



UNIVERSITÀ  
POLITECNICA  
DELLE MARCHE

DIPARTIMENTO DI SCIENZE AGRARIE ALIMENTARI E AMBIENTALI  
CORSO DI LAUREA IN: SCIENZE FORESTALI E AMBIENTALI (L)

# Effetti delle gelate tardive sulle faggete del Monte Acuto (PU)

*Effects of late frosts on beech forests at  
Monte Acuto (PU)*

Tesi sperimentale

Tesi di:  
ALICE DAPPOZZO

Relatore:  
PROF. CARLO URBINATI

Correlatore:  
DOTT. ALESSANDRO VITALI

ANNO ACCADEMICO 2019-2020

SESSIONE AUTUNNALE Ottobre.2020

*Ringrazio tutti coloro che mi hanno aiutato nella realizzazione di questa tesi. Al relatore Prof. Carlo Urbinati, che mi ha permesso di prendere parte a questo interessante progetto incoraggiandomi ad ogni tentennamento; al correlatore Dott. Alessandro Vitali, per avermi guidato durante le uscite in campo e vigilato nella redazione. Uno speciale ringraziamento al Dott. Enrico Tonelli per la pazienza dimostratami nell'attività di laboratorio e al Dott. Malandra per il supporto tecnico e morale fornito durante le attività di campionamento. Infine, ai miei genitori per avermi assecondato nella scelta formativa abituandomi sin dai primi anni di vita ad apprezzare la bellezza e la cura della terra. Alice Dappozzo*

## INDICE GENERALE

ELENCO DELLE TABELLE.....	4
ELENCO DELLE FIGURE .....	5
ACRONIMI E ABBREVIAZIONI .....	6
<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>715</b>
<b>1.1 Il faggio .....</b>	<b>7</b>
1.1.1 Caratteri morfologici, biogeografici ed ecologici.....	7
1.1.2 Le faggete appenniniche.....	10
<b>1.2 La sensibilità climatica del faggio appenninico.....</b>	<b>12</b>
1.2.1 Cambiamenti climatici.....	12
1.2.2 Gelate tardive.....	12
1.2.3 Siccità estiva.....	13
<b>1.3 Obiettivi della tesi.....</b>	<b>13</b>
<b>2. MATERIALI E METODI.....</b>	<b>15</b>
<b>2.1 Area di studio .....</b>	<b>15</b>
2.1.1 Topografia, geomorfologia e litologia.....	15
2.1.2 Caratteri pedologici, climatici e vegetazionali.....	16
<b>2.2 Protocollo di campionamento.....</b>	<b>17</b>
2.2.1 Aree di saggio e rilevamento dendrometrico-strutturale.....	17
2.2.2 Prelievo dei campioni legnosi per analisi dendroclimatica, anatomica e isotopica.....	19
<b>2.3 Analisi dendrocronologica e dendroclimatica.....</b>	<b>20</b>
2.3.1 Analisi sui dati dell'area di studio.....	20
2.3.2 Analisi e confronti con serie di faggio della Montagna dei Fiori.....	22
<b>3. ANALISI E DISCUSSIONE DEI RISULTATI .....</b>	<b>24</b>
<b>3.1 Assetto dendrometrico-strutturale dei soprassuoli.....</b>	<b>24</b>
<b>3.2 Dinamiche di accrescimento radiale del faggio .....</b>	<b>28</b>
3.2.1 Dinamica di accrescimento nell'area di studio.....	28
3.2.2 Dinamica di accrescimento nella Montagna dei Fiori.....	30
<b>3.3 Relazioni clima-accrescimento del faggio.....</b>	<b>32</b>
3.3.1 Relazioni clima-accrescimento nell'area di studio.....	32
3.3.2 Risposte nell'area Montagna dei fiori.....	34
CONCLUSIONI .....	37
BIBLIOGRAFIA .....	38

## ELENCO DELLE TABELLE

<b>Tabella 2.2.1.1-</b> Coordinate e localizzazione dei tre plot di sul Monte Acuto.....	18
<b>Tabella 2.3.2.1-</b> Principali parametri indicativi dei siti utilizzati per confronto.....	23
<b>Tabella 3.1.1-</b> Caratteristiche strutturali dei tre plot.....	24
<b>Tabella 3.2.1-</b> Statistiche dendrocronologiche dell'area di studio differenziate per i tre siti di campionamento.....	28
<b>Tabella 3.2.2.1-</b> Statistiche dendrocronologiche delle cronologie medie utilizzate come confronto con l'area di studio.....	30

## ELENCO DELLE FIGURE

Figura 1.1.1: Faggeta di Bocca della Valle-Monte Catria.....	9
Figura 1.1.2: Foglie di faggio e frutti al termine della maturazione.....	9
Figura 1.1.2.1: Mappa di distribuzione del faggio aggiornata al 2016.....	10
Figura 2.1.1.1: Localizzazione dell'area di studio del Monte Acuto (PU).....	15
Figura 2.1.2.1: Climodiagramma ricavato dai dati meteorologici di Fonte Avellana.....	16
Figura 2.2.1.1: Immagine satellitare ricavata da "Sentinel" relativa alle tre aree di studio..	17
Figura 2.2.1.2: Immagine satellitare elaborata dei tre siti lungo un gradiente altitudinale..	18
Figura 2.2.2.1: Diagramma riepilogativo della strategia di campionamento .....	19
Figura 2.3.1.1: Postazione di misurazione degli incrementi con sistema LINTAB.....	20
Figura 2.3.1.2: Interfaccia grafica del software ARSTAN.....	21
Figura 2.3.1.3: Interfaccia grafica del software DendroCLIM 2002. ....	22
Figura 2.3.2.1: Localizzazione dei due siti a confronto, Monte Acuto Montagna dei Fiori.	23
Figura 3.1.1: Distribuzione di frequenza del numero di piante in base alla loro classe diametrica.....	25
Figura 3.1.2: Box Plot dei diametri dei tre plot.....	25
Figura 3.1.3: Box Plot delle altezze dei tre plot.....	26
Figura 3.1.4: Box plot delle età dei tre plot.....	26
Figura 3.1.5: Regressioni Età/Diametro degli individui di faggio nelle tre ADS.....	27
Figura 3.2.1: Cronologie medie di ampiezze anulari di faggio delle tre ADS.....	28
Figura 3.2.2: Diagramma in cui sono riportati i valori BAI (Basal Area Increment).....	29
Figura 3.2.2.1: Diagramma dendroclimatico relativo all'area MDF e ACU.....	31
Figura 3.3.1: Diagramma dendroclimatico delle Temperature massime nel sito ACU.....	33
Figura 3.3.2: Diagramma dendroclimatico delle Temperature minime nel sito ACU....	33
Figura 3.3.3: Diagramma dendroclimatico delle precipitazioni nel sito ACU.....	34
Figura 3.3.2.1: Diagrammi dendroclimatici delle temperature massime nel sito MDF e ACU.....	35
Figura 3.3.2.2: Diagrammi dendroclimatici delle temperature minime nel sito MDF e ACU.....	35
Figura 3.3.2.2: Diagrammi dendroclimatici delle precipitazioni nel sito MDF e ACU....	36

## ACRONIMI E ABBREVIAZIONI

ACH	Indica il sito a quota più elevata ( <i>high</i> ) dell'area Monte Acuto
ACL	Indica il sito a quota più bassa ( <i>low</i> ) dell'area Monte Acuto
ACM	Indica il sito a quota intermedia ( <i>medium</i> ) dell'area Monte Acuto
ACU	MONTE ACUTO
ADS	Area di saggio
MDF	MONTAGNA DEI FIORI
MFH	Indica il sito a quota più elevata ( <i>high</i> ) dell'area Montagna dei Fiori
MFL	Indica il sito a quota più bassa ( <i>low</i> ) dell'area Montagna dei Fiori
MFM	Indica il sito a quota intermedia ( <i>medium</i> ) dell'area Montagna dei Fiori

# INTRODUZIONE E SCOPO DELLA TESI

## **1.1 Il faggio**

### **1.1.1 Caratteri morfologici, biogeografici ed ecologici.**

Il faggio (*Fagus sylvatica* L.) appartenente alla famiglia delle *Fagaceae*, è una specie arborea di notevoli dimensioni che può raggiungere anche i 30-40 metri di altezza con tronco generalmente dritto caratterizzato da una liscia e sottile corteccia, dai toni grigiastri argentati, a volte rivestita di chiari licheni che le conferiscono sfumature biancastre. Ha un portamento slanciato e, in condizioni naturali, moncoremico, il faggio presenta un tronco poco rastremato, tipico di esemplari che si sviluppano all'interno di ricchi boschi, ramificandosi solo nella parte sommitale grazie a numerosi rami ascellari. Un diverso aspetto che caratterizza le piante isolate o cresciute ai margini dei boschi, sono le precoci biforcazioni, a limitate altezze dal suolo, arricchite da notevoli rami laterali, grazie ad una maggior disponibilità di luce (Ebene et al., 2012; Grossoni e Bussotti, 1999) che vanno a costituire individui a chioma ampia e globosa. Le foglie, decidue e alterne, sono brevemente picciolate (1-2 cm), con stipole brune, lucide e anch'esse decidue, di colore verde scuro e lucide nella pagina superiore, più chiare e pallide in quella inferiore (Ebene et al., 2012, Grossoni e Bussotti, 1999). L'apparato fogliare è costituito da due tipologie di foglie, quelle che si sviluppano nella parte media, alta ed esterna, caratterizzate da un tessuto lacunoso, vengono definite "foglie di piena luce", le foglie che si sviluppano nella parte inferiore, persistenti anche fino a settembre, definite "foglie d'ombra" sono caratterizzate invece da un tessuto lacunoso meno pronunciato (Aussenac, 1981). La ramificazione è principalmente di tipo simpodiale nonostante siano note anche ramificazioni di stabilizzazione, in cui i macroblasti si sviluppano in tutte le direzioni, di esplorazione, il cui sviluppo si concentra prevalentemente lungo l'asse principale, e di utilizzazione, caratterizzati da brachiblasti a lento sviluppo (Grossoni, Bussotti, 2003). Il legno, chiaro, è uno dei legni più resistenti, pesanti e robusti della flora italiana, con anelli di accrescimento poco evidenti, caratteristica dovuta alla limitata differenziazione tra legno primaverile e legno estivo. Altra caratteristica importante, è la scarsa impermeabilità che rende il legno di faggio materiale idoneo per lavorazioni di interni (pavimenti, mobili, pareti). I fiori, unisessuali si sviluppano sullo stesso ramo; i fiori maschili si riuniscono in infiorescenze

caratterizzate da lunghi amenti pendenti, pedunculati, tondeggianti e giallastri, mentre i fiori femminili sono riuniti in coppie avvolti in un involucre. I frutti, di forma triangolare, sono acheni deiscenti che a maturità si presentano di un color bruno, lucenti avvolti da un involucre a capsula con piccoli aculei sulla superficie. La quantità della fruttificazione è piuttosto incostante, buone fasi si verificano ogni 4-5 anni, mentre ogni 10 anni si verifica un'annata, definita a "pasciona", in cui si producono copiose fruttificazioni. I frutti vengono volgarmente chiamati "faggiolate", ricchi di olii eteri, i quali trovarono, in tempi di crisi, largo impiego nella preparazione di surrogati del caffè o come alimento per suini (A. Ebone; P. Brenta; P.G. Terzuolo; R. Zanuttini; R. Sindaco; P. Martalò; F. Gottero; P. Camerano; F. Petrella, 2012). Il sistema radicale è inizialmente fittonante per poi svilupparsi lateralmente con radici secondarie ben ramificate.

Il faggio è una specie tipicamente europea, il suo areale si estende, longitudinalmente, dalle coste settentrionali della Spagna alla Polonia, latitudinalmente, dal sud delle coste della Norvegia e Inghilterra fino ai versanti della Sicilia orientale, mentre a sud-est la sua presenza sfuma sino alla Grecia, condividendo l'habitat con il vicariante faggio orientale (*Fagus orientalis* Lysky) (Ebone et al., 2012). Mentre in Nord Europa, costituisce la vegetazione collinare o di pianura, in Italia, il faggio, costituisce la specie più rappresentativa della fascia montana, formando boschi per circa 1.035.000 ettari (IFNC- Inventario nazionale delle foreste e dei serbatoi di carbonio, 2007). Nella penisola italiana, la specie in questione è presente ovunque ad esclusione della Sardegna. La presenza del faggio sulla catena appenninica è compresa in un range altitudinale di 200-300 m s.l.m e 2000-2100 m s.l.m (superando, in buone condizioni edafiche, climatiche e storiche, il limite potenziale 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 i 1200 e i 1600 m s.l.m. (Di Filippo et al., 2007; Magri et al., 2015). Il faggio ha bisogno di condizioni ambientali senza estremi e di un clima tipicamente oceanico, condizioni favorite da inverni freddi ma non gelidi (la specie pur tollerando temperature fino ai  $-25^{\circ}\text{C}$  mostra danni anche a  $-10^{\circ}\text{C}$ ), primavere piovose ma senza gelate e periodi vegetativi di 160-180 giorni, caratterizzati da temperature medie giornaliere superiori ai  $10^{\circ}\text{C}$  (Lausi, Pignatti 1973). In generale, la temperatura media annua deve essere compresa in un range di  $5-9^{\circ}\text{C}$ , con valori medi dei mesi più freddi fra  $-5^{\circ}\text{C}$  e  $0^{\circ}\text{C}$  e quella dei mesi più caldi fra i  $16^{\circ}\text{C}$  e i  $20^{\circ}\text{C}$ . (AA.VV., 1981). Il faggio necessita di un tasso di umidità sempre elevato, caratteristica di climi oceanici, che ne consente l'estensione e la distribuzione in Europa, e di un buon livello di precipitazione le quali dovrebbero essere superiori ai 1500 mm annui, alle maggiori altitudini, con un limite inferiore di circa 800 mm



annui (Ebene et al., 2012; Grossoni e Bussetti, 1999). Il faggio tollera piuttosto bene l'ombra, che ne consente una sopravvivenza della sua rinnovazione sotto copertura per diversi anni, mentre con la sua presenza sul piano dominante limita fortemente la presenza di altre specie permettendone la sopravvivenza nel solo piano erbaceo-arbustivo. La specie in studio non è particolarmente sensibile alle diverse tipologie di suolo, sviluppandosi indifferentemente su suoli con pH fra 3.5 e 8.5. Tuttavia, il faggio, predilige suoli di origine calcarea o vulcanica, morbidi e sempre umidi in cui non vi siano però regolari inondazioni ed acque stagnanti in quanto si sviluppa con più facilità in suoli con buon drenaggio.

