UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE

Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Ambientali (D3A)

Corso di Laurea in Scienze Forestali, dei Suoli e del Paesaggio (LM-73)

Sensitività climatica del faggio (*Fagus sylvatica* L.) nell'Appennino centrale

Climate sensitivity of beech (Fagus sylvatica L.) in the central Apennines

Tesi di laurea di
Leonardo Lori

Relatore
Prof. Carlo Urbinati

Correlatore
Dott. Alessandro Vitali

Anno Accademico 2018-2019
Sessione Straordinaria Febbraio 2020

Vorrei ringraziare tutti coloro che hanno reso possibile la stesura di questa tesi di laurea. In particolar modo voglio ringraziare il relatore Prof. Carlo Urbinati per tutto il supporto che mi ha garantito e senza il quale questo lavoro non sarebbe stato realizzato; il correlatore Dott. Alessandro Vitali, per tutto il supporto fornito e senza cui non sarebbe stato possibile effettuare questa tesi; il Dott. Enrico Tonelli, per tutte le dritte, il supporto, la pazienza, la disponibilità e l'aiuto che mi ha fornito nello svolgere tutte le misurazioni e per i consigli dati in sede di stesura e il Dott. Francesco Malandra per il supporto morale e tecnico fornito.

Ringrazio infine le persone per me più importanti, senza le quali non sarebbe stato possibile tutto quello che ho fatto, ovvero i miei genitori, che mi hanno sempre sostenuto e incoraggiato in tutto ciò che abbia mai fatto, più di tutti per questo percorso universitario che ha termine con questa Laurea Magistrale.

Leonardo Lori

INDICE GENERALE

1. INTRODUZIONE 1

1.1 Il faggio 1

1.1.1 Caratteri morfologici 1

1.1.2 Distribuzione geografica (Europa, Italia, Appennino centrale) e caratteri ecologici 4

1.1.3 Tipi forestali delle faggete centro-appenniniche 7

1.2 La sensitività climatica del faggio 9

1.2.1 Effetti delle gelate tardive 9

1.2.2 Effetti della siccità estiva 10

1.2.3 Faggio e cambiamenti climatici 11

1.3 Obiettivi della tesi 11

2. MATERIALI E METODI 13

2.1 Area di studio 13

2.1.1 Caratteri topografici, geomorfologici e litologici 13

2.1.2 Caratteri pedo-climatici e vegetazionali 15

2.2 Protocollo di campionamento 16

2.2.1 Aree di saggio e rilevamento dati dendrometrico-strutturali 16

2.2.2 Prelievo dei campioni legnosi per analisi dendroclimatica, anatomica e isotopica 18

2.2.3 Preparazione e analisi dei campioni 19

2.3 Analisi dendrocronologica e dendroclimatica 20

2.3.1 Analisi sui dati dell'area di studio 20

2.3.2 Analisi e confronti con altre serie di faggio appenninico 22

3. ANALISI E DISCUSSIONE DEI RISULTATI 24

3.1 Assetto dendrometrico-strutturale dei soprassuoli 24

3.2 Dinamica di accrescimento radiale del faggio 27

3.2.1 Dinamica di accrescimento nell'area di studio 27

3.2.2 Dinamica di accrescimento in altre aree appenniniche 29

3.3 Relazioni clima-accrescimento del faggio 33

3.3.1 Relazioni clima-accrescimento nell'area di studio 33

3.3.2 Relazioni clima-accrescimento in confronto alle altre aree 35

4. CONCLUSIONI 40

5. BIBLIOGRAFIA e SITOGRAFIA 42

1. INTRODUZIONE

1.1 Il faggio

1.1.1 Caratteri morfologici

Il faggio (*Fagus sylvatica* L.) è una specie arborea di prima grandezza, che può raggiungere i 30-40 m di altezza, non particolarmente longeva (200-300 anni), anche se nell'Appennino sono stati trovati esemplari che superano i 400 anni ed anche i 500 anni a Valle Cervara, in Abruzzo (Di Filippo et al., 2012; Piovesan et al., 2008, 2003). Ha un portamento slanciato e normalmente monocormico, un fusto cilindrico, dritto che supera agevolmente il metro di diametro (non sono rari faggi maestosi che superano i 2 metri). Il tronco è poco rastremato ed è privo di rami per buona parte di esso, soprattutto negli individui che si sviluppano all'interno del bosco, che si ramificano nella parte alta della pianta con numerosi rami ascellari; le piante isolate o al margine del bosco hanno una precoce biforcazione (ad una ridotta altezza dal terreno) con rami laterali molto grossi (Ebone et al., 2012; Grossoni e Bussotti, 1999). Nelle piante adulte ed isolate la chioma è ampia, globosa o ovaliforme; la ramificazione principale è costituita da rami che formano con il tronco un angolo acuto (60°) che diviene ancora più acuto in popolamenti chiusi (30°). La ramificazione è di tipo simpodiale, ovvero le gemme apicali che permettono lo sviluppo e la crescita della pianta vengono sostituite alla fine della stagione vegetativa. La corteccia (Fig. 1.1.1) è liscia, intera e sottile, di colore grigio cenere chiaro, con striature orizzontali e spesso ricoperta da licheni incrostanti biancastri. La corteccia sottile rende la specie particolarmente sensibile agli incendi (anche se il fuoco rimane per un tempo breve). Questa caratteristica è dovuta sia al periderma superficiale sia alla disgregazione dovuta agli eventi meteorici e all'azione di organismi. Tuttavia, con l'età la corteccia diviene più resistente, grazie al suo arricchimento di cristalli. Le gemme, di colore bruno rossiccio, sono sottili e lunghe, di notevoli dimensioni (15-30 mm di lunghezza per un diametro di 1-2 mm). Le foglie (Fig. 1.1.2) sono decidue, semplici, alterne e brevemente picciolate, hanno forma ellittica con un apice generalmente acuto, sono lunghe 4-10 cm e larghe 3-7 cm, con margine intero o leggermente ondulato. Il loro colore è verde scuro nella pagina superiore, mentre la pagina inferiore risulta più chiara, dove sono presenti 5-8 coppie di nervature che sono pelose nel primo periodo successivo alla loro emissione e in seguito diventano glabre (Ebone et al., 2012; Grossoni e Bussotti, 1999). L'apparato fogliare è costituito da due tipologie di foglie, le foglie di luce e le foglie d'ombra; le prime

si sviluppano nella parte alta e più esterna della pianta, dove ricevono più radiazione fotosintetica, mentre le seconde si trovano nelle parti più basse e interne della pianta. L'antesi avviene contemporaneamente all'emissione delle foglie, che si verifica nel periodo di aprile-maggio. I fiori sono monoici, differenziati quindi in maschili e femminili; quelli maschili sono raggruppati in amenti globosi peduncolati, inseriti all'ascella della foglia, mentre i femminili (anch'essi peduncolati) sono generalmente a coppia, mentre raramente è presente un terzo fiore. Il frutto (Fig.1.1.3) è la così detta faggiola, una noce dura e coriacea che matura nell'anno, nel periodo di settembre-ottobre. Questa ha forma piramidale a base triangolare, è assente l'endosperma e le funzioni di riserva sono attribuite a due cotiledoni ripiegate nel pericarpo (Ebone et al., 2012; Grossoni e Bussotti, 1999). La maturità della pianta avviene all'incirca tra i 60 e gli 80 anni in bosco, mentre per le piante isolate avviene molto prima, all'incirca in metà del tempo. La quantità di fruttificazione è abbastanza incostante, con fasi buone ogni 4-5 anni, mentre all'incirca ogni dieci anni avviene quella che è definita l'annata di pasciona (*mast year*), ovvero un anno in cui la fruttificazione è molto abbondante. Durante questi anni solitamente si possono registrare delle riduzioni degli accrescimenti delle piante (Dittmar et al., 2006; Piovesan et al., 2005, 2003). I semi sono dormienti, e necessitano di un periodo di freddo prolungato (*chilling*) per poter germinare. La plantula di faggio è facilmente riconoscibile, in quanto è caratterizzata dalla presenza di due grandi cotiledoni semicircolari opposte (Fig. 1.1.4). L'apparato radicale di questa specie è inizialmente fittonante, ma successivamente aumenta il suo sviluppo superficiale, pur rimanendo nel complesso molto robusto. Il legno è chiaro, dal colore bianco-rosato, indifferenziato e con tessitura fine. Gli anelli di accrescimento sono poco visibili, fatto dovuto alla scarsa differenziazione tra legno primaticcio e legno tardivo. Questo fatto rende a volte difficoltosa la misurazione degli incrementi radiali delle piante. La massa volumica del legno di faggio va solitamente dagli 800 ai 1200 kg/m^3, che scende a 710-750 kg/m^3 successivamente alla stagionatura (Ebone et al., 2012; Grossoni e Bussotti, 1999).

Fig. 1.1.1 – Corteccia di Faggio

1.1.2 – Foglie di Faggio

1.1.3 – Faggiole all'interno delle capsule.

Fig. 1.1.4 – Plantula di faggio; da notare le due cotiledoni verde scuro al di sotto delle foglie

1.1.2 Distribuzione geografica (Europa, Italia, Appennino centrale) e caratteri ecologici

L'areale del faggio (nelle sottospecie *Fagus s.* sub*. sylvatica* e *Fagus s.* sub*. orientalis)* si estende in ambito europeo dalla Grecia alla Spagna e dalla Sicilia alla Scandinavia (Fig. 1.1.5), dove non si spinge troppo a nord vista la sua necessità di avere una stagione vegetativa di almeno 140 giorni (Magri, 2008). La presenza del faggio nell'Europa meridionale è il risultato della diffusione di questa specie a seguito dell'ultima glaciazione, cosicchè l'attuale distribuzione in europa settentrionale e centrale corrisponde alla massima estensione post-glaciale (Magri, 2008). Il faggio nel Nord Europa è una specie di pianura, mentre in Europa centro-meridionale ed orientale costituisce un elemento primario della vegetazione del piano montano. In Italia (Fig. 1.1.6) questa specie è presente in tutte le regioni, ad esclusione della Sardegna e della pianura Padana. Sugli Appennini è presente in un range altitudinale compreso fra i 200-300 m e i 2000-2100 m slm ,(ovvero fino al limite superiore del bosco) (Di Filippo et al., 2007; Filibeck et al., 2015; Magri, 2008; Magri et al., 2015; Piovesan et al., 2005), mentre sulle Alpi raggiunge altitudini massime comprese fra 1200 e 1600 m slm (Di Filippo et al., 2007; Magri et al., 2015).

Il faggio è una specie a temperamento oceanico, mesofila, favorita da temperature e precipitazioni caratteristiche di climi livellati. Necessita di un tasso di umidità atmosferica sempre elevato, caratteristica che ne determina la distribuzione in Europa. Le stazioni più favorevoli alla presenza di questa specie sono caratterizzate da inverni freddi (con temperature che non superino i -25 °C), primavere piovose senza gelate e un periodo vegetativo che dovrebbe essere di 160-180 giorni, con una temperatura media stagionale

superiore ai 10 °C. Le temperature medie annuali dovrebbero invece registrare circa 5-9 °C, le medie dei mesi più freddi -5-0 °C e quelle dei mesi più caldi 16-20 °C. Altra caratteristica che influenza la distribuzione del faggio è il livello di precipitazione; le precipitazioni dovrebbero essere superiori ai 1500 mm annui alle maggiori altitudini, mentre non devono essere al di sotto degli 800 mm annui (Ebone et al., 2012; Grossoni e Bussotti, 1999).

Il faggio è una specie che tollera molto bene l'ombra consentendole di sopravvivere sotto copertura per diversi anni. La presenza del faggio solitamente non permette lo sviluppo di altre specie nel piano dominato, in quanto determina una copertura che permette lo sviluppo e la sopravvivenza nel piano erbaceo-arbustivo dei semi e delle plantule di faggio, insieme a poche altre specie nemorali. Non è particolarmente sensibile alle diverse tipologie di suolo, sviluppandosi indifferentemente in suoli con pH fra 3.5 a 8.5. Il faggio si sviluppa bene nei suoli di origine calcarea o vulcanica, morbidi ed umidi ma in cui non sono presenti regolari inondazioni e acqua stagnante, poichè necessita di suoli con un buon drenaggio. Il faggio favorisce lo sviluppo del suolo, grazie al cospicuo apporto di lettiera (circa 900g/m^2 all'anno) (Houston Durrant et al., 2016).

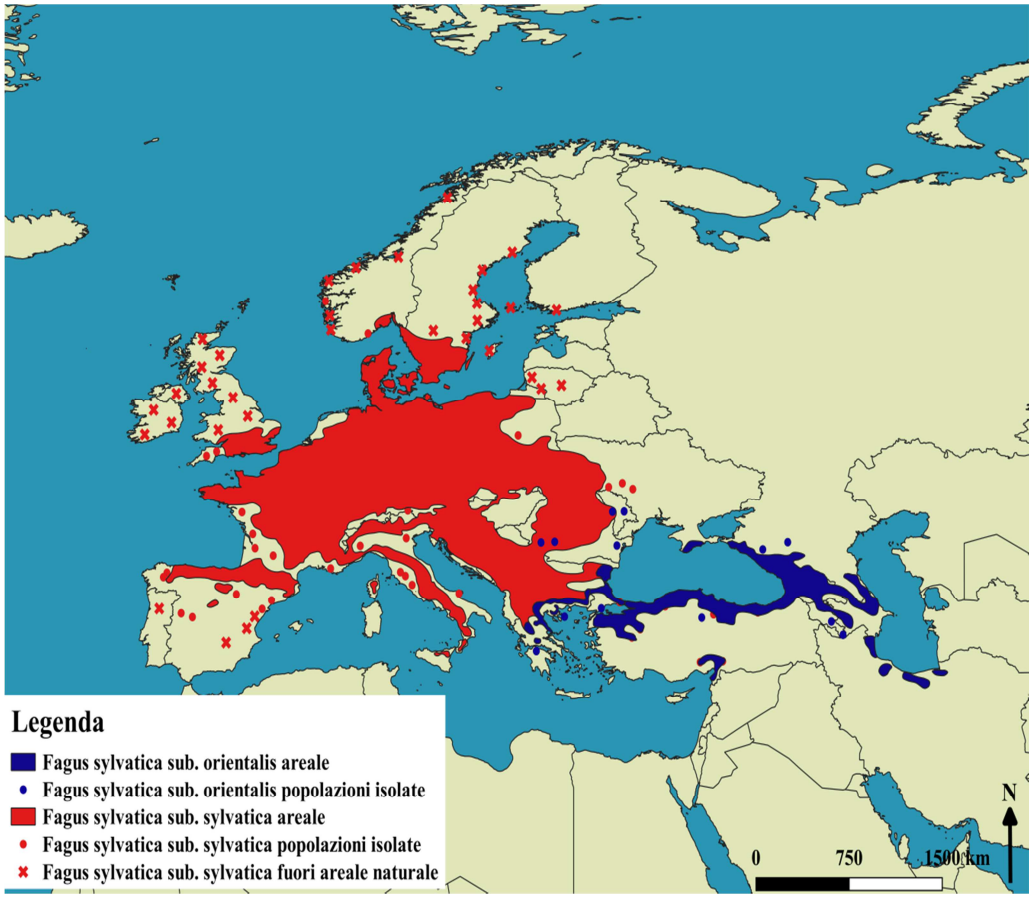


Fig. 1.1.5 – Areale del faggio (*Fagus sylvatica* sub. *sylvatica* e sub. *orientalis*) in Europa. Sono indicate anche le popolazioni isolate e quelle che si trovano al di fuori dell'areale naturale. Questa immagine è stata realizzata utilizzando i file *.shp* dell' European Atlas of Forest Tree Species (San-Miguel-Ayanz et al., 2016)

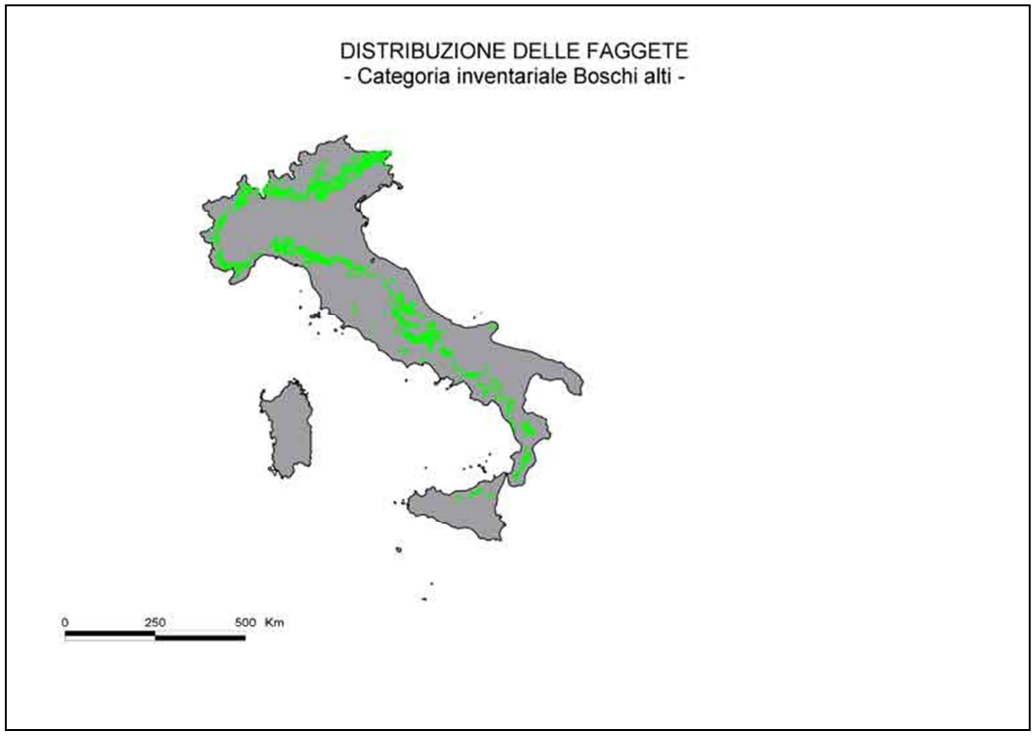


Fig. 1.1.6 – Carta di distribuzione delle faggete in Italia dell'INFC del 2005 (da https://www.sian.it/inventarioforestale/jsp/cartogrammi.jsp?menu=3)

1.1.3 Tipi forestali delle faggete centro-appenniniche

Quello per tipologie forestali è un sistema gerarchico di classificazione dei boschi (e degli arbusteti) in unità distinte su base floristica, ecologica, dinamica e selvicolutrale, utilizzabi ai fini pratici di pianificazione forestale e, più in generale, territoriale. In particolare i Tipi sono le unità fondamentali di classificazione, e contengono nel nome indicazioni ecologiche e floristiche significative per il riconoscimento. I criteri sono gli stessi ma la classificazione dei tipi forestali non è uguale per tutte le regioni. Ognuna caratterizza la nomenclatura in modo proprio sebbene le affinità a volte siano bene evidenti. Di seguito verranno riportate le classificazioni per le regioni Marche ed Abruzzo.

