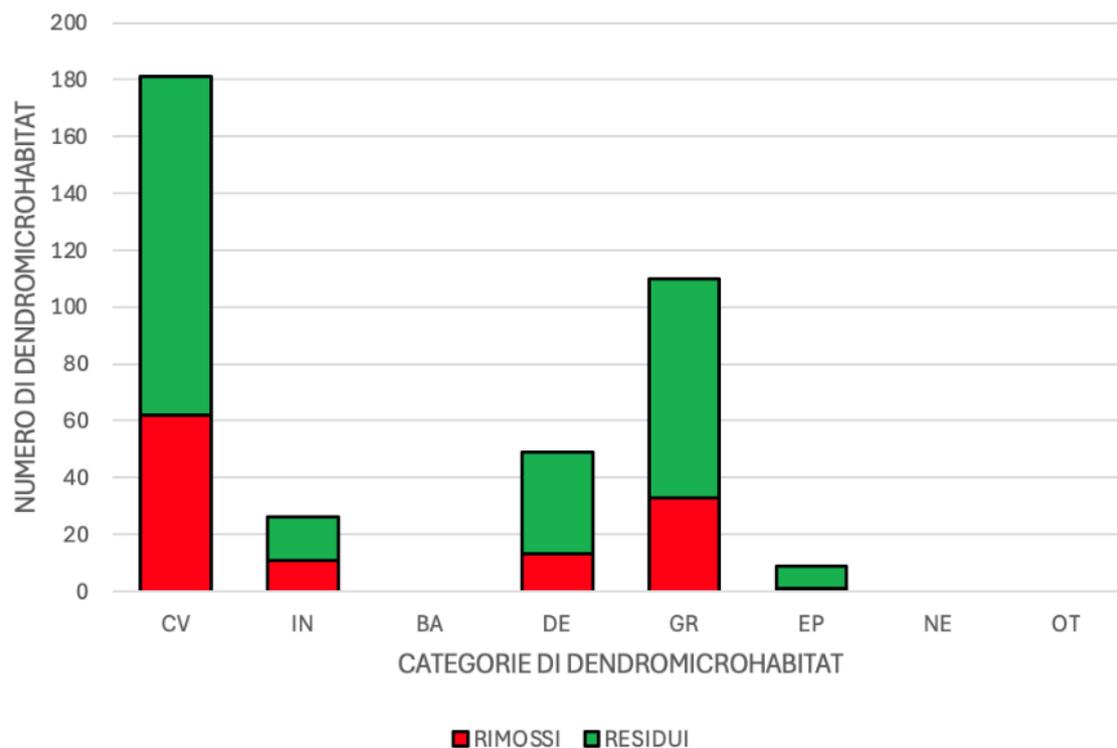


Figura: 3.7.5.3: simulazione diradamento selettivo con scopo produttivo in relazione ai dendromicrohabitats

