



Dipartimento di Tecnologie, Ingegneria e Scienze dell'Ambiente e delle Foreste (DAF)

Dottorato di ricerca in Scienze e Tecnologia per la Gestione Forestale ed Ambientale

**METODI INTEGRATI PER LA VALUTAZIONE DELLE CARATTERISTICHE
TECNOLOGICHE DEL LEGNO DI CASTAGNO DI DIVERSE PROVENIENZE NELLA
REGIONE LAZIO. ANALISI FISICO-CHIMICHE-MECCANICHE E XILOGENESI.**

Settore scientifico-disciplinare AGR/06.

Coordinatore del corso
Gianluca Piovesan

Tutor
Manuela Romagnoli

Dottorando
Stefano Spina

**Dedicato a tutti coloro che amano gli alberi
e lottano per proteggerli**

Gli alberi sono lo sforzo infinito della terra per parlare al cielo in ascolto.

(Rabindranath Tagore)

INDICE

1 PREMESSA	1
2 I SITI OGGETTO DI STUDIO	4
3 CAMPIONAMENTO E CARATTERIZZAZIONE DEL MATERIALE DI STUDIO	14
4. LA CIPOLLATURA	21
5. CARATTERISTICHE FISICO-MECCANICHE	49
6: LA LIGNINA NEL LEGNO DI CASTAGNO	115
7. XILOGENESI	140
8. UTILIZZO DEL TANNINO DI CASTAGNO COME ADESIVO NEI PANNELLI DI PARTICELLE	170
CONSIDERAZIONI FINALI	185

1 PREMESSA

Il legno di castagno ha da sempre rappresentato la realtà forestale di maggiore interesse economico nel Lazio, non solo come attività legata alle tradizioni locali ma anche per la reale vocazione produttiva del territorio relativamente a questa specie. Il legname da opera nel Lazio deriva prevalentemente da soprassuoli governati a ceduo semplice o matricinato, dal quale si ricavano assortimenti destinati alla produzione di paleria di diverse dimensioni, travature e assortimenti in genere per uso strutturale e, sebbene in minor quantità, tavole.

Il castagno ha delle caratteristiche tecnologiche del legno che lo rendono molto apprezzato per molteplici finalità: è infatti idonea per pavimentazioni, infissi, mobili, utensili di varia forma e destinazione d'uso, doghe per botti. Barriere fonoassorbenti, mobili da giardino, tutori per produzioni vivaistiche e pellets, hanno ulteriormente ampliato il panorama dei suoi utilizzi così come la possibilità di essere trasformato nei pannelli lamellari di diverso tipo WSP o Glulam (Cielo *et al.*, 1995; Tani *et al.*, 2003, Moschi *et al.*, 2006).

I mutamenti sociali ed economici agli inizi del Novecento hanno visto un graduale declino della cultura montana e di tutti gli aspetti ad essa legati; anche l'utilizzo del castagno ha subito una crisi non solo nelle utilizzazioni ma anche nelle modalità di gestione. Materiali sintetici hanno gradualmente sostituito l'utilizzo del legno e lo spopolamento delle campagne ha ristretto l'areale di coltivazione e gestione della specie rimanendo essa confinata ad un'economia di tipo montana.

A partire dagli anni '90 è cominciata un'inversione di tendenza legata ad un rinnovato interesse per il legno in generale, materiale eco-compatibile per eccellenza, e per il castagno in particolare. All'aumento della domanda, le imprese locali non sono riusciti a far fronte nella quantità ma anche nella qualità del prodotto a causa dei difetti tecnologici del legno e di carenze dimensionali che ne limitano fortemente l'impiego. Si è così fatto ricorso all'importazione di materiale soprattutto dalla Francia e più recentemente anche dall'Est Europeo.

A partire dagli ultimi anni a causa anche della crisi economica globale e dell'avvento di nuove patologie viene segnalata dagli operatori del settore una nuova fase di recessione della domanda; il legno già mercato di nicchia, diviene ancor più inaccessibile a molte fasce economiche della popolazione. Tuttavia le previsioni sono ottimistiche nella ripresa dei consumi soprattutto in vista della necessità di una doverosa valorizzazione delle risorse locali, legate alla necessità di incrementare le economie nazionali (limitando le importazioni) e di creare lavoro stabile nei territori.

Molti sono gli elementi che fanno ritenere nella opportunità di svolgere questa ricerca, sia dal punto di vista esclusivamente scientifico sia per il ruolo socio-economico che il castagno svolge nell'economia laziale. La specie ha notevoli potenzialità sotto il profilo produttivo, in particolare nei Monti Cimini si raggiungono incrementi di 20 m³/ha, arrivando anche a 21,1 m³/ha per età di 15-16 anni (Cantiani, 1965 in Tani *et al.*, 2003). Il legno ha elevate caratteristiche tecnologiche ed estetiche che lo rendono molto apprezzato dal mercato; inoltre la sua naturale durabilità consentono un ampio utilizzo nelle costruzioni di edifici, inoltre nuove applicazioni industriali legate ai tannini sono tuttora in sperimentazione e lasciano sperare nell'apertura di nuove economie e mercati.

La specie tuttavia ha numerosi limiti e problematiche sia selvicolturali che di ordine fitosanitario. La cipollatura innanzitutto limita più di ogni altro difetto tecnologico le possibilità di utilizzo del

legno, mentre le avversità patologiche mettono in seria discussione persino la sopravvivenza della specie.

Ciò nonostante lo stato dell'arte della ricerca fa ritenere che alcune difficoltà possano essere superate e che sia possibile intraprendere un percorso articolato di valorizzazione della materia prima.

L'obiettivo generale della ricerca è quello di aumentare le conoscenze sul castagno al fine di conoscere la reale potenzialità tecnologica dei differenti bacini produttivi della specie nella regione Lazio e dunque fornire elementi utili per l'adozione di decisioni di carattere selvicolturale, ma anche di prospettare impieghi alternativi nell'ambito dell'innovazione tecnologica che possano tener conto delle nuove potenzialità per l'utilizzo razionale della biomassa non solo per fini energetici. È necessario individuare sotto il profilo macroeconomico le zone in cui è possibile e conveniente esaltare la vocazione produttiva della specie, incentivando le attività delle imprese di prima e seconda trasformazione.

Tale obiettivo generale passa attraverso un sistema integrato di indagini che consentano di analizzare a tutto tondo i vari aspetti che interessano la qualità del legno. La tesi è stata articolata nelle seguenti fasi

1 Studio della cipollatura

Innanzitutto è stato analizzato il difetto della cipollatura per meglio caratterizzarlo per mapparne la presenza nei diversi comprensori produttivi e per prospettare delle soluzioni che possano ridurre l'impatto sul valore economico della specie. Questa parte della ricerca mette in luce aspetti poco noti del difetto delineando le caratteristiche e le diverse tipologie di cipollatura che spesso è il risultato di vicissitudini colturali complesse. Lo studio della cipollatura ha permesso inoltre di confrontare quali siti nella regione Lazio siano maggiormente a rischio e quali parametri strutturali e dendrometrici relativi a polloni matricine come diametro ed età possano influenzare differenze tra polloni e matricine.

2. Caratterizzazione fisico-meccanica

Un altro importante aspetto della ricerca è rappresentato dallo studio delle caratteristiche fisico-meccaniche del legno di castagno. È stata analizzata la variazione delle proprietà del legno nelle diverse aree della regione Lazio, in relazione anche agli accrescimento, al diametro o all'età degli alberi. Inoltre è stato osservato come esse variano all'interno del fusto e l'influenza del regime selvicolturale.

3. Xilogenesi

Un altro aspetto della ricerca ha considerato l'evoluzione dell'anello legnoso durante la stagione vegetativa. Lo studio della xilogenesi ha un'importanza notevole per chiarire molti aspetti dell'ecologia della specie. Le indagini effettuate durante questo lavoro sono state effettuate per due anni consecutivi in un sito dei Monti Cimini sugli allievi rilasciati dopo il taglio di fine turno nella stagione silvana 2006-2007 e 2007-2008. È stato possibile analizzare la formazione dell'anello legnoso ed iniziare ad ipotizzare i fattori ambientali che influenzano l'accrescimento durante la stagione vegetativa.

Lo studio della xilogenesi ha consentito di identificarne il ruolo della specie come bioindicatore ambientale, anche in un'ottica di rete, per la conoscenza dei cambiamenti climatici globali, e inoltre di indagare la genesi della cipollatura in quelle piante appartenenti a ceppaie che presentavano un'alta percentuale del difetto.

4. Analisi chimiche

Infine lo studio sul legno di castagno è stato completato dalle analisi chimiche relative alla lignina: è stata misurato il suo quantitativo totale e la sua composizione (tenendo principalmente in considerazione il suo contenuto di guaiacolo e siringolo); sono state misurate le differenze tra i diversi comprensori territoriali ed è stata valutata la sua influenza sulle caratteristiche fisico-meccaniche e sul difetto della cipollatura.

Le indagini chimiche hanno preso in considerazione due classi d'età 6-10 anni e 11-15 anni e le differenze tra di esse.

5. Innovazione tecnologica.

Sono state eseguite i primi test per l'uso del tannino come adesivo nei pannelli in legno.

La ricerca è stata condotta con lo scopo di:

- 1) Accertare le eventuali differenze nella qualità del legno in relazione ai comprensori di provenienza del materiale. Nel caso specifico la qualità del legno viene intesa sia nelle caratteristiche fisico-meccaniche e chimiche sia nell'incidenza ed estensione del difetto della cipollatura.
- 2) Verificare le correlazioni tra la rapidità di accrescimento e le caratteristiche tecnologiche, chimiche del legno e presenza ed incidenza del cipollatura.
- 3) Evidenziare se ad un possibile aumento dell'età dei popolamenti forestali, al fine di ottenere assortimenti di maggiori dimensioni, corrisponda una variazione delle caratteristiche fisico-meccaniche del legno ovvero un diverso rischio nell'incidenza della cipollatura.
- 4) Iniziare a testare il ruolo della specie come bioindicatore ambientali con i moderni sistemi di analisi della xilogenesi, al fine di iniziare a contribuire anche a delle ipotesi sempre più puntuali sulla cause che inducono la cipollatura in relazione agli stress ambientali.
- 5) Verificare il ruolo della lignina sulla qualità del legno e la sua correlazione con l'età delle piante

Le implicazioni sono notevoli ed incidono nella normativa tecnica, nelle strategie di sviluppo selvicolturali e tecnologio-industriali.

2 I SITI OGGETTO DI STUDIO

Lo studio è stato effettuato su polloni e matricine di castagno prelevati da 8 siti, del territorio laziale appartenenti a 4 aree a elevata vocazione produttiva della regione: Monti Cimini, Monti Sabatini, Castelli Romani e Monti Lepini. La tabella- 2.1 Sintetizza le informazioni stazionali dei diversi siti analizzati. Valle Troscone avendo delle caratteristiche colturali differenti è stato separato dagli altri siti e le informazioni selvicolturali e stazionali sono riportate in tabella2.2

Tab. 2.1 caratteristiche stazionali e dendrometriche delle diverse aree di indagine

Cimini Mountains					Sabatini Mountains				Castelli Romani				Lepini Mountains	
Pian dei Fraticelli		San Martino			Cadutella		Rocca Romana		Valle Ninfa		Cavalleria		Bassiano	
Altitude (m)	850	700			300		450		300		330		480	
Slope	27%	28%			13		20		51		30		15	
Exposure	North	East			East-West		West		North- N-East		North		North-East	
Basal Area /ha (m ² /ha)	39,74	35,3			-		32,45		50		-		18	
Stock/ha (m ³ /ha)	312,54	302			197		257		569		-		320	
Coppice shoots diameter (cm)	20,5	19			16		22				18		13	
Standards diameter (cm)	-	28			29		26		23		32		18	
Number stump /ha.	374	384			-		557		420		-		473	
	Shoots	Standards	Shoots	Standards	Shoots	Standards	Shoots	Standards	Shoots	Standards	Shoots	Standards	Shoots	Standards
Height (m)	19	21	18	20	13	11.8	13	14	20	21	17	-		15
Number trees/ha.	1273	40	1103	39	-	-	1360	60	1120	60	-	-	1680	80
Age	27	47	23	44	23	41	25	40	19-36		20	32	17	34-46

Tab. 2.2 caratteristiche stazionali e dendrometriche del sito di Valle Troscone nei Monti Lepini

Valle Troscone		
Altitude	700	
Slope	15%	
Exposure	West	
	Cestnut	Pine
Height (m)	21,2	21
Basal Area /ha (m ² /ha)	13,6	37,5
Stock/ha (m ³ /ha)	126	363,5
Diameter coppice shoots- trees (cm.)	30	27
Diameter standards- trees (cm.)	43,5	
Number stump trees/ha.	42	622
Age	42	39
	Shoots	Standards
Height (m)	20	22,4
Number trees/ha.	170	28

MONTI SABATINI

I monti Sabatini sono situati a circa 32 km a Nord-ovest di Roma e costituiscono un' area collinare di altitudine piuttosto contenuta, originatasi sull'antico complesso del vulcano Sabatino, del quale i laghi di Bracciano e di Martignano costituiscono gli antichi crateri in tali aree il castagno vegeta in ottime condizioni, vista la capacità del lago di mitigare i climi

invernali e di mantenere l'atmosfera circostante sempre umida anche durante l'estate. I due siti scelti all'interno del comprensorio sono località *Cadutella*, presso il comune di Bracciano e *Monte di Rocca Romana*, nel comune di Trevignano Romano.

Cadutella.

La zona soggetta a taglio è governata a ceduo matricinato, è costituita da un'unica superficie di 41 ha, di forma prevalentemente allungata e orientata lungo la direzione Est-Ovest.

L'area è caratterizzata da pendenze intorno al 10% con massimi del 15%, portando la quota dai 200 m s.l.m. del punto più basso ai 350 m s.l.m. di quello ad altitudine maggiore, con una variazione altimetrica di 150 m.

Il volume medio annuo di precipitazioni che interessano il sito è compreso tra gli 800 mm e 1100 mm, durante il periodo estivo si evidenzia una leggera aridità. La temperatura media annua dell'area oscilla tra i 13 °C e i 15 °C, con un periodo freddo caratterizzato da una temperatura media intorno ai 10 °C, protratto per un periodo di 3-4 mesi. Episodi di dissesto idrogeologico sono praticamente assenti, in quanto gli eventi piovosi che interessano l'area sono generalmente di media intensità.

Il terreno, molto fertile è caratterizzato da un pH leggermente acido a causa dell'origine vulcanica, presenta una tessitura sciolta, quindi dotato di ottima capacità drenante che lo rende fresco e non asfittico: la profondità del suolo varia leggermente aumentando da monte verso valle, mentre la sua struttura geologica, piuttosto omogenea, è composta da lave tefritiche e fenolitiche grigie, con tufi biancastri presenti in quantità ridotte.

Per quanto riguarda le caratteristiche vegetazionali dell'area, il soprassuolo è composto e da ceduo matricinato di castagno (*Castanea sativa* Mill.), con sostituzioni saltuarie di un soprassuolo classificabile come "ceduo misto", costituito da specie minori come il carpino nero (*Ostrya carpinifolia* Scop.), aceri (*Acer* sp.) e querce (*Quercus* sp.); queste formazioni sono localizzate in aree in cui il terreno si fa meno profondo, a causa di affioramenti della matrice rocciosa. Sia i polloni che le matricine di castagno, sono in stato vegetativo complessivamente ottimale: tali piante sono dotate infatti di buon portamento. La situazione fitosanitaria è buona. L'età del soprassuolo al momento del taglio (2007) è di 21 anni: l'ultima utilizzazione risale al 1986/1987.

Rocca Romana

Il secondo sito oggetto di studio è situato a Nord del comune di Trevignano Romano, sul Monte di Rocca Romana. Le informazioni di seguito riportate sono state ricavate dal "Piano d'intervento di taglio colturale di fine turno sul lotto boschivo in loc. *Rocca Romana*" riguardante la stagione 2006/2007. L'area soggetta all'intervento ha un'estensione di 10 ha.

L'area sottoposta ad utilizzazione ha un'altitudine compresa tra i 390 m s.l.m. e i 500 m s.l.m, con un dislivello di 110 m., le cui pendenze variano dal 10% al 30% l'esposizione del versante in cui si trova il bosco ceduo in esame è ad Ovest. La temperatura media annua è di 15 °C, la media del mese più freddo (Gennaio) è di 4 °C, mentre la media del mese più caldo (Agosto) è di 28,5 °C; la durata del periodo freddo, con temperature medie inferiori ai 19 gradi, è di 3 – 4 mesi. Fenomeni di temperature eccezionalmente basse nei mesi autunnali sono rari e poco

incidenti, mentre gelate tardive primaverili (Marzo e Aprile) sono frequenti e spesso dannose. Le precipitazioni medie annue sono stimate intorno ai 1012 mm, la precipitazione media nel mese più piovoso (Novembre) è di 159 mm, mentre quella media del mese più arido (Luglio) è di 17 mm. Fenomeni di precipitazioni nevose sono rari e concentrati nei mesi di Gennaio e Febbraio; il manto nevoso non è mai spesso né duraturo. L'area è quindi caratterizzata da una piovosità abbondante, con distribuzione irregolare durante il corso dell'anno e aridità estiva ridotta ai soli mesi di Luglio e Agosto.

La composizione litologica dell'area in esame appare sostanzialmente simile a quella analizzata per il sito di Cadutella: i due siti sono entrambi ubicati nel comprensorio dei monti Sabatini, pertanto i loro suoli condividono la stessa origine vulcanica ed i medesimi valori di profondità, fertilità e pH.

L'area sottoposta a taglio è governata a ceduo matricinato: la specie dominante è il castagno (*Castanea sativa* Mill.) le altre specie presenti nel popolamento (esse sono relegate al piano dominato e compaiono in maniera sporadica e discontinua singolarmente o in piccoli gruppi) sono l'acero opalo (*Acer obtusatum* W.), il faggio (*Fagus sylvatica* L.), il carpino nero (*Ostrya carpinifolia* Scop.) e il melo selvatico (*Malus sylvestris* Miller). L'età media del soprassuolo al momento dell'intervento (anno 2005/2006) è di 25 anni. Dal punto di vista fitosanitario, si rileva nella particella la presenza del cancro corticale.

CASTELLI ROMANI

Velletri - Cavalleria

Il sito oggetto di studio ricade all'interno del comune di Velletri, nella provincia di Roma, a circa. 40 km dalla capitale.

L'area è piuttosto piovosa, con 1239 mm medi di precipitazioni annuali. I venti carichi di umidità provenienti da sud-ovest incontrano la catena del Monte Artemisio scaricando tutta la pioggia su Velletri, lasciando al versante nord dei Colli Albani nubi sterili.

Il territorio di Velletri si estende a cavallo di due zone ben distinte: la parte settentrionale è posta sulle propaggini meridionali del sistema dei Colli Albani; la parte meridionale è invece ai margini dell'Agro Pontino.

Secondo la classificazione data dal Servizio Geologico d'Italia, buona parte del territorio è composto da ovvero da paleosuoli; il resto è in prevalenza composta da suoli di lapilli di vario colore distintamente stratificati con intercalazioni cineritiche, zone talora argillificate, ricche di minerali femici isolati, e abbondante leucite analcimizzata.

Dal sito di Velletri - Cavalleria sono stati prelevati 35 topi di età compresa tra i 19 e i 21 anni, appartenenti al lotto "Cavalleria".

L'altitudine del lotto varia ha un'altitudine media di 330 m.s.l.m, con una pendenza media del 30% e con esposizione prevalente Nord.

Per quanto riguarda le caratteristiche geopedologiche il terreno risulta privo di affioramenti rocciosi. Il suolo permeabile è costituito da un substrato tendenzialmente acido, con lettiera decomposta e una fertilità della stazione media in relazione alla morfologia e alla matrice geologica.

Dal punto di vista selvicolturale la superficie individuata è rappresentata da un ceduo matricinato di castagno , con la presenza di carpino bianco (*Carpinus betulus* L.)

Il sito di Cavalleria si caratterizza per la presenza di un soprassuolo arboreo in buone condizioni fitosanitarie e vegetative a struttura regolare e con un grado di copertura piuttosto uniforme, compreso mediamente tra il 70%-80%.

Le piante presentano un buon portamento e uno buon sviluppo vegetativo. Le ceppaie non presentano degrado fitosanitario e abbandono colturale: le condizioni generali del bosco garantiscono un rinnovo naturale ed efficiente. Il soprassuolo forestale è costituito da circa 80 matricine/ha. Per ogni ceppaia risultano in media 2-3 polloni.

Per quando riguarda le caratteristiche dendrometriche del lotto oggetto di studio, è stato riscontrato per il soprassuolo arboreo un diametro medio di 18 cm ed un'altezza media di 17 m

Valmontone – Valle Ninfa

Il sito oggetto di studio è situato nel territorio del comune di Valmontone, nella provincia di Roma.

Il comune di Valmontone sorge su un colle tufaceo, a 303 m sul livello del mare, inserito in un sistema orografico formato da piccole valli, e modesti rilievi. Il territorio, compreso nel bacino idrografico dell'Alta Valle del Sacco, è ricco di verde proprio grazie alla presenza del fiume vicino e delle numerosi fonti d'acqua: il sottosuolo è inoltre ricchissimo di acque e falde freatiche.

Nonostante la modesta altitudine, che definisce il territorio di "bassa collina", il clima è influenzato dalla presenza di valli strette che incanalano aria dal mare: Valmontone ha pertanto un clima di tipo oceanico, freddo e umido d'inverno con frequenti gelate mattutine e caldo d'estate con notti umide.

Dal sito di Valmontone – Valle ninfa sono stati prelevati in segheria 25 topi di età differenti, prevalentemente di 34 anni derivanti da piante abbattute nella stagione silvana 2007/2008

L'altitudine del lotto varia da un minimo di 220m.sl.m ad un massimo di 300 m.s.l.m, con una pendenza media del 51% (3^a classe di pendenza) e con esposizione prevalente Nord, Nord Est. Per quanto riguarda le caratteristiche geopedologiche, il terreno risulta privo di affioramenti rocciosi. Il suolo permeabile è costituito da un substrato di origine vulcanica, tendenzialmente acido, con lettiera decomposta e una fertilità della stazione media in relazione alla morfologia e alla matrice geologica.

Dal punto di vista selvicolturale la superficie individuata è rappresentata da un ceduo matricinato di castagno , con la presenza sporadica di orniello (*Fraxinus ornus* L.), carpino bianco (*Carpinus betulus* L.), e nocciolo (*Corylus avellana* L.).

Il sito di Valmontone si caratterizza per la presenza di un soprassuolo arboreo in condizioni fitosanitarie e vegetative non ottimali, a struttura regolare e con un grado di copertura piuttosto uniforme, compreso mediamente tra il 70%-80%.

Il tipo di gestione è il ceduo matricinato, rappresentato da individui di notevoli dimensioni sia in altezza che in diametro. Le piante presentano un buon portamento e uno sviluppo vegetativo ragguardevole. Le ceppaie, di elevato diametro, sono in molti casi sollevate da terra in evidente stato di degrado fitosanitario e abbandono colturale; le restanti ceppaie risultano vecchie, allargate e marcescenti. Si riscontrano inoltre matricine affrancate derivanti dalle ceppaie più vecchie. Le condizioni generali del bosco non garantiscono un rinnovo

naturale ed efficiente, nonostante la presenza di matricine di 3° – 4° turno. Il ceduo ha un'età intorno ai 35-40 anni con una densità abbastanza omogenea tra le ceppaie. Nelle ceppaie si riscontrano polloni vigorosi con evidenti ferite in via di cicatrizzazione che denotano uno stadio ormai ipovirulento del cancro corticale del castagno. Tuttavia la presenza del cancro corticale determina uno scarto del 30% sul volume totale del soprassuolo in esame.

Il soprassuolo forestale è costituito da circa 420 ceppaie/ha, 1120 polloni/ha e da 40 matricine/ha. Il numero medio di polloni su ceppaia risulta di circa 2-3, con notevole frequenza di cancro corticale e carie del legno.

Per quanto riguarda le caratteristiche dendrometriche del sito oggetto di studio, è stato riscontrato per il soprassuolo arboreo un diametro medio di 23 cm, un'altezza media di 21 m, un'area basimetrica di 50 m²/ha mentre il volume ritraibile dal soprassuolo arboreo è di circa 569 m³/ha (D'Alessandro F, 2005).

MONTI CIMINI

Per i Monti Cimini sono state campionate 3 aree nelle località Pian dei Fraticelli, Valle Troscione e San Martino. Le tre aree sono situate su suoli di origine vulcanica e di buona fertilità. Per il sito di Valle Troscione e Pian dei Fraticelli è stato possibile raccogliere e selezionare il materiale in bosco, mentre per il sito di San Martino il legname è stato raccolto in segheria. La caratterizzazione dei principali parametri del soprassuolo per i siti di Pian dei Fraticelli e Valle Troscione, è stata ottenuta mediante 2 aree di saggio temporanee e circolari, una per ciascun sito di studio. I rilievi dendrometrici sono stati effettuati con il Vertex. Pian dei Fraticelli, nel Comune di Soriano, si trova in prossimità della vetta del monte Cimino, ad una quota di ca. 850 m s.l.m. Si tratta di un ceduo matricinato di castagno e faggio con turno di 28 anni, che ha subito un diradamento negli anni '90.



Fig. 2.1 – Particella 23 sita in loc. Pian dei Fraticelli vista dal satellite

Pian dei Fraticelli

La particella in esame confina con la Faggeta Monumentale, per la quale sono già stati effettuati numerosi studi relativamente alle caratteristiche stazionali e climatiche (Roccato, 2004; Lo Monaco, 1983; Bernetti, 1959). Pertanto vista l'estrema vicinanza dell'area di studio, per un inquadramento delle caratteristiche stazionali si farà riferimento ai lavori pubblicati. .



Fig. 2.2 – Località pian dei Fraticelli dopo il taglio del ceduo

Dagli studi sopra indicati risulta che la temperatura media annua del punto più alto (1053 m) è di 9,67 °C, mentre la temperatura media annua dell'altitudine media (996,5 m) è di 10,03 °C (Chiricozzi *et al.*, 1985).

Le precipitazioni si presentano con un andamento tipico della zona appenninica. Esse raggiungono il massimo in ottobre-novembre, si mantengono elevate per tutto l'inverno, aumentano nuovamente a febbraio, per diminuire poi in primavera. Il periodo di minore piovosità si manifesta alla fine di giugno e per tutto il mese di luglio, la "siccità" è attenuata dalla rilevante umidità atmosferica. Inoltre la maggiore piovosità che si verifica alle quote più alte nella tarda primavera attenuerebbe molto gli effetti della siccità sulle piante, sia perché avviene nei mesi di attività vegetativa più intensa, sia perché l'acqua assorbita dal suolo costituisce una riserva idrica che si mantiene soddisfacente almeno nelle prime settimane del mese critico di luglio.

La piovosità annua dell'area è pari a 1239 mm, dato ottenuto presso il Servizio Meteorologico dell'Aeronautica di Viterbo (1985).

Le precipitazioni nevose non sono abbondanti ed hanno una frequenza di 3-4 giorni all'anno. I venti estivi, provenienti da occidente, hanno caratteristiche di brezza e sono carichi di umidità.

Il numero di giorni in cui si verificano eventi temporaleschi varierebbe nella zona dei Cimini da 10 a 20, ma quelli con grandine sembra non superino il numero di 5 all'anno (Bernetti,1959).

Secondo quanto detto l'area da noi analizzata e studiata ricade nella *sottozona calda del Fagetum*. Il profilo del suolo è stato studiato in un'area prossima del monte Cimino da Bernetti (1959 in Roccato, 2005). Si è riscontrata la seguente successione degli orizzonti:

L – Fogliame di faggio e castagno molto abbondante

F – Fogliame di faggio e castagno con inizio di alterazione prevalentemente ad opera di artropodi;

A – Da 0 a 34 cm - colore bruno scuro; aggregazione a grumi di dimensione media, non molto evidenti, tendenti alla forma poliedrica , porosità soddisfacente; scheletro di elementi arrotondati di lava oligoclastica abbondante solo oltre i 60 cm di profondità; le tracce di vita animale e vegetale sono ancora molto abbondanti.

Dall'analisi fisico-chimica del terreno con campione prelevato fino alla profondità di 50 cm, risulta quanto segue:

I) Analisi fisico-meccanica (Metodo Internazionale)

H ₂	3.85%
Calcare	assente
Sostanza Organica	7.35%
Sabbia Grossa	38.32%
Limo	10.25%
Argilla	10.39%

II) Analisi Chimica

pH	4.52%
Sostanza Organica	7.35%
Carbonio Organico	4.26%
Azoto Totale	0.37%
C/N	11.51%
K ₂ O	600 kg/ ha
P ₂ O ₅	35 kg/ ha

Si tratta dunque di un terreno franco-sabbioso che non presenta problemi di drenaggio, ma nel contempo non è in grado di fissare gli elementi che si liberano nella pedogenesi con particolare riferimento al calcio di cui si nota peculiare carenza. Le caratteristiche chimiche sono molto buone ad esclusione del fosforo la cui scarsità è strettamente legata all'assenza di calcio oltre ad essere influenzata dalla deficienza di sostanze colloidali. Se ne deduce dunque che il suolo in esame risulta particolarmente adatto alla crescita del castagno che come sappiamo preferisce suoli sciolti e trova i suoi limiti in quelle regioni maggiormente interessate da formazioni carbonatiche o carbonatiche e argillose assieme.

La particella ha una posizione fisiocratica di alto versante, con un'esposizione prevalente Nord. È posta ad una quota media di 850m s.l.m., ed ha una pendenza media del 27%. La copertura è continua, il portamento e lo sviluppo degli alberi di castagno sono buoni, sebbene l'attacco di cancro corticale e di mal dell'inchiostro abbiano compromesso la vitalità di numerose piante. Dai rilievi la lettiera risulta abbondantemente sviluppata, mentre scarso il novellame di castagno; evidenti sono i segni di ingresso delle specie autoctone tipiche, oltre al faggio, si possono annoverare l'orniello, l'acero d'Ungheria, il carpino bianco e il carpino nero. Tale particella presenta un'estensione di 21.24 ha, la superficie boscata insiste su 20.00 ha. Secondo i dati del piano di assestamento (Studio Pangeas, 2004) la particella presenta un'area basimetrica totale di 794.8 m² (pari a 39.74 m²/ha); un volume totale di 6250.80 m³

(pari a $312.54 \text{ m}^3/\text{ha}$); un numero medio di polloni ad ettaro di 825, con un diametro medio di 8 cm e un diametro medio delle matricine di 19 cm.

Valle Troscione

Valle Troscione consiste in un rimboschimento di pino nero di circa 39 anni nel quale erano presenti ceppaie e matricine di castagno oltre turno di dimensioni considerevoli. L'area è situata ad una quota di 750m s.l.m, con un'esposizione prevalente Ovest, pendenza media del 15%.

Dall'analisi *in situ* risulta che la lettiera è particolarmente sviluppata anche se risulta essere costituita prevalentemente da aghi di pino che si decompongono difficilmente. Il suolo è profondo e ben drenato ed ha reazione acida.

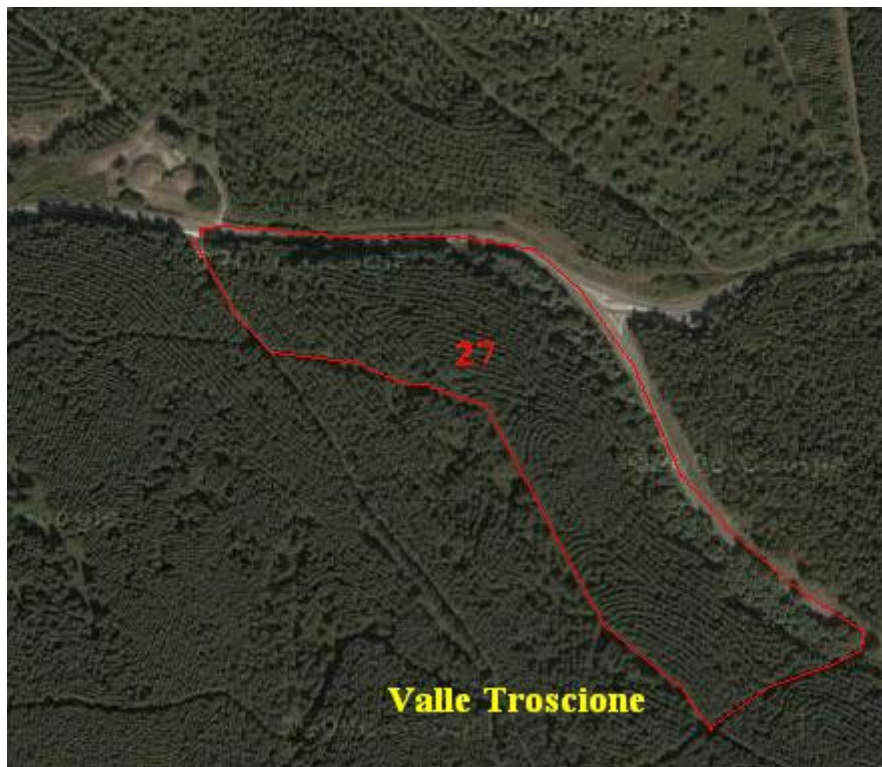


Fig. 2.3 – Particella 27 sita in loc. Valle Troscione vista dal satellite

Il soprassuolo è rappresentato da un rimboschimento di pino nero, pino strobo, cipresso dell'Arizona, con piante sparse di castagno, cerro ed individui sporadici di pioppo tremolo. Il sottobosco è rappresentato prevalentemente da nocciolo selvatico in quanto la copertura impedisce lo sviluppo di specie più eliofile. Allo stato di novellame, nei punti di minore densità, si è osservato l'ingresso dell'orniello, mentre assente è la rinnovazione di castagno, probabilmente per l'eccessivo sviluppo della lettiera. Lo stato fitosanitario della pineta è piuttosto compromesso, numerose sono le piante sottomesse e deperienti anche se inserite nel piano dominante, con chioma leggera ed inserita in alto. Lo sviluppo risulta tuttavia notevole con un'altezza media di 21 m. Le piante di castagno presentano uno stato fitosanitario complessivamente buono anche se molte risultano attaccate dal cancro corticale, tuttavia la competizione con il pino ha selezionato gli individui, che risultano avere un buon portamento.



Fig. 2.4 – Località Valle Troscone durante gli interventi di diradamento.

Nella stagione silvana 2006-2007 è stato effettuato un diradamento sulla pineta. Il taglio si è configurato come un diradamento forte sulla pineta, di tipo non geometrico ma selettivo volto a rinaturalizzare il soprassuolo con il rilascio di nuclei di piante o individui singoli ove questi davano garanzia di maggiore stabilità.

Dai rilievi effettuati risulta che vi sono approssimativamente 934 piante di pino ad ettaro, mentre le piante di castagno sono 71, di cui 28 matricine/ha e 42 ceppaie/ha, con un numero medio di 170 polloni/ha. Le piante di pioppo sono invece circa 57 ad ettaro. Il diametro medio delle piante di pino è 27 cm, mentre le piante di castagno hanno un diametro medio di 42 cm e 45 cm, a seconda che si tratti rispettivamente di polloni o di matricine. L'altezza media delle piante di castagno è di 20,6 m. Le piante di pioppo hanno un diametro medio di 44 cm.

Per quanto riguarda le caratteristiche dendrometriche, il castagno ha un volume medio di 266,5 m³/ha ed un'area basimetrica di 30,8 m²/ha; il pino invece mostra un volume medio di 503,45 m³/ha, ed un'area basimetrica di 53,2 m²/ha.

San Martino

L'area si colloca in un castagneto del territorio di San Martino al Cimino, paese della provincia di Viterbo. Esso è posto in posizione Est, Sud – Est nel comprensorio dei Monti Cimini, ad una quota di 700 m s.l.m. Il soprassuolo da cui sono stati prelevati i campioni è costituito da un ceduo matricinato, con polloni di 27 anni e matricine di 44 (le piante sono cadute al taglio nella stagione silvana 2006-2007). L'area ha una pendenza del 28%, ed è costituita essenzialmente da un ceduo matricinato di castagno in cui scarse sono le altre specie possiamo annoverare la roverella e il cerro. Il suolo è profondo, ma la lettiera è poco sviluppata, la rinnovazione è assente. Non si hanno notizie di interventi colturali intermedi sulle piante (diradamenti). Il ceduo presenta in media 384 ceppaie ad ettaro e circa 3 polloni a ceppaia. I polloni hanno un diametro medio a petto d'uomo di 19 cm mentre le matricine di 29 cm.

MONTI LEPINI

Per i monti Lepini è stato scelto un sito situato nel comune di Bassiano (LT).

L'area oggetto di studio è rappresentata da un ceduo matricinato di castagno dell'età di 17 anni (l'area è stata soggetta al taglio di fine turno nella stagione silvana 2007-2008) in cui compaiono matricine di primo e secondo turno di 34 e 46 anni rispettivamente. L'area in esame è caratterizzata da pendenze comprese tra il 15-20 %. La quota varia tra i 439 ed i 518 m. s.l.m., l'esposizione prevalente è Nord-Est.

La scelta di quest'area è dovuta alla natura litologica del sito che a differenza degli altri siti, essa è di matrice calcarea.

Il suolo è profondo ed è caratterizzato da pietrosità assente e rocciosità medio-bassa. Esso è mediamente evoluto e sebbene abbia una tessitura di tipo franco-argillosa non rappresenta un limite allo sviluppo del castagno.

Il sito si sviluppa all'interno di comprensorio forestale rappresentato da boschi mesofili in cui il castagno trova buone condizioni di crescita. Secondo quanto riportato nella Carta Fitoclimatica del Lazio (Blasi, 1994) il territorio in questione è identificabile nel termotipo mesomediterraneo inferiore o termocollinare, REGIONE XEROTERICA (sottoregione mesomediterranea), caratterizzato da precipitazioni abbondanti (1132-1519 mm) e precipitazioni estive da 96 a 130 mm; temperatura media mensile inferiore ai 10° C per due mesi e temperatura media annuale di 17° C. La temperatura media del mese più freddo è 4.4° C. Debole aridità concentrata nei mesi di luglio e agosto.

La vegetazione forestale prevalente del comprensorio è rappresentata da querceti e roverella (*Quercus pubescens* L.), *Quercus ilex* L., e boschi misti a *Ostrya carpinifolia* L., e *Carpinus orientalis* M.. anche se è possibile osservare la presenza di *Quercus cerris* L. e *Quercus frainetto* Ten. nel sito in questione le specie menzionate sono tutte presenti sebbene si mantengono come individui isolati generalmente appartenenti al piano dominato.

Il ceduo non risulta sia stato sottoposto ad alcun intervento di sfollo o dirado. Dal punto di vista fitosanitario l'area si presenta in buone condizioni vegetative, sebbene sono evidenti alcuni disseccamenti localizzati a carico degli individui colpiti dal ceppo ipovirulento del cancro del castagno.

3 CAMPIONAMENTO E CARATTERIZZAZIONE DEL MATERIALE DI STUDIO

SELEZIONE E RACCOLTA DEI TOPPI.

Il campionamento ammonta ad un totale 237 piante (tab. 3.1), di cui 196 polloni e 41 matricine, scelte casualmente tra quelle in buono stato fitosanitario attraverso un'analisi del fusto e ove possibile della chioma.

Tab.3.1. Distribuzione del campionamento in relazione ai siti di provenienza

GESTIONE SELV.	M.ti Cimini			M.ti Sabatini		Castelli Romani		M.ti Lepini	TOTALE
	P.dei Fraticelli	V. Troscone	S.Martino	Cadutella	Rocca Romana	Cavalleria	V. Ninfa	Bassiano	
Polloni	41	10	-	33	30	32	25	25	196
Matricine	10	-	15	1	1	3	-	11	41
Totale piante	51	10	15	34	31	35	25	36	237
Totale sito	76			65		60		36	237

Il materiale è stato prelevato cercando di rappresentare in maniera significativa le differenti classi di diametro e ove possibile campionando un numero significativo di matricine (Tab. 3.2). Da ogni fusto è stato poi prelevato un toppo basale lungo 50-60 cm, dalla cui testa si è ricavata successivamente una rotella dello spessore di circa 5 cm, sulla quale sono stati effettuati i rilievi della cipollatura e le indagini dendrocronologiche.

Tutte le piante selezionate sono state caratterizzate morfologicamente, misurandone ove possibile i principali parametri dimensionali: altezza, diametro di testa, diametro di base e diametro a petto d'uomo, altezza (o lunghezza del tronco nel caso di piante già abbattute).

Tab.3.2. diametro basale medio dei polloni e delle matricine dei diversi siti di studio

		diametro medio		diametro minimo		diametro massimo	
		polloni	matricine	polloni	matricine	polloni	matricine
M.ti Cimini	Pian dei Fraticelli	30.5	40.6	14	15	47	70
	Valle Troscone	66.3		64.5	110		
	S. Martino		42.7		37		51
.ti Sabatini	Cadutella		42.7		37		51
	Rocca Romana	24.8	34	15	34	37	34
Castelli Romani	Cavalleria	17.7	30.3	12	27	25	32
	Valle Ninfa	21.66		15		36	
Monti Lepini	Bassiano	17.6	32.4	13.5	15.5	25.5	40.5

Ove possibile, oltre alla misura dei suddetti parametri dendrometrici per ciascuna pianta è stata effettuata una valutazione visiva dei principali difetti del legno (cipollatura, cretti, ferite, polloni inclusi, eccentricità del midollo), osservabili sulla superficie di taglio della pianta abbattuta (Fig. 3.1). Sono stati analizzati qualitativamente anche i difetti del fusto (cancro corticale, rami epicormici, rami morti, curvatura, screpolature corticali) ed è stata attribuita un'intensità di presenza soggettivamente valutata dal rilevatore. Le classi sono state così suddivise:

- 0 assenza del difetto,
- 1 leggera presenza del difetto,
- 2 media presenza del difetto,
- 3 elevata presenza del difetto.

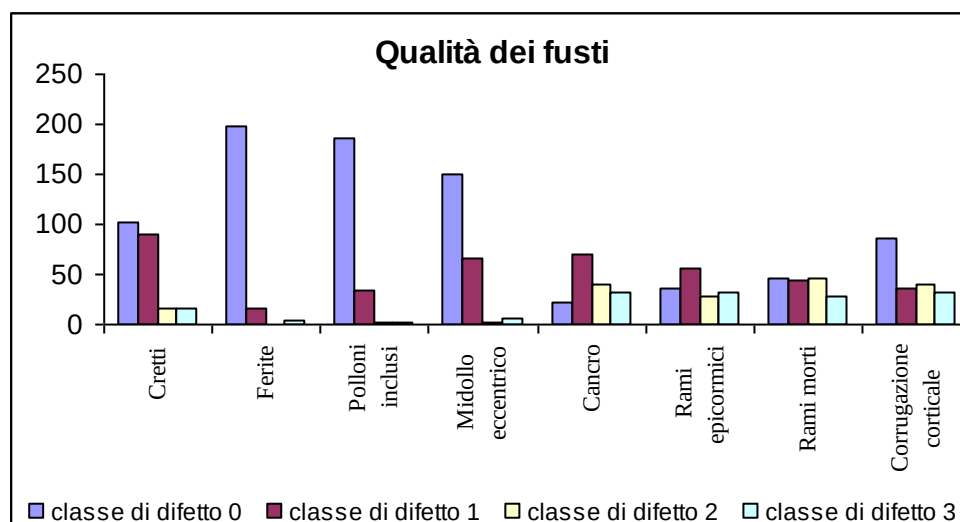


Fig.3.1. Numero di piante in relazione ai difetti del legno e del fusto analizzati

In particolare per ciò che concerne la curvatura, i rilievi sono stati condotti seguendo la norma UNI EN 1310 (1999) ed è stato quindi misurato il rapporto tra la freccia di curvatura espressa in cm e la lunghezza del tronco misurata in m, costruendo l'indice dtC (cf. paragrafo delle correlazioni statistiche).

Per i soli siti di Pian dei Fraticelli e Valle Troscione (come già esposto nel capitolo dei siti di studio) per i quali è stato possibile effettuare dei sopralluoghi, il materiale è stato un scelto casualmente in modo da rappresentare nella loro totalità un certo numero di ceppaie distribuite a caso su tutta la superficie delle particelle. Il campionamento ha incluso anche le piante morte e sottomesse ed è stato condotto con l'intento di includere non soltanto polloni, ma anche un adeguato numero di matricine, caratterizzate da un maggiore accrescimento diametrico, e quindi potenzialmente devolute ad assortimenti di maggior pregio.

Le piante degli altri siti per motivi logistici sono state scelte all'imposto o in segheria.