MARCHE

Nelle Marche, in base alla Carta Forestale delle Marche (IPLA, 2001), i boschi a prevalenza di faggio occupano una superficie pari a 20.126 ha, che corrispondono al 7,8% della superficie forestale regionale. All'interno della regione, il faggio costituisce il 6,5% del numero totale di alberi e il 12% della massa complessiva. Il faggio, come il castagno, è presente prevalentemente all'interno della omonima Categoria, mentre solo raramente partecipa ad altri tipi di bosco. Le faggete marchigiane sono costituite per il 72% da faggio, e per il restante 28% da altre specie. (IPLA, 2001).

La faggeta nella regione Marche è differenziata in 5 tipi forestali:

- Faggeta mesoneutrofila (FG10): Presente esclusivamente nel Massiccio dei Monti della Laga, su suoli con substrati arenacei della formazione del Flysch della Laga tra gli 800-1000 e i 1300-1400 metri di quota. E' una faggeta solitamente pura o con sporadica presenza di acero di monte (*Acer pseudoplatanus* L.) e raramente con abete bianco (*Abies alba* Mill.).
- Faggeta mesofila submontana (FG20): Diffusa sui rilievi montani di tutta la Regione, con possibile confusione con le Faggete mesoneutrofila, acidofila ed eutrofica, anche se queste si trovano al di sopra dei 1000 metri, mentre la mesofila submontana si trova solitamente in contiguità con popolamenti a prevalenza di cerro, di castagno e di latifoglie mesofile. Nei limiti inferiori questa entra in contatto con i cedui di carpino nero e orniello, talvolta con presenza abbondante di acero a foglie ottuse.
- Faggeta eutrofica (FG30): Nei substrati carbonatici è possibile confonderla con la Faggeta mesofila subomontana, anche se quest'ultima si sviluppa sempre a quote inferiori ai 1000 metri. Solitamente pure a causa delle passate utilizzazioni e la

maggiore quota, solo occasionalmente e in particolari condizioni (impluvi e suoli detritici) possono essere presenti altre latifoglie, come l'acero di monte e quello riccio, l'olmo montano e il frassino maggiore.

- Faggeta mesoxerofila (FG40): Presente soprattutto su substrati di calcare duro appartenenti ai Rilievi delle dorsali appenniniche interne, nei bassi e medi versanti montani prevalentemente esposti a sud. Sono spesso presenti al loro interno infiltrazioni di latifoglie (roverella, carpino nero, orniello e sorbo montano) e di pino nero.
- Faggeta acidofila (FG50): E' esclusiva dei Monti della Laga, dove si trova esclusivamente su substrati arenacei e marnoso arenacei del Fysch della Laga (da cui deriva il nome di Faggeta acidofila), prediligendo gli alti versanti, i dossi o i crinali. Faggeta solitamente pura, in rari casi si può avere mescolanza con l'acero di monte e abete bianco. (IPLA, 2001).

ABRUZZO

In Abruzzo, l'assetto floristico-ecologico e fitogeografico delle faggete è ampio e articolato. Le faggete sono divise, secondo i fattori climatici, in due grandi gruppi: quello delle faggete termofile (basso montane) e quello delle faggete microterme (fascia altomontana) (Regione Abruzzo, 2009).

In Abruzzo sono presenti tre tipi forestali per la faggeta:

- Faggeta altomontana rupestre: popolamenti spesso lacunosi con la presenza di radure e prati aridi. Sono popolamenti a prevalenza di faggio, presenti su pendii molto acclivi o lungo i crinali, con presenza di specie arbustive mesoxerofile (ginepri). Localizzato su versanti caldi al di sopra dei 1100 metri fino al limite superiore del bosco, su substrati calcarei. Distinguibile dalle faggete submontana mesofila e montana per l'assenza di specie mesofile, e per la presenza di specie pià mosoxerofile, come ginepro e graminacee.
- Faggeta termofila e basso montana: popolamenti a prevalenza di faggio con abbondante presenza di specie mesofile nel piano dominato. Si trova nell'orizzonte montano inferiore, tra la fascia delle latifoglie decidue e quella del faggio.
- Faggeta montana (eutrofica-mesoneutrofila-acidofila): costituita da boschi solitamente puri di faggio in buone o ottime condizioni di crescita, in tutte le esposizioni con prevalenza di quelle settentrionali. E' caratterizzata dalla carenza di sottobosco arbustivo, che talvolta può essere anche assente. (Regione Abruzzo, 2009).

1.2 La sensitività climatica del faggio

1.2.1 Effetti delle gelate tardive

I principali fattori limitanti del faggio sono dovuti maggiormente all'aumento dell'intensità dei singoli eventi di precipitazione che potrebbero creare eventi di ristagno idrico ed alla maggiore frequenza di fenomnei siccitosi durante la stagione estiva (Geßler et al., 2007). Il faggio inoltre è una specie particolarmente sensibile alle gelate tardive, in quanto la sua fogliazione è precoce rispetto a quella di molte altre specie (Bascietto et al., 2018; Dittmar et al., 2006). Questo fattore limita la diffusione altitudinale del faggio in determinati ambienti, ad esempio le Alpi (Dittmar et al., 2006). Oltre a quella altitudinale, anche la distribuzione geografica viene influenzata dall'intensità e dalla frequenza delle gelate tardive, come nel caso dell'estremità orientale del suo range naturale (Dittmar et al., 2006) o in quella nord e nord orientale (Bascietto et al., 2018). I principali effetti delle gelate tardive sono quelli di determinare una diminuzione dell'accrescimento diametrico della pianta (Vanoni et al., 2016); infatti le gelate tardive, insieme al bilancio idrico della stagione in corso e di quella precedente, sono considerati i fattori principali che condizionano la crescita del faggio sugli Appennini (Piovesan et al., 2003). Secondo Dittmar et al. (2003), l'attività cambiale del faggio risulta molto sensibile alle gelate tardive all'inizio della stagione vegetativa e a condizioni meteorologiche fresche, umide e nuvolose durante la stessa. Altri danni che possono interessare il faggio a causa delle gelate tardive, oltre alla riduzione dell'accrescimento, sono lo svilupparsi di cretti da gelo anche su piante adulte, soprattutto a causa della corteccia sottile e rigida che caratterizza questa specie (Ebone et al., 2012), o la definitiva morte delle foglie e dei nuovi germogli (Bascietto et al., 2018; Dittmar et al., 2006) che comporta la successiva mancanza della formazione dell' anello (Piovesan et al., 2003). L'anticipazione della fogliazione viene identificata da Schieber (2018) in un cambiamento di tre giorni. Il fenomeno della mortalità fogliare è dovuto alla formazione di ghiaccio tra le cellule e i tessuti delle foglie e dei germogli (Nolè et al., 2018). Altro motivo per cui l'anello può essere stretto o assente sta nel fatto che la pianta per formare nuove foglie va a sottrarre riserve che altrimenti sarebbero state spese per la crescita e la xilogenesi, riducendo conseguentemente la capacità produttiva della pianta (Bascietto et al., 2018; Dittmar et al., 2006; Nolè et al., 2018). Non tutte le piante e non tutti i boschi subiscono la stessa entità di danni a seguito di un evento meteorologico estremo, infatti il danno potenziale di una gelata tardiva è

fortemente correlato con le temperature minime sito-specifiche e con lo stato fenologico della pianta colpita (Dittmar et al., 2006).

1.2.2 Effetti della siccità estiva

Il faggio è considerato altamente vulnerabile alla siccità (Vanoni et al., 2016). Infatti la siccità estiva, ancor più delle gelate tardive, influenza la crescita del faggio e la sua diffusione in Europa. Diversi studi hanno rilevato che il faggio, soprattutto a ridotte altitudini, soffre molto la siccità. Ne deriva che la distribuzione del faggio è molto correlata alla siccità, in quanto l'esigenza di un'estate tendenzialmente umida non ne permette lo sviluppo per esempio nel sud della Spagna, della Grecia e nelle aree più aride dell'Italia centrale e meridionale (Magri, 2008). Si può affermare che lo stress idrico (e quindi la disponibilità di acqua) limita la distribuzione del faggio nella parte più a sud del suo limite di distribuzione (Hacket-Pain and Friend, 2017). La siccità, in particolare, è uno dei più importanti indicatori per le analisi della risposta degli ecosistemi forestali dal punto di vista della crescita degli alberi, della modificazione allometrica, dell'efficienza di utilizzo dell'acqua e della mortalità delle piante (Conte et al., 2018). La siccità è collegata ad una vasta serie di condizioni climatiche, come l'aumento delle temperature medie e massime dell'aria (che incidono sul tasso di evapotraspirazione), la riduzione delle piogge, maggior quantità di radiazione solare ed elevata pressione di vapore (Camarero et al., 2018). Come per le gelate tardive, anche la siccità estiva e quindi le temperature e le precipitazioni dei mesi estivi, hanno diverse influenze a seconda dell'altitudine in cui si sviluppa la specie. Il principale effetto della siccità sul faggio si ha con la riduzione dell'accrescimento della pianta, ma può avere anche altre conseguenze. Infatti i danni provocati dalla siccità interessano tutti gli organi, e sono direttamente proporzionali alla durata del fenomeno. Alcuni sintomi che dimostrano la presenza di una siccità sono l'ingiallimento della chioma, la progressiva diminuzione della copertura della chioma dovuta a filloptosi anticipata e la microfillia che, se il fenomeno persiste per lungo tempo, può portare a disseccamenti di parti distali dei rami della pianta. Altri danni possono essere il distaccamento di lembi di corteccia, fatto che può avvenire anche per gli effetti delle scottature indotte dalla riduzione della chioma (Ebone et al., 2012).

1.2.3 Faggio e cambiamenti climatici

Il cambiamento climatico può avere degli effetti sullo sviluppo e sulla distribuzione del faggio. Il recente innalzamento delle temperature ha avuto un effetto negativo sulla crescita del faggio, che in alcuni casi è diminuita proprio a causa della maggiore suscettibilità del faggio alle temperature più elevate e a condizioni più aride (Bosela et al., 2018). Periodi prolungati di aridità intensa e condizioni di ristagno idrico potrebbero influire sulla crescita e sulla competitività del faggio (Geßler et al., 2007). In futuro, questo potrebbe soffrire per l'aridità durante i periodi con precipitazioni ridotte su suoli superficiali con una bassa capacità di ritenzione idrica e per la stagnazione dell'acqua nelle pianure alluvionali e nei suoli con una bassa capacità di drenaggio (Geßler et al., 2007). Infatti se il riscaldamento globale continuerà senza un aumento delle precipitazioni si potrà verificare una riduzione dell'accrescimento del faggio (Hacket-Pain and Friend, 2017). Nel lungo periodo quindi il faggio potrebbe risentire del cambiamento climatico, in quanto le temperature in aumento e gli eventi estremi sempre più frequenti potrebbero creare dei problemi a questa specie, soprattutto alle quote più basse e alle latitudini inferiori.

1.3 Obiettivi della tesi

Questa tesi si inserisce all'interno di un progetto di ricerca dell'Unità Sistemi Forestali del D3A-UNIVPM, sulla sensitività del faggio a disturbi abiotici (in particolare delle faggete alle gelate tardo-primaverili e siccità estiva), un fenomeno che a giudicare dalla bibliografia sembra essere aumentato in termini spazio-temporali. Vi sono stati infatti eventi recenti (es. fine aprile 2016) di notevole entità lungo la catena appenninica che hanno catalizzato l'attenzione di ricercatori italiani e internazionali. Questo progetto di ricerca parte dal presupposto che temperature più calde nei mesi primaverili inducono una fogliazione anticipata, aumentando il rischio di danni dovuti alle gelate tardive sulle foreste di faggio (come con gli eventi del 2016 e del 2017) (Bascietto et al., 2018; Nolè et al., 2018). Gli obiettivi della ricerca sono quelli di capire quanto frequenti ed estesi sono stati gli eventi delle gravi gelate tardive nelle faggete mediterranee negli ultimi decenni, e se quese sono state registrate dalle serie di anelli degli alberi danneggiati. Lo studio si svolgerà su otto siti distribuiti tra Spagna (2 siti), Appennino centrale (2 siti), Appennino meridionale (2 siti) e Alpi italiane/slovene (2 siti).

Con questa tesi è stato eseguito il campionamento del primo sito dell'Appennino centrale in base al protocollo di rilevamento stabilito e concluse le analisi preliminari relative alla sensitività dendroclimatica del faggio. Gli obiettivi specifici di questa tesi sono pertanto:

- Il campionamento strutturale e dendrocronologico in una faggeta nel sito appenninico della Montagna dei Fiori (TE);
- L'analisi dendroclimatica del faggio lungo un gradiente altitudinale;
- L'analisi comparativa della sensitività climatica della popolazione della Montagna dei Fiori con quella di altre distribuite nell'Appennino centrale, già campionate dal Laboratorio TreeringLab.

2. MATERIALI E METODI

2.1 Area di studio

2.1.1 Caratteri topografici, geomorfologici e litologici

L'area di studio (Fig. 2.1.1) è situata sulla Montagna dei Fiori, nelle provincie di Teramo e Ascoli Piceno, rispettivamente in Abruzzo e nelle Marche. Questa va a costituire, insieme alla Montagna di Campli, il Massiccio dei Monti Gemelli, separati dalle Gole del Salinello. La Montagna dei Fiori si trova all'estremità orientale del gruppo dei Monti della Laga e rientra nei comuni di Valle Castellana, Civitella del Tronto e Ascoli Piceno (dalla quale dista solo 20 km). Ha due vette, il Monte Girella (1814 m s.l.m.) e il Monte Piselli (1676 m s.l.m.), entrambe in Abruzzo. La Montagna dei Fiori rientra nel Parco Nazionale del Gran Sasso e dei Monti della Laga, e ricade all'interno di due SIC (Fig. 2.1.2), l'IT5340004 "Montagna dei Fiori" in territorio marchigiano (estensione 606 ha) e l'IT7120213 "Montagne dei Fiori e di Campli e Gole del Salinello" in territorio abruzzese (estensione 4221 ha) (http://www.gransassolagapark.it/pagina.php?id=316). Le aree di saggio sono state effettuate nella zona del Monte Piselli, nel suo versante nord. Dal punto di vista litologico la Montagna dei Fiori costituisce una culminazione assiale di una anticlinale ad andamento NW-SE nel tratto settentrionale e N-S in quello meridionale, portando in affioramento i termini più antichi della successione umbro-marchigiana a partire dal Calcare massiccio, mentre nel segmento più meridionale N-S il termine più antico è costituito dalle Marne con "Cerrogna" (Invernizzi and Ridolfi, 1992), ovvero marne e marne argillose associate a torbiditi calcaree ("Cerrogna") . L'area del nostro studio rientra nella serie dei calcari e calcari marnosi pelagici, risalenti all'epoca del Paleocene – Cretacico superiore (Carta Geolitologica d'Italia, Geoportale Nazionale, dati WMS).