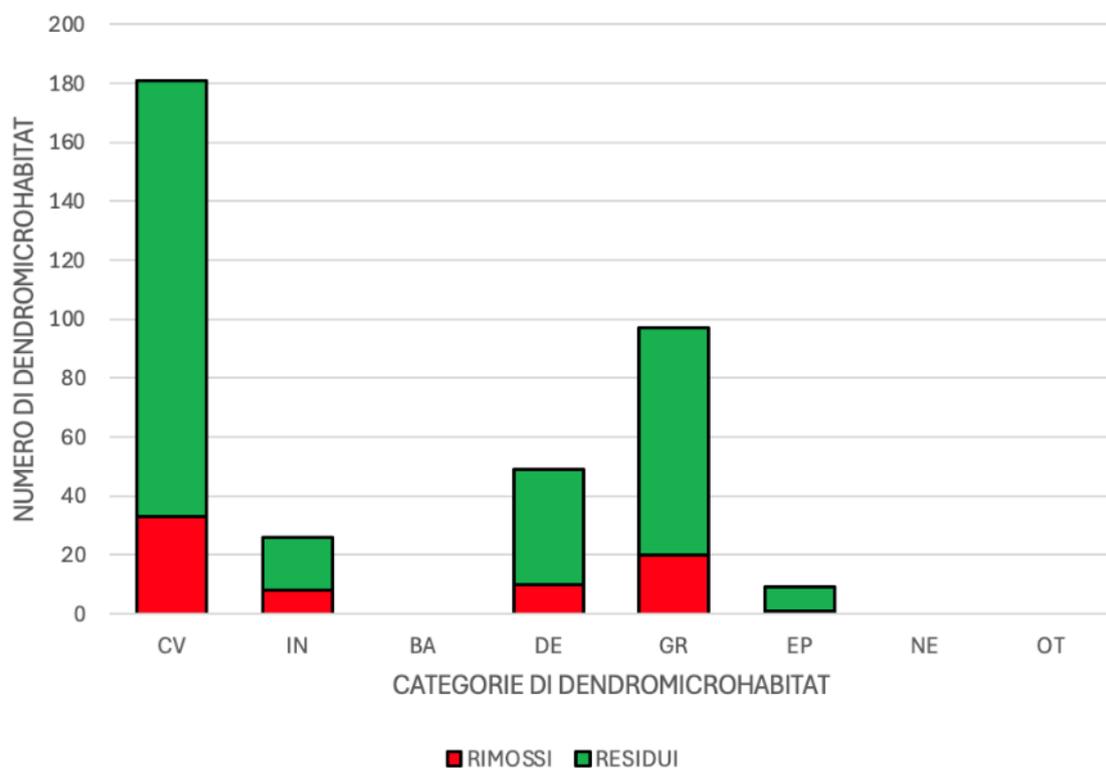


Figura 3.7.5.4: simulazione diradamento selettivo con scopo conservativo in relazione ai dendromicrohabitats

Vengono infine riportati degli output derivanti da software *Integrate+* dove viene ulteriormente mostrata la differenza di volumi e aree basimetriche asportati durante le due simulazioni (*figura 3.7.5.5 e figura 3.7.5.6*).