Fig. 3.2 – Fasi del campionamento e della marcatura dei campioni
del materiale classificazione dendrometria e prima valutazione visiva dei difetti degli alberi

Monti Cimini - PIAN DEI FRATICELLI DATA RILIEVO 16.01.2007																			
Ceppaia	Matricine		Polloni		Misure				Difetti del legno					Difetti del fusto					
	Seme	Allievi	Vivo	Morto	Diam. base (cm.)	Diam. 1,3 (cm.)	Diam. testa (cm.)	h. (m.)	Cipollatura	Cretti	Ferite	Polloni inclusi	Midollo ecc.	Cancro corticale	Rami epic.	Rami morti	Curvatura		Screpolature corticali
																	Freccia di curvat. (cm.)	Altezza da terra (m.)	
1	-	-	1A	-	47	29	11	14,18=	+	-	-	-	-	+	-	++	15	1,1	++
	-	-	1B	-	39	28	7	14,30=	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	++
	-	-	1C a	-	33	23	8	13,05=	+	-	-	-	+	+	-	-	33	1,4	+
	-	-	1D a	-	44	27	8	14,50=	-	-	-	-	-	++	+	-	10	8,1	++
																	12	1,2	
2	-	-	2A	-	35	24	12	14,32=	+	+	-	+	+	+	++	++	-	-	+
	-	-	-	2B	19	15	4	10,60=	-	+	+	-	+	+	-	-	22	1,4	-
3	-	-	3A	-	40	27	10	14,72=	+++	-	-	-	+	+	-	++	40	1,9	+
	-	-	3B	-	38	26	18	11,20=	+++	-	+	-	-	+	-	++	17	8,5	
	-	-	3C	-	23	19	8	11,60=	-	-	-	-	+	++	++	-	19	2,5	++
																	12	2	+++
																	19	7,4	
	-	-	3D	-	18	13	9	5,40=	-	-	-	-	-	+++	++	-	12	1,2	++
4	-	4A	-	-	59	40	32	9,50=	+	-	+	+	-	-	-	-	20	3,5	+++
5	-	-	5A	-	37	27	9	14,80=	-	-	-	-	-	+	-	-	37	2,7	++
	-	-	5B	-	41	26	-	-	-	-	-	-	-	++	+	-	+	+	+
	-	-	5C	-	23	14	5	13,40=	-	-	-	-	+	++	+++	-	30	3,5	++
																	21	8,2	
	-	-	5D	-	37	23	10	14,50=	-	-	+	-	+	+	++	-	20	1,5	+
																	21	10,3	
6	-	-	6A	-	48	33	15	13,70=	-	-	-	+	-	++	-	+++	-	-	+++
	-	-	6B	-	15	10	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-	+	+	+
7	-	-	7A	-	41	31	13	14,70=	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	+
	-	-	7B	-	44	30	10	14,20=	-	-	-	-	-	+	-	-	12	11,2	++
	-	-	7C	-	40	31	12	14,75=	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	++
8	8A	-	-	-	70	52	28	13,75=	+++	-	-	+	-	-	-	-	19	4,8	+++
9	-	-	9A	-	37	27	10	13,71=	+	-	+	-	+	++	++	++	32	2,1	+++
	-	-	9B	-	31	22	10	13,96=	-	-	-	-	-	+++	+	++	15	1	+++
10	-	-	10A	-	28	23	10	14,40=	-	-	-	-	+	+	-	+	13	1,5	+++
	-	-	10B	-	40	25	10	15,40=	-	-	-	+	+	+	-	-	10	2	++
11	-	-	11A	-	39	28	14	10,73=	-	-	-	-	+	+++	+++	-	16	1,3	+++
	-	-	11B	-	26	19	9	11,60=	+	-	-	-	+	+++	+++	-	31	1,6	++
	-	-	11C	-	31	25	13	13,70=	+++	-	-	-	-	++	-	-	-	-	+
12	-	12A	-	-	29	21	9	9,50=	-	-	-	-	-	+++	-	-	-	-	+++
	-	-	-	12B	21	17	6	7,30=	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	++
	-	-	-	12C	23	17	10	7,90=	-	-	+++	-	-	-	-	-	10	2,3	++
13	-	-	13A a	-	37	24	8	12,80=	-	-	-	+	-	+	-	+++	23	2	++
	-	-	13B a	-	26	18	8	11,10=	-	-	-	-	+	+	-	+++	20	2,1	+
	-	-	13C a	-	25	19	7	12,50=	-	-	-	-	+	+	+	++	12	1,8	+
	-	-	-	13D	13	6	?	?	-	-	-	-	-	-	-	-	?	?	+
	-	-	-	13E	13	8	?	?	+	-	-	-	-	-	-	-	?	?	+
14	-	-	14A	-	26	17	8	10=	-	-	+	-	-	+	+++	-	14	1,6	-
	-	-	14B	-	27	18	7	11,65=	-	-	-	-	-	++	+	++	8	7,2	
																	8	7	+
	-	-	14C a	-	21	15	-	-	-	-	-	-	-	+++	+++	-	23	1,7	
	-	-	14D	-	14	12	7	6,15=	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
																	25	2,9	-
15	-	15A	-	-	60	41	16	13,23=	+++	-	+	-	-	+++	+++	-	-	-	+++
	-	-	15B	-	16	10	5	8,90=	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	15C	14	11	8	4,43=	-	+	-	-	-	+	++	-	6	1,1	?
	-	-	-	15D	12	11	?	?	-	-	-	-	-	+	++	-	?	?	+
"7"	-	-	"7A"	-	28	20	?	0,97=	-	-	-	-	-	+	?	?	+	+	+++
	-	-	"7B"	-	28	18	?	1,10=	-	-	-	-	+	?	?	?	+	+	+++
	-	-	"7C"	-	16	13	?	2,05=	-	-	-	-	+	?	?	?	?	?	++
	-	-	"7D"	-	27	15	?	1,18=	-	-	-	+	+	?	+	?	?	?	+++
	-	-	"7E"	-	22	13	?	2,20=	-	-	-	+	+	?	?	?	?	?	-
"8"	-	-	"8A"	-	20	15	?	1,05=	-	-	-	+	+	?	?	?	?	?	++
	-	-	"8B"	-	21	16	?	1,15=	-	-	+	-	+	?	?	?	?	?	++
	-	-	"8C"	-	23	?	?	0,73=	-	-	-	+	+	?	?	?	?	?	+
	-	-	"8D"	-	24	12	?	1,20=	-	+	-	+	-	?	+	?	?	?	+
"9"	-	-	"9A"	-	25	?	?	0,94=	-	-	-	-	+	?	+	?	+	+	++

Tab. 3.4 Esempio del campionamento avvenuto a Valle Troscone sui Monti Cimini per la raccolta del materiale classificazione dendrometria e prima valutazione visiva dei difetti degli alberi

Monti Cimini - VALLE TROSCIONE DATA RILIEVO 08.02.2007																			
	Matricine		Polloni						Difetti del legno					Difetti del fusto					
	Seme	Allievi	Vivo	Morto	Diam. base (cm.)	Diam. 1,30 (cm.)	Diam. testa (cm.)	h. (m.)	Cipollatura	Cretti	Ferite	Polloni inclusi	Midollo eccentrico	Cancro corticale	Rami epic.	Rami morti	Curvatura		Screpolature corticali
																	Freccia di curvat. (cm.)	Altezza da terra (m.)	
	-	-	VA, i	-	51	44	?	-	+++	-	+	-	-	+	-	+	+	+	+
	-	-	VB, i	-	?	36	?	-	+++	-	-	-	-	++	+++	+	+	+	+
	-	-	VC, i	-	46	39	?	-	+++	-	-	-	+	++	++	+	+	+	+
	-	-	VD, i	-	54	42	?	-	+++	-	-	+	-	-	++	+++	+	+	+
	VIA	-	-	-	58	45	?	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+
	-	VIIA	-	-	72	49	?	-	-	-	-	+	-	+	++	++	+	+	+
	VIIIA	-	-	-	70	52	?	-	-	-	-	-	-	+	-	+++	-	+	+
	-	-	IXA, i	-	110	70	?	18,5	-	-	-	-	+	++	++	++	-	-	+
	-	-	IXB, i	-	70	62	?	-	-	-	-	-	-	++	-	+++	-	-	+
	XA	-	-	-	50	36	?	-	+++	-	-	-	-	+	+++	++	+	+	+

+	Leggera presenza	i	Pollone invecchiato	"n"	Numerazi. indipendente, no corrispondenza con le altre
++	Media presenza	?	Impossibilità di verificare la caratteristica	#	Singola pianta nata da seme, in piedi
+++	Elevata presenza	a	Pollone affrancato	=	Lunghezza del toppo/pianta abbattuta
-	Assenza	^	Pollone rilasciato come matricina	*	Corrispondenza con la ceppaia del rilievo

ANALISI DENDROCRONOLOGICA

Da ciascuna pianta è stata prelevata una rotella alla base di ciascun fusto.

Le rotelle dello spessore di 5-10 cm sono state sottoposte alla conta degli anelli annuali per desumere l'età delle piante, e successivamente sono stati misurati gli accrescimenti legnosi. Lo studio dendrocronologico è stato necessario per analizzare il difetto della cipollatura come si vedrà nel capitolo 4, ma anche per lo studio delle potenzialità produttive dei differenti popolamenti e per analizzare come varia la qualità del legno con l'età (capitolo 5).

La misura degli anelli è stata eseguita con la precisione di 0,01mm, tramite il sistema CCTRMD (*Computer Controlled Tree-Ring Measuring Device*) costituito da 4 componenti: l'unità lineare, l'unità di controllo manuale, il display che mostra le ampiezze anulari e l'unità di controllo principale (Aniol, 1987).



Fig. 1 – Sistema CCTRMD.

L'elaborazione dei dati ha fornito i valori di accrescimento ed ha permesso di costruire le curve dendrocronologiche individuali e medie rispettivamente per polloni e matricine. La

costruzione delle curve medie stazionali ha permesso inoltre di valutare gli effetti degli interventi selvicolturali adottati sui soprassuoli in esame, anche in correlazione con la cipollatura, sono state costruite 7 curve dendrocronologiche medie stazionali estese e altrettante 7 medie stazionali che considerino solo i primi 17 anni ovvero il limite cronologico inferiore, appartenente (come vedremo) ai polloni dell'area dei Monti Lepini, questo per poter confrontare la reale produttività dei diversi comprensori territoriali.

PARAMETRI STATISTICI DENDROCRONOLOGICI

Le caratteristiche globali di ogni cronologia stazionale sono valutate mediante i principali parametri statistici dendrocronologici sintetici.

In primo luogo si valuta l'ampiezza anulare media (**MV**) con la sua deviazione standard (**DS**).

$$MV_x = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^{t=n} x_t$$

Il valore medio di ampiezza anulare dipende da diversi fattori: la specie, l'età, la fertilità stazionale, lo stato di salute del popolamento, ecc. In linea di massima accrescimenti sostenuti si ottengono, in relazione alla specie considerata, tra gli individui più giovani, tra quelli che vegetano tra le specie ambientali più favorevoli e tra quelli che godono di buone condizioni di salute.

La deviazione standard:

$$DS = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^{t=n} (x_t - MV_x)^2}$$

indica la dispersione dei valori indagati intorno al valore medio, ovvero in una cronologia individuale la variabilità delle ampiezze anulari, e quindi le vicissitudini dell'albero, oppure in una cronologia stazionale l'omogeneità degli accrescimenti delle curve individuali che la compongono.

Il coefficiente di autocorrelazione di primo ordine (**AC**):

$$AC = \frac{\sum_{t=1}^{t=n} (x_t - MV_x)(y_t - MV_y)}{(n-1)SD_x SD_y}$$

esprimendo la correlazione tra l'anello dell'anno n e quello dell'anno n-1, misura l'inerzia di accrescimento della pianta dovuta: 1) alla dipendenza dell'accrescimento attuale da quello dell'anno precedente, basata soprattutto sull'accumulo autunnale di sostanze di riserva, essenziale alla ripresa vegetativa primaverile.

La sensibilità media (**MS**):

$$MS = \frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^{t=n-1} \left| \frac{2(x_{t+1} - x_t)}{x_{t+1} + x_t} \right|$$

Parametro impiegato molto frequentemente nelle analisi dendrocronologiche, viene definita come la variazione di crescita tra i due anelli consecutivi. Essa è una misura della variabilità di alta frequenza della serie dendrocronologia ed indica la capacità della pianta a reagire a stimoli climatici di breve periodo con immediate variazioni incrementali. L'opposto della sensibilità è la compiacenza che si manifesta con una forte inerzia negli accrescimenti della pianta, indicando una scarsa reattività agli stimoli esterni.

Il coefficiente di variazione (**CV**) è un indice di dispersione che permette di confrontare misure di fenomeni riferite a unità di misura differenti, in quanto si tratta di un numero puro (ovvero non riferito ad alcuna unità di misura).

Viene definito, per un dato campione, come il rapporto tra la sua deviazione standard (DS) e il valore assoluto della sua media aritmetica (μ):

$$CV = \frac{DS}{|\mu|}$$

SI ritrova anche espresso come percentuale

Chiaramente ha senso solo per campioni aventi la media aritmetica non nulla. Per un campione con un numero finito n di esemplari $x_1, x_2, \dots, x_n$ è dato dall'espressione:

$$\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i}{|\mu|} - 1 \right)^2}$$

4. LA CIPOLLATURA

Stato dell'arte

La definizione di cipollatura fu pubblicata per la prima volta alla fine degli anni ottanta, nell'ambito di uno studio condotto da Cielo e Chanson, definendola semplicemente per le sue caratteristiche morfologiche, senza quindi entrare nel merito delle cause che la generano, essendo esse ancora non completamente accertate. Si definisce cipollatura (ring shake, in inglese, roulure, in francese) *una discontinuità tangenziale del tessuto legnoso, che si sviluppa per un tratto del fusto più o meno lungo, separando nettamente due anelli di accrescimento consecutivi*. In sezione trasversale la cipollatura assume una caratteristica forma a mezzaluna (cipollatura parziale) oppure, nei casi più gravi, ad anello, nel qual caso si parla di cipollatura completa. Cipollature parziali di diverso raggio possono essere collegate tra loro da brusche discontinuità radiali, formando così una cipollatura multipla o scomposta. La discontinuità può risalire dalla base del fusto fino a diversi metri d'altezza, provocando nei casi più gravi il cosiddetto *difetto del palo*, ovvero il distacco di un cilindro centrale, comprendente il midollo, dal resto del tronco, che si verifica in seguito all'abbattimento.



Fig.4.1: rotella di castagno cipollata

La cipollatura costituisce l'ostacolo principale all'affermazione del legno di castagno come risorsa naturale rinnovabile: il tasso di incidenza di questo difetto in un soprassuolo è talvolta così elevato da risparmiare solo pochi fusti per popolamento, riducendo sensibilmente il valore degli assortimenti e minando l'affermazione economica di questa coltura. La cipollatura può riscontrarsi occasionalmente in qualunque legname, sia di conifere che di latifoglie, in piante cresciute in climi tropicali e temperati, ma il castagno rappresenta sicuramente la specie europea più colpita da questa alterazione, seguita, anche se con frequenza molto inferiore, da abete, larice, olmo, noce e frassino, robinia. Inoltre, nell'ambito della stessa specie, la frequenza del difetto risulta assai variabile per le diverse provenienze geografiche, varietà e cultivar.

La cipollatura colpisce soprattutto i fusti, mentre più raramente compare nelle branche principali degli esemplari più vecchi: non è mai riscontrabile, invece, sulle radici. La presenza o meno della cipollatura sana nelle piante ancora in piedi (Chanson *et al.* 1989; Giudici *et al.* 1998) è ancora una questione aperta. In base alle conoscenze attuali si ritiene che alcune fratture possano svilupparsi già nella pianta viva, qualora le tensioni che agiscono nell'albero in piedi siano sufficientemente forti. Questa ipotesi sembra suggerita dal risultato di prove di misurazione radiale dei fusti con ultrasuoni, che evidenziano come le onde si propaghino più lentamente nei fusti che manifesteranno la cipollatura immediatamente dopo il taglio. Tale rallentamento può essere spiegato anche con la

diminuzione del modulo radiale di elasticità del legno colpito dalla cipollatura (Giudici *et al.*, 1997). La maggior parte delle cipollature si manifestano però al momento dell'abbattimento, purché le tensioni di accrescimento vengano liberate (Fonti *et al.* 2002b). Studi effettuati da Fonti e Macchioni (1998) sul momento di insorgenza e sulla posizione delle cipollature all'interno del fusto hanno evidenziato che le fratture di tipo meccanico sono la conseguenza del rilascio delle tensioni che avviene al momento dell'abbattimento.

Le cipollature riscontrate sui tronchi appena abbattuti risultano in media il 70% (Fonti *et al.*, 1998; Fonti e Macchioni, 2002). Inoltre va sottolineato come rotelle cipollate al momento del taglio tenderanno a registrare un incremento sia nel numero che nelle dimensioni delle discontinuità in conseguenza della stagionatura (Fonti *et al.*, 1998).

Chanson definì inoltre la cipollatura in funzione della sua origine. In alcuni casi il difetto si manifesta in concomitanza di tessuti legnosi con evidenti disturbi di origine traumatica (ferite, colorazioni anomale e principi di marciume).

A questo tipo di cipollatura, normalmente denominata «**traumatica**», si contrappone quella «**sana**», caratterizzata dalla separazione di tessuti apparentemente privi di anomalie.

Fonti e Macchioni 2002 distinguono ulteriormente la cipollatura in relazione alla morfologia della discontinuità di tessuti. Essi individuano tre tipologie: *sovrapposizione*, *scollamento* e *frattura*.

La sovrapposizione è caratterizzata dall'assoluta mancanza di coesione tra due anelli consecutivi fin dal momento della loro formazione. Si tratta di una cipollatura di evidente origine traumatica, derivante dalla sovrapposizione di un nuovo strato legnoso sulle cellule morte dell'anello preesistente danneggiato dalla lesione, con una totale assenza di coesione tra i due strati. Questo tipo di cipollatura ha una frequenza piuttosto bassa, corrispondente, secondo Fonti e Macchioni, all'1% circa del totale.



Fig. 4.2: sovrapposizione

La tipologia scollamento consiste nella separazione a livello della lamella mediana di due cellule appartenenti ad anelli contigui, senza che nessuno dei due mostri danni apparenti alla propria struttura xilematica. Le cause di questa tipologia non sono del tutto chiare, non essendo riconducibile a lesioni visibili, anche se non sono da escludere effetti indiretti di stress ambientali che abbiano comportato un abbassamento della capacità di coesione del legno. L'incidenza di questa tipologia è stimata da Fonti intorno al 15%.



Fig.4.3: scollamento

L'ultima tipologia, la frattura, è sicuramente la più diffusa, presente nell'85% dei casi. Essa comporta una lacerazione delle pareti cellulari, prevalentemente nella zona dell'anello primaticcio, laddove la struttura legnosa risulta più debole. Se la frattura si verifica in questa zona, essa prende il nome di "frattura dell'anello poroso"; se la cipollatura è collocata invece nella zona mediana dell'anello, essa è semplicemente definita "frattura dell'anello".



Fig. 4.5: fratture dell'anello poroso

Sulle cause della cipollatura, va precisato che essa non rappresenta un'anomalia imputabile ad una singola causa: si tratta, al contrario, di un difetto solo apparentemente omogeneo, che presenta una varietà di aspetti, riferibile a varie cause diverse tra loro.

Le rotture che avvengono all'interno di qualunque materiale sono causate da uno stato di squilibrio tra le tensioni che generano la spaccatura e le forze di coesione presenti nel materiale che vi si oppongono (Fonti *et al.* 2002a). Nel caso della cipollatura, la fessurazione lungo il piano tangenziale-longitudinale del legno avviene allorché le tensioni in *senso* radiale sono superiori alla resistenza opposta dai tessuti legnosi (Fonti *et al.* 2002b). Il punto preciso e l'istante in cui questo squilibrio ha luogo dipendono da molti fattori: la coesione può per esempio variare tra singoli individui e all'interno di questi, all'interno dei tessuti legnosi (legno primaticcio o autunnale, giovanile o maturo, legno di reazione, ecc.) e in funzione del loro stato fisico (umidità, temperatura, ecc.). Le tensioni presenti nel legno possono essere di diversa natura ed agire in modo combinato. Da un punto di vista puramente teorico, ogni porzione di legno viene sottoposta nel corso di tutta la sua esistenza a numerose tensioni, i cui effetti si manifestano con separazioni al suo interno.

Nell'albero vivo il legno è sottoposto a sollecitazioni dovute al peso proprio della pianta, ai fattori ambientali (carichi supplementari dovuti a vento, neve, ecc.) e a tensioni di maturazione che si sviluppano durante la formazione e lo sviluppo delle cellule legnose (Fournier *et al.* 1991; Fournier *et al.* 1994). Le tensioni di maturazione rappresentano il mezzo a disposizione dell'albero per regolare la propria direzione di crescita (Kubler 1987). Con tensioni di accrescimento ci si riferisce a quelle forze che si innescano nei fusti con il loro progressivo accrescimento. Per spiegare l'instaurarsi delle tensioni interne, chiaramente

riferibili alla sovrapposizione di più meccanismi, sono stati proposti tre modelli: la teoria meccanica, la teoria idraulica e la teoria della maturazione cellulare (Bonamini *et al.*, 1993). Secondo la teoria meccanica, che spiega bene l'apertura di fessurazioni con estremi divaricati, il peso proprio dell'albero non è ripartito uniformemente su tutta la sezione, ma grava principalmente sulla zona centrale, sia perché la parte periferica dell'alburno è più plastica e cedevole, sia perché gli strati esterni che man mano si formano non possono contribuire a sorreggere un peso che già gravava sugli accrescimenti preesistenti: si origina in questo modo un gradiente di sollecitazione a compressione assiale lungo la sezione trasversale, massimo in corrispondenza del midollo e minimo agli estremi.

La teoria idraulica, invece, sostiene che le tensioni del fusto si originerebbero in reazione alle pressioni osmotiche e alle tensioni capillari dei succhi circolanti nei vasi della parte periferica del tronco, che vengono contrastate dalle pareti cellulari: la conseguenza è un parziale stiramento che ne provoca la messa in trazione: in questo modo si spiega lo stato di tensione longitudinale a cui sono sottoposti gli anelli periferici.

Secondo la teoria della maturazione cellulare, infine, le tensioni a cui i fusti vanno incontro sono causate dalla progressiva compressione tangenziale e conseguente trazione longitudinale a cui le cellule vanno incontro durante il loro accrescimento. Durante la sua maturazione la cellula, infatti, passa da uno stato indifferenziato di cellula del cambio ad uno stato di cellula differenziata e lignificata, con le micro fibrille bloccate nella loro disposizione definitiva: durante questo processo la cellula si dilata trasversalmente e subisce una contrazione longitudinale (secondo alcuni autori questo è dovuto ad un rigonfiamento dello strato S_2 dovuto alla sua lignificazione, secondo altri ad un appressarsi delle micro fibrille di cellulosa che provoca l'accorciamento longitudinale). Così le cellule degli strati più esterni si trovano contrastate durante questo processo dalle cellule più interne già mature, generando forze che le sottopongono a trazione longitudinale e a compressione tangenziale.

Bisogna ricordare che la comparsa della cipollatura è subordinata alla presenza, internamente all'anello, di zone di minore resistenza meccanica che predispongono l'anello stesso alla rottura tangenziale. Si è precedentemente parlato di variazioni di massa volumica delle cerchie annuali come di una delle cause della cipollatura: bisogna sottolineare, a tal proposito, che a questo parametro è strettamente connessa la porosità del legno. Ogni specie ha una disposizione degli elementi del tessuto legnoso caratteristica ed univocamente riconoscibile, così come accade per la porosità e, di riflesso, per la massa volumica. Tuttavia bisogna sottolineare che la variabilità della massa volumica all'interno della stessa specie può essere notevole anche prescindendo dal fattore umidità, così come possono verificarsi variazioni all'interno dello stesso tronco, dovute alle seguenti cause:

- proporzione tra legno primaticcio e legno tardivo, quest'ultimo più denso
- ampiezza degli anelli di accrescimento, dato che all'aumentare del ritmo di accrescimento può variare la proporzione tra legno primaticcio e legno tardivo, dando origine a variazioni del valore medio della massa volumica;
- presenza di estrattivi;
- posizione all'interno del tronco,
- presenza di legno di reazione.

A questo proposito, la struttura anatomica del legno potrebbe spiegare l'elevata suscettibilità della specie alla cipollatura: la presenza di un anello poroso, formato da grossi vasi primaverili, costituisce un piano privilegiato alla frattura tangenziale. Tuttavia, a differenza di quanto avviene in altre specie con anello poroso, quali le querce, il legno di castagno ha raggi parenchimatici monoseriati, sottilissimi, inadatti a rafforzare radialmente la struttura legnosa.

Durante l'essiccazione, infine, l'umidità nel legno decresce fino ad un livello molto basso: quando l'acqua di saturazione delle pareti cellulari vicine è rimossa, il volume del legno varia anisotropicamente, generando ulteriori tensioni.

Nel caso specifico del castagno, non sono mai stati segnalati valori particolarmente anomali di tensioni di accrescimento (Fournier *et al.* 1994) e di ritiri radiali (Leban 1985). Il castagno si comporta come qualsiasi altra specie latifoglia, che ottimizza la propria stabilità e regola la direzione di crescita attraverso la formazione di legno di tensione.

Nelle latifoglie vengono infatti riscontrati elevati valori di tensione soprattutto in corrispondenza del legno di trazione e quindi di tensioni di accrescimento (Kubler 1987). La gestione a ceduo potrebbe nondimeno essere una fonte di tensioni supplementari: i polloni sono infatti sottoposti sin dalla nascita a una forte competizione all'interno della ceppaia e le pronunciate sciabolature alla base dei fusti potrebbero costituire zone ricche di legno di tensione e quindi di tensioni di accrescimento.

La frequenza maggiore delle cipollature si rileva generalmente alla base del tronco, nel terzo medio della sezione radiale, dove si riscontra un passaggio da tensioni di compressione (zona interna del tronco) a tensioni di trazione (zona periferica del tronco), come illustrato in Figura 4 (Cielo 1988; Chanson *et al.* 1989; Alberti 1991; Boetto 1991; Fonti 1997). Nonostante ciò, nessuna relazione diretta tra tensioni di accrescimento e incidenza di cipollatura allo stato fresco ha potuto finora essere dimostrata (Fonti, in stampa).

Nella figura si possono notare i cambiamenti dimensionali a seguito della liberazione delle tensioni di accrescimento longitudinali. La parte esterna del cilindro tende a contrarsi mentre quella interna ad espandersi. In basso: distribuzione lungo la sezione di un tronco delle tensioni di accrescimento longitudinali. Le zone di trazione sono segnate con il segno +; quelle di compressione con il segno -. La figura è stata in parte ripresa da Kubler (1987).

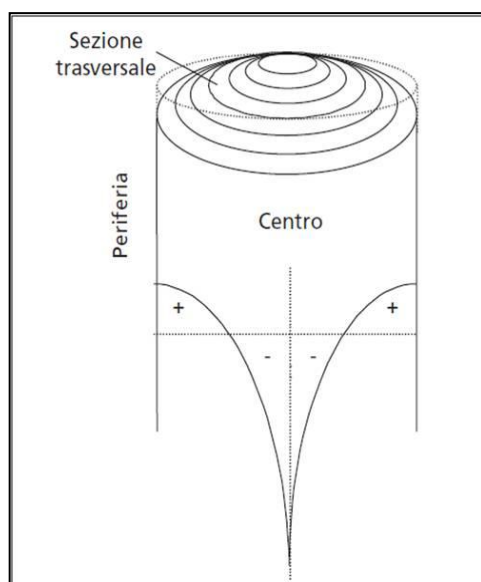


Fig.4.6 : Cambiamenti dimensionali dovuti a tensioni di accrescimento (FONTI *et al.* 2002)

Il castagno presenta invece caratteristiche anatomiche particolari che potrebbero spiegare l'estrema suscettibilità della specie alla cipollatura. La struttura degli anelli è di tipo poroso-zonata. Il legno primaticcio è caratterizzato dalla presenza di numerosi e grossi vasi che creano un piano privilegiato per l'insorgere e il progredire di fratture tangenziali nel legno. Inoltre, a differenza delle altre specie a porosità zonata quali ad esempio la quercia, il castagno non può ovviare efficacemente a questa debolezza strutturale per mezzo dei raggi midollari che sono particolarmente sottili (monoseriati).

In base a quanto detto finora riguardo all'insorgenza della cipollatura, si potrebbe ipotizzare che individui costituiti da vasi primaticci più grandi e con un minor numero di raggi midollari siano più soggetti all'insorgenza del difetto. Tuttavia i risultati di alcune ricerche (Fonti et al. 2002) hanno fatto emergere esattamente il contrario: gli individui più cipollati sono proprio quelli caratterizzati da vasi più piccoli e con un maggior numero di raggi per unità di volume di legno. Questo risultato è facilmente spiegabile, ricordando che i polloni soggetti a forti tensioni di accrescimento reagiscono producendo un legno più resistente, stimolando la formazione di vasi più piccoli e un gran numero di raggi (Mattheck e Kubler 1995). Un legno compatto è quindi indicativo di elevate tensioni che verranno rilasciate al momento dell'abbattimento, nonostante la coesione elevata.

Test sulla resistenza a frattura nel legno primaticcio hanno inoltre dimostrato che esiste una relazione diretta tra l'ampiezza dell'anello e la resistenza alla frattura, tra i fattori che favoriscono l'insorgere della cipollatura vi è anche l'irregolarità del ritmo di accrescimento, ovvero l'alternanza di anelli di accrescimento ampi e anelli più stretti (Chanson 1998; Macchioni e Pividori 1996; Fonti et al. 1998): la presenza di fratture è concentrata in un limitato numero di anelli caratterizzata da un incremento corrente radiale limitato seguito da anelli di ampiezza maggiore.

Questo fenomeno si evidenzia soprattutto nelle matricine, dove la cipollatura si manifesta principalmente in corrispondenza delle cerchie legnose corrispondenti all'anno in cui era caduto al taglio il ceduo del turno precedente.

È stato detto che con la stagionatura si osserva un lieve incremento delle fessurazioni, e solo raramente il difetto si manifesta in piante che ne erano prive al momento del taglio (Fonti et al., 2002a). Questo risultato si deve al fatto che la maggior parte delle tensioni interne, che sono ormai riconosciute come il fattore responsabile della cipollatura, vengono rilasciate al momento dell'abbattimento e/o sono già presenti sull'albero in piedi (cipollatura sana). Ciò potrebbe indicare una predisposizione individuale a manifestare il difetto (Fonti et al. 1998; Fonti e Macchioni, 2002). La maggior frequenza con cui il difetto si manifesta all'interno di determinate ceppaie piuttosto che altre all'interno di un soprassuolo indicherebbe inoltre l'esistenza di una predisposizione individuale che potrebbe essere determinata da fattori genetici (Fonti 1997; Macchioni e Pividori 1996). Dunque oltre alla risaputa "debolezza" del legno di castagno (la resistenza delle fibre ad uno sforzo perpendicolare è all'incirca la metà di quella del legno di quercia), l'insorgere dello squilibrio tra forze di coesione e trazione tangenziale può essere imputato ad un concatenarsi di fattori, tra cui la componente genetica, la fertilità del suolo, le tensioni di accrescimento, e quelle di essiccazione (Fonti, Giudici, Conedera, 2002). I fattori genetici sembrano essere collegati all'insorgenza della cipollatura: la prova di quest'assunto risiede nell'osservazione che le fratture non sono distribuite casualmente in un soprassuolo, ma tendono a concentrarsi su determinati alberi o ceppaie che sembrano particolarmente soggetti al difetto. Inoltre, i risultati di prove frattometriche condotte su vari esemplari di uno stesso soprassuolo indicano che la resistenza è una caratteristica individuale, tanto più che i vari polloni di una stessa ceppaia tendono a comportarsi tutti nello stesso modo. (Fonti, Giudici, Kucera 1998).

Anche il suolo può influenzare le resistenze del legno: si è osservato che i soprassuoli cresciuti su terreni carenti in calcio presentano una resistenza radiale inferiore alla media, proprio perché questo catione ha la capacità di irrobustire la lamella mediana (Grant et al. 1973). Ricordando quanto la specie in questione sia intollerante ai suoli calcarei, possiamo ipotizzare che l'alta incidenza della cipollatura nel castagno sia dovuta alla sua difficoltà nell'assorbire il calcio. Ipotesi questa sostenuta anche da Fonti (2002 b) il quale ha osservato un legame tra basse concentrazioni di calcio ed incidenza del difetto, egli ritiene che il problema sia legato all'assorbimento di calcio piuttosto che al quantitativo totale di tale elemento nel suolo. Molti studi hanno mostrato una relazione tra il basso contenuto di calcio e un'elevata incidenza del difetto della cipollatura (Freyssac et al., a

1994a; Freyssac et al., 1994b; Laroche 1997; Laroche et al. 1997; Thibaut et al., 1995; Verger et al., 1993; Verger et al., 1994; Fonti P., et al., 2002a, Cousseau (2008).

Tutti gli studi sin ora condotti sono comunque concordi nell'indicare come cause principali del difetto l'età e il diametro delle piante (Amorini et al., 1997; Fonti et al., 2002b, Everard et al., 1995, Bercovici et al., 1987, Mutabaruka et al., 2005, Fonti, 1997; Fonti *et al.* 1998; Fonti e Macchioni, 2002, Fonti, Giudici, Conedera, 2002). Dalle ricerche è infatti sempre emerso che le matricine sono quelle più vulnerabili sia perché più vecchie e sia per i diametri superiori. Non è ancora stato ben accertato tuttavia quale di questi due fattori è preponderante in quanto è chiaro che l'uno è conseguenza dell'altro e difficile appare poter distinguere l'influenza specifica dell'uno o dell'altro fattore. A tal proposito Mutabaruka (2005) sostiene che non il diametro ma l'età ha un effetto decisivo sulle fessurazioni: in particolare al di sopra dei 60 anni il difetto comincia a manifestarsi in maniera particolarmente incisiva mentre ad età inferiori esso poteva essere considerato trascurabile. Nello stesso studio sono stati analizzati una serie di caratteristiche morfologiche e fisiologiche dell'albero che potessero essere ricondotte a stati di stress della pianta e dunque considerate come predittive del difetto (rami epicormici, curvatura dei fusti, corrugazione della corteccia, periodo della fogliazione o dell'abscissione delle foglie). Mutabaruka ha dimostrato che le piante cipollate presentano una corteccia generalmente più fessurata e una curvatura dei fusti maggiore rispetto alle piante sane (risultato peraltro in accordo con altri autori Kerr et al., 1993). Inoltre è stato osservato che nelle piante colpite la fogliazione è precoce come precoce è la caduta delle foglie. Savill and Mather (1990) hanno osservato che nel caso delle querce stati di stress della pianta (rami epicormici, cancro, numero di rami morti) non sono riconducibili al difetto, inoltre altri caratteri come l'angolazione delle branche sono caratteristiche ereditabili (Kanowski et al., 1991; Mather et al., 1992).

Numerosi studi sono stati condotti per dimostrare l'influenza positiva dei diradamenti nel mitigare gli effetti della cipollatura (Amorini et al., 1997; Fonti et al., 2002b, Everard et al., 1995, Bercovici et al., 1987, Mutabaruka et al., 2005). Si ritiene che brusche variazioni di crescita o il semplice decremento delle ampiezze anulari possa rappresentare un elemento predisponente. Sicuramente l'influenza di un regime di diradamenti programmatico che segua l'iter di sviluppo degli individui arborei ha un'influenza notevole nel limitare tensioni interne di accrescimento dovute alla competizione interindividuale per l'affermazione individuale degli alberi (soprattutto in fase di novelleto e spessina). Amorini (2000) ha analizzato l'incidenza della cipollatura in cedui diradati e non ed ha osservato che il difetto è sicuramente maggiore nei cedui abbandonati rispetto a quelli gestiti selvicolturalmente. Macchioni e Pividori (1996) hanno infatti dimostrato che il diradamento tardivo che avviene solitamente intorno ai 14 anni non ha alcuna funzione di mitigare l'incidenza del difetto, mentre invece diradamenti precoci a 7-10 anni hanno un ruolo decisivo nel ridurre l'entità delle fessurazioni. Recentemente Lemaire, 2009a ha dimostrato che in alcuni siti della Francia diradamenti intensivi sopra il 50% potrebbero aiutare ad ottenere materiale di maggiore valore alla fine del turno.

Come si evince la cipollatura è dunque la risultante ultima di una molteplicità di fattori, molto difficili da identificare singolarmente, ma sempre riconducibili a un unico principio di base: uno squilibrio tra le tensioni che si attivano nel legno e le forze di coesione che vi si contrappongono.

MATERIALI E METODI

Selezione e raccolta dei topi.

Per lo studio della cipollatura sono state analizzate 237 piante distribuite come riporta la tabella 3.1 (Cnf. Cap. 3) di esse 196 erano polloni e 41 matricine.

Come è già stato specificato nel capitolo sui materiali di studio i campioni sono stati prelevati cercando di rappresentare in maniera significativa le differenti classi diametrali e ove possibile campionando un numero significativo di matricine. Per i soli siti dei Monti Cimini, Valle Troscone e Pian dei Fraticelli, il campionamento è stato effettuato in bosco in maniera casuale su tutta la superficie di taglio delle particelle (mentre per gli altri siti il materiale è stato prelevato direttamente in segheria).

Misurazione delle caratteristiche di forma e dei difetti dei fusto

Ogni pianta è stata inizialmente caratterizzata morfologicamente come esposto nel capitolo dei metodi. Tale caratterizzazione ha un'importanza notevole nelle successive analisi per stabilire se elementi di stress o anomalie di accrescimento o difetti possono contribuire ad accentuare il difetto.

Il rilievo della cipollatura

L'analisi della cipollatura è stata effettuata su rotelle di 5 cm di spessore prese alla base di ciascun topo. La metodologia di rilievo è stata descritta in Romagnoli et al., 2007 ed in Spina et al., 2008. Vengono qui riportati i concetti principali.

1) Entità del difetto

Il rilievo della cipollatura è stato condotto in due diversi momenti temporali: poco dopo l'abbattimento degli alberi e dopo circa 5 mesi di stagionatura all'aria. La valutazione di ogni fessurazione ha richiesto la determinazione di diversi parametri: si è anzitutto misurata la distanza della fessurazione dal midollo (raggio), l'angolo espresso in gradi sessagesimali e l'arco di circonferenza da esso sotteso (fig. 5.2.2.4), l'anno di insorgenza del difetto, riportando sia l'età cambiale che l'anno solare a cui esso corrisponde. Per analizzare quantitativamente il difetto della cipollatura sono stati usati diversi indici desunti da precedenti lavori (Beccagli et al. 2002, Manetti et al., 2006; Macchioni et al. 1996, Fonti 1997, Fonti et al., 1997, Amorini et al. 2000) ed altri appositamente determinati (ICa).

Sono stati rilevati e calcolati:

l'indice di cipollatura semplice (IC): dato dal rapporto tra l'estensione di ciascuna cipollatura e la circonferenza dell'anello cipollato;

1. **l'indice di cipollatura totale (IC TOT):** (Σ IC per l'intera rotella)
2. **l'indice di cipollatura medio per pianta (Σ IC/NC):** Dato dal rapporto tra l'IC totale e il numero di cipollature.
3. **l'indice di cipollatura medio per anno critico (ICa):** ottenuto sommando in ciascuna rotella i diversi valori di IC relativi al medesimo anno.
4. **il numero totale di cipollature e il numero medio di cipollature per pianta;**
5. **l'estensione media delle cipollature (in cm);**
6. **l'estensione media della cipollatura per pianta (in cm).;**
7. **il numero di anni critici;** ovvero il numero di anni in cui si manifesta il difetto;
8. **l'estensione media della cipollatura per anno critico (in cm);**

2) Tipologia

Le cipollature sono state catalogate e rilevate in relazione alla loro tipologia (Fig. 5.2.2.3). Sul modello elaborato da Fonti et al., (2002 a) e Fonti e Macchioni, (2003) è stato possibile classificare due categorie di fessurazioni:

- **Distacco o scollamento (SC)** consistente in un distacco tra due anelli contigui localizzato a livello della lamella mediana, che non manifesta danni sui due anelli interessati
- **Sovrapposizione (SP)**: Si tratta di una cipollatura di evidente origine traumatica, derivante dalla sovrapposizione di un nuovo strato legnoso sulle cellule morte di un anello preesistente danneggiato da una ferita, con una totale assenza di coesione tra i due strati
- **Frattura (FRAT)**: essa si manifesta attraverso una rottura di un anello di accrescimento. E' stato possibile nel nostro caso individuare due sottotipi di frattura:
 - frattura dell'anello poroso (*fap*): il difetto interessa la zona primaticcia dell'anello, la fessurazione lacera le pareti cellulari dei vasi ed ha un aspetto frastagliato.
 - frattura dell'anello (*fa*): la discontinuità dei tessuti legnosi si presenta localizzata all'interno dell'anello in una posizione mediana non ben definita

Per ogni rotella è stato, inoltre, rilevato il numero totale di cipollature per ciascuna tipologia: SC, FRAT, *fap*, *fa*.

3) Localizzazione

Una successiva serie di analisi ha permesso di determinare la posizione in cui il difetto tende a manifestarsi con maggiore frequenza. Gli indici che individuano la localizzazione del difetto sono:

- **Posizione fisica della cipollatura lungo la rotella (Ip)**: ottenuto rapportando il raggio medio di ciascuna cipollatura con il raggio medio della rotella.
- **Posizione cronologica della cipollatura (Rc)**: ottenuto rapportando l'età alla quale corrisponde una determinata cipollatura (anno critico) con l'età totale della pianta.
- **Indice fisico di prima comparsa (IPC)**: espresso dal rapporto tra il raggio medio in cui il difetto comincia a manifestarsi (primo anno critico) e il raggio totale medio delle piante del popolamento considerato.
- **Indice fisico di ultima comparsa (IUC)**: dato dal rapporto tra il raggio medio a cui corrisponde la cipollatura più esterna (ultimo anno critico) e il raggio totale medio delle piante del popolamento considerato.
- **Indice cronologico di prima comparsa (IPCe)**: dato dalla media complessiva per ciascun albero del rapporto tra il primo anno in cui compare il difetto e il numero di anni complessivo della pianta.
- **Indice cronologico di ultima comparsa (IUCe)**: dato dalla media complessiva per ciascun albero del rapporto tra l'ultimo anno in cui compare il difetto e il numero di anni complessivo della pianta.

Gli indici della cipollatura (entità e localizzazione del difetto) sono stati messi in relazione mediante correlazione semplice con le caratteristiche fenotipiche degli alberi (corrugazione della corteccia, curvature dei fusti), con i difetti del legno (cretti, ferite, doppio midollo, midollo eccentrico) e con i difetti del fusto (cancro corticale, rami morti, rami epicormici), al fine di accertare se alcune caratteristiche di un albero possono influire e in che misura, sulla manifestazione del difetto, e dunque fornire ai selvicoltori dei validi elementi predittivi sul difetto della cipollatura.

È stata usata l'analisi della Varianza per accertare se le piante cipollate (shaken- s) manifestassero rispetto a quelle sane (health - h) delle differenze significative relativamente ai difetti del legno, del fusto, ma soprattutto in relazione al diametro ed età.

L'ANOVA è stata anche utilizzata per valutare l'effetto dell'aumento di diametro e dell'età possono avere sulla presenza, l'estensione e l'evoluzione del difetto. Per analizzare questo aspetto sono state individuate 7 classi d'età e 6 di diametro.

Age class (years)	< 20	20 – 25	26 – 30	31 - 35	36 - 40	41 - 45	> 46
Diameter class	0-20	21-25	26-30	31-35	36-40	>40	

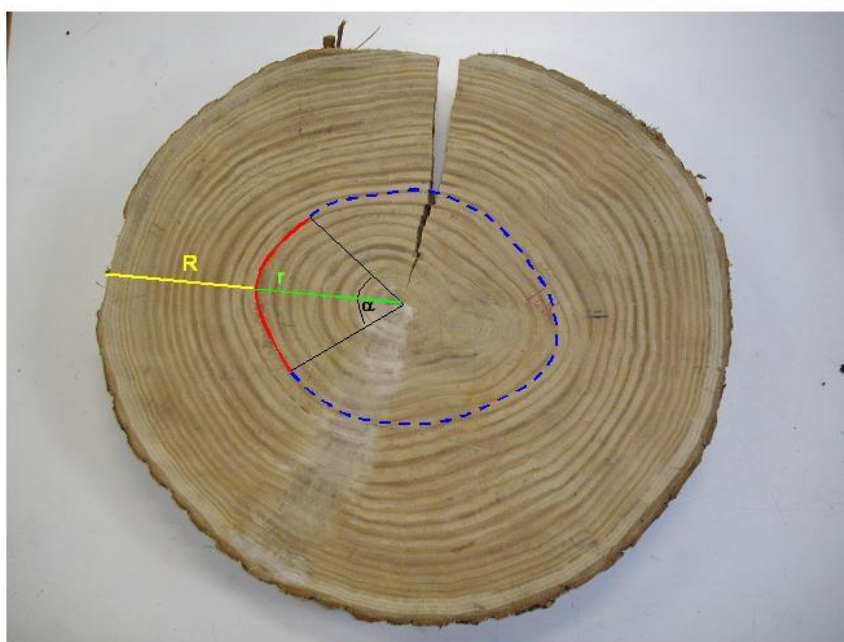


Fig. 4.7: metodologia di rilievo della cipollatura

I parametri della cipollatura e gli indici relative sono stati descritti e analizzati per ciascun sito.

È stato calcolato il coefficiente di Fischer F, in relazione ad una significatività statistica del 95% (*), 99%(**) and 99.9% (***) delle probabilità.

Per isolare l'informazione relative al solo diametro e accertare la sua reale influenza sul difetto senza ingerenze dovute al fattore età (ed all'aumentare di questa), è stata analizzata la varianza solo su piante di 25-30 anni, aventi dunque un'età confrontabile. Inoltre è stata effettuata una correlazione tra l'ampiezza anulare media di ogni singolo campione (MV) e relativa deviazione standard (DS), e i valori dell'indice Ic e col numero di cipollature per valutare se accrescimento o brusche variazioni di incremento potessero influire sul difetto. È stata inoltre calcolata la varianza tra piante sane e cipollate delle ampiezze anulari medie di ciascuna pianta (MV); l'ANOVA delle ampiezze anulari è stata anche misurata relativamente a ciascun anno critico(RW. Ac.), ovvero è stato osservato se in corrispondenza di ciascun anno critico le ampiezze anulari mostrano delle differenze significative rispetto agli anni "sani".

Inoltre per valutare quale fattore fosse preponderante nel determinare il difetto è stata eseguita la ANOVA a 2 vie considerando l'interazione tra Area *Età sul difetto; l'interazione Età* Diametro non si è resa necessaria in quanto è stata analizzato il solo effetto del diametro su piante della stessa età (25-30anni).

La precisa localizzazione della cipollatura è stata ottenuta mediante il confronto con le curve dendrocronologiche medie di ciascun sito. I valori degli indici di cipollatura e il numero di

cipollature sono stati messi a confronto con le curve medie stazionali, per accertare l'influenza degli accrescimenti e degli interventi selviculturali sul difetto.

RISULTATI

Nelle tabella 4.1. vengono riportati gli indici di cipollatura per i polloni e le matricine dei singoli siti ed nella tabella 4.2. i dati medi a ciascun comprensorio territoriale.

Dalla tabella 4.1 e 4.2 si evince una chiara influenza dei siti relativamente alla presenza, intensità del danno provocato dalla cipollatura e numero di piante colpite. L'area maggiormente interessata dal difetto è il comprensorio dei Monti Cimini. L'area dei Monti Sabatini è risultata quella meno colpita dalla cipollatura poiché la si ritrova solo nel 9% dei polloni ed il 7% delle matricine, sebbene tuttavia i valori di I_c più contenuti per i polloni si osservano nel sito di Bassiano.

Dall'esame degli indici relativi alla posizione della cipollatura nella rotella (tab. 4.3 e 4.4) ed all'indice di IPC (indice di prima comparsa) ed IUC (indice di ultima comparsa) (tab. 4.5 e 4.6) si osserva come, in linea di massima, all'interno del fusto la cipollatura sia localizzata prevalentemente in posizione mediana, esiste quindi una zona "franca" che interessa sia la parte più interna e prossima al midollo che quella più esterna vicino alla corteccia (fig. 4.8).

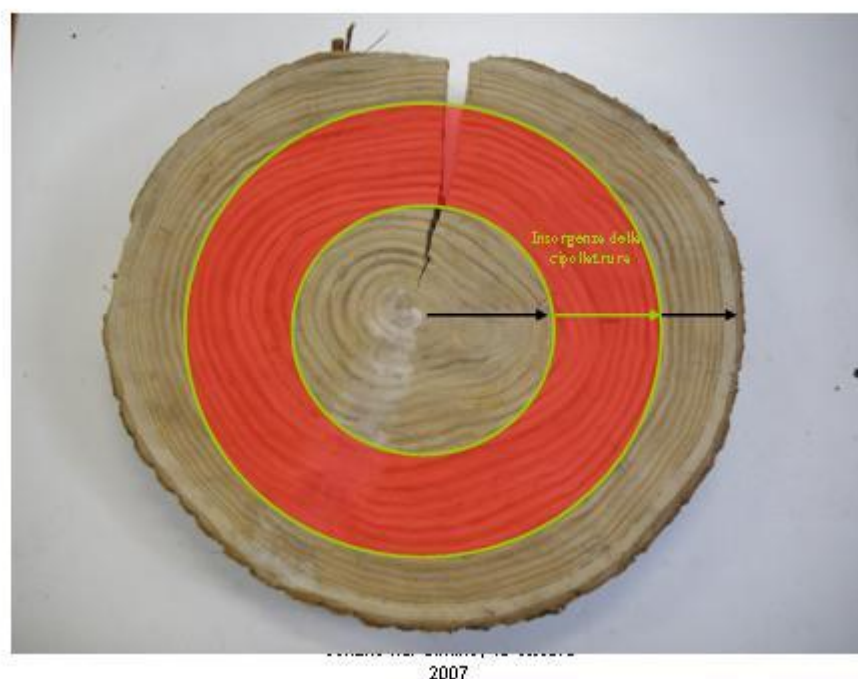


Fig. 4.8. Localizzazione media dell'area interessata dalla cipollatura (in rosso).

In generale possiamo dire che la cipollatura è localizzata intorno alla metà dell'età cambiale e intorno alla metà del raggio (con valori compresi tra 0,32 e 0,79, sebbene i Nei Monti Cimini la media si mantiene piuttosto elevata raggiungendo per le matricine valori 0,79, dunque molto vicini alla corteccia).

L'analisi delle tabelle 4.1 e 4.2 permette di trarre alcune considerazioni di carattere generale. In linea di massima i polloni sono meno interessati dal difetto rispetto alle

matricine (cfr valori di percentuale), che peraltro lo manifestano anche con maggiore gravità. In queste ultime infatti maggiore è il numero medio delle cipollature per pianta, che si estendono anche per un arco di circonferenza maggiore (cfr estensione media delle cipollature in cm). Fa eccezione l'area dei Castelli Romani in cui probabilmente la bassa replicazione del campione ha prodotto un risultato anomalo (solo 3 piante).

La tipologia di cipollatura più frequente è il tipo FRAT per ciascuno dei siti. Nell'ambito di questa tipologia le cipollature *Fap* sono quelle più numerose.

La sovrapposizione è molto frequente a Bassiano (21%), e assente completamente nei M. Cimini, mentre la tipologia SC riguarda soprattutto proprio quest'ultimo sito (23%). Si osserva, in tutti i siti, che essa tende a decrescere spostandoci verso la corteccia.

Dalle tabelle 4.3_ 4.6 e dalla figure 4.9 e 4.10 si evince come in linea di massima superato il 10° anno di età la cipollatura inizia a manifestarsi con maggiore intensità in particolare 12-14 anni rappresentano il periodo cronologico di maggiore intensità del difetto, sebbene alcune cipollature comincino a manifestarsi già a 7-8 anni. A 14 anni il diametro alla base degli alberi cipollati è tuttavia molto variabile con valori compresi tra 8 e 28 cm in relazione alle diverse situazioni di fertilità stazionali e dominanza degli individui arborei.

In generale 15 cm di diametro possono essere considerati il limite dimensionale oltre il quale la cipollatura assume valori di maggiore intensità.

Gli indici di prima ed ultima comparsa della cipollatura (IPC e IUC), non sono in grado di schematizzare la localizzazione fisica del difetto.