Fig. 2.1.1 - Localizzazione dell'area di studio della Montagna dei Fiori (TE)

Fig. 2.1.2 – Zone SIC della Montagna dei Fiori

2.1.2 Caratteri pedo-climatici e vegetazionali

Nell'area di studio, secondo la classificazione di Rivas Martinez, è presente un bioclima temperato oceanico a variante submediterranea, termotipo mesotemperato e ombrotipo subumido (Fig. 2.1.3). Questo tipo bioclimatico è abbastanza diffuso in tutto l'arco Appenninico e localmente nelle Alpi liguri, ed è presente anche nelle aree più elevate delle isole (Carta Fitoclimatica d'Italia, Geoportale Nazionale, dati WMS). Le precipitazioni medie raggiungono i 790 mm, la temperatura media i 13.7°C, la temperatura minima assoluta i -3.7°C, la temperatura massima assoluta i 34.8°C.

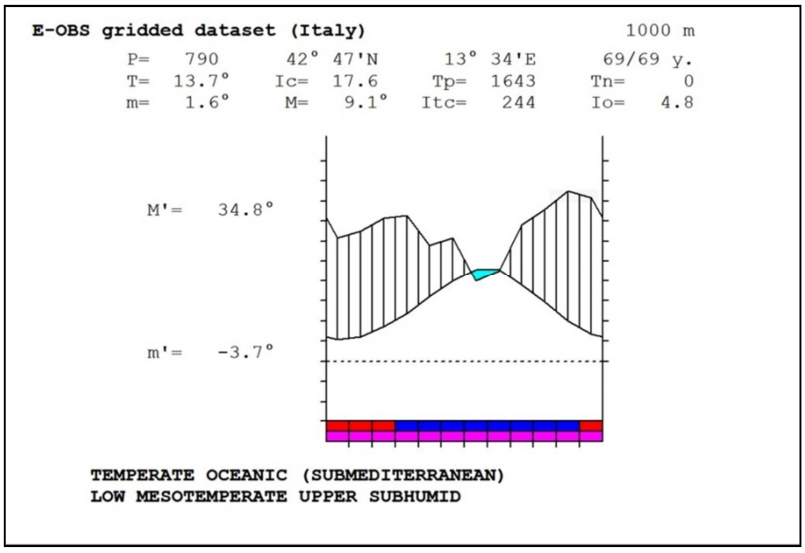


Fig. 2.1.3 - Climodiagramma ricavato dai dati meteorologici mensili (temperature massime, medie, minime e precipitazioni) della griglia climatica E-OBS v20.0 e scaricati dal portale Climate Explorer (http://climexp.knmi.nl/start.cgi).

Dal punto di vista vegetazionale nell'area di studio, collocata nel piano montano al confine fra Marche e Abruzzo, si trovano boschi a prevalenza di faggio, con presenza sporadica di frassini, aceri e ciliegio selvatico. Nell'orizzonte submontano si trovano in prevalenza orno-ostrieti e limitatamente rimboschimenti di conifere (pino nero). Nella Carta dei Tipi Forestali della Regione Abruzzo (Regione Abruzzo, dati WMS), le aree di saggio rientrano nel tipo della Faggeta montana (eutrofica-mesoneutrofila-acidofila), adiacente al tipo della Faggeta altomontana rupestre, e fanno parte dell'Habitat prioritario 9210* Faggeti degli Appennini con *Taxus* e *Ilex*.

2.2 Protocollo di campionamento

2.2.1 Aree di saggio e rilevamento dati dendrometrico-strutturali

Le immagini satellitari hanno permesso di individuare la porzione di faggeta interessata dall'evento di gelata tardiva del 2016 e conseguentemente le tre aree di saggio anche a seguito di un sopralluogo dell'area che ha permesso di selezionare le porzioni di bosco più idonee al campionamento per accessibilità, diametro e dimensione degli individui, densità delle chiome superiore al 30%. Secondo il protocollo previsto le aree di saggio sono state realizzate in una faggeta pura ,che dovevano estendersi lungo un gradiente altitudinale di almeno 250 m con almeno 80 metri di dislivello altitudinale l'una dall'altra (Tab. 2.2.1), per poter analizzare le risposte del faggio in condizioni microstazionali differenti (Fig. 2.2.1). Le tre aree di studio si trovano lungo il versante nord del Monte Piselli (Fig. 2.2.2): una in posizione di bassa quota (*low*) non interessata dalla gelata del 2016 (**MFL**), una a quota intermedia (**MFM**) con danni parziali e una ad alta quota con danni più evidenti (**MFH**).

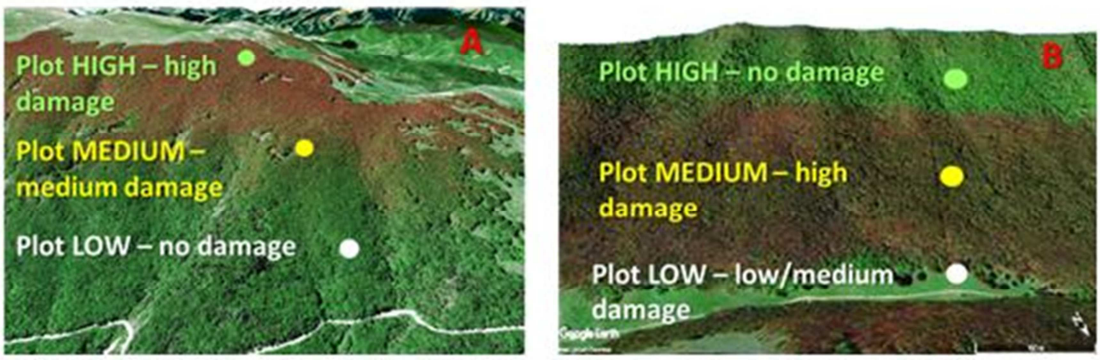


Fig. 2.2.1 - Due esempi di distribuzione dei plot (A e B).

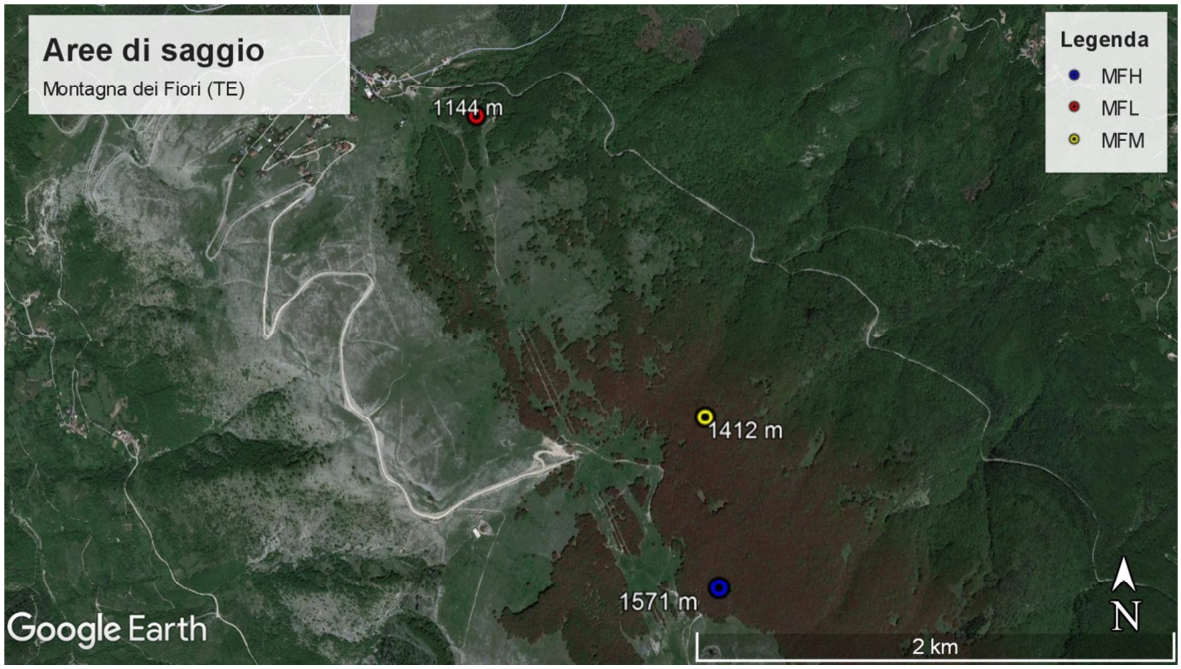


Fig. 2.2.2 - Localizzazione delle aree di saggio con le rispettive quote; in rosso MFL, in giallo MFM e in blu MFH.

Tab. 2.2.1 – Coordinate e altitudine dei tre siti di campionamento

Aree di studio	Latitudine (N)	Longitudine (E)	Altitudine (m s.l.m.)
MFH	42.7832	13.5880	1571
MFM	42.7885	13.5876	1412
MFL	42.7990	13.5770	1144

In ogni plot abbiamo misurato i seguenti parametri: coordinate del centro del plot, il dbh (*diameter at breast height* – diametro a petto d'uomo) di tutte le piante vive o di tutti i polloni di una ceppaia all'interno di un raggio di 10 m dal centro (con diametro al di sopra dei 3 cm), l'altezza di almeno 10 individui rappresentativi e la disponibilità di luce al suolo attraverso l'uso di un densiometro sferico che stima la copertura delle chiome (Fig. 2.2.3).

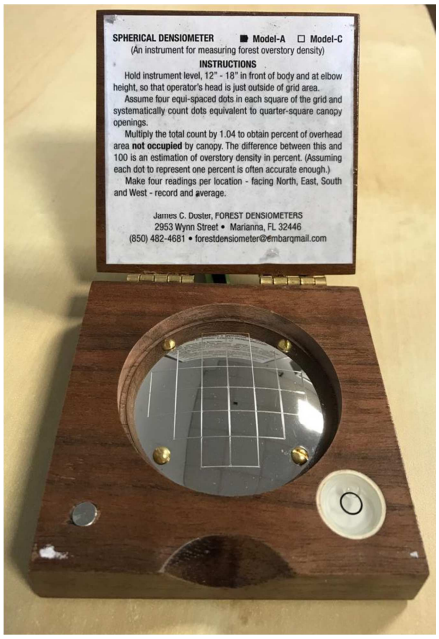


Fig. 2.2.3 - Densiometro sferico utilizzato per la misurazione della luce disponibile al suolo (densità delle chiome).

2.2.2 Prelievo dei campioni legnosi per analisi dendroclimatica, anatomica e isotopica

In ogni area di saggio (ADS), sono state prelevate carote legnose con trivelle di Pressler (Fig. 2.2.4) di diversa lunghezza e dimensione da individui dominanti di faggio. Sempre rispetto al medesimo centroide entro un raggio di 20 metri sono stati selezionati cinque individui arborei (non raggruppati) aventi le migliori caratteristiche strutturali (altezza e diametro) da ognuno dei quali è stata prelevata una carota legnosa avente sezione di 10 mm, destinata all'analisi dendro-anatomica e isotopica, nonché una di dimensioni standard (sezione di 5 mm), destinata all'analisi dendrocronologica. Su altre 15 piante dominanti all'interno dei 20 m di raggio è stato prelevato un campione da 5 mm destinato alla sola analisi dendrocronologica. Tutti i campioni sono stati prelevati nella porzione di fusto rivolta verso monte e poi temporaneamente fissati con nastro carta su appositi supporti scanalati in legno. Per tutte le piante carotate è stata determinata la posizione relativa rispetto al centro del plot utilizzando un distanziometro con bussola TruPulse (Fig. 2.2.5) abbinato al software MapSmart (Laser Technology Inc.). In totale sono state campionate 60 piante e ottenuti complessivamente 75 campioni per le successive analisi. Con i 15 campioni da 10 mm verranno realizzate le analisi anatomiche e isotopiche, che non fanno parte di questo lavoro e che consentiranno di approfondire l'analisi sulla sensitività climatica del faggio appenninico.

Fig. 2.2.4 – Trivelle di Pressler utilizzate (a sinistra quella da 10 mm e a destra quella da 5mm)

Fig. 2.2.5 TruPulse®

2.2.3 Preparazione e analisi dei campioni

I campioni prelevati in campo stati trasferiti al laboratorio TreeringLab del D3A dove sono stati definitivamente incollati sul supporto con colla vinilica. Una volta asciugati, sono stati levigati utilizzando carte abrasive con grana sempre più sottile (fino a P800), per evidenziare al meglio gli anelli legnosi e misurarne l'ampiezza con maggior accuratezza. I campioni sono stati identificati attraverso un codice univoco composto da 8 caratteri (MFxFSxxx): i primi due identificano l'area di studio (MF-Montagna dei Fiori), la terza l'area di saggio (L-plot basso, M-plot medio e H-plot alto), le due successive la specie (FS

Fagus sylvatica) e infine le ultime tre, con numeri progressivi, che identificano l'individuo campionato all'interno della stessa ADS. La misurazione degli incrementi annuali di raggio è stata effettuata con il sistema LINTAB (Rinntech) abbinato al software TSAP che consente di misurare con una precisione di 0.01 mm (Fig. 2.2.6)

Fig. 2.2.6 – Postazione di misurazione degli incrementi con sistema LINTAB presso il TreeringLab - UNIVPM

2.3 Analisi dendrocronologica e dendroclimatica

2.3.1 Analisi sui dati dell'area di studio

L'analisi dendrocronologica è stata effettuata utilizzando il programma TSAP (Fig. 2.3.1), che permette di registrare l'ampiezza in mm 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. Ogni campione misurato è stato datato al 2018, poiché l'accrescimento dell'anello legnoso al momento dei rilievi in campo (giugno-luglio 2019) non era ancora completo. Tramite TSAP è stata inoltre effettuata una sincronizzazione visiva spostando le serie misurate alla ricerca di anni caratteristici e di possibili errori nella misurazione. La qualità delle sincronizzazione è stata valutata poi con il programma dedicato COFECHA (Holmes 1983), che fornisce il grado di somiglianza tra segmenti di ogni campione rispetto alla cronologia media (*master chronology*). Una volta sincronizzate, le singole serie di accrescimento sono state elaborate con il programma

ARSTAN (Cook 1985, Cook and Holmes 1986) per effettuare una standardizzazione delle ampiezze degli anelli (influenzate da un trend riduttivo dovuto all'effetto geometrico dell'aumento di circonferenza) e rimuovere la componente di autocorrelazione (AC1) spesso presente nelle serie di accrescimento. Questo passaggio, che quindi elimina la varianza di medio-lungo termine e lascia quella di breve termine dovuta al clima, è indispensabile per poter meglio correlare clima e accrescimento. Ogni serie è stata quindi standardizzata mediante una funzione *smoothing* (*spline* di 25 anni con *cutoff* della varianza a 50%) e trasformata in una serie di accrescimento indicizzata (RWI – *Ring Width Index*) da sottoporre all'analisi dendroclimatica. A tale scopo , è stato utilizzato il programma DendroCLIM 2002 (Biondi e Waikul 2004 – Fig. 2.3.2) inserendo le serie standardizzate ottenute con ARSTAN (*Residual Chronology*) e le omologhe serie temporali delle variabili climatiche mensili (precipitazioni, temperatura media dei massimi e temperatura media dei minimi). I dati climatici sono relativi al pixel della griglia climatica E-OBS v20.0e (0.25° lat x 0.25° lon) in cui ricade la Montagna dei Fiori, scaricati dal portale Climate Explorer (http://climexp.knmi.nl/). Tutte queste operazioni sono risultate necessarie per determinare se e in che termini le caratteristiche climatiche dell'area influiscano sull'accrescimento del faggio, valutate per il periodo che va da luglio dell'anno precedente allo sviluppo degli anelli a ottobre dell'anno di sviluppo degli stessi. La finestra temporale in cui è stata effettuata l'analisi dendroclimatica è quella compresa tra il 1951 (primo anno presente per la griglia delle temperature e delle precipitazioni utilizzata) e il 2018 (anno dell'ultimo anello completo delle cronologie).