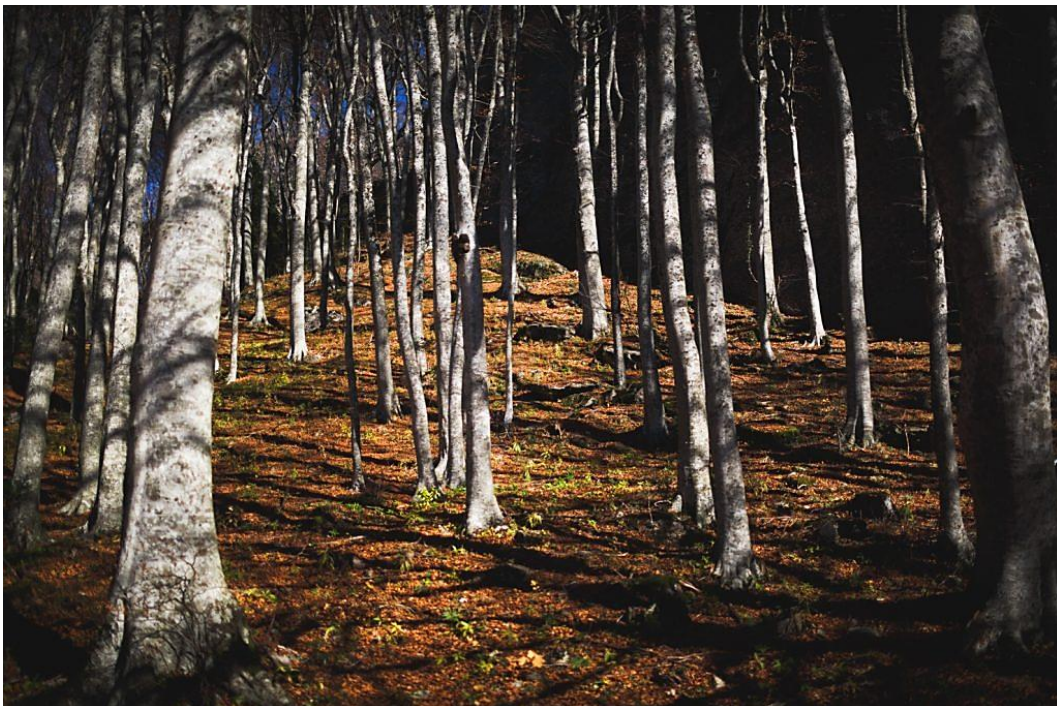


Fig. 1.1.1 - Faggeta di Bocca della Valle- Monte Catria,  
(<https://www.ilponticello.net/>)



Fig. 1.1.2- Foglie di faggio e frutti al termine della maturazione. Fonte:  
(<https://www.monaconatureencyclopedia.com/fagus-sylvatica/>)

### 1.1.2 *Le faggete appenniniche.*

Le faggete sono le formazioni di latifoglie dominanti lungo tutta la catena appenninica, nella fascia altitudinale compresa fra i 900 e i 1900 m. Per molti secoli fino alla fine del 1960, la catena appenninica è stata fortemente sfruttata per la legna da ardere, per il pascolo e per la produzione di carbone. Prima della Seconda guerra mondiale, furono attuati programmi di rimboschimento per ridurre l'erosione dei pendii nelle aree montuose e collinari (Vitali et al., 2018). Su scala regionale, i cambiamenti demografici e di copertura del suolo dimostrano un progressivo abbandono delle terre a favore dell'espansione della foresta (Vitali et al., 2018). Condizioni diverse edafiche e di esposizione determinano una grande diversità fisionomica all'interno delle faggete appenniniche traducendosi nella diversità floristica delle specie che vi si accompagnano. L'inquadramento delle stesse avviene distinguendo la catena montuosa in: Appennino settentrionale, Appennino centrale e Appennino meridionale.

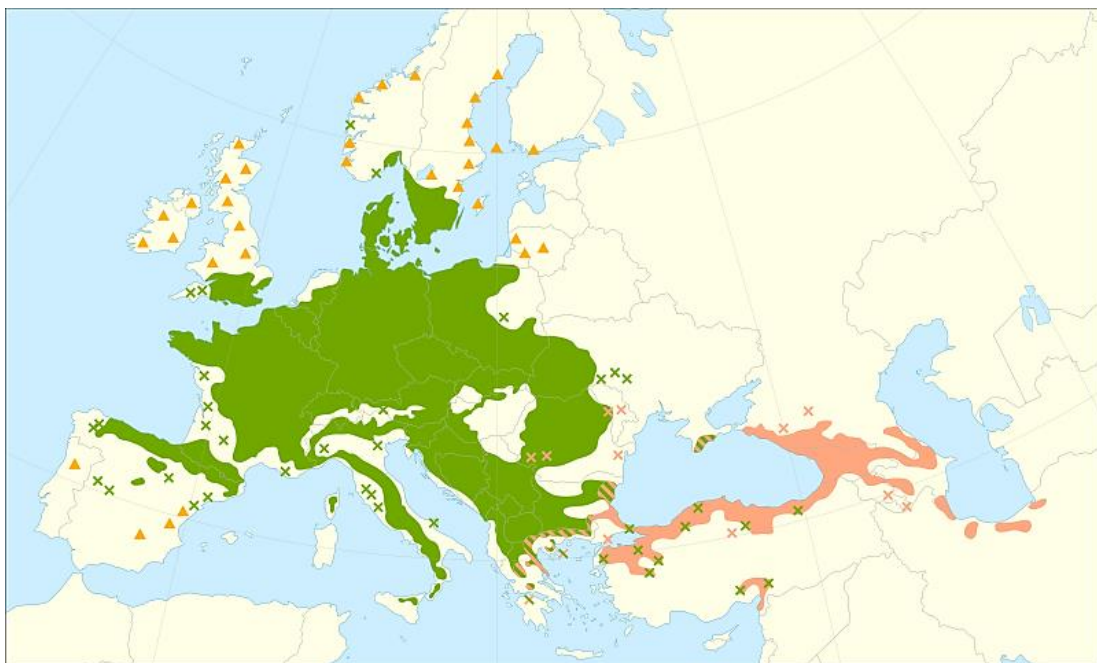


Fig. 1.1.2.1 – Mappa di distribuzione del faggio aggiornata al 2016. In verde *Fagus sylvatica* e, in rosa, *Fagus orientalis*. I triangoli arancioni riportano le stazioni in cui è stato introdotto e naturalizzato (Caudullo et al., 2017).

#### *-Faggete dell'Appennino settentrionale.*

Nel contesto geografico dell'Appennino settentrionale, le faggete si collocano quasi esclusivamente nel piano montano, tra i 1000 e i 1700-1800 m s.l.m. dove rappresentano il limite superiore della vegetazione arborea. In chiave bioclimatica, si collocano in una

condizione di spiccata atlanticità con valori annui di precipitazioni sempre superiori ai 1500 mm, permettendone la permanenza anche in situazioni di deficit idrico. In chiave floristico-vegetazionale, si distinguono: faggete neutrofile (o neutrofile-basifile) che crescono in suoli profondi e ricchi di nutrienti e faggete acidofile che si sviluppano invece su suoli oligotrofici soggetti a intenso dilavamento.

*-Faggete dell'Appennino centrale.*

Nell'Appennino centrale, le faggete rappresentano una nota dominante del paesaggio montano. A differenza dell'Appennino settentrionale, costituito prevalentemente da rocce silicee, quello centrale è dominato da rocce carbonatiche e, seppur in maniera limitata e localizzata, da rocce arenacee (Monti della Laga). Nonostante la notevole estensione delle faggete centro-appenniniche, esse mostrano un significativo impoverimento floristico-strutturale, dovuto tanto al ruolo di cerniera biogeografica svolto nell'ambito della Penisola quanto all'abbandono colturale (Carpaneto, 2006). Come per l'Appennino settentrionale, anche in quello centrale si distinguono due tipologie di faggete le quali differiscono l'una l'altra in base alla fascia altitudinale. Secondo la Carta Forestale delle Marche (IPLA, 2001), i boschi, a dominanza di faggio, occupano una superficie pari a 20.126 ha, dato che rapportato alla superficie forestale totale regionale, corrisponde a circa il 7,8%. Le faggete marchigiane sono costituite per il 72% da *Fagus sylvatica* mentre il restante 28% è costituito da altre specie forestali (IPLA, 2001). All'interno dell'ordine *Fagetalia sylvaticae* e alla classe *Quercus-Fagetum* si riscontrano, a livello regionale, le seguenti associazioni: i) *Lathyro veneti-Fagetum sylvaticae* (Biondi, Allegrezza, Pinzi, Casavecchia et Baldoni 2002), che, insieme a *Hieracio racemosi-Fagetum sylvaticae* (Allegrezza, 2003), si sviluppano rispettivamente su calcari e su calcari diasprini, tra i 900-1000 m s.l.m e 1350-1400 m s.l.m. ii) *Solidagini-Fagetum sylvaticae* (Ubaldi et al., 1987) e *Dactylorhizo fuschsii-Fagetum sylvaticae* (Biondi, Ballelli, Allegrezza, Taffetani et Gujtian, 1989) (in alleanza *Aremonio-Fagion sylvaticae*), tipici dei substrati arenacei, iii) *Cardamino kitaibelii-Fagetum sylvaticae* (Ubaldi, Zanotti, Puppi, Speranza et Corbetta ex Ubaldi, 1995) dei versanti calcarei.

*-Faggete dell'Appennino meridionale.*

Le faggete dell'Appennino meridionale sono caratterizzate dall'ingresso di una componente floristica nuova (dovuto da un pregresso isolamento geografico). Il contingente floristico si articola in entità endemiche (il cui areale gravita principalmente nell'Italia meridionale) e

entità il cui baricentro gravita nell'Italia meridionale e nei Balcani come *Luzula sylvatica* sbsp. *Sicula*, *Ranunculus brutius*, *Campanula trichocalucina* (Carpaneto et al., 2006).

## **1.2 La sensitività del faggio appenninico**

### **1.2.1 *Cambiamenti climatici.***

Nell'ultimo triennio le temperature medie globali sono cresciute di circa 0.2°C ogni decade (0.8°C nell'ultimo secolo), la media attuale oscilla in un intervallo inferiore al grado rispetto al massimo dell'Olocene (avvenuto circa 450.000 anni fa), rendendo possibili sviluppi rapidi ed imprevedibili di cambiamento del clima (Hansen et al., 2006). Sebbene l'aumento delle temperature, la maggior concentrazione di CO<sub>2</sub> atmosferica e la fertilizzazione azotata suggeriscano un miglioramento della crescita delle piante su scala globale (Frank et al., 2015, Pan et al., 2011; Xie et al., 2015) la maggior frequenza di condizioni meteorologiche estreme: eventi come gelate tardive, forti ondate di caldo, tempeste (Diffenbaugh et al., 2018; Garcia et al., 2014; Kramer et al., 2000; Williams, 2014) rappresentano il principale limite di crescita delle foreste nella regione mediterranea. Il recente innalzamento delle temperature ha avuto un effetto negativo sulla crescita del faggio, che in alcuni casi è diminuita proprio a causa della maggior suscettibilità dello stesso alle temperature più elevate e a condizioni più aride (Bosela et al., 2018). Se il riscaldamento globale continuerà senza un aumento delle precipitazioni si potrà verificare una riduzione dell'accrescimento del faggio (Hacket-Pain and Friend, 2017).

### **1.2.2 *Le gelate tardive***

Le gelate tardive, o gelate primaverile, possono interferire significativamente sulla funzionalità degli ecosistemi forestali con potenziali conseguenze sulla distribuzione delle specie su scala locale e regionale. (Allevato et al., 20019). La gelata tardiva è un evento a cui il faggio è molto sensibile, e può limitarne infatti la distribuzione altitudinale (Bascietto et al., 2018, Dittemar et al., 2006) e la diffusione nelle valli a clima continentale. Si tratta quindi di un fattore limitante, che può causare danni di diversa intensità in quanto la fogliazione del faggio, rispetto ad altre specie forestali, risulta piuttosto precoce. Vi è dunque una relazione tra danni causati da minime temperature e stadio fenologico della pianta in esame, che è influenzato dalle condizioni stagionali e quindi sia dall'altitudine che dall'esposizione del versante. Le gelate che si verificano all'inizio della stagione di crescita sono solitamente più deleterie rispetto a quelle precoci, che si verificano nel periodo autunnale poiché le nuove foglie emergenti sono più suscettibili rispetto ai tessuti legnosi che invece resistono

maggiormente a basse temperature. A livello fogliare, il danno è causato dalla formazione di ghiaccio nel mesofillo, tra le cellule e i vari tessuti fogliari dei germogli (Nolè et al., 2018). I maggiori danni ai tessuti si verificano per temperature inferiori a -2 o -3°C (Till, 1956; Sakai e Larcher, 1987; Mayer et al., 1988; Tranquillini e Plank, 1989), danni che possono ridurre la crescita radiale del 90% (Dittemar et al., 2006; Ningre e Colin, 2007). Tuttavia la riduzione, riscontrabile in una formazione dell'anello più stretto, può verificarsi anche per una riduzione delle riserve nutritive, normalmente utilizzate per la xilogenesi, che la stessa pianta spende, invece, per rigenerare nuove foglie (Bascietto et al., 2018; Dittemar et al., 2006; Nolè et al., 2018). In conclusione, il possibile danno è causato molteplici e differenti aspetti; oltre che dall'intensità dell'evento meteorologico, da molteplici fattori come lo stadio fenologico, l'esposizione e l'altitudine incidono sulla profondità del danno.

### **1.2.3 Siccità estiva**

I boschi della regione mediterranea sono molto sensibili anche al riscaldamento climatico (Scarascia, Mugnozsa et al., 2000; Allen, 2003), soprattutto in relazione alla possibilità che si acuiscano gli effetti dello stress idrico in seguito all'allungamento e alla maggior frequenza dei periodi di siccità, con forti ripercussioni negative sia sulla crescita sia sulla vitalità stessa degli alberi (Macias et al., 2006; Brunetti et al., 2012; Andregg et al., 2012). La siccità estiva, con conseguente deficit idrico, è il fattore che influenza, ancor più delle gelate tardive, la crescita e la distribuzione del faggio in Europa, limitando la presenza del faggio nel sud della Spagna, della Grecia e nelle zone più aride dell'Italia centrale e meridionale (Magri, 2008). Il fenomeno della siccità si verifica per la combinazione di una serie di condizioni climatiche come l'aumento delle temperature (medie e massime), la diminuzione delle piogge, una maggior quantità di radiazione solare ed una elevata pressione di vapore (Camarero et al., 2018). Le varie condizioni climatiche che giungono a determinare siccità si verificano a intensità e frequenze diverse in base all'altitudine in cui si sviluppa la specie forestale. I sintomi più evidenti riportati dal faggio si verificano a livello fogliare con l'ingiallimento della chioma con conseguente microfillia e filloptosi anticipata portando inevitabilmente alla riduzione dell'accrescimento della pianta; interessando tutti gli organi, i danni sono direttamente proporzionali alla durata della siccità.

