



UNIVERSITÀ
POLITECNICA
DELLE MARCHE

DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE, ALIMENTARI E AMBIENTALI (D3A)

CORSO DI LAUREA IN SCIENZE FORESTALI E AMBIENTALI (L25)

**Analisi dendroecologica su pino nero (*Pinus nigra*
Arn.) e orniello (*Fraxinus ornus* L.) nella foresta
demaniale delle Cesane (PU)**

*Dendroecological analysis of black pine (*Pinus nigra* Arn.) and
manna ash (*Fraxinus ornus* L.) in the Cesane Regional forest (PU)*

Tesi di Laurea di
Vittoria Bocchini

N. 1080312

Vittoria Bocchini

Relatore

Prof. Carlo Urbinati

Carlo Urbinati

Correlatori

Dott. Tonelli Enrico

Tonelli Enrico

Dott. Alessandro Vitali

Alessandro Vitali

Desidero ringraziare il Prof. Carlo Urbinati per la sua disponibilità, per l'aiuto che mi ha dato nella stesura dell'elaborato e per la sua immensa passione che riesce sempre a trasmettere.

Ringrazio inoltre i Dottori dell'area Sistemi Forestali del D3A: Alessandro Vitali, Francesco Malandra, Leonardo Lori per l'aiuto fornitomi durante le fasi di lavoro ed un particolare ringraziamento va ad Enrico Tonelli che mi ha aiutata nell'elaborazione dei dati.

Ringrazio infinitamente i miei genitori che hanno reso possibile tutto questo percorso e che mi hanno sempre supportata e sopportata in questi anni senza mai lasciarmi sola.

Un ringraziamento speciale va anche a Giulia, mia sorella, Sergio, Matteo e Jacopo che mi sono sempre stati accanto e hanno sempre creduto in me.

Infine, ma non per importanza, ringrazio Gloria, insostituibile compagna di studio e di avventure che ha reso questi anni indimenticabili, che mi ha supportata e specialmente sopportata.

INDICE

ELENCO DELLE TABELLE.....	4
ELENCO DELLE FIGURE.....	5
1. INTRODUZIONE E OBIETTIVI DELLA TESI.....	7
1.1 Il pino nero: caratteri morfologici, biogeografici ed ecologici.....	7
1.2 I rimboschimenti di pino nero in Italia e nelle Marche.....	14
1.3 Obiettivi del lavoro.....	22
2. IL PINO NERO NELLA FORESTA DEMANIALE DELLE CESANE (PU).....	24
2.1 Area di studio.....	24
2.1.1 Caratteri geolitologici, climatici e vegetazionali.....	25
2.1.2 Cenni storici.....	30
2.2 Individuazione e perimetrazione del sito.....	32
2.3 Rilevamento dei parametri dendrometrici su piante in piedi.....	33
2.4 Il rilevamento dendrocronologico.....	36
2.5 Preparazione, misurazione e analisi degli anelli legnosi.....	38
3. RISULTATI.....	42
3.1 Assetto dendrometrico-strutturale del soprassuolo.....	42
3.2 Struttura cronologica.....	44
3.3 Dinamica di accrescimento.....	45
3.4 Relazioni clima-accrescimento.....	49
4. CONCLUSIONI.....	54
5. BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA.....	55

ELENCO DELLE TABELLE

Tabella 1.2.1 Andamento delle variazioni di superficie boscata dal 1847 al 2000 (Mongini, 2006).....	19
Tabella 1.2.2 Stadi di sviluppo ripartito per i rimboschimenti; superficie espressa in ettari.....	21
Tabella 1.2.3 Dati delle superfici di categorie forestali ripartite per assetto patrimoniali. Superfici espresse in ettari.....	21
Tabella 2.1.1.1 Tabella semplificata delle precipitazioni medie annue delle stazioni di Fossombrone e Urbino, aggiornate fino al 2000. Precipitazioni espresse in mm (OGSM).....	26
Tabella 2.1.1.2 Dati termo-pluviometrici della stazione di Urbino.....	27
Tabella 3.3.1 Media delle statistiche descrittive relative alle ampiezze anulari di pino nero e orniello. AC(1): autocorrelazione di primo ordine, SM: sensitività media. Per l'orniello sono riportati i dati solamente di 15 individui non sottoposti.....	45
Tabella 3.4.1 Media delle statistiche descrittive relative alle specie orniello e pino nero..	49

ELENCO DELLE FIGURE

Fig. 1.1.1 Esempio di <i>Pinus nigra</i> Arn.	7
Fig. 1.1.2 Tronco con corteccia scagliosa grigio-nera di <i>Pinus nigra</i>	8
Fig. 1.1.3 Foglie aghiformi e strobili di forma ovale-conica di <i>Pinus nigra</i>	9
Fig. 1.1.4 Sezione trasversale del tronco di un esemplare di pino nero.....	10
Fig. 1.1.5 Distribuzione di <i>Pinus nigra</i> in Italia (Portale della Flora italiana).....	12
Fig. 1.1.6 Esemplari di pino nero sopra il limite potenziale del bosco.....	14
Fig. 1.2.1 Distribuzione percentuale delle fustaie coetanee di pino nero e di pino laricio in Italia in base allo stadio evolutivo (INFC 2005).....	18
Fig. 1.2.2 Carta dell'area interessata.....	22
Fig. 2.1.1 "Comprensorio" delle foreste demaniali delle Cesane (PU) (Google Earth).....	25
Fig. 2.1.1.1 Diagramma semplificato di Bagnolous & Gausson per la stazione di Urbino (Mongini, 2006).....	27
Fig. 2.1.1.2 Diagramma dell'evapotraspirazione potenziale di Thorntwaite per la stazione di Urbino (Mongini, 2006).....	28
Fig. 2.1.1.3 Distribuzione comunale della foresta demaniale delle Cesane.....	28
Fig. 2.1.1.4 Distribuzione della vegetazione forestale.....	29
Fig. 2.1.2.1 Foresta demaniale delle Cesane (Fermanelli, 1992).....	30
Fig. 2.2.1 Perimetro dell'area del martelloscopio con le piante finora mappate (verde). Ai fini della cubatura precisa ne è stato abbattuto un campione rappresentativo (rosso)....	33
Fig. 2.3.1 Cavalletto dendrometrico in lega metallica.....	34
Fig. 2.3.2 Ipsometro elettronico Vertex con relativo trasponder.....	35
Fig. 2.3.3 Esempio di tavola a due entrate per il calcolo del volume (INFC).....	36
Fig. 2.4.1 Trivella o succhiello di Pressler.....	38
Fig. 2.5.1 Sistema ottico LINTAB (Rinntech).....	39
Fig. 3.1.1 Distribuzione delle specie presenti nel soprassuolo.....	42
Fig. 3.1.2 Distribuzione di frequenza diametrica di esemplari di pino nero e orniello relativa ai 40 individui dei quali sono stati presi i campioni legnosi.....	43
Fig. 3.1.3 Distribuzione di frequenza dell'altezza di esemplari di pino nero e orniello relativa ai 40 individui dei quali sono stati presi i campioni legnosi.....	44
Fig. 3.2.1 Distribuzione di frequenza età delle due specie esaminate (Pino nero e Orniello).....	45

Fig. 3.3.1 Cronologia media di ampiezza degli anelli degli individui di pino nero.....	46
Fig. 3.3.2 Cronologia media di ampiezza degli anelli di individui di orniello.....	47
Fig. 3.3.3 Curva degli incrementi di area basimetrica di pino nero (BAI, basal area increment).....	48
Fig. 3.3.4 Curva degli incrementi di area basimetrica di orniello (BAI, basal area increment).....	48
Fig. 3.4.1 Correlazione fra Tmax-accrescimento pino nero.....	50
Fig. 3.4.2 Correlazione fra Tmin-accrescimento pino nero.....	50
Fig. 3.4.3 Correlazione fra precipitazioni-accrescimento pino nero.....	51
Fig. 3.4.4 Correlazione fra Tmax-accrescimento orniello.....	52
Fig. 3.4.5 Correlazione fra Tmin-accrescimento orniello.....	52
Fig. 3.4.6 Correlazione fra precipitazioni-accrescimento orniello.....	53

1. Introduzione e obiettivi della tesi

1.1 Il pino nero: caratteri morfologici, biogeografici ed ecologici

Caratteri morfologici

Il pino nero (*Pinus nigra* Arn.) è una gimnosperma sempreverde appartenente all'ordine delle *Pinales* ed alla famiglia delle *Pinacee*. È un albero di origine preglaciale che può raggiungere i 40 m di altezza e che può vivere oltre 200 anni e cresce prevalentemente in un clima tipico di ambiente temperato. (Fig.1.1.1)



Fig. 1.1.1 Esempio di *Pinus nigra* Arn.

Il genere *Pinus* secondo alcuni autori deriva dal latino *pix-cis*, “pece, resina”, questo in virtù delle tipiche e abbondanti escrescizioni resinose della pianta in ogni suo settore, diversamente, secondo altri autori, la radice del nome è da attribuire al celtico *pen* “testa”, in virtù della forma conica, allungata e appuntita della sua chioma, con particolare riferimento ai soggetti più giovani. Il nome della specie, *nigra*, richiama le tonalità nerastre delle striature della corteccia e delle parti interne degli strobili, con particolare riferimento alle aree interne delle squame.

Il tronco è eretto, talvolta sinuoso, con rami orizzontali e verticillati; la corteccia è scagliosa, di colore grigio-nero e presenta solchi profondi soprattutto in età adulta. La chioma è folta,

conica negli esemplari giovani, crescendo piramidale diventa poi tronco-conica ed infine a ombrello negli esemplari più vecchi. (Fig. 1.1.2)



Fig. 1.1.2 Tronco con corteccia scagliosa grigio-nera di Pinus nigra

L'apparato radicale è costituito da un grosso fittone dal quale si dipartono radici laterali robuste e relativamente molto lunghe che danno una discreta stabilità alla pianta; i rami giovani sono di colore argento giallastro, quelli più vecchi assumono invece un colore marrone nerastro.

Le foglie sono persistenti, aghiformi, acute, robuste e pungenti, lunghe da 8 a 16 cm; sono riunite solitamente in gruppi di due e avvolte da una guaina membranosa, sono di colore verde scuro.

Il pino nero è una specie principalmente monoica ovvero porta i fiori, a sessi separati, sullo stesso individuo: le infiorescenze maschili sono raccolte in amenti sessili, cilindrici, di colore giallo; quelle femminili, poco appariscenti, sono riunite in amenti poco brevemente pedunculati, di colore dal verde al rosso. L'impollinazione è anemofila e caratterizzata da un'abbondante produzione di polline. La fioritura è visibile nel periodo che intercorre tra maggio e luglio. I frutti sono rappresentati dalle pigne (strobili) di forma ovale-conica, solitarie o talvolta riunite in gruppi di 2-4, inizialmente di colore verde e poi fulve; queste sono attaccate direttamente ai rami in modo orizzontale e perpendicolare, a maturità risultano lucide e lunghe circa 4-9 cm con una larghezza di 3 cm circa. (Fig. 1.1.3).

I semi sono lunghi (6-8 mm), cuneiformi, compressi lateralmente, di colore dal grigio-bruno al grigio cenere, dotati di un'ala lunga diverse volte il seme (15-25 mm). La fertilità è di solito alta, non sono dormienti e quando hanno la temperatura ideale germinano. I semenzali di pino nero hanno 7-8 cotiledoni sottili e lunghi 2,5-3 cm, glabri e non denticolati. L'ipocotile è più o meno violaceo, sottile 1 mm di diametro, le foglie primarie sono lunghe 3-4 cm e piuttosto larghe, poco pungenti e provviste al margine di denti ravvicinati e brevi. La gemma apicale, quando compare, è ricoperta da abbondante resina, i cotiledoni cadono nell'autunno del primo anno e le foglie definitive compaiono nell'anno successivo. La maturazione dei semi avviene in 2 anni circa e la disseminazione è per lo più anemocora e la loro dispersione in zone anche più lontane è favorita dal poco peso dei semi stessi (Nasi, 2017).



Fig.1.1.3 Foglie aghiformi e strobili di forma ovale-conica di Pinus nigra

Il legno del pino nero presenta un albarno ampio e chiaro, di color bianco-giallognolo, mentre il duramen è rossastro nel quale si addensano grosse quantità di resina, è quindi caratterizzato da una certa elasticità e inoltre è contraddistinto da un rilascio dell'umidità piuttosto rapido; presenta una tessitura media, con fibre dritte, anelli ben evidenti e tra legno

primaverile e legno tardivo vi è una netta distinzione (Fig 1.1.4). I canali resiniferi sono numerosi e larghi e si trovano per lo più nel legno tardivo o di transizione.



Fig 1.1.4 Sezione trasversale del tronco di un esemplare di pino nero

La qualità tecnologica del legno varia molto in base alla provenienza e quindi variano anche i suoi utilizzi; in genere è un legno resinoso, con buone proprietà meccaniche ma di breve durata, se non trattato. Un tempo era usato nelle miniere alpine e per l'estrazione della resina da utilizzare come coibente, mentre oggi è usato in genere per carpenteria grezza, per la produzione di pasta di cellulosa e semplicemente per ottenere cippato.

Caratteri biogeografici

Il pino nero è oggi considerato una specie relitta pioniera: pioniera perché è stata tra le prime specie vegetali a occupare gran parte del continente europeo; relitta perché oggi è confinata in un'area molto più ridotta a causa della sua scomparsa in altre zone.

Il pino nero è in realtà un insieme di specie, che si sono differenziate in un areale molto vasto e frammentato, secondo la *Flora Europaea* 1993, un'enciclopedia di piante composta da cinque volumi, pubblicata tra il 1964 e il 1993 dalla *Cambridge University Press*, la specie *Pinus nigra* Arn. è distinguibile in 5 sottospecie:

- *Pinus nigra* J.F.Arnold subs. *nigra*: detto pino austriaco, si diffonde nell'Italia centrale e in Abruzzo e nella parte nord-orientale particolarmente in Friuli-Venezia Giulia, nell'Austria sud-orientale e nella penisola balcanica compresa la Grecia;
- *Pinus nigra* subs. *dalmatica*: diffuso lungo le coste della Dalmazia;
- *Pinus nigra* subs. *laricio*: simile al larice, occupa la parte centro-meridionale dell'areale Corsica e l'Italia, Sicilia e Calabria;
- *Pinus nigra* subs. *pallasiana*: si trova nella parte più orientale del suo areale, detto anche pino di Crimea, dove caratterizza numerosi boschi nel clima pontico, nell'Anatolia e sull'isola di Cipro;
- *Pinus nigra* subs. *salzamannii*: è la sottospecie più occidentale, chiamato pino di Spagna o pino delle Cevenne, è distribuito dal Marocco e Algeria, alla Spagna centrale e orientale, sui Pirenei, nelle cevenne, viene indicato anche come *Pinus clusiana* Clem.

Il pino nero ha un areale piuttosto ampio in Europa meridionale, mentre in Italia le stazioni primarie sono limitate alle Alpi e Prealpi calcareo-dolomitiche e all'Appennino centrale. (Fig. 1.1.5). Le entità indigene nel territorio italiano sono il pino nero d'Austria, il pino nero di Villa Barrea e il pino nero laricio di Calabria spesso diffuse in aree non accorpate e ad altitudini differenti. La distribuzione di *Pinus nigra* ssp. *austriaca* comprende il Veneto, dove è limitato nella media valle del Piave e il Friuli-Venezia Giulia dove invece è più diffuso, soprattutto in Valcellina (Pordenone) e nel ramo orientale del bacino del Tagliamento (Valle del Fella) dove il luogo più tipico è il Canale di Resia (Stefanelli, 1967; Poldini, 1969; Paiero, 1981). Per quanto riguarda la distribuzione del pino nero di Villetta Barrea (*Pinus nigra* ssp. *italica*) comprende oltre ai boschi abruzzesi, quelli di maggior riferimento, anche quelli dell'alta Val di Sangro (Aquila-Chieti) mentre il nucleo maggiore è situato vicino all'abitato di Villetta Barrea nel Parco Nazionale dell'Abruzzo. Tuttavia è presente, sebbene in misura minore, anche in Campania, Basilicata e Calabria sui monti di Orsomarso. Il pino laricio calabrese (*Pinus nigra* ssp. *calabrica*) si distingue su tre aree separate: la Sila, l'Aspromonte e il versante settentrionale dell'Etna con le pinete di Linguaglossa (Meschini e Longhi, 1955).

In Italia il rimboschimento con le due sottospecie di pino nero (austriaco e Villetta Barrea) fu praticato dalla fine del '800 al 1970 in tutte le regioni, soprattutto nell'area montuosa appenninica. Una delle regioni italiane di interesse da rimboschimenti di pino nero è la Toscana, dove l'opera di rimboschimento più ampia fu quella di Monte Morello (Firenze),

oltre al quale si ricorda quello della Calvana (PO), Monticelli (PT), Comano (MS), Scopetone (AR), buon parte del territorio casentinese (AR) e le Cornate di Gerfalco (GR).

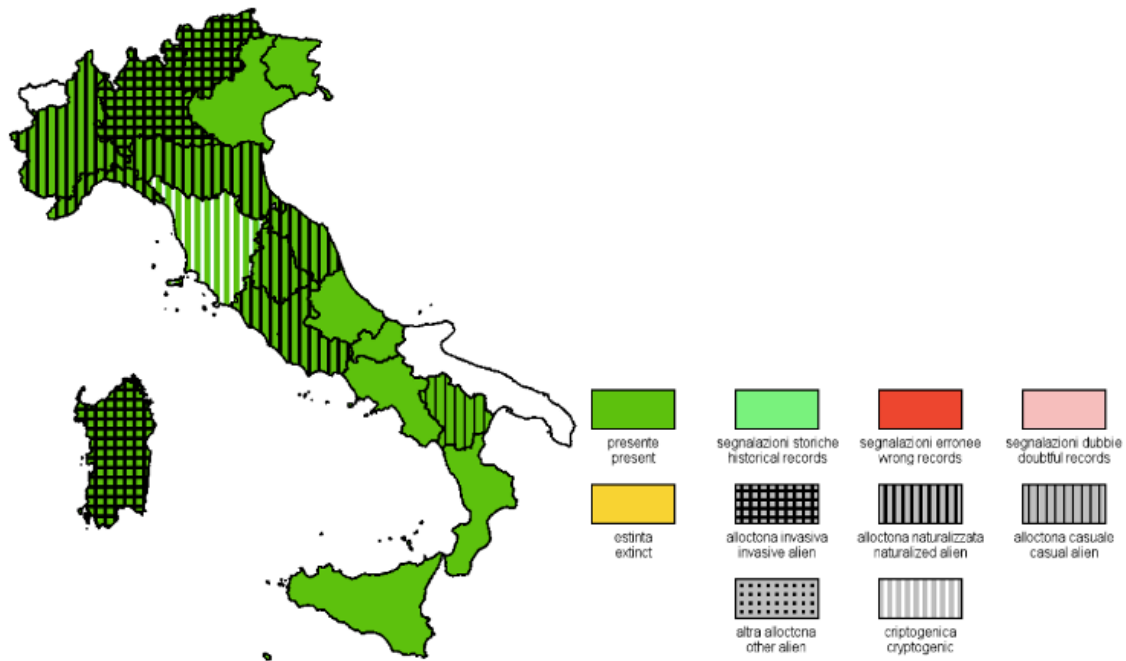


Fig. 1.1.5 Distribuzione di *Pinus nigra* in Italia (Portale della Flora italiana)

Nelle Marche i principali rimboschimenti di pino nero sono stati effettuati nella provincia di Pesaro e Urbino e comprendono: la Foresta Demaniale di Monte Carpegna e delle Cesane, la Foresta Demaniale Regionale del Furlo (Monte Pietralata e Monte Paganuccio) e la Foresta Demaniale di Monte Montiego. Nella provincia di Ancona i rimboschimenti comprendono le aree della Dorsale marchigiana fra Arcevia, Fabriano e Sassoferrato tra cui la Foresta Demaniale Regionale di Albacina e l'alto Esino e Monte Conero. Nella provincia di Macerata il pino nero fa da protagonista nella Foresta Demaniale Regionale di Cingoli, fra San Severino Marche e Gole del Fiastrone, Ussita e Visso. Infine, nella provincia di Ascoli-Piceno vi è la presenza di rimboschimenti di pino nero nelle pendici meridionali del Monte Vettore, dintorni di Roccafluvione e Montagna dei Fiori.