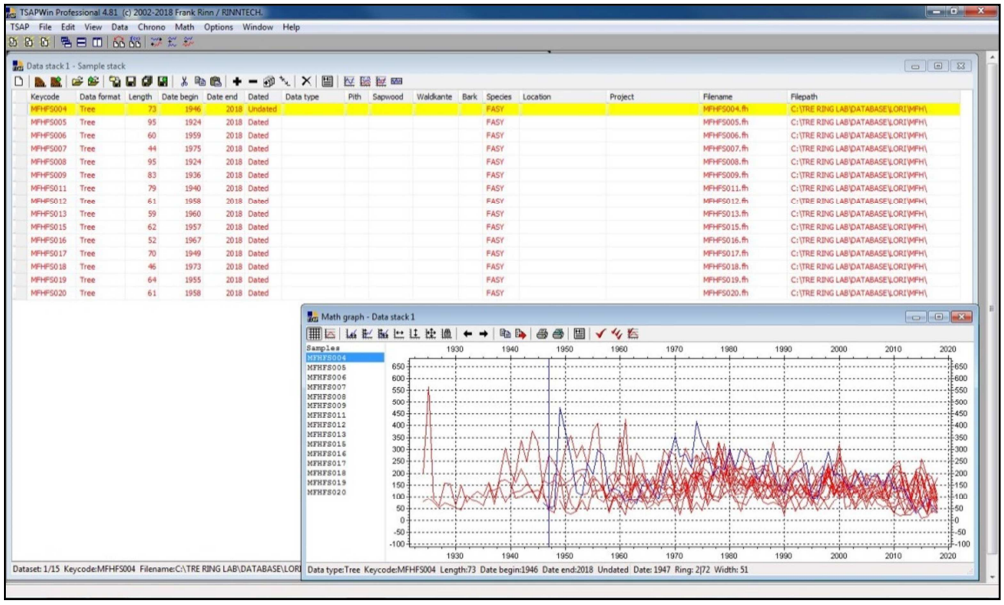


Fig. 2.3.1 – Interfaccia grafica del software di misurazione TSAP

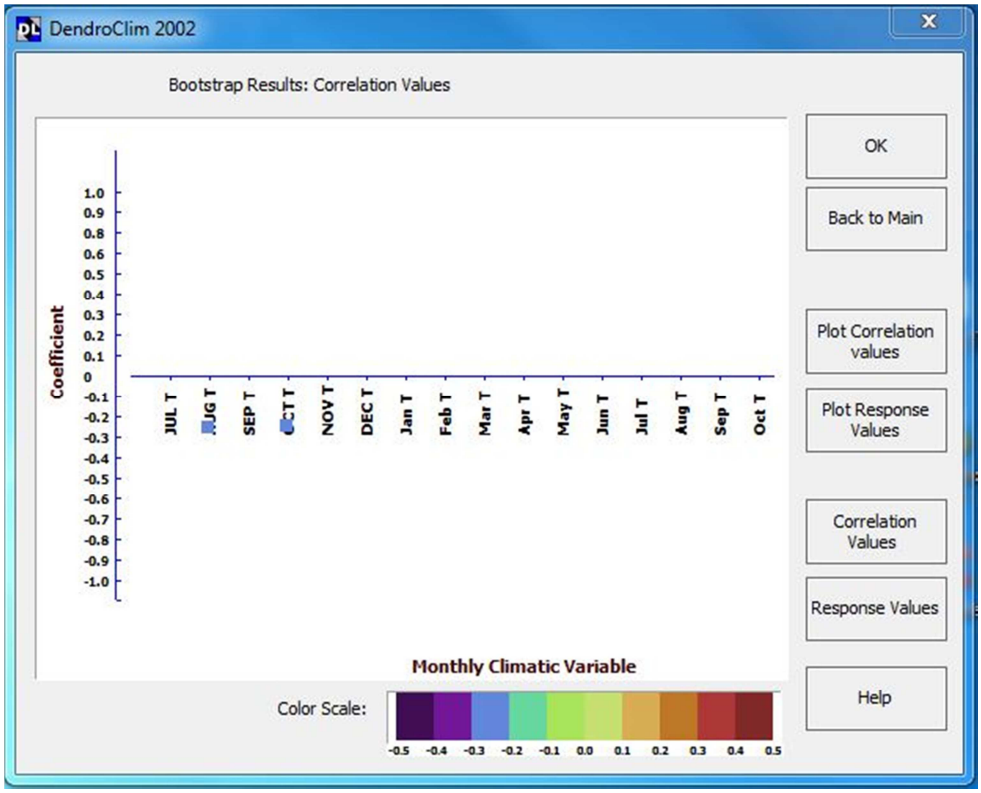


Fig. 2.3.2 – Interfaccia grafica del software di analisi dendroclimatica DendroCLIM 2002

2.3.2 Analisi e confronti con altre serie di faggio appenninico

Sono state recuperate anche serie individuali e/o cronologie di faggio dell'Appennino centrale, presenti presso il TreeringLab (oltre a quelle dell'Appennino romagnolo di Cherubini e Rodolfi (2010) disponibili online presso l'*International Tree Ring Data Bank* ospitato dal *National Center for Environmental Information* del NOAA), che dopo opportuni controlli e omogeneizzazioni sono state utilizzate comparativamente con quelle della Montagna dei Fiori (Fig. 2.3.5; Tab. 2.3.1). Le tre cronologie relative alle tre quote altitudinali sono state opportunamente mediate in un'unica cronologia MDF e confrontate ad altre 6 comprese fra Emilia-Romagna, Umbria e Marche. Analogamente sono state tutte sottoposte ad analisi dendroclimatica con Tmax, P e scPDSI. L'indice di aridità scPDSI (*self-calibrating Palmer Drought Severity Index*) è una variante del PDSI originale di Palmer (1965) introdotta da Weels et al. nel 2004, con la finalità di rendere i risultati ricavati da differenti regimi climatici più comparabili. Come per il PDSI, il scPDSI è calcolato dalla serie temporale di precipitazioni e temperature, insieme con i parametri corretti correlati alle caratteristiche di suolo e superficie di ogni area. Valori di PDSI negativi indicano condizioni di siccità (-2 siccità moderata, -3 siccità grave e -4 siccità estrema), valori positivi, indicano condizioni di umidità (con scala analoga a quelli

negativi). Il periodo di analisi dendroclimatica è compreso tra il 1951 e il 2002 (anno finale della cronologia più breve) per le temperature massime e le precipitazioni. Per il scPDSI l'intervallo temporale di studio è quello compreso tra il 1939 (primo anno della cronologia più breve) e il 2002.

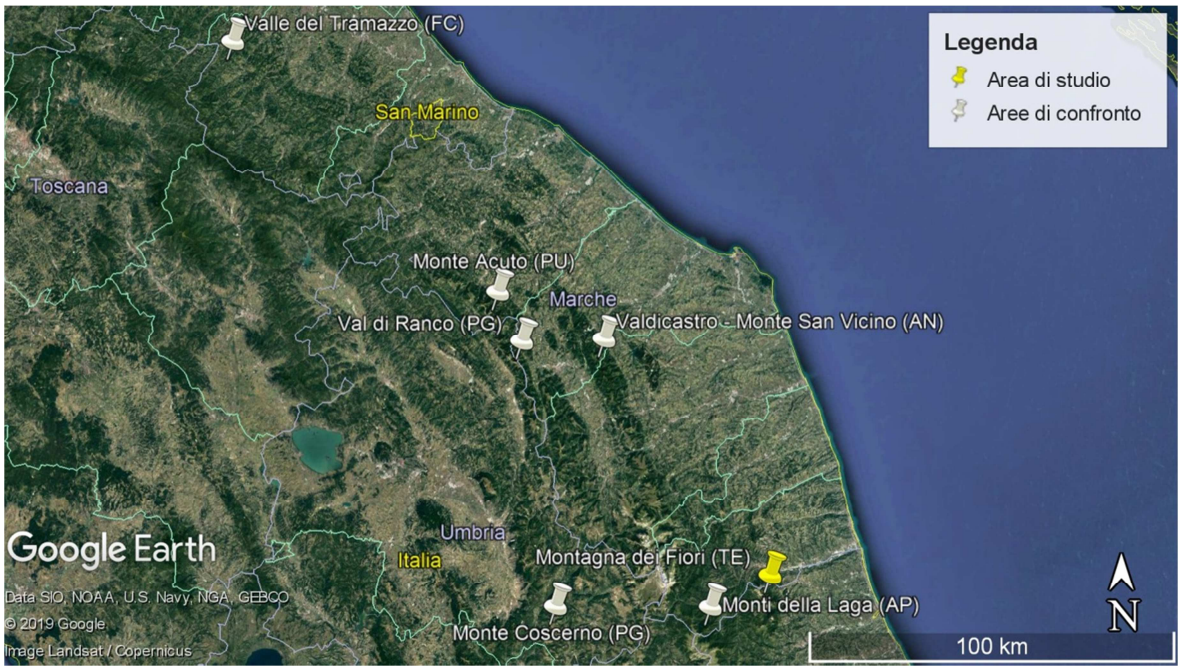


Fig. 2.3.5 – Localizzazione dei siti (bianco) confrontati, in giallo Montagna dei Fiori.

Tab. 2.3.1 – Elenco dei siti confrontati, ordinati in senso decrescente secondo la latitudine

Sigla	Sito	Provincia	Latitudine (N)	Longitudine (E)	Altitudine (m s.l.m.)
VDT	Valle del Tramazzo	Forlì-Cesena (FC)	44.0833	11.7833	983-1075
ACU	Monte Acuto	Pesaro-Urbino (PU)	43.4774	12.6861	1000-1450
VDC	Valdicastro	Ancona (AN)	43.3629	13.0404	750-900
VDR	Val di Ranco	Perugia (PG)	43.3577	12.7662	1050-1100
MDF	Montagna dei Fiori	Teramo (TE)	42.7885	13.5876	1185-1482
COS	Monte Coscerno	Perugia (PG)	42.7148	12.8780	1200-1400
MDL	Monti della Laga	Ascoli Piceno (AP)	42.7125	13.3892	1686-1796

3. ANALISI E DISCUSSIONE DEI RISULTATI

3.1 Assetto dendrometrico-strutturale dei soprassuoli

Il popolamento oggetto di questo studio è costituito da un bosco ceduo matricinato oltre turno. In Tab. 3.1.1, le aree di saggio non si differenziano marcatamente per i parametri strutturali. Infatti la differenza di numero di piante presenti varia significativamente solo per MFL, che presenta 3342 piante/ha, rispetto a MFM e MFH, che presentano rispettivamente 4520 e 4170 piante/ha. Anche i valori di area basimetrica si equivalgono, avendo una differenza di circa 2 m^2/ha. Il diametro medio risulta pressoché identico per MFH e MFM (12,6-12,3 cm), mentre è leggermente maggiore solo per MFL (14.6 cm). La media delle altezze rilevate in campo diminuisce all'aumentare della quota, come prevedibile. Analogamente anche il volume diminuisce con l'altitudine, con una differenza tra MFL e MFH di 100 m^3/ha. L'età cambiale media dei soprassuoli invece aumenta con la quota, infatti i valori più bassi si rilevano nell'area più bassa (MFL) e i più elevati in quella più alta (MFH). Questo ci fa capire che l'ultimo popolamento più recentemente utilizzato è quello situato alla quota più bassa (MFL), cosa altamente plausibile visto il miglior accesso a quest'area (vicina presenza di una strada) e la maggiore fertilità del popolamento.

Tab. 3.1.1 – Caratteristiche strutturali delle tre aree di saggio: N/ha = numero di fusti ad ettaro; g/ha = area basimetrica ad ettaro; Dg = diametro medio; H =altezza media (come media delle altezze rilevate); V/ha = volume ad ettaro; Età.

ADS	N/ha	g/ha (m^2/ha)	Dg (cm)	H (m)	V/ha (m^3/ha)	Età
MFH	4170	51,7	12,6	14,88	384,30	75,2
MFM	4520	53,9	12,3	15,23	410,81	71
MFL	3342	55,9	14,6	17,33	484,43	61,6

I popolamenti analizzati (cavallettamento con soglia diametrica di 3 cm) hanno tutti una struttura coetaneiforme, un'analoga distribuzione di frequenza con moda nella classe di 10 cm (Fig. 3.1.1). In MFL e MFM l'intervallo di variazione si ferma a 30 cm mentre in MFH sono presenti pochi individui delle classi diametriche di 35 e 40 cm riconducibili soprattutto a matricine di più turni.

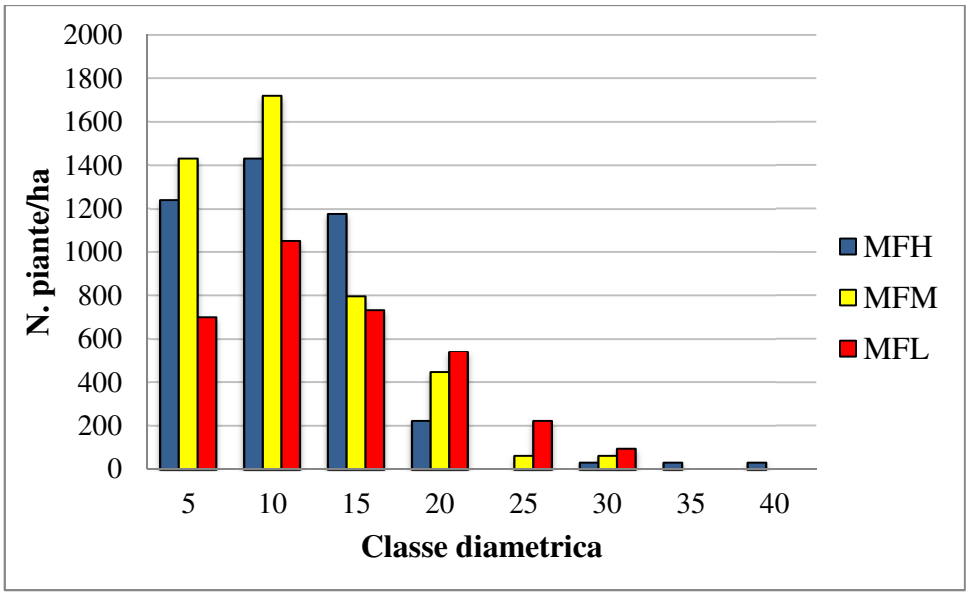


Fig. 3.1.1 – Distribuzione di frequenza del numero di piante in base alla loro classe diametrica.

Per i diametri (Fig. 3.1.2), la maggiore variabilità si ha per MFH (3-42 cm), seguita da MFL (3-32 cm) e MFM (4-32 cm). Le mediane sono rispettivamente 11, 12 e 10 cm.

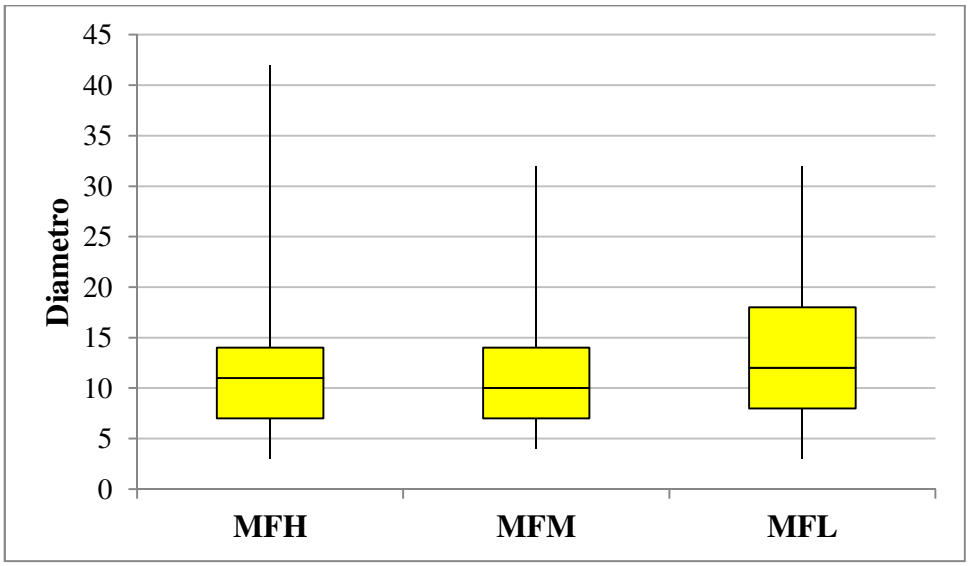


Fig. 3.1.2 – Box Plot dei diametri delle tre ADS.

Per quello che riguarda le altezze (Fig. 3.1.3), la maggior variabilità si ha per l'MFM (13.43-17.24 m), seguita dall'MFL (16-19.6 m) e dall'MFH (13.63-16.33 m). Le mediane sono rispettivamente 15.13, 17.25 e 14.64 m.

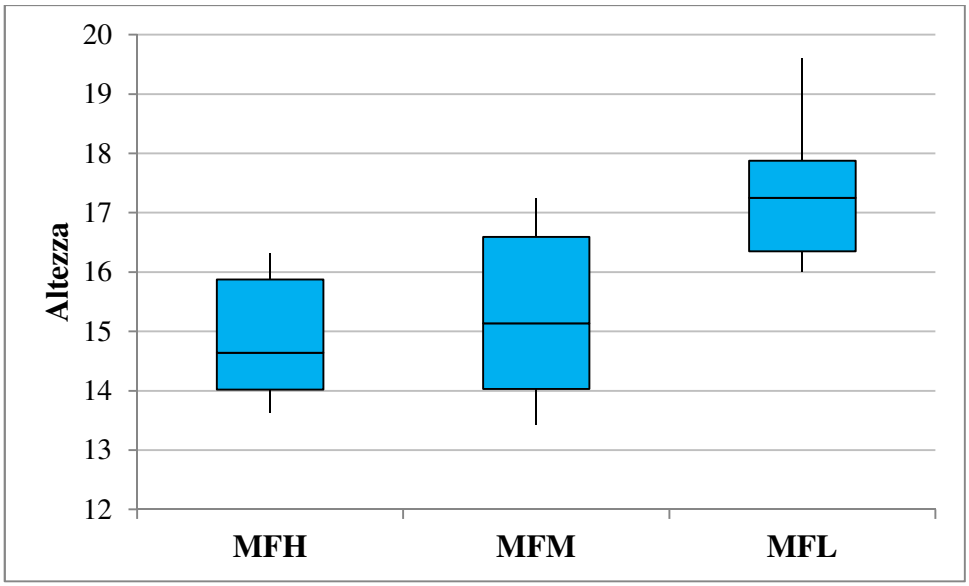


Fig. 3.1.3 – Box Plot delle altezze delle tre ADS.