### **1.3 Obiettivi della tesi**

Questa tesi si inserisce in un progetto di ricerca dell'Unità Sistemi Forestali del D3A-UNIVPM, sulla sensitività del faggio a disturbi abiotici. Questa caratteristica pare essere molto

evidente nella specie forestale in questione, soprattutto in prossimità di gelate tardo-primaverili e siccità estive. Negli ultimi anni, a giudicare dalla bibliografia, diversi professionisti, ricercatori e studiosi hanno approfondito tale sensibilità partendo dal presupposto che temperature più elevate nei mesi primaverili inducano il faggio ad una fogliazione anticipata aumentando significativamente il possibile danno causato dalle gelate tardive. Gli obiettivi della tesi sono quelli di individuare quanto siano estesi e frequenti fenomeni di siccità e gelate tardo-primaverili indagando sull'accrescimento di campioni prelevati nell'Appennino centrale, sul versante nord-ovest del Monte Acuto. Questa tesi di campionamento ed analisi dei dati ha seguito un protocollo predefinito con lo scopo di raggiungere i seguenti obiettivi specifici:

- Il campionamento strutturale e dendrocronologico in una porzione di faggeta nel sito appenninico del Monte Acuto (PU), lungo un gradiente altitudinale;
- L'analisi dendroclimatica;
- L'analisi comparativa della sensibilità climatica della popolazione del Monte Acuto con quella della Montagna dei Fiori (TE), già campionate al Laboratorio TreeringLab.

# Capitolo 1

## MATERIALI E METODI

### 2.1 Area di studio

#### 2.1.1 Topografia, geomorfologia e litologia

L'area di studio (Fig. 2.1.1.1) è ubicata sul Monte Acuto, appartenente al gruppo del Catria-Acuto, delimitato a nord dalla Valle del Burano (Bacino del Metauro) e a sud dalla valle del Sentino (Bacino dell'Esino). L'area del Monte Catria-Acuto appartiene quasi integralmente alla Provincia di Pesaro e Urbino, Unione Montana del Catria e del Nerone interessando i territori comunali di Cantiano, Cagli, Frontone e Serra Sant'Abbondio. Piccole porzioni appartengono al comune di Scheggia e Pascelupo in Provincia di Perugia



Fig.2.1.1.1- Localizzazione dell'area di studio del Monte Acuto (PU)

Geologicamente il gruppo montuoso del Catria-Acuto è costituito da litotipi calcarei appartenenti alla serie umbro-marchigiana; i settori sommitali più elevati dei rilievi sono costituiti da Formazione del calcare Massiccio, risultando solitamente separato dai sottostanti litotipi appartenenti alla Formazione della Maiolica da profonde scarpate di faglia. In condizioni di elevata acclività dei versanti, sono particolarmente attivi fenomeni periodici di

geliflusso che, assieme all'erosione delle rocce, determinano la formazione di coltri di detrito grossolano incoerente di spessore variabile (Forestpas 2000). Nell'area in oggetto coesistono suoli riferibili a stadi evolutivi assai lontani tra loro i quali hanno caratteristiche chimico-fisiche differenti, tuttavia rimangono suoli costantemente orientati verso lo stadio evolutivo di "terra bruna" (Calandra,1992).

### 2.1.2 Caratteri pedologici, climatici e vegetazionali

Il territorio in cui è ubicata l'area di studio è definito da suoli poco evoluti e quasi privi di orizzonti organici, caratteristica probabilmente dovuta dall'eccessiva inclinazione dei versanti che non consentono l'accumulo di lettiera; condizione che migliora scendendo a valle dove si trovano foreste più fertili. Per la caratterizzazione climatica e bioclimatica dell'area di studio sono stati utilizzati i dati della stazione termo-pluviometrica di Fonte Avellana, ubicata a 689 m s.l.m. Secondo la classificazione di Köppen (redatta da Pinna per l'Italia nel 1972) il mesoclima è di tipo "subcontinentale di transizione", ovvero con temperatura media annua di 11,7°C ed escursione termica annua pari a 16-19°C, temperatura media del mese più freddo fra 1 e 3,9°C e 1-2 mesi con temperatura media superiore a 20°C. Le precipitazioni medie annue raggiungono i 1700 mm con un regime sub-equinoziale autunnale, con picchi massimi nei mesi di ottobre-novembre e minimi nel mese di luglio, ma che in genere non determinano condizioni significative di aridità e periodi di deficit idrico. Secondo la classificazione di Rivas-Martinez (2008), il macrobioclima è di tipo temperato oceanico con piano bioclimatico mesotemperato superiore, termotipo mesotemperato superiore e ombrotipo subumido (Fig. 2.1.2.1.).

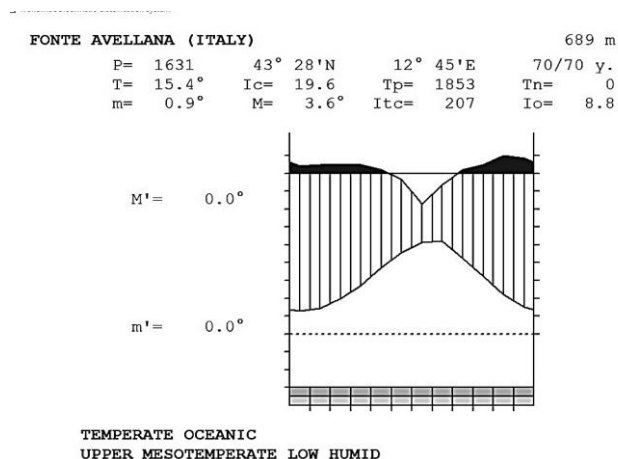


Fig. 2.1.2.1 Climodiagramma ricavato dai dati meteorologici mensili (temperature massime, medie, minime e precipitazioni) della stazione termopluviometrica di Fonte Avellana (i dati mancanti sono stati stimati attraverso la griglia climatica E-OBS con risoluzione 0,1° scaricati dal portale Climate Explore: (<https://climexp.knmi.nl/start.cgi>)).



Il paesaggio forestale è caratterizzato da estese formazioni forestali che si differenziano principalmente in rapporto alla quota. Nel piano montano, generalmente al di sopra dei 900-1000 m, sono presenti boschi di faggio che rappresentano la vegetazione forestale potenziale attuale del piano sino al limite superiore del bosco chiuso. Per l'Appennino centrale il limite superiore si attesta sui 1850 m s.l.m., in realtà tale limite si riscontra a quote più inferiori rispetto a quello potenziale, in relazione all'incidenza dei diversi fattori limitanti: antropici, climatici e geologico-geomorfologico.

## 2.2 Protocollo di campionamento

### 2.2.1 Aree di saggio e rilevamento denrometrico-strutturale

L'area di studio è stata individuata grazie ad immagini satellitari che hanno permesso di identificare la parte di faggeta colpita dalla gelata tardiva del 2017 e del 2016. Secondo il protocollo previsto le tre aree di saggio sono state realizzate in una faggeta pura, aree che devono essere allineate lungo un gradiente altitudinale di almeno 250 metri con almeno 80 metri di dislivello l'una dall'altra. Queste predisposizioni permettono di analizzare le risposte del faggio in condizioni microclimatiche diverse. Le aree di studio sono situate sul versante nord-ovest del Monte Acuto, una delle aree è posizionata in bassa quota, non colpita dalla gelata del 2016 (ACL), la seconda è posizionata ad una quota intermedia che presenta danni evidenti (ACM) ed infine la terza, situata alla quota più elevata che presenta lievi danni.

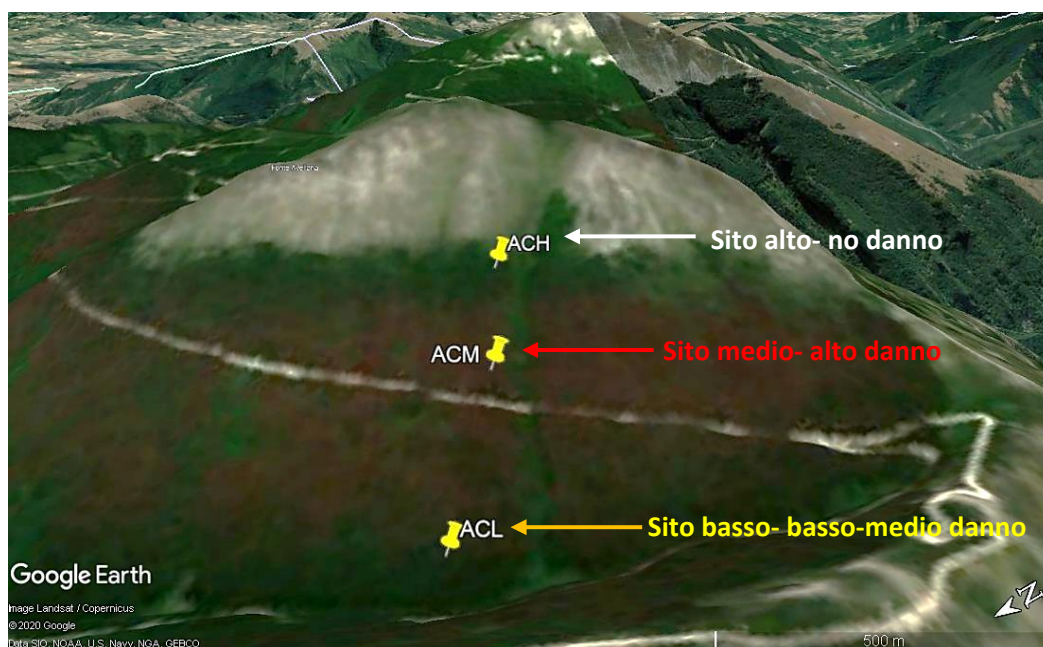


Fig. 2.2.1.1- Immagine satellitare del 31-05-2017 ricavata da "Sentinel: (<https://www.sentinel-hub.com/explore/eobrowser/>) relativa alle tre aree di studio.

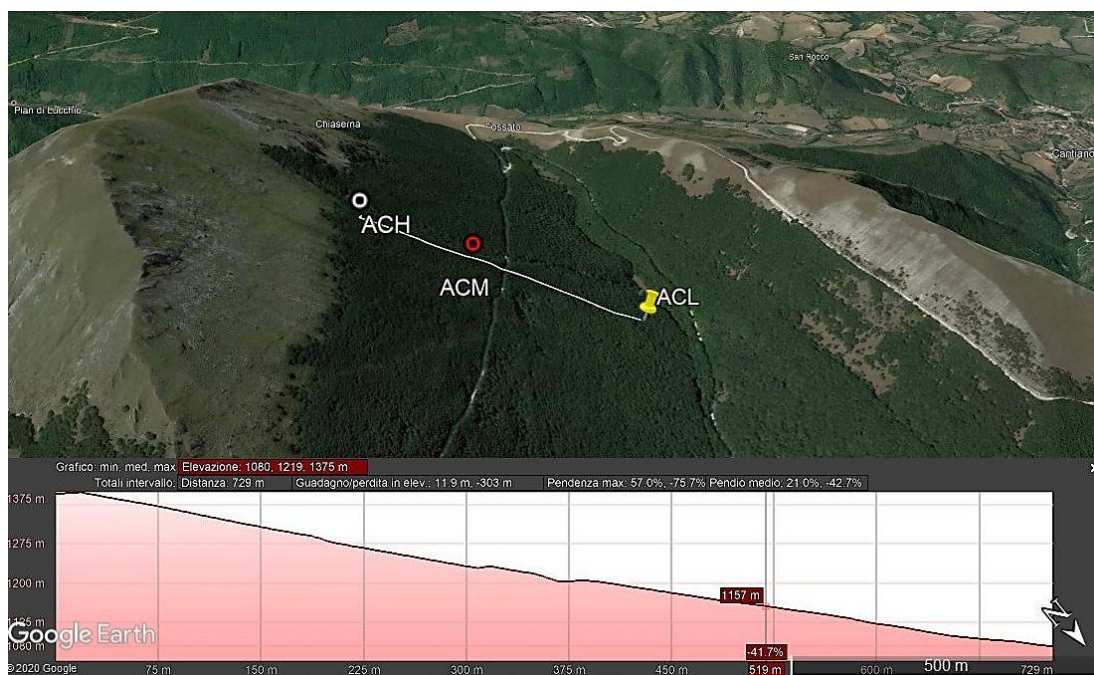


Fig. 1.2.1.2- Immagine satellitare elaborata con “Google Earth Pro”; nella parte inferiore è riportato un grafico che mostra il dislivello tra il sito più alto (ACH) e quello più basso (ACL).

Tab.2.2.1.1- Coordinate di localizzazione dei tre plot sul Monte Acuto (PU) e le loro altitudini. ACH= Acuto *high*, indica il sito a quota più elevata; ACM= Acuto *medium*, indica quello a quota media; ACL= Acuto *low*, a quota bassa.

<i>Plot</i>	<b>Latitudine (N)</b>	<b>Longitudine (E)</b>	<b>Altitudine (m s.l.m.)</b>
<i>ACH</i>	43°28'36.32"	12°40'32.85"	1375
<i>ACM</i>	43°28'40.10"	12°40'24.07"	1245
<i>ACL</i>	43°28'47.88"	12°40'11.39"	1080

Per ognuno dei tre plot sono state effettuate le seguenti misurazioni: coordinate GNSS del centro del plot, l'altezza di almeno 10 individui rappresentativi, il DBH (*diameter at breast height*- diametro a petto d'uomo) di tutte le piante vive o di tutti i polloni delle ceppaie rientranti all'interno di un raggio di 10 metri dal centro. Sono state escluse dalla misurazione i fusti aventi diametro inferiore ai 3 cm. Infine è stata misurata la luce che arriva al suolo partendo dalla copertura delle chiome grazie all'utilizzo del densiometro sferico (*Spherical Densiometer*), uno specchio concavo in cui è incisa una griglia su cui sono stati contati i punti coperti dalle chiome.