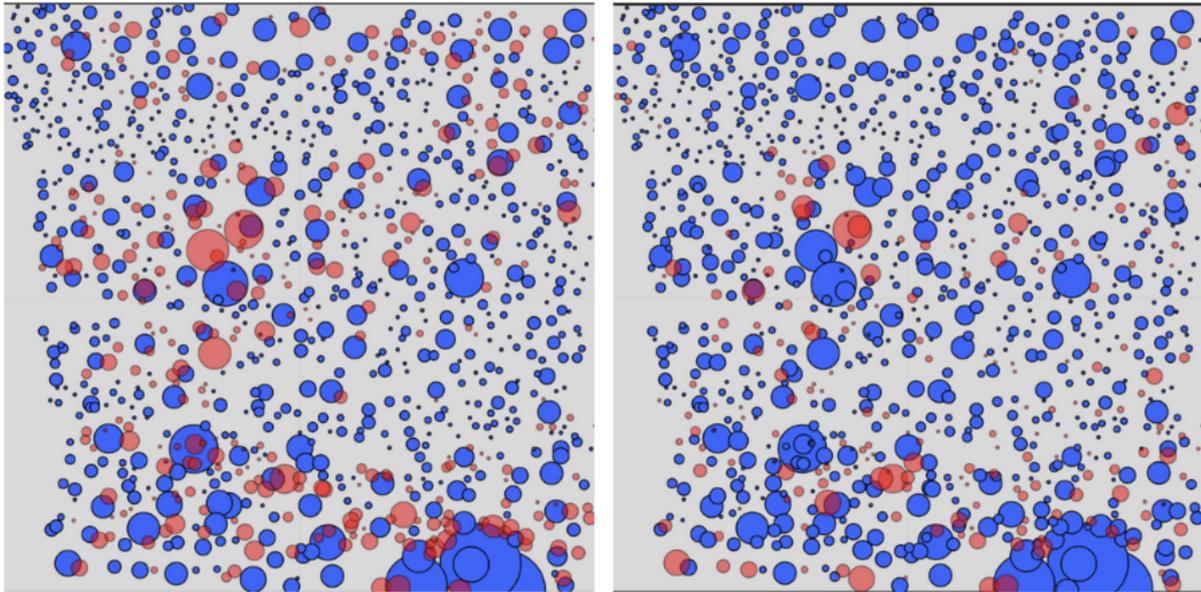


Figura 3.7.5.5: a destra simulazione diradamento selettivo con scopo produttivo, a sinistra diradamento selettivo con scopo conservativo; in rosso le piante (volumi asportati), in blu le piante (volumi rimasti);

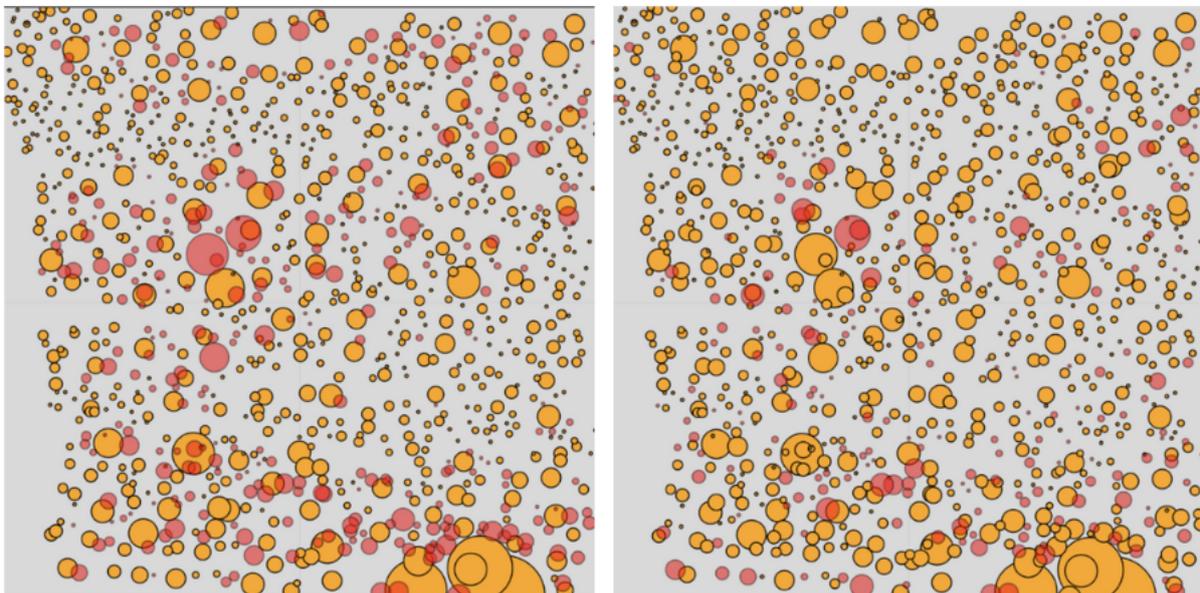


Figura 3.7.5.6: a destra simulazione diradamento selettivo con scopo produttivo, a sinistra diradamento selettivo con scopo conservativo; in rosso le piante (area basimetrica asportata), in arancione le piante (area basimetrica rimasta)

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Questa tesi si è svolta in gran parte nell'ambito del progetto PSR BIOSEIFORTE (Biodiversità e Servizi Ecosistemici in Foreste e Territorio) finalizzato a valorizzare la gestione multifunzionale delle foreste del comprensorio del Monte Nerone (PU). Nello specifico con questa ricerca si è cercato di applicare metodi per una gestione selvicolturale proattiva, finalizzata a valorizzare la produzione legnosa a vantaggio delle popolazioni locali, ma anche la biodiversità della cenosi. È stato pertanto realizzato un martelloscopio, ovvero uno strumento operativo dove simulare interventi selvicolturali con obiettivi diversi integrando con un'analisi della sensibilità climatica del faggio utile a calibrare gli interventi anche in relazione ai cambiamenti climatici in atto.