Tab. 4.1 Parametri della cipollatura relativi ai siti considerati

Area	Monti Cimini				Castelli Romani			Monti Sabatini			Monti Lepini	
Sito	S.Martino	Pian dei Fraticelli	Valle Troscone	Valle Ninfa	Cavalleria			Cadutella	Rocca Romana		Bassiano	
Tipologia Colturale	Matricine	Polloni	Matricine	Polloni	Polloni	Polloni	Matricine	Polloni	Polloni	Matricine	Polloni	Matricine
N. campioni	13	41	10,00	10	25	27	3	27	27	1	23	11
Piante colpite	6	14	8	5	10	6	1	3	2	1	2	6
% polloni colpiti	46%	34	80%	50%	40%	22%	33%	9%	7,40%	100%	9%	54,54%
Età	44	28	47,00	34-41	21-34	19-23	32	23	25	40	17	26-46
IC tot.	9,67	8,86	7,65	7,41	3,68	2,34	0,25	1,12	0,82	2,15	0,05	2,37
IC medio per anno critico	0,33	0,20	0,13	0,35	0,18	0,21	0,04	0,16	0,21	0,18	0,02	0,10
IC medio per pianta	1,61	0,63	0,96	1,48	0,37	0,39	0,25	0,38	0,41	2,15	0,02	0,39
N. cipollature	192	84	103	56	56	24	6	9	6	34	2	36
N. medio cip. /pianta	32	6	13	9,00	5,6	4	6	3	3	34	1	6
Estens. Media di ogni cipollatura in cm	2,91	4,87	6,00	8,64	2,46	4,79	1,64	3,26	2,05	2,67	0,86	2,37
Estens. media cip./pianta in cm	55,90	29,27	78,20	96,90	13,76	19,15	9,80	9,77	6,14	90,82	0,86	14,20
n anni critici	29	11	21	18	21	11	6	7	4	12	2	16
Estens. media /anno critico in cm	19,28	9,30	8,60	22,218	6,55	3,31	1,64	5,64	4,18	7,57	3,79	3,51
SOVRAP	0	0	0	0	4	4	1	5	0	0	0	8
SC	19	31	29	21	2	1	0	2	1	3	1	3
FRAT	173	53	74	35	50	19	5	2	5	31	1	25
Fap	134	35	49	28	43	11	5	0	5	31	1	21
Fa	39	18	25	7	7	8	0	2	0	0	0	4
posiz cipolatura nella rotella	0,70	0,621	0,785	0,738	0,62	0,64	0,45	0,59	0,32	0,68	0,32	0,48
posizione cronologica	0,44	0,516	0,583	0,580	0,53	0,45	0,54	0,39	0,71	0,46	0,68	0,48

Tab. 4.2. Parametri della cipollatura medi del comprensorio

Aree	Monti Cimini			Castelli Romani			Monti Sabatini			Monti Lepini		
Tipologia Colturale	matricine	polloni	totale	matricine	polloni	totale	matricine	polloni	totale	matricine	polloni	totale
N. campioni	23	51	74	3	52	55	1	54	55	11	23	34
Campioni colpiti	14	19	33	1	16	17	1	5	6	6	2	8
% campioni colpiti	60%	37%	44,60	33%	31%	31%	100%	9%	11%	0,5454	9%	23,52
Età	44-47	28-39	28/47	32	19 - 34	19 - 34	40	23 - 25	23 - 40	26-46	17	17-46
IC tot.	17,18	16,26	33,54	0,25	6,02	6,27	2,149	1,94	4,09	2,36	0,05	2,37
IC medio per anno critico	0,13	0,24	0,19	0,04	0,11	0,11	0,18	0,14	0,15	0,10	0,02	0,13
IC medio per pianta	1,23	0,85	1,02	0,25	0,38	0,37	2,15	0,39	0,68	0,39	0,025	0,30
N. cipollature	294	140	434	6	80	86	34	15	49	36	2	38
N. medio cip. /pianta	21	7,3	13,2	6	5	5,06	34	3	8,17	6	1	4,75
Estens. Media di ogni cipollatura in cm	4	6,38	4,65	1,64	2,47	2,41	2,67	4,4	3,20	2,37	0,86	2,29
Estens. media cip./pianta in cm	79,8	47,07	60,96	9,8	12,33	12,18	90,82	13,2	26,14	14,20	0,86	10,86
n anni critici	17	18	35	6	25	27	12	10	17	16	2	18
Estens. media /anno critico in cm	8,07	12,70	10,74	1,63	3,14	3,05	7,57	4,82	5,28	3,51	3,79	2,85
SOVRAP	0	0	0	1	8	9	0	5	5	8	0	8
SC	48	52	100	0	3	3	3	3	6	3	1	4
FRAT	247	88	335	5	69	74	31	7	38	25	1	26
Fap	183	63	246	5	54	59	31	5	36	21	1	22
Fa	64	25	89	0	15	15	0	2	2	4	0	4
posiz cipollatura nella rotella	0,74	0,68	0,71	0,45	0,63	0,54	0,68	0,45	0,57	0,48	0,32	0,57
posizione cronologica	0,51	0,55	0,53	0,54	0,49	0,52	0,46	0,55	0,51	0,48	0,68	0,49

Tab. 4.3 e tab. 4.4: Inizio e termine della cipollatura in termini di età e raggio di prima comparsa, ed età e raggio di ultima comparsa (Tab. 4.5 e 4.6).

Gli indici IPC sono dati dal rapporto tra il primo raggio di comparsa ed il raggio intero della rotella. IPCe è IPCe è l'anno di prima comparsa e l'età totale della rotella. Elaborazione analoga è stata eseguita per il raggio di ultima comparsa IUC.

Tab. 4.3-4.4

Polloni	Stazione	Età di prima comparsa	IPCe	Età di ultima comparsa	IUCe
	P. dei Fraticelli	12,67	0,45	15,80	0,57
	Valle Troscone	12,06	0,32	23,13	0,63
	Cavalleria	7,40	0,37	13,60	0,68
	Valle Ninfa	14,88	0,43	21,60	0,67
	Cadutella	3,25	0,14	15,66	0,68
	Rocca romana	15,66	0,68	16,88	0,73
	Bassiano	11,50	0,68	11,50	0,68

Matricine	Stazione	Età di prima comparsa	IPCe	Età di ultima comparsa	IUCe
	P. dei Fraticelli	16,85	0,38	28,08	0,64
	San Martino	14,99	0,34	33,99	0,77
	Cavalleria	6,00	0,19	30,00	0,94
	Rocca Romana matricine	13,00	0,33	34,00	0,85
	Bassiano matricine I turbo	13,67	0,40	24,00	0,71
	Bassiano matricine II turno	14,00	0,11	26,33	0,57

Tab. 4.5.- 4.6

MATRICINE	Stazione	Raggio Rotella	Primo Raggio Critico (cm)	IPC	Raggio di ultima insorgenza (cm)	IUC
	Rocca Romana	11,94	2,15	0,18	9,90	0,83
	Cavalleria	17,00	0,80	0,05	14,75	0,87
	San Martino	15,79	4,25	0,26	12,12	0,77
	Pian dei Fraticelli	14,88	7,30	0,54	11,59	0,75
	Bassiano I turno	17	6,26	0,35	11,98	0,69
	Bassiano II turno	13,92	4,92	0,35	8,40	0,58

POLLONI	stazione	Raggio Rotella	Primo Raggio Critico (cm)	IPC	Raggio di ultima insorgenza (cm)	IUC
	Caldera	12,53	4,58	0,38	9,68	0,76
	Rocca Romana	13,85	3,18	0,23	5,80	0,42
	Valle Ninfa	9,52	4,82	0,50	6,65	0,71
	Cavalleria	10,08	3,55	0,36	6,11	0,67
	Pian dei Fraicelli	15,40	8,10	0,54	70,82	0,66
	Valle Troscone	18,82	7,71	0,50	14,39	0,84
	Bassiano	7,96	5,16	0,65	5,16	0,65

La tabella 4.7 evidenzia la correlazione tra gli indici della cipollatura e alcune caratteristiche morfologiche del fusto e dei difetti del legno.

Tab. 4.7: si espongono le correlazioni tra i valori degli indici della cipollatura e alcuni parametri morfometrici e dei difetti.

	AGE	DIA	IC	EXTEN	Ip	Rc	IUCe	IPCe	N. of shake	IPC	IUC
AGE			0,435***	0,432***	0,352***	0,351***	0,386***	0,311	0,404***	0,335***	0,416***
DIA			0,396***	0,459***	0,229***	0,196**	0,248***	0,190**	0,280***	0,191**	0,267***
Cretti							0,136*				0,165**
Ferite	0,385***	0,221***	0,170**	0,256***		0,144*	0,153*	0,132*		0,153*	0,154*
Polloni inclusi	0,185**										
Midollo eccentrico	-0,148*										
Cancro	-0,165	-0,216**									
Rami epicormici											
Rami morti											
Curvatura del fusto											
Corrugazione della corteccia	0,571***	0,599***	0,335***	0,288***	0,305***	0,326***	0,309***	0,267***	0,303***	0,278***	0,329***
DS											
MS											

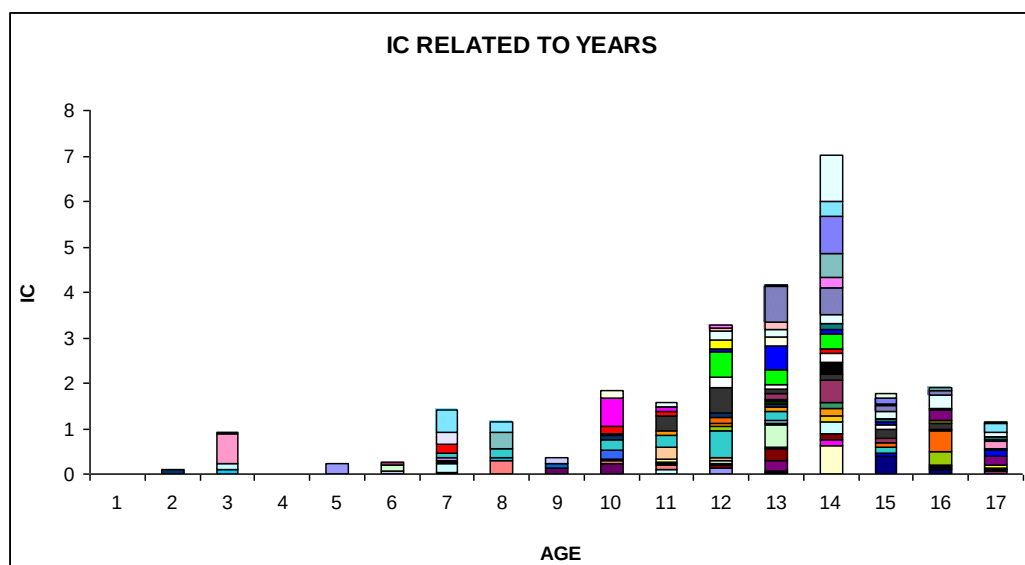


Fig. 4.9 nel periodo 12-14 anni le piante sono particolarmente sensibili al difetto, con valori molto alti di Ic; ciascun colore rappresenta una pianta differente.

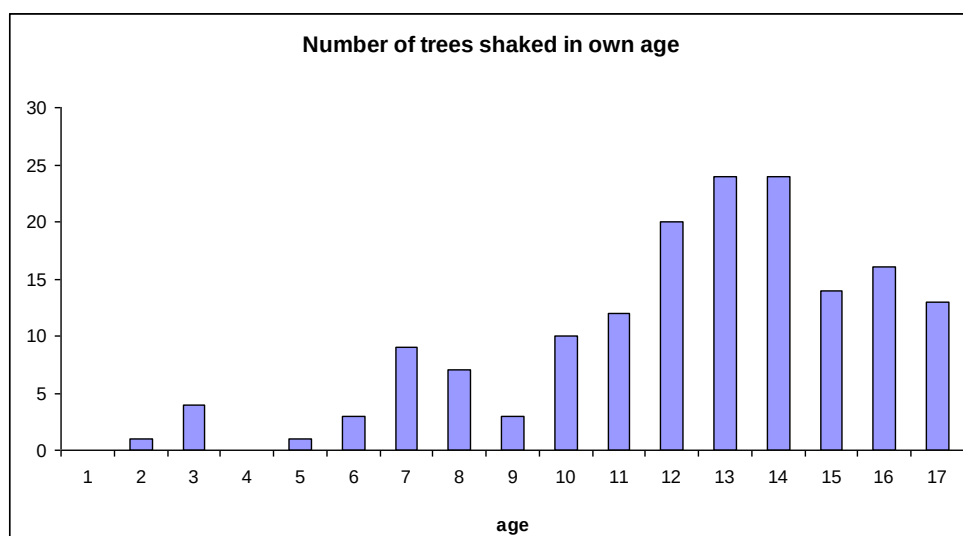


Fig. 4.10: Numero di piante in relazione all'età di comparsa del difetto: il periodo 12-14 anni si dimostra più vulnerabile degli altri

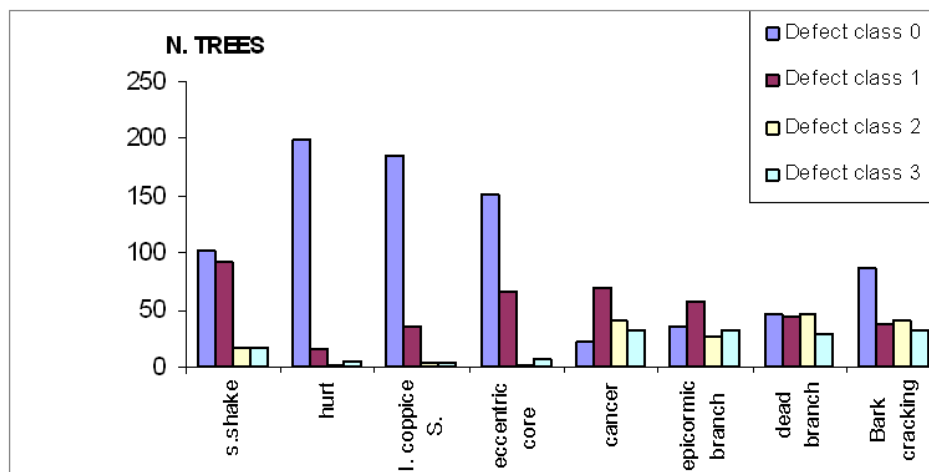


Fig. 4.11: distribuzione delle piante in relazione ai caratteri fenotipici ed ai difetti:

ANOVA

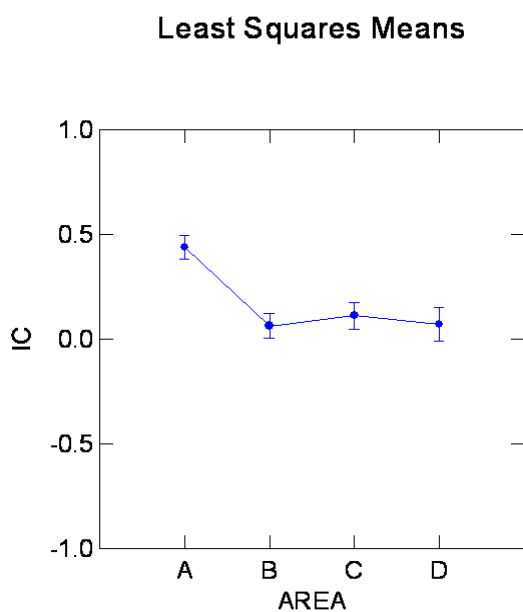


Fig. 4.12: valori medi e relativa deviazione standard dell'indice Ic in relazione alle diverse aree di studio:
A- M.Cimini, B- Monti Sabatini, C- Castelli Romani, D- Monti Lepini.

Le analisi della varianza dei diversi parametri della cipollatura in relazione alle diverse classi di diametro (a parità di età di 25-30 anni) viene rappresentato dai grafici in figura 4.13, in cui compaiono solo i risultati significativi.

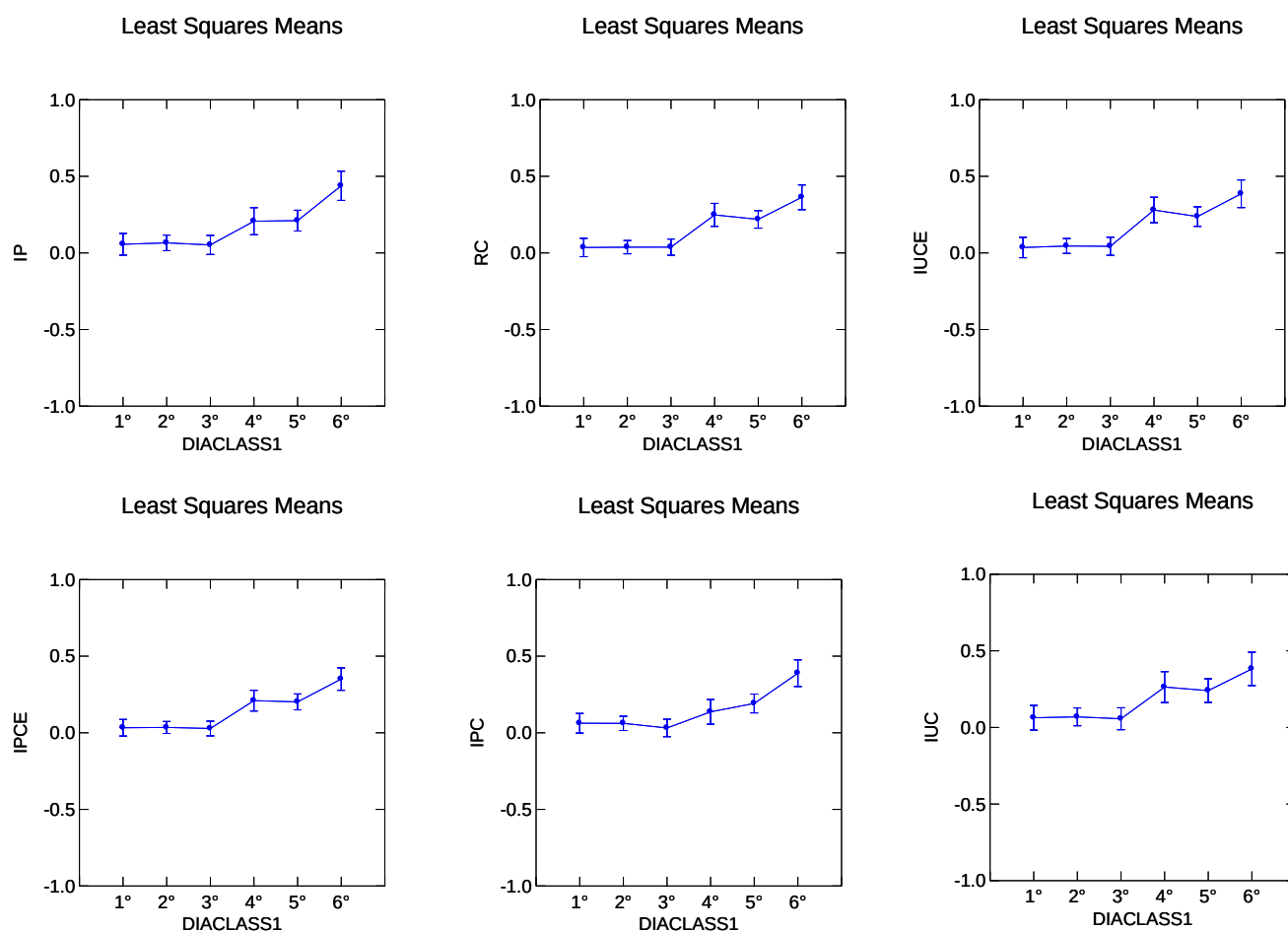


Fig. 4.13: Analisi dei valori medi e delle relative deviazioni standard (ottenuti dalla ANOVA elaborate dal programma SISTAT 11) dei vari indici di cipollatura in relazione alle 6 classi di diametro (≤ 20 cm > 40 cm). Le elaborazioni riguardano solo le piante aventi un'età confrontabile di 25-30 anni; gli indici di posizione sono i soli che mostrano una significatività statistica.

	Diameter class 25-30 years		Area analysis		Age class	
	F	p	f	p	f	p
IC	-	-	9.811	0.000	14.740	0.000
EXT	-	-	10.728	0.000	14.930	0.000
N. shake	-	-	8.160	0.000	9.678	0.000
Ip	3.357	0.009	2.726	0.045	9.365	0.000
Rc	4.512	0.001	3.920	0.009	11.532	0.000
IPC	3.148	0.013	8.367	0.000	10.852	0.000
IUC	2.380	0.048	7.715	0.000	12.326	0.000
IPCE	4.291	0.002	5.403	0.001	5.778	0.000
IUCE	4.955	0.001	8.025	0.002	7.742	0.000

Tab.4.8: Valori del p e del coefficiente di Fischer ottenuto dalla ANOVA analizzando i diversi parametri della cipollatura in relazione al diametro (con piante di 25-30 anni), al sito e alle classi di diametro.

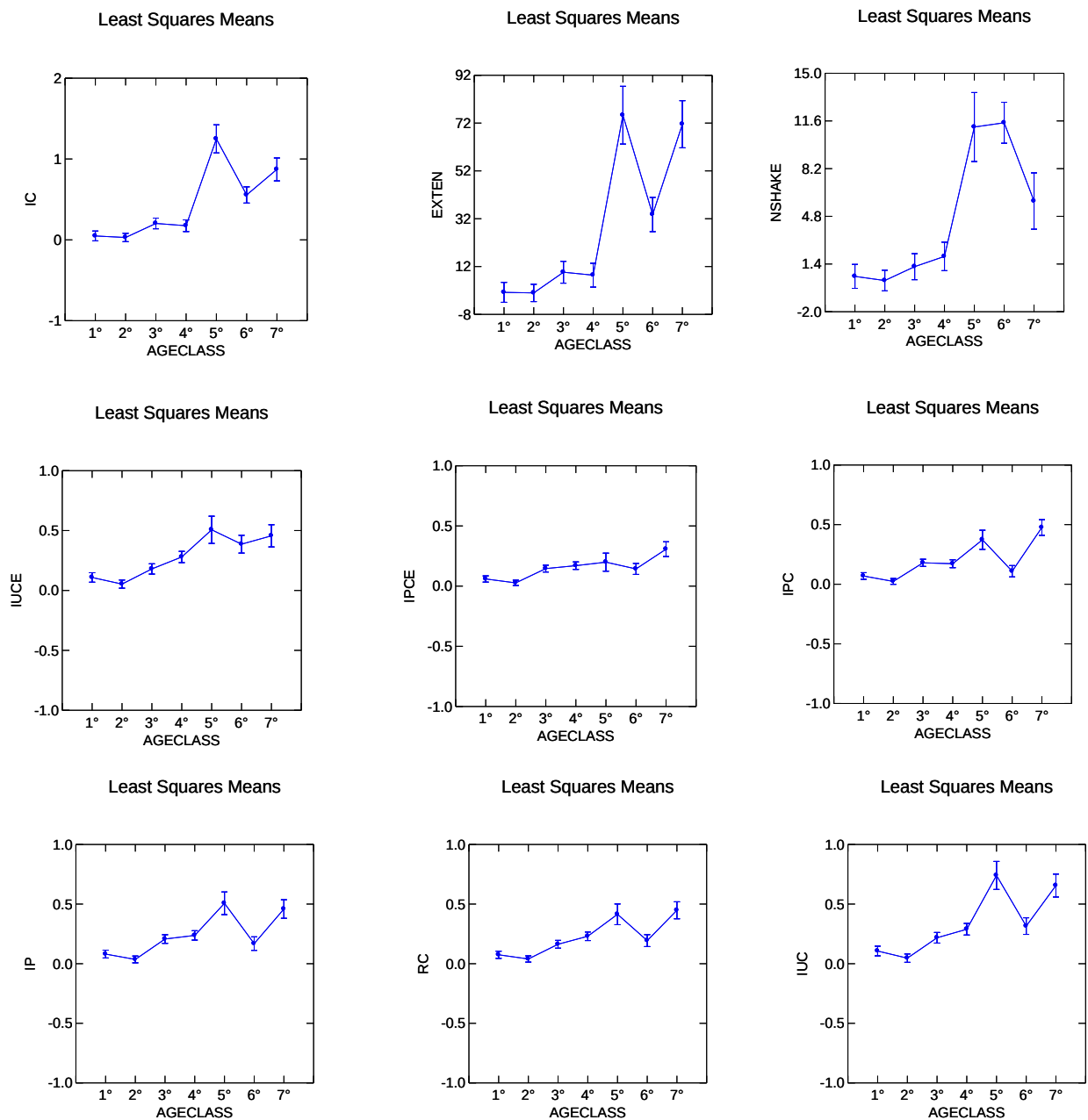


Fig. 4.14 Analisi dei valori medi e delle relative deviazioni standard (ottenuti dalla ANOVA elaborate dal programma SISTAT 11) dei vari indici di cipollatura (IC, Ext, Ip, RC, IPC, IUC, IPCE, IUCE) in relazione alle 7 classi di età.

Le analisi della varianza dei diversi parametri della cipollatura in relazione alle diverse classi di età viene rappresentato dai grafici in figura 4.14, in cui compaiono solo i risultati significativi.

Le piante cipollate mostrano un'età ed un diametro significativamente maggiori rispetto alle piante sane (fig. 4.15), inoltre le piante cipollate mostravano una maggiore presenza di ferite e una corrugazione corticale maggiore (fig.4.15).

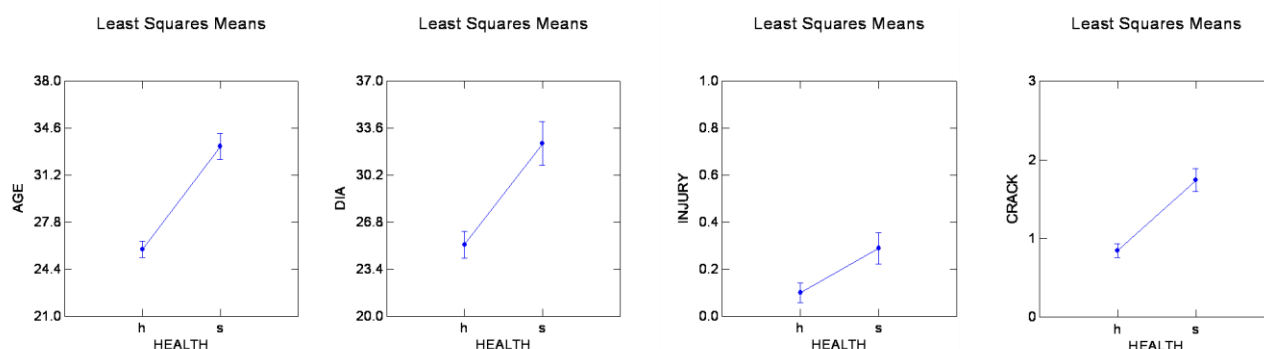


Fig. 4.15 Analisi dei valori medi e delle relative deviazioni standard (ottenuti dalla ANOVA elaborate dal programma SISTAT 11) dell'età, diametro (considerando piante di differente età) numero di ferite, corrugazione corticale (considerando piante con età simile di 25-30 anni) in relazione alla presenza (s)- assenza (h) del difetto

Tab.4.9: Valori del p e dell'errore ottenuto dalla ANOVA analizzando come variano le diverse caratteristiche morfologiche, i difetti, l'età, il diametro in relazione alla manifestazione del difetto (presenza - assenza); in grassetto i soli valori significativi.

Healthy (Shaked -not shaked trees)		
	f	p
Age	42.542	0.000
Diameter	15.741	0.000
Hurt	5.804	0.017
Bark cracking	6.009	0.016
Included coppice Shoot	-	-
eccentric core	-	-
cancer	-	-
epicormic branch	-	-
dead branch	-	-
Stem bending	-	-
Star shake	-	-
MS	-	-
MV	-	-
RW.ac	-	-

Dall'esame delle figure 4.16 e 4.17 è evidente che le azioni selvicolturali hanno un effetto importante nel generare il difetto. In tutti i siti, ed in particolar modo nelle matricine, si osserva in corrispondenza dei tagli intercalari (a Pian dei Fraticelli è stato effettuato uno sfollo nel 1990) o dei tagli di fine turno (a Bassiano vi sono matricine di 1° e 2° turno per esempio) un aumento della comparsa delle fessurazioni. Qualche volta il fenomeno è immediatamente successivo alla data del taglio, altre volte si manifesta in prossimità, e coinvolge gli anelli immediatamente precedenti. Quest'ultima ipotesi lascerebbe intravedere un effetto retroattivo delle fessurazioni e soprattutto una predisposizione che innesci la frattura anche precedentemente all'avvenuto trauma. Tuttavia il difetto si manifesta anche in assenza di interventi selvicolturali o di anomalie negli accrescimenti (Valle Ninfa, Cadutella, Valle Troscione) sottolineando il fatto che gli interventi selvicolturali da soli non sono in grado di spiegare l'origine del difetto.

Gli interventi selvicolturali non sono i soli responsabili dell'innescio della fessurazione, esiste comunque momento che appare fisiologicamente più a rischio, come già esposto sopra, che interessa tutte le piante a partire dai 10 anni, soprattutto quando si verifica un decremento delle ampiezze anulari.

A Pian dei Fraticelli erano stati individuati dei rapporti IPC (posizione fisica della cipollatura) ed IPCE (posizione cronologica), costanti (Spina et al., 2008), che oltretutto trovavano dei termini di confronto anche con altri siti del territorio con vicissitudini selvicolturali totalmente differenti (cfr. Valle Troscione).

Per accertare se le variazioni di crescita potessero influire sul difetto è stata messa in correlazione la Ds delle ampiezze anulari con i valori di IC e con il numero di cipollature ma non sono stati ottenuti risultati significativi. Neanche l'ampiezza anulare media mostra una correlazione con i due indici della cipollatura.

Anche l'analisi della varianza tra ampiezza anulare degli anni critici e degli anni sani non ha prodotto risultati significativi, ovvero gli anni colpiti non mostrano significativamente un'ampiezza differente da quella degli anni sani.

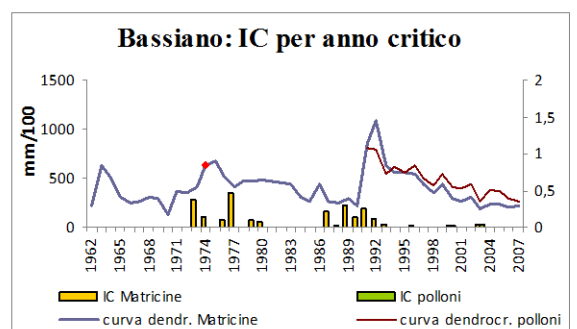
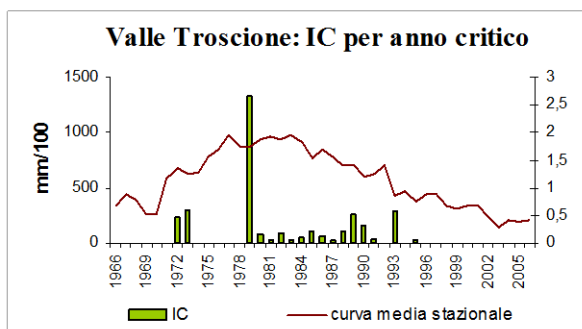
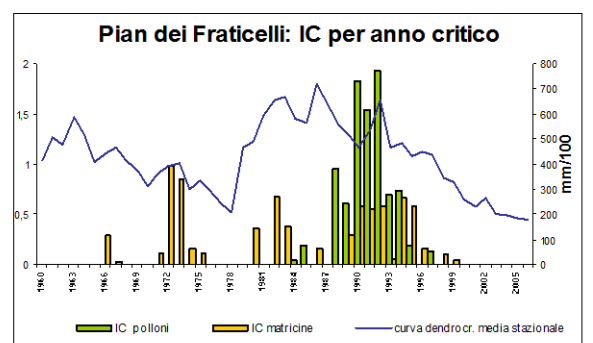
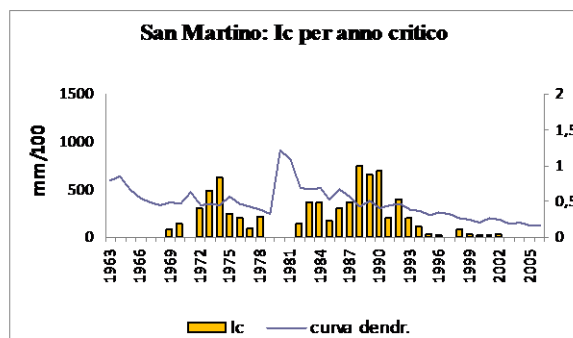
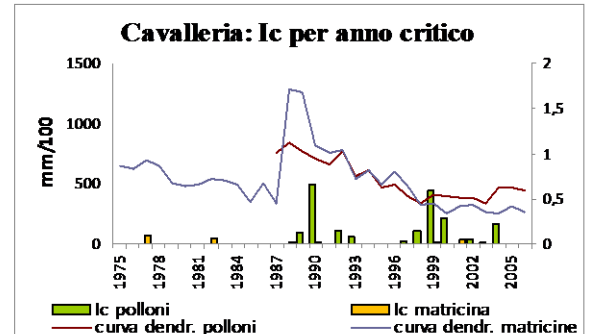
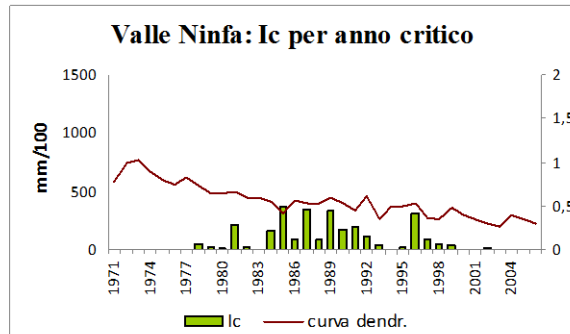
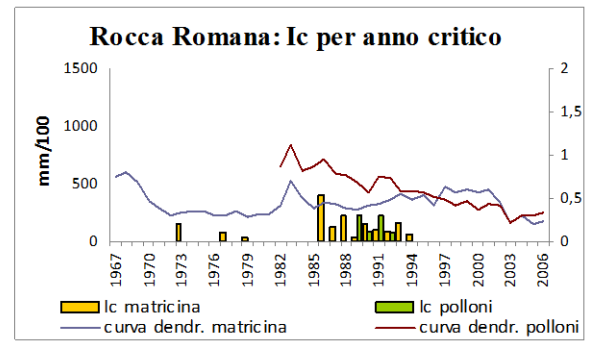
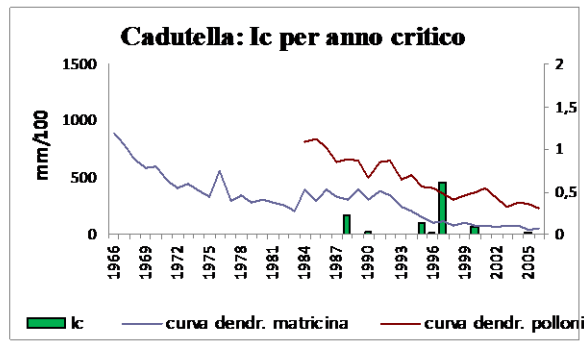


Fig. 4.16: Localizzazione dell'indice IC per ciascun anno critico nei diversi siti.

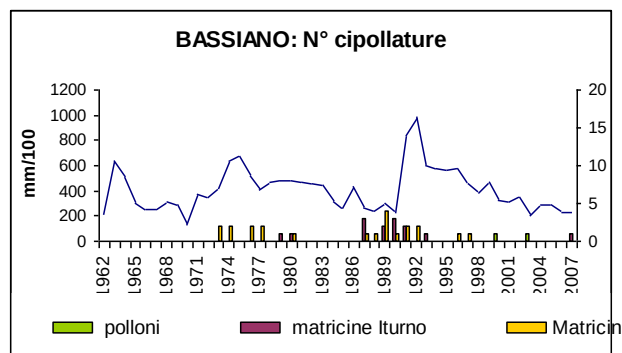
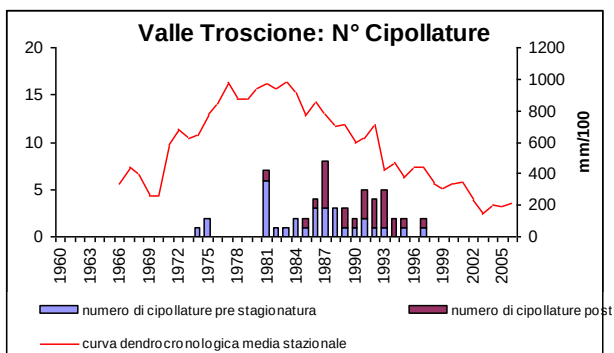
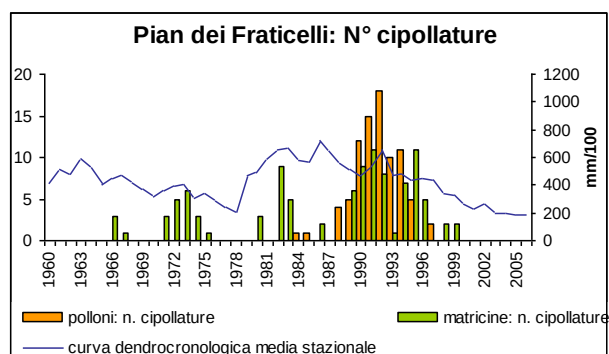
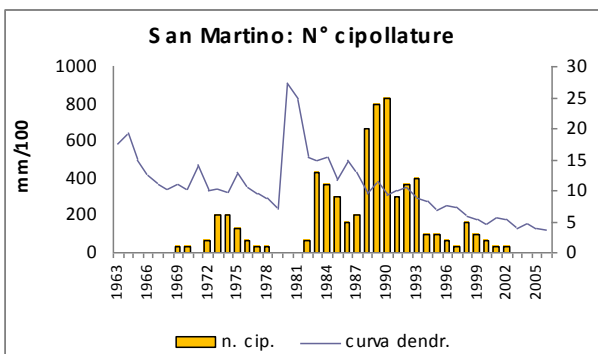
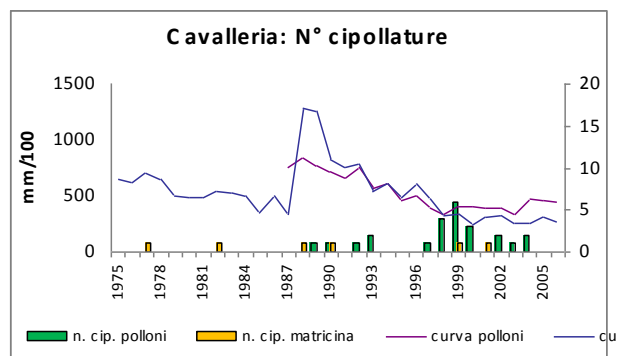
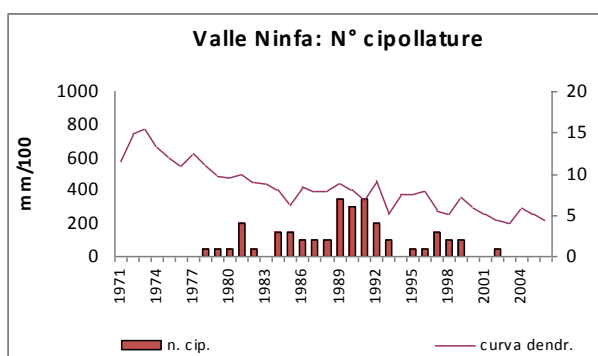
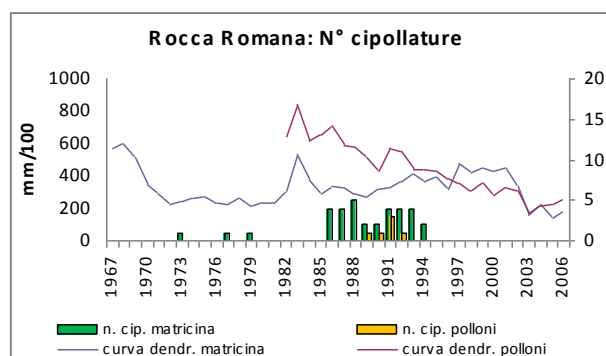
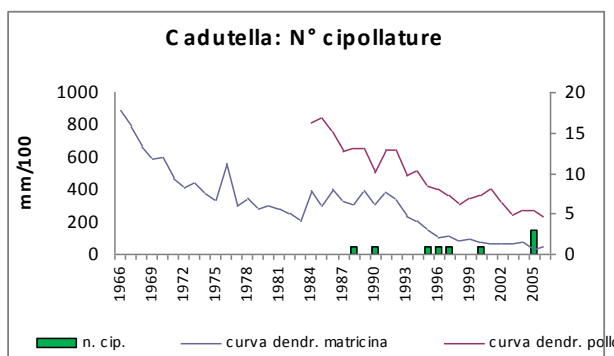


Fig. 4.17: Distribuzione del numero cipollature per ciascun anno critico

DISCUSSIONI

Nella Regione Lazio vi è un diverso grado di suscettibilità al difetto della cipollatura e dalla ricerca è emerso che gli alberi dei Monti Cimini sono i più colpiti. Tuttavia analizzando la ANOVA la maggiore variabilità è data solo da questo sito, dunque almeno per ciò che riguarda l'intensità del danno (IC) il sito che mostra caratteristiche estremamente negative è l'area dei Monti Cimini. L'area meno colpita dal difetto è invece Bassiano nei Monti Lepini, dove cipollatura può essere considerata di importanza trascurabile, soprattutto per quanto riguarda i valori degli indici più che per la percentuale di piante colpite. Tale risultato, può essere ricondotto alle caratteristiche del suolo; Bassiano è infatti l'unico sito che presenta una matrice di tipo calcarea. Diversi studi hanno dimostrato un legame tra il basso contenuto di calcio e una più elevata incidenza della cipollatura (Freyssac e coll., 1994a; Freyssac e coll., 1994b; Laroche 1997, Laroche e coll. 1997, Thibaut e coll., 1995; Verger et al., 1993; Verger et al., 1994; Fonti P., et al., 2002a, Cousseau (2008). Potrebbe sembrare strano trovare una tale correlazione, in quanto il castagno, come ampiamente documentato, è intollerante a suoli calcarei. Tuttavia, l'influenza del calcio ha dimostrato di rafforzare la lamella mediana (Fonti et al. 2002b), e quindi la maggiore difficoltà ad assorbire il calcio degli alberi che crescono su suoli vulcanici può aver contribuito al maggiore percentuale di piante colpite dalla cipollatura.

Relativamente alle tipologie della cipollatura si è osservato che lo scollamento (SC) ha un incidenza contenuta e interessa gli anelli più interni, mentre la tipologia frattura (FRAT) è quella più numerosa e interessa gli anelli più esterni. Il maggiore contributo della tipologia *fap* su quella *fa* alla cipollatura sottolinea la rilevante vulnerabilità alle rotture meccaniche dei vasi primatici (Fonti et al., 2002).

I risultati mostrano il significativo ruolo dell'età degli alberi nel determinare la manifestazione del difetto e la sua entità, soprattutto quando l'età supera i 31-35 anni. Pertanto, gli alberi più colpiti nel bosco ceduo sono le matricine. Questi risultati concordano con le conclusioni di diversi autori (Amorini et al., 1997; Fonti et al., 2002b, Everard et al., 1995, Bercovici et al., 1987, Mutabaruka et al., 2005), i cui risultati indicano l'incidenza progressiva con l'età, anche se diversi studi indicano diverse età critiche (cfr. Mutabaruka et al., 2005). Dai risultati dell'ANOVA, è evidente che gli alberi colpiti dalla cipollatura hanno un diametro maggiore di alberi sani (fig. 4.19 e tab. 4.8). L'influenza del diametro sull'incidenza della cipollatura è risultato significativo e positivo (fig. 4.15 e tab. 4.9), ma è legato soprattutto all'aumento dell'età. In realtà il ruolo del diametro dunque delle dimensioni dell'albero nel generare il difetto perdono significatività quando sono messi a confronto alberi aventi un'età molto simile (25-30 anni) (fig. 4.13 e tab. 4.8). Ciò concorda con i risultati di Mutabaruka et al. (2005), che non hanno osservato differenze significative in termini di diametro dei fusti. La posizione delle fessurazioni è localizzata a circa 0,6 della lunghezza totale del raggio dal midollo, e a circa lo 0,5 dell'età cambiale degli alberi. Tali risultati trovano conferma con quelli ottenuti da Chanson et al. (1990), Fonti et al. (2002a) Spina et al., (2008).

All'aumentare del diametro è stato osservato che corrisponde uno spostamento della cipollatura verso l'esterno della rotella sebbene, è importante sottolineare, tale incremento diametrico non risulta che influenzi gli indici legati alla gravità del difetto (fig. 4.13). Fonti et al. (2002a) hanno suggerito che cipollatura è dovuto allo sviluppo di tensioni di accrescimento che si verificano durante il corso di vita della pianta e che le fessurazioni cominciano quando da una resistenza a compressione si passa ad una a trazione. Nella piante di castagno della Regione Lazio questo momento può essere individuato intorno ai 12-14 anni (fig. 4.9 e 4.10). in cui sia i valori degli indici della cipollatura che la percentuale di piante colpite raggiungono valori elevati. Tuttavia confrontando i diametri corrispondenti a tale intorno cronologico è stata osservata un'elevata variabilità, dunque tale momento critico non è legato ad delle dimensioni limite di sviluppo che inducono il difetto. Resta da chiarire se

accade qualcosa in quel particolare momento che induce la formazione delle fessurazioni o se la causa è precedente o addirittura successiva a questo momento, avendo, dunque, un effetto retroattivo: questa ipotesi trova sempre più spazio nelle presenti considerazioni soprattutto alla luce del confronto degli indici di cipollatura con l'analisi dendrocronologia: in essi è evidente una certa corrispondenza tra interventi selvicolturali e difetto ma non sempre questo si manifesta contestualmente nell'anno del taglio (diradamento o taglio di fine turno). Sembra piuttosto che esso provochi un intorno entro il quale la perturbazione dell'equilibrio sfoci nella cipollatura sia in avanti che indietro negli anni. In alcuni casi è possibile osservare la manifestazione della cipollatura in corrispondenza di una diminuzione degli accrescimenti (Valle Troscone). Tuttavia la dendrocronologia da sola non è in grado di spiegare la comparsa del difetto e sicuramente vi è una combinazione di fattori che lo determinano, basti osservare quei siti (Rocca Romana) in cui la cipollatura compare ma non sono stati effettuati interventi selvicolturali. In generale le variazioni repentine delle ampiezze anulari non sembrano stiano alla base del fenomeno, come dimostra la mancanza di significatività della correlazione semplice tra I_c , numero di cipollature e D_s delle ampiezze anulari. In realtà neppure le ampiezze dei singoli anelli interessati da cipollatura (anni critici) mostrano delle variazioni significative rispetto a quelli sani: si può concludere che la cipollatura non sembra essere influenzata direttamente dalle dimensioni degli anelli, né dalla variazione di accrescimento di questi all'interno dei fusti, sebbene sia ovvio che accrescimenti simili siano frutto di condizioni di crescita omogenee e quindi di condizioni di sviluppo in grado di minimizzare le tensioni interne.

I risultati relativi alla variazione di intensità del danno in relazione alle diverse classi d'età (fig.4.13, tab 4.8) ha permesso di capire che la cipollatura ha una gravità contenuta sino ad un'età di 25-30 anni quando gli alberi hanno un diametro maggiore, mentre aumentano in maniera significativa a partire dalla classe 31-35 anni.

Quanto detto sul rapporto tra diametro dell'albero e cipollatura sembra essere in contrasto con l'analisi delle correlazioni, in quanto una correlazione significativa tra diametro albero e gli indici legati alla gravità del difetto può essere osservata in Tab. 4.7. Tuttavia va ricordato che quest'ultima tabella mostra i risultati relativi alla serie di dati di tutte le classi di età, e che il diametro delle piante fortemente determinato dall'età, dunque anche in questo caso il fattore preponderante è sempre l'età. I risultati ottenuti possono solo parzialmente essere spiegati dall'analisi degli stress all'interno delle piante i quali aumentano coll'aumentare del diametro sia in direzione assiale che trasversale (Ormarsson et al., 2010), mentre la resistenza del legno in direzione radiale diminuisce dal midollo verso la corteccia. (Fonti et al., 2002b).

La possibilità di identificare le caratteristiche fenotipiche che indicano la probabile presenza della cipollatura è un obiettivo molto importante per la silvicoltura. Lo studio della varianza ha mostrato l'effetto negativo delle ferite sull'incidenza del difetto, questo significa che una corretta gestione selvicolturale durante le attività di utilizzazioni forestali può ridurre l'entità del difetto negli alberi asciati in piedi.