Caratteri ecologici

Il pino nero però è maggiormente presente nella fascia montana, a quote generalmente superiori agli 800 m nelle zone montane interne nell'ambito della vegetazione della faggeta, infatti vediamo che il limite altitudinale passa da una quota media di 858 m s.l.m nel 2013 a una quota media di 1.197 m s.l.m nel 2080, facendo registrare uno spostamento verso l'alto del limite di 339 m s.l.m con una velocità di spostamento di circa 5 m l'anno (Faraoni e

Travaglini, 2016). È una specie molto utilizzata a scopo di rimboschimento per l'elevata adattabilità e il rapido sviluppo anche in condizioni difficili (Fig. 1.1.6). Il pino nero non ha particolari esigenze nei riguardi della tessitura del suolo, adattandosi sia a terreni estremamente sciolti come quelli sabbiosi sia a terreni pesanti come quelli argillosi. Può crescere su substrati di diversa natura chimica: calcare, dolomiti, in suoli acidi granitici o sabbiosi, è in grado di attecchire e crescere su suoli scadenti sia per qualità chimiche (scarsa presenza di nutrienti, alta concentrazione di ioni calcio e magnesio) che fisiche (assenza di una struttura e di un profilo evoluto), si adatta bene, pertanto, ad essere impiantato sui litosuoli derivanti dalle opere di gradonamento, come quelle largamente realizzate sui pendii dissestati e/o a forte pendenza dei rilievi dell'Italia peninsulare (Federici 2005). Il pino nero ha la capacità di evitare gli stress idrici, quindi riesce a crescere e a svilupparsi su suoli con scarse riserve idriche (poco strutturati e con elevate pendenze) e in presenza di regimi a bassa piovosità e a forte illuminazione. Inoltre non risente delle basse temperature invernali ed ha una buona resistenza ai danni da neve, tollera anche suoli marnosi e argille compatte; sopporta basse temperature, e grazie all'apparato radicale, che è potente, anche su suoli superficiali, resiste bene alla siccità, anche se è esigente per quanto riguarda la piovosità estiva (300-400 mm). Il pino nero è caratterizzato dalla capacità di utilizzare l'acqua portata dalle correnti umide provenienti dal mare: il tronco elevato e la scarsa ramificazione concentrata nella zona apicale ne fanno una sorta di apparato per la captazione del vapore d'acqua che sugli aghi si condensa formando gocce che poi cadono al suolo come precipitazioni occulte (Pignatti, 1998). Questo adattamento rappresenta la ragione del successo di esemplari di pino nero ma anche in ambienti di limite (come quelli del limite superiore del bosco), nei quali nessuna altra specie arborea è in grado di sopravvivere (Urbinati et al., 2019) (Piermattei et al., 2012, 2014, 2016; Vitali et al., 2017, 2018). In questi casi la sua crescita è molto ridotta, molto lenta (individui centenari presentano a volte tronchi con diametri di appena 20-30 cm) (Pignatti, 1998).



Fig. 1.1.6 Esempjari di pino nero sopra il limite potenziale del bosco

Il pino nero non tollera i substrati troppo pesanti ed asfittici e non sempre si adatta agli ambienti urbani con problemi di inquinamento atmosferico, spesso infatti in condizioni ambientali non idonee presenta un deperimento fisiologico progressivo con arrossamento e necrosi degli aghi posti nella parte interna della chioma che cadono in massa lasciando la pianta spoglia soprattutto all'interno. Quando tali condizioni sfavorevoli sono accentuate dall'ombreggiamento della chioma o da stress di natura parassitaria (come attacchi da parte di insetti quali cocciniglie o processionaria), tali necrosi possono portare alla morte della pianta.

1.2 I rimboschimenti di pino nero in Italia e nelle Marche

In Italia

Il pino nero è una delle specie di conifere maggiormente utilizzata nei rimboschimenti in Appennino centrale per le sue capacità adattive e di crescita rapida anche su suoli privi di orizzonti organici, con uno scarso apporto idrico e con scheletro abbondante, nelle aree montane con altitudini comprese fra i 600 e i 1500 m. In alcuni contesti ambientali ha acquisito anche una valenza paesaggistica e ricreativa (es. nella Foresta Demaniale delle Cesane). Sebbene estraneo a molti ecosistemi in cui è stato impiantato (come nelle zone montane del centro Italia) il pino nero ha sempre garantito, anche in condizioni stazionali estreme, una rapida ed efficace copertura arborea con relativa formazione di lettiera. Il

successo di numerosi rimboschimenti, è testimoniato anche dalla frequente e abbondante rinnovazione naturale nelle pinete adulte, che dimostra che nonostante siano fuori areale, i pini neri abbiano trovato condizioni ambientali soddisfacenti per la riproduzione.

I pini neri hanno l'ottimo climatico nella sottozona calda del *Fagetum* (piano montano inferiore), ma si distribuiscono anche, nel piano montano subatlantico, nel piano superiore alla fascia delle latifoglie eliofile e si spingono fino alla fascia dei boschi supramediterranei di roverella. Sono specie pioniere ed eliofile, anche se tollerano una limitata competizione laterale del bosco denso e presentano temperature medie annue ottimali che variano tra i 7-12°C con il mese più freddo che non deve essere inferiore ai -2°C. La rinnovazione naturale necessita di sufficiente illuminazione, quindi ha luogo solitamente al margine del bosco o in radure e quasi mai sotto copertura, è più frequente nei popolamenti esposti a sud, relativamente umidi, ed in concomitanza di annate di produzione di seme sono notevoli (pasciona) e dove sono stati eseguiti diradamenti eccessivi che, invece di favorire le specie autoctone, hanno creato le ideali condizioni di luce per l'affermazione dei pini.

Se si tratta invece di rimboschimenti su stazioni fertili, soprattutto in seguito ad adeguati interventi selvicolturali, la rinnovazione è impedita dallo svilupparsi di un giovane strato di latifoglie, che si prevede sostituirà gradualmente ma completamente il pino nero.

Gli interventi di rimboschimento realizzati nel corso del tempo lungo tutto l'Appennino, ma in generale in tutte le zone collinari e montane d'Italia, vennero previsti per rispondere principalmente alle problematiche di erosione, ruscellamento superficiale e dissesto idrogeologico del suolo che caratterizzavano il territorio, fortemente sfruttato a fini energetici e agro-pascolivi dall'uomo tra il XVIII e XIX secolo con diffusi disboscamenti e dissodamenti, incendi ed eccessivo pascolamento anche in stazioni non idonee. Dall'Unità d'Italia fino agli anni Cinquanta del secolo scorso sono state dettate le norme per il riassetto dei territori montani, realizzando opere di rimboschimento per il consolidamento del suolo ed il ripristino dei soprassuoli precedentemente degradati; oltre a soddisfare le necessità socio-economiche del tempo, utilizzando quindi inizialmente specie capaci di sfruttare nel miglior modo le scarse risorse a disposizione, di ricoprire rapidamente il suolo e allo stesso tempo produrre anche legname.

Si diede quindi avvio ad una identificazione e perimetrazione dei boschi e territori sottoposti a vincolo forestale, inoltre si iniziò a garantire anche lo sviluppo del suolo e a regolare il corso delle acque in un bacino principale o secondario, prevedendo di sottoporre a vincolo forestale anche nuove superfici da rimboschire o rinsaldare. Venne inoltre introdotto il principio secondo cui nei suddetti terreni rimboschiti e rinsaldati la coltura boschiva, il taglio

del bosco, come ogni altra operazione forestale, deve compiersi secondo un “piano di coltura e conservazione” redatto dall’Amministrazione forestale (Art. 18); anche se, vista l’inadeguatezza degli strumenti di legge e delle limitate risorse finanziarie, si registrarono scarsi risultati.

Un nuovo capitolo si aprì all’inizio del ‘900, quando con la crescita industriale e l’espansione urbana aumentò anche lo sfruttamento industriale del bosco e le richieste di carbone, legna da ardere, traversine ferroviarie, legno da opera e carpenteria. Si ebbe così una progressiva intensificazione dei lavori di rimboschimento anche se, in generale, l’attuazione dei nuovi provvedimenti forestali fu ostacolata dallo scoppio della Prima Guerra Mondiale e dalla grave crisi economica del dopo guerra.

Secondo Pavari (1933), *“mentre dal 1867 al 1922 la superficie annualmente rimboschita per azione diretta dello Stato era di 926 ettari, nel periodo fascista anteriore alla creazione della Milizia forestale (1922-1926) tale cifra si elevò a 2.629 ettari e nel periodo 1926-1934 è passata a 7.593 ettari”*. L’istituzione della Milizia forestale segnò quindi l’inizio di un’opera ancora più vasta: crebbero i consorzi di rimboschimento, furono iniziati i lavori di sistemazione idraulico-forestale in numerosi perimetri montani e si intensificò la produzione delle piantine nei vivai forestali.

Le opere di rimboschimento e di ricostituzione dei boschi degradati furono definite *“opere pubbliche di competenza dello Stato”* nell’ambito dei territori montani da classificare come *“comprensori di bonifica montana”* in ragione dell’esigenza di un intervento straordinario per rimuovere il degrado fisico o il grave dissesto economico che impedivano una proficua sistemazione produttiva (Ciabatti et al. 2009). I finanziamenti vennero prorogati fino al 1966, quando entrò in vigore il Secondo Piano Verde previsto dalla Legge 27 ottobre 1966 n. 910 con ulteriori finanziamenti per i rimboschimenti. Fra il 1952 e il 1968 la superficie rimboschita a livello nazionale fu circa tre volte quella degli oltre ottant’anni precedenti (dal 1867 al 1950).

Per il rapido sviluppo economico e la forte richiesta di materie prime ai rimboschimenti di conifere vennero attribuite funzioni produttive per la fornitura di derivati del legno quali cellulose e paste di legno, che riuscirono a incentivare importanti investimenti pubblici, ma anche privati caratterizzati da una prospettiva imprenditoriale. Per le mutate condizioni di mercato gli obiettivi prefissati non furono raggiunti, anche perché soprassuoli in grado di esplicare funzione di difesa idrogeologica e di valorizzazione paesaggistica, non potevano contemporaneamente avere potenzialità anche per la produzione di legname da lavoro. L’interesse dello Stato per i rimboschimenti si riduce con l’istituzione delle Regioni a statuto

ordinario e il conseguente trasferimento delle competenze in materia di agricoltura e foreste disposto dal DPR del 15 gennaio 1972 n.11. Dopo gli anni '70 la politica forestale sui rimboschimenti si concentra sulla produzione legnosa con specie a rapido accrescimento. Dagli anni '80 in poi subentrarono le misure predisposte dall'Unione Europea con i primi Regolamenti che contribuirono ad un'espansione della superficie rimboschita ma solo nei primi anni '90 ritorna un interesse nelle opere di riforestazione. L'obiettivo principale dell'azione europea rivolta al rimboschimento rimane quello ambientale ed in particolare la conservazione e il miglioramento del paesaggio, la tutela della biodiversità e la mitigazione e il contrasto ai cambiamenti climatici.

In Italia i rimboschimenti realizzati nel nuovo millennio riguardano prevalentemente impianti di arboricoltura da legno su terreno agricolo, come pioppo, noce e ciliegio; la funzione primaria di indirizzo dei rimboschimenti rimane quella naturalistica e ricreativa, volta ai nuovi concetti di tutela della biodiversità e gestione forestale sostenibile (GFS). La realizzazione di rimboschimenti rimane quindi limitata o ad azioni localizzate di ripristino ambientale, quali sistemazione di cave, discariche, aree percorse da incendio, o all'impianto di colture legnose specializzate per biomassa ad utilizzo energetico, legname di qualità ed altro.

Nell'ultimo decennio l'attività di rimboschimento si è notevolmente ridotta, (ad eccezione di piantagioni di specie pregiate) ed inoltre, negli impianti preesistenti non sono state effettuate le necessarie cure colturali ma solo casuali interventi fitosanitari e ripuliture, comportando spesso densità eccessive, instabilità strutturali, non ottimali condizioni fitosanitarie, bassa efficienza funzionale e frequenti schianti; ciò ha portato ad un peggioramento della stabilità e dell'evoluzione biologica degli esemplari sottoposti a rimboschimento (Ciancio e Nocentini, 1983).

In Italia, secondo i dati dell'Inventario nazionale delle Foreste e dei Serbatoi forestali di Carbonio del 2005 (Gasparini & Tabacchi, 2011) i boschi di pino nero e di pino laricio coprono una superficie di oltre 235.000 ettari, pari al 2,7% della superficie forestale nazionale. Di questi circa i 2/3 si trovano in Calabria, Friuli-Venezia Giulia, Abruzzo, Toscana ed Emilia-Romagna. Il 56% (circa 130.000 ettari) del totale dei soprassuoli appartenenti a questa sottocategoria forestale è classificato come di origine artificiale, mentre solo il 13,9% (circa 30.000 ettari) è di origine naturale e si trova per la quasi sua totalità in Calabria, Friuli-Venezia Giulia e Abruzzo. Più di $\frac{3}{4}$ (circa 155.000 ettari) delle pinete di pino nero e di pino laricio sono fustaie coetanee; la distribuzione delle pinete di pino nero in Italia dimostra come più del 90% dei popolamenti appartenga agli stadi evolutivi

compresi tra la fustaia giovane e la fustaia stramatura. Sono pressoché assenti gli stadi evolutivi di fustaia in rinnovazione e solo lo 0,5% della superficie è in fase di novelleto (373 ettari in Sardegna) (Fig. 1.2.1) (Catani e Di Salvatore, 2018).

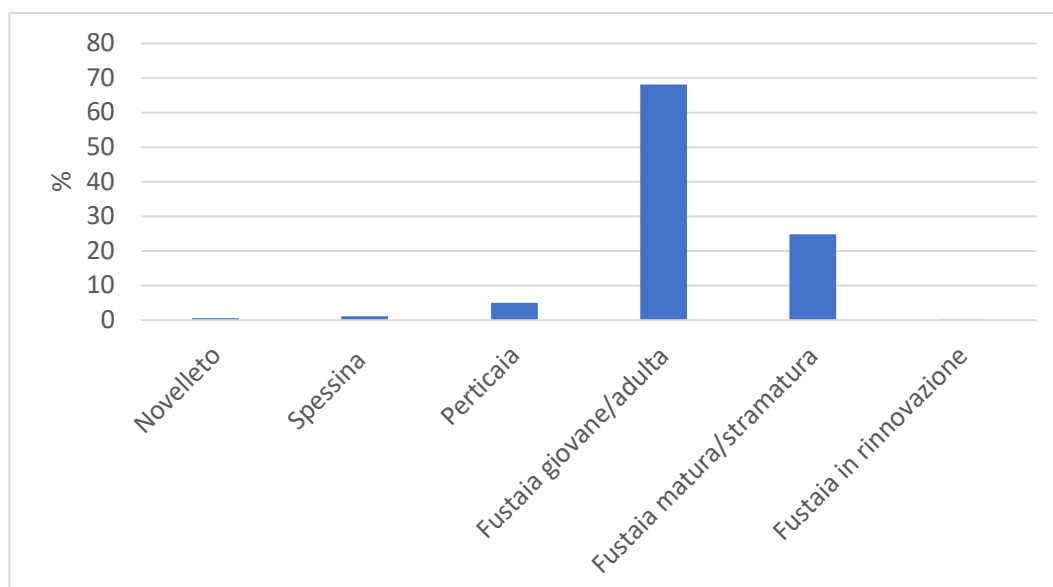


Fig. 1.2.1 Distribuzione percentuale delle fustaie coetanee di pino nero e di pino laricio in Italia in base allo stadio evolutivo (INFC 2005)

Buona parte delle pinete ha oggi sostanzialmente raggiunto l’obiettivo originario di garantire stabilità idrogeologica e ad oggi priorità gestionale per questi soprassuoli artificiali è quella di una progressiva “rinaturalizzazione” tramite trattamenti selvicolturali appropriati, volti a creare ed avviare le dinamiche evolutive verso popolamenti misti di specie autoctone. La rinaturalizzazione dei rimboschimenti e delle monoculture di conifere rappresenta attualmente uno dei principali obiettivi della selvicoltura.

Nelle Marche

Anticamente la Regione Marche era quasi completamente boscata ma, come in tutti i territori in cui l’uomo si è insediato, sviluppato e ha prosperato, la copertura forestale è stata profondamente alterata a livello strutturale paesaggistico e floristico-vegetazionale. Tralasciando i periodi più antichi, i cui dati statistici sono poco affidabili, secondo i rilievi del catasto Gregoriano (primo catasto rurale) del 1847 i boschi delle Marche coprivano una superficie di ha 132.325. Nel 1877, secondo l’inchiesta Jacini effettuata dopo l’annessione al Regno d’Italia, la superficie boscata regionale risultava di ettari 111.510, con un decremento di oltre. 20.000 ettari in soli 30 anni (Tabella e grafico 1.2.1). Ciò è da imputare al passaggio dei beni territoriali ecclesiastici a privati con conseguente immediato taglio e

dissodamento irrazionale dei boschi, prevalentemente per soddisfare il bisogno di carbone o legna da ardere da parte dei privati, che si è manifestato sia il ceduo che l'altofusto. Dal dissodamento si salvarono solo i boschi di accesso più difficile localizzati sull'appennino, per il resto gli ambiti collinari rimasero pressoché spogli, tranne alcuni popolamenti ai margini dei campi (Mongini, 2006).