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

Per ogni plot, sono state prelevate, mediante trivelle di Pressler, carote legnose di diversa lunghezza e dimensione da individui dominanti di faggio. L'area è stata suddivisa in due centri concentrici (sempre con medesimo centroide), una di raggio 20 metri e l'altra di raggio 10 metri. Nell'area di raggio 10 metri sono state misurati i diametri a 1,30 m di tutte le piante vive. Nell'area avente raggio 20 metri, sono stati individuate 5 piante, distribuite uniformemente nell'intera area di studio, e con le migliori caratteristiche fisiche-strutturali (altezza e diametro), da ognuna delle quali sono state prelevate 2 carote. Una carota, con diametro 10 mm destinata all'analisi dendro-anatomica, la seconda, di diametro di 5 mm, destinata all'analisi isotopica. Per le restanti 15 piante dominanti sono state prelevate carote legnose di diametro 5 mm destinate all'analisi dendrocronologica e dendroclimatica. La maggior parte delle carote sono state prelevate nella porzione di fusto a monte per poi essere momentaneamente posizionate, e fissate con nastro carta, su appositi supporti in legno. In totale sono state campionate 63 piante e ottenuti complessivamente 80 campioni per le successive analisi. Con i 32 campioni da 5 e 10 mm verranno effettuate analisi anatomiche e isotopiche che non rientrano in questo lavoro di tesi e che consentiranno di approfondire lo studio sulla sensibilità climatica del faggio appenninico.

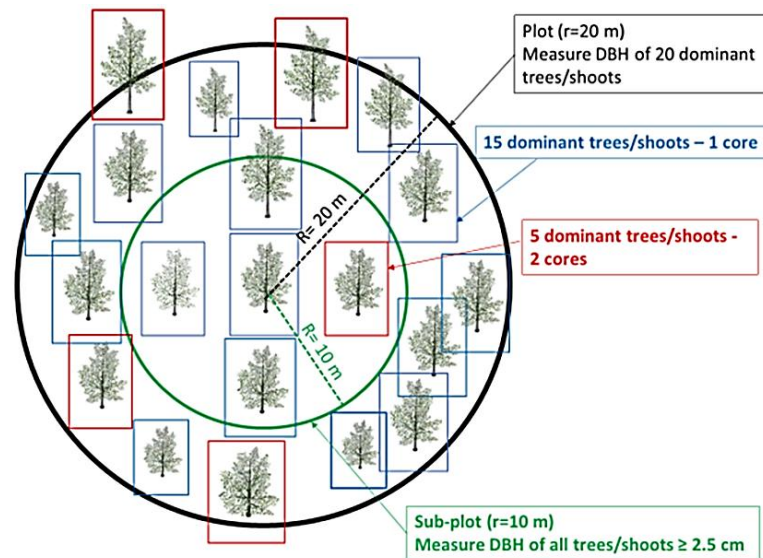


Fig. 2.2.2.1- Diagramma riepilogativo del protocollo di campionamento (Tonelli, 2020)

## 2.3 Analisi dendrocronologica e dendroclimatica

### 2.3.1 Analisi sui dati dell'area di studio

L'analisi dendrocronologica si è svolta con l'utilizzo della stazione LINTAB e il software TSAP, i quali permettono di misurare gli accrescimenti anulari restituendo in tempo reale i grafici per la visualizzazione degli incrementi. Attraverso il software è stato possibile calcolare la media di ogni plot e altre statistiche delle serie misurate. Ogni campione è stato datato al 2019, poiché l'accrescimento dell'ultimo anello (luglio 2020) non era ancora stato completato dalle piante. Tramite TSAP è stata effettuata una sincronizzazione visiva, traslando ogni serie misurata, al fine di ricercare anni caratteristici e possibili errori di misurazione.



Fig. 2.3.1.1- Postazione di misurazione anelli legnosi con sistema LINTAB presso il TreeringLab-UNIVPM

La qualità delle sincronizzazioni è stata, successivamente, valutata con l'apposito programma, COFECHA (Holmes 1983), il quale ha fornito gradi di somiglianza tra segmenti, di ogni campione, rispetto alla cronologia media (*master chronology*). Avvenuta la sincronizzazione di ogni serie, il lavoro di analisi è proseguito con l'utilizzo del software ARSTAN (Cook 1985, Cook and Holmes 1986), che ha permesso la standardizzazione delle curve relative alle ampiezze degli anelli e la rimozione della componente di autocorrelazione

(AC1), spesso presente nelle serie di accrescimento. È stato necessario standardizzare ogni serie poiché influenzate da un trend negativo dovuto dall'effetto geometrico causato dall'aumento di circonferenza. L'utilizzo di ARSTAN è indispensabile per poter meglio correlare clima e accrescimento, poiché elimina la varianza di medio-lungo termine e lascia quella di breve termine dovuta al clima. Ogni serie è stata ulteriormente standardizzata tramite la funzione *smoothing* (*spline* di 25 anni e *cutoff* della varianza a 50%). Con questa operazione è stato possibile realizzare le serie di accrescimento indicizzate (RWI-*Ring Width Index*) per riportarle quindi in un singolo grafico (Fig. 2.3.1.2).

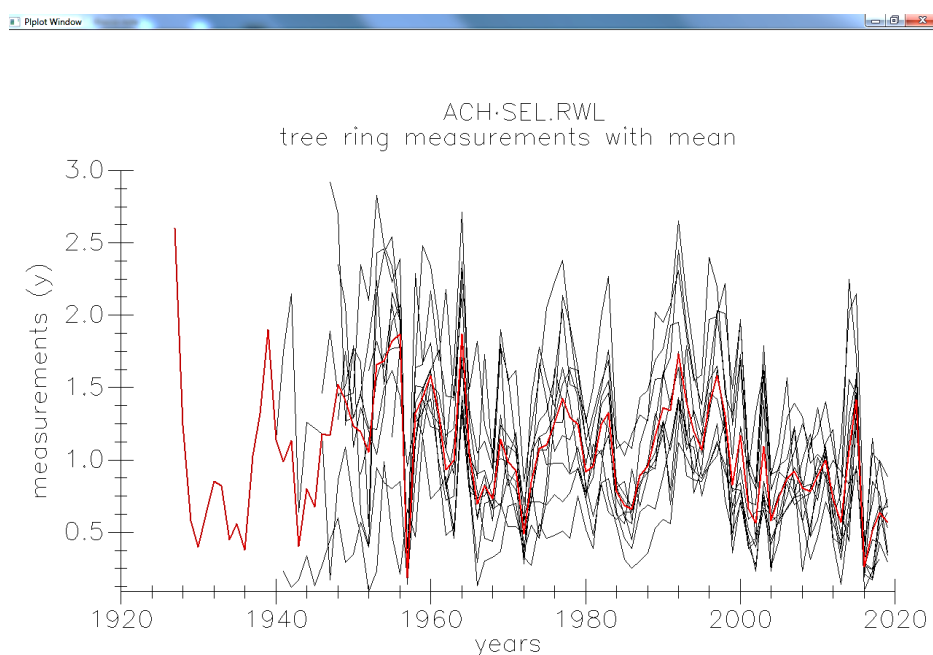


Fig. 2.3.1.2- Interfaccia grafica del software ARSTAN in cui sono riportate le serie di accrescimento indicizzate del plot ACH; in rosso la media delle serie analizzate.

Il lavoro è proceduto analizzando queste serie con il software DendroCLIM 2002 (Biondi e Waikul 2004) (Fig 2.3.1.3). Sono state messe in relazione le serie, ottenute da ARSTAN (*Residual chronology*), con le omologhe serie temporali, in particolare con precipitazioni mensili, temperatura media dei massimi e temperatura media dei minimi. I dati climatici sono stati ricostruiti utilizzando quelli registrati dalla stazione termopluviometrica di Fonte Avellana (PU), ubicata a 689 m. s.l.m; per i dati mancanti, questi sono stati ricostruiti attraverso la griglia climatica E-OBS v21.0 con risoluzione 0.1°. Tutte queste operazioni sono state indispensabili per stabilire in che modo le differenti componenti climatiche, abbiano influito nel corso degli anni sull'accrescimento del faggio. Il periodo preso in analisi ricade nel mese di aprile dell'anno precedente lo sviluppo ed ottobre dell'anno di sviluppo degli stessi

anelli con una finestra temporale che va dal 1951, anno di cui si dispongono i primi dati climatici, al 2019, anno in cui si ha l'ultima formazione completa dell'anello.

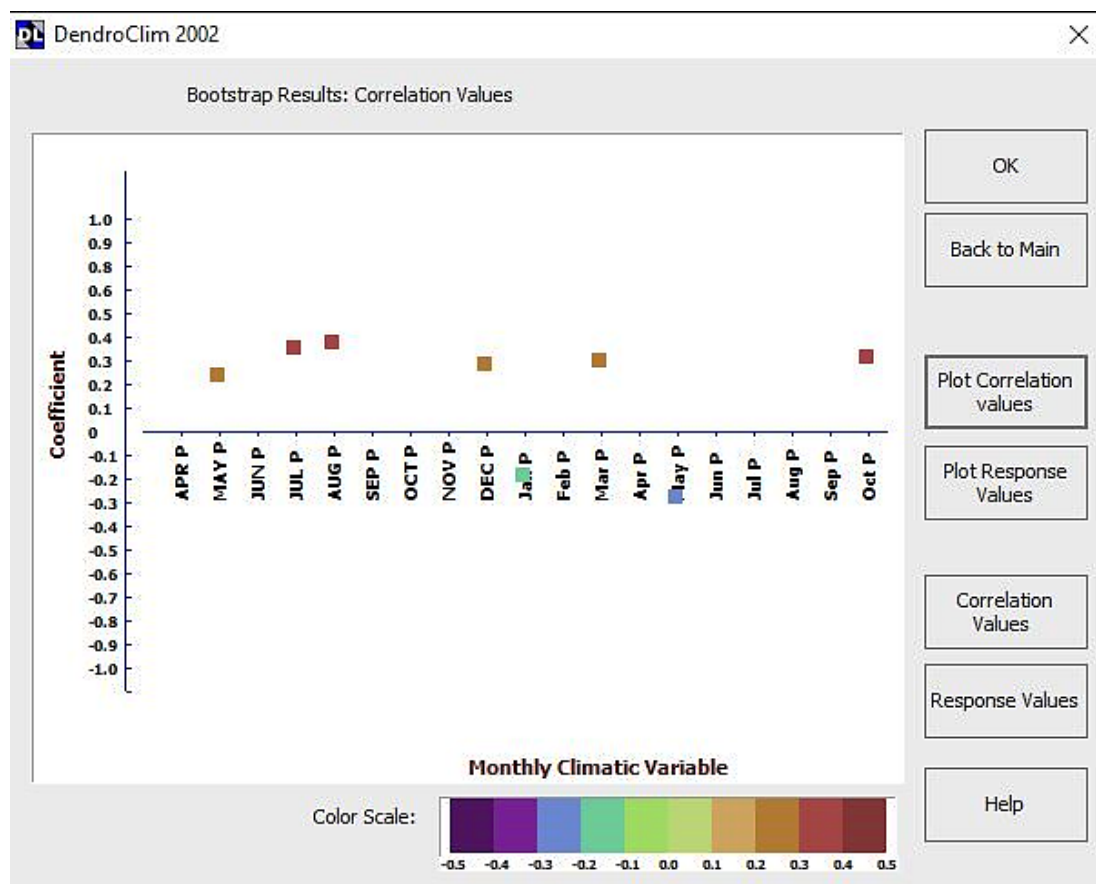


Fig. 2.3.1.3- Interfaccia grafica del software DendroCLIM 2002. Le serie standardizzate del plot ACH compaiono in relazione con i dati delle precipitazioni mensili rilevati dalla stazione termopluviometrica di Fonte Avellana (PU) e della griglia climatica E-OBS.

### 2.3.2. Analisi e confronti con serie di faggio della Montagna dei Fiori

Presso il TreeringLab sono state recuperate le serie cronologiche di faggio dell'Appennino centrale, rilevate sulla Montagna dei Fiori (TE) e analizzate con un precedente lavoro di tesi che aveva come obiettivi gli stessi individuati per questo lavoro. Le tre serie cronologiche dell'area Montagna dei Fiori sono state riportate in un grafico e successivamente confrontate con le tre serie del Monte Acuto.

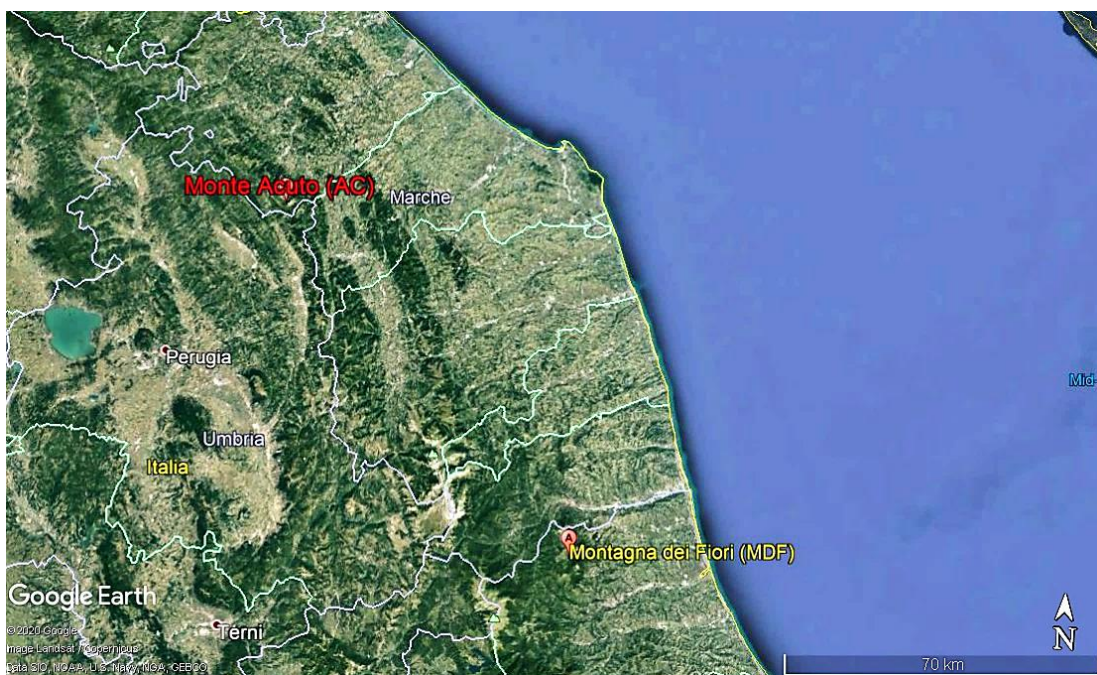


Fig. 2.3.2.1- Localizzazione dei due siti a confronto, Monte Acuto (PU) e Montagna dei Fiori (TE).

Tab. 2.3.2.1- Principali parametri indicativi dei siti utilizzati per confronto.