Un ulteriore carattere fenotipo che è legato alla presenza cipollatura è la corrugazione della corteccia (fig. 4.15, tab. 4.9). Questa caratteristica non è legata solo all'età, dal momento che si verifica anche in alberi di età comparabile (25-30 anni). Il risultato conferma le osservazioni di Mutabaruka et al., 2005; Kerr et al., 1993. Gli indici che descrivono altri stati di stress negli alberi (cancro corticale, ramimorti, rami epicormici,) non sembrano essere correlati con la cipollatura. Una conclusione simile è stato raggiunto da Savill e Mather (1990) per quanto riguarda il legno di quercia: apertura angolare delle branche e rami epicormici sono caratteristiche ereditabili e non sembrano essere correlate con il difetto cipollatura (Kanowski et al., 1991; Mather et al. 1992). Dalle analisi della correlazione, ci si aspettava di trovare una correlazione tra la curvatura dello fusto e / o eccentricità di midollo e il difetto, legati alla presenza di legno di tensione nella struttura. I rapporti tra fessurazioni e inclinazione del fusto nel castagno sono stati ipotizzati da Mattheck e Kubler (1997) e Fonti et al (2002b) che mostra i rapporti tra legno di tensione e la cipollatura.

Una correlazione tra curvature del fusto e cipollatura è stata in effetti trovata in Pian dei Fraticelli nei campioni provenienti dai Monti Cimini (Spina et al., 2008). Tuttavia, la correlazione scompare sia quando si considerano tutte le serie di dati (237 piante) e quando si tiene conto dei dati per ciascuna area (Cimini, Sabatini, Castelli Romani e Lepini). Questo risultato dimostra che questa caratteristica non può essere considerata esplicativa del fenomeno in generale, ma che è legata alla presenza di stress causati da una maggiore o minore crescita all'interno dell'albero, che dipendono dalle caratteristiche di fertilità del sito e dallo stato di dominanza e vigoria degli alberi.

L'effetto di una corretta gestione selvicolturale è significativo, non solo per quanto riguarda la frequenza dei danni che derivano agli alberi, ma anche per il ruolo degli interventi forestali. La gestione selvicolturale cedua potrebbe, con bruschi isolamenti delle piante, incrementare le tensioni interne dovute alle oscillazioni dei fusti a causa del vento, e causare tensioni di accrescimento dovute alla competizione iniziale dei polloni nelle prime fasi di sviluppo.

Diverse sono le ipotesi proposte per ridurre la cipollatura attraverso gli interventi selvicolturali: Amorini et al., (1997) e più recentemente Beccagli et al., (2002) hanno concluso che un diradamento precoce (a 7-10 anni) poco prima del calo fisiologico delle ampiezze anulari legate all'esaurimento della spinata agamica di sviluppo, possa essere una soluzione per ottenere una migliore qualità del materiale attraverso la promozione di una crescita regolare e sostenuta. Più recentemente (Lemaire, 2009) ha dimostrato che in siti francesi i diradamenti intensivi che interessano almeno il 50% della copertura può aiutare a ottenere materiale di qualità migliore, alla fine del ciclo di produzione.

Inoltre interventi precoci possono promuovere un accrescimento regolare e sostenuto che garantisce un incremento del diametro che come è stato osservato è correlato ad un aumento della resistenza meccanica e dunque ad una conseguente maggiore resistenza alle fessurazioni.

CONCLUSIONI

Le ricerche sulla cipollatura hanno permesso di identificare e caratterizzare il difetto all'interno del territorio laziale.

Innanzitutto è emersa una diversa suscettibilità al difetto dei diversi comprensori territoriali: I Monti Cimini, in particolare, mostrano la maggiore vulnerabilità al difetto relativamente a tutti gli indici, mentre negli altri siti si osservano delle differenze contenute. Riassumendo, in relazione alla percentuale di piante colpite e all'entità delle fessurazioni, la situazione è così riassumibile: Monti Cimini > Castelli Romani > Monti Sabatini > Monti Lepini.

La bassa incidenza del difetto nei Monti Lepini sottolinea il ruolo del suolo nel mitigare la cipollatura.

I risultati mostrano il significativo ruolo dell'età degli alberi nel determinare la manifestazione del difetto e la sua entità, in particolare è emerso che il difetto comincia a manifestarsi con una certa gravità nei cedui maturi con età superiore ai 30 anni. Pertanto, gli alberi più colpiti nel bosco ceduo sono le matricine.

Il diametro non sembra influire significativamente sulla cipollatura, dunque all'aumentare del diametro non corrisponde un aumento dell'incidenza del difetto; piuttosto esso influisce sulla localizzazione delle fessurazioni, ovvero all'aumentare delle dimensioni del diametro le cipollature tendono a localizzarsi verso l'esterno del fusto.

Le piante cipollate mostrano un ben determinato periodo critico in cui la cipollatura tende a manifestarsi con maggiore incidenza; tale periodo è compreso tra 12 e 14 anni, sebbene le fessurazioni comincino a manifestarsi già al 7° anno. Tuttavia all'intorno critico di 12-14 anni non corrisponde un ben determinato diametro, ovvero le dimensioni hanno non hanno effetto sulla manifestazione delle fessurazioni.

Le fessurazioni di tipo meccanico (Tipologia FRAT) sono quelle più numerose.

Le caratteristiche fenotipiche e stati di stress della pianta sono scarsamente indicativi del difetto: in particolare cancro corticale, rami epioicormici, rami morti, curvatura del fusto, non

sembrano essere correlati col difetto; la corrugazione corticale e le ferite alla base delle piante sono invece dei validi elementi diagnostici e predittivi in quanto è stato osservato che all'aumentare della corrugazione della corteccia e delle ferite corrispondeva anche una maggiore incidenza alla cipollatura.

Gli interventi selvicolturali svolgono un ruolo importante in relazione al difetto sebbene il legame con la cipollatura non è ancora ben chiaro. Sicuramente l'intervento colturale genera delle perturbazioni all'interno del legno che sfociano nelle fessurazioni sebbene il loro effetto e le loro manifestazioni non sono sempre contestuali al momento dell'intervento, è avvalorata dunque la tesi che i tagli colturali e i diradamenti possono avere anche un effetto retroattivo e dunque anche su legno vecchio. Da questo studio sembra che le variazioni di crescita e in generale le ampiezze anulari non giochino un ruolo importante nel determinare la cipollatura, se ne deduce che di per sé il ruolo dei diradamenti nel causare il difetto influiscono più sulla minore stabilità delle piante dovute all'isolamento nell'aumento degli anelli di accrescimento. Il ruolo delle ferite mette in risalto l'importanza di interventi selvicolturali effettuati con perizia e attenzione per preservare gli alberi rilasciati.

BIBLIOGRAFIA

- Amorini E., Bruschini S., Fioravanti M., Macchioni N., Manetti M.C., Thibaut B., Uzielli L., - *Studi sulle cause di insorgenza della cipollatura nel legno di castagno (Castanea sativa Mill.)*. Atti del Convegno Nazionale sul Castagno, 23-25 Ottobre 1997, Cison di Valmarino, Treviso, 269-292. 1997
- Beccagli C., Amorini E., Manetti M.C., - *Incidenza della Cipollatura in popolamenti di cedui di castagno da legno del Monte Amiata*. Ann. Ist. Sper. Selv. - Vol 33, 245 - 256 - 2002-.
- Fonti P., - *Studio delle correlazioni tra alcune caratteristiche del soprassuolo e dei polloni di castagno (Castanea sativa Mill.) con l'incidenza della cipollatura in un ceduo a Novaggio, Ticino*. Lavoro di diploma, Politecnico federale di Zurigo, pp. 88. 1997
- Fonti P., Giudici F., Kucera L., Ott E., Pöhler E., - *Studio sulla cipollatura in un ceduo castanile*. Atti del Convegno Nazionale sul castagno, Cison di Valmarino, Treviso, 23-25 Ottobre 1997, 293-302 - 1997.
- Fonti P., Giudici F., Conedera M.,. *La cipollatura nel legno di castagno: un problema centrale per il rilancio della castanicoltura da legno di qualità*. Schweiz Z. Forstwes 153 (11), 430-436 - 2002 a.
- Fonti P., Macchioni N., Thibaut B. - *Ring shake in chestnut (Castanea sativa Mill.): state of art*- A.. For. Sci , 59, 129-140 - 2002 b.
- Fonti P., Macchioni N., - *Ring shake in chestnut: Anatomical description, extent and frequency of failures*. Annals of Forest Science, 60, 403-408 - 2003.
- Giordano G., *Tecnologia del legno*. UTET Torino - 1984
- Lemaire J., (translated by Torregiani). *Diradamenti dinamici. Una selvicoltura ottimale nei cedui di castagno*. Sherwood, 151, 32-35 - 2009a
- Lemaire J., (translated by Torregiani). *Valore finanziario dei castagneti. Come cambia in funzione della modalità di diradamento*. Sherwood, 151, 36-39 -2009b.
- Macchioni N., Pividori M., - *Ring shake and structural characteristics of the chestnut (Castanea sativa Mill.) coppice stand in the northern Piedmont (north west Italy)*, Ann. Sci. For., 53 (1), 31-50. 1996;
- Manetti, M.C.; Amorini, E.; Beccagli, C. - *New silvicultural models to improve functionality of chestnut stands*; Advances in Horticultural Science **1**: 65-69. 2006
- Milne, R.J., Bennett, L.P., Harpley, P.J. - *Contributions of landscape ecology, multifunctionality and wildlife research toward sustainable forest management in the Greater Toronto Area*. Forestry Chronicle 82 (3), pp. 403-411 - 2006.

Mutabaruka C., Woodgate G.R., Bukley G.P. 2005 – *External and internal growth parameters as potential indicators of shake in sweet chestnut (Castanea sativa Mill.)*. Department of Agricultural Sciences, Imperial College London.

Spina S., Agrumi M., Bistoni A., Romagnoli M, - *Cipollatura del castagno, un caso di studi nei Monti Cimini.*. Sherwood, n 143, 45-50 - 2008a.

Tani A., Maltoni A., Mariotti B.,– *La produzione legnosa di castagno in Italia. Situazione attuale e prospettive.* Sherwood, 92, 5-12 - 2003.

5. CARATTERISTICHE FISICO-MECCANICHE

INTRODUZIONE

La ricerca nelle scienze forestali sulle tematiche inerenti il castagno non ha mai registrato un calo di interesse nel corso degli anni. Ciò è dovuto alla vocazione produttiva della specie, alla sua ampia diffusione, al ruolo che nei secoli ha assunto nella tradizione e cultura della penisola italiana (Amorini *et al.*, 2000, Manetti *et al.*, 2001, Moschi *et al.*, 2003, Berti *et al.*, 2007). I ritmi di accrescimento sono poi paragonabili a quelli degli impianti di arboricoltura, nei Monti Cimini si raggiunge infatti un incremento 21,1 m³/ha all'età di 15-16 anni (Tani *et al.*, 2003). Il legno è uno dei prodotti maggiormente apprezzati e conosciuti: è dotato di pregevoli caratteristiche estetiche e tecnologiche, anche se è noto come il difetto “cipollatura” abbia limitato e compromesso gli impieghi a maggior valore aggiunto. Attualmente la messa a punto della metodologia di rilievo e gli studi sulla cipollatura rendono possibile promuovere nuove azioni per aumentare il pregio degli assortimenti ritraibili dai soprassuoli forestali, individuando le località in cui la presenza del difetto è contenuta ed ipotizzando adeguate forme di gestione selvicolturale che incidano sull'ottenimento di materiale privo della fessurazione (Macchioni e Pividori, 1996, Amorini *et al.* 1998, Beccagli *et al.*, 2006).

La situazione selvicolturale dei boschi di castagno presenta una articolazione complessa nelle diverse realtà territoriali. La specie ha elevata vocazione produttiva ma la qualità del materiale ritraibile dai soprassuoli è legata a cure colturali come sfolli e diradamenti che sempre più faticosamente vengono eseguite con regolarità nei boschi, soprattutto in quelli di proprietà pubblica. Ne consegue uno stato di abbandono documentato in diverse regioni della penisola italiana che comporta un inevitabile depauperamento della capacità produttiva della specie (Pividori *et al.*, 2006).

In questa prospettiva le ricerche sulle caratteristiche tecnologiche del legno assumono un nuovo ruolo, vanno infatti identificati i siti che producono materiale di migliore qualità, cercando di comprendere se, oltre al minor rischio di cipollatura ed alle maggiori dimensioni, esistano altri elementi che rendano preferibile il legno di castagno importato rispetto a quello laziale (Sarlatto. *et al.*, 2006, Romagnoli *et al.*, 2008). Nel Lazio infatti le aziende, per far fronte alle richieste del mercato, importano assortimenti di castagno, in particolare dalla Francia, ma anche dai paesi dell'Est Europeo, ed il materiale di origine locale rimane spesso sotto-utilizzato rispetto alle qualità che possiede, e talora viene destinato come legna da ardere.

Considerando i turni dei boschi di castagno, nell'area laziale nel toppo di base di un ceduo a fine turno (25-30 anni) possono ottenersi diametri fino a 35 cm, almeno nell'area dei Monti Cimini. La produzione di fusti con diametri elevati potrebbe essere utile anche per ottenere tavole per falegnameria di pregio. La possibilità di ottenere assortimenti di maggiore diametro è perseguibile con due modalità:

- aumentando il turno dei soprassuoli forestali
- incentivando operazioni selvicolturali che permettano di ottenere incrementi elevati in un lasso di tempo non molto lungo.

E' ben noto, inoltre, come il concetto di qualità del legno coinvolga diversi elementi alcuni dei quali soggettivi e legati all'utilizzo finale. Il legno di castagno ha il suo principale limite di impiego nel difetto della cipollatura. Su quest'ultimo difetto negli ultimi anni sono state pubblicate una serie di ricerche che hanno dimostrato come ci siano dei siti che sono comunque meno predisposti a formare la fessurazione e come adeguate forme di gestione selvicolturale possano interagire e limitarne la formazione (per i contributi più recenti e relativi all'area si consultino Fonti *et al.*, 2002, Spina *et al.*, 2008a e b; Beccagli *et al.*, 2006; Mori P., 2009).

Le riflessioni fin qui riportate tengono conto della valenza produttiva del castagno, esiste però anche un ruolo ecologico della specie che potrebbe essere indagato con ricerche xilo-cronologiche,

più specificatamente riconducibili a indagini dendroclimatologiche e xilogenetiche. Questo tipo di indagine è importante soprattutto per comprendere:

- a) l'effetto dell'ambiente sulla formazione del legno con particolare riguardo alla possibilità di individuare i fattori che concorrono alla formazione dello xilema,
- b) identificarne il ruolo della specie come bioindicatore ambientale, anche in un'ottica di rete, per la conoscenza dei cambiamenti climatici globali. Questo ultimo aspetto non è di poco conto considerando che talora la specie è inserita in zone ZPS e SIC ed è soggetta a vincoli e restrizioni sotto il profilo della selvicolturale.
- c) Indagare il difetto della cipollatura sin dalla genesi dello xilema, cercando di dare delle risposte ad un difetto che pregiudica gli assortimenti di pregio.

L'obiettivo generale della ricerca consiste nel fornire un contributo alle decisioni di carattere selvicolturale, orientando i regolamenti forestali verso forme più flessibili e quindi più aderenti a situazioni puntuali, ed individuare sotto il profilo macroeconomico le zone in cui è possibile e conveniente esaltare la vocazione produttiva, incentivando l'attività delle imprese di prima e seconda trasformazione. L'obiettivo specifico dello studio è quello di analizzare le caratteristiche tecnologiche in maniera quanto più estensiva possibile, appurando se le differenze tra le diverse situazioni siano significative, analizzare dunque quali siano i siti con maggiore vocazione produttiva e con le potenzialità incrementali più elevate.

Si intende inoltre analizzare l'effetto del diametro e dell'età sulle caratteristiche tecnologiche del legno, per trovare quelle soluzioni di carattere selvicolturale che meglio esaltano la vocazione produttiva della specie. Infine attraverso le analisi dendrocronologiche si cerca di analizzare quali sono i fattori ambientali che influiscono sull'accrescimento, discorso questo più approfonditamente trattato nel capitolo dedicato alla xilogenesi.

MATERIALI E METODI

CARATTERISTICHE FISICO –MECCANICHE: IL MATERIALE DI STUDIO

Terminate le fasi preliminari di marcatura dei campioni, il materiale è stato lasciato stagionare per un periodo di circa 4 mesi all'aria. Successivamente conformemente alle norme UNI 3252, UNI ISO 3129, sono stati tagliati i provini legnosi per le prove fisico-meccaniche. I topi legnosi sono stati segati (con taglio parallelo all'asse longitudinale del topo) in modo tale da ottenere per ciascuno una tavola diametrale dello spessore di circa 6 cm. Da una delle due tavole ottenute nella parte più esterna, è stata ottenuta una seconda tavola di spessore di circa 3 cm, da utilizzare in seguito per ottenere i provini da sottoporre a prove di resistenza a penetrazione. Le tavole ottenute, sono state lasciate a loro volta stagionare per circa un mese, affinché perdessero l'umidità residua e affinché non dessero luogo a movimenti anomali dovuti ai ritiri del legno. Successivamente per poter ottenere i provini, la prima operazione effettuata è stata quella di segnare su ogni tavola, pulita accuratamente con il frullino a disco, gli anelli di accrescimento per poter identificare in ogni provino successivo il numero di anelli compresi e la loro ampiezza, e la loro posizione rispetto al midollo. Una volta ottenute le tavole diametrali di 3 cm di spessore, l'operazione successiva è stata quella di trasformare le stesse in sbizzi, successivamente sono stati ottenuti i seguenti campioni: un provino di dimensioni 20 x 20 x 30mm per effettuare la determinazione dei ritiri e della massa volumica, un provino 20 x 20 x 300mm per effettuare la prova a compressione e un provino 20 x 20 x 300 mm per effettuare la prova a flessione statica.

Da ciascuna tavola tangenziale è stato realizzato un campione quadrato di dimensioni 50 x 50 mm e con uno spessore di 20 mm (con le dimensioni maggiori coincidenti con l'asse longitudinale e la direzione radiale della tavola), utilizzato per effettuare le prove di durezza.

Per ciascun sito sono state misurate le seguenti caratteristiche del legno: massa volumica al 12% di umidità (ρ_{12}), densità basale (ρ_y), ritiri totali (β_t , β_r , β_v), coefficiente di deformazione (Ψ), resistenza a compressione assiale (σ_{12}), resistenza a flessione statica (σ_{b12}), durezza di Brinell (HB).

DETERMINAZIONE DELLA RESISTENZA A COMPRESSIONE PARALLELA ALLA FIBRATURA.

Con questa prova si è determinato il carico che provoca la rottura a compressione parallela alla fibratura. In questo caso sono stati utilizzati provini, con dimensioni di 20x20x30 mm, come riportato nella norma UNI ISO 3787(fig n. 32)

La prova di compressione è stata effettuata sui provini, considerando sia l'umidità al momento stesso della prova che l'umidità al 12%.

Per le prove meccaniche è stata usata la macchina prova-materiali universale Zwick-Roell Z050 (fig. 5.1). La macchina esercita una pressione massima di 50KN. Collegato al macchinario vi è un computer, che con l'ausilio dello specifico software , consente di registrare i dati relativi ad ogni test.

Per procedere all'esecuzione delle prove è stato impostato un programma di lavoro al fine di ottimizzare i tempi e di rispettare le indicazioni imposte dalle Norme UNI per i diversi tipi di prove. Tale operazione è stata effettuata empiricamente utilizzando provini di castagno in eccesso ottenuti dalle precedenti lavorazioni.

Nel caso della prova a compressione si è impostato un precarico di 2 Mpa: il precarico rappresenta una serie di valori della deformazione in funzione del carico che si intende omettere dalla rappresentazione grafica; in questo modo viene registrata esclusivamente la curva più rappresentativa del grafico carico-deformazione. La velocità della macchina in tale fase è di 10mm/min. e scende a 5 mm/min nel momento in cui il carico supera i 2,5 Mpa. I valori di deformazione durante il test vengono registrati ad intervalli di 0,1 s di tempo, e 1 N di carico. La macchina inoltre è stata impostata per interrompere la prova nel momento in cui, superato il punto di rottura del provino, il carico subisce una perdita del 10% rispetto al carico massimo; la prova si conclude in un periodo di tempo compreso tra 90s-120 s come riportato dalla normativa.

In questo modo, sono stati ricavati i valori di carico massimo per ogni provino (P_{max}). Tale valore, messo in relazione con le dimensioni trasversali del provino, ha permesso di calcolare la tensione di rottura all'umidità di prova (σ_w) e successivamente all'umidità del 12%.

L'umidità di prova è stata calcolata su 20 provini campione, applicando il Metodo per pesata che si basa sulla determinazione della perdita di massa riscontrata sul materiale una volta che esso è stato disidratato.

A questo punto impiegando la formula di conversione presente nella norma UNI-ISO 3787 è stato possibile ottenere il valore della tensione di rottura ad umidità normale del 12%(σ_{12}).

Una volta ottenute tutte le misurazioni acquisite nel procedimento descritto, sono state immesse nelle formule presenti nelle normative UNI-ISO: 3130, 3787, 9091 parte 2°, che hanno permesso di determinare:



Figura5.1: macchina prova-materiali universale "Zwick-Roell"

Tensione di rottura a compressione parallela alla fibratura [MPa] a umidità di prova:

$$\bullet \sigma_w = P_{\max} / (a \cdot b)$$

Dove:

P_{max} è il carico che ha prodotto la rottura, in N

a, b sono le dimensioni della sezione trasversale del provino, in millimetri.

Umidità del legno al momento della prova [%]:

$$\bullet W = 100 \cdot [(m_1 - m_2) / m_2]$$

Dove:

m₁ è la massa dei provini all'umidità di prova.

m₂ è la massa dei provini anidri.

Tensione di rottura a compressione parallela alla fibratura [MPa] a umidità normale:

$$\bullet \sigma_{12} = \sigma_w [1 + \alpha (W - 12)]$$

Dove:

α è il coefficiente di correzione per l'umidità, che in Italia viene attualmente assunto = 0,04.

W è l'umidità del legno al momento della prova.

σ_w è la tensione di rottura a compressione parallela alla fibratura a umidità di prova.

DETERMINAZIONE DELLA RESISTENZA A FLESSIONE STATICA

In questa prova sono stati utilizzati provini con dimensioni di 300x20x20 mm, precedentemente contrassegnati con il loro codice di riconoscimento relativo al campione di appartenenza e alla posizione lungo il diametro della pianta.

Questa prova ha permesso di rilevare il carico di rottura a flessione statica, di tipo tangenziale, in provini dei quali è stata inoltre calcolata l'umidità alle condizioni di prova. Tutto ciò ha consentito di determinare, oltre alla resistenza del materiale a condizioni di prova, anche la resistenza ad umidità normale.

Il test è stato eseguito con l'ausilio della macchina prova-materiali universale Zwick-Roell. Gli appoggi sono stati regolati in modo tale che il rapporto tra la loro distanza (**d**) e l'altezza dei provini (**h**), questi ultimi appoggiati nel senso assiale, sia stato un valore compreso fra 12 e 16 (nello specifico 12).

Il precarico, in questo caso, è stato fissato a 50 N, la velocità della prova nel precarico a 12 mm/min, mentre la velocità del test è stata impostata a 8 mm/min. La macchina inoltre è stata programmata per interrompere la prova nel momento in cui, superato il punto di rottura del provino, il carico subisce una perdita del 20% rispetto al carico massimo. La velocità d'esecuzione della prova, con il carico che è stato applicato con continuità e con gradiente costante, è stata tale da provocare la rottura del campione, in un tempo di $1,5 \pm 0,5$ min.

La prova di flessione, che segue i criteri della norma UNI ISO 3133 è iniziata misurando a metà del provino la larghezza in direzione radiale e l'altezza in direzione tangenziale della sezione con un calibro digitale con precisione 0,01 mm.

Il carico massimo registrato (**P_{max}**), relazionato con le dimensioni di ogni provino, ha consentito il calcolo della resistenza a flessione statica all'umidità di prova, calcolata secondo la UNI ISO 3130, come umidità media di 15 campioni.

Tramite l'acquisizione di questi ulteriori dati sono state utilizzate le formule contenute nelle norme UNI-ISO: 3130, 3133, 9091 parte 2°:

Tensione di rottura a flessione statica [MPa] a umidità di prova:

$$\sigma_{bw} = (3 \cdot P_{max} \cdot l) / (2 \cdot b \cdot h^2)$$

dove:

P_{max} è il carico che ha prodotto la rottura, in newton.

l è la distanza fra i centri degli appoggi, in millimetri

b è la larghezza del provino (dimensione radiale), in millimetri.

h è l'altezza del provino (dimensione tangenziale), in millimetri.

Umidità del legno al momento della prova[%]:

$$W = 100 \cdot [(m_1 - m_2) / m_2]$$

Dove:

m_1 è la massa dei provini all'umidità di prova.

m_2 è la massa dei provini anidri.

Tensione di rottura a flessione statica [MPa] a umidità normale:

$$\sigma_{b12} = \sigma_{bw} [1 + \alpha (W - 12)]$$

α è il coefficiente di correzione per l'umidità, che in Italia viene attualmente assunto = 0,02.

W è l'umidità del legno al momento della prova.

σ_{bw} è la tensione di rottura a flessione statica a umidità di prova.

PROVA DELLA DUREZZA BRINELL (HB)

Per questo tipo di prova la normativa di riferimento è la UNI EN 1534/2002, dove si specifica il metodo della prova Brinell, per determinare la resistenza alla penetrazione nei rivestimenti in legno compresi i parquet e le pavimentazioni in legno in generale.

La prova di durezza *Brinell* consiste nel far penetrare nel materiale in esame una semisfera di acciaio duro di diametro D , premuta con una forza F (carico di prova). Il diametro della semisfera è di 10 mm ($\pm 0,01$ mm). La prova è stata eseguita sempre con l'utilizzo della macchina prova-materiali universale Zwick-Roell. Anche in questo caso per ottimizzare i tempi e rispettare le indicazioni delle Norme UNI, è stato impostato un precarico, che in questo caso è di 50 N, la velocità della prova nel precarico è di 15 mm/min. La macchina inoltre è stata programmata per interrompere la prova nel momento in cui, superato il punto di rottura del provino, il carico subisce una perdita del 80% rispetto al carico massimo. Durante il test, ogni provino è stato sottoposto ad un carico costante di 1000 N per un periodo di 40 s. Per questo tipo di prova sono stati testati 4 provini per ogni campione di dimensioni 50x50x20 mm.

Il carico è esercitato perpendicolarmente nella zona centrale della faccia quadrata del provino legnoso, in modo tale che l'impronta lasciata dalla sfera disti non meno di 20 mm dai bordi. Azionando la macchina e tramite la sferetta di acciaio è stato applicato un carico sulla superficie della "piastrina", continuo ed a un gradiente costante fino a raggiungere un carico di prova F pari a 1000 N nel tempo esatto di 25 secondi. Dopo questo lasso di tempo si può togliere il provino e misurare l'impronta lasciata dalla semisfera. Per poter calcolare l'esatto diametro dell'impronta è stato utilizzato il sistema CCTRMD: sono stati misurati i due diametri ortogonali della traccia lasciata sul provino, il primo parallelo alla fibratura legnosa (d_1) e il secondo perpendicolare alla fibratura (d_2) (in quanto l'impronta è spesso ovalizzata). Di seguito è riportata la formula utilizzata per il calcolo del diametro medio dell'impronta

$$d_3 = (d_1 + d_2) / 2$$

Dove:

d_3 è il diametro medio dell'impronta

d_1 è il diametro maggiore dell'impronta

d_2 è il diametro minore

Con l'acquisizione di tali dati è stato possibile utilizzare le formule descritte dalla norma UNI EN 1534/2002 e calcolare i valori medi della durezza di Brinell.

$$HB = 2F / \pi D [D - (D^2 - d^2)^{1/2}]$$

dove:

HB = Durezza di Brinell espressa in N per mm²

π = fattore "pi greco" 3,14

F = Valore nominale della forza di 1 kN

D = è il diametro della sfera d'acciaio di 10 mm

d = è il diametro in mm dell'impronta permanente, ricavato da due diametri medi

La prova di durezza è valida solo se sono rispettate le condizioni di seguito riportate:

- la profondità H dell'impronta deve essere minore di un ottavo dello spessore del pezzo
- il diametro d dell'impronta deve essere compreso tra i valori 0,24 D e 0,6 D (con D si indica il diametro della sfera.

- il rapporto tra d/D deve essere pari a 0,375 (difficile da ottenere in pratica.)

Inoltre il penetratore deve muoversi in maniera graduale, senza urti, oscillazioni e vibrazioni, mantenendo una direzione perpendicolare rispetto alla superficie di prova. La superficie su cui si esegue l'impronta deve essere liscia, piana ed esente da ossidi, scorie, materie estranee.

Vengono riportate nella tabella 5.1 le principali norme utilizzate per lo svolgimento delle analisi.



Figura 5.2: particolare del provino sottoposto alla prova di resistenza a penetrazione.

TAB. 5.1 norme utilizzate per le prove fisico-meccaniche

UNI 3252: Legno-Condizioni generali per prove fisiche e meccaniche.
UNI-ISO 3130: Legno-Determinazione dell'umidità per le prove fisiche e meccaniche.
UNI-ISO 3131: Legno-Determinazione della massa volumica per le prove fisiche e meccaniche.
UNI-ISO 3133: Legno-Determinazione della resistenza a flessione statica.
UNI-ISO 3787: Legno-Metodi di prova. Determinazione della resistenza a compressione parallela alla fibratura.
UNI-ISO 4858: Legno-Determinazione del ritiro volumetrico.
UNI-EN 384: Legno-Determinazione dei valori caratteristici delle proprietà meccaniche e della massa volumica.
UNI-ISI 4469: Legno-Determinazione del ritiro radiale e tangenziale.
UNI-EN 1534/2002: Legno-Determinazione della resistenza a penetrazione (Durezza Brinell).
ISO 3129: Metodi e requisiti generali per le prove fisico-meccaniche.

Il numero minimo dei provini per singola prova è stato calcolato con la seguente formula (norma ISO 3129):

$$N_{\min} = (V^2 \cdot t^2) / p^2$$

t “*t di Student*” ed assume valore 2 per una probabilità statistica pari al 95% (Bonamini et. al. 1993).
p è l'*indice di precisione della prova* ed assume generalmente valore 5%.

V è il *coefficiente della variazione percentuale* della proprietà esaminata, esso assume valori diversi per ogni prova.

ANALISI STATISTICHE

STATISTICA DESCRITTIVA

Per ogni singola prova fisico-meccanica sono stati calcolati i principali parametri della statistica descrittiva, così da poter stabilire un confronto tra le diverse stazioni.

Sono stati quindi calcolati:

- Il valore medio
- La deviazione standard
- Il valore massimo
- Il valore minimo
- Il coefficiente di variazione

Le caratteristiche di ciascun sito sono state mediate per ottenere valori rappresentativi rispettivamente dei comprensori Monti Sabatini, Monti Cimini e Castelli Romani.

Le caratteristiche fisico meccaniche sono state poi esaminate separatamente per la categoria polloni e matricine. In questo modo più che considerare l'effetto età che, in qualche caso è confrontabile tra polloni e matricine dei differenti siti, il risultato fornisce indicazioni sulle implicazioni tecnologiche nel legno riconducibili al differente stato di competizione nella cenosi vegetale e/o all'età nell'ambito del medesimo popolamento.

ANOVA

È stata misurata la varianza delle caratteristiche fisico-meccaniche in relazione al fattore:

1. **sito:** è stata misurata la varianza all'interno delle 4 aree di studio analizzate delle caratteristiche fisico-meccaniche: A= Monti Cimini, B= Monti Sabatini, C= Castelli Romani, D= Monti Lepini. Questa analisi ha preso in considerazione due metodologie: nella prima sono stati confrontati tutti i provini analizzati distribuiti per i 4 comprensori territoriali, il secondo metodo ha messo a confronto esclusivamente 2 classi d'età comuni ai territori analizzati; ovvero sono state misurate le differenze delle caratteristiche fisico-meccaniche relativamente alle classi 6-10 e 11-15, questo per cercare di isolare l'effetto età sulle caratteristiche tecnologiche dei diversi siti avendo questi età, in alcuni casi, anche molto differenti tra di essi.
2. **età:** Per valutare quanto influisce l'età della pianta sulle caratteristiche fisico-meccaniche gli alberi studiati sono stati distribuiti in 7 classi cronologiche:

<20; 20-25; 26-30, 31-35, 36-40; 41-45, >46 anni

3. **Diametro:** è stata misurata la varianza delle caratteristiche fisico-meccaniche in relazione al diametro (come discriminante è stato utilizzato il diametro basale del toppe legnoso), considerando piante di età confrontabile di 25-30 anni per ridurre al minimo l'effetto del fattore età sulle caratteristiche fisico-meccaniche; I campioni studiati sono stati distribuiti in 7 classi diametriche:

0-20; 21-25; 26-30; 31-35; 36-40, >40 cm

Per le analisi relative al punto 2 e 3 è stata effettuata anche un ANOVA a 2 vie per evidenziare quale fattore fosse preponderante, se fosse il sito oppure l'età (nel primo caso) o diametro (nel secondo caso) a determinare la variabilità delle caratteristiche fisico-meccaniche

4. **Posizione fisica rispetto al midollo:** è stata misurata la varianza delle caratteristiche fisico-meccaniche del legno in relazione alla posizione fisica di ciascun provino rispetto al midollo. Ciascuna classe ha un passo di circa 2 cm. sono state individuate 9 classi pari dunque a 18 cm circa di raggio. Per ridurre al minimo le interferenze dovute alle diverse età dei campioni, sono state prese in considerazione solo le piante aventi un'età confrontabile di 25-30 anni; con le lavorazioni gli ultimi cm di ciascuna pianta (quelli più vicini alla corteccia), che contengono un certo numero di anni, vengono persi pertanto il confronto viene effettuato soltanto su provini della stessa età.
5. **Posizione cronologica:** è stata misurata la varianza delle caratteristiche fisico-meccaniche del legno in relazione all'età di ciascun provino, cercando di descrivere un trend interno alla pianta, per valutare se all'aumentare dell'età all'interno dell'albero le suddette proprietà del legno subiscono delle variazioni: si provini sono stati suddivisi in 7 classi cronologiche:

1-5; 6-10; 11-15; 16-20; 21-25; 26-30; >31anni

6. **Ampiezza anulare:** Infine è stata misurata la varianza delle caratteristiche tecnologiche del legno in relazione all'ampiezza anulare di ciascun provino (su cui le prove sono state effettuate), per valutare se le ampiezze anulari influiscono in maniera decisiva sulle proprietà del legno. Il valore di ampiezza anulare è dato dal rapporto tra la dimensione radiale del provino in cm, sul numero di cerchie annue formanti il provino. Quindi tale valore esprime per ciascun provino l'ampiezza media degli anelli che lo compongono

I provini sono stati suddivisi in 7 classi come segue:

≤2 mm
2-3 mm
3-4 mm
4-5 mm
5-6mm
6-7mm
≥7 mm

Per questa analisi non è stato possibile studiare la varianza relativamente alla durezza del legno, in quanto i provini analizzati hanno una forma tale che impedisce una corretta misurazione degli anelli di accrescimento, in quanto la prova viene effettuata sulle facce tangenziali del campione. Per analizzare la relazione tra ampiezza degli anelli di accrescimento e durezza del legno si rimanda all'analisi della correlazione semplice.

7. **Ruolo selvicolturale:** sono state misurate le differenze delle caratteristiche tecnologiche del legno suddividendo le piante tra i polloni e le matricine.

ANALISI DELLE CORRELAZIONI

Le singole caratteristiche fisico-meccaniche sono state messe in relazione anche tramite lo studio della correlazione semplice per accertare la presenza di legami significativi tra una caratteristica fisico-meccanica ed un'altra.

Si è preferito esporre nel presente capitolo i risultati della dendrocronologia, sebbene essi interessino anche il capitolo sulla cipollatura (cap.4), si ritiene che il ruolo degli accrescimenti e dell'età poteva esprimersi meglio nel capitolo dedicato allo studio delle caratteristiche fisiche e meccaniche chiarendo la sua influenza sulla qualità del legno.

RISULTATI

DENDROCRONOLOGIA

Si è preferito esporre in questo capitolo i risultati delle indagini dendrocronologiche (cap. 3), sebbene anche nello studio della cipollatura essi abbiano dato un contributo importante; è sembrato più opportuno trattare l'argomento in questo capitolo in quanto, la caratterizzazione tecnologica del legno trova nel ritmo di accrescimento uno dei fattori di principale importanza.

Sono state costruite 7 curve dendrocronologiche appartenenti alla media stagionale di ciascun sito di indagine. Inoltre sono state realizzate 13 curve dendrocronologiche, 6 relative alle matricine e 7 relative ai polloni dei diversi siti.

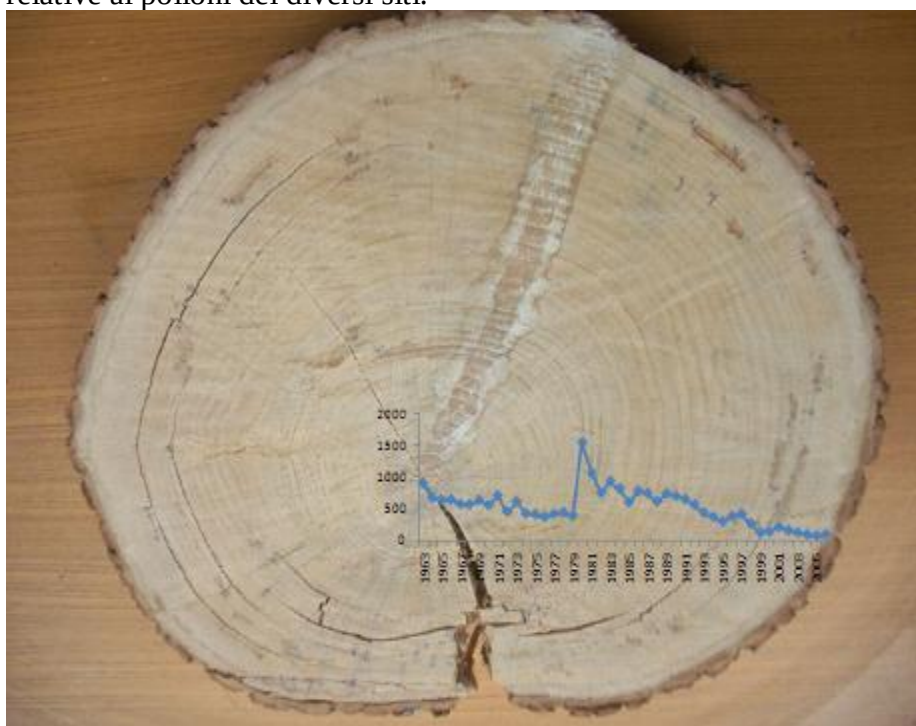


Fig 5.3. Curva dendrocronologia. Esempio di rotella misurata e su cui è stato costruito il grafico

L'analisi dendrocronologica è stato possibile realizzarla solo su 219 rotelle: sono stati esclusi dalle analisi alcuni campioni perché danneggiati o appartenenti a individui morti, o perché presentavano anomalie di accrescimento. La distribuzione del campionamento viene riportata nella tabella 5.2.

Tab.5.2 Numero di campioni utilizzati nell'analisi dendrocronologica

	Monti Cimini				Castelli Romani			Monti Sabatini				Monti Lepini	
	S.Martino	P. dei Fraticelli	V. Tros.	V. Ninfa	Cavalleria		Polloni	Cadutella		Rocca Romana		Bassiano	
	Matricine	Polloni	Matricine	Polloni	Polloni	Matricine		Polloni	Matricine	Polloni	Matricine	Polloni	Matricine
N° piante	13	41	10	10	25	25	3	27	1	27	1	23	11

Tab. 5.3 Pianta analizzate per l'analisi dendrocronologia.

STAZIONE	N. Polloni	Età polloni	N. Matricine	Età Matricine
San Martino	-	-	13	44
Pian dei Fraticelli	41	28	10	47
Valle Troscone	10	34-41	-	
Cavalleria	27	19-23	3	32
Valle Ninfa	25	21-34	-	-
Cadutella	27	25	1	41
Rocca Romana	27	25	1	40
Monti Lepini	23	17	11	34-46

In totale le rotelle analizzate per la costruzione delle cronologie medie stazionali sono state 185. Nella tabella 5.3, 5.4 e 5.5 e 5.6 . vengono riportati i valori dei parametri dendrocronologici relativi ai polloni ed alle matricine. Nella tabella 5.6b il confronto dei parametri dendrocronologico è stato effettuato sul medesimo range cronologico corrispondente all'età del popolamento più giovane (Bassiano con polloni di 17 anni).

Tab. 5.4 Parametri dendrocronologici relativi ai polloni nei diversi siti

STAZIONE	V min mm/100	V Max mm/100	MV mm/100	DS mm/100	CV	AC	MS
San Martino	-	-	-	-	-	-	-
Pian dei Fraticelli	12	1600	457.8	197.4	0.43	0.782	0.192
Valle Troscone	65	1500	559.5	273.9	0.49	0.909	0.200
Cavalleria	104	1187	508.2	196.8	0.39	0.469	0.218
Valle Ninfa	11	1359	406.8	159.8	0.39	0.673	0.208
Cadutella	11	1191	461.8	208.5	0.45	0.550	0.210
Rocca Romana	9	1699	422	204.3	0.48	0.627	0.357
Monti Lepini	49	1207	428.5	164	0.38	0.755	0.194

Tab. 5.5. Parametri dendrocronologici relativi alle matricine dei siti indagati.

STAZIONE	V min mm/100	V Max mm/100	MV mm/100	DS mm/100	CV	AC	MS
San Martino	58	1623	355.8	168.5	0.47	0.695	0.178
Pian dei Fraticelli	19	950	336.6	116.5	0.35	0.706	0.182
Valle Troscone	-	-	-	-	-	-	-
Cavalleria	184	1655	517.9	264.8	0.51	0.573	0.261
Valle Ninfa	-	-	-	-	-	-	-
Cadutella	32	885	300.2	206.5	0.69	0.680	0.262
Rocca Romana	144	594	322	120.7	0.37	0.460	0.229
M. Lepini matricine I° turno	51	1006	339.4	145.4	0.43	0.519	0.300
M. Lepini matricine di II° turno	51	1966	406	210.4		0.551	0.308

Considerando la possibilità di sincronizzazione delle curve dendrocronologiche appartenenti allo stesso comprensorio geografico, risulta possibile costruire una tabella (tab. 5.6) in cui vengono sintetizzati i parametri dendrocronologici dell'area considerata.

Tab. 5.6 Parametri dendrocronologici; V min) valore minimo, V max) valore massimo, MV) ampiezza anulare media, DS) deviazione standard, CV) coefficiente di variazione, AC) coefficiente di autocorrelazione di primo ordine, MS) sensibilità media.

STAZIONE	V min mm/100	V Max mm/100	MV mm/100	DS mm/100	CV	AC	MS
San Martino	124.5	908	355.7	168.5	0.47	0.695	0.178
Pian dei Fraticelli	12	1600	425.6	143.3	0.39	0.849	0.149
Valle Troscone	65	1500	574	262	0.45	0.952	0.154
Cavalleria	326.3	855	535.2	145.4	0.27	0.749	0.131
Valle Ninfa	202	769	417.9	146.2	0.35	0.860	0.157
Caldera	209	885	461.6	184.6	0.40	0.750	0.175
Rocca Romana	165	830	394.5	167	0.423	0.815	0.166
Monti Lepini	132	985	408.5	172.3	0.42	0.563	0.256

Tab. 5.6 b: Confronto dei parametri dendrocronologici dei differenti siti analizzati normalizzati all'età del popolamento più giovane, Bassiano (17 anni).

	MONTI CIMINI			MONTI SABATINI		CASTELLI ROMANI		MONTI LEPINI
	Valle Troscone	Pian dei Fraticelli	San Martino	Caldera	Rocca Romana	Cavalleria	Valle Ninfa	Bassiano
MV(mm/100)	798	560	391	535	520	547	514	469
Vmax (mm/100)	1500	1600	964	1397	1699	1655	1359	1207
Vmin (mm/100)	98	16	102	44	50	104	126	10
DS	314.4	242.0	163.2	239.6	220	245.2	229.5	219.0

CARATTERISTICHE FISICO – MECCANICHE

I MONTI CIMINI

Nella tabella 5.7.1a vengono presentate le caratteristiche fisico meccaniche medie del comprensorio territoriale dei Monti Cimini, suddivise per ogni singolo sito di campionamento. Nella tabella 5.8 sono riportati i valori della statistica descrittiva.

Tab5.7 Valori medi dei siti dei Monti Cimini

caratteristiche fis-meccaniche		β_r (%)	β_t (%)	β_a (%)	β_V (%)	ρ_{12} (kg/m ³)	ρ_y (kg/m ³)	Ψ	σ_{s12} (MPa)	σ_{b12} (MPa)	HB (N/mm ²)
Pian Dei Fraticelli	Media	3.37	7.01	0.35	10.42	608.8	511.2	2.21	46.6	89.0	27.7
	Polloni	3.41	7.01	0.36	10.46	613.6	514.8	2.20	47.1	90.8	28.0
	Matricine	3.20	7.03	0.27	10.21	583.3	491.7	2.28	44.1	80.6	26.5
	Non cipollate	3.53	7.13	0.35	10.67	626.1	523.5	2.18	48.5	93.4	29.4
	Piante cipollate	3.17	6.89	0.34	10.12	587.2	495.5	2.29	44.5	84.2	25.3
V. Troscione	Media	2.93	6.65	0.51	9.84	532.3	448.8	2.40	39.3	71.3	22.5
	Non cipollate	2.86	6.41	0.54	9.56	502.1	424.1	2.37	37.0	66.2	18.7
	Piante cipollate	3.05	7.04	0.46	10.29	581.2	488.6	2.44	42.3	81.8	26.6
S. Martino	Matricine	3.68	7.03	0.44	10.84	603.27	494.46	2.08	47.18	96.70	30.76
	Non cipollate	3.82	7.07	0.48	11.03	597.37	489.50	2.02	46.24	96.11	29.20
	Piante cipollate	3.45	6.98	0.38	10.53	612.87	502.54	2.18	48.79	97.62	33.10

Tab. 5.8. Statistica descrittiva

PIAN DEI FRATICELLI	statistica	β_r (%)	β_t (%)	β_a (%)	β_V (%)	ρ_{12} (kg/m ³)	ρ_y (kg/m ³)	Ψ	σ_{s12} (MPa)	σ_{b12} (MPa)	HB (N/mm ²)
	Media										
	Dev. St.	0.93	0.97	0.26	1.31	54.5	43.1	0.58	6.45	15.76	5.84
	Max	7.98	13.06	1.95	16.19	767.6	637.8	4.12	65.7	137.4	49.8
	Min	1.72	4.45	0.03	8.02	456.1	361.7	0.68	30.9	41.1	14.4
	Coef. Var.	27.63	13.83	75.47	12.55	8.95	8.44	26.43	13.83	17.70	21.06
	Polloni										
	Dev. St.	0.97	1.00	0.27	1.33	52.4	41.0	0.61	6.3	14.9	5.8
	Max	7.98	13.06	1.95	16.19	767.6	637.8	4.12	65.7	137.4	49.8
	Min	1.72	4.45	0.03	8.02	456.1	361.7	0.68	30.9	41.1	16.6
	Coef. Var.	28.40	14.27	74.74	12.75	8.5	8.0	27.59	13.4	16.4	20.7
	Matricine										
	Dev. St.	0.70	0.80	0.20	1.15	58.6	49.0	0.45	6.5	17.2	5.9
	Max	5.30	8.79	0.83	14.07	693.5	584.0	3.26	58.2	109.1	37.3
	Min	2.04	5.34	0.03	8.21	477.0	400.6	1.10	32.2	42.5	14.4
	Coef. Var.	21.83	11.38	72.60	11.31	10.0	10.0	19.75	14.7	21.3	22.3
	Non cipollate										
	Dev. St.	1.02	1.06	0.28	1.43	51.7	42.4	0.70	6.5	14.6	5.5
	Max	7.98	13.06	1.95	16.19	767.6	637.8	6.48	65.7	137.4	49.8
	Min	1.72	4.67	0.03	8.26	507.1	361.7	0.52	33.1	55.8	16.6
	Coef. Var.	28.75	14.80	78.89	13.39	8.3	8.1	31.96	13.3	15.6	18.8
	Piante cipollate										
	Dev. St.	0.76	0.85	0.24	1.08	50.3	38.9	0.56	5.8	15.7	5.4
	Max	5.41	8.79	1.10	14.07	693.5	584.5	3.52	58.2	122.3	41.8
	Min	1.87	4.45	0.03	8.02	456.1	400.6	0.85	30.9	41.1	14.4
	Coef. Var.	24.07	12.35	72.20	10.70	8.6	7.9	24.57	13.0	18.6	21.5
VALLE TROSCIONE	statistica	β_r (%)	β_t (%)	β_a (%)	β_V (%)	ρ_{12} (kg/m ³)	ρ_y (kg/m ³)	Ψ	σ_{s12} (MPa)	σ_{b12} (MPa)	HB (N/mm ²)
	Media										
	Dev. St.	0.85	0.98	0.47	1.40	61.24	48.71	0.65	4.83	13.93	6.77
	Max	7.50	10.12	3.44	14.00	697.8	583.5	7.02	53.9	107.1	37.5
	Min	0.83	2.79	0.06	7.09	391.4	336.6	0.37	32.2	36.8	11.7
	Coef. Var.	28.87	14.76	92.35	14.20	11.51	10.86	26.89	12.30	19.55	30.05
	Non cipollate										
	Dev. St.	0.79	0.89	0.51	1.46	52.2	40.7	0.72	3.4	12.2	5.2
	Max	7.13	8.69	3.44	14.00	697.8	583.5	7.02	44.3	96.7	36.2
	Min	0.83	4.44	0.06	7.09	391.4	336.6	0.93	32.2	36.8	11.7
	Coef. Var.	27.77	13.93	94.95	15.29	10.4	9.6	30.23	9.1	18.4	27.6
	Piante cipollate										
	Dev. St.	0.92	1.00	0.39	1.16	39.4	31.1	0.51	4.8	11.3	5.8
SAN MARTINO	statistica	β_r (%)	β_t (%)	β_a (%)	β_V (%)	ρ_{12} (kg/m ³)	ρ_y (kg/m ³)	Ψ	σ_{s12} (MPa)	σ_{b12} (MPa)	HB (N/mm ²)
	Media										
	Dev. St.	1.34	1.78	0.35	2.43	47.47	33.63	0.61	7.28	16.91	4.99
	Max	9.50	13.49	2.09	20.71	720.53	586.71	4.35	63.69	145.81	40.20
	Min	1.81	2.22	0.03	5.56	478.30	400.03	0.48	30.22	56.05	21.42
	Coef. Var.	0.37	0.26	2.14	0.24	0.08	0.07	0.29	0.16	0.16	0.16
	Piante cipollate										
	Dev. St.	1.18	1.73	0.29	2.11	47.04	32.99	0.65	8.57	20.91	5.03
	Max	8.69	10.88	1.25	16.21	700.33	558.31	3.23	63.69	145.81	40.20
	Min	1.18	1.73	0.03	2.11	47.04	32.99	0.52	8.57	20.91	27.81
	Coef. Var.	0.34	0.25	0.76	0.20	0.08	0.07	0.30	0.18	0.21	33.10
	Non cipollate										
	Dev. St.	1.49	1.91	0.40	2.71	49.69	35.04	0.62	6.65	15.13	4.58
	Max	9.50	13.49	2.09	20.71	720.53	586.71	4.35	58.37	122.21	37.41
	Min	1.81	3.49	0.03	7.01	483.86	407.19	0.48	30.22	56.46	21.42
	Coef. Var.	0.39	0.27	0.84	0.25	0.08	0.07	0.31	0.14	0.16	29.20

Da un confronto generale tra i tre popolamenti del comprensorio Monti Cimini, risulta evidente come le piante del sito Pian dei Fraticelli e di S. Martino mostrano caratteristiche tecnologiche confrontabili, mentre il sito di Valle Troscone, abbia caratteristiche nettamente inferiori.