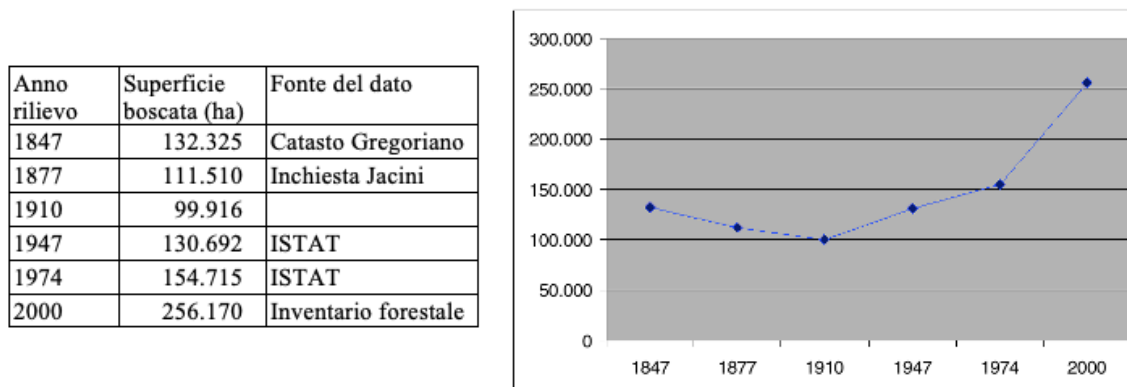


Tabella e grafico 1.2.1 Andamento delle variazioni di superficie boscata dal 1847 al 2000 (Mongini, 2006)

Uno dei passaggi fondamentali fu il 1908 quando lo Stato adibì la riforestazione per fini di difesa idrogeologica, dovuto al precedente utilizzo eccessivo e depauperamento del suolo per soddisfare le esigenze alimentari (quindi per fini agricoli relativi per lo più alla coltivazione di cereali) e di mercato (per quanto riguarda la produzione di legname), con l'acquisizione del grosso comprensorio di S. Gerbone (AP), delle Cesane (PU) nel 1919, del Monte Carpegna (PU) e successivamente delle altre aree che oggi costituiscono l'insieme delle Foreste Demaniali Regionali delle Marche. Gli obiettivi erano: una rapida ricostituzione del soprassuolo degradato a scopo protettivo e di regimazione delle acque, una copertura di terreni inutilizzati e abbandonati, con scopi produttivi. Nelle Marche, come in tutta Italia, i maggiori risultati si ottennero in seguito all'emanazione della legge forestale nazionale (R.D.L 3267/23) e del successivo regolamento di attuazione, per cui alcune zone furono sottoposte a vincolo idrogeologico e destinate al rimboschimento di protezione. I primi rimboschimenti del dopoguerra avevano in comune un diffuso utilizzo del pino nero a formare popolamenti vasti e puri.

Oggi nelle Marche, il pino nero, con il 28% per numero di individui ed il 49% per massa legnosa totale, rappresenta la specie di conifere più utilizzata nei rimboschimenti, presente dalla fascia collinare fino ai limiti altitudinali superiori e sporadicamente nella fascia costiera (IPLA, 2001). La presenza di latifoglie miste (sia piantate che spontanee) nei rimboschimenti è numericamente accentuata (52%) ma limitata in termini di massa legnosa (14% della massa

totale) poiché sono in gran parte nel piano dominato e quindi di piccole dimensioni (diametro compreso tra i 5 e i 10 cm). L'evoluzione dei rimboschimenti di conifere verso formazioni miste con latifoglie autoctone è quindi potenzialmente in atto, ma sarà comunque compito degli interventi selvicolturali programmati, guidarla verso formazioni più stabili e resilienti. La funzione prevalente dei rimboschimenti di conifere è quella protettiva, ma oggi appaiono rilevanti anche:

- quella produttiva: in cui si deciderà in base alle esigenze aziendali la possibilità di sostituire i pini neri. In ogni caso le prescrizioni di massima di polizia forestale impongono un turno minimo di 60-70 anni (nelle Marche 60 anni).
- quella paesaggistica: nella quale si può verificare se nel tempo il pino nero è diventato parte integrante del paesaggio di zone fuori areale, e, se si desidera condurre alcuni popolamenti di particolare pregio estetico ad una elevata longevità.
- quella naturalistica: dove si prevede la sostituzione del pino nero con le specie autoctone.

Gli interventi selvicolturali utilizzati per trattare queste diverse situazioni sono:

- taglio a raso, con estensioni massime di 1-3 ettari in terreni non troppo accidentati, non sottoposti a vincolo idrogeologico e destinati a produzione legnosa; questo viene effettuato per permettere la sostituzione di pino nero con specie più adatte;
- taglio a buche, nel caso in cui si decide di mantenere il pino nero, si effettuano delle aperture in determinate aree per garantire l'ingresso della luce e permettere quindi la rinnovazione; se al contrario si è già affermata la rinnovazione autoctona, si favorirà la vegetazione naturale;
- taglio selettivo: in quei rimboschimenti a piano dominante misto di conifere e latifoglie per eliminare parte delle conifere e favorire lo sviluppo delle latifoglie;
- piantagioni localizzate di latifoglie: a seguito di diradamenti e solo in stazioni di buona fertilità, per orientare la successione;
- sottopiantagioni: effettuate in pinete a lenta evoluzione, vengono utilizzate le latifoglie meno eliofile come faggio, carpino nero e cerro;
- diradamento: spesso trascurato per mancanza di ritorno economico ma risulta essere fondamentale per migliorare la stabilità del popolamento e per avviare la rinnovazione naturale; molto spesso sono stati effettuati diradamenti dal basso per ridurre le spese ed eliminare le piante dominate, malformate e instabili.

La struttura di questi soprassuoli è tendenzialmente monoplana, con il piano dominante costituito dalle conifere e con densità generalmente da piena a colma, dove a volte è ancora

visibile la struttura a file regolari dell'impianto originario. Le latifoglie piantate solitamente, sono nel piano inferiore lungo le file interposte alle conifere, quelle spontanee spesso sono in gruppi insediati dopo disturbi naturali (schianti da vento e/o neve, incendi) o eccessivi diradamenti.

Mediamente i rimboschimenti delle Marche si trovano in uno stadio di sviluppo adulto (Tabella 1.2.2), poiché hanno costituito un denso piano dominante dove la concorrenza è terminata, la mortalità naturale si è ridotta e al suolo previene una maggiore quantità di luce, che, in alcuni casi, ha dato origine ad un piano dominato, il quale però non riesce ad emergere.

<i>Categorie</i>	<i>Novelleto</i>	<i>Spessina</i>	<i>Perticaia</i>	<i>Fustaia adulta</i>	<i>Fustaia senescente</i>	<i>Fustaia disetanea</i>	<i>Totale</i>
Rimboschimenti	350	1.250	4.500	9.175	450	150	15.875

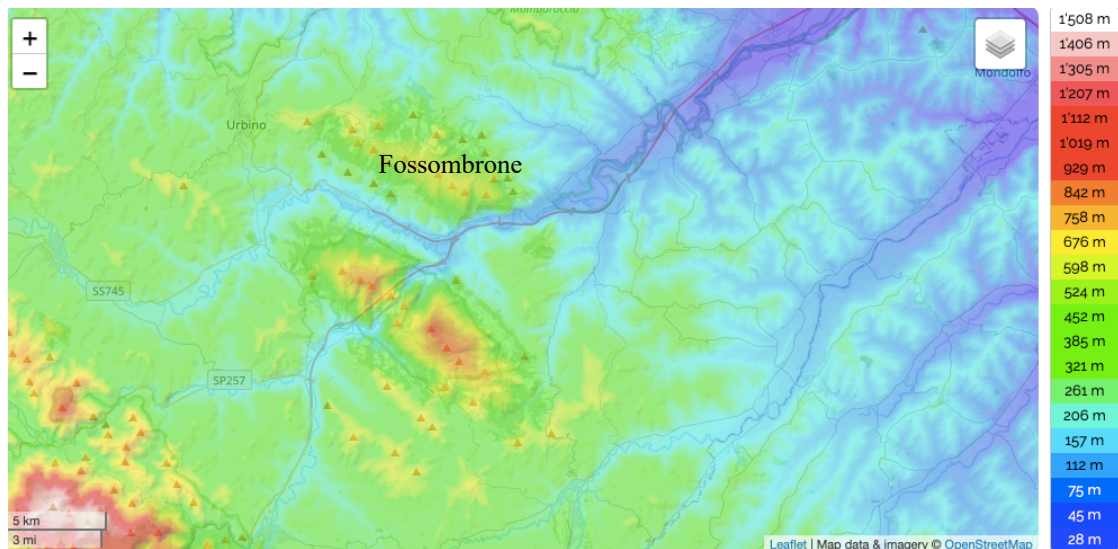
Tabella 1.2.2 Stadi di sviluppo ripartito per i rimboschimenti; superficie espressa in ettari

Nella maggior parte dei casi, i rimboschimenti hanno fornito una pronta copertura del suolo, ma nel medio-lungo periodo hanno dato origine ad alcuni soprassuoli piuttosto instabili, a causa delle mancate cure colturali e soprattutto dell'elevata sensibilità delle conifere agli incendi, agli attacchi parassitari e ai danni meteorici.

Nelle Marche, i rimboschimenti di conifere della fascia delle latifoglie, che comprende il piano supra-mediterraneo ad altitudini comprese tra i 400 e i 1000 m.s.l.m. (Fig. 1.2.2), hanno una superficie totale pari a circa il 7,5% della superficie forestale regionale (Tabella 1.2.3). Sono localizzati nei settori collinari interni e nei rilievi montani di tutta la regione, prevalentemente su proprietà pubblica, quali: Foresta demaniale delle Cesane, Foresta demaniale Regionale del Furlo, il Monte Conero, Foresta demaniale Regionale di Cingoli e San Severino Marche, Foresta demaniale Regionale di Albacina e dell'Alto Esino (Carta e Inventario forestale delle Marche).

<i>Categoria</i>	<i>Demanio regionale</i>	<i>Demanio militare</i>	<i>Comunale</i>	<i>Comunanze Un. Agrarie</i>	<i>Privata</i>	<i>Totale</i>	<i>%</i>
Rimboschimenti	3.650	32	1.125	2.097	12.538	19.443	7,5

Tabella 1.2.3 Dati delle superfici di categorie forestali ripartite per assetto patrimoniali. Superfici espresse in ettari.



Fossombrone, Pesaro e Urbino, Marche, Italia (43.69080 12.81261)

Fig. 1.2.2 Carta dell'area interessata

Purtroppo, oggi mancano i dati aggiornati regionali sulle reali condizioni dei boschi regionali, questo è particolarmente problematico nei rimboschimenti di conifere che sono soggetti a notevoli disturbi soprattutto in assenza di gestione specifica. Di notevole importanza sono gli incendi boschivi, che richiedono l'attuazione di operazioni colturali mirate e ripetute nel tempo come sfolli, ripuliture e diradamenti. Un'altra problematica è quella riguardante i danni meteorici, che vede maggior influenza in quei rimboschimenti in cui gli individui sono instabili, eccessivamente densi e che di conseguenza non ci è permessa la crescita opportuna in diametro e la diminuzione del rapporto di snellezza che li avrebbe resi maggiormente resistenti ai pesi della neve e del ghiaccio. Di minore importanza risulta invece essere l'attacco da parte degli insetti, questi determinano un fattore fisiologico delle piante in precarie condizioni vegetative, soprattutto a causa di defogliazioni ad opera del tortice verde, del bombice dispari e di attacchi da parte di Scolitidi, Curculionidi e Diprionidi; inoltre è consueta in queste pinete la presenza della processionaria del pino. Alla luce di questi problemi, l'obiettivo centrale di una futura gestione dei rimboschimenti marchigiani sarà sicuramente il miglioramento della stabilità e polifunzionalità favorendo la trasformazione graduale in formazioni miste con latifoglie autoctone, sempre da raggiungere con l'intervento di adeguate cure colturali.

2.1 Obiettivi del lavoro

Questo studio fa parte di un progetto in corso che vede la collaborazione dell'area Sistemi Forestali del D3A e l'Unione Montana dell'Alto Metauro, finalizzato alla realizzazione di un martelloscopio nella Foresta Demaniale delle Cesane (PU). Il martelloscopio si può

definire una palestra di selvicoltura dove studenti e tecnici forestali possono cimentarsi nella simulazione di diverse opzioni gestionali dei soprassuoli. Nel 2020 ne è stata avviata la realizzazione in un'area boscata della superficie di 1 ettaro all'interno di una delle numerose pinete a prevalenza di pino nero presenti nell'area demaniale (Lucesole, 2020; Nespola, 2021). Sono stati cavallettati e numerati tutti gli alberi in piedi (vivi e morti) presenti, e sono in corso la loro mappatura e i rilevamenti dei dati dendrometrico-strutturali.

L'obiettivo della tesi è quello di investigare l'aspetto cronologico e auxometrico (età cambiale e accrescimento annuale) delle due specie arboree maggiormente presenti nel soprassuolo oggetto di studio: *Pinus nigra* Arn. e *Fraxinus ornus* L.. Sulla base di tali dati si è poi proceduto a caratterizzare e quantificare le relazioni fra accrescimento annuale e fattori climatici locali al fine di individuare i maggiori fattori limitanti e comprendere le caratteristiche attuale e potenzialità future delle due specie. Tali informazioni saranno fondamentali per mettere in atto una gestione forestale il più possibile adeguata alle esigenze del soprassuolo stesso. Ai fini dello studio sarà quindi necessario comprendere, in base alle caratteristiche dendrometriche-strutturali e dendrocronologiche, se considerare entrambe le specie nella gestione, e quindi trovare un compromesso per garantire le migliori condizioni vegetative ad entrambe le specie arboree, oppure sacrificare una delle due.

2. Il pino nero nella foresta demaniale delle Cesane

2.1 Area di studio

Il comprensorio delle Cesane rientra interamente nella provincia di Pesaro-Urbino, ed è limitato ad Ovest dal comune di Urbino, ad Est e a Sud da Fossombrone e a Nord da parte del comune di Isola del Piano (Fig 2.1.1). I monti delle Cesane, situati non molto distante dalla Gola del Furlo, rappresentano le diramazioni orientali, verso il Mar Adriatico, della grande dorsale Umbro-Marchigiana che, insieme ai rilievi dei Monti Catria e Nerone, costituiscono l'ossatura della nostra Regione. Questa catena montuosa è formata da una serie di rilievi, con altitudine massima di 648 m s.l.m., che si estendono per circa 15-20 Km formando un'ampia zona verde di notevole rilevanza turistica e paesaggistica.

I boschi delle Cesane, di circa 1500 ettari, offrono l'immagine apparente di una foresta vergine e naturale, denominata appunto "Foresta demaniale delle Cesane".

Le Cesane si estendono su un altopiano e occupano un territorio complessivo di 2.213 ettari dei quali 2044,5 ettari (92,4%) appartengono al bacino del fiume Metauro ed i restanti 169,4 ettari (7,6%) fanno parte del bacino del fiume Foglia (Mongini, 2006). L'assetto patrimoniale del comprensorio delle Cesane è ripartito tra la Comunità Montana, privati, comune di Isola del Piano e Fossombrone, mentre sono diverse le destinazioni d'uso del suolo. Per quanto riguarda la viabilità principale le Cesane sono considerate "ben servite" poiché gran parte del territorio è coperto da rimboschimenti progettati direttamente tenendo conto anche della viabilità.



Fig 2.1.1 “Comprensorio” delle foreste demaniali delle Cesane (PU) (Google Earth)

2.1.1 Caratteri geolitologici, climatici e vegetazionali

Caratteri geolitologici

Da un punto di vista geologico i monti delle Cesane sono costituiti principalmente da rocce soggette a percolazioni idriche, che ne causa frantumazioni, erosioni e instabilità, fenomeno accentuato dal sottile strato di suolo presente lungo i versanti del massiccio. Le formazioni geologiche, tipiche dell'intero bacino umbro-marchigiano, sono formazioni sedimentarie marine formatesi tra il Triassico superiore e il Quaternario. In particolare rappresentano un'ampia struttura ad anticlinale (piega degli strati rocciosi tipicamente convessa verso l'alto al cui interno si trovano strati di roccia più antichi). Tale struttura è formata da facciate prevalentemente calcaree e calcareo-marnose con al nucleo quindi i terreni più antichi (Scaglia Bianca e Rossa), mentre nelle zone più prossimali, ritroviamo terreni giovani come il Bisciario e depositi marnoso-arenacei. Da un punto di vista geomorfologico l'area si presenta come un vasto rilievo con fianchi più o meno acclivi a seconda dei versanti e dalla cima arrotondata dai fenomeni erosivi. I fianchi infatti sono incisi da numerosi corsi d'acqua aventi prevalentemente carattere torrentizio, mentre a sud, sud-ovest in corrispondenza di Fossombrone, la dorsale è stata erosa dal fiume Metauro che, scavando da prima in terreni alluvionali e successivamente in terreni calcarei, ha dato vita a formazioni geomorfologiche

molto tipiche chiamate *Marmitte*, dovute alla combinazione di fattori litologici e idrodinamici del corso d'acqua.

Caratteri climatici

Per quanto riguarda la situazione climatica, il territorio delle Cesane può essere inserito nella fascia dei climi della regione Mediterranea interna (macroclima caldo temperato), ma, le caratteristiche climatiche del territorio sono influenzate ad oriente dall'esposizione verso l'Adriatico, che esercita la sua azione debolmente mitigatrice nei confronti degli afflussi di masse d'aria relativamente fredda da nord e da est, e ad ovest dalla presenza dell'Appennino, il quale ostacola il corso delle correnti occidentali, per lo più temperate ed umide.

I dati pluviometrici a disposizione dell'OGSM (Osservatorio Geofisico Sperimentale Macerata) riguardano l'archivio storico costituito dagli annuali pubblicati dall'Istituto Idrografico di Bologna per l'intervallo temporale 1921-1989, dove sono riportate, tra l'altro, le registrazioni di precipitazione di tutte le stazioni delle Marche. A queste si aggiungono le rilevazioni effettuate nelle stazioni dell'OGSM, per periodi con inizio variabile in base all'installazione dei pluviometri, aggiornate fino al 2000. Per lo studio svolto sono stati calcolati e tabulati a livello informatico i dati di precipitazione totale mensile (pioggia, neve e grandine, espresse in mm di acqua equivalente) delle stazioni a disposizione; al fine di ottenere i dati necessari per la predisposizione delle cartografie della precipitazione media annuale, primaverile, estiva, autunnale ed invernale sono stati calcolati per ogni stazione i totali annui e stagionali dei valori raccolti e le relative medie in mm dal 1950 al 1989 (Tabella 2.1.1.1). In ogni caso è da sottolineare che questa analisi risulta incompleta per la carenza di stazioni pluviometriche a quote elevate.