Sigla	Sito	Provincia	Latitudine (N)	Longitudine (E)	Altitudine (m s.l.m.)	Esposizione
<i>ACU</i>	Monte Acuto	Pesaro-Urbino (PU)	43.4774	12.6861	1000-1450	NO
<i>MDF</i>	Montagna dei Fiori	Teramo (TE)	42.7885	13.5876	1185-1482	NE

## Capitolo 2

### ANALISI E DISCUSSIONE DEI RISULTATI

#### 3.1 Assetto dendrometrico-strutturale dei soprassuoli

Il popolamento oggetto di questo studio è formato da un bosco con strutture forestali differenti lungo il gradiente analizzato: nel sito alto (ACH) è presente un ceduo, il sito medio (ACM) è costituito da un ceduo in conversione mentre nel sito più basso (ACL) è presente una fustaia. In Tab 3.1.1, le tre aree di saggio mostrano una sostanziale diversità strutturale, dal numero di piante ad ettaro di ACH e ACL (7416-382) ai diametri medi delle relative aree (12-50,6 cm). L'età media è crescente scendendo di quota, infatti nel sito più alto troviamo piante con età media di 73 anni, in quello medio di 80 fino ad arrivare alla fustaia del sito ACL con età media di 104 anni. Anche le altezze medie crescono al diminuire della quota; il sito ACH, quasi al limite del bosco, è popolato da faggi con altezza media di 12,26 metri mentre nel sito più basso, ACL è costituito da piante con altezze medie di 20,6 metri. I dati più evidenti sono relativi al volume ad ettaro, soprattutto se paragonati quelli del sito ACH e ACL (56,47-1592,7 m<sup>3</sup>/ha) con oltre 1536 m<sup>3</sup>/ha di differenza.

Tab. 3.1.1- Caratteristiche strutturali dei tre plot: N/ha: numero di piante ad ettaro; G = area basimetrica ad ettaro; Dg= diametro medio (diametro corrispondente ad area basimetrica media); H= altezza media (come media delle altezze rilevate); V/ha= volume ad ettaro; Età= età media.

Plot	N/ha	G (m <sup>2</sup> /ha)	Dg (cm)	H (m)	V (m <sup>3</sup> /ha)	Età
<i>ACH</i>	7416	56,5	12,0	12,26	56,47	73
<i>ACM</i>	1145	44,7	22,7	15,5	719,9	80
<i>ACL</i>	382	77,4	50,6	20,6	1592,7	104

La differenza tra i popolamenti è ancora più evidente mettendo in evidenza la frequenza con cui si presentano i diametri delle piante campionate. Risulta che, per il sito ACH, tutte le piante si distribuiscono in un range di diametri tra 5 e 25 cm con una moda nella classe di 10 cm. A partire dalla classe di 15 cm, troviamo piante appartenenti sia al sito ACH che ad ACM, da questa classe diametrica fino a quella di 45 cm sono presenti piante appartenenti al sito medio con un'interruzione di frequenza nella classe di 35 cm dove sono presenti solo piante



appartenenti al sito basso ACL. Anche i campioni di quest'ultimo sito trovano un'interruzione di frequenza, infatti alcuni diametri cadono nel range 35-45 cm e altri in quello 55-65 cm, lasciando la classe diametrica di 55 cm senza la presenza di piante appartenente ai tre siti.

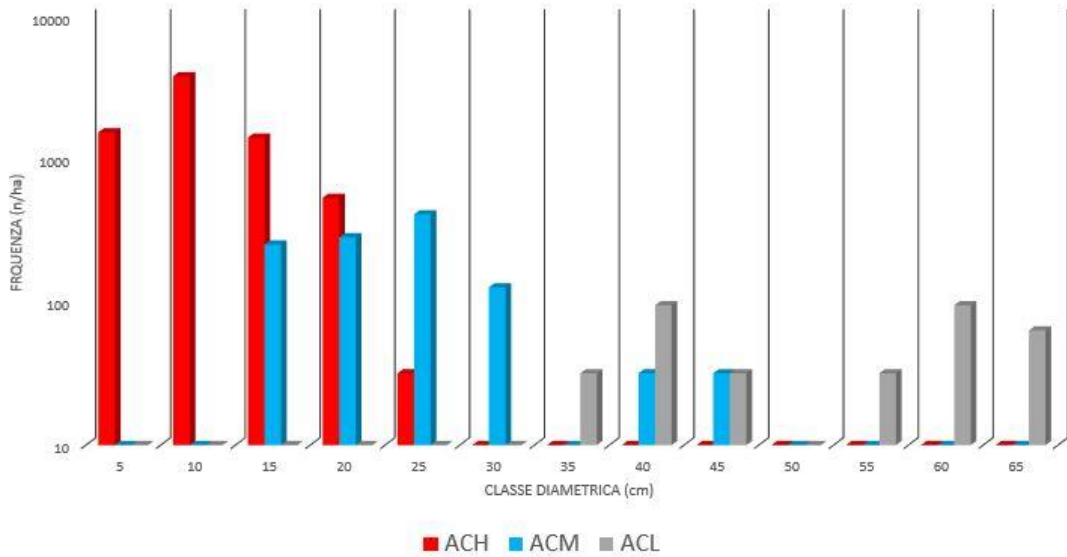


Fig. 3.1.1- Distribuzione di frequenza (espressa in scala logaritmica) del numero di piante in base alla loro classe diametrica.

La maggior variabilità della distribuzione dei diametri (Fig. 3.1.2), si ha per il sito ACL (29-65 cm), seguita da ACM (18-45 cm) e infine per ACH (13-26 cm). Le mediane sono, per ACH 18 cm, per ACM 28 cm e per ACL 51cm.

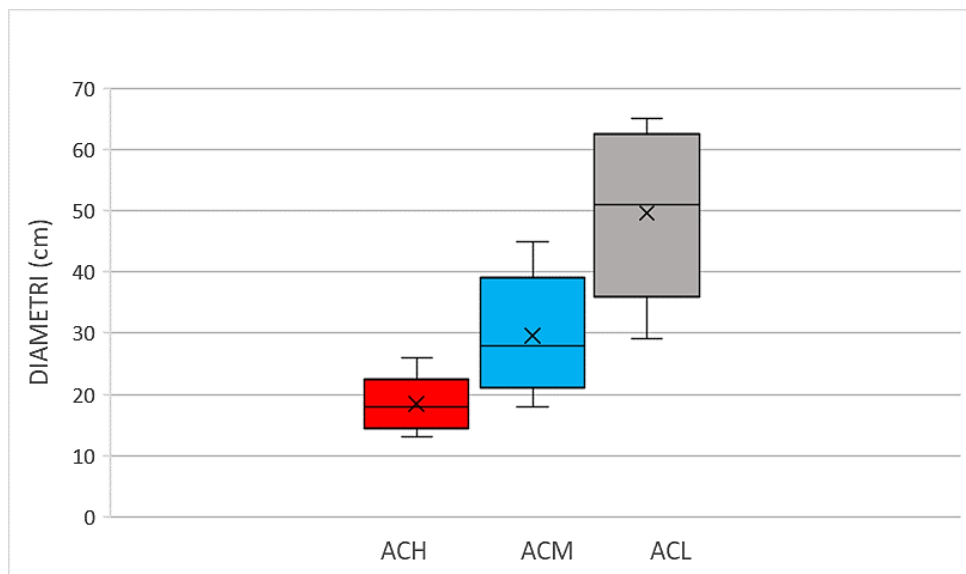


Fig. 3.1.2- Box Plot dei diametri dei tre plot.

Le altezze (Fig. 3.1.3) trovano maggior variabilità nel sito ACL (16,5-25,5), diminuisce poi la variabilità per ACH (10-16,5) e per ACM (13,1-18,8). Le mediane sono per ACH 12 cm, per ACM 15,6 cm e per ACL 20,1cm

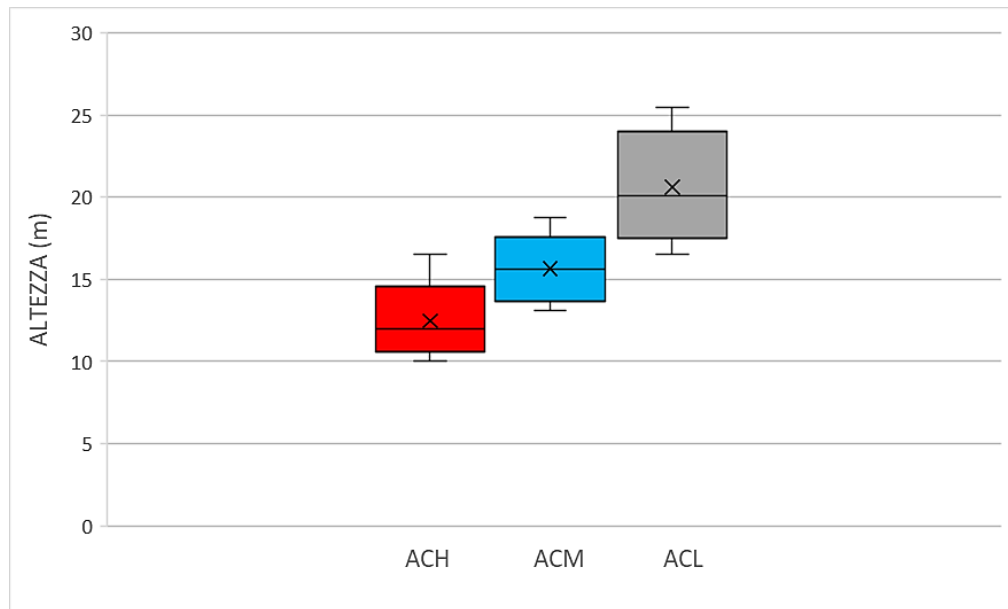


Fig. 3.1.3- Box Plot delle altezze dei tre plot

Infine, per le età (Fig. 3.1.4) la maggior variabilità si ha per il sito ACL (16,5-25,5), diminuendo poi per il sito ACM (13,1-18,8) e per ACH (10-16,5).

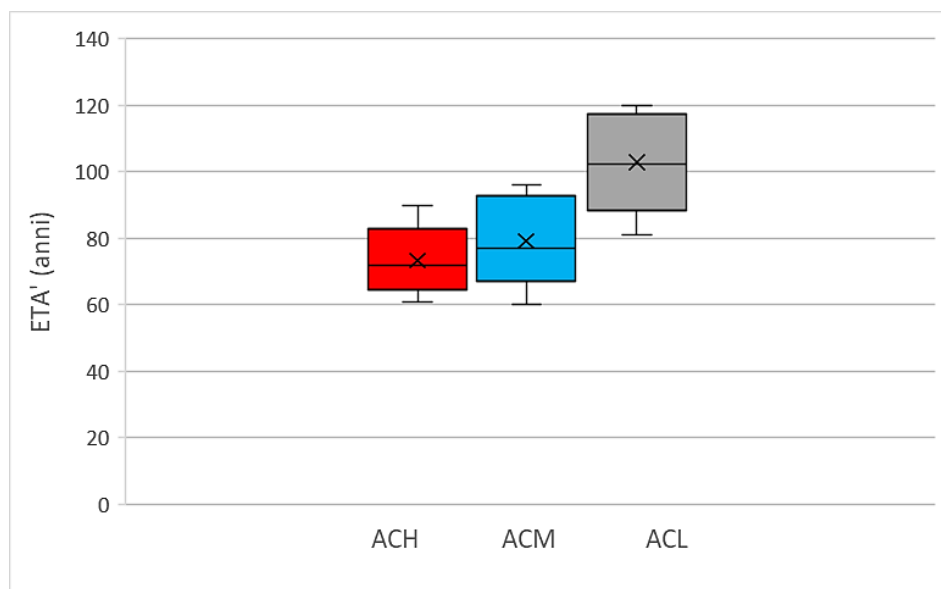


Fig. 3.1.4- Box plot delle età dei tre plot

Sono state realizzate anche le curve di regressione (Fig. 3.1.5) tra le età cambiali delle piante campionate e il loro diametro per ogni ADS. Il risultato è un valore elevato del coefficiente di correlazione ( $R^2$ ) solo per il sito ACM ( $R^2= 0,5754$ ) valore che diminuisce per ACL ( $R^2= 0,0093$ ) e per ACH ( $R^2=0,0061$ ). Non vi è correlazione tra l'età e il diametro delle piante nei siti ACL e ACH.

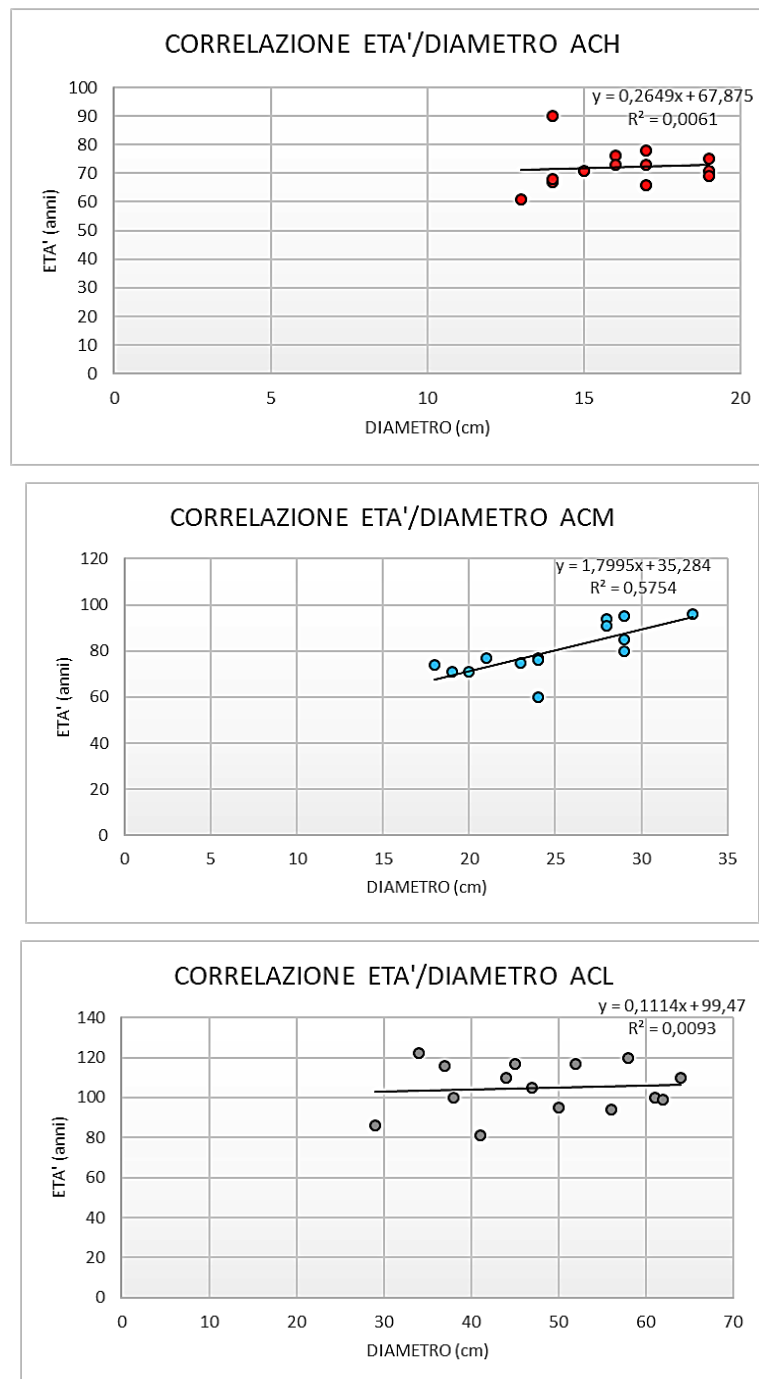


Fig. 3.1.5- Regressioni Età/Diametro degli individui di faggio nei tre plot

### 3.2 Dinamica di accrescimento radiale del faggio

#### 3.2.1 Dinamica di accrescimento nell'area di studio

Dalla tabella (Tab. 3.2.1) si può vedere come discreti valori di correlazione ( $R_{bar}$ ), indichino come i faggi, sottoposti a campionamento, si accrescano secondo dinamiche di popolamento. Dal valore di autocorrelazione AC si nota come la formazione dell'anello, dell'anno in corso, sia generalmente influenzato dalla formazione dell'anno precedente.