A Valle Troscone minori sono i valori di massa volumica ($532 \text{ kg/m}^3 \pm 61.2$), associati ad una scarsa resistenza meccanica sia a compressione assiale $39,3 (\pm 4,83) \text{ MPa}$, a flessione $71.3 \text{ MPa} (\pm 13.93)$ ed a durezza $22.5 \text{ N/mm}^2 (\pm 6.8)$. Il sito è anche caratterizzato da un maggiore coefficiente di anisotropia Ψ nei ritiri.

In linea di massima non si constatano differenze sistematiche tra piante sane e piante cipollate essendo i valori di resistenza meccanica e di caratteristiche fisiche talora superiori nelle piante sane, talora inferiori. Tuttavia si osserva come alla presenza della cipollatura spesso sia associato un maggior valore del coefficiente di anisotropia dei ritiri. Ulteriori elementi emergono dal confronto tra categorie colturali omogenee: polloni e matricine.

I coefficienti di ritiro e di resistenza meccanica sono confrontabili tra le matricine di Pian dei Fraticelli e quelle di S. Martino, maggiori differenze si hanno nella resistenza a flessione statica e nella durezza secondo il metodo Brinell che risultano più basse nel sito Pian dei Fraticelli. Il confronto tra i polloni ha evidenziato come gli individui di Pian dei Fraticelli siano nettamente superiori a quelli di Valle Troscone.

I VALORI MEDI DEL COMPRESORIO

La tabella 5.9 a esprime i dati medi della zona dei Monti Cimini, ottenuti mediando i valori dei tre siti precedentemente descritti. Per l'intera area quindi, sono state studiate 74 piante, delle quali 51 polloni e 23 matricine, 46 piante sane e 29 cipollate. Nella tabella 5.10 vengono riportati i valori della statistica descrittiva.

Tabella 5.9: Valori medi delle caratteristiche dell'area dei Monti Cimini

MONTI CIMINI	Pianta	β_r (%)	β_t (%)	β_a (%)	β_V (%)	ρ_{12} (kg/m^3)	ρ_y (kg/m^3)	Ψ	σ_{s12} (MPa)	σ_{b12} (MPa)	HB (N/mm^2)
	Totale	0.38	7.08	3.45	10.58	606.43	506.58	2.19	46.16	89.36	27.46
	Polloni	0.39	7.09	3.42	10.55	608.61	510.26	2.21	46.34	88.97	26.76
	Non cipollate	0.41	7.13	3.63	10.79	617.48	514.72	2.09	47.19	92.14	27.77
	Piante cipollate	0.35	7.03	3.22	10.31	592.53	496.35	2.31	44.87	85.96	26.80
	Matricine	0.36	7.07	3.54	10.66	601.01	497.37	2.13	45.72	90.33	29.45

Tab.5.10 Parametri statistici descrittivi dell'area dei Monti Cimini

MONTI CIMINI	Statistica	β_r (%)	β_t (%)	β_a (%)	β_V (%)	ρ_{12} (kg/m ³)	ρ_y (kg/m ³)	Ψ	σ_{s12} (MPa)	σ_{b12} (MPa)	HB (N/mm ²)
	Media										
	Dev. St.	0..58	0..82	0..23	1..06	50..48	40..32	0..33	6..16	14..29	5..06
	Max	5..08	9..44	1..45	13..48	729..05	602..46	2..95	62..65	126..64	37..07
	Min	2..56	5..55	0..03	8..39	460..74	392..70	1..39	34..23	51..56	15..14
	Coef. Var.	0..17	0..12	0..61	0..10	0..08	0..08	0..15	0..13	0..16	0..19
	Polloni										
	Dev. St.	0..61	0..82	0..24	1..03	56..14	44..31	0..36	6..49	14..48	5..07
	Max	5..08	9..44	1..45	13..20	729..05	602..46	2..95	62..65	126..64	37..07
	Min	0..61	0..82	0..10	1..03	56..14	44..31	0..36	6..49	14..48	5..07
	Coef. Var.	0..18	0..12	0..61	0..10	0..09	0..09	0..16	0..14	0..16	0..19
	Matricine										
	Dev. St.	0..49	0..84	0..22	1..14	32..92	26..71	0..23	5..37	14..12	5..3896
	Max	4..81	8..51	0..93	13..48	653..16	545..98	2..52	55..96	120..38	40..204
	Min	0..49	0..84	0..03	1..14	32..92	26..71	0..23	5..37	14..12	5..3896
	Coef. Var.	0..14	0..12	0..62	0..11	0..05	0..05	0..11	0..12	0..16	0..1861
	Piante cipollate										
	Dev. St.	0..42	0..67	0..18	0..72	29..85	22..66	0..34	4..63	14..20	5..3618
	Max	4..06	8..40	0..71	12..05	653..16	545..98	2..95	55..96	120..38	40..204
	Min	2..56	5..62	0..03	9..06	523..50	438..39	1..79	36..47	51..56	15..935
	Coef. Var.	0..13	0..10	0..52	0..07	0..05	0..05	0..15	0..10	0..17	0..1976
	Non cipollate										
	Dev. St.	0..64	0..90	0..26	1..19	58..74	47..31	0..32	6..92	14..49	5..2015
	Max	5..08	9..44	1..45	13..48	729..05	602..46	2..81	62..65	126..64	37..069
	Min	0..64	0..90	0..10	1..19	58..74	47..31	0..32	6..92	14..49	5..2015
	Coef. Var.	0..18	0..13	0..24	0..11	0..10	0..09	0..15	0..15	0..16	0..1872

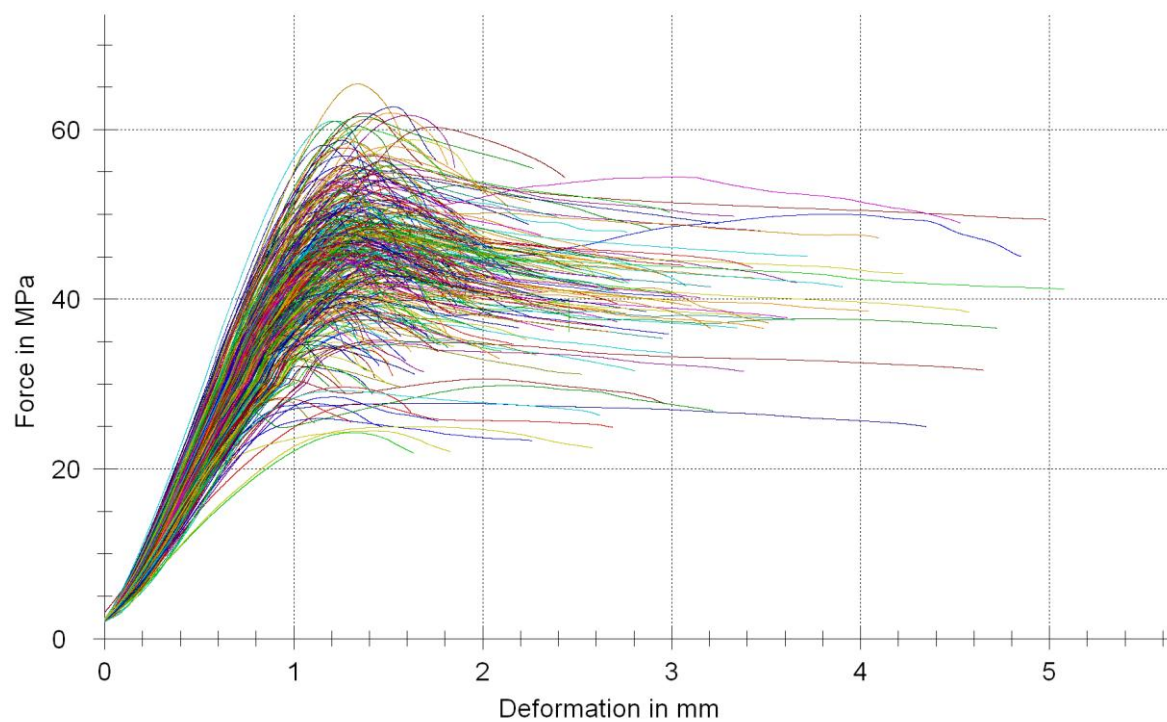


Fig 5.4 Fascio di curve relativo al test di resistenza a compressione assiale del sito Pian dei Fraticelli.

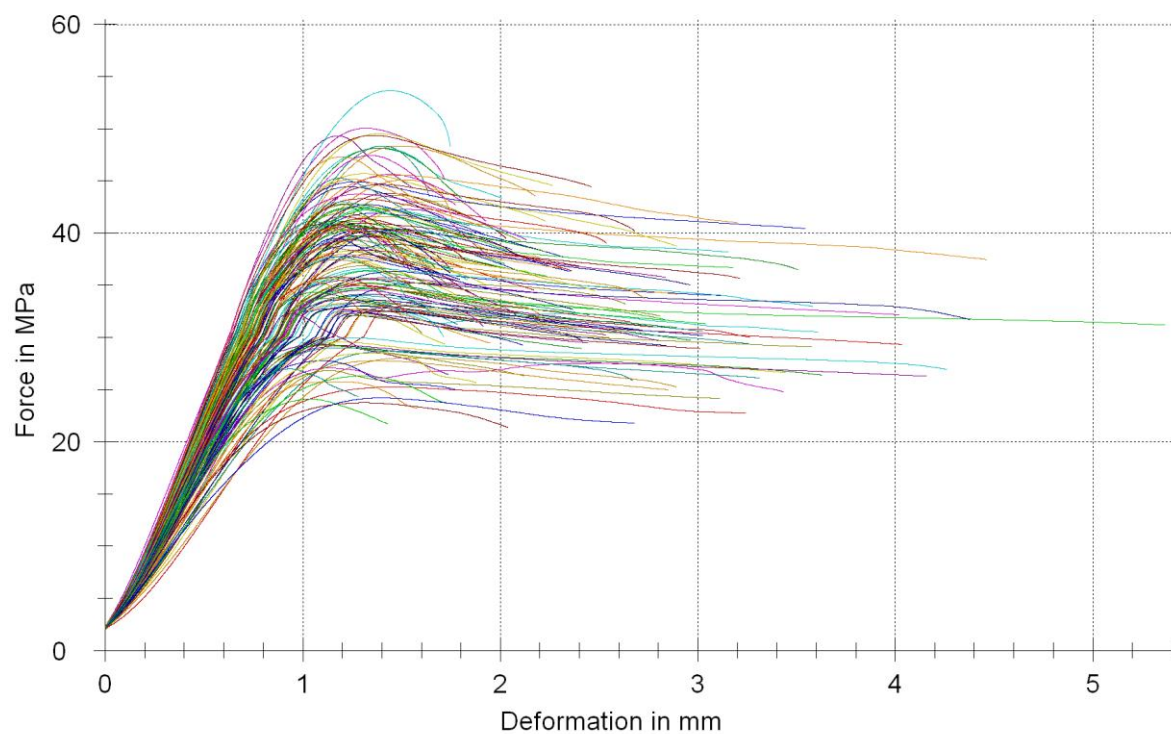


Fig 5.5 Fascio di curve relativo al test di resistenza a compressione assiale del sito Valle Troscione.

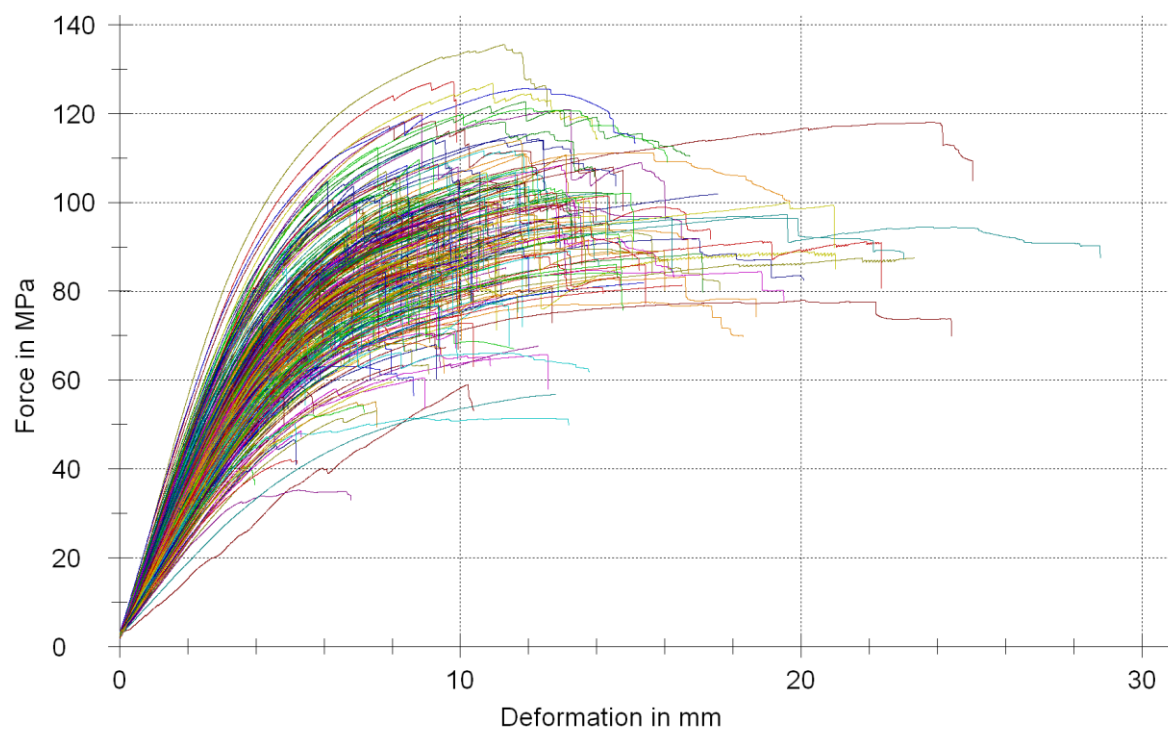


Fig 5.6 : Fascio di curve relativo al test di resistenza a flessione statica del sito Pian dei Fraticelli.

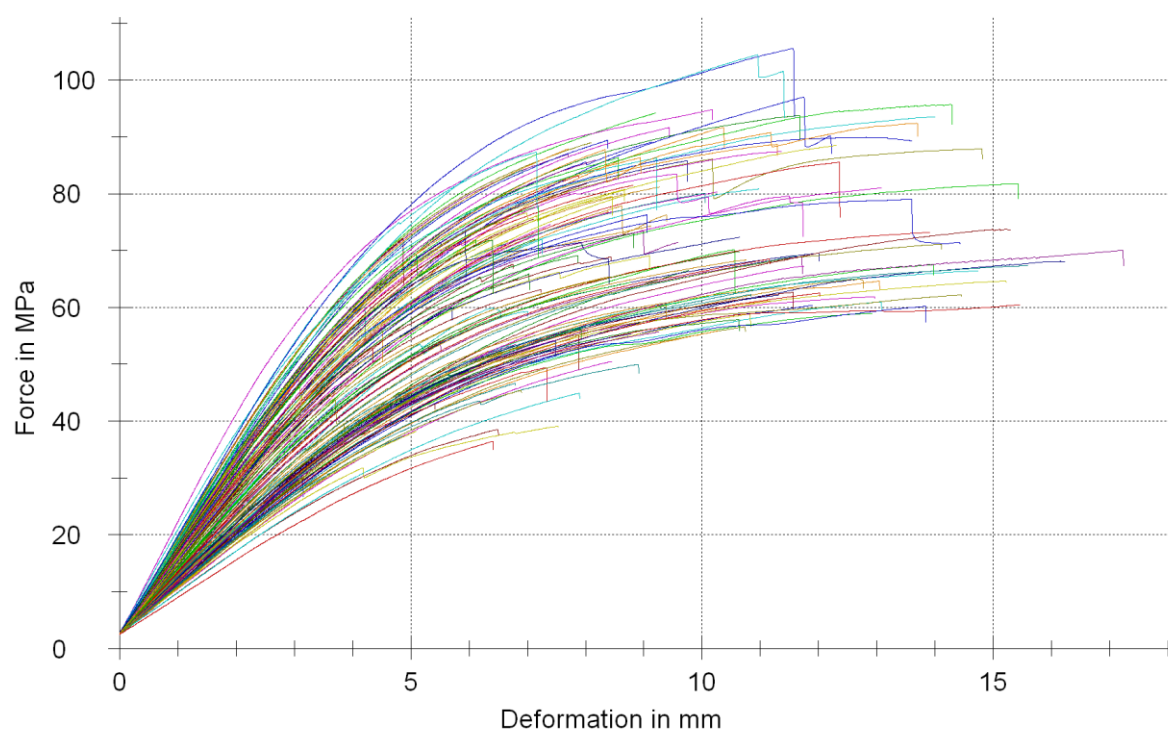


Fig 5.7: Fascio di curve relativo al test di resistenza a flessione statica del sito Valle Troscone.

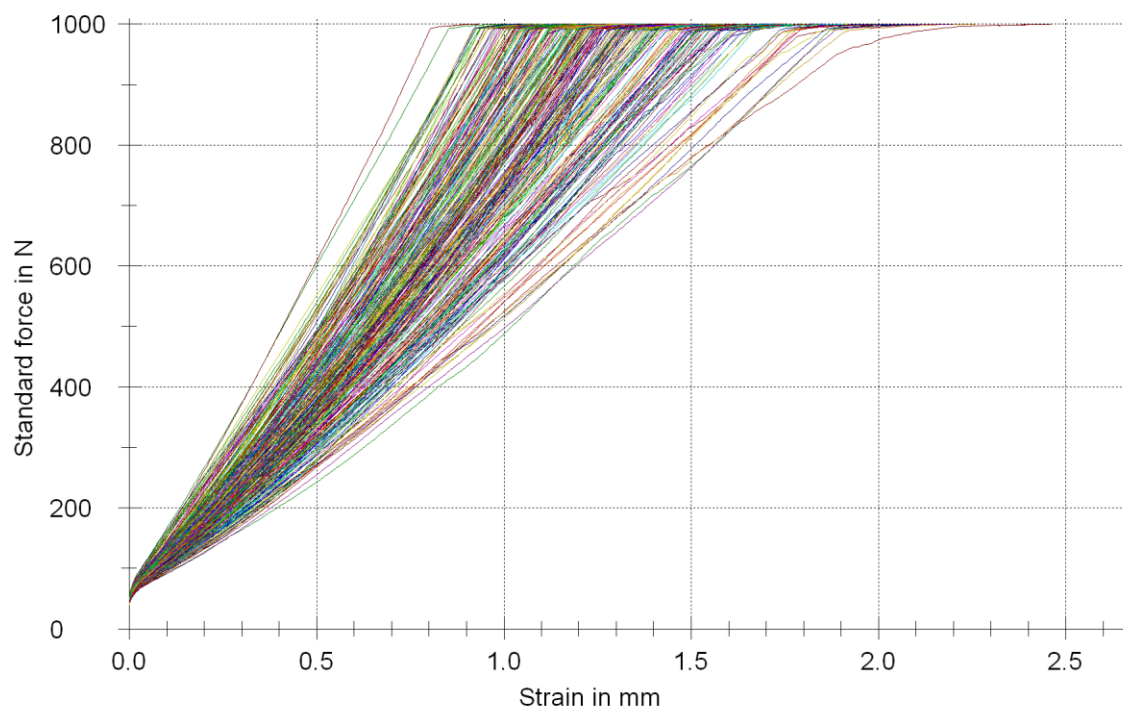


Fig 5.8 : Fascio di curve relativo al test di resistenza a penetrazione del sito Pian dei Fraticelli.

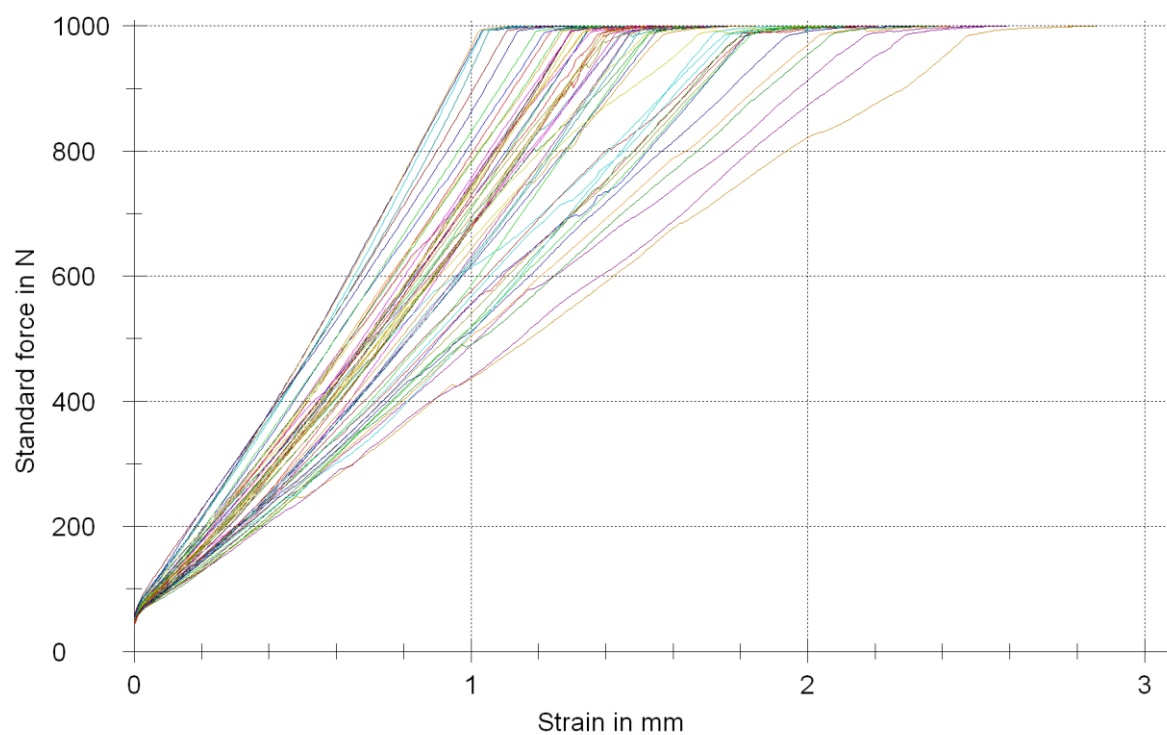


Fig 5.9: Fascio di curve relativo al test di resistenza a penetrazione del sito Valle Troscione.

I MONTI SABATINI

Di seguito nella tab. 5.10 vengono riportati i risultati delle principali caratteristiche fisico-meccaniche dei due siti a confronto.

Il confronto tra la località Cadutella e la località Rocca Romana nella totalità dei campioni non evidenzia particolari differenze per quanto riguarda le caratteristiche fisico-meccaniche.

Tab. 5.10 Caratteristiche fisico-meccaniche dei siti Rocca Romana e Cadutella

	Pianta	β_r (%)	β_t (%)	β_a (%)	β_V (%)	ρ_{12} (kg/m ³)	ρ_y (kg/m ³)	Ψ	σ_{s12} (MPa)	σ_{b12} (MPa)	HB (N/mm ²)
CADUTELLA	Totale	0.33	6.84	4.01	10.87	621.23	515.20	1.83	58.97	107.41	27.33
	Polloni	0.33	6.83	3.99	10.85	620.81	514.90	1.84	58.70	107.36	27.29
	Matricine	0.25	7.27	4.57	11.73	635.20	524.93	1.66	67.92	109.20	28.62
	Non cipollate	0.34	6.82	4.04	10.90	623.89	517.15	1.81	59.08	107.47	27.79
	Piante cipollate	0.21	7.04	3.64	10.61	593.80	495.03	2.01	57.81	106.76	22.61
ROCCA ROMANA	Totale	0.43	6.97	3.27	10.39	616.7	512.9	2.26	55.6	115.4	26.0
	Polloni	0.44	6.97	3.27	10.41	614.8	511.4	2.25	55.5	115.3	26.0
	Matricine	0.34	6.68	3.08	9.86	673.8	559.1	2.29	58.5	120.8	25.5
	Non cipollate	0.43	7.03	3.27	10.45	616.8	512.9	2.27	55.8	116.0	26.3
	Piante cipollate	0.43	6.39	3.25	9.81	616.0	513.4	2.09	53.7	110.0	23.9

Tab. 5.11 Parametri statistici descrittivi dei siti Rocca Romana e Cadutella

CADUTELLA	Media	β_a (%)	β_t (%)	β_r (%)	β_V (%)	ρ_{12} (kg/m ³)	ρ_y (kg/m ³)	Ψ	σ_{12} (MPa)	σ_{12b} (MPa)	HB (N/mm ²)
	Dev. St.	0.10	0.84	0.68	1.11	38.9	31.0	0.33	4.5	10.7	4.2
	Max	0.57	9.51	5.67	13.46	706.4	580.7	2.57	69.6	132.4	36.7
	Min	0.09	6.05	2.74	9.23	553.6	466.6	1.23	49.3	89.3	16.8
	Coef. Var.	33.32	11.91	17.52	10.17	6.3	6.0	17.28	7.4	9.5	15.2
	Polloni										
	Dev. St.	0.10	0.85	0.68	1.12	39.4	31.5	0.33	4.3	10.9	4.2
	Max	0.57	9.51	5.67	13.46	706.4	580.7	2.57	69.6	132.4	36.7
	Min	0.09	6.05	2.74	9.23	553.6	466.6	1.23	49.3	89.3	16.8
	Coef. Var.	33.77	12.09	17.62	10.29	6.4	6.1	17.27	7.2	9.6	15.5
	Non cipollate										
	Dev. St.	0.10	0.85	0.71	1.15	39.1	31.2	0.34	4.7	10.9	3.8
	Max	0.57	9.51	5.67	13.46	706.4	580.7	2.57	69.6	132.4	36.7

	Min	0.09	6.05	2.74	9.23	553.6	466.6	1.23	49.3	89.3	21.8
	Coef. Var.	33.44	12.08	18.07	10.48	6.3	6.0	17.65	7.8	9.6	13.8
ROCCA ROMANA	Cipollate										
	Dev. St.	0.10	0.87	0.13	0.71	28.9	24.3	0.31	0.3	10.4	5.3
	Max	0.38	7.88	3.71	11.40	614.6	515.6	2.27	59.5	120.0	27.1
	Min	0.18	6.16	3.46	9.99	560.8	468.1	1.68	59.0	99.7	16.8
	Coef. Var.	37.18	12.24	3.59	6.62	4.9	4.9	15.20	0.4	9.4	23.4
	Media	β_a (%)	β_t (%)	β_r (%)	β_v (%)	ρ_{12} (kg/m ³)	ρ_v (kg/m ³)	Ψ	σ_{12} (MPa)	σ_{12b} (MPa)	HB (N/mm ²)
	Dev. St.	0.12	0.71	0.54	0.97	41.4	32.7	0.40	5.6	11.1	5.7
	Max	0.67	8.70	4.35	13.01	710.3	583.9	3.45	66.0	140.4	37.4
	Min	0.23	6.03	2.15	8.70	542.2	455.2	1.62	46.0	92.7	15.2
	Coef. Var.	27.12	10.15	16.41	9.36	6.7	6.4	17.83	10.1	9.6	21.9
	Polloni										
	Dev. St.	0.12	0.72	0.54	0.98	40.7	32.1	0.41	5.7	11.2	5.8
	Max	0.67	8.70	4.35	13.01	710.3	583.9	3.45	66.0	140.4	37.4
	Min	0.23	6.03	2.15	8.70	542.2	455.2	1.62	46.0	92.7	15.2
	Coef. Var.	27.05	10.28	16.62	9.46	6.6	6.3	18.14	10.2	9.7	22.3
	Non cipollate										
	Dev. St.	0.12	0.71	0.55	0.98	40.7	32.0	0.41	5.8	11.0	5.9
	Max	0.67	8.70	4.35	13.01	710.3	583.9	3.45	66.0	140.4	37.4
	Min	0.23	6.12	2.15	8.70	542.2	455.2	1.62	46.0	92.7	15.2
	Coef. Var.	27.69	10.12	16.71	9.41	6.6	6.2	18.21	10.3	9.5	22.7
	Piante cipollate										
	Dev. St.	0.11	0.33	0.53	0.75	57.8	46.8	0.25	4.2	12.4	1.4
	Max	0.55	6.68	3.84	10.53	673.8	559.1	2.29	58.5	120.8	25.5
	Min	0.34	6.03	2.82	9.04	558.3	465.6	1.81	50.9	96.5	22.8
	Coef. Var.	25.78	5.18	16.39	7.64	9.4	9.1	12.12	7.8	11.2	6.0

Nel sito Rocca Romana i ritiri lineari totali sono del 0.43% (± 0.12) per il ritiro assiale β_a , del 6.97% (± 0.71) per il ritiro tangenziale β_t e del 3.27% (± 0.54) per il ritiro radiale β_r , mentre nel sito Cadutella i rispettivi valori sono 0.30% (± 0.10), per il ritiro assiale, 7.07% (± 0.84) per quello tangenziale, 3.89% (± 0.68) per il ritiro radiale. Il ritiro volumetrico totale a Rocca Romana β_v è del 10.39% (± 0.97), molto vicino a quell osservato per Cadutella 10.95% (± 1.11). Il coefficiente di anisotropia dei ritiri Ψ è di 2.26 (± 0.40) nel sito Rocca Romana, leggermente più contenuto nell'altro sito, 1.92 (± 0.33). La massa volumica al 12% di umidità ρ_{12} di 616.7 kg/m³ (± 41.4) e la densità basale ρ_v di 512.9 kg/m³ (± 32.7) nel primo sito mostrano valori molto simili a quelli osservati per Cadutella rispettivamente 621.2 kg/m³ (± 38.9) e 512.2 kg/m³ (± 31.0). Il valore medio di resistenza a compressione parallela alla fibratura σ_{12} è di 55.6 MPa (± 5.6), nel sito di Rocca Romana raggiunge valori di 60.1 MPa (± 4.5) a Cadutella, mentre il valore medio di resistenza a flessione statica σ_{b12} è di 115.4 MPa (± 11.1) a Rocca Romana e si mantiene piuttosto costante anche nel secondo sito 113.6 MPa (± 10.7). La resistenza a penetrazione **HB** risulta essere mediamente di 26.0 N/mm² (± 5.7) a Rocca Romana e di 27.3 N/mm² (± 4.7).

Il confronto tra i due siti relativamente ai soli polloni non evidenzia sostanziali differenze.

Il confronto tra le matricine dei due siti vista esiguità del campione viene tralasciato, sebbene comunque i risultati siano molto simili; non si osservano particolari differenze neppure confrontando i due siti relativamente alle piante cipollate e alle piante sane.

Entrambi i siti mostrano come le matricine abbiano valori leggermente superiori a quelle dei polloni, le differenze importanti relative a questo confronto riguardano la massa volumica nel sito di Rocca Romana, che nelle matricine raggiunge un valore medio di 673.8 kg/m^3 (± 28.9) contro 614.8 kg/m^3 (± 39.4) dei polloni. In entrambe le stazioni si osserva che le piante sane hanno caratteristiche leggermente superiori a quelle fessurate, soprattutto per quanto riguarda la resistenza a penetrazione secondo il metodo Brinell: nel sito di Cadutella si hanno valori di 27.8 N/mm^2 (± 3.8) nelle piante sane contro 22.6 N/mm^2 (± 5.3) delle piante cipollate, nel sito di Rocca Romana i rispettivi valori sono di 26.3 N/mm^2 (± 5.9) e 23.4 N/mm^2 (± 1.4).

I VALORI MEDI DEL COMPENSORIO

La tabella 5.12 esprime i dati medi della zona dei Monti Sabatini, ottenuti mediando i valori dei due siti precedentemente descritti. Per l'intera area quindi, sono state studiate 65 piante, delle quali 63 polloni e 2 matricine, 59 piante sane e 6 cipollate. Nella tabella 5.13 sono esposti tutti i parametri statistici precedentemente citati.

Dal confronto risulta che le matricine presentano valori delle caratteristiche fisico-meccaniche superiori a quelle dei polloni sebbene esse non siano così rilevanti. Analogamente si osservano valori leggermente superiori nelle piante sane rispetto a quelle cipollate, sebbene anche in questo caso le differenze non sono rilevanti.

Tab. 5.12 Valori medi delle caratteristiche dell'area dei Monti Sabatini.

MONTI SABATINI	Pianta	β_a (%)	β_t (%)	β_r (%)	β_v (%)	ρ_{12} (kg/m^3)	ρ_y (kg/m^3)	Ψ	σ_{12} (MPa)	σ_{b12} (MPa)	HB (N/mm^2)
	Totale	0.36	7.02	3.6	10.7	619.1	514.1	2.08	57.9	114.5	26.7
	Polloni	0.36	7.02	3.6	10.7	617.9	513.2	2.08	57.8	114.4	26.7
	Matricine	0.31	6.91	3.8	10.7	654.5	542.0	1.97	62.9	116.7	27.1
	Non cipollate	0.36	7.05	3.6	10.7	620.5	515.1	2.08	58.1	114.9	27.1
	Piante cipollate	0.35	6.74	3.4	10.2	604.9	504.2	2.06	56.4	110.6	23.2

Tab. 5.13: Parametri statistici descrittivi dell'area dei Monti Sabatini.

MONTI SABATINI	Media	β_a (%)	β_t (%)	β_r (%)	β_v (%)	ρ_{12} (kg/m^3)	ρ_y (kg/m^3)	Ψ	σ_{12} (MPa)	σ_{b12} (MPa)	HB (N/mm^2)
	Dev. St.	0.13	0.78	0.69	1.08	39.9	31.6	0.40	5.5	10.9	5.0
	Max	0.67	9.51	5.67	13.46	710.3	583.9	3.45	69.6	140.4	37.4

Min	0.09	6.03	2.15	8.70	542.2	455.2	1.23	46.0	89.3	15.2
Coef. Var.	35.25	11.06	19.12	10.08	6.4	6.1	19.30	9.4	9.5	18.6
Polloni										
Dev. St.	0.13	0.79	0.68	1.08	39.8	31.5	0.40	5.4	11.0	5.0
Max	0.67	9.51	5.67	13.46	710.3	583.9	3.45	69.6	140.4	37.4
Min	0.09	6.03	2.15	8.70	542.2	455.2	1.23	46.0	89.3	15.2
Coef. Var.	35.52	11.21	19.08	10.14	6.4	6.1	19.34	9.4	9.6	18.8
Matricine										
Dev. St.	0.04	0.31	1.04	1.23	27.3	24.1	0.46	6.3	5.7	2.2
Max	0.34	7.13	4.55	11.60	673.8	559.1	2.29	67.3	120.8	28.6
Min	0.28	6.68	3.08	9.86	635.2	524.9	1.64	58.5	112.7	25.5
Coef. Var.	12.84	4.55	27.24	11.49	4.2	4.5	23.64	10.0	4.9	8.2
Non cipollate										
Dev. St.	0.13	0.78	0.71	1.10	39.7	31.4	0.42	5.6	10.9	5.0
Max	0.67	9.51	5.67	13.46	710.3	583.9	3.45	69.6	140.4	37.4
Min	0.09	6.05	2.15	8.70	542.2	455.2	1.23	46.0	89.3	15.2
Coef. Var.	35.41	11.11	19.67	10.22	6.4	6.1	19.92	9.6	9.5	18.4
Piante cipollate										
Dev. St.	0.13	0.70	0.40	0.81	42.6	34.8	0.25	4.0	10.2	3.5
Max	0.55	7.88	3.84	11.40	673.8	559.1	2.29	59.5	120.8	27.1
Min	0.18	6.03	2.82	9.04	558.3	465.6	1.68	50.9	96.5	16.8
Coef. Var.	36.44	10.45	11.62	7.90	7.0	6.9	12.38	7.1	9.3	15.2

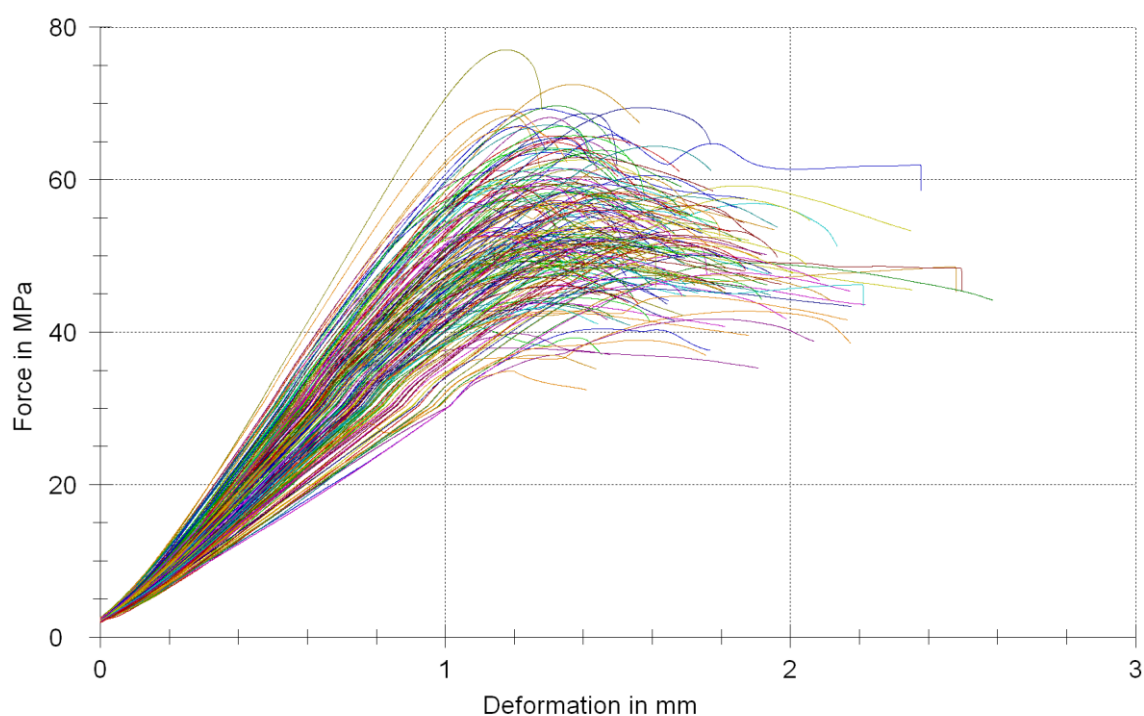


Fig 5.10: Fascio di curve relativo al test di resistenza a compressione assiale del sito Rocca Romana.

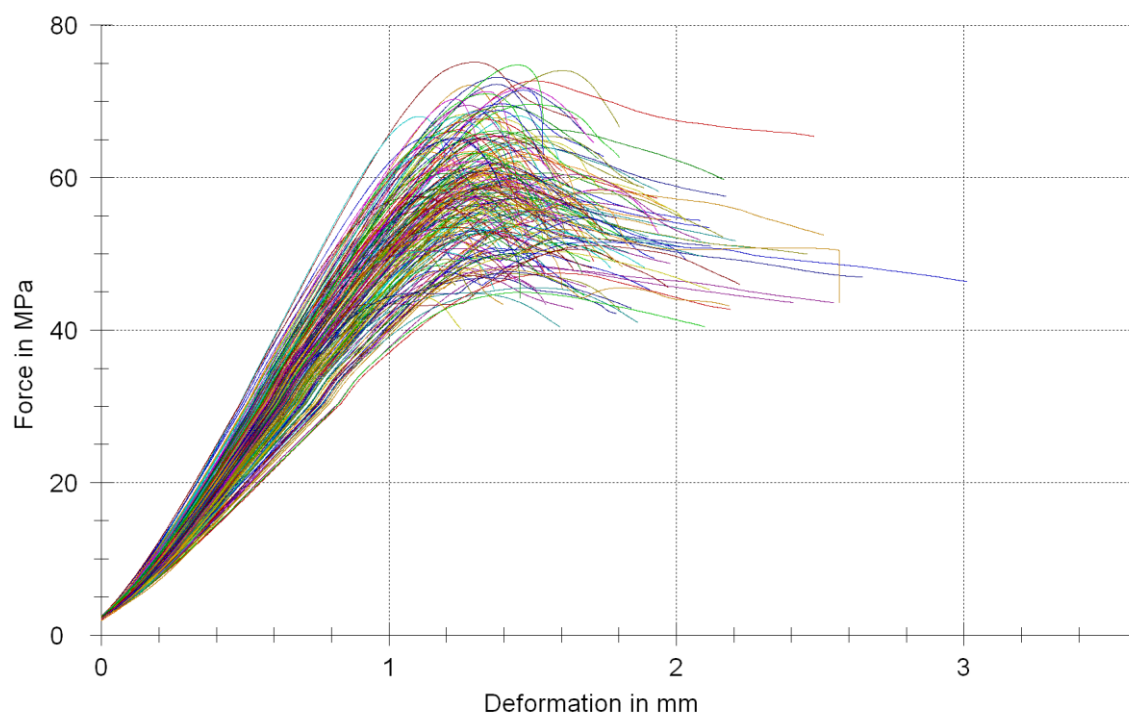


Fig 5.11 Fascio di curve relativo al test di resistenza a compressione assiale del sito Cadutella.

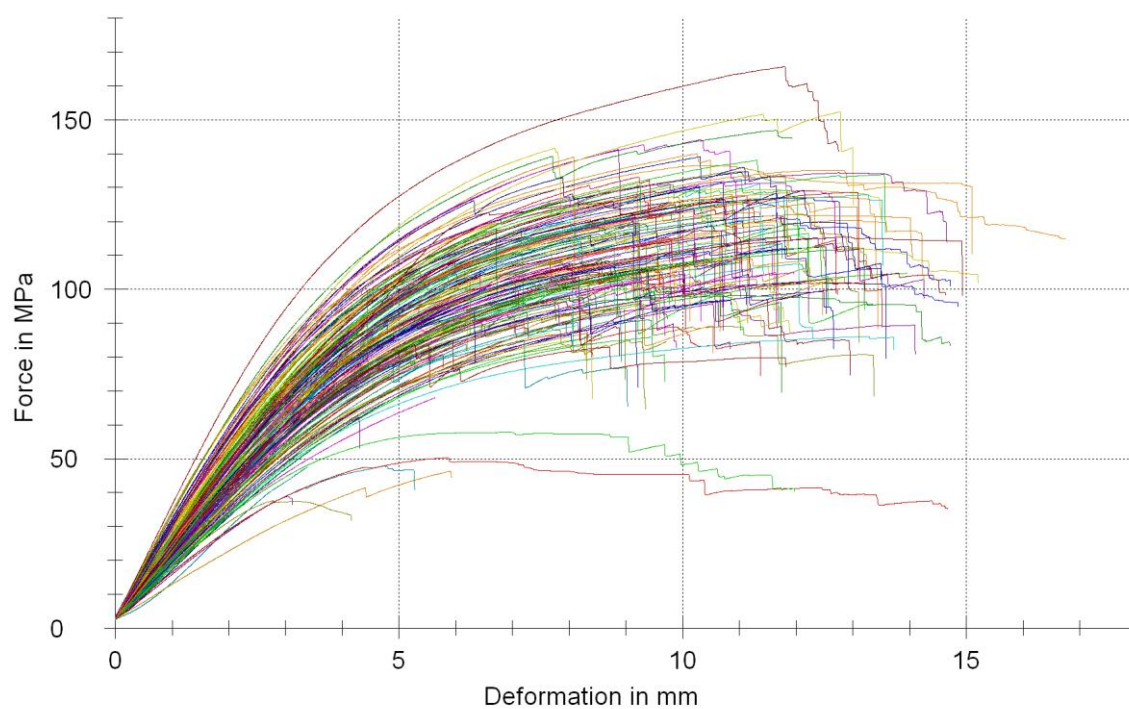


Fig 5.12 Fascio di curve relativo al test di resistenza a flessione statica del sito Rocca Romana.

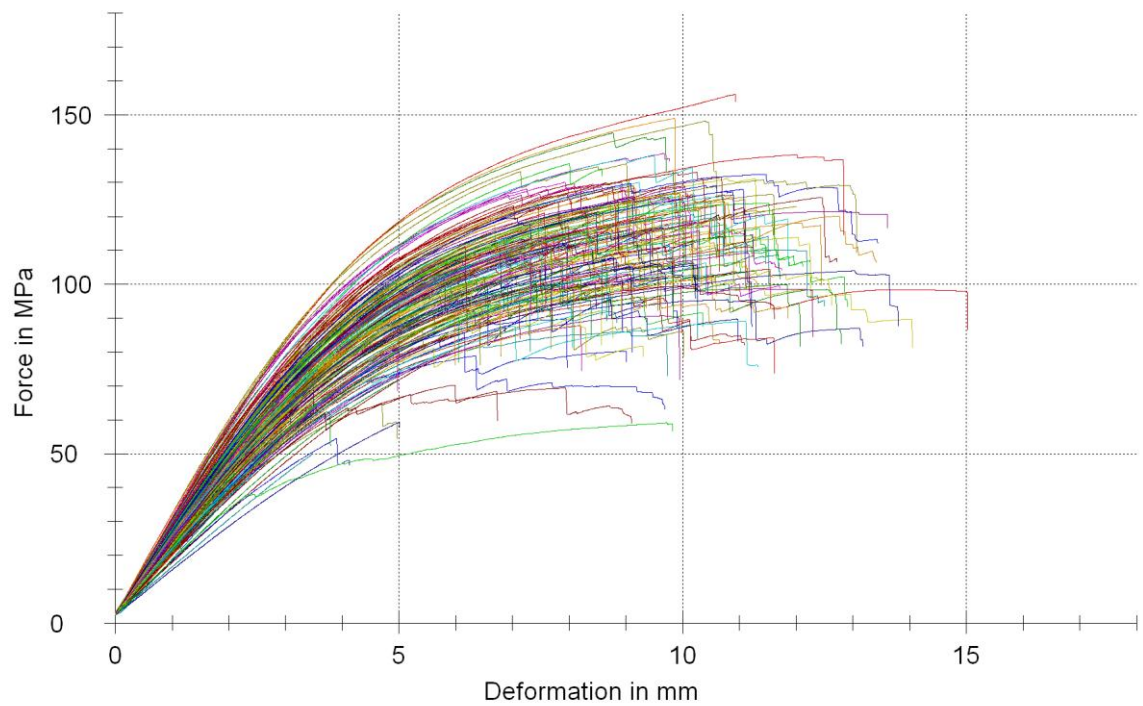


Fig 5.13 Fascio di curve relativo al test di resistenza a flessione statica del sito Cadutella.