La realizzazione del martelloscopio del Monte Nerone è avvenuta sulla base delle linee guida dell'*European Forest Institute* (EFI) e del sistema *Integrate+*, condizione che ha consentito di farne il primo martelloscopio della regione Marche all'interno della rete europea. Oltre al censimento e alla misurazione tradizionale dei parametri dendrometrico-strutturale svolti ad hoc per questa tesi si è proceduto anche all'utilizzo di dati provenienti dal lavoro di digitalizzazione 3D dello stesso soprassuolo eseguito nell'ambito di un'altra tesi magistrale (Lizzi, 2023). Inoltre, con appositi sistemi proposti da *Integrate+*, sono state svolte valutazioni sui singoli individui arborei del martelloscopio, per stimarne sia il valore degli assortimenti legnosi presenti e ritraibili, sia la biodiversità potenziale. È opportuno sottolineare che i boschi dell'Appennino centrale fino agli anni '50 del secolo scorso sono stati estensivamente e intensivamente gestiti a ceduo con turni molto brevi, volti a massimizzare la resa produttiva in legna da ardere e soprattutto di carbone e carbonella. Gli stessi boschi cedui, secondo opportune turnazioni e limitazioni erano anche diffusamente pascolati. I processi socio-economici del boom industriale degli anni '60 hanno determinato migrazioni delle popolazioni locali verso i fondovalle o le aree urbane causando l'abbandono colturale delle aree silvo-pastorali e che nei boschi di faggio si è tradotto in importanti modificazioni strutturali. Da cedui a regime si è passati a cedui in evoluzione libera o in cedui in conversione attiva verso le fustaie, come nel caso dell'area oggetto di questa tesi. I regolamenti forestali in vigore e le consuetudini locali incentivano interventi indirizzati alla costituzione di boschi coetanei, la cui struttura a maturità non è particolarmente idonea né con le caratteristiche socio-economiche dell'area e delle popolazioni locali, né con gli obiettivi di una maggiore resistenza e resilienza delle foreste ai cambiamenti climatici e globali in atto.

La simulazione di interventi selvicolturali nel martelloscopio appoggiati su analisi quali quelle svolte con questa tesi costituisce un importante processo per individuare soluzioni specifiche per i boschi della zona che ottemperino ai principi della multifunzionalità e che soprattutto siano sostenibili economicamente ma anche in termini ecosistemici. Le fustaie transitorie come quella oggetto di studio sono cenosi molto omogenee, con discreta produttività ma scarsa qualità del legname e anche ridotta ricchezza ecosistemica. Pertanto, gli interventi selvicolturali dovrebbero attuarsi in considerazione di tali condizioni e della sensibilità climatica che il faggio sta dimostrando nei confronti delle gelate tardive e della siccità estiva, fattori che potrebbero ridurre la sua vitalità e produttività di legno e di seme.

La simulazione dei due diversi interventi selvicolturali (uno più produttivo e uno più conservativo) ha permesso di valutare mediante le differenze tra i parametri dendrometrico-strutturali ante-post, sia la resa di assortimenti legnosi ritraibili, sia la valorizzazione della biodiversità. Gli output prodotti sono stati opportunamente analizzati e confrontati tra loro, evidenziando che è possibile, a tutela dell'economia locale, eseguire un diradamento per la valorizzazione della biodiversità ma che comunque garantisca un'accettabile ripresa legnosa. Considerando che il prelievo medio in questi boschi è di circa il 30% della massa legnosa in piedi l'intervento produttivo si attesterebbe intorno al 35% mentre quello ecosistemico fra il 25 e il 30%. Quest'ultimo potrebbe incentivare anche processi legati al pagamento dei servizi ecosistemici potenziali dell'area. La suddivisione del martelloscopio in 4 quadranti (ognuno di circa 2500 m²), nonostante le moderate differenze dendrometrico-strutturali, è stata utile per evidenziare che anche su superfici limitate potrebbe essere opportuno

diversificare l'intensità degli interventi in relazione ad alcuni caratteri stazionali (pendenza, copertura, caratteristiche dei singoli individui arborei).