<i>Stazione</i>	<i>Media annuale</i>
Fossombrone	975
Urbino	847,6

Tabella 2.1.1.1 *Tabella semplificata delle precipitazioni medie annue delle stazioni di Fossombrone e Urbino, aggiornate fino al 2000. Precipitazioni espresse in mm (OGSM).*

Le Cesane rientrano nella zona fitoclimatica caratterizzata in prevalenza dai querceti caducifogli di roverella e anche ostrieti dell'ordine *Quercetalia pubescenti-petraeae* ed alleanze *Ostryo-Carpinion orientalis* dove le sclerofille (in prevalenza leccio) si restringono in gole rupestri con microclima condizionato. In particolare, prendendo come riferimento la stazione di rilevamento climatico più vicina (Urbino a 451 m.s.l.m.), si riscontrano una precipitazione annua di 874 mm, una temperatura media annua di 12,5°C e in generale, una

buona distribuzione delle precipitazioni durante tutto l'anno (I tipi forestali delle Marche) (Tabella. 2.1.1.2).

Mesi	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	MEDIA
P (mm)	71	66	60	68	69	54	37	46	39	108	98	104	874
T (°C)	2,9	3,9	7	11,2	15,2	20,1	22,7	22,4	18,7	13,2	8,5	4,4	12,5

Tabella. 2.1.1.2 Dati termo-pluviometrici della stazione di Urbino

Dal diagramma semplificato di Bagnolous & Gaussen (Fig 2.1.1.1) si verifica che la curva delle precipitazioni è sempre sopra quella delle temperature, per cui non si riscontrano gravi problemi di siccità (Mongini, 2006).

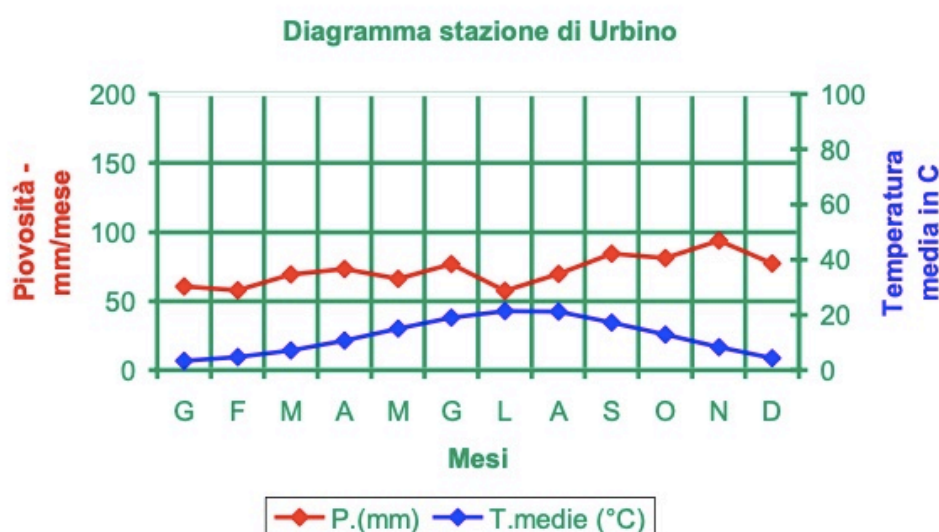


Fig 2.1.1.1 Diagramma semplificato di Bagnolous & Gaussen per la stazione di Urbino (Mongini, 2006)

Invece il diagramma dell'evapotraspirazione di Thorntwaite (Fig. 2.1.1.2) mette in luce che durante l'estate, ed in particolare nel mese di luglio, si hanno situazioni di deficit idrico prolungato, che perdurano fino all'inizio di settembre (Mongini, 2006).

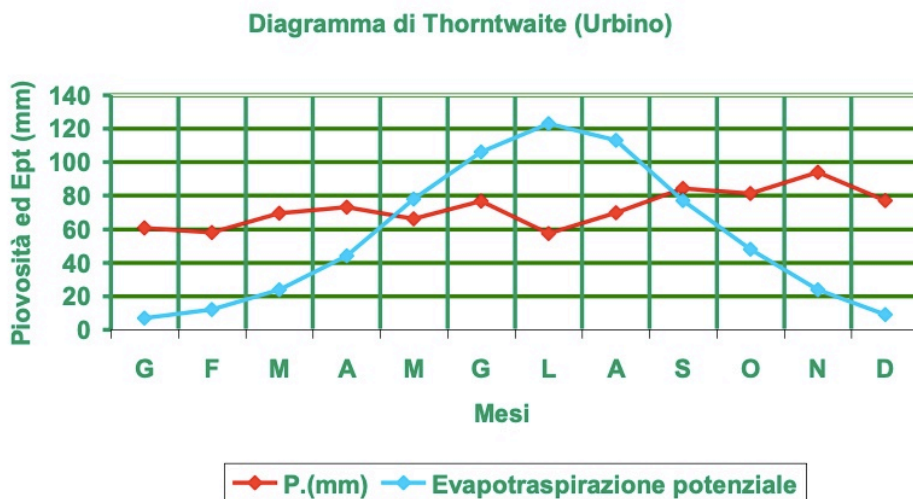


Fig 2.1.1.2 Diagramma dell'evapotraspirazione potenziale di Thorntwaite per la stazione di Urbino (Mongini, 2006)

Il cambiamento climatico è in atto e destinato a continuare: le temperature aumentano, l'andamento delle precipitazioni sta variando, ghiaccio e neve si stanno sciogliendo e il livello medio del mare si sta innalzando.

Caratteri vegetazionali

Dal punto di vista della vegetazione i Monti delle Cesane si estendono prevalentemente su piano collinare, fascia vegetazionale submediterranea, sottofasce collinare interna e submontana; oggi la Foresta demaniale delle Cesane è di circa 1483 ettari (ha) distribuiti tra i comuni di Fossombrone, Urbino e Isola del piano (Fig. 2.1.1.3).

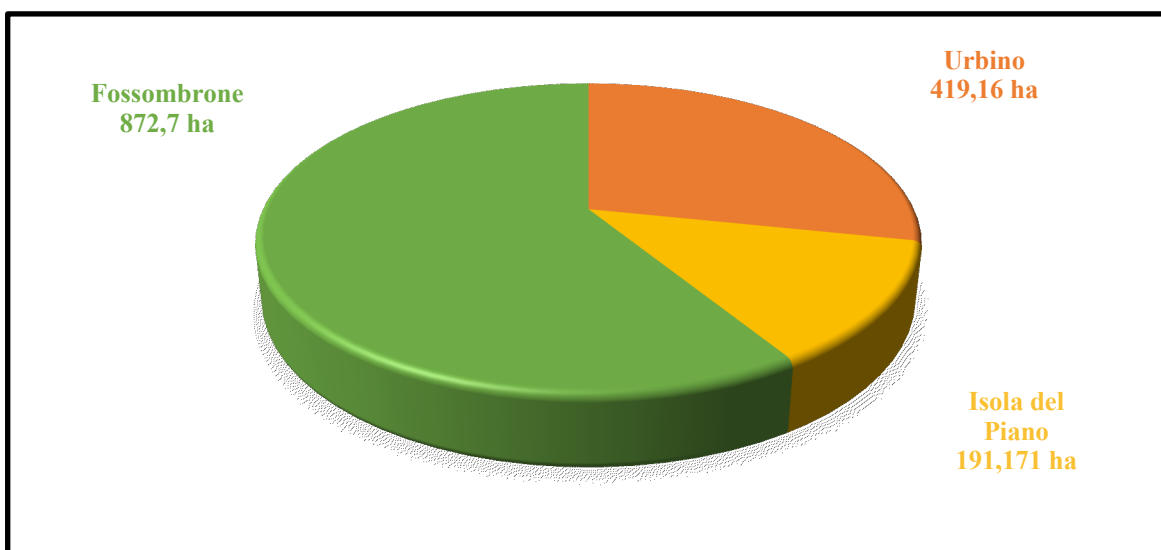


Fig. 2.1.1.3 Distribuzione comunale della foresta demaniale delle Cesane

La superficie non boscata corrisponde a circa 13 ettari, mentre la superficie boscata è di circa 1469 ettari distribuita tra fustaie conifere, boschi cedui e arbusteti (Fig. 2.1.1.4).

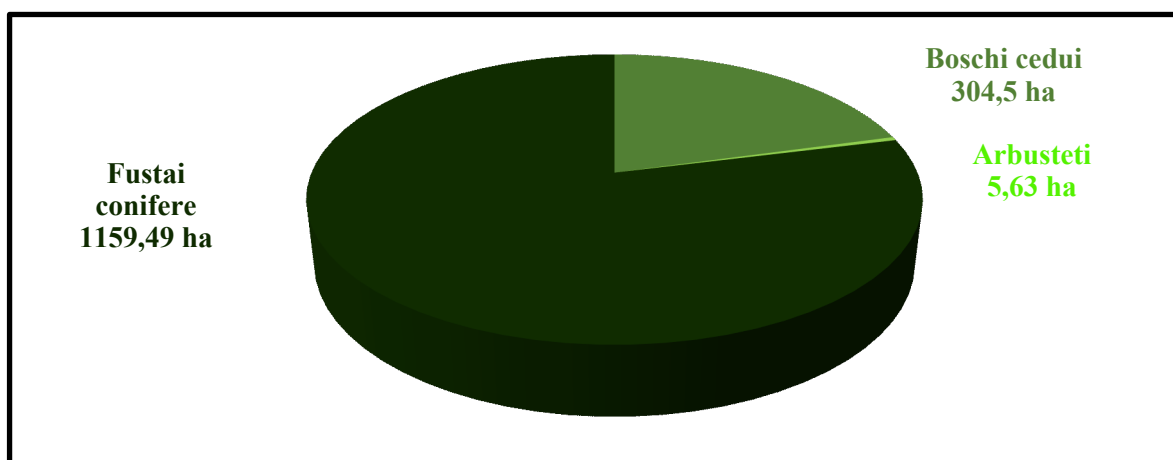


Fig. 2.1.1.4 Distribuzione della vegetazione forestale

Per il rimboschimento di quest'area sono state impiegate numerosissime specie arboree tanto che le Cesane rappresentano un "catalogo dal vivo" di conifere mondiali. Accanto ai Pini neri d'Austria (*Pinus nigra* Arn.), ovvero la specie in assoluto più rappresentata usata per i rimboschimenti, in quanto di facile attecchimento, si possono trovare pini marittimi, cipressi comuni, abeti bianchi, abeti rossi, pini d'Aleppo, cipressi dell'Arizona, cipressi di Lawson, cedri dell'Atlante e persino specie dell'Himalaya come i cedri deodara. Queste piantagioni sono state realizzate nell'intento di formare un terreno protetto per favorire una trasformazione naturale che possa permettere un nuovo insediamento di piante autoctone quali leccio, roverella e orniello, così da riportare la foresta ad un aspetto simile a quello originario. I monti delle Cesane rivestono inoltre una notevole importanza naturalistica per la presenza di piante rare in delimitate zone del territorio, tra queste alcune sono: l'orchidea farfalla (*Anacamptis papilionacea*), il citiso (*Cytisus nigricans*), la elleborina di Mueller (*Epipactis muelleri*), il barbone adriatico (*Himantoglossum adriaticum*), la pipa olandese (*Monotropa hypopitys*), la spigarola violacea (*Melampyrum variegatum*) e la campanula bolognese (*Campanula bononiensis*).

Oggi, il paesaggio dei monti delle Cesane è ancora caratterizzato da una netta prevalenza di pino nero, in mescolanza con alcune latifoglie autoctone, queste ultime insediatesi in seguito a disturbi come incendi e schianti da eventi meteorici (neve e vento).

2.1.2 Cenni storici

I boschi delle Cesane (Fig. 2.1.2.1) oggi sono una sorta di grande foresta sub-urbana, un esteso polmone verde che collega Urbino con Fossombrone e costituisce l'ultimo avamposto forestale prima di lasciare campo alla collina coltivata. In passato le risorse agro-silvo-pastorali offerte da questo sistema ambientale sono state, per millenni, di primaria importanza per le popolazioni locali, prima di essere quasi completamente compromesse da usi scorretti e non idonei per le caratteristiche fisiografiche.

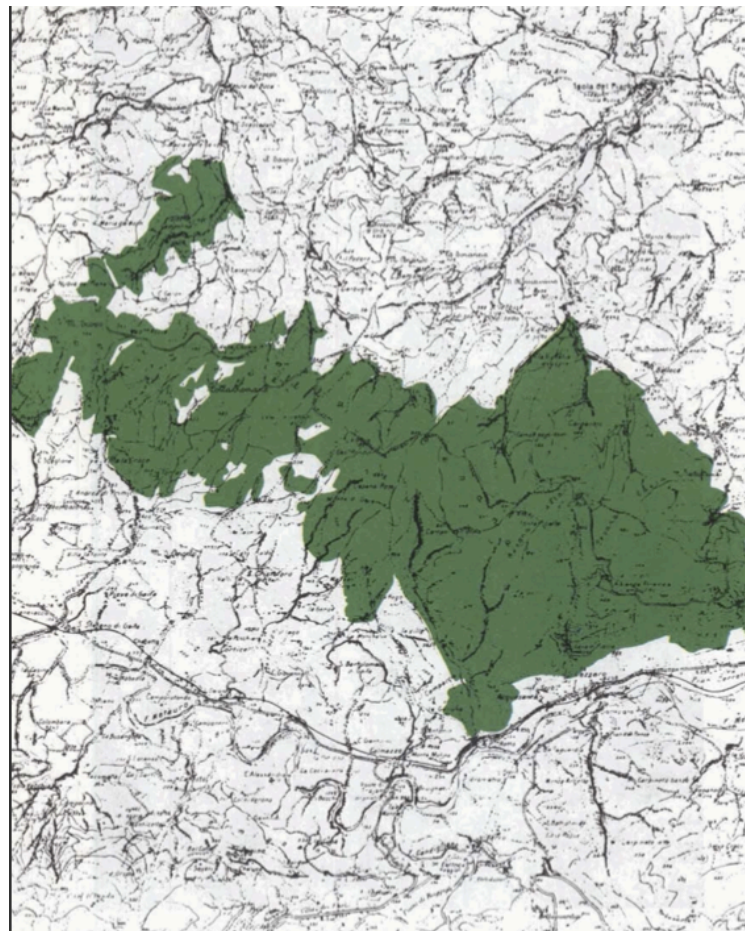


Fig. 2.1.2.1 Foresta demaniale delle Cesane (Fermanelli, 1992)

La storia della vegetazione delle Cesane risale all'ultima glaciazione (Würm, 16.000 anni fa circa) quando l'area, era coperta da una densa e uniforme vegetazione di tipo boreale con estese foreste di conifere. Dopo il ritiro a Nord dei ghiacciai inizia a modificarsi la vegetazione con la conseguente formazione di boschi misti di latifoglie con carpino, acero, faggio e abete bianco; processo che si accentuò in seguito ad un periodo climatico in cui vi fu un sensibile riscaldamento (più caldo e più umido di quello attuale), che favorì la risalita della vegetazione mediterranea come querce e Rosacee dalle zone costiere a quelle più

interne ed elevate, come appunto le Cesane. Successivamente si riscontrò un'ulteriore inversione climatica e quindi il ritorno di un clima più freddo con temperature più basse, è proprio da questo momento che entra in gioco, nella storia delle Cesane, l'uomo e le sue attività. L'antropizzazione di quest'area ha dato inizio ad uno sfruttamento e trasformazione del bosco per favorire la produzione di legna ed ottenere terreni agro-pastorali. Questa continua e prolungata situazione di sfruttamento eccessivo del suolo ha portato, all'inizio del ventesimo secolo, ad una quasi completa eliminazione delle superfici boscate di quest'area, che risultavano relegate a piccoli lembi sporadici e continuamente ceduati con turni brevi.

Il primo rimboschimento venne effettuato nel 1918 ed interessò 63 ettari di terreni compresi tra i 300 e i 550 m .sl.m. esposti a Sud, fu utilizzato esclusivamente pino nero e fu eseguito con buche poste a quinconce distanziate di 2 m; a questo intervento ne seguirono poi altri due negli anni successivi, utilizzando sempre principalmente pino nero e altre conifere. Rimboschimenti e rinfoltimenti di boschi esistenti proseguirono anche negli anni 50 e 60, grazie ai contributi del primo Piano Verde che permisero anche la costruzione di una buona viabilità forestale. Dal 1991 la Foresta Demaniale delle Cesane si estende per 1483 ettari, con un grado di copertura arborea del 99%.

Oggi il paesaggio dei monti delle Cesane è caratterizzato prevalentemente da rimboschimenti di conifere, a prevalenza di pino nero talvolta in mescolanza con latifoglie autoctone. In particolare i rimboschimenti più antichi (85 anni circa) ubicati nel versante sud-orientale, verso Fossombrone, si presentano con un denso piano dominante di pino nero in cui, però, si trovano a volte anche pochi alberi adulti di carpino nero, orniello, leccio e cipresso, derivanti dai successivi rinfoltimenti, mentre risulta assente la rinnovazione delle conifere. Nella parte centrale delle Cesane si hanno rimboschimenti di 50-60 anni circa dove, nonostante i diradamenti effettuati negli anni, la struttura monoplana a pino nero ha relegato le latifoglie al piano inferiore. Nel versante verso Urbino si hanno rimboschimenti di media di 40 anni di età, e, rispetto ai precedenti, sono stati eseguiti utilizzando un maggior numero di latifoglie ed hanno inoltre ricevuto maggiori e più tempestivi interventi successivi, presentandosi oggi con una sufficiente affermazione di orniello e carpino nero.

In piccole radure lasciate inizialmente a prato o in cui il rimboschimento non ha attecchito, si sono verificati processi di colonizzazione che hanno portato allo sviluppo di arbusteti (principalmente specie spinose non usate dal pascolo) che oggi risultano invecchiati e sofferenti. Si ritrovano inoltre anche piccoli nuclei di cedui che costituiscono relitti di vegetazione autoctona, spesso molto differenziati a livello specifico e in pochi casi sottoposti

alla conversione ad alto fusto, generalmente queste zone si trovano vicino ad impluvi, rupi o in altre parti nascoste e particolari.

In seguito a quanto illustrato si può comprendere che il fenomeno naturale della ricolonizzazione di latifoglie autoctone all'interno dei rimboschimenti, nello specifico di pino nero (e di conifere in generale), si è verificato raramente proprio a causa dell'elevata densità in cui i popolamenti sono stati tenuti fino a poco più di un decennio fa, con la rinuncia quasi totale all'esecuzione di cure colturali come diradamenti, salvo piccole e rare eccezioni. Questo ha portato ad un netto peggioramento della stabilità di numerosi rimboschimenti, dovuto a troppo elevati coefficienti di snellezza degli individui del piano dominante e ad uno stato di sofferenza nel piano dominato. Le cure colturali alla pineta rappresentano quindi un passaggio obbligatorio, per raggiungere in tempi comunque lunghi la rinaturalizzazione del bosco, consentendo quindi alle latifoglie di avere spazio a sufficienza per crescere ed affermarsi.