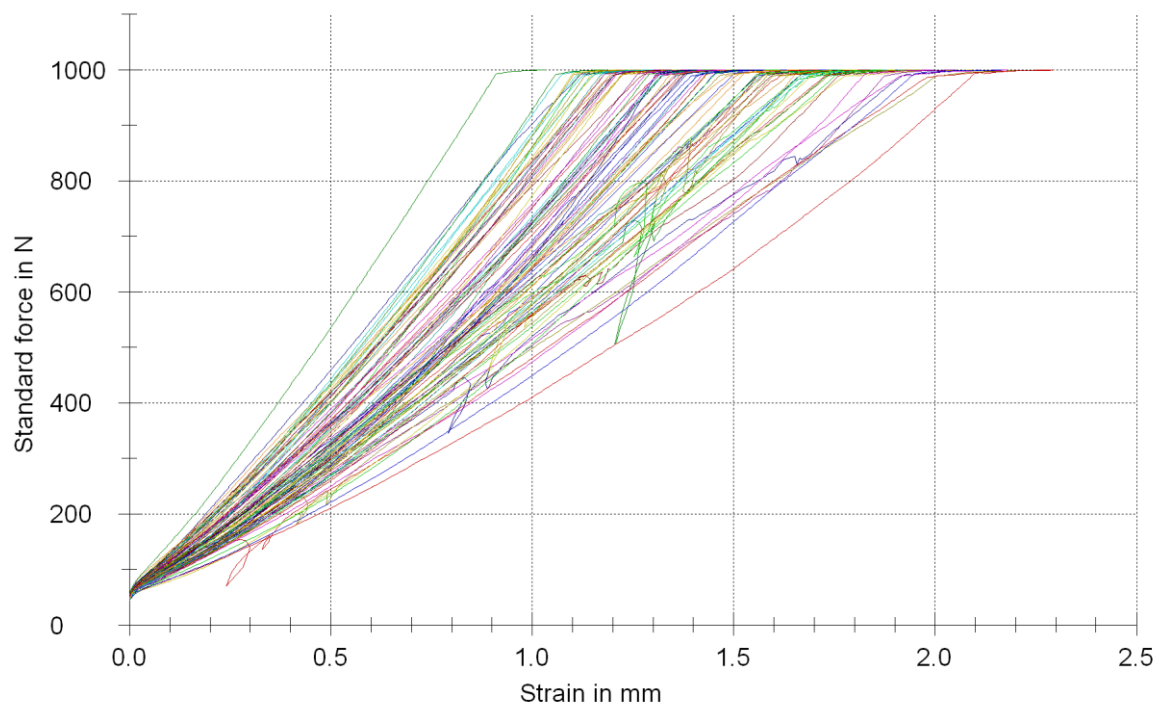


Fig 5.14 Fascio di curve relativo al test di resistenza a penetrazione del sito Rocca Romana.

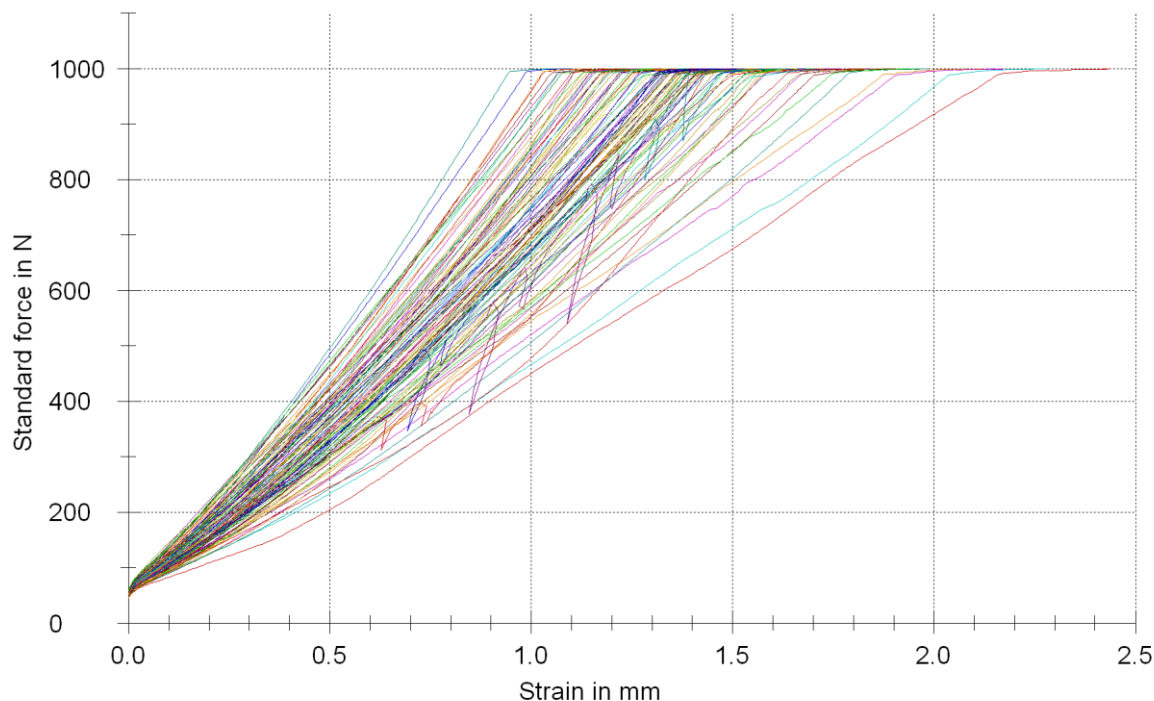


Fig 5.15: Fascio di curve relativo al test di resistenza a penetrazione del sito Cadutella.

CASTELLI ROMANI

Nella Tab. 5.14.1a sono riportati i risultati delle caratteristiche fisico-meccaniche ottenuti per le due stazioni.

Tab. 5.14 Caratteristiche fisico-meccaniche dei siti Cavalleria e Valle Ninfa

CAVALLERIA	Pianta	β_a (%)	β_t (%)	β_r (%)	β_v (%)	ρ_{12} (kg/m ³)	ρ_v (kg/m ³)	Ψ	σ_{12} (MPa)	σ_{b12} (MPa)	HB (N/mm ²)
	Totale	0.92	6.92	3.98	11.44	606.43	510.01	1.79	49.46	70.45	27.64
	Polloni	0.97	6.93	3.97	11.50	604.95	508.28	1.80	49.44	71.93	27.90
	Matricine	0.70	6.84	4.02	11.21	612.36	516.92	1.74	49.54	63.18	25.14
	Non cipollate	0.92	6.99	4.01	11.54	614.51	516.40	1.80	49.48	71.55	27.55
	Piante cipollate	0.90	6.71	3.95	11.19	580.63	489.58	1.76	49.40	66.68	27.97
VALLE NINFA	Totale	0.92	6.81	3.91	11.27	630.60	524.05	1.79	51.95	71.95	30.10
	Polloni	0.92	6.81	3.91	11.27	630.60	524.05	1.79	51.95	71.95	30.10
	Non cipollate	0.94	6.85	3.89	11.31	624.36	518.00	1.81	51.36	71.35	30.97
	Piante cipollate	0.91	6.68	3.88	11.10	644.61	537.62	1.74	53.35	73.21	29.07

Tab. 5.15 analisi statistica delle caratteristiche fisico-meccaniche dei siti Cavalleria e Valle Ninfa

	Totale	β_a (%)	β_t (%)	β_r (%)	β_v (%)	ρ_{12} (kg/m ³)	ρ_v (kg/m ³)	Ψ	σ_{12} (MPa)	σ_{b12} (MPa)	HB (N/mm ²)
CAVALLERIA	Dev. St.	0.39	0.87	0.80	1.47	50.98	42.02	0.33	8.38	16.07	4.94
	Max	2.04	9.11	5.96	15.24	746.08	628.86	2.87	71.31	116.00	39.98
	Min	0.23	5.03	2.13	7.65	490.71	418.84	1.23	34.41	25.20	15.82
	Coef. Var.	0.43	0.13	0.20	0.13	0.08	0.08	0.19	0.17	0.23	0.18
	Polloni										
	Dev. St.	0.39	0.87	0.82	1.49	52.79	43.51	0.34	8.84	37.62	4.92
	Max	2.04	9.10	5.96	15.24	746.08	628.86	2.87	71.31	106.00	39.98
	Min	0.26	5.09	2.13	8.01	490.71	418.84	1.23	34.41	0.00	15.82
	Coef. Var.	0.40	0.12	0.21	0.13	0.09	0.09	0.19	0.18	1.05	0.18
	Non cipollate										
	Dev. St.	0.33	0.93	0.69	1.38	43.40	35.32	0.30	8.51	15.26	5.00
	Max	1.43	9.11	5.38	13.38	744.55	614.96	2.42	71.31	106.00	39.98
	Min	0.23	5.03	2.54	7.65	538.89	453.55	1.29	34.41	26.00	15.82
	Coef. Var.	0.47	0.14	0.17	0.12	0.07	0.07	0.17	0.17	0.21	0.18
	Cipollate										
	Dev. St.	0.39	0.87	0.81	1.44	49.05	40.23	0.35	7.99	12.61	4.79
	Max	2.04	9.11	5.96	15.24	746.08	628.86	2.87	64.82	89.60	38.80
	Min	0.26	5.09	2.13	8.01	490.71	418.84	1.23	35.17	25.20	16.55
	Coef. Var.	0.42	0.12	0.20	0.12	0.08	0.08	0.20	0.16	0.19	0.17
	Matricine										
	Dev. St.	0.41	0.87	0.75	1.54	49.12	41.69	0.26	6.19	8.95	4.55
	Max	2.01	8.58	5.34	13.52	717.73	601.63	2.21	66.88	82.90	34.16
	Min	0.23	5.03	2.54	7.65	492.21	419.06	1.23	37.88	45.20	17.98
	Coef. Var.	0.45	0.13	0.19	0.14	0.08	0.09	0.15	0.13	0.14	0.18
VALLE NINFA	Totale	β_a (%)	β_t (%)	β_r (%)	β_v (%)	ρ_{12} (kg/m ³)	ρ_v (kg/m ³)	Ψ	σ_{12} (MPa)	σ_{b12} (MPa)	HB (N/mm ²)
	Dev. St.	0.42	1.18	0.86	1.85	64.27	53.19	0.36	8.72	16.07	6.38
	Max	2.32	9.65	6.31	15.65	798.18	667.21	3.25	76.40	116.00	46.73
	Min	0.06	4.23	1.63	7.16	503.91	365.39	1.30	35.39	25.20	13.03
	Coef. Var.	0.46	0.17	0.22	0.16	0.10	0.10	0.20	0.17	0.23	0.21
	Non cipollate										
	Dev. St.	0.42	1.15	0.82	1.75	66.55	54.72	0.38	8.71	17.43	6.90
	Max	2.32	9.65	5.81	15.44	771.25	633.35	3.25	76.40	116.00	46.73
	Min	0.17	4.23	1.63	7.16	506.97	365.39	1.30	35.39	29.00	17.42
	Coef. Var.	0.45	0.17	0.21	0.16	0.11	0.11	0.21	0.17	0.24	0.22
	Cipollate										
	Dev. St.	0.42	1.25	0.95	2.07	57.34	47.60	0.32	28.45	17.78	5.62
	Max	1.87	9.33	6.31	15.65	798.18	667.21	2.44	76.40	108.00	37.28
	Min	0.06	4.75	2.36	7.84	503.91	429.59	1.33	0.13	39.70	13.03
	Coef. Var.	0.46	0.19	0.24	0.18	0.09	0.09	0.18	167.84	0.24	0.19

Nell'insieme non si riscontrano differenze particolarmente rilevanti tra i due siti, non è possibile neanche trovare una tendenza generale nel descrivere la differenza di comportamento tra piante sane e cipollate.

I VALORI MEDI DEL COMPRENSORIO

La tabella 5.15 esprime i dati medi della zona dei Monti Sabatini, ottenuti mediando i valori dei due siti precedentemente descritti.

Tab 5.15 Caratteristiche fisico-meccaniche del comprensorio territoriale dei Castelli Romani

CASTELLI ROMANI	Pianta	β_a (%)	β_t (%)	β_r (%)	β_v (%)	ρ_{12} (kg/m ³)	ρ_v (kg/m ³)	Ψ	σ_{12} (MPa)	σ_{b12} (MPa)	HB (N/mm ²)
	Totale	0.92	6.87	3.95	11.36	617.34	516.35	1.79	50.62	71.13	28.64
	Polloni	0.95	6.87	3.94	11.38	617.96	516.28	1.80	50.74	71.94	28.85
	Matricine	0.70	6.84	4.02	11.21	612.36	516.92	1.74	50.30	63.18	25.14
	Non cipollate	0.90	6.69	3.91	11.15	613.62	514.35	1.75	50.30	71.46	28.66
	Piante cipollate	0.93	6.93	3.96	11.44	618.72	517.09	1.80	51.57	70.24	28.62

Tab 5.16 Analisi statistica delle caratteristiche fisico-meccaniche del comprensorio territoriale dei Castelli Romani

CASTELLI ROMANI	Totale	β_a (%)	β_t (%)	β_r (%)	β_v (%)	ρ_{12} (kg/m ³)	ρ_v (kg/m ³)	Ψ	σ_{12} (MPa)	σ_{b12} (MPa)	HB (N/mm ²)
	Dev. St.	0.40	1.02	0.83	1.65	58.5	47.8	0.35	8.61	16.07	5.7
	Max	2.32	9.65	6.31	15.65	798.2	667.2	3.25	76.40	116.00	46.7
	Min	0.06	4.23	1.63	7.16	490.7	365.4	1.23	34.41	25.20	13.0
	Coef. Var.	0.44	0.15	0.21	0.15	0.1	0.1	0.19	0.17	0.23	0.2
	Polloni										
	Dev. St.	0.40	1.04	0.84	1.68	60.1	49.2	0.35	8.8	16.4	5.7
	Max	2.32	9.65	6.31	15.65	798.2	667.2	3.25	76.4	116.0	46.7
	Min	0.06	4.23	1.63	7.16	490.7	365.4	1.23	34.4	25.2	13.0
	Coef. Var.	0.43	0.15	0.21	0.15	0.1	0.1	0.20	0.2	0.2	0.2
	Non cipollate										
	Dev. St.	0.40	1.00	0.82	1.58	57.2	46.8	0.36	8.6	16.2	5.9
	Max	2.32	9.65	5.96	15.44	771.2	633.4	3.25	76.4	116.0	46.7
	Min	0.17	4.23	1.63	7.16	490.7	365.4	1.23	34.4	26.0	15.8
	Coef. Var.	0.43	0.14	0.21	0.14	0.1	0.1	0.20	0.2	0.2	0.2
	Cipollate										
	Dev. St.	0.4	1.1	0.9	1.8	62.1	50.6	0.3	8.6	15.9	5.3
	Max	2.0	9.3	6.3	15.7	798.2	667.2	2.4	69.4	108.0	38.8
	Min	0.1	4.7	2.4	7.7	492.2	419.1	1.2	35.2	25.2	13.0
	Coef. Var.	0.5	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2

	Matricine										
	Dev. St.	0.3	0.9	0.7	1.4	43.4	35.3	0.3	6.2	8.9	4.6
	Max	1.4	9.1	5.4	13.4	744.6	615.0	2.4	66.9	82.9	34.2
	Min	0.2	5.0	2.5	7.7	538.9	453.5	1.3	37.9	45.2	18.0
	Coef. Var.	0.5	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2

Dal confronto tra polloni e matricine non si evidenziano sostanziali differenze, solo la resistenza a flessione e la resistenza a penetrazione mostrano valori leggermente superiori nei polloni (rispettivamente $71.94 \text{ MPa} \pm 16.4$ e $28.85 \text{ N/mm}^2 \pm 5.7$) rispetto alle matricine (rispettivamente $63.18 \text{ MPa} \pm 8.9$ e $25.14 \text{ N/mm}^2 \pm 4.6$). Mentre non si evidenziano differenze significative e omogenee nel confronto tra piante cipollate e piante sane.

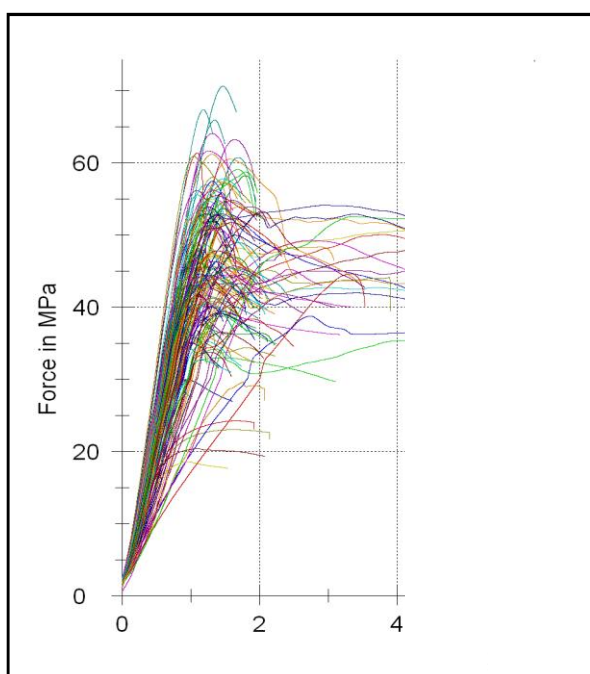


Fig 5.16: Fascio di curve relativo al test di resistenza a compressione assiale del sito Valle Ninfa lungo l'asse delle ordinate è rappresentata la forza [MPa] e lungo l'asse delle ascisse la deformazione in mm.

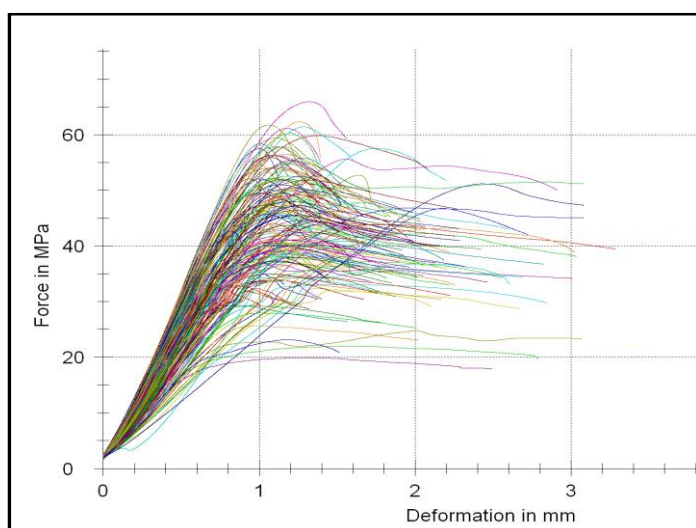


Fig 5.17 Fascio di curve relativo al test di resistenza a flessione statica del sito Cavalleria, lungo l'asse delle ordinate è rappresentata la forza [MPa] e lungo l'asse delle ascisse la deformazione in mm.

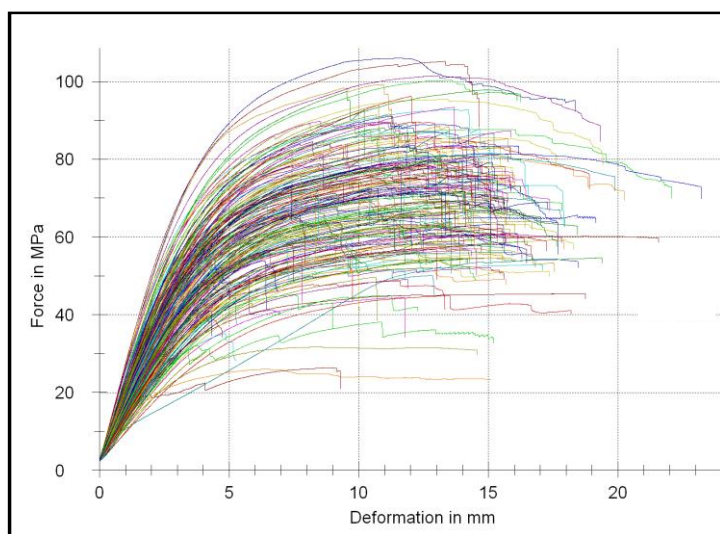


Fig 5.18 Fascio di curve relativo al test di resistenza a flessione statica del sito Valle Ninfa lungo l'asse delle ordinate è rappresentata la forza [MPa] e lungo l'asse delle ascisse la deformazione in mm.

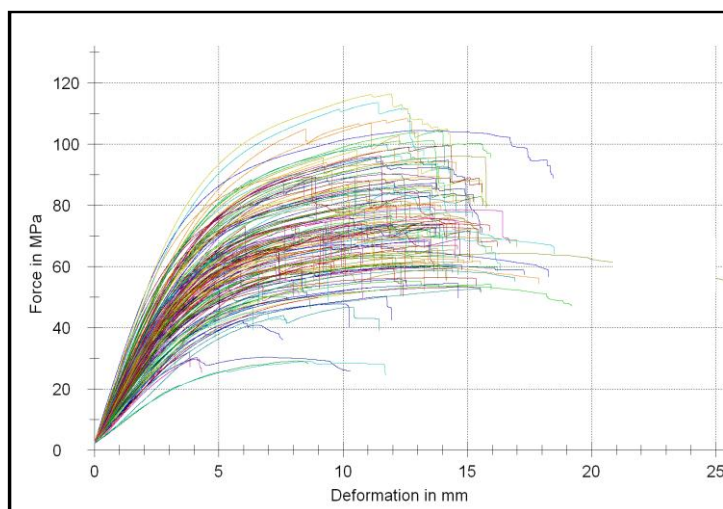


Fig 5.19 Fascio di curve relativo al test di resistenza a flessione statica del sito Cavalleria lungo l'asse delle ordinate è rappresentata la forza [MPa] e lungo l'asse delle ascisse la deformazione in mm.

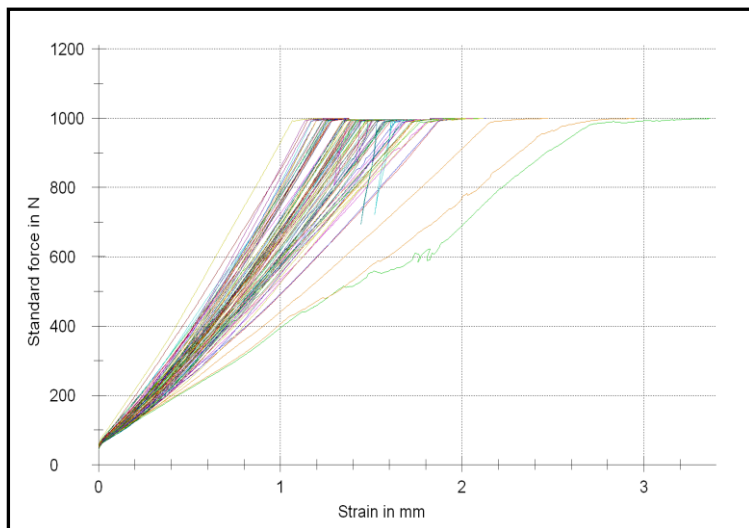


Fig 5.20 Fascio di curve relativo alla prova di resistenza a penetrazione secondo il metodo Brinell del sito Valle Ninfa lungo l'asse delle ordinate è rappresentata la forza [MPa] e lungo l'asse delle ascisse la deformazione in mm

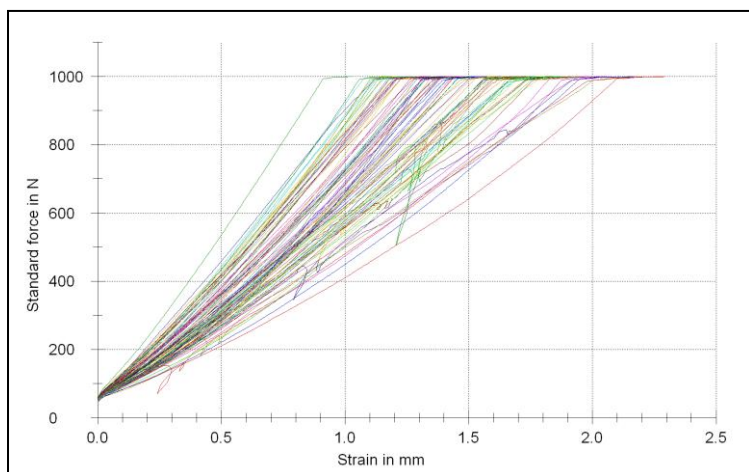


Fig 5.21 Fascio di curve relativo alla prova di resistenza a penetrazione secondo il metodo Brinell del sito Valle Ninfa lungo l'asse delle ordinate è rappresentata la forza [MPa] e lungo l'asse delle ascisse la deformazione in mm

I MONTI LEPINI

La tabella 5.17 mostra le caratteristiche medie del popolamento e la tabella 5.18 i relativi valori statistici corrispondenti.

Non è risultato possibile eseguire la resistenza a durezza.

Tab 5.17 Caratteristiche fisico-meccaniche del comprensorio territoriale dei Monti Lepini

MONTI LEPINI		β_a (%)	β_t (%)	β_r (%)	β_v (%)	ρ_{12} (kg/m ³)	ρ_v (kg/m ³)	Ψ	σ_{12} (MPa)	σ_{b12} (MPa)	HB (N/mm ²)
	Totale	0.70	5.83	3.21	9.48	671.70	554.25	1.87	55.66	103.87	31.64
	Polloni	0.72	5.88	3.18	9.52	672.88	555.82	1.89	55.83	106.45	32.91
	Matricine	0.65	5.60	3.17	9.18	660.82	544.25	1.85	54.69	95.96	29.02
	Matricine 1t	0.58	5.47	3.04	8.88	645.23	533.46	1.90	54.86	94.17	29.12
	Matricine 2t	0.78	5.81	3.39	9.71	688.10	563.13	1.77	54.39	99.09	28.85
	Non cipollate	0.70	5.90	3.22	9.56	670.47	553.88	1.88	56.33	104.64	31.96
	Piante cipollate	0.70	5.58	3.17	9.21	675.99	555.51	1.83	53.33	101.19	30.51

Tab. 5.18 Analisi statistica delle caratteristiche medie dei Monti Lepini

Totale	β_a (%)	β_t (%)	β_r (%)	β_v (%)	ρ_{12} (kg/m ³)	ρ_y (kg/m ³)	Ψ	f (cm/anelli)	s_{12} (MPa)	σ_{b12} (MPa)	HB (N/mm ²)
Dev. St.	0.42	1.06	0.81	1.48	58.49	46.58	0.46	0.25	5.80	15.15	6.55
Max	2.37	8.56	5.75	14.17	866.68	701.49	3.14	2.00	71.24	146.56	49.3
Min	0.00	2.55	1.58	5.90	520.63	433.41	0.81	0.15	43.62	37.15	16.5
Coef. Var.	59.64	18.25	25.15	15.59	8.71	8.40	24.70	54.23	10.42	14.59	20.69
Polloni	□	□	□	□			□			□	
Dev. St.	0.40	1.03	0.77	1.36	62.04	50.16	0.45	0.20	5.35	13.19	6.0
Max	1.90	8.13	5.63	13.02	866.68	701.49	2.84	1.00	69.32	146.56	46.5
Min	0.07	2.83	2.14	5.90	549.86	452.76	0.81	0.18	44.79	71.75	16.5
Coef. Var.	55.58	17.48	24.37	14.32	9.22	9.02	23.80	42.34	9.59	12.39	18.37
Non cipollate	□	□	□	□			□			□	
Dev. St.	0.38	1.08	0.82	1.46	58.56	47.45	0.48	0.20	5.83	15.08	6.6
Max	1.90	8.56	5.75	13.67	866.68	701.49	3.14	1.00	69.32	146.56	49.3
Min	0.00	2.55	1.58	5.90	520.63	433.41	0.81	0.15	43.62	37.15	16.5
Coef. Var.	54.00	18.32	25.58	15.26	8.73	8.57	25.38	42.92	10.35	14.42	20.72
Cipollate	□	□	□	□			□			□	
Dev. St.	0.51	0.99	0.75	1.48	58.73	44.61	0.42	0.35	5.17	14.58	6.2
Max	2.37	8.34	5.17	14.17	823.63	663.07	2.66	2.00	71.24	130.28	42.6
Min	0.03	3.11	1.92	6.56	540.15	448.22	0.90	0.18	44.36	74.91	19.4
Coef. Var.	72.80	17.77	23.78	16.09	8.69	8.03	23.09	73.02	9.70	14.41	20.42
Matricine	□	□	□	□			□			□	
Dev. St.	0.45	1.13	0.85	1.61	53.78	41.48	0.49	0.30	6.28	15.01	7.1
Max	2.37	8.56	5.75	14.17	823.63	663.07	3.14	2.00	71.24	125.19	49.3
Min	0.00	2.55	1.58	6.06	520.63	433.41	0.81	0.15	43.62	37.15	19.4
Coef. Var.	68.74	20.11	26.73	17.55	8.14	7.62	26.45	64.92	11.48	15.64	24.55
matr. 1t	□	□	□	□			□			□	
Dev. St.	0.38	1.25	0.93	1.63	43.24	36.22	0.56	0.37	7.08	16.88	7.9
Max	1.56	8.56	5.75	12.70	719.98	599.15	3.14	2.00	69.21	125.19	49.3
Min	0.00	2.55	1.58	6.06	520.63	433.41	0.81	0.20	43.62	37.15	19.4
Coef. Var.	65.85	22.82	30.46	18.35	6.70	6.79	29.58	69.58	12.90	17.92	27.02
matr. 2t	□	□	□	□			□			□	
Dev. St.	0.51	1.00	0.75	1.60	59.41	44.21	0.38	0.19	5.39	13.15	6.1
Max	2.37	8.34	5.17	14.17	823.63	663.07	2.56	1.00	71.24	122.14	42.6
Min	0.21	4.08	2.06	6.94	585.93	484.19	0.97	0.15	44.90	72.37	20.7
Coef. Var.	65.01	17.20	22.07	16.48	8.63	7.85	21.58	53.94	9.90	13.27	21.07

Dallo studio dell'area risulta che le caratteristiche medie sono leggermente maggiori nei polloni, soprattutto per quanto riguarda la resistenza a flessione statica. Nel complesso le caratteristiche meccaniche differiscono rimangono costanti eccezion fatta per la durezza che mostra delle differenze importanti tra polloni e matricine di secondo ordine.

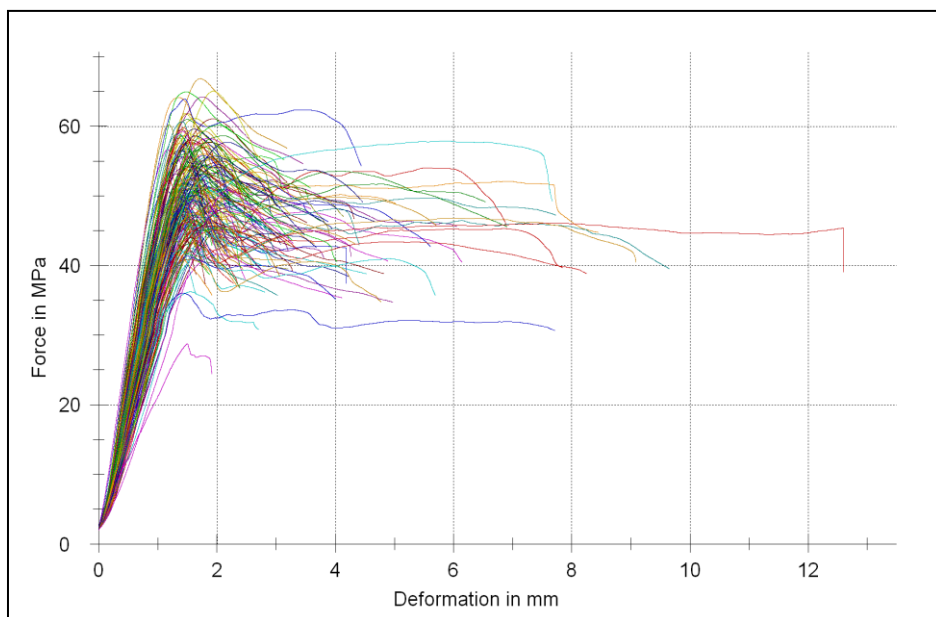


Fig 5.22 Fascio di curve relativo al test di resistenza a compressione assiale di Bassiano, lungo l'asse delle ordinate è rappresentata la forza [MPa] e lungo l'asse delle ascisse la deformazione in mm

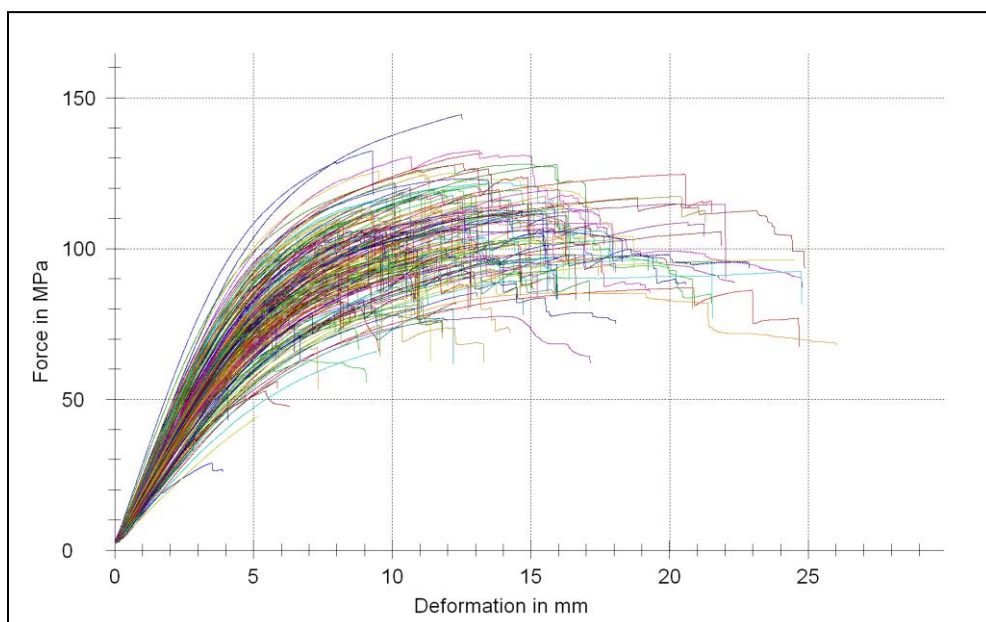


Fig 5.23 Fascio di curve relativo al test di flessione statica di Bassiano, lungo l'asse delle ordinate è rappresentata la forza [MPa] e lungo l'asse delle ascisse la deformazione in mm

ANALISI DELLA VARIANZA

VARIABILITÀ TRA I SITI

La figura 5.24 e le relative tabelle 5.19 e 5.20 mostrano il confronto tra le aree di studio mediante la

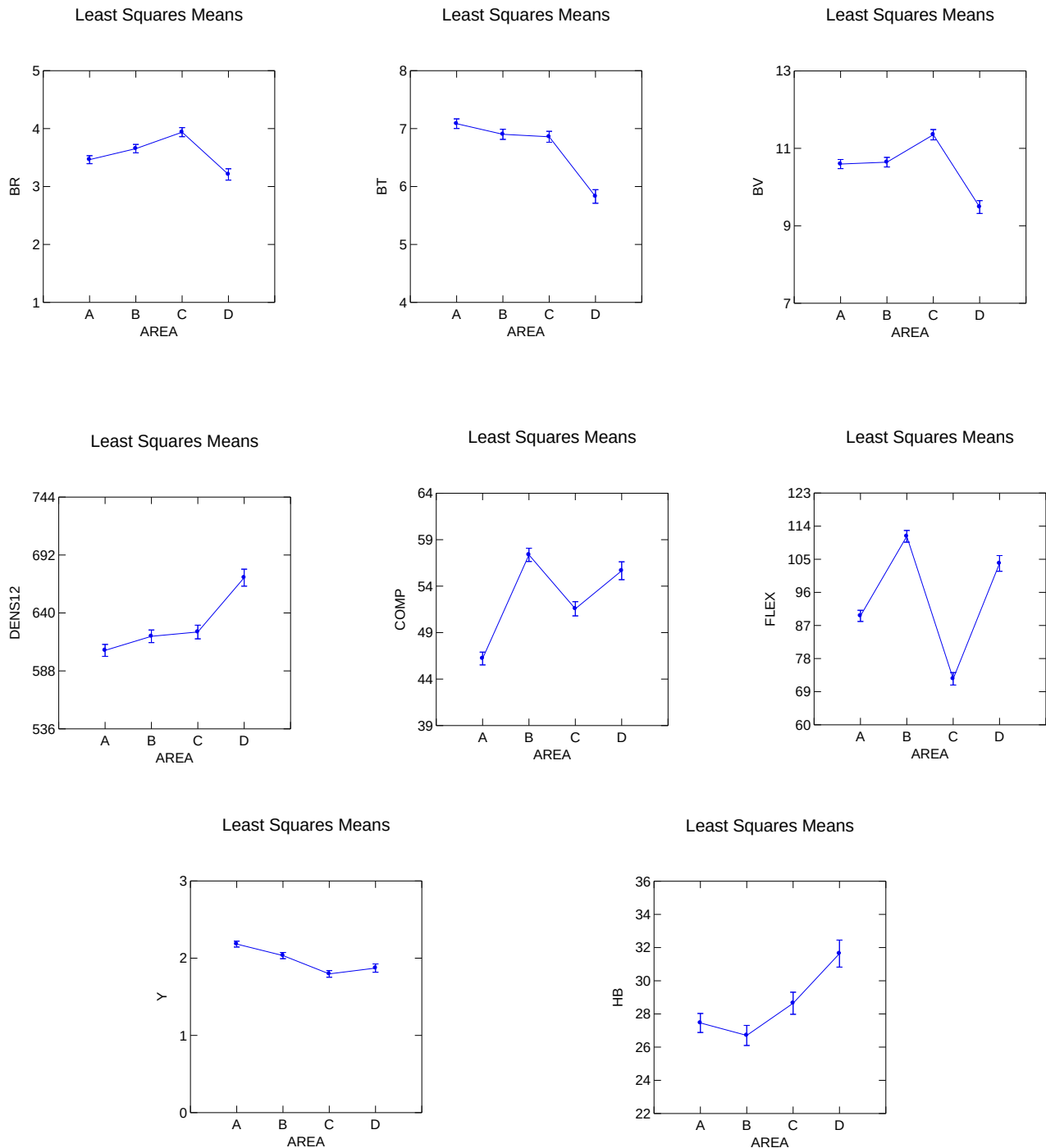


Fig 5.24 valori medi e deviazione standard delle caratteristiche fisico-meccaniche dei 4 comprensori territoriali analizzati: A= Monti Cimini; B= Monti Sabatini; C= Castelli Romani; D= Monti Lepini. Tali grafici si riferiscono a tutti i 237 alberi analizzati. β_r = ritiro radiale, β_t = ritiro tangenziale, β_v = ritiro volumetrico, Y= coefficiente di

deformazione, Dens₁₂= massa volumica al 12% di umidità, COMP= resistenza a compressione assiale, FLEX= resistenza a flessione statica, HB=durezza di Brinnel

Tab. 5.19 ANOVA: valori di p e F di Fischer ed Errore delle caratteristiche fisico-meccaniche in relazione all'area (Bend = FLEX).

AREA			
	f	p	error
br	13015	0.000	77413
bt	27274	0.000	111596
bV	27761	0.000	222828
dens12	15858	0.001	470295
Y	17444	0.000	23159
comp	47047	0.001	7475.5
Bend	102477	0.000	35957
HB	8559	0.005	5352

Tab.5.20 Numero di campioni utilizzati nell'analisi della varianza per ciascuna caratteristica in relazione all'area .

Area	br	bt	bV	DENSITY	Y	COMP	FLEX	HB
A	72	72	72	72	72	70	71	73
B	67	67	67	67	67	67	67	67
C	56	56	56	56	56	57	57	54
D	36	36	36	36	36	36	36	36

CONFRONTO TRA LE AREE DI STUDIO CLASSE CRONOLOGICA 6-10

Il confronto delle caratteristiche fisico-meccaniche in relazione al sito è stato eseguito tenendo anche in considerazione due classi d'età 6-10 ed 11-15.

Le tabelle 5.21 e 5.22 e la figura 5.25 mostrano la ANOVA delle diverse caratteristiche fisico-meccaniche per la classe cronologica 6-10, i grafici mostrano il valore medio e la deviazione standard.

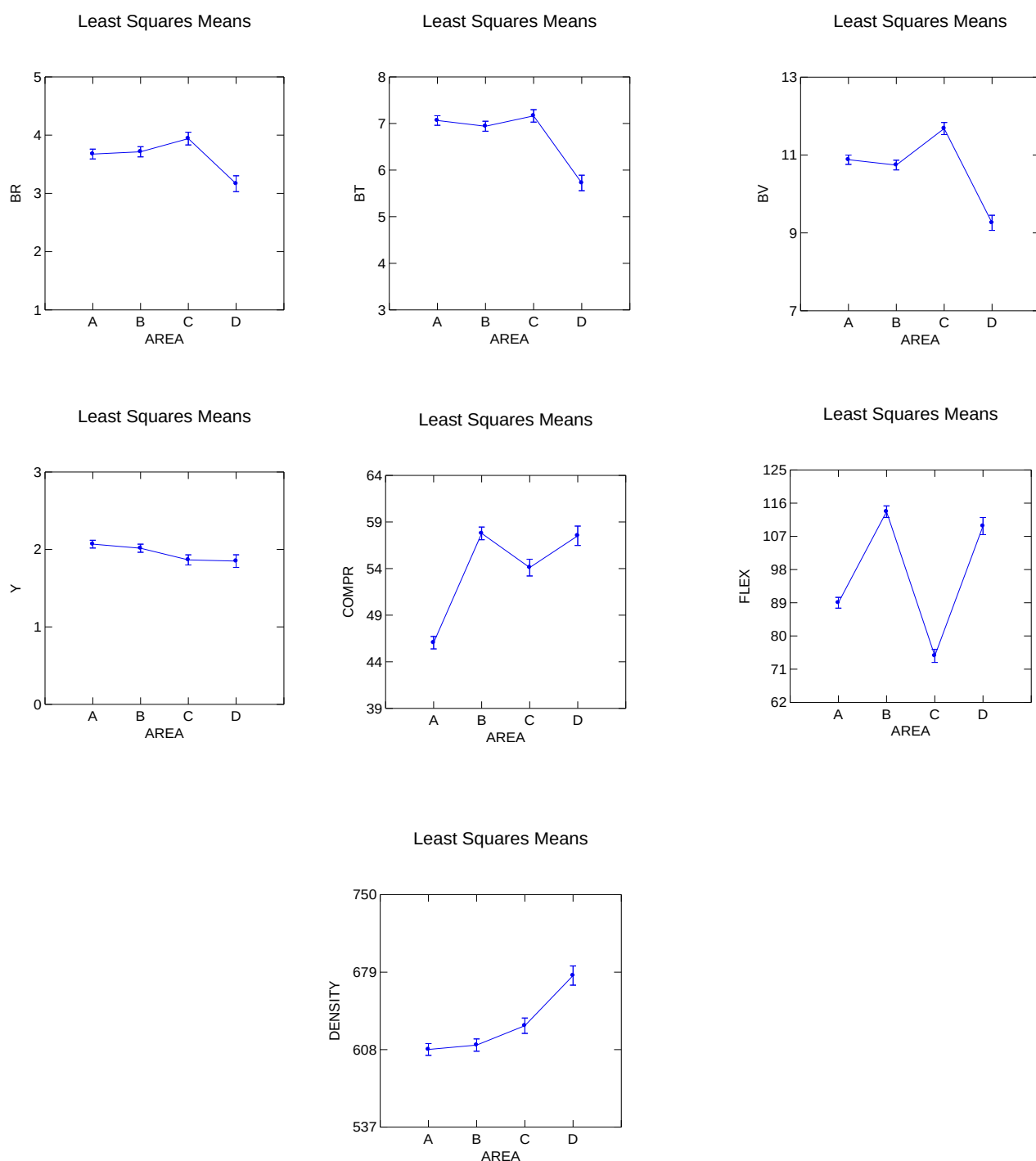


Fig 5.25 valori medi e deviazione standard delle caratteristiche fisico-meccaniche dei 4 comprensori territoriali analizzati: A= Monti Cimini; B= Monti Sabatini; C= Castelli Romani; D= Monti Lepini. Tali grafici si riferiscono ai

soli provini rientranti nella classe cronologica 6-10. β_r = ritiro radiale, β_t = ritiro tangenziale, β_v = ritiro volumetrico, Y= coefficiente di deformazione, Dens₁₂= massa volumica al 12% di umidità, COMP= resistenza a compressione assiale, FLEX= resistenza a flessione statica, HB=durezza di Brinell

Tab. 5. 21 ANOVA: valori di p. F di Fischer ed Errore delle caratteristiche fisico-meccaniche dei 4 comprensori studiati in relazione alla classe cronologica 6-10 .

CLASSE CRONOLOGICA			
	f	p	error
br	6.708	0.000	292.362
bt	18.837	0.000	436.123
bV	31.956	0.000	593.126
dens12	16.207	0.000	60
Y	3.053	0.029	105.065
COMP	59.356	0.000	17292.707
FLEX	109.983	0.000	85030.139

Tab 5.22 Numero di campioni utilizzati nell'analisi della varianza per ciascuna caratteristica in relazione all'area per la classe di età 6-10

	β_r (%)	β_t (%)	β_a (%)	β_v (%)	Ψ	ρ_{12} (g/cm ³)	ρ_y (g/cm ³)	COMPR	FLEX
M.Cimini	114	114	114	114	114	114	114	110	111
M.Sabatini	108	108	108	108	108	108	108	108	99
Castelli R.	70	70	70	70	70	70	70	63	77
M.Lepini	46	46	46	46	46	46	46	48	46

CONFRONTO TRA LE AREE DI STUDIO CLASSE CRONOLOGICA 11-15

Le tabelle 5.23 e 5.24 e la figura 5.26 mostrano la ANOVA delle diverse caratteristiche fisico-meccaniche per la classe cronologica 11-15, i grafici mostrano il valore medio e la deviazione standard.