Queste valutazioni e considerazioni sono imprescindibili per una selvicoltura di attualità, pro-attiva e calibrata sulle effettive esigenze delle foreste, che cambiano fra clima e socio-economia. Queste sperimentazioni, una volta validate, forniranno fondamentali indicazioni anche per adeguare norme e regolamenti, troppo spesso ancorati a soluzioni semplificate e ancora basate sulla forte dicotomia fra ceduo e altofusto.

5 BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

Bibliografia

- Baglioni L., Urbinati C., Vitali A., Murgia I., Tonelli E., Pazzaglia V., Prosdocimi M., Malandra F., Gambelli D., Cameli A., 2023. "Il progetto BIO.S.E.I.FOR.TE, Biodiversità e Servizi Ecosistemici In FOReste e Territorio – un’opportunità per il territorio del Monte Nerone": 8-15.
- Bernetti G., Del Favero R., 2012. "Selvicoltura produttiva. Manuale tecnico"
- Biondi, Franco, and Kishor Waikul. "DENDROCLIM2002: A C++ program for statistical calibration of climate signals in tree-ring chronologies." *Computers & geosciences* 30, no. 3 (2004): 303-311.
- Bunn, Andrew G. "Statistical and visual crossdating in R using the dplR library *Dendrochronologia* 28, no. 4 (2010): 251-258.
- Camarero, J.J., Gazol, A., Sangüesa-Barreda, G., Oliva, J., Vicente-Serrano, S.M., 2015. To die or not to die: early warnings of tree dieback in response to a severe drought. *J. Ecol.* 103, 44–57
- Chiavetta, Ugo, and Sebastian Marzini. "foreMast: an R package for predicting beech (*Fagus sylvatica* L.) masting events in European countries." *Annals of Forest Science* 78 (2021): 1-10.
- Consorzio forestale del Monte Nerone, 2020. Piano Particolareggiato di Assestamento Forestale, decennio 2021-2030.
- Di Filippo a., Biondi F., Cufar K., De Luis M., Grabner M., Maugeri M., Presutti Saba E., Schierone B., Piovesan G., 2007. Bioclimatology of beech (*Fagus sylvatica* L.) in the Eastern Alps: Spatial and altitudinal climatic signals identified through a tree-ring network. *J. Biogeogr* 34, 1873-1892.
- Dittmar C, Elling W (2006) Phenological phases of common beech (*Fagus sylvatica* L.) and its dependence on region and altitude in Southern Germany. *Eur J Forest Res* :181-188
- Ebone, A., et al (2012). "Il Faggio. Conoscenze e indirizzi per la gestione sostenibile in Piemonte.": 101-111.
- Gaglioppa, P., Guadagno, R., Marino, D., Marucci, A., Palmieri, M., Pellegrino, D., Schirpke, U., Caracusi, C., 2017. L’assestamento forestale bastato su servizi ecosistemici e pagamenti per servizi ecosistemici: considerazioni a valle del progetto LIFE+ Making Good Natura. *Riv. Forest@* 99-106
- Gonin, P., Larrieu, L., Miozzo, M., Corezzola, S., 2020. Diagnosi della biodiversità con l’Indice di Biodiversità Potenziale (IBP): 2-5;
- IPLA- REGIONE MARCHE, 2001. I tipi forestali delle Marche. Inventario e Carta Forestale della Regione Marche. Ancona.
- Klopčič M., Rozman A., Bončina A (2022). Evidence of a Climate-Change-Induced Shift in European Beech Distribution: An Unequal Response in the Elevation, Temperature and Precipitation Gradients
- Lizzi, L. 2023. Rilievo con Mobile Laser Scanner per la riproduzione digitale del martelloscopio del M. Nerone
- Lori, L., 2019. Sensibilità climatica del faggio (*Fagus sylvatica* L.) nell’Appennino centrale: 31-32
- Ningre F, Colin F (2007) Frost damage on the terminal shoot as a risk factor of fork incidence on common beech (*Fagus sylvatica* L.). *Ann For Sci* 64:79–86
- Nolè, A., Rita A., Ferrara A.M.S., Borghetti, M., 2018. Effects of large-scale late spring frost on a beech (*Fagus sylvatica* L.) dominated Mediterranean mountain forest driven from the spatio-temporal variations of NDVI. *Ann. For. Sci.* 75, 1-11
- Nosenzo A., Boetto G., Berretti R., Università di Torino – Dip. Agro.Selvi.Ter. 2019. "Arboricoltura da legno, la classificazione degli assortimenti legnosi"
- Orsetti, A., 2023. Analisi dendroanatomiche per valutare la sensibilità climatica del faggio (*Fagus sylvatica*) in Appennino centrale: 3-4