Oggi la Foresta Demaniale delle Cesane rappresenta una zona con aspetto singolare rispetto alle aree limitrofe, creando così un grande spazio naturalistico, particolarmente idoneo per la pratica di attività sportive all'aria aperta come mountain bike (per gli appassionati è stato realizzato un apposito circuito attrezzato) ed ovviamente escursionistico; la rete sentieristica è composta da 16 sentieri di difficoltà non elevata, si parte da semplici percorsi turistici con bassi dislivelli (100-150 m), a percorsi di tipo escursionistico con maggiore pendenza (arrivando fino a 540 m), tutti caratterizzati da un'ottima segnatura che rende semplicissimo l'orientamento (PesaroTrekking).

2.2 Individuazione e perimetrazione del sito

L'area oggetto di studio (Fig. 2.2.1) è stata scelta grazie alla collaborazione con l'Unione Montana Alta Valle del Metauro, che ha in gestione la foresta demaniale delle Cesane. L'Unione Montana ha permesso la realizzazione del progetto grazie al suo appoggio in merito alla relativa cartellonistica e all'abbattimento degli alberi modello per il calcolo preciso del volume. È stata individuata un'area con copertura colma e densità elevata, caratterizzata da esemplari di pino nero nel piano dominante e qualche esemplare di cipresso (*Cupressus macrocarpa*), orniello (*Fraxinus ornus*), roverella (*Quercus pubescens*) e acero montano (*Acer pseudoplatanus*). Per la delimitazione dell'area, per prima cosa è stato scelto un primo vertice, dal quale con il distanziometro/bussola laser (TruPulse) sono stati misurati l'angolo di 90° e la distanza di 100 m per individuare il secondo vertice. Lo stesso

procedimento è stato svolto per individuare gli altri due vertici. Successivamente, con una vernice spray rossa, sono state segnate tutte le prime piante esterne all'area.

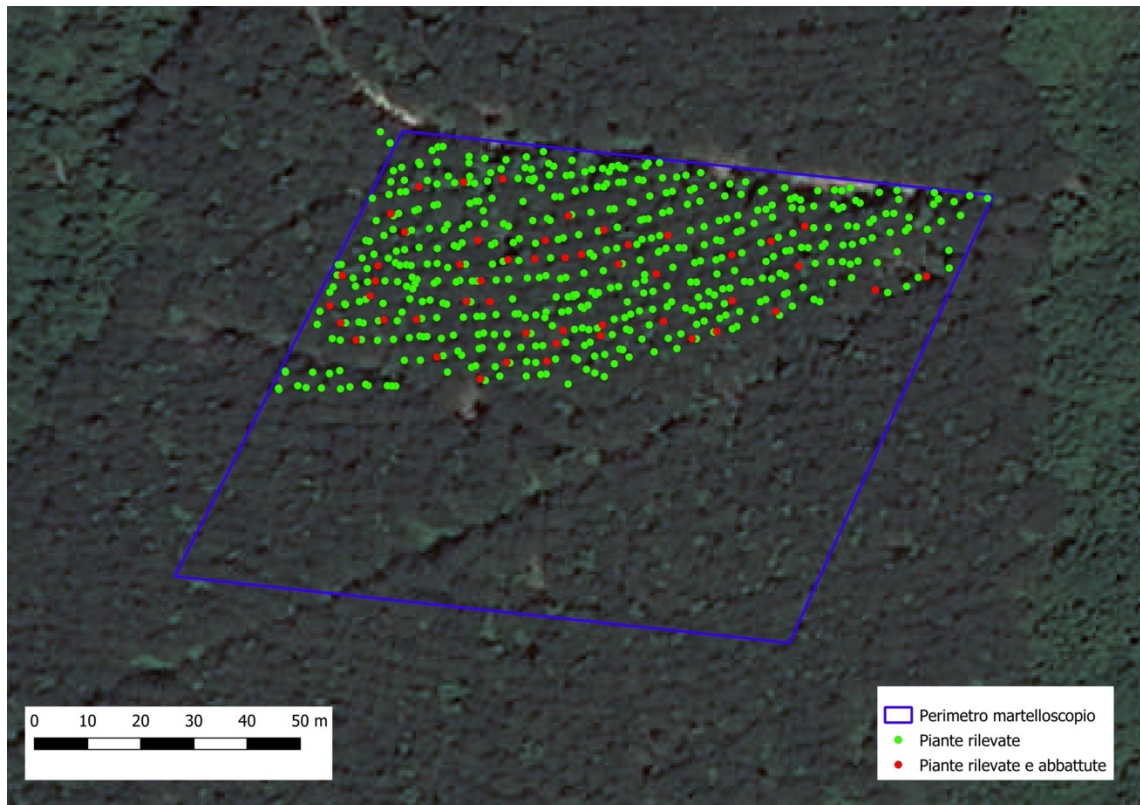


Fig. 2.2.1 Perimetro dell'area del martelloscopio con le piante finora mappate (verde). Ai fini della cubatura precisa ne è stato abbattuto un campione rappresentativo (rosso)

2.3 Rilevamento dei parametri dendrometrici su piante in piedi

Sono stati rilevati nell'area di 1 ettaro i parametri dendrometrici di 1205 individui arborei (in prevalenza monocormici). In primo luogo, sono state numerate le piante con l'utilizzo di una vernice bianca indelebile sul fusto a circa 1.50 m da terra; la numerazione progressiva è avvenuta partendo da un vertice dell'area di studio e seguendo le curve di livello a seguire le linee d'impianto degli individui arborei. Una volta stabilita la soglia diametrica minima di 7,5 cm a 1.30 m da terra, si è proceduto al censimento di tutti gli alberi (vivi e morti) presenti sopra tale soglia, per i quali sono stati rilevati i seguenti dati:

- la specie,
- il diametro a 1.30 m,
- l'altezza totale,
- l'altezza d'inserzione della chioma (prima ramificazione non isolata a partire dal fusto),
- l'altezza di eventuali biforcazioni del fusto.

Il cavallettamento è stato eseguito tramite l'utilizzo del cavalletto dendrometrico (Fig. 2.3.1), strumento costituito da un calibro in lega metallica avente un'asta graduata di diversa lunghezza (regolo), con un braccio fisso ad un'estremità ed uno scorrevole,



Fig. 2.3.1 Cavalletto dendrometrico in lega metallica

posizionandosi a monte dell'albero e prendendo preferibilmente due misure ortogonali per evitare dati non attendibili dovuti alla presenza di difetti e malformazioni del tronco.

Il rilievo ipsometric è stato effettuato con distanziometro-ipsometrico Vertex (dotato di trasponder posizionato sul fusto a 1.30 m da terra) (Fig. 2.3.2), questo ha permesso di determinare in modo rapido l'altezza degli alberi.



Fig 2.3.2 Ipsometro elettronico Vertex con relativo trasponder

Inoltre, sono stati prelevati diversi campioni legnosi sul fusto a 1.30 m con una Trivella di Pressler per la determinazione dell'età indicativa del soprassuolo.

Dopo aver rilevato tutti i dati necessari sono state scelte, per le prime 533 piante, 50 piante da abbattere che avessero dimensioni medio-grandi, un buono stato vegetativo e con una distribuzione tale da non lasciare eccessive aperture della copertura. L'abbattimento è stato effettuato da operai forestali specializzati tramite l'utilizzo di motosega e di un trattore dotato di verricello per il successivo esbosco.

Successivamente all'abbattimento sono stati presi di nuovo i parametri dendrometrici delle piante a terra per avere un confronto reale con quelle precedentemente prese.

In un secondo momento sono stati infissi appositi cartellini identificativi in tutte le piante censite con il corrispondente numero che inizialmente era stato scritto direttamente sul fusto con una vernice spray bianca indelebile.

Tutti i dati prelevati in campo sono stati raccolti in appositi piedilista e poi trasferiti su fogli elettronici Excel per i successivi calcoli dendrometrici, di cubatura ed analisi dei dati. Sulle piante in piedi sono stati raccolti i principali parametri dendrometrici quali: l'area basimetrica (g), ossia la superficie di una sezione trasversale di un fusto arboreo rilevata all'altezza di 1.30 m, la somma di queste (G) per tutti gli alberi rilevati ci fornisce le informazioni relative alla densità del bosco; il diametro medio (dg) corrisponde al diametro dell'albero avente area basimetrica media; l'altezza media (hg) ossia l'altezza del probabile albero di volume medio, ovvero con area basimetrica media e diametro medio, questo

parametro è indicativo nella caratterizzazione del popolamento; l'altezza dominante (hd100) ossia la media aritmetica delle altezze dei 100 alberi/ha con maggiore diametro, il quale è un indicatore di fertilità in boschi coetanei poiché è poco influenzato da interventi colturali; il coefficiente di snellezza (h/d), detto anche rapporto ipso-diametrico, che è un rapporto adimensionale tra l'altezza totale e il diametro del fusto a 1.30 m, la soglia di stabilità è intorno a valori tra 0,8 e 0,9 mentre valori maggiori di 1 indicano forte instabilità; la profondità di chioma (Pch), la chioma di alberi forestali per produzione legnosa deve essere equilibrata, non troppo alta né troppo bassa, per garantire accrescimento regolare, numero limitato di nodi e stabilità meccanica; infine il volume dendrometrico, ossia il volume totale (compresi fusto, cimale e rami), calcolato utilizzando le tavole di cubatura a due entrate dell'Inventario Forestale Nazionale (INFC) (Fig 2.3.3).

h (m) d (cm)	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	h (m) d (cm)
5	5.7	6.7	7.6	8.6	9.6	10.6													5
6	7.8	9.2	10.6	12.0	13.4	14.8													6
7	10.4	12.3	14.2	16.1	18.0	19.9													7
8	13.3	15.8	18.3	20.8	23.3	25.7	28.2	30.7	33.2	35.7									8
9	16.6	19.7	22.9	26.1	29.2	32.4	35.5	38.7	41.8	45.0									9
10	20.3	24.2	28.1	32.0	35.9	39.8	43.7	47.6	51.5	55.4									10
11	24.4	29.1	33.8	38.5	43.2	48.0	52.7	57.4	62.1	66.8									11
12		34.5	40.1	45.7	51.3	56.9	62.5	68.1	73.8	79.4	85.0	90.6	96.2	101.8					12
13				53.5	60.1	66.7	73.2	79.8	86.4	93.0	99.6	106.2	112.8	119.3					13
14				61.9	69.5	77.2	84.8	92.5	100.1	107.7	115.4	123.0	130.6	138.3					14
15				70.9	79.7	88.5	97.2	106.0	114.8	123.6	132.3	141.1	149.9	158.6					15
16				80.6	90.6	100.6	110.5	120.5	130.5	140.5	150.4	160.4	170.4	180.4					16
17				90.9	102.2	113.4	124.7	135.9	147.2	158.5	169.7	181.0	192.2	203.5	214.8	226.0	237.3	248.6	17
18								152.3	164.9	177.6	190.2	202.8	215.4	228.1	240.7	253.3	265.9	278.6	18
19								169.6	183.7	197.7	211.8	225.9	239.9	254.0	268.1	282.1	296.2	310.3	19
20								187.8	203.4	219.0	234.6	250.2	265.8	281.4	296.9	312.5	328.1	343.7	20
21								207.0	224.2	241.4	258.6	275.7	292.9	310.1	327.3	344.5	361.7	378.8	21
22								227.1	246.0	264.8	283.7	302.6	321.4	340.3	359.1	378.0	396.9	415.7	22
23									268.8	289.4	310.0	330.6	351.2	371.8	392.4	413.1	433.7	454.3	23
24									292.6	315.0	337.5	359.9	382.4	404.8	427.2	449.7	472.1	494.6	24
25									317.4	341.8	366.1	390.5	414.8	439.2	463.5	487.9	512.2	536.6	25
26									369.6	396.9	422.3	448.6	474.9	501.3	527.6	554.0	580.3	606.6	26
27										398.5	426.9	455.3	483.7	512.1	540.5	568.9	597.3	625.7	27

Fig. 2.3.3 Esempio di tavola a due entrate per il calcolo del volume (INFC)

2.4 Rilevamento a fini dendrocronologici

La dendrocronologia è una scienza che studia l'accrescimento delle piante arboree nel tempo. La sequenza anulare di un albero illustra in particolare le vicende climatiche durante le quali la pianta è vissuta, riportando anche le tracce di eventuali incendi od attacchi di parassiti, tracciando quindi la "storia" della pianta stessa per ogni anno della sua vita. Proprio la sequenza di eventi climatici vissuta da ogni albero nel corso della sua esistenza, puntualmente registrata nei suoi anelli di accrescimento, permette di giungere attraverso la metodologia dendrocronologica all'esatta collocazione temporale dei reperti lignei, facendo della dendrocronologia un metodo di datazione assoluta di grande precisione. Nell'ultimo ventennio questa scienza ha iniziato ad occuparsi anche di problemi dell'inquinamento

atmosferico, studiando gli effetti delle emissioni inquinanti sull'accrescimento arboreo radiale ed ha allargato il suo campo di ricerca alla climatologia e all'ecologia, nonché alla geomorfologia.

Oggetto degli studi dendrocronologici sono le caratteristiche fisico-chimiche, morfologiche e di densità degli anelli che, in quanto veri e propri registratori del tempo e delle vicende climatiche, vengono esaminati in ogni loro dettaglio. Poiché alberi della stessa specie legnosa viventi all'interno di una stessa area geografica reagiscono in modo molto simile ai fattori ambientali, dando origine a successioni anulari confrontabili tra loro.

Ai fini della determinazione della struttura cronologica della popolazione in esame, della dinamica di accrescimento e per poter effettuare le analisi dendroecologiche successive sono stati raccolti i campioni legnosi attraverso l'utilizzo della Trivella di Pressler (Fig. 2.4.1). La Trivella di Pressler è uno strumento forestale costituito da un'impugnatura in acciaio, una trivella a triplo filetto ad alta resistenza e un estrattore con una copertura al teflon ed è disponibile in varie misure, da 10 a 50 cm. Per l'estrazione della "carota legnosa" è stato necessario inserire direttamente all'interno del tronco la punta della trivella (a 1.30 m o alla base) tramite un movimento rotatorio, deciso e preciso. L'angolo di lavoro tra la trivella e il fusto dell'albero deve essere necessariamente di 90° per poter ottenere un'estrazione del campione legnoso ottimale e quindi una stima attendibile dell'età della pianta "carotata". I prelievi sono stati eseguiti lungo la direzione della curva di livello per evitare zone con legno in compressione. La scelta del punto di prelievo è stata funzionale alla caratteristica del fusto, cercando di evitare zone visibili con presenza di anomalie morfologiche (quali calli di cicatrizzazione, rami epicormici sul fusto, torsioni o eccessive ramificazioni). Le carote prelevate sul fusto arboreo hanno una sezione di 5 mm di diametro. Il "carotaggio", per quanto riguarda il di pino nero, è stato effettuato su 21 individui che presentassero un buono stato vegetativo e dimensioni medio-grandi; la stessa cosa è stata effettuata per l'orniello, dei quali sono stati presi 19 campioni legnosi rappresentativi. La "carota" legnosa è stata prelevata sul fusto dell'albero a 1.30 m, ma per alcune piante è stato prelevato un campione legnoso anche alla base del tronco, questo per avere una stima più accurata dell'età della pianta, poiché probabilmente questa, non raggiunge 1.30 m nel primo anno di vita, carotando alla base contiamo più anelli. Sono stati campionati 21 individui di pino nero e 19 individui di orniello.



Fig 2.4.1 Trivella o succhiello di Pressler

2.5 Preparazione, misurazione e analisi degli anelli legnosi

I campioni prelevati in campo sono stati trasferiti al laboratorio TreeringLab del D3A dove sono stati definitivamente incollati sul supporto apposito con colla vinilica, facendo attenzione alla disposizione delle fibre in modo che sia ortogonale al piano d'appoggio consentendo un'efficace lettura della sezione trasversale. Una volta asciugati è stata eseguita la levigatura manualmente o meccanicamente, utilizzando dapprima carte abrasive a grana medio-grossa (P 120-240) per poi concludere la rifinitura con quelle a grana fine (fino a P 800). La levigatura è stata necessaria al fine di individuare al meglio gli anelli legnosi e misurarne l'ampiezza con maggior precisione. I campioni sono stati identificati attraverso un codice univoco composto da otto caratteri rappresentanti rispettivamente la località (in questo caso FC – Foresta delle Cesane), la specie (PN per *Pinus nigra* e FO per *Fraxinus ornus*), il codice della pianta campionata (numero del cartellino o numero impresso con vernice indelebile) e direzione del trivellamento (D – destra o S – sinistra).

L'ampiezza degli anelli nei campioni di pino nero e orniello sono stati misurati attraverso il sistema LINTAB (Rinntech) (Fig. 2.5.1) costituito da un binocolare con crocefilo ed una slitta mobile porta-campione i cui spostamenti, in grado di misurare gli incrementi con una sensibilità di 0.01 mm. I dati della slitta sono raccolti e elaborati dal software TSAP (Rinntech,

2003) (Bagnara, 2012) che oltre registrare l'ampiezza degli anelli misurati dalla stazione LINTAB, restituisce dei grafici in cui sono ben visibili gli incrementi e rende possibile calcolare la media e altre statistiche delle serie misurate. Il software TSAP permette quindi anche di effettuare una prima sincronizzazione visiva delle serie misurate, ricercando anni caratteristici ed eventuali errori nella misurazione. La qualità della sincronizzazione è stata anche valutata con il programma COFECHA (Holmes 1983), che confronta i segmenti di ogni campione rispetto alla cronologia media (*master chronology*), suggerendo le varie modifiche utili a migliorare l'esatta collocazione temporale della serie cronologica misurata.



Fig. 2.5.1 Sistema ottico LINTAB (Rinntech)

Sulle serie grezze di pino e orniello sono state calcolate alcune statistiche descrittive prodotte dal pacchetto *dpLR* del programma R, tra cui le seguenti:

- l'autocorrelazione (AC1), che altro non è che la correlazione tra la serie e la stessa serie traslata di un anno e che quindi descrive l'influenza della crescita precedente sulla crescita dell'anno;
- la media (mm) che rappresenta l'ampiezza media degli anelli;
- la deviazione standard (DS) indica lo scostamento degli anelli rispetto alla media in ogni serie, più il valore è elevato, più gli anelli sono diversi tra loro, sempre riferito alla serie.

Le serie sincronizzate sono state quindi standardizzate mediante la funzione "*detrend*" del pacchetto *dpLR* del programma R per rimuovere l'autocorrelazione di primo ordine (AC1), solitamente presente nella serie di accrescimento. Questo passaggio permette di eliminare la

varianza di medio-lungo termine e mantenere quella inter-annuale dovuta alla variabilità del clima e risulta essenziale per poter poi sottoporre le serie prescelte all'analisi dendroclimatica. Nello specifico, per annullare il trend negativo registratosi nella serie, sono state utilizzate *spline*, ovvero filtri digitali a bassa frequenza calibrati nel nostro caso per rimuovere il 50% della varianza ed aventi una lunghezza d'onda di 20 anni. Uno degli elementi principali della standardizzazione dendrocronologica è l'eliminazione della tendenza biologica, vale a dire il progressivo declino della larghezza dell'anello lungo un raggio della sezione trasversale che è causato dal corrispondente aumento della dimensione del fusto e dell'età degli alberi nel tempo. L'opzione per rimuovere questa tendenza biologica consiste nell'adattare una curva, in questo caso *spline*, alle misurazioni della larghezza dell'anello. La standardizzazione è necessaria per dare ad ogni anello lo stesso peso relativo, trasformando quindi serie di ampiezze (in mm) in serie indicizzate (RWI – *Ring Widht Index*). Ciò ci permette di ottenere quindi una cronologia senza trend ma comunque senza filtrare il segnale climatico, il quale servirà per la successiva analisi dendroclimatica.