Infine, per le età (Fig. 3.1.4), la maggiore variabilità si ha per l'MFH (46-106 anni), seguita dall'MFM (57-88 anni) e dall'MFL (48-73 annni). Le mediane sono rispettivamente 71, 69 e 62 anni. Quindi l'età massima rilevata nell'area di studio è stata 106 anni.

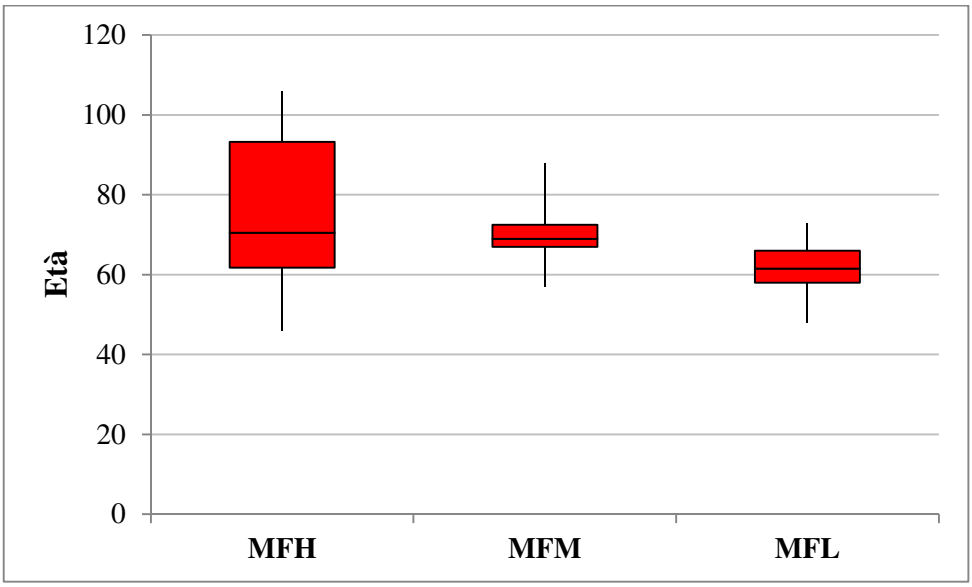


Fig. 3.1.4 – Box Plot dell'età delle tre ADS.

Sono state inoltre realizzate le curve di regressione (Fig. 3.1.5) tra le età cambiali delle piante campionate e il loro diametro nelle tre ADS, ottenendo come risultato un valore di R^2 elevato solo in MFH (R^2 = 0.78, MFM: R^2 = 0.25; MFL: R^2 = 0.02). La presenza di matricine con età e diametro maggiori dei polloni consente una inclinazione superiore della curva che innalza il coefficiente di determinazione.

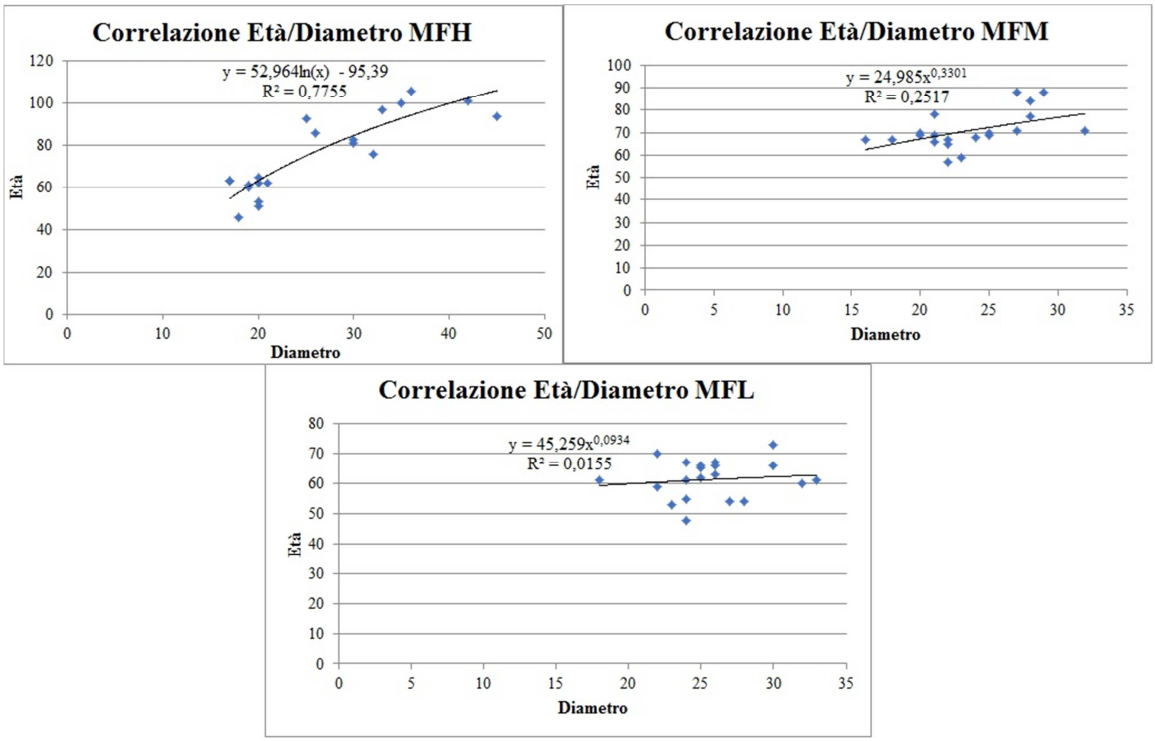


Fig. 3.1.5 – Regressioni Età/Diametro degli individui di faggio nelle tre ADS

3.2 Dinamica di accrescimento radiale del faggio

3.2.1 Dinamica di accrescimento nell'area di studio

Le cronologie relative alle tre ADS effettuate mediando le serie individuali di tutti i campioni legnosi campionati in ciascuna area (Fig. 3.2.1). (Tab. 3.2.1).

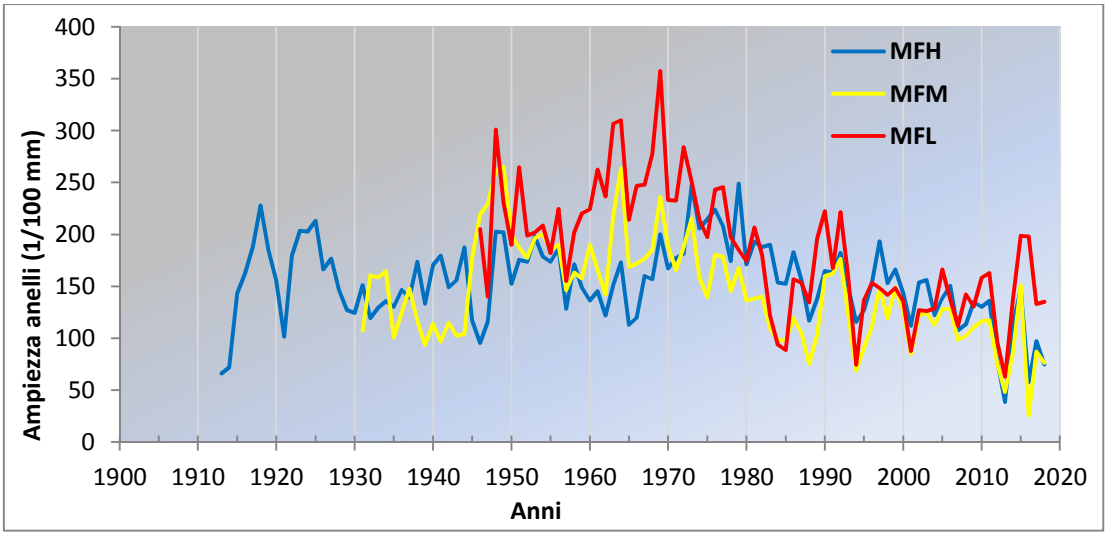


Fig. 3.2.1 – Cronologie medie di ampiezze anulari di faggio delle tre ADS nel sito della Montagna dei Fiori (TE)

Tab. 3.2.1 – Statistiche dendrocronologiche dell'area di studio differenziate per i tre siti di campionamento: TREES = numero di campioni all'interno dei siti; L MAX = lunghezza massima delle serie (anni); L MEDIA = lunghezza media delle serie (anni); MEDIA = ampiezza media degli anelli; STDV = Deviazione Standard; AC1 = Autocorrelazione di ordine 1; MS = Sensitività media percentualizzata; Rbar = correlazione media tra le serie individuali.

SITI	TREES	L MAX (ANNI)	L MEDIA (ANNI)	MEDIA (mm)	STDV (mm)	AC1	MS (%)	Rbar
MFH	20	106	75	1.56	0.66	0.51	34.90	0.52
MFM	20	88	71	1.41	0.64	0.59	32.35	0.66
MFL	20	73	62	1.79	0.81	0.65	30.75	0.67

Le serie sono caratterizzate da una buona sincronizzazione e dalla presenza di anni caratteristici in cui l'ampiezza degli anelli è risultata molto inferiore o superiore rispetto ai precedenti o successivi (Fig. 3.2.1). Possiamo infatti notare 8 picchi negativi (più o meno accentuati) comuni a tutte le serie, negli anni 1957, 1962, 1965, 1988, 1994, 2001, 2007, 2013, e uno molto significativo (2016) presente solamente nelle serie MFH e MFM . Tali picchi negativi sono solitamente dovuti a condizioni climatiche estreme, come il 1957 (Fig. 3.2.2) e il 2016 (Fig. 3.2.3), caratterizzati da significative gelate tardive. Fra il 5 e il 7 maggio 1957 dopo un normale inizio del mese vi fu una configurazione barica tipicamente invernale, con l'alta pressione delle Azzorre che si era spinta fino alla Groenlandia, favorendo la discesa di una massa gelida con isoterme a 850 hpa ampiamente negative su tutta l'Italia. Le temperature crollarono repentinamente con valori termici inferiori allo zero sulla Pianura Padana e nelle zone interne del Centro Sud ed anche precipitazioni nevose abbondanti in molte località abruzzesi dell'Appennino centrale. L'aria fredda irruppe sull'Italia centrale portandosi dietro anche la bora. Nevicò su tutto l'Appennino, ma anche sulle Murge e in Basilicata. Il gelo improvviso colpì duramente i raccolti di grano, foraggio, vite, compromettendo gravemente anche il raccolto di olive in gran parte delle regioni centrali e anche in vaste aree del meridione (https://www.ilmeteo.it/notizie/meteo-storico-maggio-1957-neve-gelo-italia; http://www.lineameteo.it/era-l-8-maggio-1957-vp16719.html)

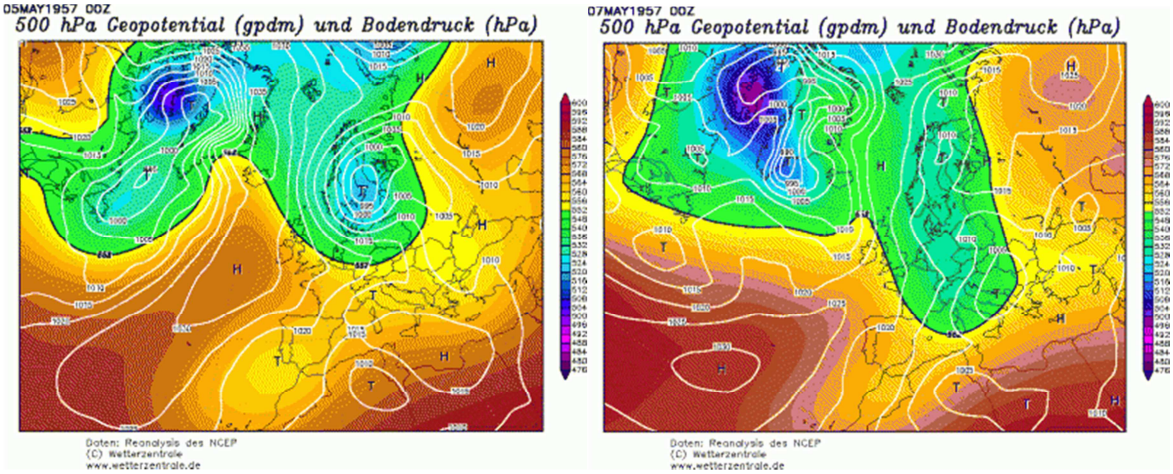


Fig. 3.2.2 – Rapida avanzata del fronte di aria fredda artica all'inizio di maggio 1957. A sinistra il 5 maggio e a destra il 7 maggio (da *https://www.wetterzentrale.de/*)

Fig. 3.2.3 – Effetti della gelata tardiva del 25-26 aprile 2016. A sinistra in Abruzzo; a destra in Toscana (da *https://maupanphoto.com/index.php/component/igallery/archivio/appennino-centrale-cat-centrale/monti-marsicani/monte-mezzana#!* e *https://www.regione.toscana.it/-/faggi-dell-appennino-toscano-disseccamenti-primavera-estate-2016*)

3.2.2 Dinamica di accrescimento in altre aree appenniniche

L'analisi dendrocronologica comparativa sulle 7 cronologie disponibili per l'Appennino centrale, mette a confronto i dati relativi a 511 individui arborei (Tab. 3.2.2) . La cronologia più lunga (135 anni) è quella della Val di Ranco (PG), mentre quella più breve nella Valle del Tramazzo a ridosso della più famosa del Mugello (65 anni) così come le lunghezze medie (88 anni in Val di Ranco e 46 anni in Valle del Tramazzo). L'ampiezza media degli anelli risulta maggiore per il sito di Valdicastro, e minore per il sito del Monte Acuto. Questo fatto può essere dovuto anche dall'altitudine dei due siti, dal momento che il sito di Valdicastro è situato ad altitudine minore compresa tra i 750 e i 900 m, mentre il sito del Monte Acuto è uno tra i più elevati (con un'altitudine compresa tra i 1000 e i 1450 m; gli unici siti con un altitudine massima più elevata sono quelli della Montagna dei Fiori e dei Monti della Laga). La deviazione standard risulta più elevata per il sito della Val di

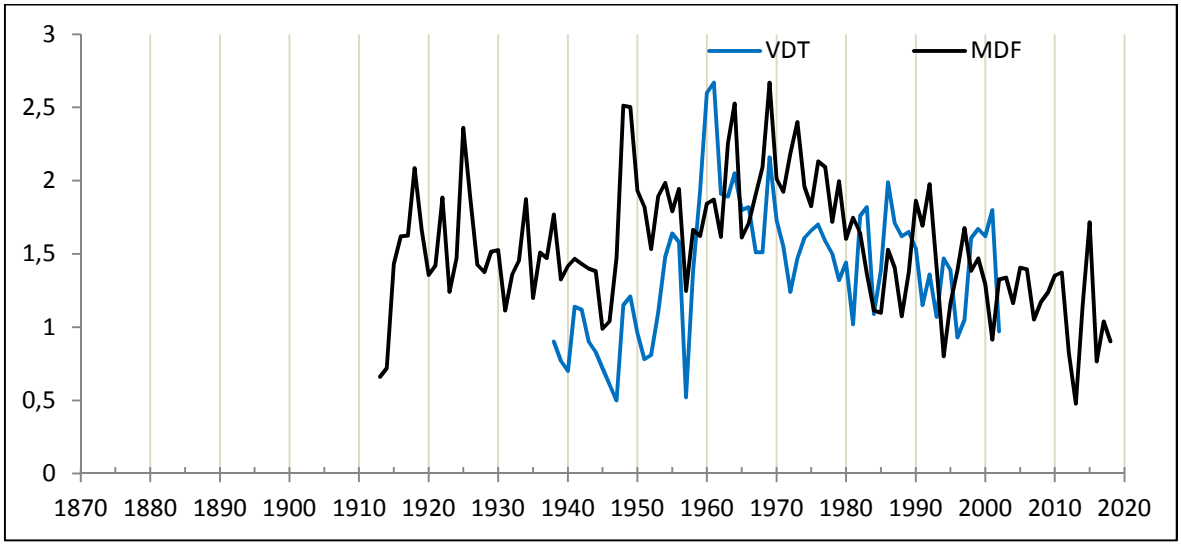
Ranco e più bassa per il sito dei Monti della Laga. L'autocorrelazione è caratterizzata da valori più alti per il sito di Val di Ranco e più bassi per quello della Valle del Mugello. La sensitività media ha il suo valore massimo per il Monte Acuto e minimo per i Monti della Laga. L'Rbar infine ha il valore più alto per il Monte Coscerno e più basso per i Monti della Laga. Questo valore più basso per la Laga può essere dovuto dal maggior numero di serie (191, più di ogni altro sito) e dal fatto che le cronologie dei Monti della Laga erano distribuite su due aree di studio situate ad altitudini diverse, per cui le serie hanno un maggiore scostamento rispetto alla loro serie media.