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;  $R_{bar}$ = correlazione media tra le serie individuali

Siti	Trees	L max (anni)	L media (anni)	Media (mm)	Stdv (mm)	Ac1	Ms (%)	Rbar
ACH	14	95	68	1.03	0.49	0.53	37.8	0.61
ACM	13	99	78	1.39	0.62	0.58	33,9	0.47
ACL	15	122	103	2.08	0.96	0.64	33,2	0.48

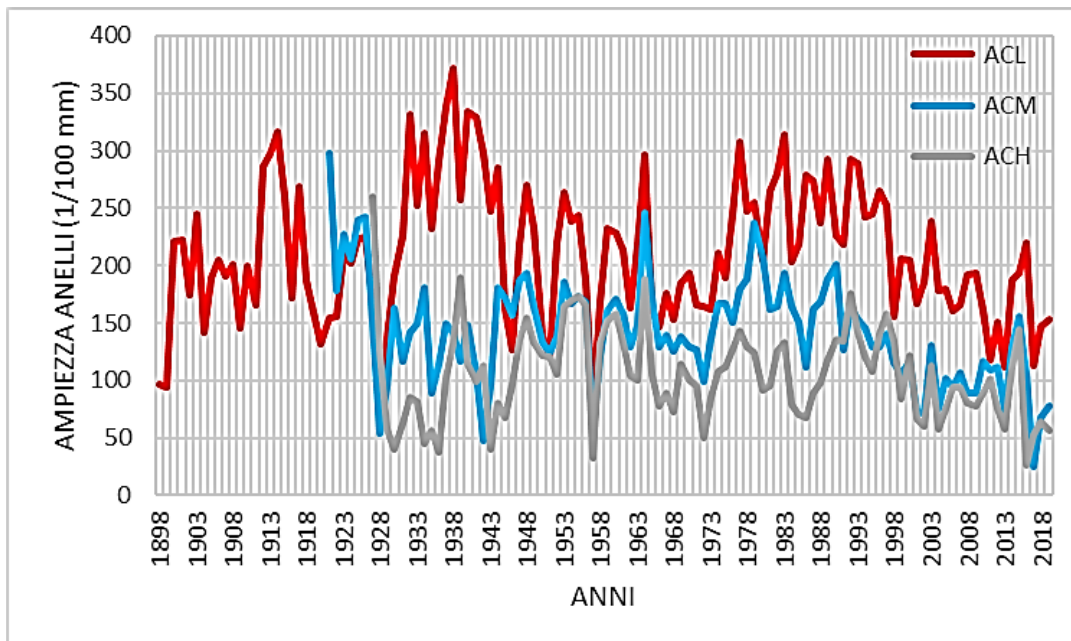


Fig. 3.2.1- Cronologie medie di ampiezze anulari di faggio delle tre ADS.

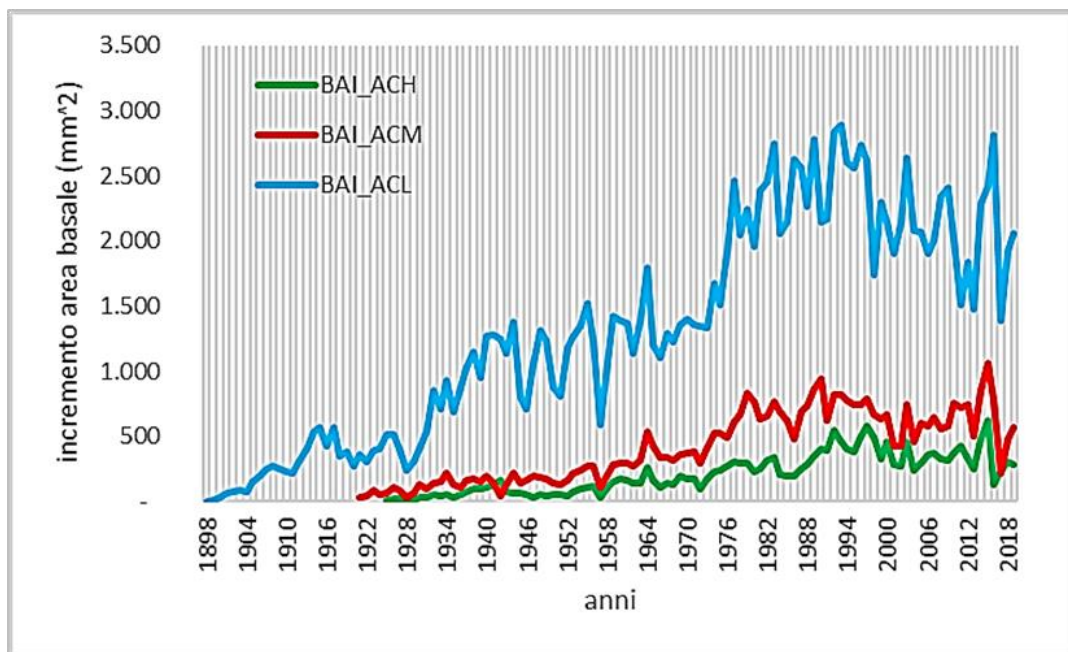


Fig. 3.2.2- Diagramma in cui sono riportati i valori BAI (Basal Area Increment)

Le serie (Fig. 3.2.1) riportate sono caratterizzate da una buona sincronizzazione, si notano infatti anni caratteristici in cui l'ampiezza degli anelli è risultata di molto superiore alla media o di molto inferiore in tutte e tre i plot. In ordine cronologico, si notano 5 picchi negativi, comuni ai tre siti, in presenza degli anni: 1957, 1962, 1965, 2001, 2013. Il più evidente, relativo all'anno 1957, come riportato più volte in bibliografia, è dovuto ad una perturbazione di notevole intensità, in arrivo dall'Irlanda, che colpì tutta la penisola italiana nelle giornate tra il 5 e il 7 maggio, arrecando ingenti danni ai raccolti. Alla fine di aprile ed i primi di maggio del '57 si registrarono temperature leggermente superiori alla media, temperature che in pochi giorni arrivarono a toccare i 0,0°C a causa della discesa di una massa gelida lungo tutta la Penisola. La perturbazione portò neve fino alla Basilicata, il gelo colpì duramente i raccolti di grano, di olive e di uva. (<http://www.lineameteo.it/era-l-8-maggio-1957-vt2134.html>). Quell'evento fu tanto anomalo e impervio che venne ricordato come:

*"Nei campi si era posata la brina come in gennaio, in collina tutti i germogli di uva ed olivo si erano gelati, mentre sul piano le coltivazioni di grano e foraggio sembravano distese di aghi di ghiaccio. A metà giornata il vento portò via del tutto le nuvole, lasciando scoperte intorno le punte dei monti imbiancate di neve (...). Il vento e la bufera avevano schiacciato le coltivazioni, creando enormi chiazze calpestate, come se un gigante si fosse divertito a fare le capriole sui campi, mentre i teneri grappolini di uva appena germogliati, ora scaldati dal sole, apparivano scuri ed ammosciati, come cotti. L'effetto del gelo era stato terribile."*  
Rina Gatti "Stanze vuote addio" 2003

Significativi sono i picchi in corrispondenza degli anni 2016 e 2017; il primo mostra una drastica riduzione dell'accrescimento legnoso per il sito a quota più elevata (ACH), mentre i

siti a quota minore (ACM, ACL) presentano picchi negativi molto significativi nell'anno 2017. Grazie all'analisi sull'incremento di area basale, è possibile notare come siano riportati gli stessi picchi negativi ma con intensità e linea di tendenza diversi per ogni sito. Il grafico (Fig. 3.2.2) mostra anche come siano strutturati i tre plot: nel sito ACL, quello che mostra una valori più elevati ed una pendenza di crescita maggiore, è presente una faggeta d'alto fusto, i restanti due plot, ACM e ACH, mostrano valori minori, dovuti alla presenza di cedui.

### 3.2.2 Dinamica di accrescimento nella Montagna dei Fiori.

L'analisi dendrocronologica comparativa sulle 2 cronologie disponibili per l'Appennino centrale, mette a confronto di dati relativi a 102 piante (Tab 3.2.2.1). La cronologia più lunga si ha per il sito Monte Acuto, ACU, (122 anni), la lunghezza media maggiore si ha per il sito Montagna Dei Fiori, MDF, (1,6 mm). I restati dati riportati in tabella non mostrano sostanziali differenze tra i due siti. L'unico dato che mostra una maggior differenza è quello relativo all'età, con una differenza di 16 anni a favore del sito ACU. Questo fatto è probabilmente dovuto alle caratteristiche del sito basso, ACH, che, essendo presenti piante d'alto fusto, è costituito da individui più vecchi.

Tab. 3.2.2.1 – Statistiche dendrocronologiche delle cronologie medie utilizzate come confronto con l'area di studio.

<i>Siti</i>	<b>N.</b>	<b>L max (anni)</b>	<b>L media (anni)</b>	<b>Media (mm)</b>	<b>Stdv (mm)</b>	<b>Ac1</b>	<b>Ms</b>	<b>Rbar</b>
<i>ACU</i>	42	122	83	1,5	0,69	0,58	34,96	0,52
<i>MDF</i>	60	106	68	1,6	0,70	0,58	32,21	0,59
<i>Tot</i>	102							

I due siti hanno in comune il picco negativo nell'anno 1957, tuttavia pare che il sito ACU abbia risentito la gelata tardiva del 5 maggio in modo molto più significativo rispetto al sito MDF. È possibile che la maggior vicinanza al mare, Mare Adriatico, del sito MDF abbia tamponato l'effetto della gelata mitigando maggiormente le temperature. Infatti mentre il sito MDF trova il suo inquadramento geografico nella catena eso-appenninica, il sito ACH lo trova nella catena endo-appenninica, ritrovandosi a beneficiare in minor misura dell'azione termoregolatrice del mare.

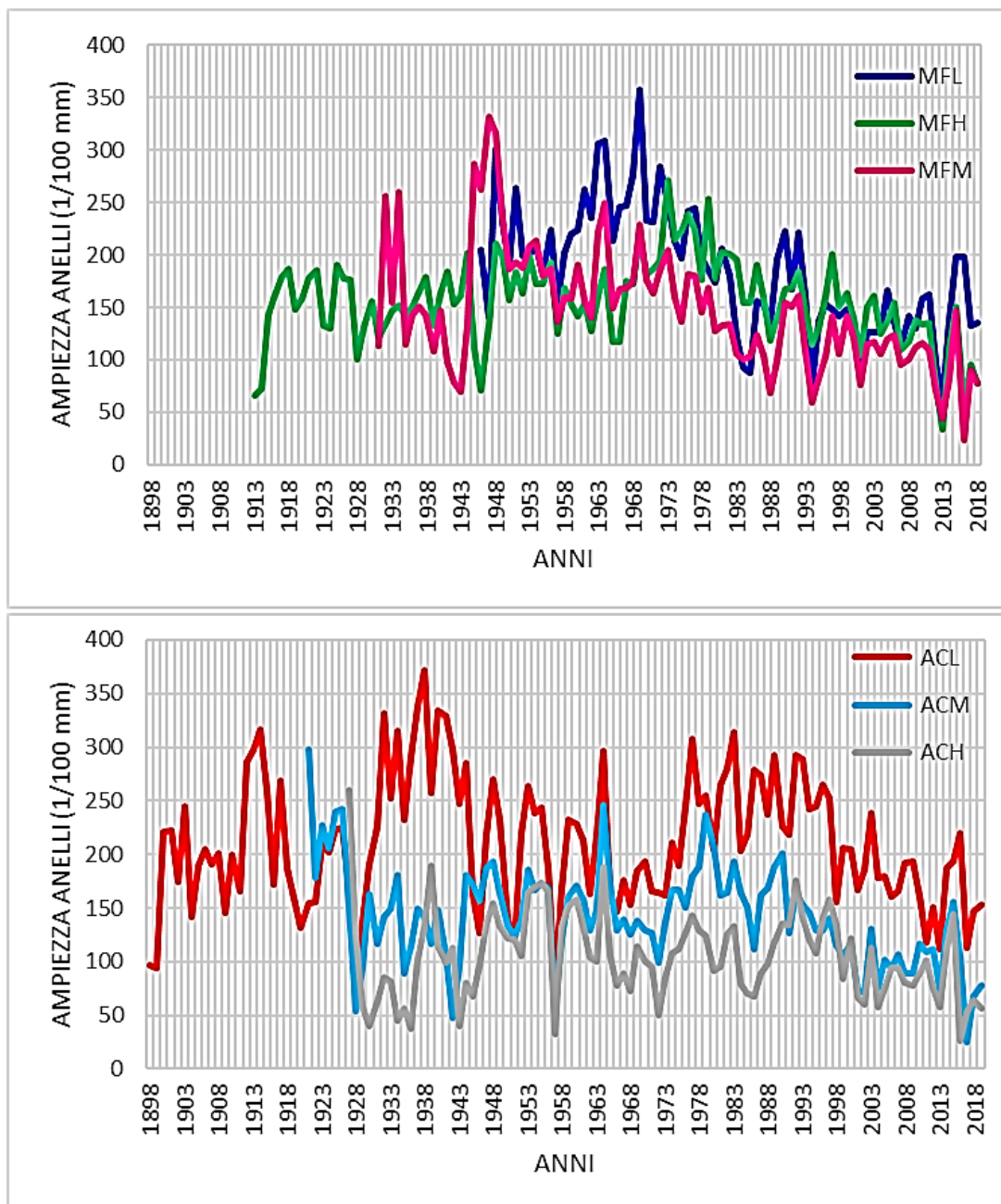


Fig. 3.2.2.1- Diagramma dendroclimatico relativo all'area MDF e ACU

Oltre all'anno 1957, anche il 2016 e il 2017 sembrano essere anni caratteristici, si noti infatti la presenza di picchi negativi in entrambi i siti. Per il 2016 troviamo una drastica diminuzione dell'ampiezza anulare, per il sito Montagna dei Fiori, in MFH e MFM, mentre per il sito Monte Acuto, troviamo picchi negativi solo nel sito alto ACH. Il 2017, invece, ha colpito il plot più basso della Montagna dei Fiori MFL, e i plot ACM e ACL del sito Monte Acuto.