La qualità delle cronologie standardizzate per l'analisi è stata valutata attraverso gli indici R_{bar} ed EPS (*Expressed Population Signal*):

$$\text{EPS} = \frac{n \cdot R_{\text{bar}}}{(n \cdot R_{\text{bar}} + (1 - R_{\text{bar}}))}$$

dove R_{bar} indica il coefficiente di correlazione medio tra le serie della cronologia ed n il numero totale di serie utilizzate (Briffa e Jones, 1990; Wigley et al., 1984).

Sono quindi state costruite delle cronologie di ampiezza anulare e le corrispondenti cronologie di superficie anulare, denominate con l'acronimo BAI (Basal Area Increment).

Questo indice (BAI) viene utilizzato negli studi di crescita delle foreste perché fornisce una quantificazione accurata della produzione di legno in rapporto all'accrescimento del diametro di un albero (Rubino e McCarthy, 2000). Tale parametro esprime infatti l'effettivo incremento annuo di circonferenza e non è soggetto allo stesso trend negativo che subiscono gli incrementi in raggio. Infatti, con il passare degli anni la pianta pur formando la stessa quantità di biomassa, la distribuisce su una superficie anulare sempre maggiore riducendo progressivamente l'ampiezza degli anelli.

Le analisi dendroclimatiche, sono state effettuate su 24 campioni di pino nero ottenuti da 21 individui e su 12 campioni selezionati di orniello.

I fattori climatici presi in considerazione sono stati Temperatura e Precipitazione. I dati climatici mensili relativi alle temperature medie minime (Tmin) e massime (Tmax) sono stati presi dalla stazione di Fossombrone mentre per i dati relativi alle precipitazioni medie mensili (Prec) sono stati presi dalla stazione della Foresta delle Cesane, entrambi relativi all'estensione temporale 1968-2017. L'intervallo temporale per l'analisi dendroclimatica, condizionata dalla lunghezza delle serie di anelli è quella compresa fra il 1972 e il 2019 per il pino nero e 1977-2019 per l'orniello.

La correlazione tra le variabili climatiche (temperature massime, minime mensili e precipitazioni mensili) e le cronologie standardizzate è stata effettuata con il pacchetto treeclim del software R (Zang e Biondi, 2015). Tale applicativo permette di calcolare i valori di correlazione tra serie climatiche e incrementi legnosi determinandone la significatività attraverso il metodo bootstrap. Nelle funzioni di correlazione i coefficienti sono stime univariate della correlazione di Pearson.

Le correlazioni sono state calcolate tra gli incrementi della cronologia media indicizzata e i dati climatici medi mensili. Sono stati considerati i mesi relativi alla stagione vegetativa corrente, quindi da aprile a settembre, e alcuni mesi precedenti (da maggio dell'anno precedente a marzo dell'anno in corso). Sono stati considerati anche mesi precedenti all'inizio del periodo vegetativo perché in alcuni casi gli eventi meteorici dell'anno prima possono influenzare la crescita degli individui dell'anno successivo.

Una correlazione positiva con un parametro climatico significa che un aumento dei valori di quel parametro determina un effetto positivo sull'accrescimento radiale; viceversa, se la correlazione è negativa, un aumento nei valori del parametro considerato ha un effetto negativo sulla formazione dell'anello.

3. Risultati

3.1 Assetto dendrometrico-strutturale del soprassuolo

Dopo aver elaborato i dati raccolti in campo è stato possibile analizzare la struttura del soprassuolo e i risultati hanno confermato l'assetto compositivo e strutturale ipotizzato. Il bosco è una pineta a pino nero in cui è presente una discreta percentuale numerica di orniello e una sporadica presenza di acero montano, ciliegio, cipresso macrocarpa, roverella e scotano (Fig. 3.1.1).

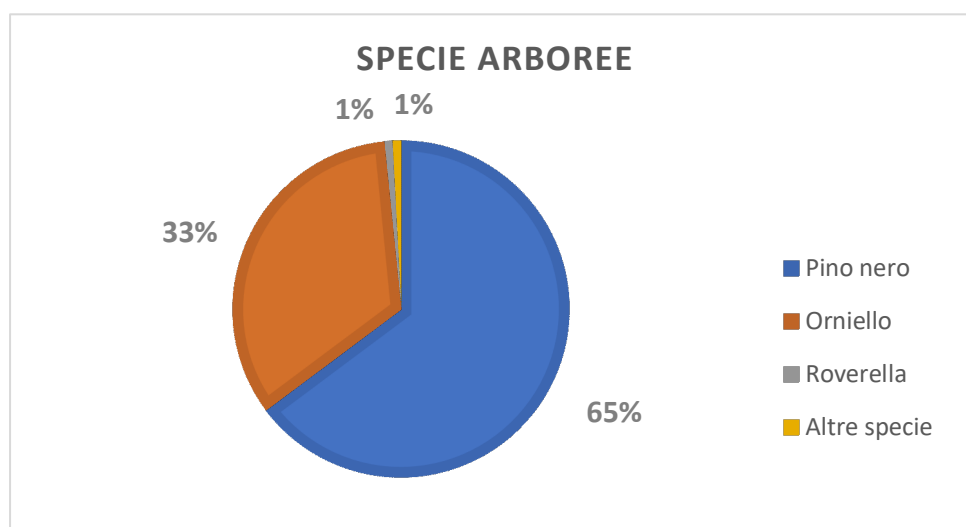


Fig. 3.1.1 Distribuzione delle specie presenti nel soprassuolo

Durante la raccolta dei dati sono state individuate e registrate anche le piante morte in piedi (*snag*), che sono in gran parte di pino nero e in alcuni casi orniello. Durante l'abbattimento selettivo si sono schiantati 11 individui in gran parte morti in piedi soprattutto di pino nero. La distribuzione di frequenza in classi diametriche degli individui presenti nel soprassuolo dalla quale risulta che il pino nero ha diametri compresi tra 15 e 45 cm, mentre l'orniello è per lo più compreso nelle classi di 10 e 15 cm. Sia il piano dominante (pino nero) che il piano dominato (orniello) sono caratterizzati da una struttura coetaniforme, tipica di un popolamento d'origine artificiale. L'area basimetrica del soprassuolo risulta costituita per il 92% da pino nero e solo per l'8% da orniello. La distribuzione in classi di altezza evidenzia e conferma la struttura biplana del soprassuolo, con il pino nero che presenta un'altezza dominante di 17 m mentre l'orniello di 11 m.

Per ogni individuo vivo è stato poi calcolato il coefficiente di snellezza (rapporto fra altezza totale e diametro a 1.30 m), che è un indicatore di stabilità quando il valore è inferiore a 0,9; da questa analisi risulta che la maggior parte degli individui di pino nero sono

sufficientemente stabili mentre succede il contrario per gli esemplari di orniello. Questa instabilità è causata dall'assenza di adeguati interventi di diradamento nel piano dominante costringendo l'orniello a rimanere sotto copertura dei pini senza potersi affermare, ma solo adattarsi a condizioni di eccessivo ombreggiamento (Nespola, 2021).

Tra gli individui censiti sono state scelte 21 piante di pino nero e 19 di orniello dai quali sono state prelevate le carote incrementali per l'analisi dendroecologica. Tra queste possiamo constatare che nella distribuzione diametrica, gli individui di pino nero, presentano una maggiore frequenza nei diametri compresi tra 25 e 30 cm mentre l'orniello, nelle classi di 10-15 cm. (Fig. 3.1.2)

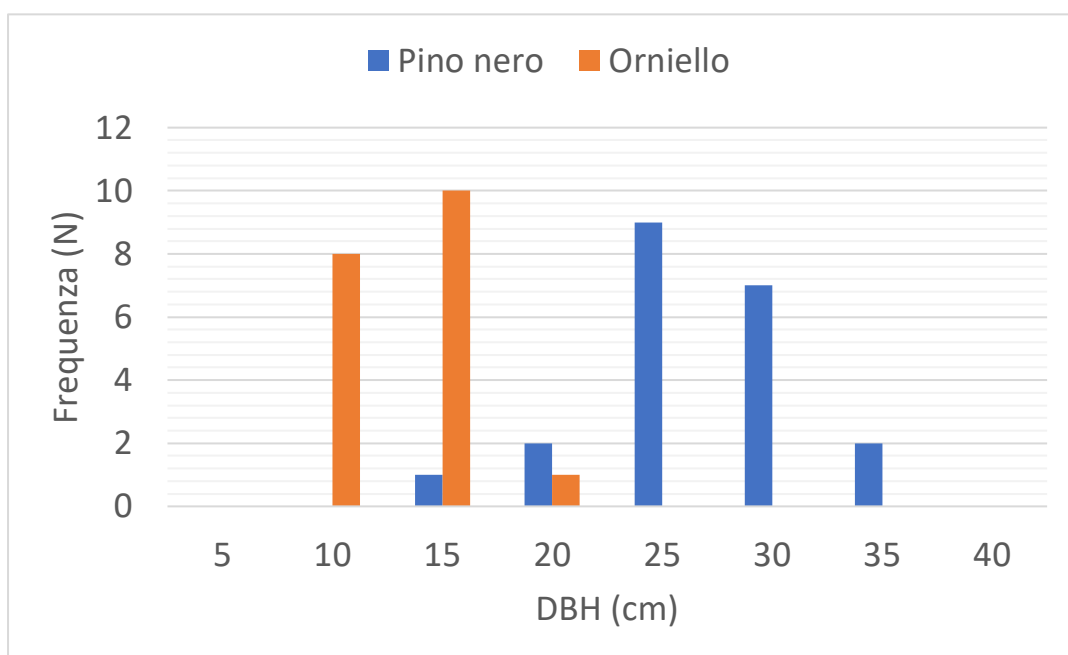


Fig. 3.1.2 Distribuzione di frequenza diametrica di esemplari di pino nero e orniello relativa ai 40 individui dei quali sono stati presi i campioni legnosi

Relativamente all'altezza la maggior parte dei pini neri è compresa tra 15 e 20 m, mentre per l'orniello fra 10 e 15 m. (Fig. 3.1.3).

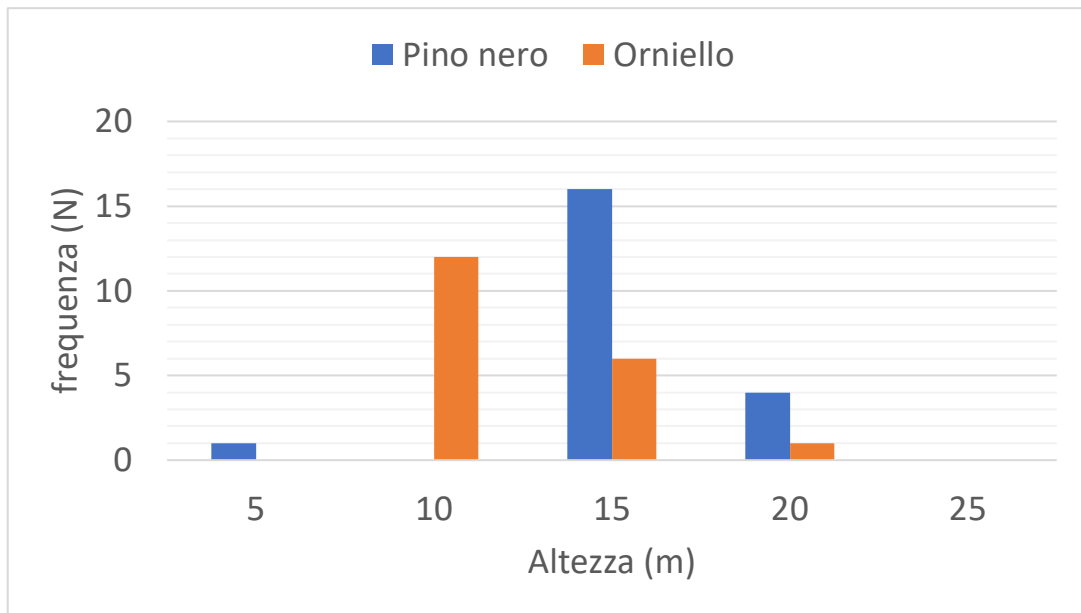


Fig. 3.1.3 Distribuzione di frequenza dell'altezza di esemplari di pino nero e orniello relativa ai 40 individui dei quali sono stati presi i campioni legnosi

3.2 Struttura cronologica

In seguito all'analisi dendrocronologica l'età cambiale media a 1.30 m del soprassuolo è di 47 anni per il pino nero e 46 per l'orniello (Fig. 3.2.1). Il pino nero ha età comprese fra 39 e 50 anni ed ha un suo massimo di frequenza intorno ai 47 anni, mentre l'orniello ha un intervallo più ampio compreso fra 34 e 57 anni. La coetaneità delle due specie testimonia la concomitanza dell'impianto caratterizzato da una tendenziale alternanza delle specie lungo le file. L'orniello ha comunque una minore velocità di accrescimento rispetto al pino, sicuramente più efficace in condizioni difficili quali erano quelle iniziali pre-impianto e quindi nel tempo è rimasto nel piano dominato, ed ha avuto una minore possibilità di sviluppo e affermazione.

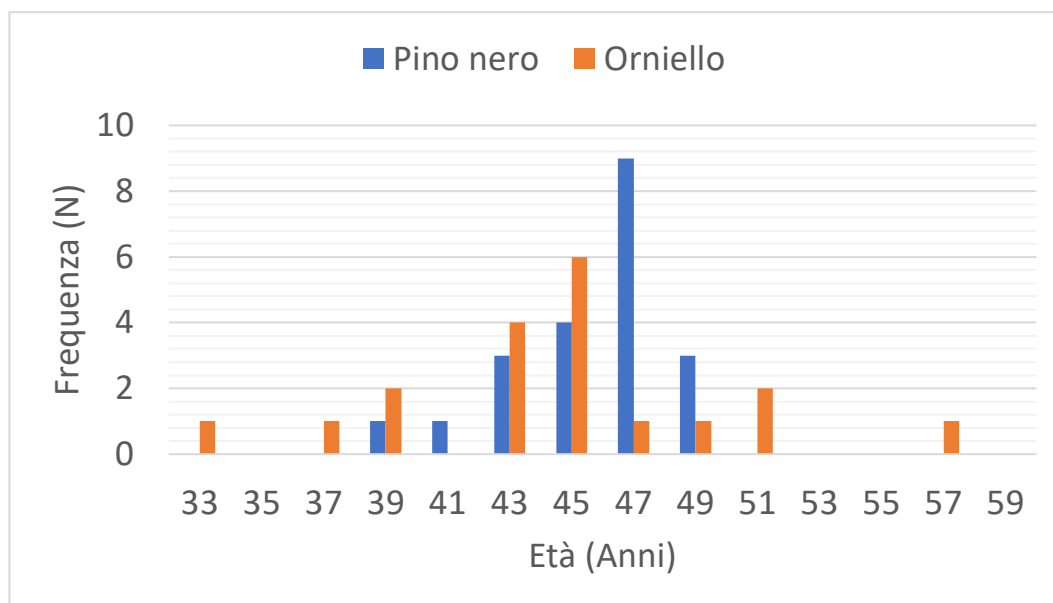


Fig. 3.2.1 Distribuzione di frequenza età delle due specie esaminate (Pino nero e Orniello)

Per poter comprendere al meglio l'accrescimento nei primi anni di sviluppo sono stati prelevati dei campioni legnosi anche alla base della pianta, questo ci permette di asserire che l'età massima di pino nero e orniello è di qualche anno in più rispetto alle piante carotate a 1.30 m.

3.3 Dinamica di accrescimento

Nella tabella 3.3.1 sono riportate le statistiche di base dei campioni misurati.

Nel caso delle serie di pino nero i valori di R_{bar} sono relativamente alti con una media di 0.47.

Nel nostro caso l'autocorrelazione media (AC) risulta essere 0,88 per il pino nero e 0,68 per l'orniello.

Specie	N individui	Periodo	Età media	R_{bar}	Incremento medio (mm)	AC(1)	SM
Pino nero	21	1972-2019	46	0,51	2,3	0,88	0,23
Orniello	15	1964-2019	45	0,47	1,5	0,68	0,34

Tabella 3.3.1 Media delle statistiche descrittive relative alle ampiezze anulari di pino nero e orniello. AC(1): autocorrelazione di primo ordine, SM: sensibilità media. Per l'orniello sono riportati i dati solamente di 15 individui non sottoposti.

Riguardo al pino nei primi anni si registrano le maggiori crescite, poi, con il passare del tempo anche qui si hanno dei cali, molto probabilmente dovuti ad una mancanza di gestione forestale adeguata, per cui anche il pino nero, nonostante sia la specie più affermata presenta

comunque dei periodi in decremento di crescita poiché la densità del popolamento era evidentemente eccessiva, tanto da rendere difficoltosa anche la crescita della suddetta specie, il pino nero. Questo è un punto che ci fa intendere quanto sia importante l’attuazione, in tempi consoni, delle cure selvicolturali, per mantenere in buono stato l’intero soprassuolo (Fig. 3.3.1).