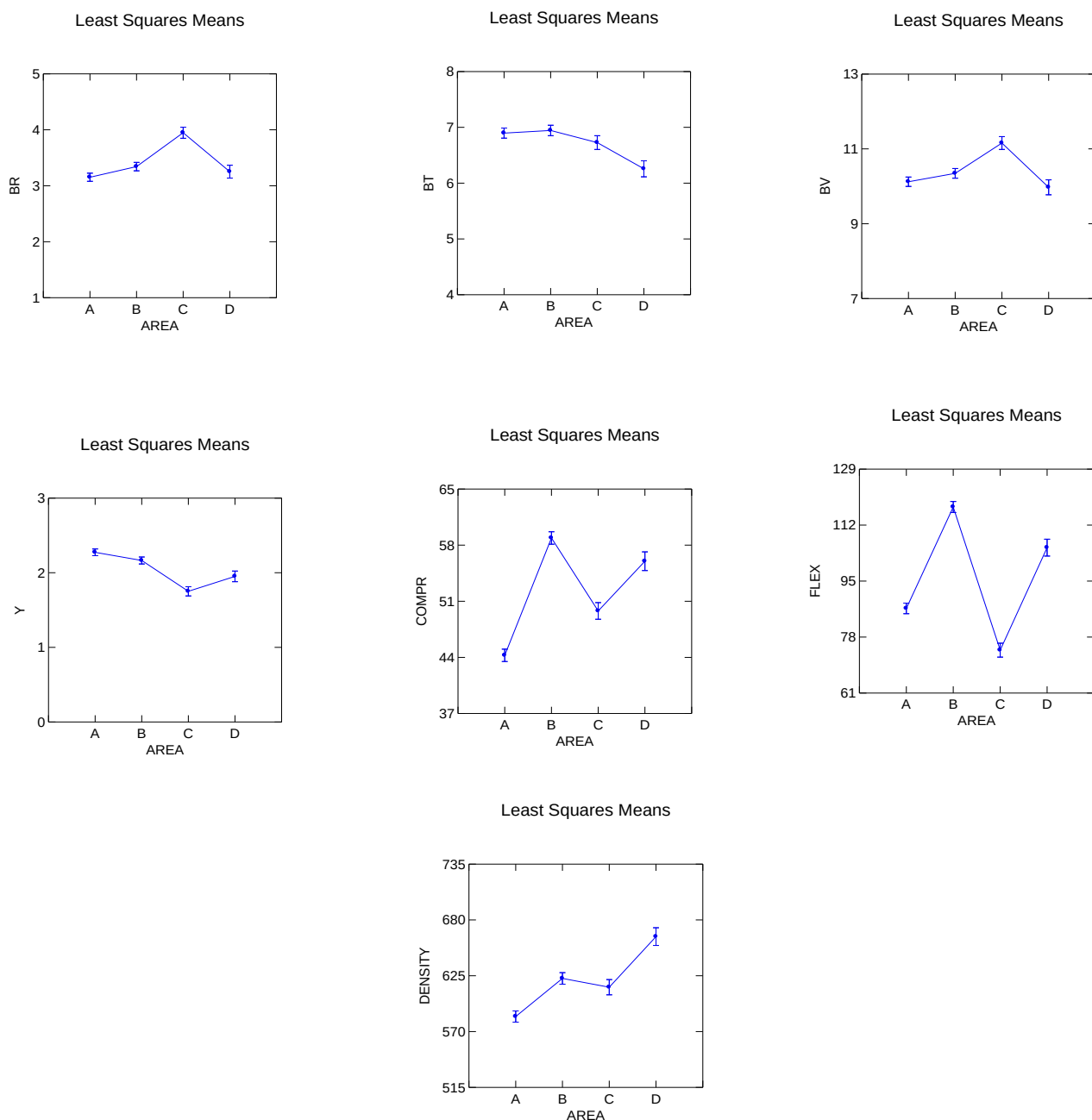


Fig 5.26 valori medi e deviazione standard delle caratteristiche fisico-meccaniche dei 4 comprensori territoriali analizzati: A= Monti Cimini; B= Monti Sabatini; C= Castelli Romani; D= Monti Lepini. Tali grafici si riferiscono ai soli provini rientranti nella classe cronologica 11-15. β_r = ritiro radiale, β_t = ritiro tangenziale, β_v = ritiro volumetrico, Y=

coefficiente di deformazione, Dens₁₂= massa volumica al 12% di umidità, COMP= resistenza a compressione assiale, FLEX= resistenza a flessione statica, HB=durezza di Brinell

Tab. 5.23 ANOVA: valori di p. Fdi Fischer ed Errore delle caratteristiche fisico-meccaniche dei 4 comprensori studiati in relazione alla classe cronologica 11-15 .

CLASSE CRONOLOGICA			
	f	p	error
br	14.711	0.000	129.208
bt	6.078	0.001	199.689
bV	9.640	0.000	386.773
dens12	20.850	0.000	740185.107
Y	17.694	0.000	49.896
COMP	65.272	0.000	13710.978
FLEX	105.915	0.000	61875.486

Tab 5.24 Numero di campioni utilizzati nell'analisi della varianza per ciascuna caratteristica in relazione all'area per la classe di età 11-15

	β_r (%)	β_t (%)	β_a (%)	β_v (%)	Ψ	ρ_{12} (g/cm ³)	ρ_v (g/cm ³)	COMPR	FLEX
M.Cimini	93	93	93	93	93	93	93	89	92
M.Sabatini	87	87	87	87	87	87	87	87	84
Castelli R.	50	50	50	50	50	50	50	49	53
M.Lepini	37	37	37	37	37	37	37	39	36

L'analisi dell'ANOVA tra le due classi cronologiche mostra la variabilità delle caratteristiche fisiche e meccaniche in relazione alla sola variabile sito sottolineando l'importanza della provenienza geografica nel determinare le proprietà dl legno. Entrambe le analisi, quella relativa

alla classe 6-10 e 11-15 hanno messo in evidenza la variabilità significativa in relazione al sito. Tale risultato è emerso come vedremo anche dall'ANOVA a 2 vie.

CONFRONTO IN RELAZIONE ALL'ETÀ DEI CAMPIONI

Le tabelle 5.25 e 5.26 e la figura 5.27 mostrano la ANOVA delle diverse caratteristiche fisico-meccaniche in relazione alle diverse classi di età, i grafici mostrano il valore medio e la deviazione standard.

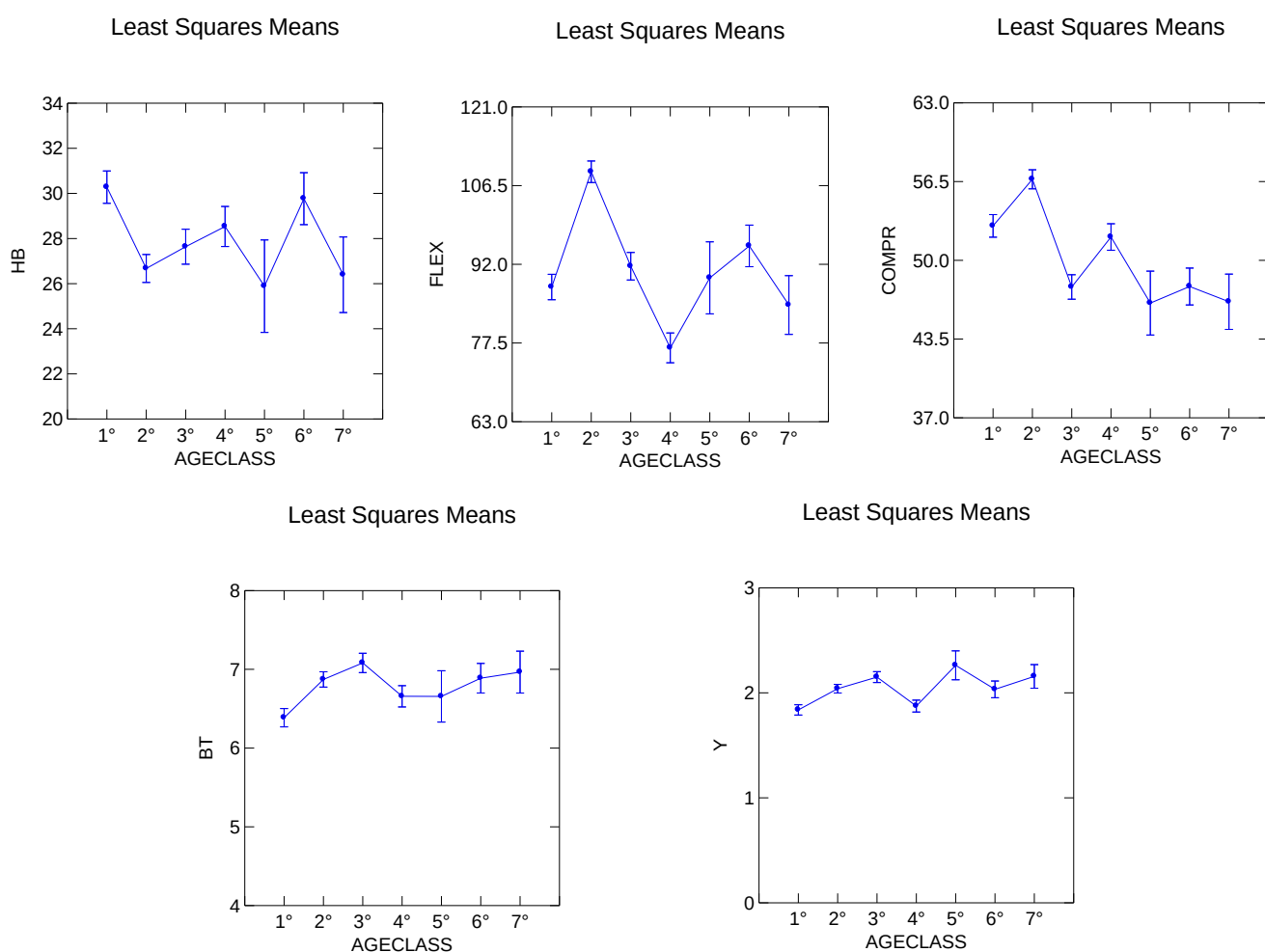


Fig 5.27 valori medi e deviazione standard delle caratteristiche fisico-meccaniche in relazione alle diverse classi di età delle piante. βt = ritiro tangenziale, Y= coefficiente di deformazione, COMPR= resistenza a compressione assiale, FLEX= resistenza a flessione statica, HB=durezza di Brinell

Tab. 5.25 ANOVA: valori di probabilità p., F di Fischer ed Errore delle caratteristiche fisico-meccaniche in relazione all'area

CLASSE DI Età			
	f	p	error
br	1.165	0.325	85.752
bt	3.352	0.004	138.209
bV	0.589	0.558	285.570
dens12	1,428	0,205	534.165.238
Y	5149	0.000	24.585
comp	11820	0.001	9.007.822
Flex	18179	0.000	57.222.455
HB	3231	0.005	5.453.852

Tab. 5.26 numero di campioni utilizzati per ciascuna caratteristica analizzata in relazione alla classe di età per l'analisi della varianza.

Classe di età	br	bt	bV	DENSITY	Y	COMP	FLEX	HB
1°	48	48	47	47	47	48	48	49
2°	67	67	67	67	67	67	67	66
3°	42	42	42	42	42	41	41	42
4°	35	35	35	35	35	35	35	32
5°	6	6	6	6	6	6	6	6
6°	18	18	18	18	18	18	18	19
7°	9	9	9	9	9	8	9	9

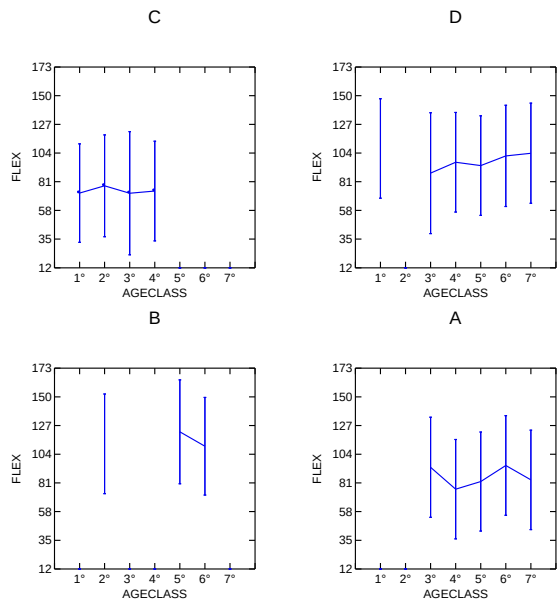
ANOVA A 2 VIE: SITO X ETÀ

La ANOVA a 2 vie ha messo in evidenza delle differenze significative tra fattore sito e fattore età, ovvero congiuntamente i due fattori influenzano le caratteristiche fisico-meccaniche (tab. 5.27 e fig 5.28).

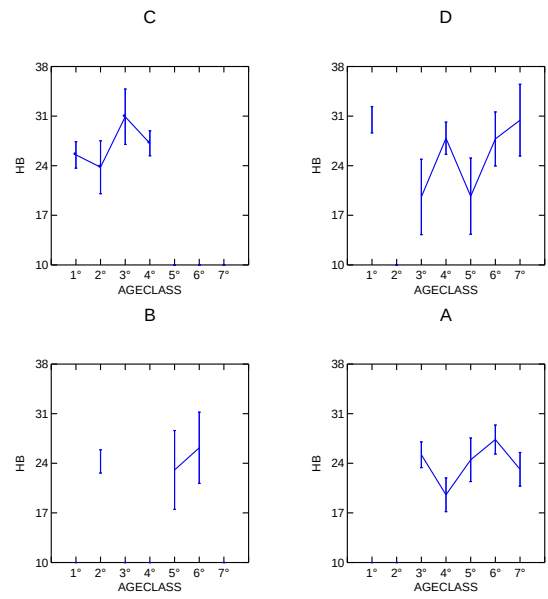
CLASSE DI Età - SITO			
	f	p	error
br	3.194	0.000	70.059
bt	5.678	0.000	102.831
bV	5.646	0.000	199.214
dens12	4.607	0.000	402.314.166
Y	3.751	0.000	21.446
comp	9.688	0.000	6.634.649
Flex	20.063	0.000	32.377.225
HB	2.981	0.000	4.765.325

Tab. 5.27 ANOVA a 2 vie:età-sito: valori di p , F di Fischer ed Errore delle caratteristiche fisico-meccaniche.

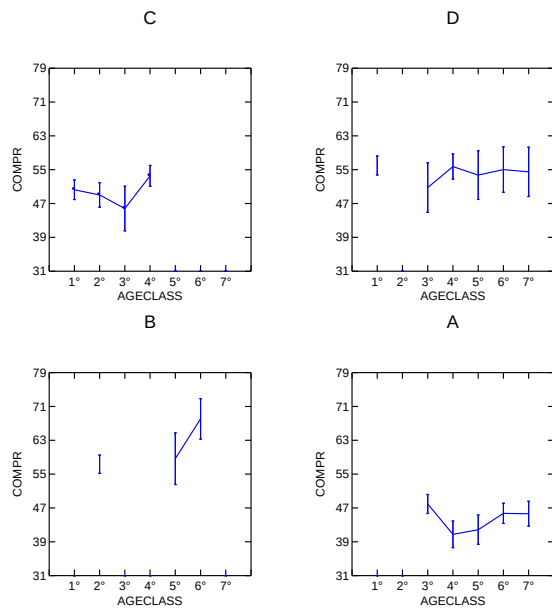
Least Squares Means



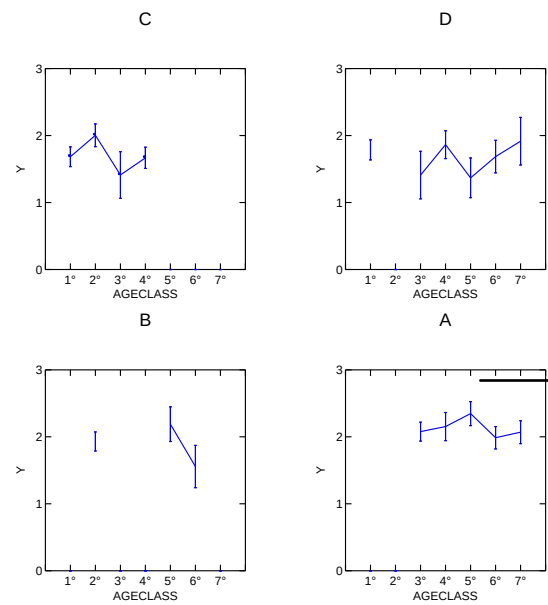
Least Squares Means



Least Squares Means



Least Squares Means



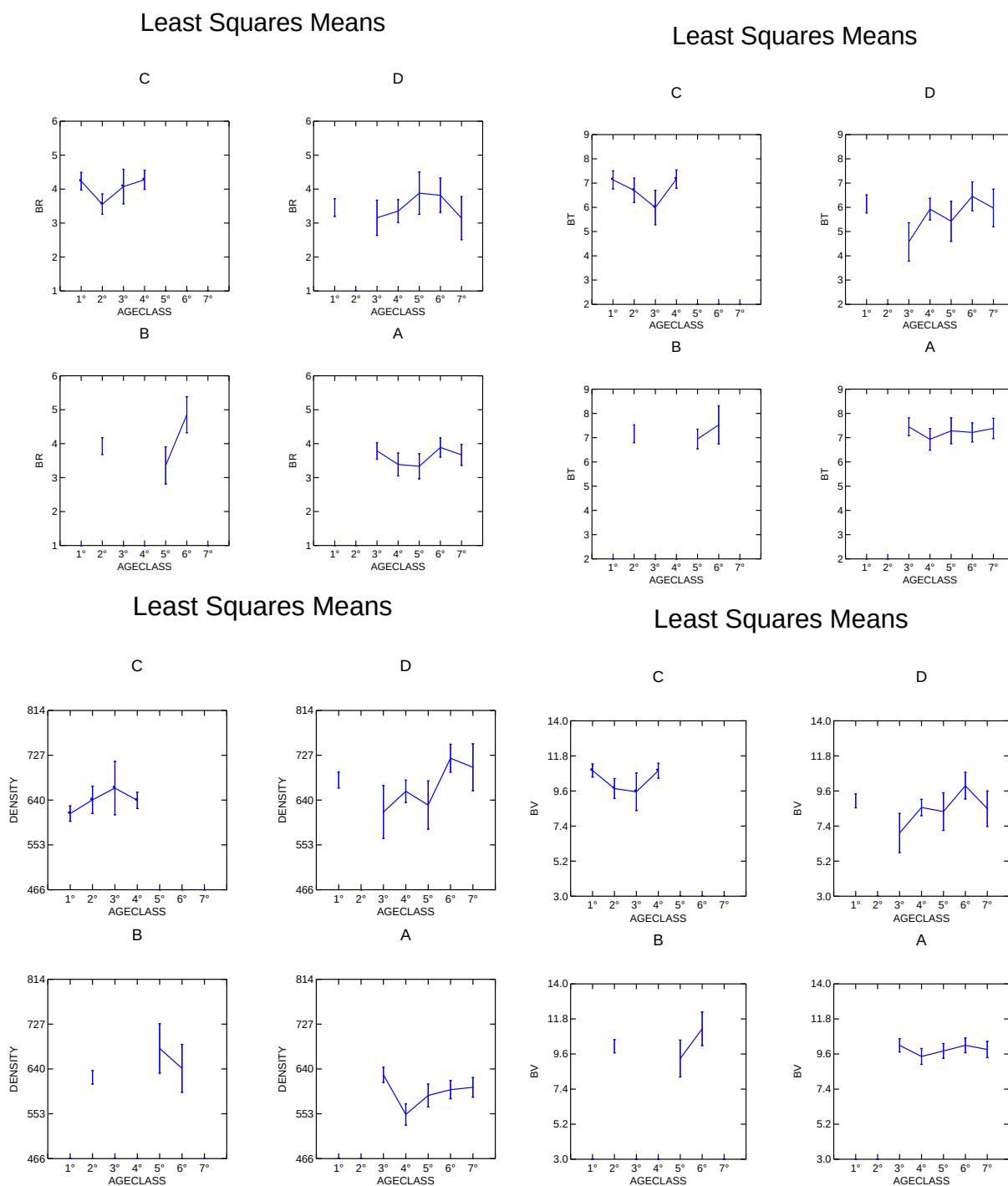


Fig 5.28 ANOVA a 2 vie tra le 2 variabili indipendenti: classe di età e sito di origine: i grafici mostrano i valori medi e le deviazione standard delle caratteristiche fisico-meccaniche: β_v = ritiro volumetrico, β_r = ritiro radiale β_t = ritiro tangenziale COMPR= resistenza a compressione assiale, FLEX= resistenza a flessione statica, HB=durezza di Brinnel, DENSITY= massa volumica, Y= coefficiente di deformazione, A= Monti Cimini, B= M. Sabatini, C= Castelli Romani, D= M. Lepini .

L' ANOVA a 2 vie mostra valori significativi ovvero sito ed età agiscono congiuntamente sebbene l'effetto sito abbia un peso preponderante nel determinare la variabilità tra le piante, come si evince dall'osservazione di valori di f.

CONFRONTO IN RELAZIONE AL DIAMETRO DELLE PIANTE

Le tabelle 5.28 e 5.29 e la figura 5.29 delle diverse caratteristiche fisico-meccaniche in relazione alle diverse classi di diametro. aventi un età confrontabile di 25-30 anni

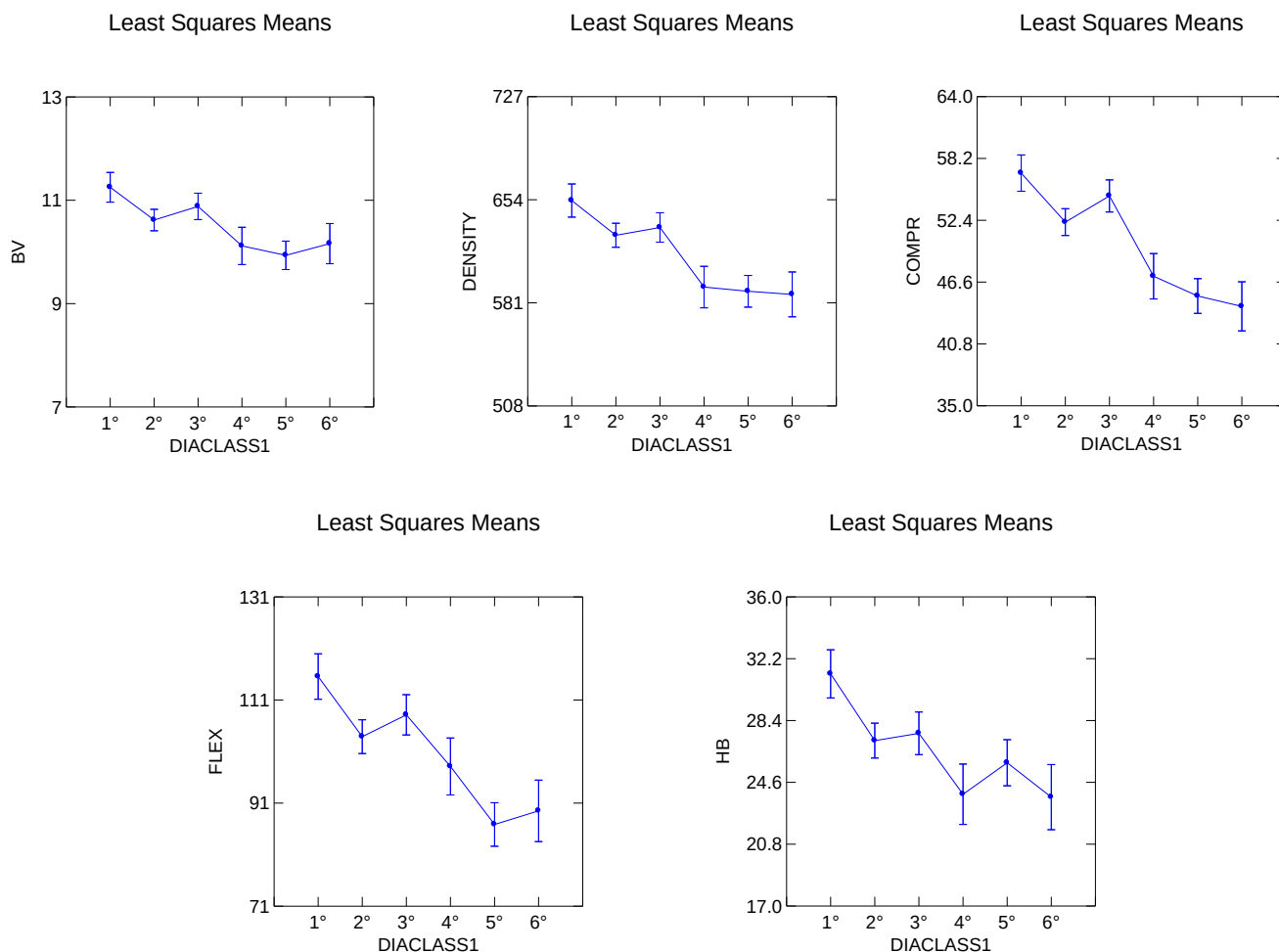


Fig 5.29 valori medi e deviazione standard delle caratteristiche fisico-meccaniche in relazione alle diverse classi di diametro delle piante aventi un età confrontabile di 25-30 anni. β_v = ritiro tvolumetrico, COMPR= resistenza a compressione assiale, FLEX= resistenza a flessione statica, HB=durezza di Brinnel, DENSITY= massa volumica.

Tab. 5.28 di campioni utilizzati per ciascuna caratteristica analizzata in relazione alla classe di diametro relativa alla classe di età 25-30 anni, per l'analisi della varianza.

Classe di diametro delle piante	br	bt	bV	DENSITY	Y	COMP	FLEX
1°- 0-20cm	12	12	12	12	12	12	12
2°- 21-25cm	21	21	21	21	20	20	21
3°- 26-30cm	14	14	14	14	14	14	14
4°- 31-35cm	7	7	7	7	7	7	7
5°- 36-40cm	12	12	12	12	12	12	12
6°- >40cm	6	6	6	6	6	6	6

Tab.5.29 ANOVA:classe di diametro: valori di p , F di Fischer ed Errore delle caratteristiche fisico-meccaniche (Bend=FLEX).

diameter class (25-30 years)			
	f	p	error
br	1.839	0.117	22.172
bt	1.855	0.114	39.730
bV	3.035	0.017	59.091
dens12	5.318	0.000	98227.4
Y	0.591	0.707	10.378
comp	8.529	0.000	2032.845
Bend	6.006	0.000	13668.846
HB	2.971	0.018	1564.987

ANOVA A 2 VIE: SITO X DIAMETRO

La ANOVA a 2 vie ha messo in evidenza delle differenze significative tra fattore sito e fattore diametro, i due fattori influenzano le caratteristiche fisico-meccaniche congiuntamente (tab. 5.30 e fig 5.30). In particolare la massa volumica, la resistenza a flessione, la resistenza a compressione e la durezza secondo il metodo Brinell variano in maniera significativa, tra i ritiri quello volumetrico mostra delle differenze significative in relazione alle dimensioni diametrali delle piante. Le interazioni sito-diametro mostrano che sebbene vi sia un contributo congiunto nell' influenzare significativamente le caratteristiche fisiche e meccaniche, anche in questo caso è ancora una volta il sito il fattore di maggiore variabilità come si evince dal confronto dei valori di f.

Tab5.30. ANOVA a 2 vie tra la classe di diametro (a parità di età 25-30 anni) e l'area di origine: valori di p , F di Fischer ed Errore delle caratteristiche fisico-meccaniche

diameter class (25-30 years) - area			
	f	p	error
br	2.349	0.018	17.6
bt	1.701	-	34.466
bV	2.416	0.015	50.247
dens12	4.255	0.000	77181.96
Y	1.792		8.877
comp	6.257	0.000	1549.159
Flex	9.148	0.000	7342.88
HB	2.566	0.010	1300.530

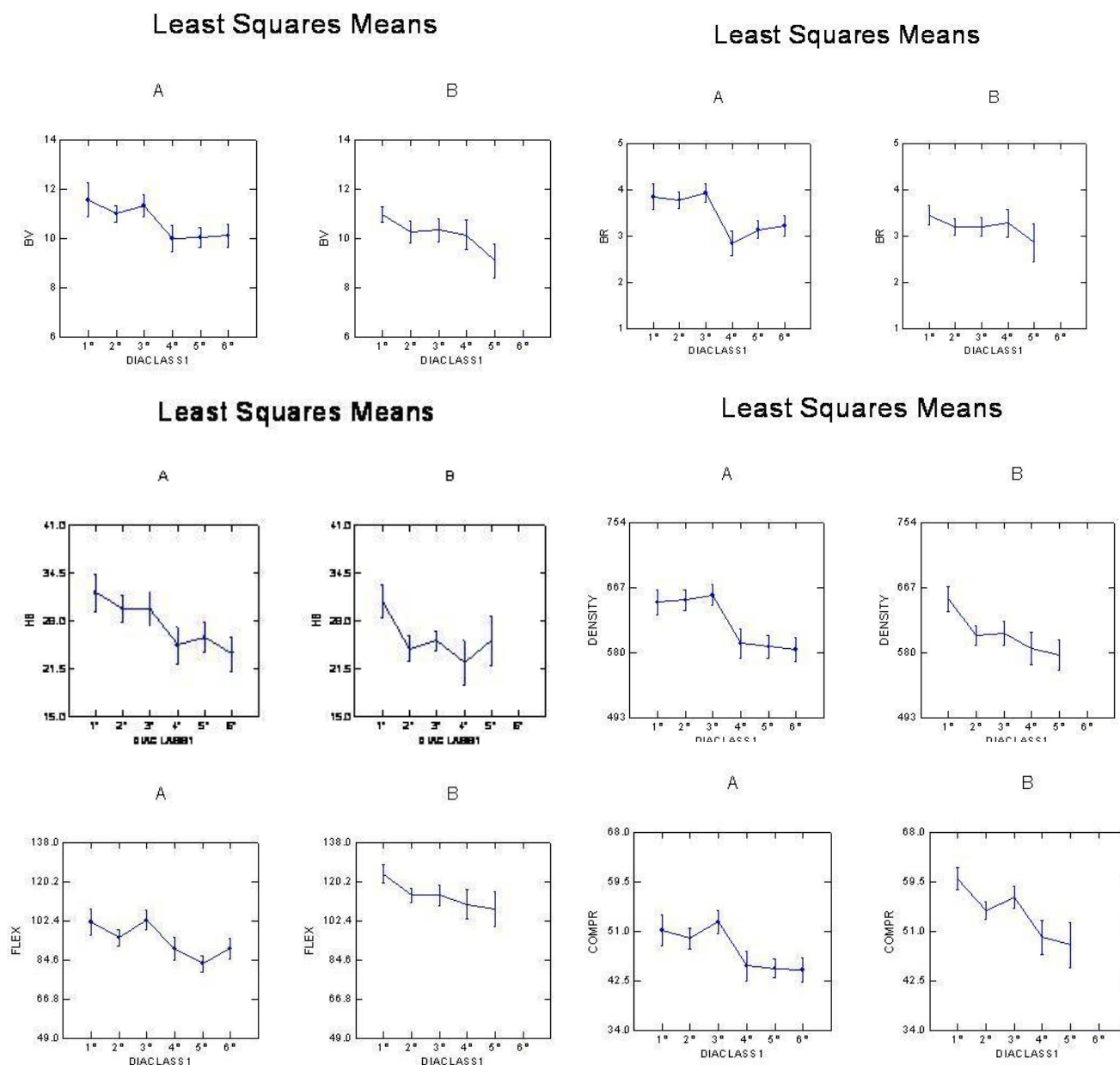


Fig 5.30 ANOVA a 2 vie tra le 2 variabili indipendenti: classe di diametro delle piante aventi un età confrontabile di 25-30 anni e sito di origine: i grafici mostrano i valori medi e le deviazione standard delle caratteristiche fisico-meccaniche: β_v = ritiro volumetrico, β_r = ritiro radiale COMPR= resistenza a compressione assiale, FLEX= resistenza a flessione statica, HB=durezza di Brinnel, DENSITY= massa volumica. È importante notare che solo due siti sono stati analizzati, Monti Cimini, (A) e Monti Sabatini (C), gli unici che presentavano un sufficiente numero di campioni di 25-30 anni.

CONFRONTO TRA POLLONI E MATRICINE

La tabella 5.31 mostra le differenze tra polloni e matricine e dall'analisi della varianza è emerso che solo la resistenza a compressione mostra delle differenze significative tra le piante (Fig. 5.31, tab.5.32)

Tab. 5.31 Confronto delle caratteristiche fisico-meccaniche medie tra polloni e matricine

	β_r (%)	β_t (%)	β_a (%)	β_v (%)	ρ_{12} (kg/m ³)	ρ_y (kg/m ³)	Ψ	σ_{12} (MPa)	σ_{b12} (MPa)	HB (N/mm ²)
polloni	3.60	6.78	0.58	10.66	624.69	520.49	1.99	52.70	94.13	28.11
matricine	3.52	6.68	0.46	10.38	622.59	514.74	2.02	49.75	91.66	28.76

Least Squares Means

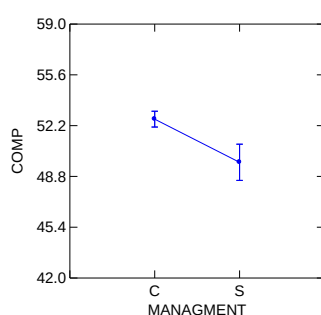


Fig 5.31 Valore medio e deviazione standard della resistenza a Compressione in relazione ai polloni (C) ed alle matricine (S).

Tab. 5.32 ANOVA: Forma di Governo: valori di p, F di Fischer ed Errore delle caratteristiche fisico-meccaniche (Bend= FLEX)

governo			
	f	p	error
br	0.624	0.431	89.366
bt	0.766	0.383	145.232
bV	2.228	0.137	286.287
dens12	0.016	0.899	5565522.437
Y	0.080	0.777	28.054
comp	4.767	0.03	11798.228
Bend	0.413	0.521	86060.628
HB	0.573	0.450	5893.589

Tab.5.33 Numero di campioni utilizzati per ciascuna caratteristica analizzata in relazione alla forma di governo per l'analisi della varianza.

governo	br	bt	bV	DENSITY	Y	COMP	FLEX	HB
polloni	195	195	196	193	193	194	192	195
matricine	37	37	37	36	37	37	37	38

CONFRONTO IN RELAZIONE ALLA POSIZIONE FISICA DEI PROVINI ALL'INTERNO DEL FUSTO

La figura 5.32 e le tabelle 5.34 e 5.35 mostrano i risultati della Anova in relazione alla variabilità delle caratteristiche fisico-meccaniche in relazione alla posizione dei provini all'interno del fusto.

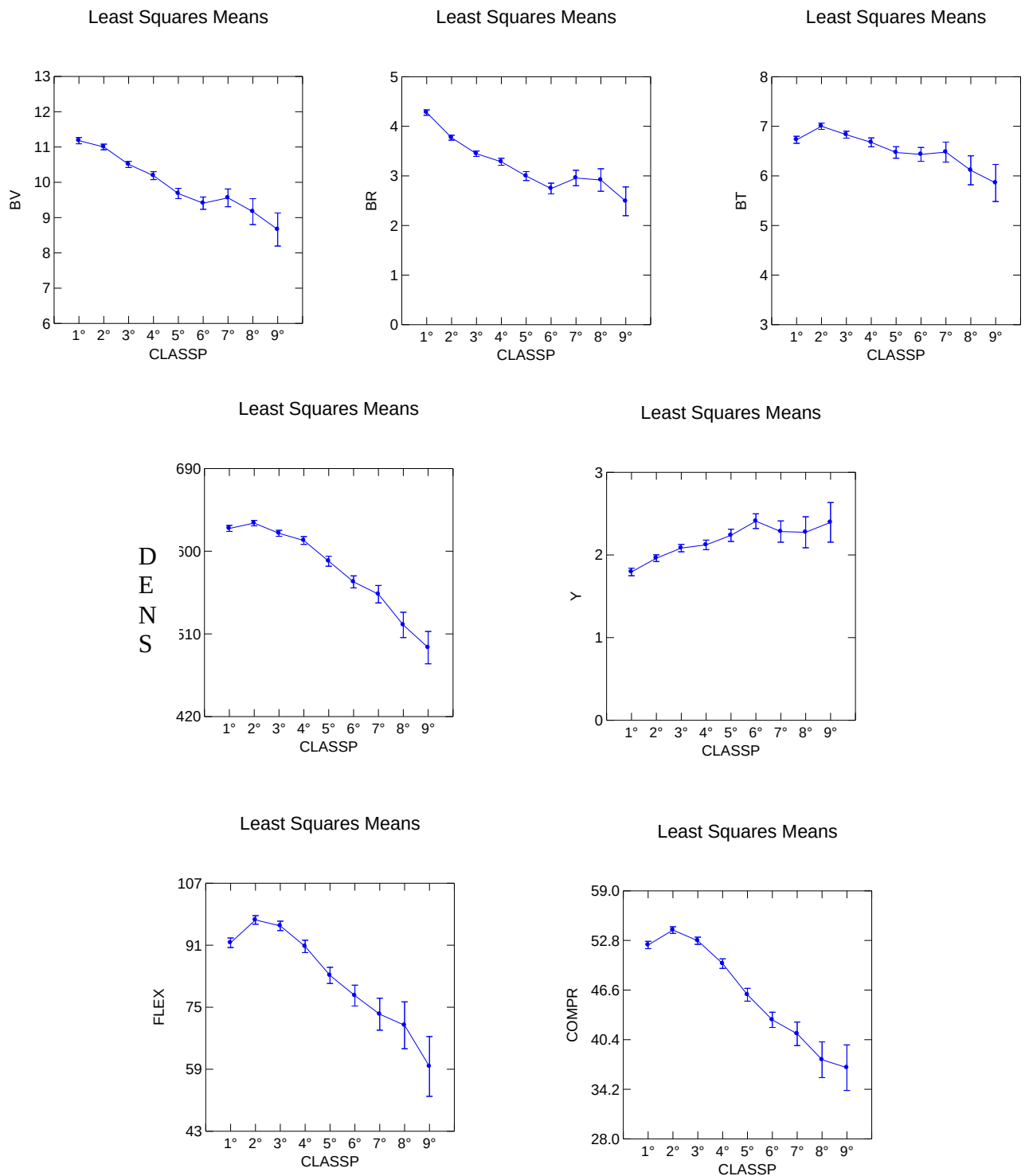


Fig 5.32 valori medi e deviazione standard delle caratteristiche fisico-meccaniche in relazione alla posizione del provino all'interno del fusto rispetto al midollo. Ogni provino ha un passo di circa 2 cm, pertanto ogni classe avanza di tale misura. β_r = ritiro radiale, β_t = ritiro tangenziale, β_v = ritiro volumetrico, Y= coefficiente di deformazione, $Dens_{12}$ = massa volumica al 12% di umidità, COMP= resistenza a compressione assiale, FLEX= resistenza a flessione statica, B=durezza di Brinell

Tab. 5.34 ANOVA: valori di p., F di Fischer ed Errore delle caratteristiche fisico-meccaniche in relazione alla posizione dei provini rispetto al midollo

Posizione			
	f	p	error
br	42.483	0.000	1338.475
bt	5.102	0.000	2229.333
bV	27.172	0.000	3494.392
dens12	31318	0.000	4940727.313
Y	8.405	0.000	915.458
comp	37.111	0.000	90908.308
Flex	16.573	0.000	682381.084

Tab. 5.35 Numero di provini utilizzati per ciascuna caratteristica analizzata in relazione alla posizione dei provini rispetto al midollo

Classe di posizione radiale	br	bt	bV	DENSITY	Y	COMP	FLEX
1°	306	306	306	306	306	307	315
2°	382	382	382	382	382	379	391
3°	318	318	318	318	318	321	325
4°	191	191	191	191	191	181	187
5°	112	112	112	112	112	102	109
6°	79	79	79	79	79	71	66
7°	38	38	38	38	38	30	28
8°	18	18	18	18	18	15	13
9°	11	11	11	11	11	8	8

CONFRONTO IN RELAZIONE ALLA POSIZIONE CRONOLOGICA DI CIASCUN PROVINO

La figura 5.33 e le tabelle 5.36 e 5.37 mostrano i risultati della Anova in relazione alla variabilità delle caratteristiche fisico-meccaniche in relazione alla classe cronologica dei provini all'interno del fusto.

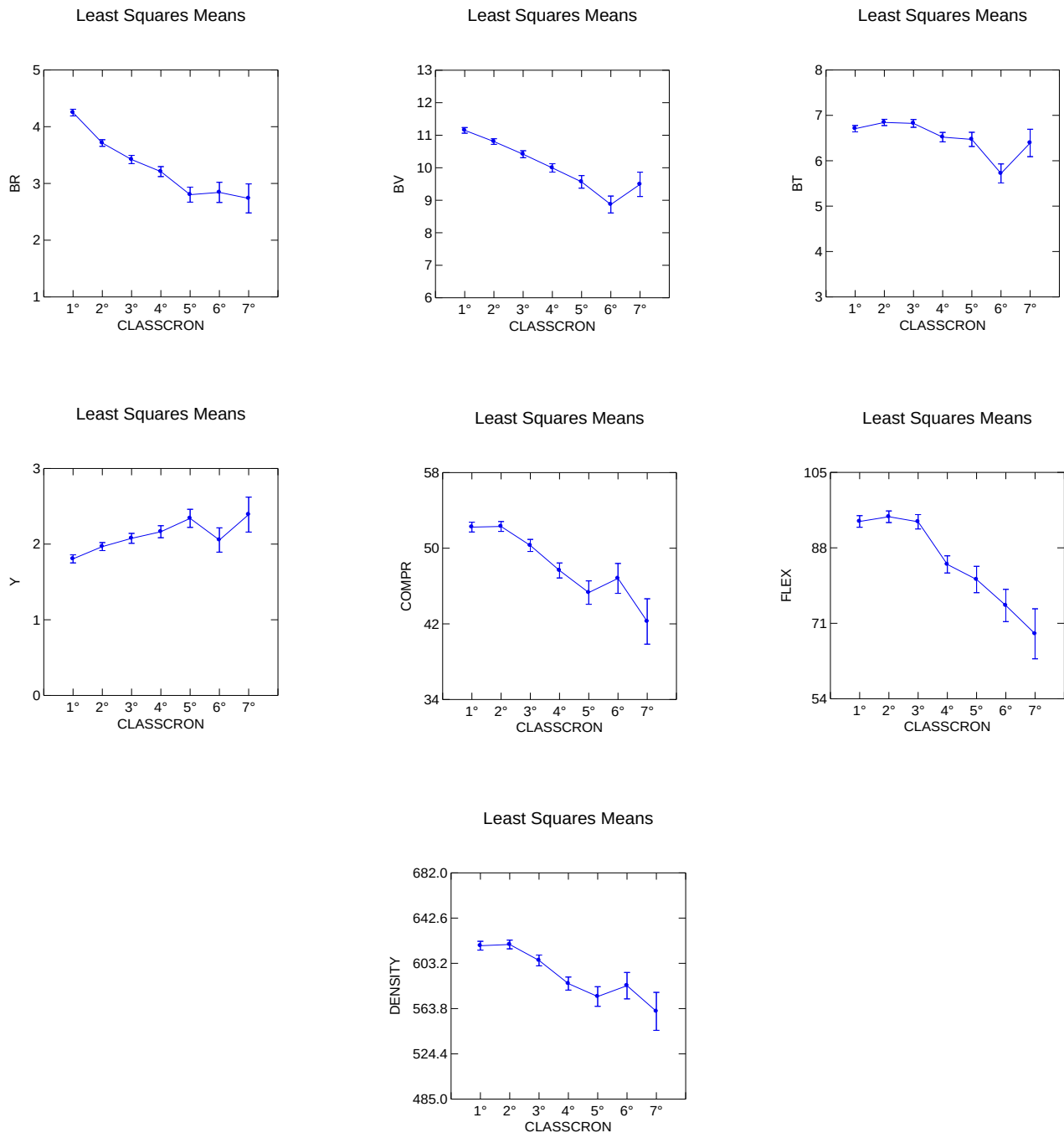


Fig 5.33 valori medi e deviazione standard delle caratteristiche fisico-meccaniche in relazione alla posizione cronologica del provino all'interno del fusto. Ogni provino rientra in una precisa età cronologica. β_r = ritiro radiale, β_t = ritiro tangenziale, β_v = ritiro volumetrico, Y= coefficiente di deformazione, $Dens_{12}$ = massa volumica al 12% di umidità, COMP= resistenza a compressione assiale, FLEX= resistenza a flessione statica,

Tab. 5.36 ANOVA: valori di p., F di Fischer ed Errore delle caratteristiche fisico-meccaniche in relazione alla posizione cronologica

CLASSE CRONOLOGICA			
	f	p	error
br	35.526	0.000	952.475
bt	5.727	0.000	1327.236
bV	25.443	0.000	2038.446
dens12	10.107	0.000	3984026.785
Y	5.060	0.000	777.437
comp	11.781	0.000	70377.664
Flex	12.736	0.000	457456.538

Tab.5.37 Numero di provini utilizzati per ciascuna caratteristica analizzata in relazione alla posizione cronologica all'interno dei fusti

Classe di età cambiale dei provini	br	bt	bV	DENSITY	Y	COMP	FLEX
1°	280	280	280	280	280	276	277
2°	284	284	284	284	284	275	279
3°	186	186	186	186	186	186	181
4°	127	127	127	127	127	119	127
5°	56	56	56	56	56	49	54
6°	31	31	31	31	31	30	36
7°	15	15	15	15	15	13	15

CONFRONTO IN RELAZIONE ALL'AMPIEZZA ANULARE

La variabilità delle caratteristiche fisico-meccaniche in relazione all'ampiezza degli anelli di accrescimento è rappresentata dalla figura 5.34 e dalle tabelle 5.38 e 5.39 che mostrano i risultati della ANOVA.

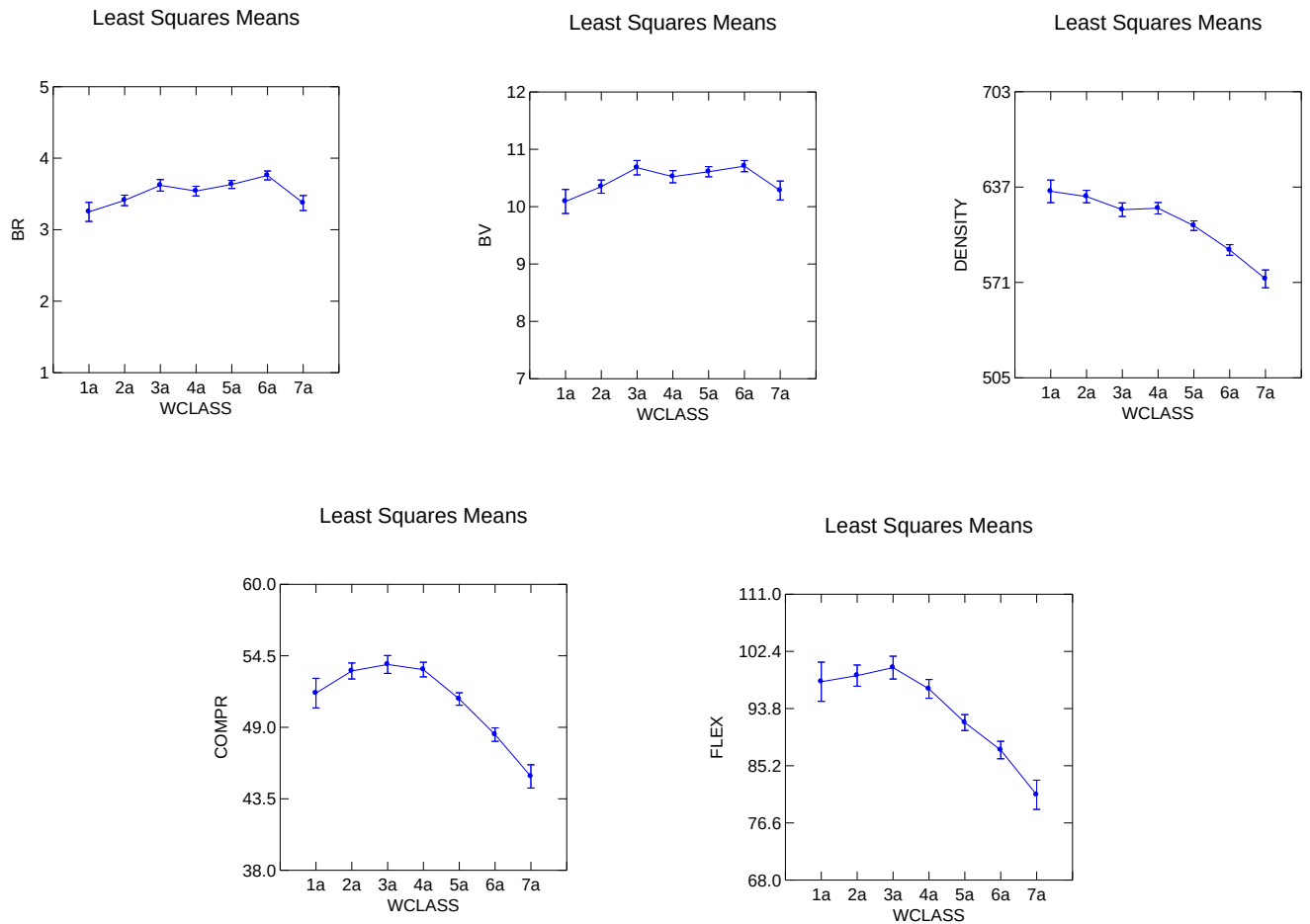


Fig 5.34 Valori medi e deviazione standard delle caratteristiche fisico-meccaniche in relazione alla classe di ampiezza degli anelli di accrescimento di ciascun provino.

Tab. 5.38 ANOVA: valori di p., F di Fischer ed Errore delle caratteristiche fisico-meccaniche in relazione all'ampiezza degli anelli di accrescimento.

Ampiezza anulare			
	f	p	error
br	4.163	0.000	1608.884
bt	0.963	-	2231.199
bV	2.427	0.024	3953.308
Dens12	16.935	0.000	5536156.849
Y	1.387	-	974.476
Comp	19.253	0.000	973009.880
Flex	14.664	0.000	649167.664

Tab.5.39 Numero di provini utilizzati per ciascuna caratteristica analizzata in relazione all'ampiezza degli anelli di accrescimento.