È possibile ipotizzare una relazione tra le gelate avvenute in quei due anni caratteristici e la quota in cui sono presenti i 6 plot analizzati. Infatti, MFH, MFM e ACH, siti colpiti nel 2016,

trovano le loro quote rispettivamente a 1571 m, 1412 m e 1375 m, mentre quelli colpiti dal 2017, (ACM, MFL e ACL) trovano le loro quote a 1245 m, 1144m e 1080 m s.l.m.

Si può quindi affermare che la gelata del 2016 abbia colpito la fascia altitudinale maggiore delle due faggete prese in esame, e che il 2017, al contrario, abbia colpito la fascia più bassa.

### **3.3 Relazioni clima-accrescimento del faggio**

#### *3.3.1 Relazioni clima-accrescimento nell'area di studio*

Le tre cronologie di ACU presentano valori prevalentemente negativi alle alte temperature (Fig.3.3.1), evidenziano una tendenziale aversione all'aumento delle temperature. Aspetto normale, essendo la specie oggetto di studio una specie a carattere oceanico incline alle alte temperature. I valori negativi si manifestano prevalentemente nei periodi primaverili ed estivi dell'anno precedente lo sviluppo dell'anello. Il valore di correlazione negativo più basso si ha per il sito medio, ACM nel mese di agosto dell'anno precedente lo sviluppo, seguito subito dopo dal valore del sito più alto ACH per lo stesso mese di agosto. Il diverso comportamento del faggio lungo il gradiente altitudinale sembra evidente con effetti diretti sull'accrescimento dell'anno precedente lo sviluppo. Inoltre, è possibile affermare che la maggior sensibilità alle alte temperature si hanno nei periodi primaverili-estivi, legati a basse precipitazioni che portano periodi di elevata siccità, influenzando maggiormente l'accrescimento nell'anno precedente lo sviluppo. Gli effetti della siccità estiva si manifestano con il precoce ingiallimento delle foglie, più evidente nelle piante isolate e dominanti (Grasso, 1956; Cantiani, 1958). Risposte simili alle alte temperature, si hanno anche con le minime (Fig. 3.3.2) in cui si osservano prevalentemente valori di correlazione negativi ad eccezione del sito più basso che nel mese di maggio dell'anno di sviluppo presenta un valore positivo. I valori negativi più significativi si hanno per il sito ACH in corrispondenza dei mesi di maggio, luglio e agosto. Nel mese di agosto tutti e tre i siti riportano significative risposte negative, mentre per maggio e luglio solo i siti ACH e ACM riportano valori negativi.



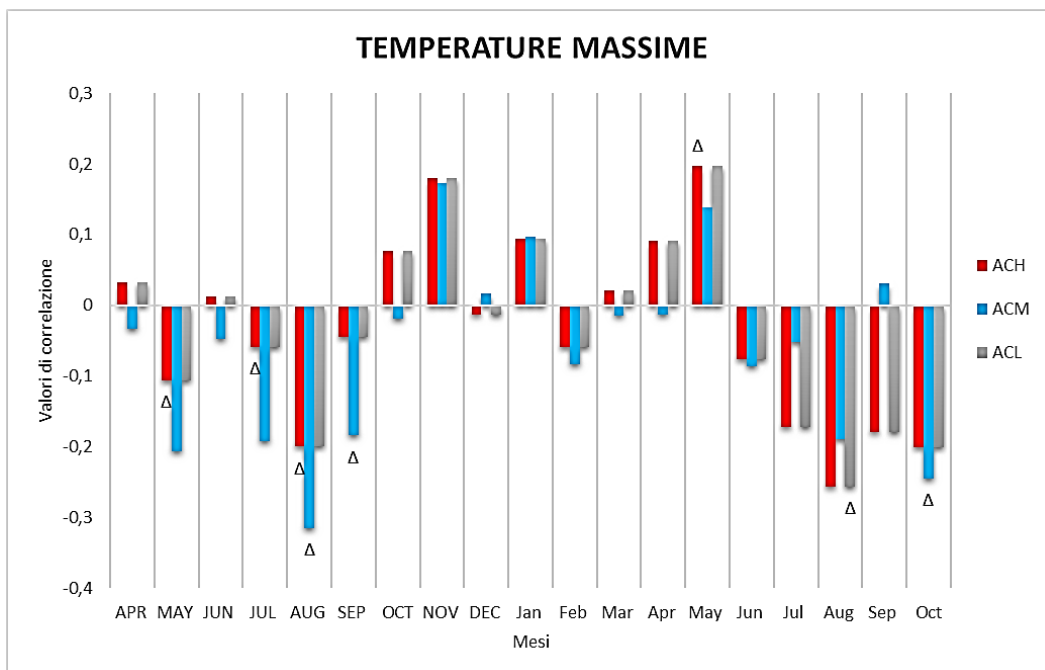


Fig. 3.3.1- Diagramma dendroclimatico delle Temperature massime (media delle massime) nel sito ACU; i triangoli indicano i valori di correlazione statisticamente significativi al 95% (intervallo dati climatici 1951-2019)

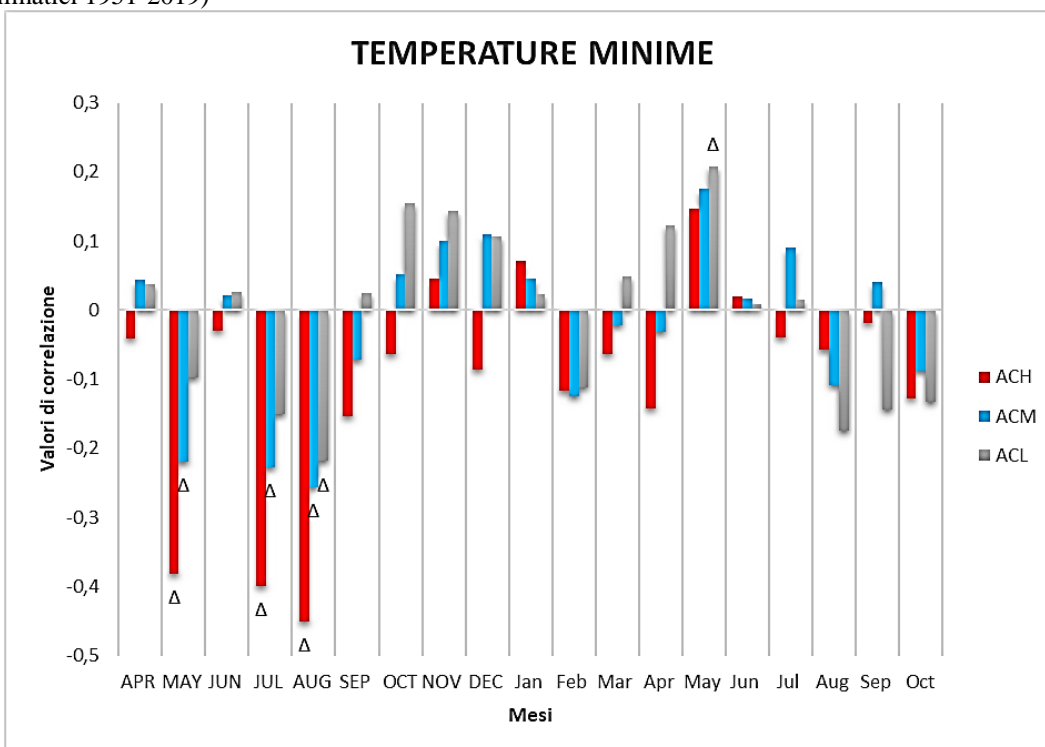


Fig. 3.3.2- Diagramma dendroclimatico delle Temperature minime (media delle minime) nel sito ACU; i triangoli indicano i valori di correlazione statisticamente significativi al 95% (intervallo dati climatici 1951-2019)

Il climodiagramma relativo alle precipitazioni è quello che riporta il numero più elevato di valori significativi che si mostrano prevalentemente positivi sia nell'anno antecedente la formazione dell'anello sia in quello in corso. Caratteristico ed evidente è il mese di maggio, in cui, nell'anno precedente lo sviluppo, mostra valori di correlazione positiva per entrambi i siti, mentre, per l'anno in corso di sviluppo, mostra valori negativi per gli stessi siti. Si noti anche elevate precipitazioni nei mesi estivi inducano il faggio ad un accrescimento maggiore nell'anno precedente lo sviluppo. È quindi possibile ipotizzare, osservando i dati climatici di Fonte Avellana, che i fattori che incidono positivamente sull'accrescimento siano rappresentati da temperature non troppo elevate combinate a precipitazioni abbondanti nei mesi estivi.

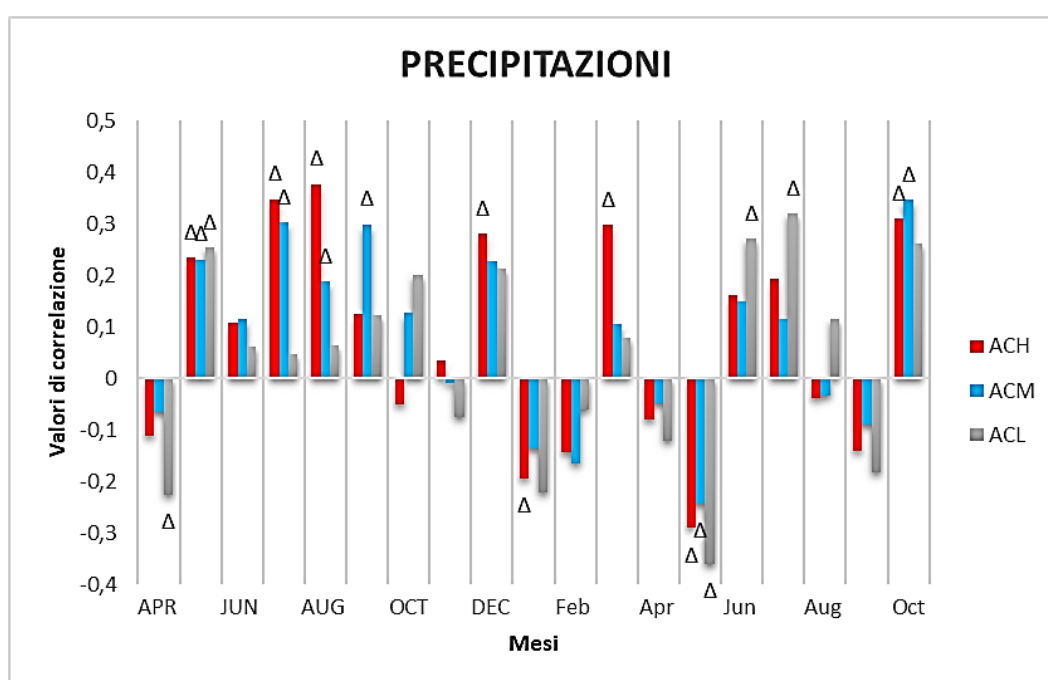


Fig. 3.3.3- Diagramma dendroclimatico delle precipitazioni nel sito ACU; i triangoli indicano i valori di correlazione statisticamente significativi al 95% (intervallo dati climatici 1951-2019)

### 3.3.2 Risposte nell'area Montagna dei fiori.

Confrontando le due aree dell'Appennino centrale si possono notare alcune analogie nelle risposte clima-accrescimento, tuttavia confrontando i diagrammi di ACU e MDF risultano anche alcune differenze. Si può ipotizzare che, in base alle analoghe risposte alle alte temperature (Fig. 3.3.2.1), i mesi estivi caratterizzati da temperature massime elevate inducano il faggio a produrre accrescimenti ridotti nell'anno precedente lo sviluppo. In entrambe le aree, i siti a risentire meno le alte temperature sono quelli a quota minore, rispettivamente MFL e ACL. Sempre nel mese di maggio, dell'anno di sviluppo, risulta una correlazione positiva in

MDF, per il sito medio, in ACU per il sito alto. In relazione alle loro quote, rispettivamente 1375 m s.l.m per ACH e 1412 m s.l.m. per MFM, è possibile ipotizzare che l'influenza delle alte temperature sia in funzione dell'altitudine.

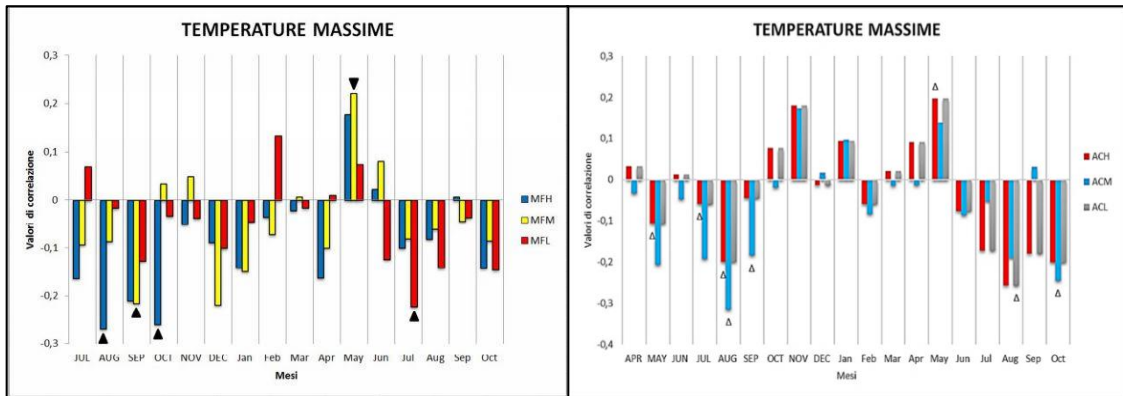


Fig. 3.3.2.1- Diagrammi dendroclimatici delle temperature massime nel sito MDF e ACU.