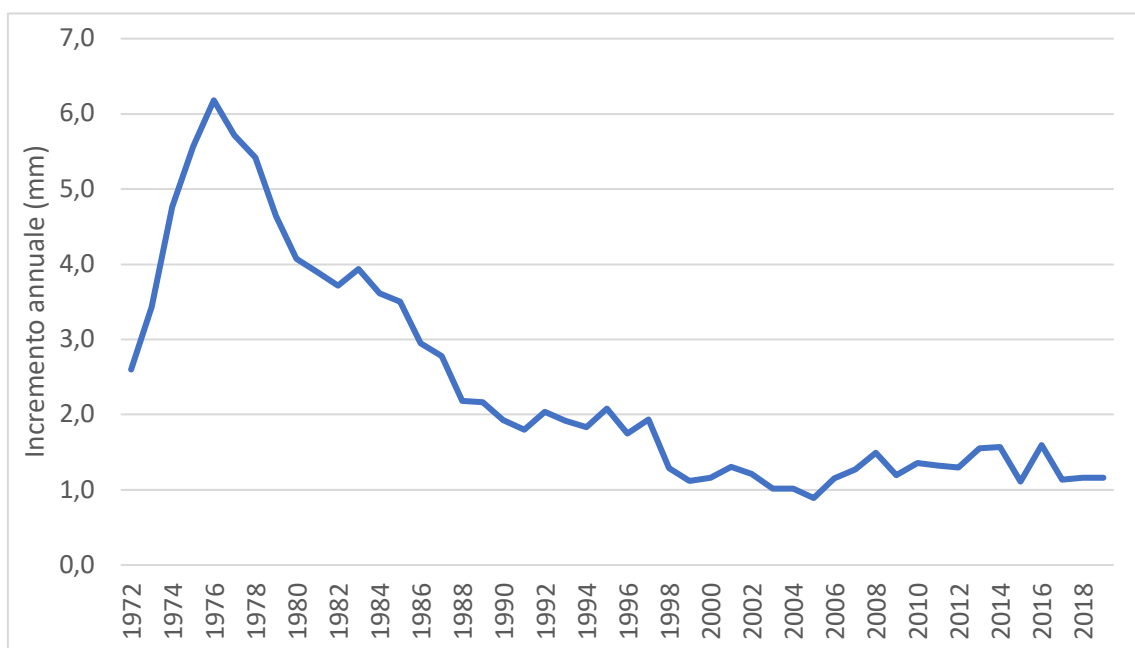


Fig. 3.3.1 Cronologia media di ampiezza degli anelli di individui di pino nero

Per l’orniello l’ampiezza media degli anelli risulta essere inferiore rispetto a quella de pino nero (1,5 mm contro 2,3 mm). Ciò conferma il carattere dominante del pino nero, caratterizzato da incremento diametrico maggiore e la difficoltà di crescita in tali condizioni per l’orniello sicuramente non ottimali per la specie, che peraltro evidenzia spesso un carattere da specie pioniera. Dalle serie di orniello è stato possibile distinguere quelle provenienti da individui particolarmente sottoposti (in totale 4) che mostrano negli ultimi 10 anni incrementi di raggio molto ridotti (inferiori a 0,5 mm) (Fig. 3.3.2). Gli altri individui di orniello sono stati classificati comunque come “dominati”, perché sotto la copertura dei pini, caratterizzati da incrementi annuale maggiori rispetto ai precedenti. In entrambi i casi comunque possiamo notare come nei primi anni la tendenza sia positivo, seguita da un netto calo, dovuto appunto alla concorrenza subita da parte del pino.

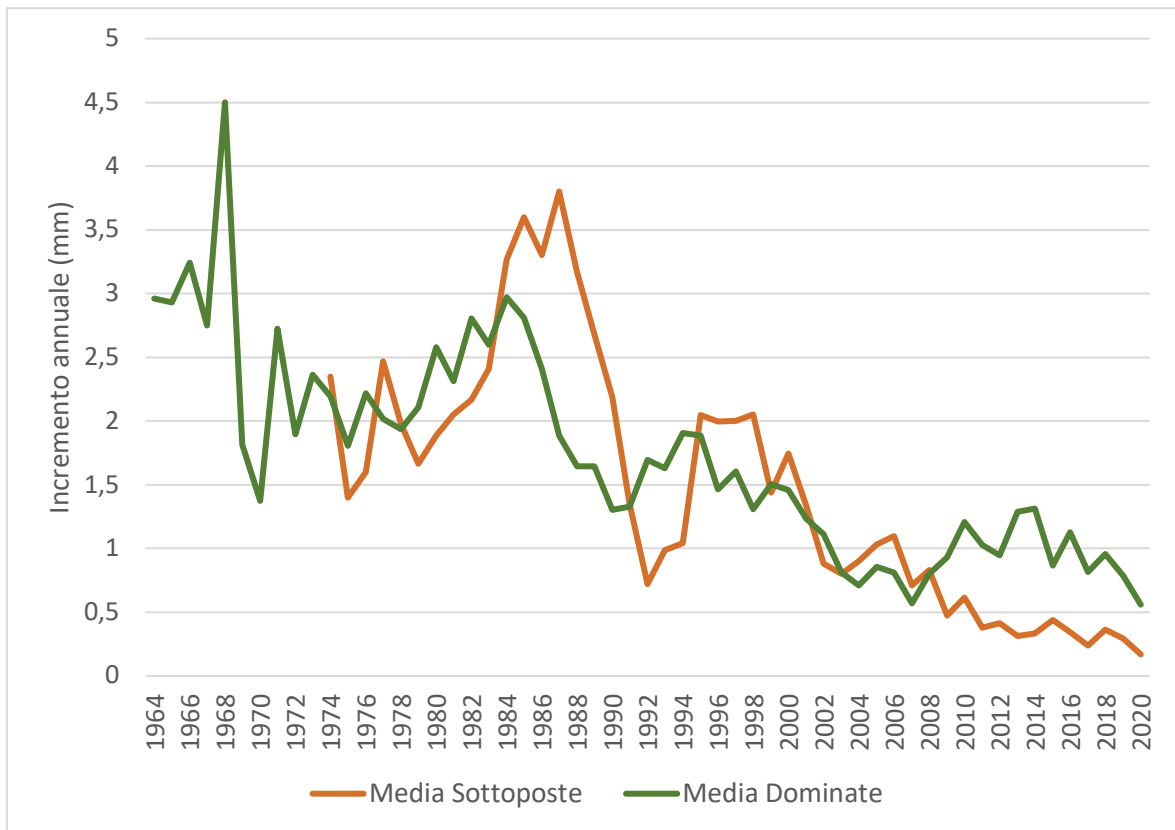


Fig. 3.3.2 Cronologia media di ampiezza degli anelli degli individui di orniello

Per quanto riguarda il pino nero qui non è stato necessario effettuare la distinzione tra sottoposti e dominati.

La cronologia di orniello mostra una sensibilità media maggiore rispetto a quelle di pino nero. L'alto valore di autocorrelazione (AC) indica la presenza di variabilità a bassa frequenza nella serie mentre i bassi valori di sensibilità media (SM) indicano bassa variabilità ad alta frequenza.

Le stesse curve, trasformate in superficie anulare, sono state calcolate per entrambe le specie come si può vedere dai seguenti grafici (Fig. 3.3.3) e (Fig. 3.3.4), in questo caso il BAI (basal area increment) spiega meglio l'andamento di crescita annuale.

Per il pino nero il trend di crescita risulta essere maggiore nei primi anni di impianto del popolamento e poi vede dei picchi positivi e negativi che ci permettono di individuare gli anni caratteristici.

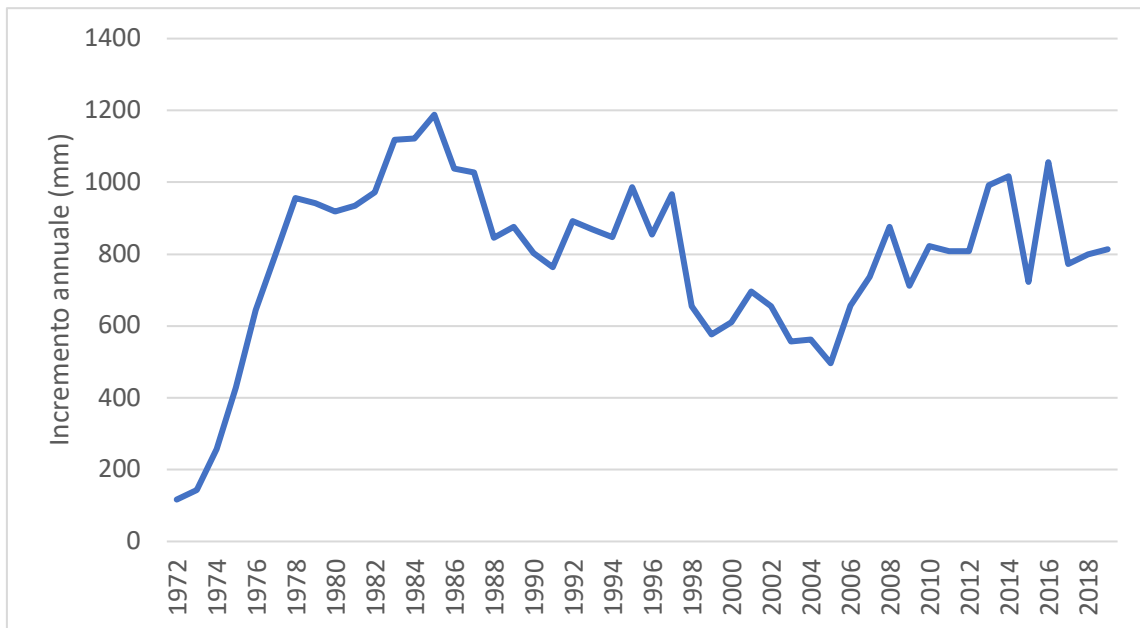


Fig. 3.3.3 Curva degli incrementi di area basimetrica di pino nero (BAI, basal area increment)

Per l’orniello sono state sempre suddivise le “sottoposte” dalle “dominate” e anche qui si registrano cali di crescita maggiori per quelle piante sottoposte.

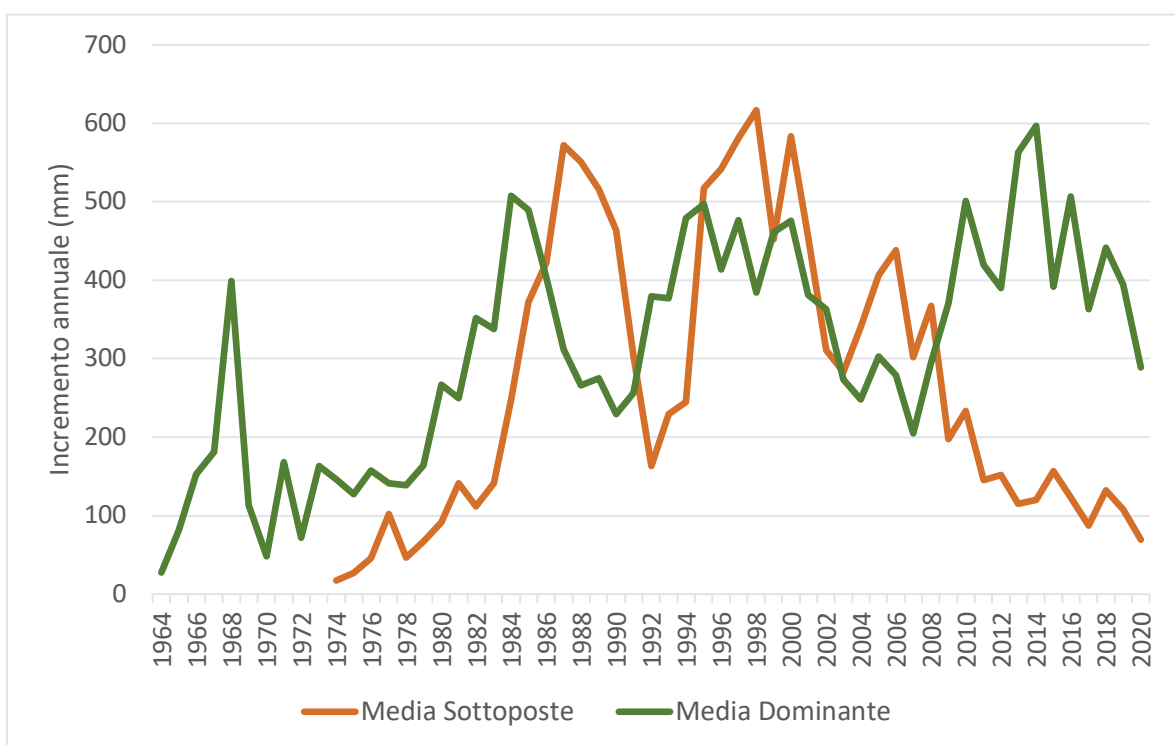


Fig. 3.3.4 Curva degli incrementi di area basimetrica di orniello (BAI, basal area increment)

In ogni caso vediamo che, per entrambe le specie, l’andamento di accrescimento annuale ha picchi positivi nei primi anni di vita, ma poi tende a rimanere per lo più costante.

Nello studio delle due curve di accrescimento si possono notare inoltre degli anni caratteristici, ossia quegli anni che hanno determinato un cambiamento, positivo o negativo, nell'incremento di crescita degli individui. Nel nostro caso, gli anni di maggior influenza, o comunque quelli che hanno registrato delle variazioni considerevoli, sono il 2005 dove la maggior parte delle curve ci indica un aumento di crescita, questo è riconducibile molto probabilmente ad un possibile intervento selvicolturale come il diradamento con lo scopo di favorire una migliore crescita degli individui che, al tempo presentavano sicuramente una densità elevata e la produzione risultava minima. Un altro anno che risulta caratteristico è quello del 2015, dove anche qui, si registra un picco negativo negli anni precedenti e poi un incremento, in questo caso la possibile causa, può essere stata un cambiamento climatico insolito che ha portato ad un iniziale deperimento della crescita vegetativa.

3.4 Relazioni clima-accrescimento

La dendroclimatologia è una disciplina della dendrocronologia che studia il clima passato estrapolando informazioni climatiche dagli alberi. Se si dispone di serie climatiche affidabili, è infatti possibile correlarle con quelle di accrescimento annuale. Quando la correlazione tra anelli e clima è chiara, questi possono essere usati per determinare le caratteristiche climatiche dell'intervallo temporale disponibile. Per l'analisi clima accrescimento sono stati selezionati 24 campioni di pino nero e 12 di orniello, escludendo le serie con bassi livelli di R_{bar} (prossimi a zero), come nel caso degli ornielli sottoposti (Tab. 3.4.1).

	<i>N individui</i>	<i>Campioni</i>	<i>Periodo</i>	<i>Rbar</i>	<i>Eps</i>
Pino nero	21	24	1972-2019	0.303	0.906
Orniello	12	12	1977-2019	0.383	0.855

Tabella 3.4.1 *Media delle statistiche descrittive relative alle serie standardizzate di pino nero e orniello.*

I dati ottenuti per il pino nero, relativi alla correlazione con le temperature massime (medie mensili) (Fig. 3.4.1), hanno in questo caso registrato una correlazione negativa con le temperature estive del mese di giugno, quindi maggiore sarà la temperatura estiva minore sarà l'incremento diametrico degli individui; nonostante che il pino nero sia una specie molto adattabile, in queste condizioni però risente maggiormente dei cambiamenti climatici. Mentre le temperature fra novembre (dell'anno prima della formazione) e maggio non hanno alcun effetto sull'accrescimento del pino nero nelle Cesane.

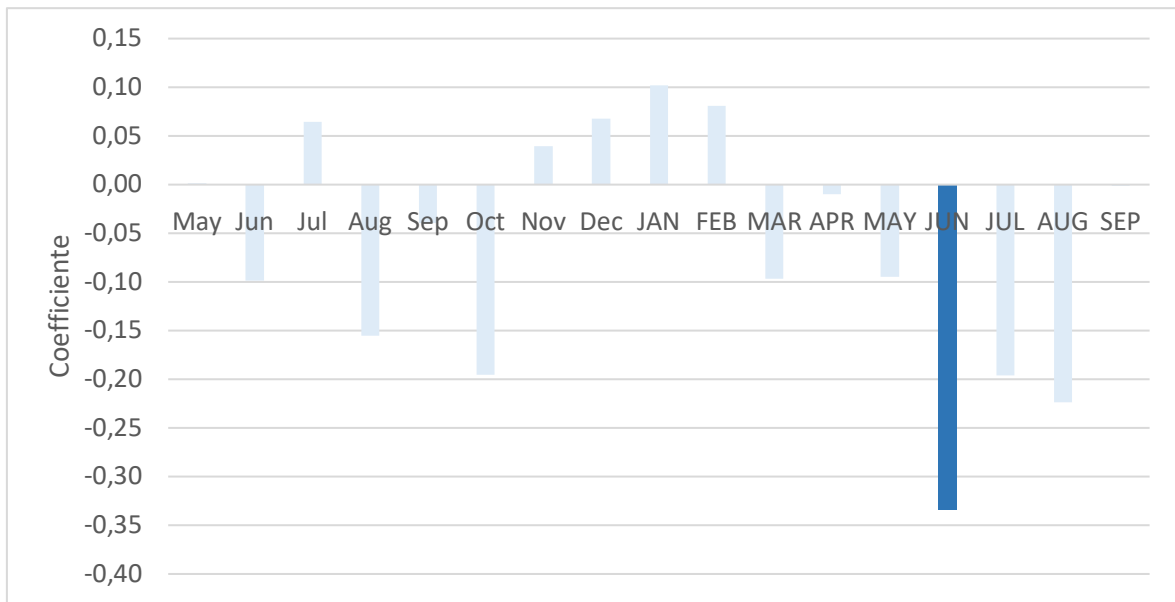


Fig. 3.4.1 *Correlazione fra Tmax-accrescimento pino nero*

Lo stesso percorso è stato effettuato con i valori medi di temperatura minima (Tmin) per ogni mese dell'anno, in questo caso solo il mese di giugno risulta avere una correlazione negativa, possiamo quindi affermare che un'eccessivo aumento di temperatura nel mese di giugno porta ad una diminuzione di accrescimento degli esemplari di pino nero. Tutti gli altri mesi invece non sono significativi, non limitano l'accrescimento del pino in queste determinate condizioni stagionali (Fig. 3.4.2).

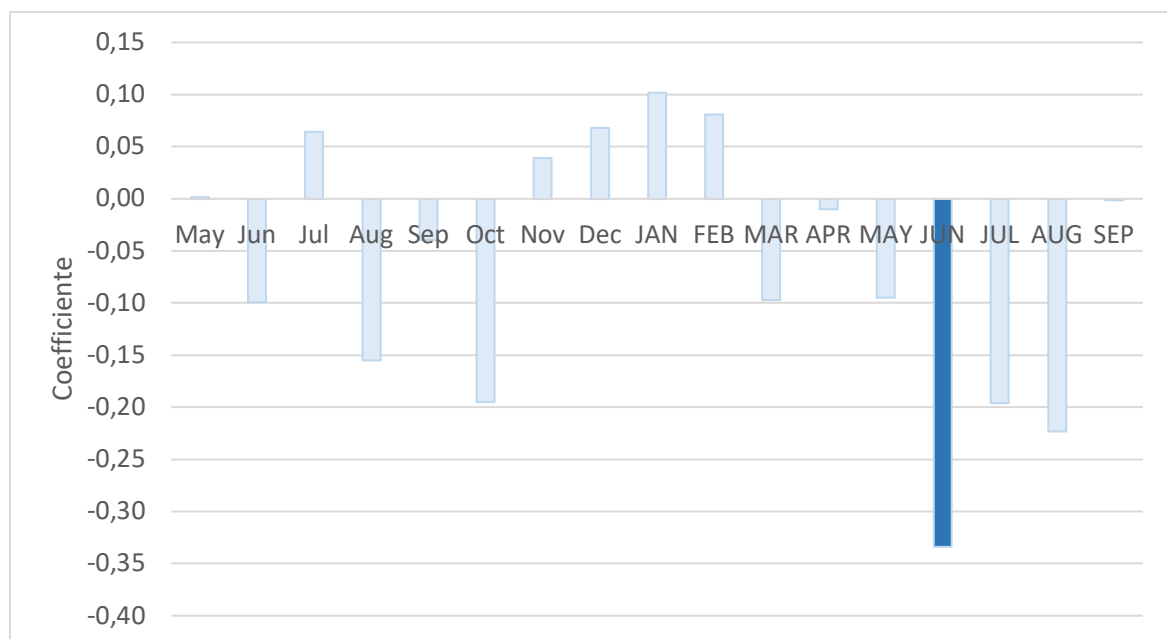


Fig. 3.4.2 *Correlazione fra Tmin-accrescimento pino nero*

I dati ottenuti, per quanto riguarda la correlazione con le precipitazioni medie mensili del pino nero, (Fig. 3.4.3) indicano invece un'influenza positiva con i mesi di marzo e giugno, in questi mesi si sono registrate maggiori precipitazioni rispetto agli altri, questo vuol dire che più piove e più grandi sono gli anelli, di conseguenza maggiore è l'accrescimento. Gli altri mesi vengono considerati non significativi ai fini del nostro studio poiché non influiscono né in maniera negativa né positiva sull'accrescimento.