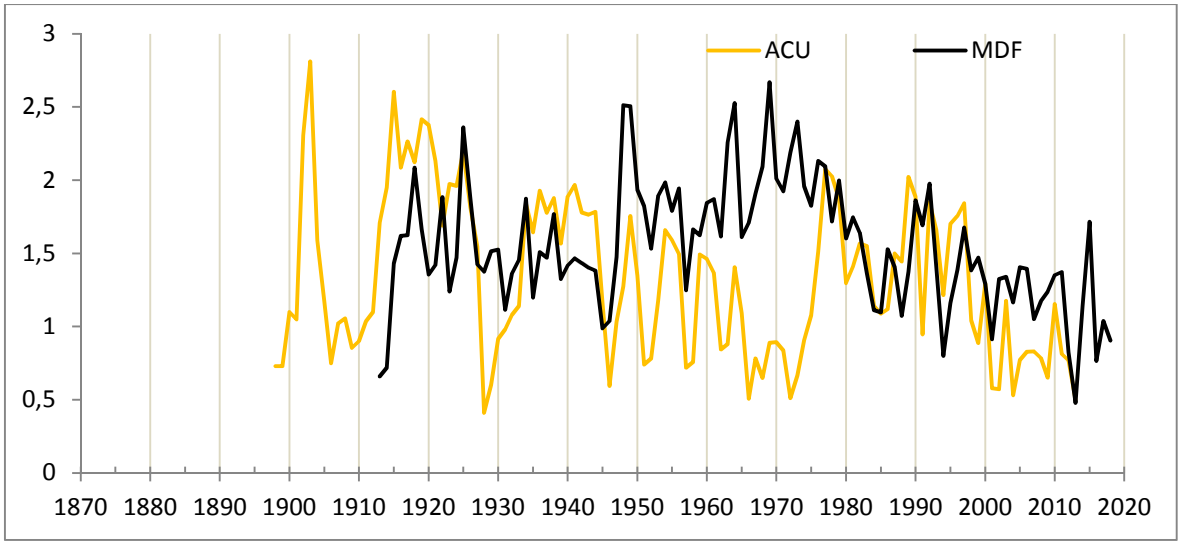
Tab. 3.2.2 – Statistiche dendrocronologiche delle cronologie medie utilizzate come confronto all'area di studio.

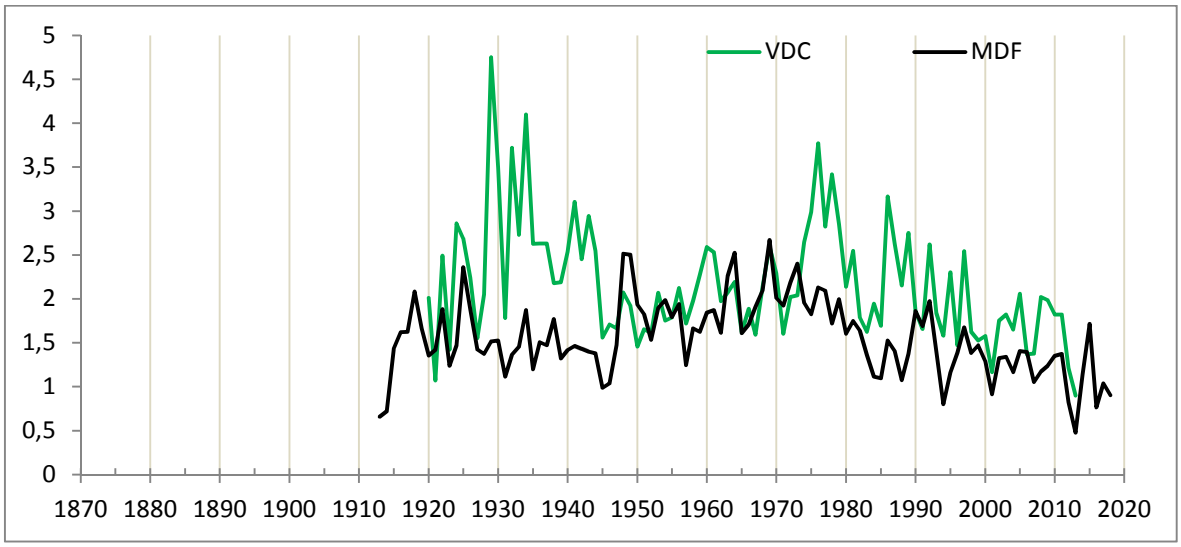
SITI	N.	L MAX (anni)	L MEDIA (anni)	MEDIA (mm)	STDV (mm)	AC1	MS (%)	Rbar
VDT	141	65	46,5	1,62	0,75	0,57	33,57	0,51
ACU	17	116	82,5	1,31	0,73	0,62	39,47	0,54
VDC	17	94	66,6	2,16	0,99	0,62	30,12	0,43
VDR	31	135	88,5	2,14	1,20	0,71	30,16	0,49
MDF	60	106	67,9	1,60	0,70	0,58	32,21	0,59
COS	54	128	87,0	1,99	1,03	0,66	30,69	0,60
MDL	191	94	51,5	1,97	0,65	0,65	20,62	0,38
Tot	**511**							

I sette siti hanno in comune anni caratteristici con ampiezza degli anelli molto ridotta (Fig. 3.2.4), in particolar modo c'è un unico anno in cui tutte le serie hanno registrato un anello dall'ampiezza piuttosto ridotta, il 1957. Ci sono poi altri anni in cui solo alcune cronologie hanno riportato anelli ridotti (come il 1928, registrato in ACU, VDR, COS; il 1931, registrato da MDF, COS, VDC, VDR; il 1994, registrato da tutti i siti meno MDL e VDT). C'è comunque una buona sincronizzazione tra le serie di MDF e del COS, fatto dovuto probabilmente anche alla quota quasi del tutto analoga dei i due siti, mentre le due serie di MDF e ACU risultano essere meno sincronizzate, nonostante anche esse abbiano un'altitudine molto simile. Buona sincronizzazione è presente anche tra le cronologie di MDF e di MDL, probabilmente dovuta alla vicinanza dei due siti, che appartengono entrambi allo stesso gruppo di monti (Monti della Laga). Il 2013, invece, è stato registrato da tutte le serie ancora presenti in quella data, ovvero senza VDT, VDR e MDL, le cui cronologie terminano prima. Il picco negativo del 1957 va ancora di più a sostegno di quanto già riscontrato dalle cronologie della Montagna dei Fiori, dimostrando che

quell'anno è stato particolarmente incisivo sullo sviluppo del faggio dell'Appennino centrale (avendo avuto luogo una delle gelate tardive più intense della storia recente, avvenuta il 5 maggio del 1957).







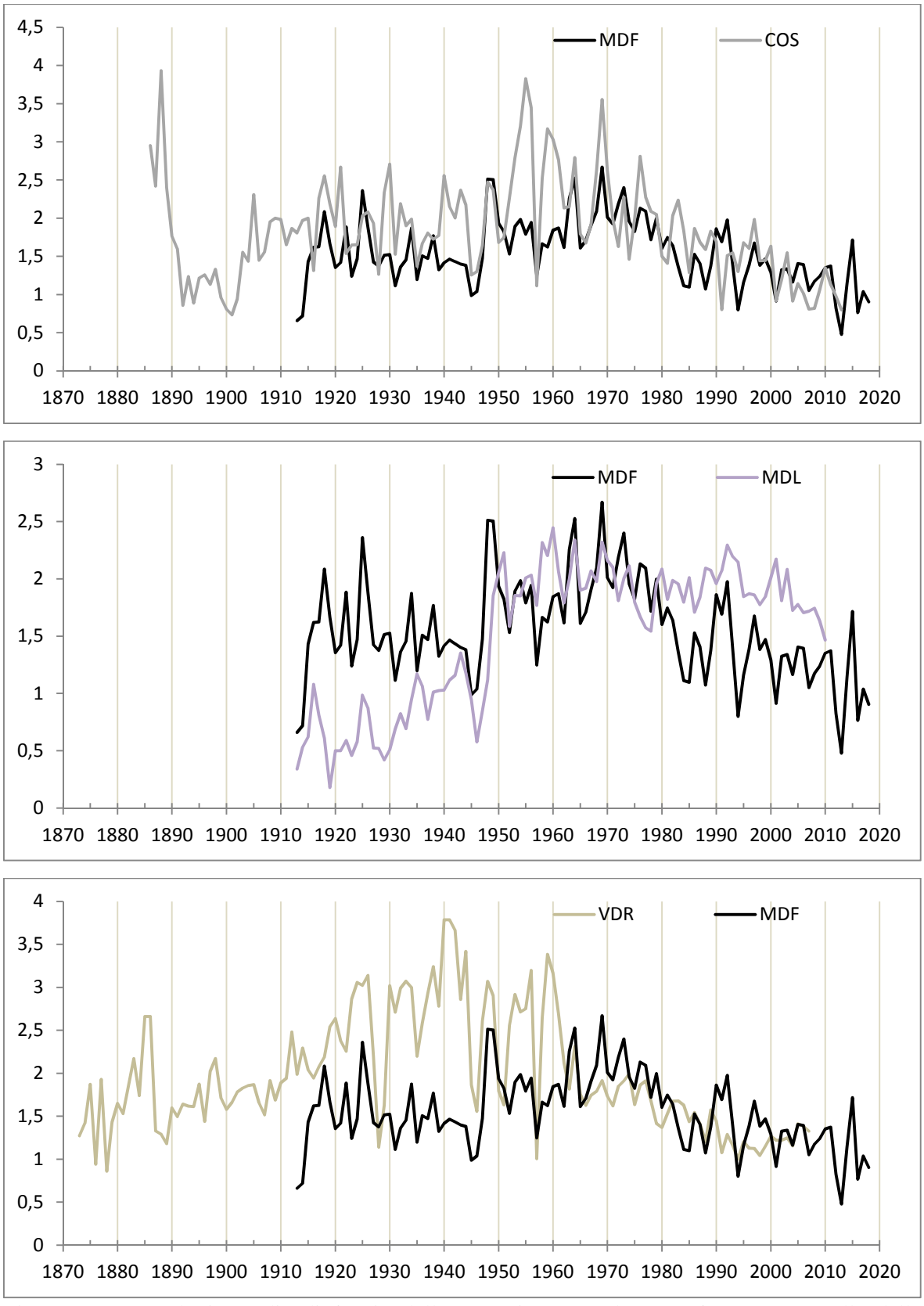


Fig. 3.2.4 –Cronologie medie di faggio dell'Appennino centrale a confronto con quella della Montagna dei Fiori (MDF). VDT= Valle del Tramezzo; ACU= Monte Acuto; VDC= Valdicastro; COS= Monte Coscerno; MDL= Monti della Laga; VDR= Val di Ranco.

3.3 Relazioni clima-accrescimento del faggio

3.3.1 Relazioni clima-accrescimento nell'area di studio

Le tre cronologie di MDF presentano valori differenti di correlazione con le precipitazioni in base all'altitudine (Fig. 3.3.1); infatti le precipitazioni di agosto dell'anno precedente a quello di sviluppo dell'anello (t-1) hanno un effetto positivo sull'accrescimento nel sito a maggiore altitudine (MFH). Le precipitazioni di maggio dell'anno di sviluppo dell'anello (t) hanno invece un effetto negativo sull'accrescimento del faggio sempre nel sito più elevato. Infine, le precipitazioni del mese di agosto (t) hanno un'influenza positiva sull'accrescimento legnoso nel sito più basso (MFL). L'effetto negativo delle precipitazioni di maggio a MFH deriva dal probabile aumento di copertura nuvolosa con un effetto indiretto sull'abbassamento termico con un maggior rischio dell'insorgere di gelate tardive. Alcuni autori (Di Filippo et al., 2007; Geßler et al., 2007) riferiscono anche di un possibile ristagno idrico nel periodo di sviluppo vegetativo. Al contrario, le precipitazioni nel mese di agosto, che in queste zone è un periodo particolarmente secco, hanno un effetto benefico sull'accrescimento del faggio sia prima del periodo antecedente alla preformazione delle gemme a maggiore altitudine (agosto t-1) sia durante l'anno di formazione dell'anello a quote inferiori.

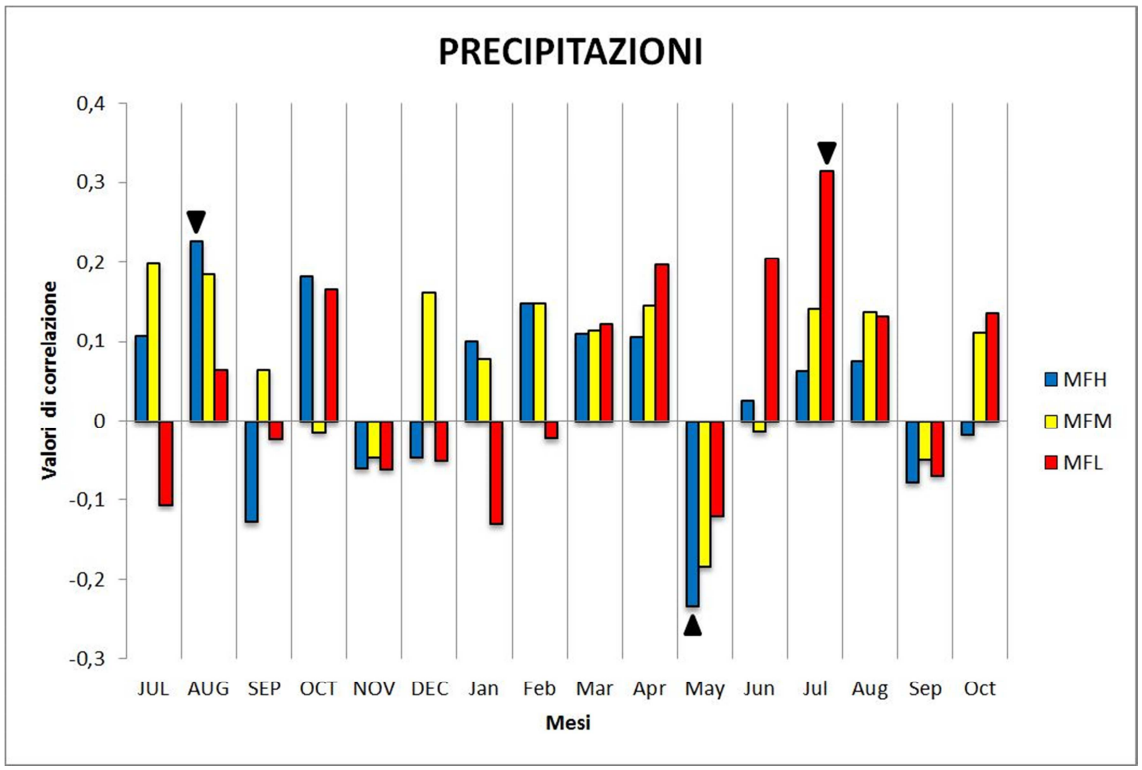


Fig. 3.3.1 Diagramma dendroclimatico delle precipitazioni nel sito MDF; i triangoli indicano i valori di correlazione statisticamente significativi al 95% (intervallo dati 1951-2018).

Per quanto riguarda le temperature massime (Fig. 3.3.2), le risposte sono prevalentemente di segno negativo (sebbene solo poche siano statisticamente significative) evidenziando in tutti i siti di campionamento una tendenziale avversione all'aumento delle temperature soprattutto nel periodo estivo. L'aumento delle temperature massime è una delle principali cause (insieme alla carenza di precipitazioni) della siccità estiva. I valori negativi significativi si manifestano ad agosto e ottobre (t-1) per MFH, settembre (t-1) per MFM e luglio (t) per MFL. Il diverso comportamento del faggio lungo il gradiente altitudinale sembra evidente con effetti diretti nell'anno della formazione dell'anello nella stazione più bassa ed un effetto inerziale (t-1) nel sito a quota maggiore. Unica eccezione è l'influenza positiva delle temperature massime di maggio del sito intermedio (MFM) che potrebbe essere messa in relazione ad una riduzione del rischio di gelate tardive che potrebbe essere maggiore a queste quote rispetto a quelle inferiori o superiori per la diversa fenologia del faggio secondo il gradiente altitudinale.