Per quanto riguarda le temperature minime, (Fig. 3.1.2) risultano più sensibili i siti dell'area Monte Acuto riportando 8 valori significativi contro i 3 valori della Montagna dei Fiori. Maggio, si ripresenta come mese caratteristico, in corrispondenza dell'anno di sviluppo, portando correlazioni positive in entrambe le aree. In MDF, il sito che più ne beneficia è il sito più alto, MFH, in ACU, risulta invece il sito più basso.

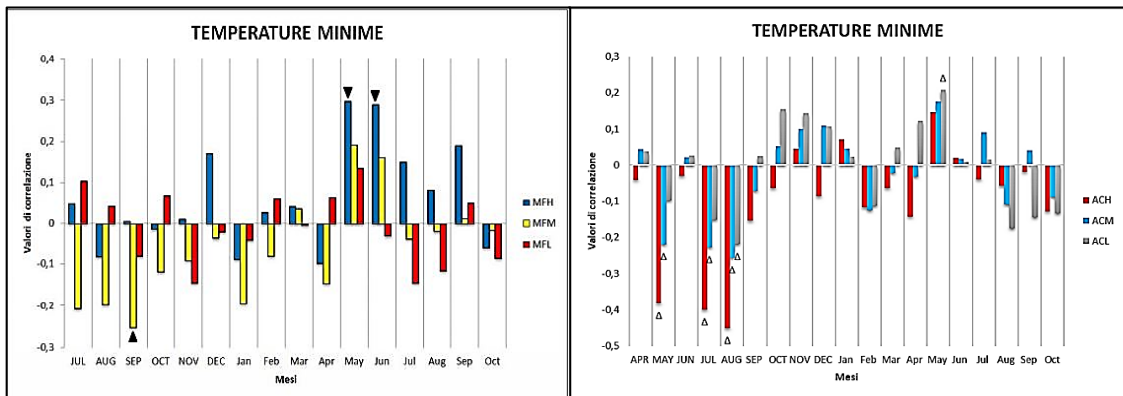


Fig. 3.3.2.2- Diagrammi dendroclimatici delle temperature minime nel sito MDF e ACU.

Anche per le precipitazioni (Fig. 3.3.2.3), i siti dell'area ACU mostrano un numero molto più elevato di risposte significative rispetto ai siti MDF. Si noti come in MFL le precipitazioni del mese di luglio, dell'anno di sviluppo, portino benefici agli accrescimenti degli anelli, fatto probabilmente dovuto alle caratteristiche di aridità del sito stesso. Anche nel sito basso ACL, sempre nello stesso mese, sono riportati valori positivi di correlazione. Altro aspetto evidente,

sono i valori di correlazione negativa nel mese di maggio, dell'anno di sviluppo, rilevati per entrambe le aree di studio. Tuttavia per MDF, sono il sito alto, riporta valori negativi, mentre per ACU, tutti e tre i siti riportano valori negativi.

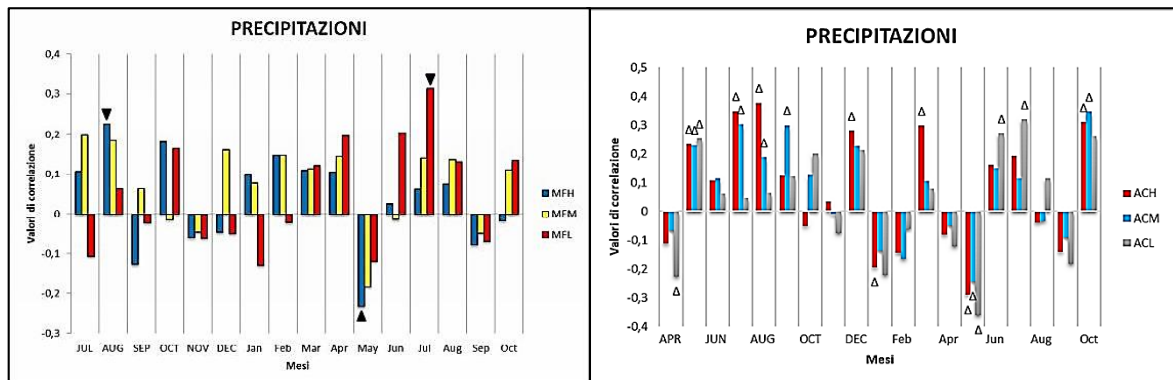


Fig. 3.3.2.2- Diagrammi dendroclimatici delle precipitazioni nel sito MDF e ACU.

Con questo confronto sono stati ottenuti risultati che confermano quanto riportato nella bibliografia preesistente. Di fatto, il faggio risulta essere una specie forestale altamente sensibile alle temperature del mese di maggio, indipendentemente dalla quota in cui è situato. Tuttavia la quota influisce sull'entità del fattore in considerazione, per esempio il sito più elevato, ACH, è l'unico a presentare valori di correlazione, nel mese di maggio dell'anno di sviluppo, di temperatura massima positivi. Questo carattere fa presupporre il fatto che, data la quota, maggio rappresenti l'inizio della stagione vegetativa (Di Filippo et al., 2007; Piovesan et al., 2005), riportando un valore di accrescimento nettamente superiore e significativo rispetto al mese precedente.

## CONCLUSIONI

I risultati emersi da questa ricerca consentono alcune considerazioni sulla resilienza del faggio agli eventi climatici. Le cronologie di faggio ACU mostrano un andamento piuttosto simile con alcuni anni caratteristici in comune, sia in termini positivi che negativi. Una buona sincronizzazione si hanno anche per le serie di MDF, con alcuni anni caratteristici uguali a MDF. Lievi differenze tra le serie delle due aree sono probabilmente dovute alla localizzazione delle stesse e da una quota superiore a MDF. Dalle analisi dendroclimatiche emerge che le precipitazioni del mese di maggio sono correlate negativamente, soprattutto a MDF, dove tutti e tre i siti mostrano una notevole sensibilità alle stesse. L'effetto negativo delle precipitazioni di maggio potrebbe essere dovuto alla sensibilità del faggio alla saturazione del suolo (Nielsen e Jørgensen, 2003), colpendo maggiormente il versante del Monte Acuto e in minor intensità dello della Montagna dei Fiori, area caratterizzata da una maggiore aridità. È probabile anche che l'aumento della nuvolosità provochi un minor apporto di energia radiante per i processi metabolici delle piante (Di Filippo et al., 2006). La faggeta a quota più elevata, nel sito ACH, è positivamente correlata alle alte temperature di maggio, carattere che conferma quanto scritto in bibliografia. Infatti, una correlazione positiva è dovuta molto probabilmente al fatto che la stagione di crescita a queste quote inizia alla fine di maggio (Dittmar et al., 2003) ed una temperatura più elevata, nello stesso mese, potrebbe essere utile per stimolare la riattivazione del cambio e per limitare i danni da gelate tardive (Dittmar et al., 2003). In bibliografia si legge come una severa gelata tardiva si verificò nella notte tra 25 e 26 nell'aprile 2016 interessando una vasta area forestale nel centro-sud Italia (D'Andrea et al., 2019). I risultati evidenziati dalle ultime serie di accrescimento, confermano quanto riportato in bibliografia. dai quali emerge che gli anni 2016 e 2017 hanno influito significativamente sull'accrescimento delle faggete appenniniche, limitandone fortemente lo sviluppo. Questo lavoro di tesi risulta essere un ulteriore contributo alla ricerca sulla sensibilità del faggio alle gelate tardive nell'area appenninica. Studi più dettagliati a livello anatomico e isotopico potrebbero confermare quanto risultato dalle analisi dendroclimatiche, fornendo ulteriori dati che possano spiegare la tendenza alla sensibilità tipica del faggio.

## BIBLIOGRAFIA

- Allegrezza, Marina, Edoardo Biondi, and Silvia Felici. "A phytosociological analysis of the vegetation of the central Adriatic sector of the Italian peninsula." *Hacquetia* 5.2 (2006).
- Allevato, Emilia, et al. "Canopy damage by spring frost in European beech along the Apennines: effect of latitude, altitude and aspect." *Remote Sensing of Environment* 225 (2019): 431-440.
- Aussenac G. (1981), **Influence du hêtre sur le cycle de l'eau et sur le microclimat**, in **AA.VV.** (1981), *Le Hêtre*, INRA éditions, Parigi.
- Bascietto, M., et al. "Estimating late spring frost-induced growth anomalies in European beech forests in Italy." *International journal of biometeorology* 63.8 (2019): 1039-1049.
- Bernetti G. (1995), *Selvicoltura speciale*, UTET, Torino. Lausi D., Pignatti S. (1973), «Die Phänologie der europäischen Buchenwälder auf pflanzenso - zologischer Grundlagen. *Phytocoenologia* 1» (1): 1-63, in Bernetti G. (1995), *Selvicoltura speciale*, UTET, Torino
- Biondi E., Carni A., Vagge I., Taffetani F. & Ballelli S., 2001. **The vegetation of the Trifolio medii-Geranietea sanguinei Muller 1962 class in the central part of the Apennines (Italy and San Marino)**. *Fitosociologia*, 38(1): 55-65.
- Biondi, E., et al. "The syntaxonomy of the mesophilous woods of the Central and Northern Apennines (Italy)." *Fitosociologia* 39.2 (2002): 71-93.
- Biondi, Franco, and Kishor Waikul. "DENDROCLIM2002: A C++ program for statistical calibration of climate signals in tree-ring chronologies." *Computers & geosciences* 30.3 (2004): 303-311.
- Calandra R., 1992. "indagini pedologiche nel comprensorio del Monte Catria (Appennino Umbro-Marchigiano)". *Consorzio Nazionale per la Valorizzazione delle Risorse Forestali e delle Aree Protette Frontone (PU)*.
- Carpaneto, G. "Aspetti faunistici." **Le Faggete Appenniniche. Avanguardie e Relitti di Foresta Continentale**. *Quaderni Habitat* 15 (2006): 71-126.

- Caudullo, Giovanni, Erik Welk e Jesús San-Miguel-Ayanz. **"Mappe corologiche delle principali specie legnose europee"**. Dati in breve 12 (2017): 662-666.
- D'Andrea, Ettore, et al. **"Winter's bite: beech trees survive complete defoliation due to spring late-frost damage by mobilizing old C reserves."** New Phytologist 224.2 (2019): 625-631.
- Di Filippo, Alfredo, et al. **"Bioclimate and growth history affect beech lifespan in the Italian Alps and Apennines."** Global change biology 18.3 (2012): 960-972.
- Di Filippo, Alfredo, et al. **"Bioclimatologia del faggio (*Fagus sylvatica* L.) nelle Alpi Orientali: segnali climatici spaziali e altitudinali identificati attraverso una rete ad anello."** Journal of Biogeography 34.11 (2007): 1873-1892.
- Ebone, A., et al. **"Il Faggio. Conoscenze e indirizzi per la gestione sostenibile in Piemonte."** (2012): 101-111.
- Frank D, Reichstein M, Bahn M, Thonicke K, Frank D, Mahecha MD, Smith P, van der Velde M, Vicca S, Babst F, Beer C, Buchmann N, Canadell JG, Ciais P, Cramer W, Ibrom A, Miglietta F, Poulter B, Rammig A, Seneviratne SI, Walz A, Wattenbach M, Zavala MA, Zscheischler J (2015) **Effects of climate extremes on the terrestrial carbon cycle: concepts, processes and potential future impacts.** Glob Chang Biol 21:2861–2880.
- Grasso V. (1956), **«Danni da siccità su faggio in alto Molise»**, XI, in Bernetti G. (1995), *Selvicoltura speciale*, UTET, Torino
- Grossoni P., Bussotti F. (2003), **«Il Faggio *Fagus sylvatica* L. Fagaceae»**, in Sherwood, n. 90, Compagnia delle Foreste, Arezzo.
- Hansen, James, et al. **"Cambiamento di temperatura globale"**. Atti della National Academy of Sciences 103.39 (2006): 14288-14293.
- IPLA - REGIONE MARCHE, 2001. **I tipi forestali delle Marche. Inventario e carte forestale della Regione Marche.** Ancona
- Macias M., Andreu L., Bosch O., Camarero J.J., Gutiérrez E., 2006 – **Increasing aridity is enhancing silver fir (*Abies alba* Mill.) water stress in its southWestern distribution limit.** *Clim. Change*, 79 (3): 289- 313.
- Magri, Donatella. **"Modelli di diffusione post-glaciale e l'estensione dei rifugi glaciali del faggio europeo (*Fagus sylvatica*)."** Journal of Biogeography 35.3 (2008): 450-463.
- Malandra, F., Vitali, A., Urbinati, C., & Garbarino, M. (2018). **70 years of land use/land cover changes in the Apennines (Italy): a meta-analysis.** *Forests*, 9(9), 551.

- Nielsen, Christian Nørgård, and Finn Vanman Jørgensen. "**Phenology and diameter increment in seedlings of European beech (*Fagus sylvatica* L.) as affected by different soil water contents: variation between and within provenances.**" *Forest Ecology and Management* 174.1-3 (2003): 233-249.
- Nolè, Angelo, et al. "**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.**" *Annals of forest science* 75.3 (2018): 83.
- Nolè, Angelo, et al. "**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.**" *Annals of forest science* 75.3 (2018): 83.
- Packham, John R., et al. "**Biological Flora of the British Isles: *Fagus sylvatica*.**" *Journal of ecology* 100.6 (2012): 1557-1608.
- Piovesan, Gianluca, et al. "**Spatial and altitudinal bioclimatic zones of the Italian peninsula identified from a beech (*Fagus sylvatica* L.) tree-ring network.**" *Acta oecologica* 27.3 (2005): 197-210.
- Scarascia-Mugnozza, Giuseppe, et al. "**Foreste del Mediterraneo: lacune nella conoscenza e necessità di ricerca**". *Ecologia e gestione forestale* 132.1 (2000): 97-109.
- Ubaldi D. & Speranza M., 1985. **Quelques hêtres du Fagion et du Laburno-Ostryon dans l'Apennin septentrional (Italie)**. *Doc. Phytosoc. N.S. IX*: 51-71.
- Ubaldi, D., et al. "**Sintassonomia dei boschi caducifogli mesofili dell'Italia peninsulare.**" *Not. Fitosoc* 23 (1987): 31-62.
- Vitali, Alessandro, et al. "**Effects of natural and anthropogenic drivers on land-cover change and treeline dynamics in the Apennines (Italy).**" *Journal of Vegetation Science* 29.2 (2018): 189-199.