- Pazzaglia V.; 2021 *Diversità strutturale e servizi ecosistemici nelle faggete del monte Nerone (PU)*. Tesi triennale, CdL Scienze Forestali e Ambientali L-25 (UNIVPM). a.a. 2020/2021.
- Schirpke, U., Caracusi, C., 2017. L'assestamento forestale bastato su servizi ecosistemici e pagamenti per servizi ecosistemici: considerazioni a valle del progetto LIFE+ Making Good Natura. Riv. Forest@ 99-106
- Schweingruber, F.H. (1996). Tree Rings and Environment-Dendrochronology. Haupt, Bern Pacheco-Solana A, Oelkers R, D'Arrigo R, Santos GM, Rodriguez-Caton M, Tejedor E, Ferrero E, Fuentes AF, Maldonado C and Andreu-Hayles L (2023) Radiocarbon and wood anatomy as complementary tools for generating tree-Ring records in Bolivia. Front. Plant Sci. 14:1135480. doi: 10.3389/fpls.2023.1135480
- Taras, M., 2021. Fustaie di faggio per la produzione di seme nel gruppo del Monte Catria-Acuto (PU). Tesi di LM in Scienze Forestali, dei Suoli e del Paesaggio, UNIVPM
- Till O (1956) Über die Frosthärte von Pflanzen sommergrüner Laubwälder. Flora, Abt. B 143:499–542
- Tonelli, E., 2018. Pattern crono-spaziali e sensitività climatica di *Pinus Peuce* e *Pinus heldreichii* in ecotoni di treeline in sistemi orografici mediterranee: 25-28
- Vicente-Serrano, S.M., S. Begueria and J.I. Lopez-Moreno, 2010. *A multi-scalar drought index sensitive to global warming: the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index*. Journal of Climate, 23: 1696–1718.

Sitografia

<https://integratenetwork.org>

https://sebastianmarzini.shinyapps.io/test_pasciona/

<https://www.arpae.it/it/temi-ambientali/siccita/scopri-di-piu/scopri-indicatori-siccita/scopri-indicatori-spei#>

<https://www.cloudcompare.org/presentation.html>

<https://www.isprambiente.gov.it/it/archivio/notizie-e-novita-normative/notizie-ispra/2015/05/la-biodiversita-in-italia>

<https://www.isprambiente.gov.it/it/attivita/biodiversita/le-domande-piu-frequenti-sulla-biodiversita/come-si-presenta-la-situazione-della-biodiversita-in-italia>

https://www.isprambiente.gov.it/pre_meteo/siccitas/spicalc.html

<https://www.lifegoprofor.eu/it/news/i-martelloscopi-goprofor-fanno-parte-di-integrate-network.html>

<https://www.lifegoprofor.eu/it/progetto.html>