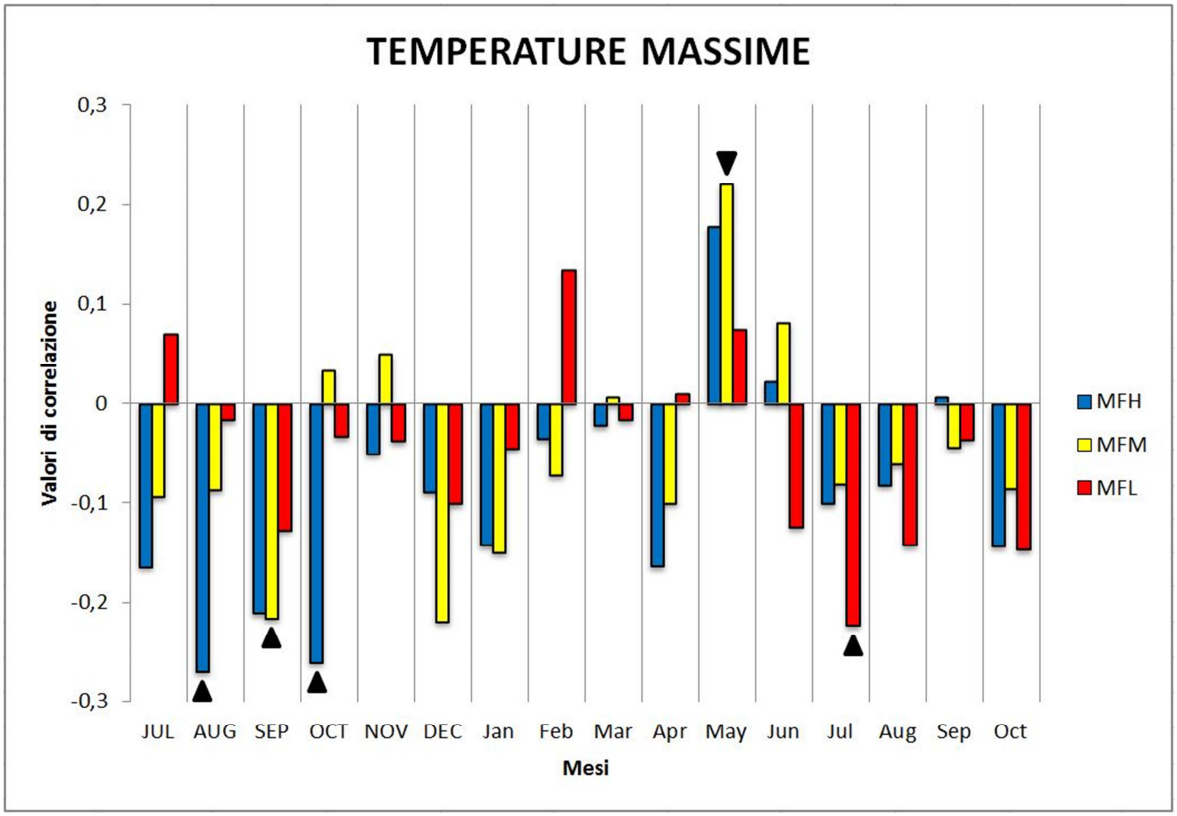


Fig. 3.3.2 Diagramma dendroclimatico delle Temperature massime (media delle massime) nel sito MDF; i triangoli indicano i valori di correlazione statisticamente significativi al 95% (intervallo dati 1951-2018).

.

Risposte simili anche con le temperature minime (Fig. 3.3.3), dove si osserva una correlazione positiva con valori significativi per i mesi di maggio e giugno dell'anno in corso per MFH, e una negativa per il mese di settembre (t-1) per il sito intermedio (MFM). La correlazione positiva a quote maggiori è spiegabile sempre in chiave di evitazione delle gelate tardive. La correlazione negativa di settembre (t-1) potrebbe indicare la sensitività del faggio intermedio anche ad aumenti di temperature minime nel periodo precedente a quello del riposo vegetativo in cui l'accumulo delle riserve è particolarmente importante per l'accrescimento dell'anno successivo. Temperature eccessivamente elevate possono infatti determinare condizioni di stress con effetti sulle dimensioni dell'anello nell'anno successivo.

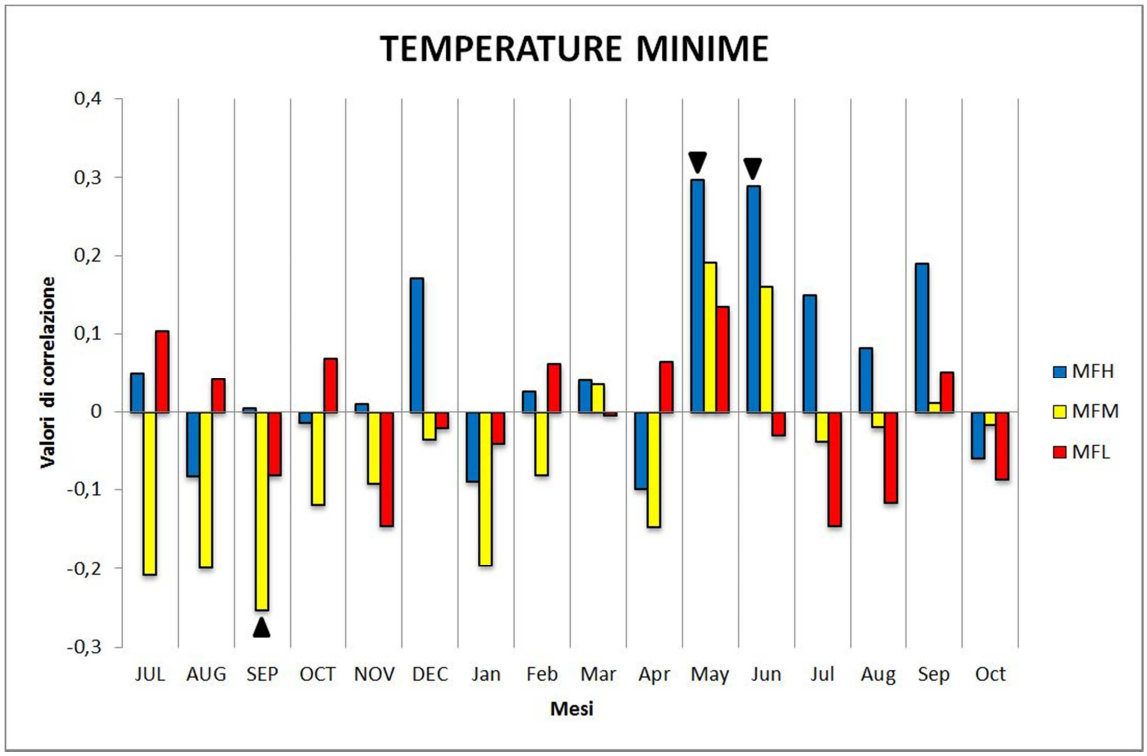


Fig. 3.3.3 – Diagramma dendroclimatico delle Temperature minime (media delle minime) nel sito MDF; i triangoli indicano i valori di correlazione statisticamente significativi al 95% (intervallo dati 1951-2018).

3.3.2 Relazioni clima-accrescimento in confronto alle altre aree

Complessivamente il quadro delle risposte delle faggete tosco-umbro-marchigiane alle precipitazioni (Fig. 3.3.5) evidenzia alcuni pattern comuni che indicano una notevole sensitività del faggio alle precipitazioni sia nell'anno di formazione dell'anello, sia in quello precedente. In diversi siti infatti le risposte sono positive all'aumento delle

precipitazioni sia nell'estate prececdente (t-1) che nella primavera ed estate (t). Peraltro di un certo interesse è la risposta negativa (Tarmazzo, Acuto, Val di Ranco e Coscerno) nel mese di maggio che si caratterizza come un mese chiave per la dinamica di accrescimento, dove un loro aumento può significare, come già detto, una minore disponibilità di radiazione solare per la copertura e maggiore rischio di gelate tardive. Le diversità di risposta fra i siti non sono sempre facilmente interpretabili se non per Valdicastro dove il valore massimo di correlazione positiva nel mese di giugno potrebbe derivare dalla quota più bassa della stazione e dalle caratteristiche più xeriche della faggeta in oggetto. Si osserva anche che mediando le cronologie di gradiente in un'unica serie (MDF) si perde completamente la singificatività delle risposte sia positive che negative.

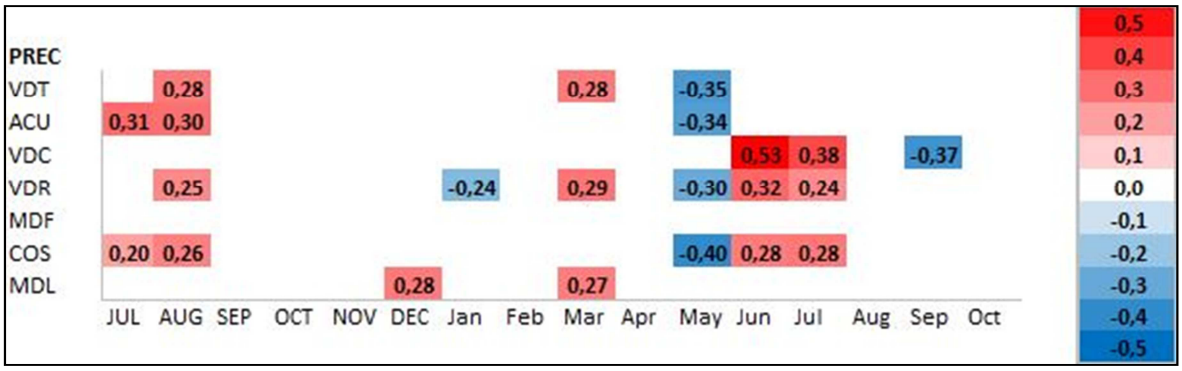


Fig. 3.3.5 – Relazioni precipitazioni-accrescimento del faggio nell'Appennino centrale (intervallo comune dati 1951-2002).

Relativamente alle temperature massime (Fig. 3.3.6) le faggete in oggetto presentano correlazioni prevalentemente negative, soprattutto nei mesi estivi, con l'accrescimento, sia durante che prima della formazione dell'anello, a testimoniare la sensitività della specie alle condizioni di siccità. Nuovamente emerge il mese di maggio come momento caratteristico per alcune stazioni (come Tramazzo, Coscerno e Montagna dei Fiori), dove per posizione geografica o microtopografica aumenta la probabilità di insorgenza di gelate tardive. Valdicastro si conferma il sito meno idoneo al faggio per l'effetto negativo nei tre mesi di giugno, luglio ed agosto dell'anno in corso.

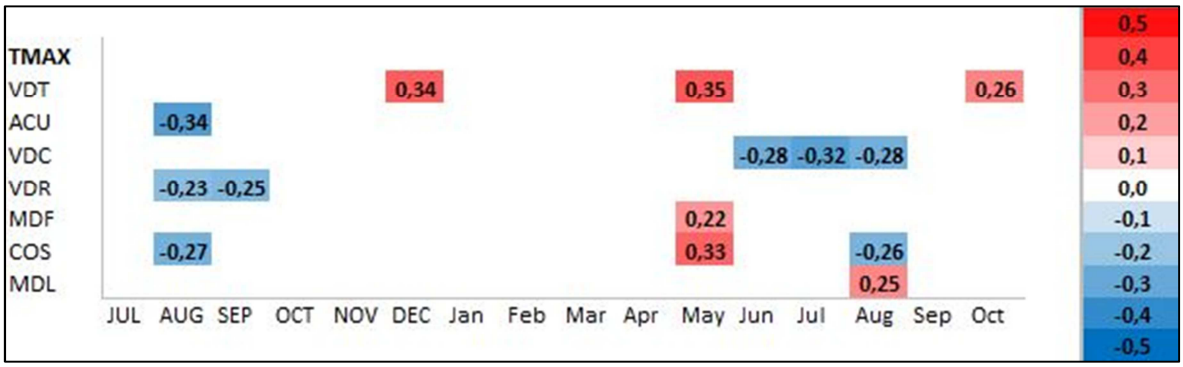


Fig. 3.3.6 – Relazioni temperature massime-accrescimento del faggio in Appennino centrale. (intervallo comune dati 1951-2002)

L'indice PDSI (Fig. 3.3.7) ha invece valori di correlazione tendenzialemente positivi (ad eccezione dei valori riscontrati per la Valle del Tramazzo, che ha solo valori negativi per tutto il periodo che va dal mese di maggio al mese di settembre dell'anno di sviluppo dell'anello delle piante). Ci sono buone correlazioni positive per il Monte Acuto nei mesi di agosto, settembre ed ottobre dell'anno precedente e per Valdicastro nei mesi di marzo e nel periodo che va dal mese di giugno al mese di ottobre. Ci sono poi altri valori per la Montagna dei Fiori nei mesi di agosto e ottobre dell'anno in corso e per il Monte Coscerno per i mesi di agosto, sia dell'anno precedente che per quello di svilupo vegetativo. Quindi ad eccezione della Valle del Tramazzo, in tutti gli altri casi (ad esclusione della Val di Ranco e dei Monti della Laga che non hanno dato risposte) si hanno maggiori accrescimenti in condizioni di maggiore umidità.

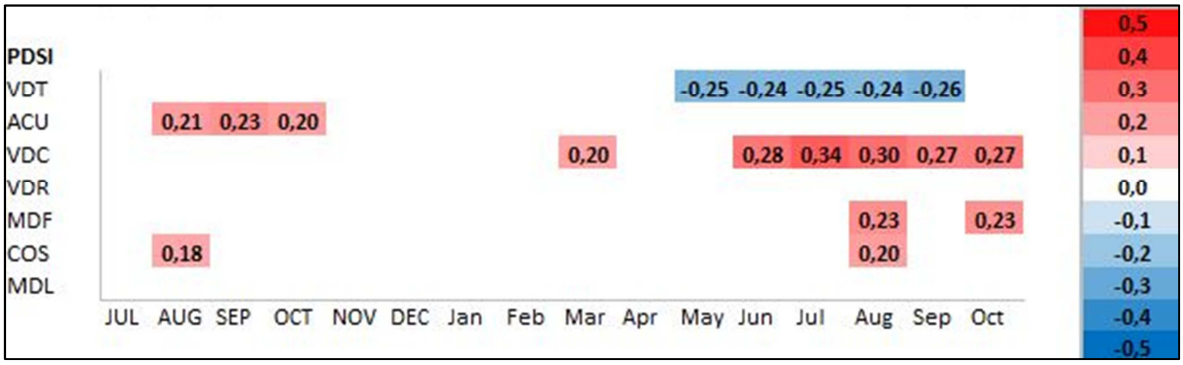


Fig. 3.3.7 – Relazioni scPDSI-accrescimento del faggio in Appennino centrale. (intervallo comune dati 1939-2002)

I risultati da noi ottenuti non si discostano troppo da quanto è possibile individuare nella bibliografia preesistente sull'argomento. Infatti il faggio risulta essere molto sensibile alle temperature di maggio sia ad alta che a bassa quota. A quote elevate è presente una correlazione positiva tra la temperatura di maggio dell'anno di sviluppo dell'anello e la crescita (Di Filippo et al., 2007; Piovesan et al., 2008), probabilmente perché a queste

quote la stagione vegetativa comincia in questo mese (Di Filippo et al., 2007; Piovesan et al., 2005), quando il faggio è più suscettibile alle gelate tardive (Piovesan et al., 2005); quindi temperature più elevate, oltre a sostenere la riattivazione del metabolismo, riducono il rischio delle gelate (Filibeck et al., 2015). Ad elevata altitudine il faggio è sensibile a queste temperature proprio per l'effetto delle gelate tardive e di una generale riduzione dello stress idrico (Piovesan et al., 2008), e queste condizioni termiche sono anche necessarie per proteggere i germogli e le foglie dalle gelate stesse (Piovesan et al., 2005). Inoltre, queste temperature favoriconono la crescita radiale al limite superiore del range altitudinale del faggio, mentre alle altitudini più elevate soffre le eccessive precipitazioni nel periodo tardo primaverile e in quello estivo (Di Filippo et al., 2007). E' inoltre fortemente favorito da basse temperature nel mese di aprile, che determinano una fogliazione ritardata (permettendo alla pianta di salvarsi dalle gelate tardive), e dal ritardato scioglimento della neve, che comporta un apporto extra di acqua durante la stagione vegetativa (Filibeck et al., 2015; Piovesan et al., 2003). Le faggete presenti a quote ridotte, al contrario, necessitano di un maggio più fresco e umido (Filibeck et al., 2015; Piovesan et al., 2005), che è quindi tendenzialmente opposto a quanto è necessario ad elevate altitudini. Dal momento che ecologicamente la stagione vegetativa diminuisce all'aumentare dell'altitudine, anche il ruolo dei mesi primaverili cambia con questa (Filibeck et al., 2015). Un altro studio evidenzia infatti che alle basse altitudini, le faggete possono essere influenzate dalla siccità già nella tarda primavera/inizio estate, dal momento che la fogliazione a queste altitudini avviene al'inizio della primavera (Filibeck et al., 2015). Solitamente durante il periodo vegetativo del faggio a bassa quota, le ampiezze degli anelli hanno relazioni importanti con il mese di giugno, che sono negative con le temperature e positive con le precipitazioni (Dittmar et al., 2003), a dimostrazione che il faggio a queste altitudini risente della siccità estiva. Al contrario, ad elevata altitudine il faggio ha un accrescimento radiale maggiore se ci sono temperature più alte e precipitazioni più ridotte nella tarda primavera (maggio) e nei mesi estivi (Di Filippo et al., 2007). Non solo la carenza di precipitazioni dell'anno di sviluppo dell'anello può interferire con la crescita del faggio, ma spesso anche quella dell'anno precedente ha un impatto negativo con l'accrescimento di questa e altre specie (Stojanović et al., 2018). Questi autori sostengono che il maggiore impatto che ha determinato la riduzione degli accrescimenti è stato il deficit idrico dell'anno di sviluppo dell'anello e di quello dell'anno precedente. Inoltre, non solo la siccità estiva può essere un fattore che limita la crescita del faggio, ma anche la carenza di acqua durante la stagione di crescita e prima del suo inizio

riduce l’accrescimento secondario, portando quindi alla formazione di anelli più stretti (Camarero et al., 2018), anche se la relazione tra riduzione dell’accrescimento radiale e lo stress derivato dalla siccità è complesso ed è la risultante dell’equilibrio tra la disponibilità di acqua e la domanda evaporativa (Tognetti et al., 2019).