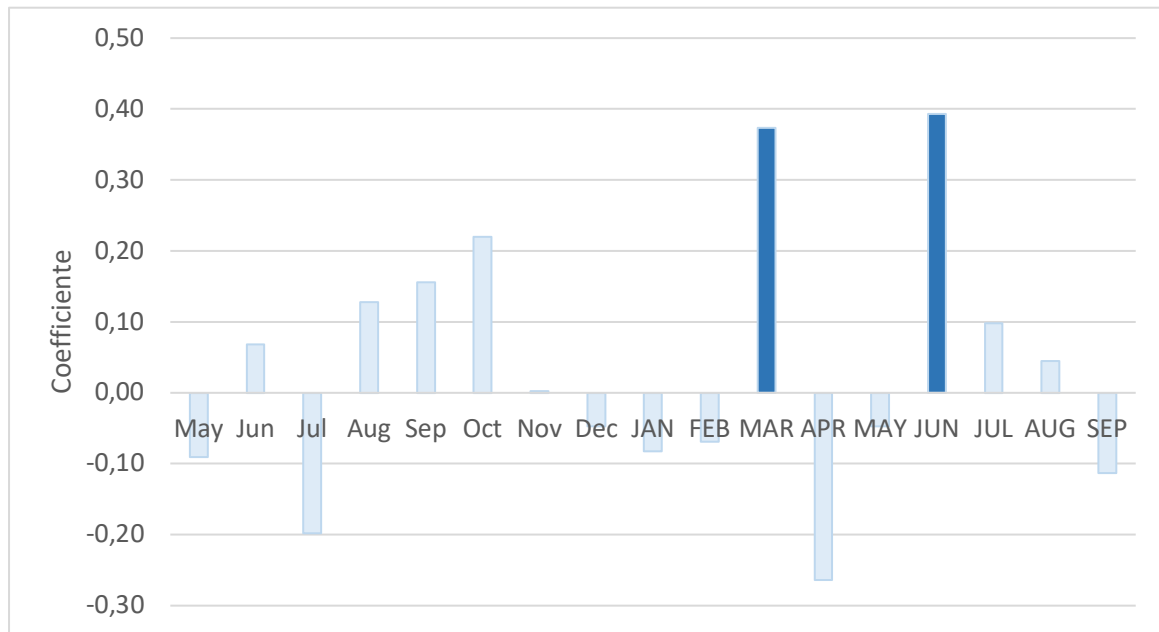


Fig. 3.4.3 *Correlazione fra precipitazioni-accrescimento pino nero*

I fattori limitanti sono quindi, un'eccessiva aridità estiva, poiché il pino aumenta l'accrescimento all'aumentare delle precipitazioni e diminuisce all'aumentare delle temperature massime; non danno alcun fastidio invece le temperature minime se non per il solo mese di giugno, dove, se fa troppo caldo il pino ne risente.

Lo stesso procedimento è stato effettuato per l'orniello.

Dai dati ottenuti, è stata studiata la correlazione dell'accrescimento con le temperature massime (medie mensili) dalla quale è risultato che, la correlazione è negativa per il solo mese di giugno dell'anno corrente, l'orniello risente maggiormente di un eccessivo aumento delle temperature estive che risulta appunto determinante per il suo accrescimento.

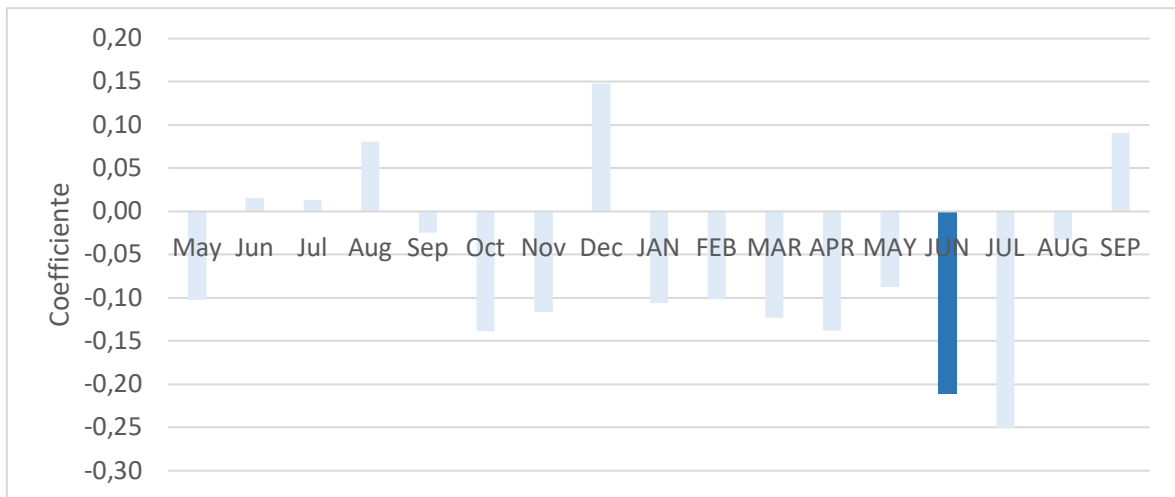


Fig. 3.4.4 *Correlazione fra Tmax-accrescimento dell’orniello*

La correlazione tra temperature minime mensili e accrescimento (Fig. 3.4.5) è negativa, per l’orniello, nei mesi di giugno e luglio dell’anno vegetativo in corso, per cui, un eccessivo aumento delle temperature estive porta ad un calo di accrescimento degli individui.

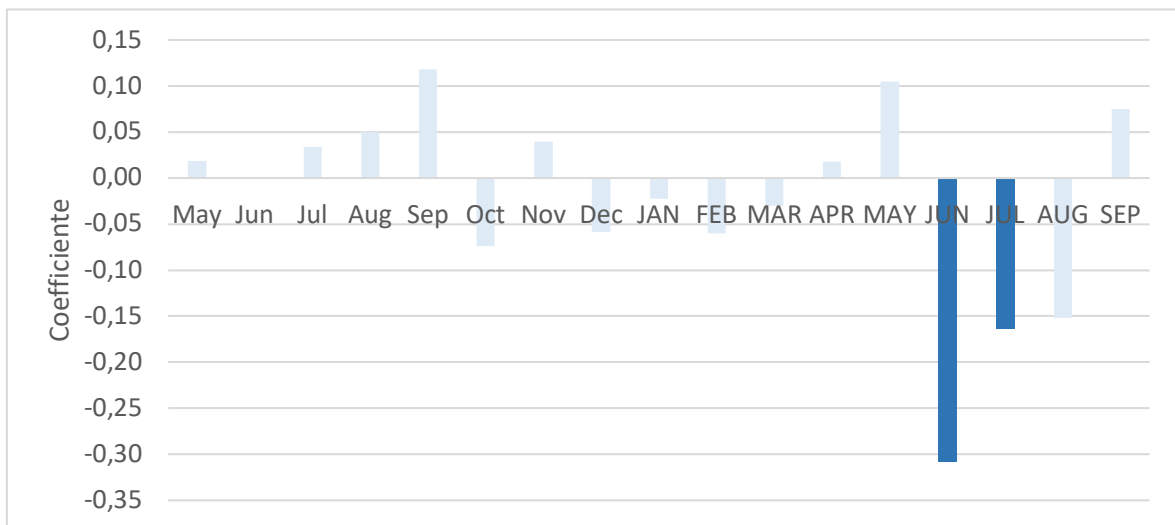


Fig. 3.4.5 *Correlazione fra Tmin-accrescimento dell’orniello*

Infine, sono stati studiati i dati relativi alla correlazione con le precipitazioni medie mensili, (Fig 3.4.6) possiamo intuire dal grafico sottostante che l’unica correlazione negativa è quella con il mese di luglio, precedentemente all’anno vegetativo, quindi ad un incremento delle piogge estive si verifica una riduzione di accrescimento. Mentre si ha una correlazione positiva nei mesi di settembre e novembre (dell’anno precedente) e di gennaio, marzo e giugno dell’anno in corso; per cui un aumento del valore di precipitazioni in questi mesi favorisce l’accrescimento dell’orniello nelle Cesane.

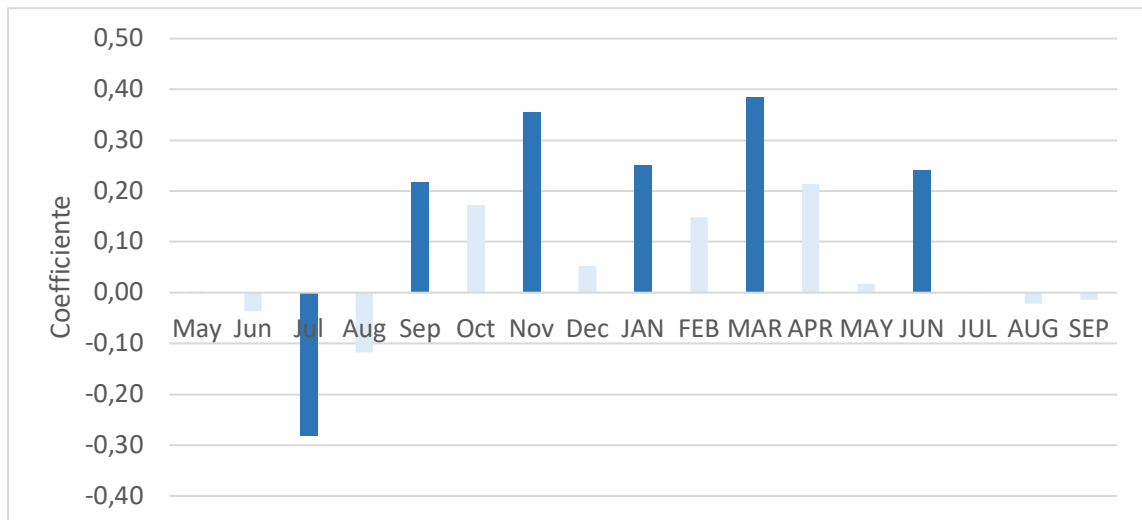


Fig. 3.4.6 Correlazione fra precipitazioni-accrescimento orniello

In sintesi, possiamo affermare che l’orniello registra un maggior accrescimento in anni molto piovosi, mentre un fattore limitante risulta essere un aumento eccessivo delle temperature estive, che causano quindi una diminuzione in accrescimento della specie.

4. Conclusioni

Con questo lavoro è stato dato un ulteriore contributo al progetto di realizzazione del martelloscopio nella Foresta Demaniale delle Cesane, importante per la formazione di tecnici forestali e studenti universitari. Ad oggi sono stati censiti tutti i 1205 alberi presenti sull'ettaro di superficie del soprassuolo e si sta procedendo con la georeferenziazione di tutti gli individui presenti. I dati raccolti in campo evidenziano una pineta artificiale di circa 50 anni con la presenza di pino nero nel piano dominante e orniello in quello dominato. L'analisi dell'intero soprassuolo risulta fondamentale per poter poi decidere eventuali interventi selvicolturali, i quali permetteranno al bosco di avere un miglior accrescimento e stabilità. Le caratteristiche strutturali delle due specie, maggiormente presenti nel soprassuolo, risultano essere profondamente diverse, diverso è anche l'incremento diametrico annuale degli individui delle due specie oggetto di studio. Entrambe registrano un buon accrescimento iniziale, ma poi l'orniello rapidamente riduce l'ampiezza degli anelli a seguito dell'"eccessiva" affermazione del pino, che mantiene più a lungo un accrescimento cospicuo che si massimizza negli anni '80. L'assenza di diradamenti programmati e quindi una densità eccessiva ha causato una stasi incrementale anche nel pino nero che ha potuto usufruire di maggiore disponibilità di luce solo nel 2005 a seguito di uno sfollo o debole diradamento come testimoniano vecchie ceppaie presenti lungo le file degli alberi. Da allora non ci sono più stati interventi gestionali pertanto i cui effetti si osservano nelle serie di accrescimento caratterizzate da andamenti ridotti per entrambe le specie, ma soprattutto per l'orniello.

Le analisi di correlazione tra clima e accrescimento (considerando i dati climatici in una serie temporale di circa 50 anni) ha evidenziato che ambedue le specie soffrano l'aridità estiva delle Cesane. Il mese di giugno appare cruciale sia per le precipitazioni (effetto positivo) sia per le temperature (effetto negativo).

Questa analisi è particolarmente importante per comprendere meglio l'ecologia delle due specie alle Cesane e poter orientare i corretti interventi selvicolturali per permettere un buono ed equilibrato accrescimento annuale e ridurre la concorrenza tra le specie, cercando di favorire quindi quella che risulta essere maggiormente adatta al soprassuolo e al contesto generale del luogo stesso.

5. Bibliografia e sitografia

- Amici M., Spina R. (2002). *Campo medio della precipitazione annuale e stagionale sulle Marche per il periodo 1950-2000*. Centro di Ecologia e Climatologia. Osservatorio Geofisico Sperimentale Macerata (OGSM).
- Brutti E. (2017). *Incendi forestali nelle Marche: effetti sul territorio fra cambiamenti climatici e organizzativi*. Tesi di Laurea in Scienze Forestali e Ambientali. Università Politecnica delle Marche.
- Bianchi L., Giovannini G., Maltoni A., Mariotti B., Paci M. (2005). *La selvicoltura delle pinete della Toscana*.
- Cantiani P., Chiavetta U., Marchi M. (2015). *Valutazione in bosco della stabilità di piante di pino nero*. Sherwood.
- Cantiani P. (2017). *Il diradamento selettivo: tecnica e modalità attuative*.
- Cantiani P., Marchi M., Plutino M. (2017). *SelPiBioLife per i popolamenti di pino nero*. Sherwood.
- Catani P., Di Salvatore U., Romano R. (2018). *La selvicoltura delle pinete artificiali di pino nero: analisi delle legislazioni regionali italiane*. Forest@ 10.3832/efor2985-015.
- Ciabatti G., Gabellini A., Ottaviani C., Perugi A. (2009) *I rimboschimenti in Toscana e la loro gestione*. ARSIA (Agenzia regionale per lo Sviluppo e l'Innovazione nel settore Agricolo-forestale, Firenze).
- Faraoni L., Travaglini D., (2016). *Cambiamenti climatici e idoneità ambientale del territorio toscano per le pinete di pino nero*. Dipartimento di Gestione dei Sistemi Agrari, Alimentari e Forestali. Università degli Studi di Firenze.
- Fermanelli A. (1992). *Le Foreste Demaniali della Regione Marche*. Regione Marche.
- Ferretti F., et al. (2014-2020). *Boschi di neoformazione in Italia: approfondimenti conoscitivi e orientamenti gestionali*. Rete Rurale Nazionale.
- Lazzerini G. (2016). *Un martelloscopio per pinete di Pinus nigra*. Tesi di Laurea in Scienze Forestali e Ambientali. Università degli Studi di Firenze.
- Lucesole C. (2020). *Un martelloscopio nelle Marche: una "palestra" per praticare la gestione forestale sostenibile*. Tesi di Laurea in Scienze Forestali e Ambientali. Università Politecnica delle Marche.
- Mongini A. (2005). *Gestione Forestale Sostenibile dei rimboschimenti di conifere nella Foresta Demaniale Regionale "Monti delle Cesane" (PU)*. Tesi di Laurea in Scienze Forestali e Ambientali. Università Politecnica delle Marche.

- Nasi F., (2017). *Alberi d'Italia: Parte Seconda*. Quaderni in Educazione Naturalistica.
- Nocentini S., Corona P. (2006). *Linee guida per la gestione sostenibile delle fustaie a prevalenza di pino nere e delle fustaie dei cedui "invecchiati" di cerro della Toscana*. Regione Toscana, Accademia Italiana di Scienze Forestali.
- Ottaviani C. (2017). *Pinus nigra subs. nigra in Appennino centrale: rimboschimenti e rinaturalizzazione*. Tesi di Dottorato di Ricerca in Scienze Agrarie Curr. Agraria e Ambiente. Università Politecnica delle Marche.
- Palenzona M., et al. (1998). *Inventario e Carta Forestale della Regione Marche*. Istituto per le Piante da Legno e l'Ambiente Tornio.
- Rinaldini G. (2016). *I rimboschimenti di Pinus nigra in Toscana in prospettiva: verso una tavola di cubatura assortimentale*. Tesi di Laurea Magistrale in Scienze e Tecnologie dei Sistemi Forestali. Università degli Studi di Firenze.
- Segneghi F. (2013). *Analisi della rinnovazione naturale in una pineta di pino nero (comune di Tregnago-Verona)*. Tesi di Laurea Magistrale in Scienze Forestali e Ambientali. Università degli Studi di Padova.
- Tartaglia F. (2020). *Accrescimento radiale e sensibilità climatica del tasso (Taxus baccata L.) in tre popolazioni delle Marche*. Tesi di Laurea in Scienze Forestali e Ambientali. Università Politecnica delle Marche.
- Ticli B. (2011). *Alberi d'Italia e d'Europa*. Giunti editore, Firenze pp. 70-71
- Urbinati C., Tonelli E., Malandra F. & Vitali A. (2018). *Oltreterra – Nuova economia per la montagna. Oltre il bosco: quale futuro per le fustaie artificiali*. Università Politecnica delle Marche, Area Sistemi Forestali.

Sitografia

- Ambiente.Marche. <http://www.ambiente.marche.it/Portals/0/Ambiente/Natura/Parchi%20e%20Riserve/GeneraleParchiRiserve/Le%20Foreste%20Demaniale%20della%20Regione%20Marche.pdf> pp.20
- Comune di Fossombrone. <http://www.comune.fossombrone.ps.it/vivere-fossombrone/ambiente-e-territorio>
- Isola del Piano. <http://www.comune.isola-del-piano.ps.it/c041021/zf/index.php/servizi-aggiuntivi/index/index/idtesto/90>
- Protale della Flora d'Italia. http://dryades.units.it/floritaly/index.php?procedure=taxon_page&tipo=all&id=902