4. CONCLUSIONI

Il ripetersi negli ultimi anni di importanti eventi di gelate tardive (aprile, maggio) e siccità estive (agosto-settmebre) su ampia scala territoriale ha creato una notevole attenzione intorno al faggio, una specie molto sensibile ad ambedue i fenomeni soprattutto nel'area mediterranea. La complessa interazione fra variabilità climatica e capacità di accrescimento può essere valutata efficacemente attraverso l'analisi dendrocronologica e dendroclimatica, con la quale è possibile evidenziare le risposte incrementali più o meno concordi ad eventi climatici estremi, l'influenza positiva o negativa di determinati mesi prima e durante il periodo di formazione dell'anello legnoso. Infatti sia nelle cronologie dell'area di studio che nelle cronologie delle altre aree distribuite lungo l'appennino centrale è ben registrato l'evento del 1957, ovvero la gelata tardiva avvenuta il 5 maggio di quell'anno, evento che è stato riscontrato (in misura più lieve) anche da Dittmar et al. (2006) nel sud della Germania. Altri anni caratteristici per un accrescimento negativo sono stati rilevati anche da altri studi, come il 1928, 1931 e 1994 registrati da Piovesan et al. (2003), che ha attribuito il picco negativo di accrescimento per l'anno 1994 ad un annata di pasciona avvenuta in quell'anno. Anche le condizioni microstazionali influiscono sulla sensitività del faggio. Infatti lungo il gradiente altitudinale delle aree di saggio di questo studio (Montagna dei Fiori) si è osservata l'influenza che l'altitudine ha sulle varabili climatiche prese in esame. Infatti il bosco nelle tre aree di saggio risulta diversamente correlato con le precipitazioni e le temperature massime e minime, mettendo comunque in evidenza che il mese di maggio influenza lo sviluppo di questa specie anche ad una scala così fine confermando la sensitività climatica del faggio. Il mese di maggio risulta essere importante non solo nelle tre aree di saggio su cui è stato svolto lo studio, ma anche nelle aree distribuite lungo l'Appennino centrale. In particolare i dati relativi a temperatura e precipitazioni hanno valori piuttosto significativi per questo mese che non si discostano da altri studi (Piovesan et al., 2003, 2005). Il mese di maggio risulta uno dei mesi più delicati per lo sviluppo del faggio, proprio a causa dell'elevata possibilità di gelate tardive, determinando conseguentemente una correlazione negativa con le precipitazioni e positiva con le temperature a tutte le scale studiate. L'anello molto stretto del 2016 rilevato nei siti a maggiore altitudine di MDF è stato con certezza determinato dalla gelata tardiva avvenuta alla fine di aprile di quell'anno i cui effetti devastanti sulla copertura fogliare si sono protratti fino all'estate avanzata. Anche le prime prove di analisi anatomica sul legno

svolte presso i laboratori del TESAF all'Università di Padova confermano quanto osservato con l'analisi dendrocronologica (Fig. 4.1).

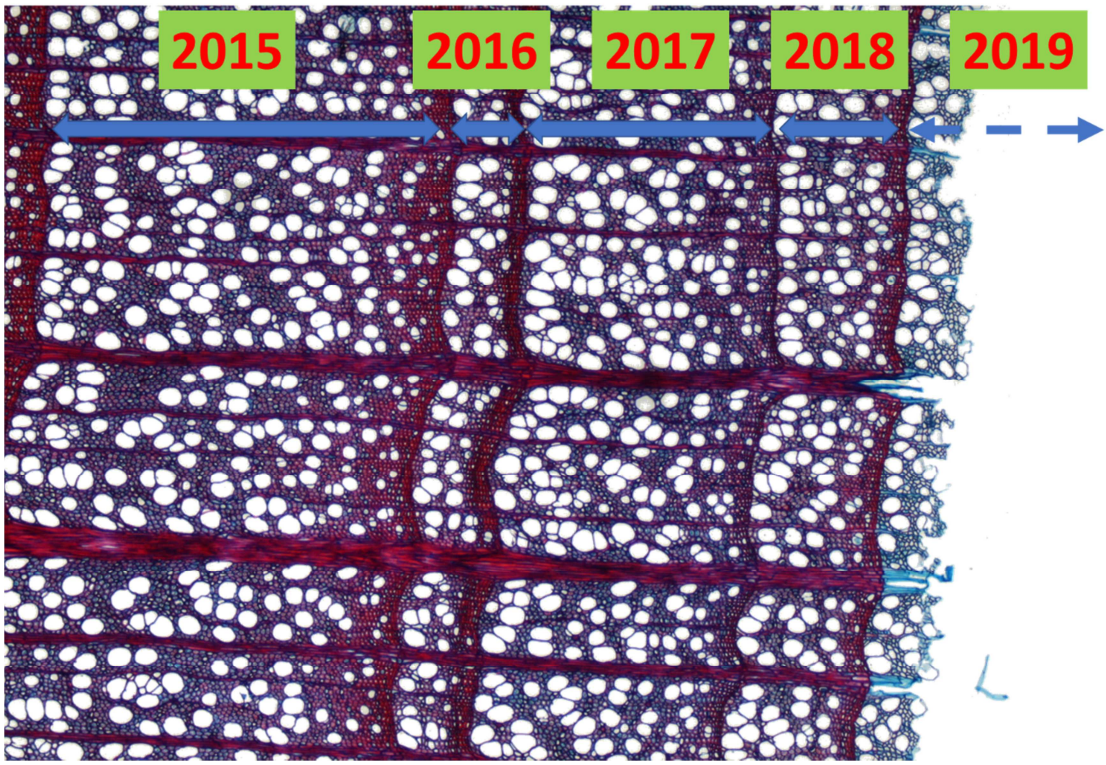


Fig. 4.1 – Sezione microtomica di faggio del sito MDF (Montagna dei Fiori, TE). Si nota la riduzione dell'anello del 2016 dovuta alla forte gelata di fine aprile che ha ridotto drasticamente la copertura fogliare e quindi la capacità fotosintetica del faggio.

Questo lavoro è stato il primo step di una ricerca sulla sensitività del faggio alle gelate tardive ed eventualmente alla siccità estiva, i cui effetti combinati potrebbero avere effetti anche importanti sulla capacità adattativa del faggio nel piano montano. A tale scopo l'ambito della ricerca include diverse aree dell'Appennino (centrale e meridonale), dei Pirenei e delle Prealpi orientali e oltre all'analisi dendrocliamtica sono previste analisi anatomiche e isotopiche per valutare funzionalmente gli effetti di tali fattori (gelate e siccità) sul faggio e comprendere se vi siano rischi effettivi di un eventuale riduzione dell'areale di questa importante specie arborea europea.

5. BIBLIOGRAFIA e SITOGRAFIA

Bascietto, M., Bajocco, S., Mazzenga, F., Matteucci, G., 2018. **Assessing spring frost effects on beech forests in Central Apennines from remotely-sensed data**. Agric. For. Meteorol. 248, 240–250. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.10.007

Bosela, M., Lukac, M., Castagneri, D., Sedmák, R., Biber, P., Carrer, M., Konôpka, B., Nola, P., Nagel, T.A., Popa, I., Roibu, C.C., Svoboda, M., Trotsiuk, V., Büntgen, U., 2018. **Contrasting effects of environmental change on the radial growth of co-occurring beech and fir trees across Europe**. Sci. Total Environ. 615, 1460–1469. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.092

Camarero, J.J., Gazol, A., Sangüesa-Barreda, G., Cantero, A., Sánchez-Salguero, R., Sánchez-Miranda, A., Granda, E., Serra-Maluquer, X., Ibáñez, R., 2018. **Forest growth responses to drought at short- and long-term scales in Spain: Squeezing the stress memory from tree rings**. Front. Ecol. Evol. 6, 1–11. https://doi.org/10.3389/fevo.2018.00009

Cherubini, P.; Rodolfi, A. (2010-06-10): NOAA/WDS Paleoclimatology - Cherubini - Mugello Valley UA - FASY - ITRDB ITAL036. [indicate subset used]. NOAA National Centers for Environmental Information. https://doi.org/10.25921/r5sk-8x91. Accessed [date]

Conte, E., Lombardi, F., Battipaglia, G., Palombo, C., Altieri, S., La Porta, N., Marchetti, M., Tognetti, R., 2018. **Growth dynamics, climate sensitivity and water use efficiency in pure vs. mixed pine and beech stands in Trentino (Italy)**. For. Ecol. Manage. 409, 707–718. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.12.011

Di Filippo, A., Biondi, F., Čufar, K., De Luis, M., Grabner, M., Maugeri, M., Presutti Saba, E., Schirone, B., Piovesan, G., 2007. **Bioclimatology of beech (Fagus sylvatica L.) in the Eastern Alps: Spatial and altitudinal climatic signals identified through a tree-ring network**. J. Biogeogr. 34, 1873–1892. https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2007.01747.x

Di Filippo, A., Biondi, F., Maugeri, M., Schirone, B., Piovesan, G., 2012. **Bioclimate and growth history affect beech lifespan in the Italian Alps and Apennines**. Glob. Chang. Biol. 18, 960–972. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02617.x

Dittmar, C., Fricke, W., Elling, W., 2006. **Impact of late frost events on radial growth of common beech (Fagus sylvatica L.) in Southern Germany**. Eur. J. For. Res. 125, 249–259. https://doi.org/10.1007/s10342-005-0098-y

Dittmar, C., Zech, W., Elling, W., 2003. **Growth variations of Common beech (Fagus sylvatica L.) under different climatic and environmental conditions in Europe - A dendroecological study**. For. Ecol. Manage. 173, 63–78. https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00816-7

Ebone, A., Brenta, P., Terzuolo, P.G., 2012. **Il Faggio: conoscenze e indirizzi per la gestione sostenibile in Piemonte**. Regione Piemonte, Blu Edizioni, pp. 136.

Filibeck, G., Adams, J., Brunetti, M., Di Filippo, A., Rosati, L., Scoppola, A., Piovesan, G., 2015. **Tree ring ecological signal is consistent with floristic composition and plant indicator values in Mediterranean Fagus sylvatica forests**. J. Ecol. 103, 1580–1593. https://doi.org/10.1111/1365-2745.12478

Geßler, A., Keitel, C., Kreuzwieser, J., Matyssek, R., Seiler, W., Rennenberg, H., 2007. **Potential risks for European beech (Fagus sylvatica L.) in a changing climate.** Trees - Struct. Funct. 21, 1–11. https://doi.org/10.1007/s00468-006-0107-x

Grossoni, P., Bussotti, F., 1999. ***Fagus sylvatica* L.: aspetti dendrometrici e tassonomici**. In: Scarascia Mugnozza, G., Ecologia strutturale e funzionale di faggete italiane. Edagricole, Bologna.

Hacket-Pain, A.J., Friend, A.D., 2017. **Increased growth and reduced summer drought limitation at the southern limit of Fagus sylvatica L., despite regionally warmer and drier conditions**. Dendrochronologia 44, 22–30. https://doi.org/10.1016/j.dendro.2017.02.005

Houston Durrant, T., de Rigo, D., Caudullo, G., 2016. **Fagus sylvatica and other beeches in Europe: distribution, habitat, usage and threats**. In: San-Miguel-Ayanz, J., de Rigo, D., Caudullo, G., Houston Durrant, T., Mauri, A. (Eds.), European Atlas of Forest Tree Species. Publ. Off. EU, Luxembourg, pp. e012b90+

Invernizzi, C., Ridolfi, M., 1992. **Analisi geologico-strutturale nelle formazioni oligo-mioceniche dell'area della montagna dei fiori (Marche meridionali)**. Stud. Geol. Camerti XII, 79–91.

IPLA – REGIONE MARCHE, 2001. **I tipi forestali delle Marche. Inventario e carte forestale della Regione Marche.** Ancona.

Magri, D., 2008. **Patterns of post-glacial spread and the extent of glacial refugia of European beech (Fagus sylvatica)**. J. Biogeogr. 35, 450–463. https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2007.01803.x

Magri, D., Agrillo, E., Di Rita, F., Furlanetto, G., Pini, R., Ravazzi, C., Spada, F., 2015. **Holocene dynamics of tree taxa populations in Italy**. Rev. Palaeobot. Palynol. 218, 267–284. https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2014.08.012

Nolè, A., Rita, A., Ferrara, A.M.S., Borghetti, M., 2018. **Effects of a large-scale late spring frost on a beech (Fagus sylvatica L.) dominated Mediterranean mountain forest derived from the spatio-temporal variations of NDVI**. Ann. For. Sci. 75, 1–11. https://doi.org/10.1007/s13595-018-0763-1

Piovesan, G., Bernabei, M., Di Filippo, A., Romagnoli, M., Schirone, B., 2003. **A long-term tree ring beech chronology from a high-elevation old-growth forest of Central Italy**. Dendrochronologia 21, 13–22. https://doi.org/10.1078/1125-7865-00036

Piovesan, G., Biondi, F., Bernabei, M., Di Filippo, A., Schirone, B., 2005. **Spatial and altitudinal bioclimatic zones of the Italian peninsula identified from a beech (Fagus sylvatica L.) tree-ring network**. Acta Oecologica 27, 197–210. https://doi.org/10.1016/j.actao.2005.01.001

Piovesan, G., Biondi, F., Di Filippo, A., Alessandrini, A., Maugeri, M., 2008. **Drought-driven growth reduction in old beech (Fagus sylvatica L.) forests of the central Apennines, Italy**. Glob. Chang. Biol. 14, 1265–1281. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01570.x

REGIONE ABRUZZO-GIUNTA REGIONALE, 2009**. La carta tipologico-forestale della regione Abruzzo. Le informazioni territoriali a livello provinciale e comunale. Volume generale**. Fabiani & Co. Stampatori – L'Aquila.

San-Miguel-Ayanz, J., de Rigo, D., Caudullo, G., Houston Durrant, T., Mauri, A. (Eds.), 2016. **European Atlas of Forest Tree Species**. Publication Office of the European Union, Luxembourg.

Schieber, B., 2018. **Spring phenology of European beech (Fagus sylvatica L.) in a submountain beech stand with different stocking in 1995-2004**. J. For. Sci. 52, 208–216. https://doi.org/10.17221/4503-jfs

Stojanović, D.B., Levanič, T., Matović, B., Stjepanović, S., Orlović, S., 2018. **Growth response of different tree species (oaks, beech and pine) from SE Europe to precipitation over time**. Dendrobiology 79, 97–110. https://doi.org/10.12657/DENBIO.079.009

Tognetti, R., Lasserre, B., Di Febbraro, M., Marchetti, M., 2019. **Modeling regional drought-stress indices for beech forests in Mediterranean mountains based on tree-ring data**. Agric. For. Meteorol. 265, 110–120. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.11.015

Vanoni, M., Bugmann, H., Nötzli, M., Bigler, C., 2016. **Forest Ecology and Management Drought and frost contribute to abrupt growth decreases before tree mortality in nine temperate tree species**. For. Ecol. Manage. 382, 51–63. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.10.001

Wells N, Goddard S, Hayes MJ (2004). **A self-calibrating Palmer Drought Severity Index**. Journal of Climate 17, 2335-2351 (doi:10.1175/1520-0442(2004)017<2335:ASPDSI>2.0.CO;2)

https://www.sian.it/inventarioforestale/jsp/cartogrammi.jsp?menu=3

http://climexp.knmi.nl/selectfield_obs2.cgi?id=someone@somewhere

http://opendata.regione.abruzzo.it/content/categorie-e-tipologie-forestali

http://www.pcn.minambiente.it/mattm/servizio-wms/

http://www.gransassolagapark.it/pagina.php?id=316

https://www.wetterzentrale.de/

https://www.ilmeteo.it/notizie/meteo-storico-maggio-1957-neve-gelo-italia

http://www.lineameteo.it/era-l-8-maggio-1957-vp16719.html

https://maupanphoto.com/index.php/component/igallery/archivio/appennino-centrale-cat-centrale/monti-marsicani/monte-mezzana#

https://www.regione.toscana.it/-/faggi-dell-appennino-toscano-disseccamenti-primavera-estate-2016