Classe di ampiezza anulare	br	bt	bV	DENSITY	Y	COMP	FLEX
1°	63	63	63	63	63	57	53
2°	210	210	210	210	210	193	190
3°	174	174	174	174	174	157	163
4°	246	246	246	246	246	233	241
5°	355	355	355	355	355	320	338
6°	290	290	290	290	290	265	276
7°	101	101	101	101	101	92	99

Lì ampiezza degli anelli di accrescimento influenza in maniera significativa il ritiro radiale, volumetrico, la massa volumica, la resistenza a compressione ed a flessione. La massa volumica passa da 635 Kg/m³ nella prima classe a 571 Kg/m³ nell'ultima; la resistenza a compressione parte da 51.4MPa nella 1°classe, raggiunge i 53.5 MPa nella terza classe, per arrivare infine a 46 MPa nell'ultima classe di ampiezza anulare. La resistenza a flessione parte da 97 MPa raggiunge i 100 MPa nella terza classe di ampiezza anulare ed infine raggiunge il valore di 80 MPa nell'ultima classe.

Non è stata misurata la variabilità della resistenza a durezza in quanto i campioni usati per le prove a durezza erano differenti da quelli usati per le altre prove.

CORRELAZIONI

La tabella 5.40 mostra le correlazioni statisticamente significative tra le diverse caratteristiche fisico-meccaniche

Tab.5.40 Correlazioni semplici :valori del p di Pearson e in parentesi la relativa significatività secondo Bonferroni; la significatività può assumere i seguenti valori: 0.05=95%, 0.01=99%, 0.001=99.9%. β_r = ritiro radiale, β_t = ritiro tangenziale, β_v = ritiro volumetrico, Y= coefficiente di deformazione, DENSITY= massa volumica al 12% di umidità, COMP= resistenza a compressione assiale, FLEX= resistenza a flessione statica, HB=durezza di Brinell, MV= ampiezza anulare media del campione, DS deviazione standard delle ampiezze anulari del campione.

	bt	bV	DENSITY	Y	COMP	FLEX	HB	MV	DS
br	0.357 (0.000)	0.784 (0.000)	0.182 (0.006)	- 0.714 (0.000)	0.217(0.001)		0.138 (0.038)		
bt		0.812 (0.000)		0.325 (0.000)					
bV			0.168 (0.011)	0.212 (0.001)					
DENSITY				-0.218 (0.001)	0.559 (0.000)	0.378(0.000)	0.627 (0.000)	-0.307 (0.000)	
Y					-0.221 (0.001)	0.146 (0.027)	-0.159 (0.017)		0.151 (0.000)
COMP						0.583 (0.000)	0.366 (0.000)	-0.286 (0.000)	-0.209 (0.000)
FLEX							0.249 (0.000)	-0.180 (0.014)	
HB								-0.202 (0.005)	

La tabella 5.40 mostra le correlazioni esistenti e la relativa significatività statistica tra le caratteristiche fisiche e meccaniche;

i ritiri mostrano correlazione solo tra di essi e ovviamente con il coefficiente di anisotropia.

La massa volumica mostra una correlazione negativa con il coefficiente di anisotropia del legno, mentre è correlata positivamente con la resistenza compressione e con quella a flessione e soprattutto con la durezza del legno. Come già osservato con l'analisi della varianza la massa volumica tende a diminuire con l'aumento dell'ampiezza anulare.

La resistenza a compressione mostra una correlazione inversa con il coefficiente di anisotropia del legno ed un'elevata correlazione con la resistenza a flessione, valori più contenuti invece interessano la correlazione diretta con la durezza del legno, anche questa caratteristica fisica è correlata negativamente con l'ampiezza anulare e con la variabilità degli accrescimenti.

La resistenza a flessione mostra una debole correlazione con la durezza del legno e anch'essa è negativamente correlata con l'ampiezza anulare. Questa influenza negativamente anche la durezza del legno.

Nello studio è stata analizzata la DS delle ampiezze anulari per osservare come la variabilità degli accrescimenti (spesso molto elevata nel bosco ceduo) possa influire sulla qualità del legno.

DISCUSSIONI

Dell'esame delle curve dendrologiche si evidenzia come l'area a maggiori potenzialità produttive sia quella relativa ai Monti Cimini, soprattutto nella zona di Soriano nel Cimino. È interessante osservare che gli accrescimenti medi dei Monti Lepini è molto sostenuto nonostante si tratti di una stazione con caratteristiche geopedologiche e climatiche totalmente differenti, ed anzi ritenute limitanti per lo sviluppo della specie (Bernetti, 1995).

I valori di sensitività media (MS) e di autocorrelazione (AC) forniscono informazioni utili alla comprensione dell'autoecologia della specie. Di particolare interesse è il valore di sensitività media (MS) che esprime la capacità di risposta della pianta alle variazioni ambientali. Una elevata

variabilità tra accrescimenti consecutivi dà origine a valori maggiori di sensitività media ed esprime una reattività ai cambiamenti ambientali di alta frequenza. I popolamenti di castagno indagati non sono particolarmente suscettibili alle variazioni ambientali poiché hanno dei valori piuttosto esigui di sensitività, tranne i Monti Lepini che dimostrano la potenzialità del castagno come indicatore ambientale, ciò significa è dovuto principalmente al fatto che la pianta mostra un elevata inerzia degli accrescimenti dovuta alle sostanze di riserva che la pianta accumula durante la stagione vegetativa e che influisce direttamente sull'entità delle ampiezze anulari degli anni a venire.

Sono state determinate le caratteristiche fisico-meccaniche del legno di castagno proveniente dal territorio Laziale. I risultati ottenuti medi per ciascun comprensorio territoriale sono stati confrontati con i valori presenti in bibliografia e con i risultati di altri studi (Tab. 5.42).

Tab 5.41 Valori medi delle caratteristiche fisico-meccaniche dei 4 comprensori regionali osservati

	β_a (%)	β_t (%)	β_r (%)	β_v (%)	ρ_{12} (kg/m ³)	ρ_v (kg/m ³)	Ψ	σ_{12} (MPa)	σ_{b12} (MPa)	HB (N/mm ²)
MONTI CIMINI	0,38	7,08	3,45	10,58	606,43	506,58	2,19	46,16	89,36	27,46
MONTI SABATINI	0,36	7,02	3,6	10,7	619,1	514,1	2,08	57,9	114,5	26,7
CASTELLI ROMANI	0,92	6,87	3,95	11,36	617,34	516,35	1,79	50,62	71,13	28,64
MONTI LEPINI	0,70	5,83	3,21	9,48	671,70	554,25	1,87	55,66	103,87	31,64

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	L
ρ_{12} (kg/m ³)	583	624	580	570	580	578	650	523	559	635.8
ρ_v (kg/m ³)	503	545	490	-	480	499	-	451	765	519.9
β_a (%)	-	-	0.6	-	-	0.4	-	-	-	1.29
β_t (%)	6.59	8.7	6.1	6.6	7.8	6.4	5.8	7.3	7	6.58
β_r (%)	3.35	5.3	4.1	4.3	4.1	3.2	2.8	3.7	4.3	4.35
β_v (%)	10.09	13.3	10.8	11.2	11.8	9.8	8.6	11.3	14.3	12.23
σ_{12} (MPa)	51.17	63.5	51	44	54	52.3	48.31	54.2	58.4	56.12
σ_{b12} (MPa)	87.2	104.4	86	94	102	89.1	80.8	97.6	84.8	94.7
Ψ	-	-	1.5	-	-	1.99	2.2	-	-	-
HB (N/mm ²)	-	-	-	-	-	-	26.2	-	-	-

Tabella 5.42: Tabella riassuntiva dei valori bibliografici: **A** =Francia; **B**=Calabria (scarlatto et al. 2006); **C** =(Giordano G. 1984, 1988); **D** =(Nardi-Berti 1994); **E** =(Berti et al. 1991); **F** = S. Martino al Cimino e Soriano (Lecchini 2004 **G** = Poggio Nibbio (Goletti 2005); **H** = Canale Monteranno (Romagnoli 2006); **I** = Viterbese Antico (Romagnoli 2006); **L** = Monte Amiata (Viola 2008).

Dall'analisi dei risultati emerge che il ritiro volumetrico maggiore appartiene all'area dei Castelli romani (11.36), mentre i valori più bassi si registrano per il sito dei Monti Lepini (9,48), valori molto simili si osservano per i Monti Lepini e per i Monti Sabatini. In generale dal confronto con i dati in bibliografia si osserva che i valori analizzati si collocano all'interno del range bibliografico della specie, analogo discorso vale per il ritiro radiale e tangenziale: anche essi rientrano nella media bibliografica, sebbene in questo caso, i valori maggiori di ritiro tangenziale riguardano i Monti Cimini ed i Castelli.

I valori del coefficiente di anisotropia dei ritiri, sono maggiori rispetto al valore di 1,5 riportato da Giordano (Tab. 5.42 colonna C) specialmente nei siti dei Monti Cimini e Sabatini, ma sono in linea con i valori ottenuti da altri studi (Lecchini, 2004; Goletti, 2005 - Tab. 5.42), che hanno mediamente un valore di 2.

La massa volumica ha valori variabili all'interno dei differenti comprensori territoriali. I valori più bassi si registrano nel sito di Valle Troscione (532 kg/m³) nei Monti Cimini e ciò influenza la

media generale dei Monti Cimini che non è particolarmente elevata. I valori più elevati di massa volumica riguardano i Monti Lepini (671.7 kg/m^3), in generale anche in questo caso i valori medi sono confrontabili con quelli riportati da Giordano e Berti (Tab. 5.42: colonna C ed E). Sebbene i Monti Lepini mostrano una densità del legno media che si colloca al limite superiore dei valori bibliografici definendo un valore estremo mai registrato prima. Per la densità basale valgono le stesse considerazioni per espresse per la massa volumica. Il risultato dei Monti Lepini è decisamente interessante poiché sono relativi ad un'area caratterizzata da un substrato litologico diverso dagli altri e in genere ritenuto limitante per lo sviluppo della specie.

Differenze notevoli interessano i diversi comprensori territoriali per quanto riguarda le caratteristiche meccaniche di resistenza a compressione, flessione e durezza.

I valori più bassi di resistenza a compressione statica interessano i Monti Cimini, in particolare il sito di Valle Troscone con 39.3 MPa (rappresentando il limite inferiore dei valori presenti in letteratura). Valori più elevati interessano gli altri siti. I Monti Sabatini raggiungono valori elevati (57MPa), in particolare nel sito di Cadutella la resistenza a compressione statica è di 58.97 MPa. I valori osservati per i Comprensori Laziali sono comunque in linea con quelli riportati in bibliografia.

La resistenza a flessione statica raggiunge valori considerevoli nel sito di Rocca Romana nei Monti Lepini (115 MPa) superando tutti i valori presenti in bibliografia, mentre i valori più bassi riguardano questa volta i Castelli Romani con un valore medio di 71 MPa e di 70.45 MPa nel sito di Cavalleria collocandosi, quest'ultimo, come limite inferiore dell'intervallo bibliografico.

Infine la durezza secondo il metodo Brinell mostra notevoli differenze tra i siti: il sito con i valori più bassi è Valle Troscone (22.7 N/mm^2) sebbene la media nei Monti Cimini si mantiene piuttosto omogenea a quella degli altri comprensori territoriali. Valori elevati si riscontrano invece nei Monti Lepini in cui si raggiungono 31.6 N/mm^2 . Maggiori e più approfondite informazioni riguardo le reali differenze sulle caratteristiche del legno tra le aree di studio vengono fornite dallo studio della varianza.

Dal confronto tra le piante sane e quelle cipollate (tab. 9. 13 e 17), si riscontrano dei comportamenti differenti a seconda del sito esaminato: per il sito di Pian dei Fraticelli si nota che le piante cipollate hanno tutti i valori delle caratteristiche fisico-meccaniche più basse, mentre per il sito Valle Troscone si osserva il fenomeno opposto, con differenze ragguardevoli. In particolare le piante sane del sito di Valle Troscone hanno i valori più bassi finora osservati per la specie, con una deviazione standard tra i valori delle singole prove molto contenuti, il che sta a testimoniare che l'anomalia non è dovuta ad imperfezioni nell'esecuzione delle analisi o a disomogeneità all'interno delle piante per quel che concerne l'integrità del legno.

In bibliografia possiamo osservare che nello studio relativo ai Monti Sabatini le caratteristiche fisico-meccaniche delle piante sane sono migliori delle piante cipollate, come del resto ci si aspetterebbe; nei Castelli Romani, non ci sono apprezzabili differenze tra piante cipollate e piante sane; mentre nel recente studio di Viola (2008), relativo al Monte Amiata, si osservano migliori caratteristiche fisico-meccaniche per le piante cipollate rispetto a quelle sane. Per l'area dei Monti Lepini non si osservano invece differenze apprezzabili tra piante cipollate e piante sane.

Dal confronto tra polloni e matricine (tab. 5.7; 5.8, 5.9) è possibile osservare che nel sito di Pian dei Fraticelli non ci sono apprezzabili differenze nei ritiri lineari; la massa volumica e la densità basale dei polloni risultano più elevati rispetto alle matricine. Nel sito di Valle Troscone invece non sono presenti matricine e mancano pertanto dati relativi a questa indagine.

Le caratteristiche fisico-meccaniche dei polloni e delle matricine nel complesso dell'area dei Monti Cimini non differiscono in maniera sostanziale.

Relativamente a questa indagine per i Castelli Romani, non vi sono apprezzabili differenze; solo la resistenza a flessione statica ($P=71,94\text{MPa}$ $M=63,18\text{MPa}$) e la resistenza a penetrazione ($P=28,85\text{MPa}$ $M=25,14\text{MPa}$) sono più elevate nei polloni. Anche i Monti Sabatini non mostrano differenze significative. Tuttavia in questo studio risulta che la massa volumica delle matricine come anche la resistenza a compressione assiale sono leggermente più elevate di quelle dei polloni

(rispettivamente 654,50 kg/m³ contro 617,94 kg/m³ per la massa volumica, e 62,92 MPa contro 57,78 MPa per la compressione).

Nei Monti Lepini la discussione è un po' più articolata in quanto vi sono matricine di due turni. Differenze lievi riguardano la massa volumica che è leggermente più elevata nei polloni e si riduce nelle matricine di primo turno, mentre risulta maggiore a quella dei polloni nelle matricine di secondo turno, per le altre caratteristiche non si apprezzano differenze di rilievo.

L'analisi della varianza evidenzia le differenze tra i diversi comprensori territoriali.

Dallo studio della ANOVA relativamente alla media dei valori analizzati per ciascun comprensorio territoriale, è emerso che i siti mostrano differenze significative per tutte le caratteristiche analizzate. Un'analisi più dettagliata della ANOVA ha preso in considerazione la classe di età 6-10 anni e la classe 11-15. Dai risultati è emerso nuovamente che tutte le caratteristiche analizzate mostrano differenze significative tra i siti, sottolineando e riprendendo quanto detto sopra, e mostrando come le diverse gestioni culturali possono aver dato origine a differenti caratteristiche tecnologiche all'interno della medesima specie, infatti nelle due classi cronologiche e confrontando con i valori medi per ciascuna area, le proporzioni tra i valori delle caratteristiche fisico-meccaniche dei differenti siti rimangono invariate, il che significa che l'età influisce in maniera trascurabile sulle caratteristiche tecnologiche del legno laziale, e che la maggiore variabilità è dovuta alla localizzazione geografica. Non è ancora bene chiaro tuttavia quale fattore influisca maggiormente sulla variabilità delle caratteristiche fisico-meccaniche del legno: se sia il fattore antropico con la gestione selvicolturale oppure il fattore geografico puro con le relative peculiarità (quota, esposizione, pendenza, clima, pedologia ecc.). È chiaro che la provenienza geografica gioca un ruolo importante nel determinare le caratteristiche tecnologiche del legno, come risulta dal confronto dei risultati del presente studio con quelli presenti in bibliografia, tuttavia le ipotesi che sussiste una correlazione tra queste e il gradiente latitudinale sono piuttosto controverse, (Cown 1992).

La ANOVA ha permesso di chiarire il ruolo dell'età della pianta sulle caratteristiche fisico-meccaniche. Dal presente studio è emerso che vi sono delle differenze significative tra le proprietà del legno in relazione alle diverse classi di età; tuttavia tali differenze non definiscono un trend definito. L'analisi della ANOVA a due vie, ovvero l'analisi delle differenze congiunte tra sito ed età ha messo in evidenza delle differenze significative, ovvero sito ed età agiscono congiuntamente nel determinare la qualità del legno sebbene il fattore sito sia preponderante come fattore influente e ciò si desume dall'analisi dei valori di *f* relativi all'ANOVA per sito e per età (tabella 5.27, 5.25, 5.19). Dunque se ne conclude che l'età degli alberi influisce in maniera modesta sulle caratteristiche tecnologiche medie del legno (non va perso di vista il fatto che l'analisi è stata eseguita per tutta la pianta e il risultato rappresenta una media delle sue caratteristiche tecnologiche all'interno del fusto).

In linea con tali risultati è emerso che il confronto tra polloni e matricine non ha evidenziato differenze statisticamente probanti fatta eccezione per la resistenza a compressione, le matricine hanno mostrato di avere una resistenza inferiore rispetto ai polloni, tuttavia il decremento percentuale paria al 6 % circa unitamente ad una deviazione standard molto elevata nelle matricine rendono questo risultato trascurabile. Se ne conclude che le caratteristiche tecnologiche del legno non differiscono tra polloni e matricine.

Le caratteristiche fisico-meccaniche rivelano invece delle differenze all'aumentare del diametro dei fusti a parità di età (25-30), (fanno eccezione i ritiri lineari ed il coefficiente di anisotropia). L'analisi della ANOVA ad una via e a due vie (considerando come altra variabile indipendente il sito di origine delle piante) ha mostrato trend decrescenti per tutte le caratteristiche fisiche e meccaniche, ad esclusione di ritiri lineari e del coefficiente di anisotropia, (all'aumentare delle dimensioni delle piante. Tale indagine ha riguardato i soli comprensori territoriali dei Monti Cimini e dei Monti Sabatini, in quanto le altre aree non presentavano piante che avessero un'età compresa tra i 25 ed i 30 anni in numero sufficiente).

Dallo studio è emerso che a parte una leggera ripresa dei valori relativamente alla classe 26-30cm i valori seguono un trend decrescente più o meno definito. I parametri delle caratteristiche

meccaniche quelli che mostrano le maggiori differenze soprattutto tra le prime e le ultime classi cronologiche: il ritiro volumetrico passa dal valore 11.25 della prima classe di diametro a 10 della sesta classe, la massa volumica della prima classe ha un valore medio di 654 kg/m^3 , l'ultima classe ha un valore di 584 kg/m^3 . La resistenza a compressione e flessione passano rispettivamente dai valori di 57.1 MPa e 115 ai valori di 44.6 MPa e 89 MPa. La resistenza a durezza secondo il metodo Brinell passa dal valore di 31.4 N/mm^2 a 23.5 N/mm^2 della sesta classe. I risultati dell'Anova relativi al diametro delle piante trovano conferma anche con quelli relativi ANOVA sui valori di ampiezza anulare. Dall'osservazione dei grafici in figura 32, si evince che i ritiri dimensionale mostrano una bassa variabilità all'aumentare delle ampiezze anulari, mostrando tuttavia un trend crescente. La massa volumica invece mostra un evidente trend decrescente all'aumentare delle ampiezze anulari tale risultato è maggiormente evidente a partire dalla 3-4 classe di ampiezza anulare corrispondente all'ampiezza 3-4, 4-5 mm rispettivamente.

All'aumentare del ritmo di accrescimento della pianta può variare la proporzione tra legno primaticcio e legno tardivo dando origine a variazioni del valore medio della massa volumica: secondo quanto riportato in bibliografia (Bonamini L., et al., 1993).

Gli studi sulle correlazioni tra ampiezza anulare con la massa volumica e le capacità di resistenza meccanica evidenziano risultati simili, con una correlazione inversa tra ampiezza anulare e resistenza meccanica e massa volumica.

Un tempo si riteneva che nelle conifere cresciute ad elevate latitudini la densità tende a diminuire al crescere dell'ampiezza degli anelli studi più approfonditi hanno dimostrato che una tale correlazione inversa non è costante in tutte le specie (Giordano G., 1984). Studi recenti (Shakti C. et al., 2006, Cown 1992) hanno messo in evidenza come la densità del legno tenda ad aumentare passando dal midollo verso la corteccia per molte specie di conifere, fa eccezione la *Cryptomeria japonica* in cui si riscontra un comportamento inverso (Fujisawa et al., 1993). Diversi sono i risultati ottenuti per le latifoglie a porosità diffusa e per quelle a porosità anulare. Shakti et al. (2006) sostengono che la massa volumica varia in modo molto contenuto nelle latifoglie a porosità diffusa, esse hanno infatti approssimativamente la stessa proporzione di vasi, lungo l'intero anello. Shukla et al., (1994) hanno osservato per il *Populus deltoides* un andamento crescente della massa volumica dal midollo verso la corteccia.

Nelle latifoglie che formano anello poroso in genere accade l'inverso, quanto maggiore è l'ampiezza degli anelli di accrescimento tanto più questa si configura come un aumento della percentuale di legno tardivo (Giordano G., 1984, Shakti C. et al., 2005). Infatti la bassa densità della parte primaticcia in volume rimane piuttosto costante all'interno degli anelli, pertanto all'aumentare delle dimensioni dell'anello deve aumentare esclusivamente la parte tardiva che ha una densità maggiore.

Dallo studio emerge dunque che accrescimenti sostenuti inducono una diminuzione delle capacità di resistenza meccanica soprattutto a compressione e flessione ed anche della massa volumica (nella relazione con l'ampiezza anulare), soprattutto a partire dalla quarta classe di ampiezza anulare corrispondente a 0,41 - 0,50 cm.

. Vengono così confermati i risultati ottenuti Romagnoli *et al.*, 2008 e da Romagnoli e Spina 2009). I risultati possono essere confrontati con quelli di Fioravanti e Galotta 1998; Fioravanti, 1999a, Fioravanti, 1999b) hanno dimostrato che il castagno toscano mostra invece un aumento della massa volumica sino al valore di 4 mm di ampiezza degli anelli e poi decresce, tale osservazione per quanto riguarda il presente studio riguarda principalmente le caratteristiche meccaniche di compressione e flessione, mentre per la massa volumica si osserva un trend decrescente lineare all'aumentare delle ampiezze anulari.

Giordano per una provenienza di castagno laziale riporta la seguente correlazione

$$y = 0,63 - x/10$$

dove y è la massa volumica ad umidità normale e x l'ampiezza degli anelli di accrescimento in mm.

Sulle relazioni ampiezza anelli di accrescimento e massa volumica esplicano un ruolo anche gli effetti dei fertilizzanti. Bhat e Indira (1997) e Bhat (1999) hanno dimostrato come la rapidità di crescita in alberi di teak di 5 anni con l'utilizzo di fertilizzanti si traduce nel legno con più basse percentuali di vasi e con un incremento, dunque, della massa volumica del 8%. Quindi, fermo restando l'attuale regime selvicolturale, considerando l'effetto sulle proprietà fisico-meccaniche non appare conveniente incentivare la formazione di incrementi anulari più sostenuti. Questa eventualità deve essere considerata solo in relazione alla minore o maggiore probabilità di insorgenza del difetto della cipollatura (Mori, 2009). Lo sfruttamento adeguato di assortimenti di medio-piccole dimensioni può comunque essere idoneo per prodotti di qualità come parquet (Fonti *et al.*, 2003). Studi recenti (Shakti C. *et al.*, 2006, Cown 1992) hanno messo in evidenza come la densità del legno tenda ad aumentare passando dal midollo verso la corteccia per molte specie di conifere, fa eccezione la *Cryptomeria japonica* in cui si riscontra un comportamento inverso (Fujisawa *et al.*, 1993), nelle latifoglie il comportamento è controverso, in generale per le latifoglie ad anello poroso si osservano i valori massimi corrispondenti alle parti centrali del fusto (Zobel and Buijtenen 1989), per altre latifoglie a porosità diffusa l'andamento è variabile, per esempio Shukla *et al.*, (1994) hanno osservato per il *Populus deltoides* un andamento crescente della massa volumica dal midollo verso la corteccia. Altre latifoglie a porosità diffusa sembrano avere un comportamento differente in alcuni casi la massa si mantiene invariata in altri sembra avere i valori maggiori vicino al midollo (Shakti C. *et al.*, 2006). Il presente studio ha osservato il variare delle caratteristiche fisiche e meccaniche lungo il raggio delle piante: le analisi della ANOVA mostrano come variano le proprietà del legno spostandoci dal midollo verso la corteccia.

La prima indagine ha analizzato tutti i campioni corrispondenti a quella determinata posizione fisica lungo il raggio avente un passo di 2cm; ovviamente tale indagine non ha tenuto in considerazione il numero di anelli e l'età dei provini utilizzati per la realizzazione del profilo, tuttavia i risultati sono assolutamente coerenti con quelli analizzati considerando un gradiente cronologico che misurasse le caratteristiche tecnologiche del legno per classi d'età predefinite e ovviamente crescenti lungo il raggio della pianta. Quest'ultima analisi esclude anche l'ingerenza dell'ampiezza anulare come fattore caratterizzante, in quanto le classi cronologiche predefinite consentono di analizzare solo provini aventi una fittezza media degli anelli predefinita.

Dallo studio è emerso che all'aumentare dell'età dei provini e procedendo dunque lungo il raggio della pianta il ritiro tangenziale, radiale, e volumetrico diminuiscono questo in parte è dovuto al fatto che il legno di castagno ha assunto una conformazione di legno maturo, caratterizzato dunque da una verticalizzazione degli elementi xilematici e dunque da un minor angolo di inclinazione delle micro fibrille. Procedendo verso la corteccia aumenta però il coefficiente di anisotropia del legno ovvero il rapporto tra il ritiro tangenziale e quello radiale.

La massa volumica invece mostra una diminuzione evidente già a partire dalla classe 11-15 anni, mostrando una lieve ripresa nella classe di età 26-30 anni, in generale tuttavia il trend è decrescente, tale risultato è in accordo con quanto riportato in bibliografia per le latifoglie (Zobel and Buijtenen 1989) ad anello poroso ma contrasta con quanto riportato per le conifere in particolare per il *Pinus radiata* (Cown, 1992; Cown and McConchie, 1983). È necessario tuttavia specificare che anche in questo caso le variazioni percentuali sono piuttosto contenute e si aggirano intorno al 11%. Ci si sarebbe aspettato un andamento opposto in linea con il risultato relativo all'ampiezza anulare: procedendo verso la corteccia con l'aumento dell'età della pianta ci si aspetta una diminuzione degli incrementi legnosi, ma così non è nel presente studio a causa principalmente del fatto che il governo a ceduo e le numerose matricine presenti causano brusche variazioni di crescita che "disturbano" il normale trend degli accrescimenti. È da escludere che gli ultimi anelli abbiano una minore massa volumica a causa della presenza di alborno in quanto tali tessuti notoriamente interessano gli ultimi 3-5 anelli nel castagno e che sono generalmente andati perduti con le lavorazioni di segagione per l'ottenimento dei provini. Altresì è da escludere che in questo caso abbia influito il sito di origine in quanto i provini analizzati per le diverse prove appartengono a piante distribuite uniformemente tra le diverse classi di età. Analogo discorso vale per le caratteristiche meccaniche di resistenza a

flessione statica e di compressione parallela alle fibre. Tali caratteristiche meccaniche diminuiscono all'aumentare dell'età dei provini e dunque al procedere lungo il raggio della pianta, per la resistenza a compressione si osserva un decremento del 22.5% mentre per la resistenza a flessione del 41% tra la prima e l'ultima classe cronologica. Shakty (2006) hanno tuttavia notato che il reale trend osservato da diversi autori può essere obliato modificando la classe di ampiezza anulare, Raymond and Anderson (2005) hanno osservato per il *Pinus radiata* del sud del Galles che dopo i primi 8 anni in cui si verificano incrementi molto sostenuti, la densità si mantiene costante.

Gli studi di Simperingham (1997) che hanno dimostrato l'assunto che a basse densità del midollo corrisponde parimenti legno con un basso modulo elastico in quella zona del fusto non risulta necessariamente valido, Hirakawa e Fujisawa (1995) hanno osservato inoltre che la *Cryptomeria japonica* sebbene abbia un legno più denso localizzato vicino al midollo, ad esso non corrisponde una resistenza meccanica elevata paragonata al legno più vicino alla corteccia. Per essi non c'è correlazione tra massa volumica e caratteristiche meccaniche.

Lo studio delle correlazioni semplici tra le diverse caratteristiche tecnologiche del legno ha messo in evidenza innanzitutto la connessione tra i ritiri lineari e tra questi e quello volumetrico come era facile immaginare; la massa volumica è correlata negativamente al coefficiente di anisotropia e mostra valori piuttosto elevati di correlazione diretta con la resistenza a compressione e particolarmente con la durezza del legno, una correlazione più debole la lega alla resistenza a flessione statica. Un maggiore spessore della parete cellulare, una minor proporzione di vuoti nei tessuti si ripercuote dunque in maniera diretta sulla resistenza a compressione e la durezza del legno, minore influenza ma comunque positiva è quella registrata sulla resistenza a flessione. È chiaro che una gestione selvicolturale orientata ad ottenere legname con elevata massa volumica assicura dunque anche materiale con più elevate prestazioni meccaniche, lo studio ha dimostrato che legname cresciuto lentamente ha migliori qualità di materiale cresciuto con ritmi più sostenuti. Interessante a tal proposito è la correlazione inversa tra massa volumica e ampiezza anulare già osservata nei risultati della ANOVA sull'entità degli accrescimenti. I valori di ampiezza anulare sono correlati negativamente anche con le proprietà meccaniche. Una correlazione inversa invece lega la massa volumica al coefficiente di anisotropia del legno. Il coefficiente di anisotropia mostra una bassa correlazione diretta con la resistenza a flessione e una indiretta con la durezza del legno e la resistenza a compressione probabilmente connessa con la direzione degli elementi xilematici, ovvero elementi xilematici non perfettamente assiali hanno maggiore anisotropia del legno e minori prestazioni in durezza e compressione.

Tra le caratteristiche meccaniche la compressione è fortemente correlata alla resistenza a flessione in minor misura alla durezza del legno. La durezza è connessa debolmente anche con la flessione.

Le variazioni di crescita sono correlate maggiormente alla compressione in maniera indiretta, ovvero all'aumentare della variazione di crescita diminuisce la massa volumica e in maniera lieve aumenta il coefficiente di anisotropia.

CONCLUSIONI

Lo studio ha messo in evidenza che l'area di origine ha un'importanza decisiva nel determinare le caratteristiche tecnologiche del legno.

Per le proprietà di resistenza meccanica può essere stabilito un ordine crescente tra i diversi comprensori Castelli Romani < Monti Cimini < Monti Lepini < Monti Sabatini.

I valori medi dei singoli siti appaiono rispondenti alla situazione dei comprensori territoriali a cui appartengono, anche se in qualche caso, come a Valle Troscione nei Monti Cimini, le caratteristiche fisico-meccaniche sono nettamente inferiori rispetto alle altre due stazioni di Pian dei Fraticelli e San Martino. Le differenze nelle prestazioni meccaniche non sembrano essere di poco conto, infatti i Castelli Romani hanno una resistenza a flessione mediamente del 30% inferiore a quella dei Monti Sabatini e dei Monti Lepini. I valori di massa volumica al 12% di umidità nei

Monti Lepini sono in genere superiori ai 600 kg/m³. I movimenti del legno espressi come ritiri e rigonfiamenti, sono in media più elevati nel Castelli Romani, anche se la deformazione è tendenzialmente minore. L'area dei Monti Lepini è caratterizzata da un valore molto elevato per la durezza Brinell e della massa volumica.

Gli incrementi legnosi analizzati mediante le indagini dendrocronologiche mostrano differenze importanti nei siti. L'area con i maggiori incrementi è quella dei Monti Cimini con un ampiezza media anulare di 798 mm, per il sito di Valle Troscione ed una media tra i siti di 583mm, per i primi 17 anni. Ulteriori sforzi devono essere compiuti in tale direzione soprattutto nella zona dei Monti Cimini considerando gli elevati incrementi registrati, anche in considerazione di scarse cure colturali (soprattutto relative al primo sfollo): sarebbe necessario guidare gli accrescimenti in modo tale da contenerli entro i 3-4 mm annui favorendo tuttavia la continuità di tali incrementi nel tempo, limitando la perdita incrementale dovuta alla spinta agamica tipica del ceduo, in modo da avere materiale di ottime qualità tecnologiche.

L'età delle piante non sembra influenzare in maniera diretta le caratteristiche fisico-meccaniche, dunque un allungamento del turno non si ripercuote necessariamente in maniera positiva sulle proprietà del legno che manifesta invece una diminuzione degli incrementi dovuta alla crescente competizione tra le piante. Nemmeno le differenze tra polloni e matricine mostrano importanti variazioni sottolineando come le caratteristiche del legno non dipendano dall'età.

È invece il diametro che influisce decisamente sulle caratteristiche del legno. All'aumentare del diametro la qualità del legno sembra diminuire gradualmente in particolare a partire dalla classe 26-30 cm di diametro basale. Questo risultato apre importanti scenari nella gestione selvicolturale in quanto se da un lato grosse dimensioni degli assortimenti consentono di ottenere materiale di maggior valore, al tempo stesso materiale con incrementi troppo sostenuti mostra prestazioni fisico-meccaniche inferiori, infatti un ulteriore ed importante risultato attiene alla relazione delle caratteristiche tecnologiche del legno con le ampiezze anulari. È emerso nel corso dello studio che ampiezze anulari elevate pregiudicano le proprietà tecnologiche del legno: è stato osservato un gradiente decrescente all'aumentare degli incrementi legnosi, in particolare è stato dimostrato che la massa volumica diminuisce in maniera graduale ma continua, mentre le caratteristiche meccaniche manifestano un decremento a partire dai 3-4 mm. È necessario pertanto per ottenere del buon materiale legnoso che l'accrescimento non superi certi valori per assicurare maggiori prestazioni meccaniche; non sembra che la deviazione standard degli incrementi legnosi influenzi in maniera decisiva le proprietà del legno, dunque la variabilità degli accrescimenti tipica del governo ceduo non influisce in maniera sostanziale sulle caratteristiche fisico-meccaniche.

Lo studio relativo ai gradienti interni al legno ha messo in evidenza che le caratteristiche di resistenza meccanica del legno di castagno della Regione Lazio diminuiscono a partire dal midollo verso la corteccia e in particolare con l'aumento dell'età cambiale, questo risultato ha un'importante ripercussione concettuale, in quanto generalmente il legno giovanile, corrispondente ai primi 6-10 anni viene spesso ritenuto di minore qualità rispetto al legno maturo, e sebbene per molte specie è stato dimostrato che il legno più vicino al midollo abbia effettivamente minori qualità rispetto al legno più vicino al cambio, il presente studio ha evidenziato un andamento opposto, in linea d'altronde con il risultato di altre ricerche.

BIBLIOGRAFIA

Amorini E., Cutini A., Manetti M.C., – Il ceduo di castagno a turno lungo: una via sostenibile per la produzione di legname di qualità, Atti del III° Convegno Nazionale sul Castagno, 25-27 ottobre 2001, Marrani, Firenze, 317-325. 2001

Amorini E., Bruschinini S., Manetti M.C., – Alternative silviculturalmsystem in chestnut (*Castanea sativa*, Mill.) coppie: effects of silvicultural practice on stand structure and tree growth, *Ecologia Mediterranea*, 26 (1-2), 155-162 – 2000.

Aniol R. W., - *Tree ring analysis using Catras*. *Dendrochronologia* 1: 45-53 – 1983.

Avolio S., Ciancio O., Lo Giurato A., – *Sull'epoca di taglio dei cedui di castagno: risultati dopo il primo ciclo*. *Ann. Ist. Sper. Selv.*, 43, 225-237 – 1994.

Bhat KM e Indira EP - Effect off aster growt on timber quality of teak. Kerula Forest Research Institute, Research Report 132. Peechi, Kerala, India - (1997).

Bhat KM e Indira EP - Is fast grown teak inferior in wood quality? An appraisal from plantationsof low input management. *Wood News*, 8(4), 27-31- (1997).

Beccagli C., Amorini E., Manetti M.C.,– Incidenza della cipollatura in popolamenti di cedui di castagno da legno del Monte Amiata. *Ann. Ist. Sper. Selv.* – Vol 33: 245-256 -2006.

Bernetti G., , *Selvicoltura speciale*, Torino, UTET -1995.

Bonamini G., Uzielli L., Zanuttini R., - *Elementi di tecnologia del legno e utilizzazioni forestali*, vol.1, Scienza del Legno -1993.

Chiricozzi, Porcorossi, Natalini, – Piano d'intervento forestale della faggeta di Soriano nel Cimino, *Relazione tecnica*. Viterbo - 1985.

Cown DJ, - Corewood (Juvenile wood) in *Pinus radiata* – should bwe be concerned? *New Zelaland Jurnal of Forestry Science*, 22(1) 87-95 - 1992.

Cown DJ, McConchie DL and Kimberly MO New Zealand radiate pine and Douglas fir: suitability for processing. *New Zealand Forest Research institute, Bulletin No.168* -(1992).

Cown DJ, McConchie DL - Studies of the intrinsic properties of new crop radiate pine: wood characteristic of 10 trees from a 24- years old stand grown in Central North Island. *New Zelaland Forest Research institute Bulletin No. 37* - (1992).

Fioravanti M., Troiano D.,– *Legno giovanile e valutazione precoce della qualità del legno di castagno* (*Castanea sativa* Mill.), Atti del Convegno Nazionale sul Castagno, 23-24-25 ottobre 1997, Cison di Valmarino, Treviso. 1997

Fioravanti M., Gallotta G., – Valutazione degli effetti del trattamento selvicolturale sulla qualità del legno di castagno (*Castanea sativa* Mill.) proveniente da bosco ceduo. *Convegno Nazionale sul castagno*, Cison di Valmarino (Treviso), 23-25 ottobre 1997, 367-376 - 1998.

Fioravanti M., – Il legno di castagno e di douglasia della Toscana. Qualità del legno e selvicoltura. Classificazione e valori caratteristici del legname strutturale, Quaderno ARSIA 9/99, 7-61 -1999a.

Fioravanti M, *Valutazione tecnologica della influenza delle pratiche selvicolturali sulla qualità del legno*. In legno di castagno e di douglasia della Toscana Quaderno ARSIA, Firenze 9/99: 23-33 - 1999 b.

Fonti P., Giudici F.,. “Produzione di parquet a partire da legname di castagno proveniente da boschi cedui del Sud della Alpi”. Schweiz Z. Forstwes. 153 (1):, 10-16 - 2003

Fonti P., Macchioni N., Thibaut B. - Ring shake in chestnut (*Castanea sativa* Mill.): state of art” - A.. For. Sci (59):, 129-140- 2002 b.

Fujisawa Y. Ohta S. and Tajima M - Wood characteristic and genetic variations in sugi (*Cryptomeria japonica*). Variation in growth ring components among plus tree clones and test stands. Mokuzai Gakkaishi, 39(8) 875-82. (1993).

Giordano G., Tecnologia del legno, vol. I la materia prima, 2°ed., Torino, UTET – 1984.

Giordano G., Tecnologia del legno, vol. II, 2°ed., Torino, UTET- 1984.

Giordano G. – *Correlazione tra densità basale e massa volumica del legno ad umidità normale del 12%*. Cellulosa e Carta (12), 25-27- 1977.

Goletti G.B., - *Caratterizzazione tecnologiche del legno di Castagno (Castanea sativa Mill) di provenienza di Poggio Nibbio*, Elaborato finale in Scienze forestali e ambientali, Università degli studi della Tuscia, Viterbo, A.A. 2005/2006.

Hirakawa Y and Fujisawa Y- The relationship between microfibril angles in the S2 layer and latewood tracheid lengths in elite sugi trees (*Cryptomeria Japonica*) clones. Mokuzai Gakkaishi, 41 (2) 123-31. (1995).

Lecchini A., *Caratteristiche tecnologiche e aspetti cromatici del legno di castagno (Castanea sativa Mill) di provenienza dei Monti Cimini*, Elaborato finale in Scienze forestali e ambientali, Università degli studi della Tuscia, Viterbo, A.A. 2004/2005.

Macchioni N., Pividori M., – Ring shake and structural characteristics of the chestnut (*Castanea sativa* Mill.) coppice stand in the northern Piedmont (north west Italy), Ann. Sci. For., 53 (1), 31-50. 1996

Mori P. - Cipollatura del castagno. Un difetto frequente che la selvicoltura può attenuare”. Sherwood, 151:, 20-22. 2009

Moschi M., Macchioni N., Berti S., - *Il legno*. In: Il Castagno: Elaborazione e sperimentazione di modelli di orientamento per favorire l’occupazione nelle aree appenniniche. Roma, CNR, Ministero del Lavoro e delle Politiche Sociali. 2003.

Moschi M., Macchioni N., Berti S.,. I prodotti del castagneti: il legno. In: Rielaborazione e sperimentazione di modelli di orientamento per favorire l’occupazione nelle aree appenniniche. Manuale del castagno. Ministero del Lavoro e delle Politiche sociale – CNR. 187-208- 2006

Nardi Berti R. - *La struttura anatomica del legno ed il riconoscimento dei legnami italiani di più corrente impiego*, III° ristampa, Firenze, CNR Istituto del legno- 1994

Pividori M., Armando F., Conedera M., - Dinamiche post-culturali in un ceduo misto di castagno ai suoi limiti ecologici. *Forest@* 3(1):, 86-90. 2006

Polizzano I., *Il ruolo della provenienza geografica e dell'invecchiamento sulle caratteristiche tecnologiche del Castagno (Castanea sativa Mill) di origine laziale e calabrese. Primo contributo*, Elaborato finale in Scienze forestali e ambientali, Università degli studi della Tuscia, Viterbo, A.A. 2004/2005

Raymond C.A. and Anderson D.W. - Prior land- useinfluences wood properties of Pinus radiata in New South Wales. *New Zealand Journal of Forest Science*, 35(1) 72-90 (2005).

Romagnoli M., Corona E., - Progetto di analisi climatica dell'area urbana di Roma e suburbana dei Colli Albani finalizzato alla verifica degli eventuali cambiamenti climatici - Relazione finale della convenzione Dipartimento dei Servizi Tecnici della Presidenza del Consiglio dei Ministri – DISAFRI Università degli Studi della Tuscia. 2000

Romagnoli M., Nocetti M., Sarlatto M., Evangelistella L. - Dendrochronological assessment of chestnut (*Castanea sativa* Mill.) for dating purposes in Central Italy - *Dendrochronologia*, 21/3: 2003, 117-130

Romagnoli M., Spina S., Bistoni A., Consolini G.,– Valorizzazione del legno di castagno del Comune di Soriano nel Cimino. Anno 2007. Relazione tecnica. Viterbo 18 ottobre 2007.

Romagnoli M., Spina S., Agrumi M., Di Tommaso S., Ortenzi E., Ludovisi R. - Valorizzazione del legno di castagno nel Lazio: provenienze a confronto- Atti del III° convegno Nazionale di Selvicoltura di Taormina, 16-19 ott.2008.

Romagnoli M., **Spina S.**, - *Le interazioni legno-ambiente-selvicoltura nel castagno del Lazio*: Atti del 5°Convegno Nazionale Castagno, Cuneo 13-16 ottobre 2009;

Romagnoli M., Cherubini M., Spina S., Gričar J., Prislan P., Čufar K., - Analisi della xilogenesi e dell'attività cambiale del castagno (*Castanea sativa* Mill.) dei Monti Cimini durante la stagione vegetativa 2008 -. presentato al presente convegno: Atti del 5°Convegno Nazionale Castagno, 13-16 ottobre 2009.

Romagnoli M., Cherubini M., **Spina S.**, Gričar J., Prislan P., Čufar K., 2009 - *Wood formation in chestnut (Castanea sativa Mill.) during the 2008 growing season* - *In corso di stampa sulla rivista Dendrochronologia*.

Sarlatto M., Polizzano I., Romagnoli M.,– Primo contributo alla differenziazione delle caratteristiche tecnologiche del legno di castagno. *Linea Ecologica*, 2006 (3): 43-50.

Shakti Chauhan, Robert Donnelly, Chih-Lin Huang, Ryogo Nakada, Yin Yafang and John Walker. Chapter-5: Wood Quality- In Context, In “Primary wood processing” by J.C.F. Walker, 2006. Springer, Dordrecht, The Netherlands, pp 121-155

Shukla NK, Rajput SS, Li M, and Khanduri ak - Studies on the variation of density and strength properties from pith to periphery in *Populus deltoids*. *Journal of Indian Academy of Wood Science*, 2(2) 1-6. (1994)

Simperingham P. (1997) A structural engineer's approach to forestry production. Wood Technology Research Centre, Workshop 1997. University of Canterbury, Christchurch, New Zealand, 5p

Spina S., Agrumi M., Bistoni A., Cavalli D., Romagnoli M., "Qualità del legno di castagno in alcuni siti del Lazio". Atti del 5° Convegno Nazionale Castagno, 13-16 ottobre 2009.

Spina S., Agrumi M., Bistoni A., Romagnoli M., "Cipollatura del castagno, un caso di studi nei Monti Cimini". Sherwood, n 148:, 45-50. 2008a.

Spina S., Agrumi M., Bistoni A., Radocchia C., Romagnoli M., " Contributo alla conoscenza della cipollatura nel legno di castagno di alcuni siti del Lazio", Atti del III° Convegno Nazionale di Selvicoltura di Taormina, 16-19 ott. 2008b.

Tani A., Maltoni A., Mariotti B., – La produzione legnosa di castagno in Italia, "Sherwood" n. 92/, pag. 5-9. 2003.

Viola R., *Caratteristiche tecnologiche e valorizzazione del legno di Castagno (Castanea sativa Mill.) con provenienza Mone Amiata*, Elaborato finale in Scienze forestali e ambientali, Università degli studi della Tuscia, Viterbo, A.A. 2007/2008.

Zanuttini R., Cielo P., -*Caratteristiche tecnologiche ed impieghi del legno di castagno, Silvae pedemontis*, gennaio-giugno, pp.13-22, Associazione Forestale del Piemonte. 1996.

Zobel BJ and Van Buijtenen JP (1989) Wood variation: its causes and control. Springer- Verlag, Berlin

UNI EN 1310. 1999. Legno Tondo e segati. Metodo di misurazione delle caratteristiche.

UNI 3252: Legno-Condizioni generali per prove fisiche e meccaniche.

UNI-ISO 3130: Legno-Determinazione dell'umidità per le prove fisiche e meccaniche.

UNI-ISO 3131: Legno-Determinazione della massa volumica per le prove fisiche e meccaniche.

UNI-ISO 3133: Legno-Determinazione della resistenza a flessione statica.

UNI-ISO 3787: Legno-Metodi di prova. Determinazione della resistenza a compressione parallela alla fibratura.

UNI-ISO 4858: Legno-Determinazione del ritiro volumetrico.

UNI-EN 384: Legno-Determinazione dei valori caratteristici delle proprietà meccaniche e della massa volumica.

UNI-ISO 4469: Legno-Determinazione del ritiro radiale e tangenziale.

UNI-EN 1534/2002: Legno-Determinazione della resistenza a penetrazione (Durezza Brinell).

ISO 3129: Metodi e requisiti generali per le prove fisico-meccaniche.

UNI 11035-2. 2003. Legno strutturale – regole per la classificazione a vista secondo la resistenza e i valori caratteristici per tipi di legname strutturale italiani.

UNI 11035-1. 2003. Legno strutturale – classificazione a vista di legnami italiani secondo la resistenza meccanica : terminologia e misurazione delle caratteristiche.

UNI EN 350-2 1996. Durabilità del legno e dei prodotti a base di legno. Durabilità naturale del legno massiccio. Guida alla durabilità naturale e trattabilità di specie legnose scelte di importanza in Europa.

6: LA LIGNINA NEL LEGNO DI CASTAGNO

PREMESSA E STATO DELL'ARTE

La lignina è un polimero amorfo aromatico e altamente complesso, esso è costituito da unità di fenilpropano, può essere considerata una sostanza incrostante le diverse strutture cellulari e intercellulari (Hon and Shirashi 2001). Al contrario delle emicellulose e della cellulosa la lignina non presenta il ripetersi di singole unità, ma consiste in una complessa organizzazione di unità fenoliche. Tridimensionalmente il polimero è costituito da legami C-O-C e C-C. Un'importante caratteristica di questo naturale polimero è la presenza di differenti gruppi funzionali come i gruppi fenolici, metossilici, alcol alifatici, aldeidi, chetoni, ed eteri (Zakis, 1994). La lignina può essere classificata in molti modi ma generalmente essa è suddivisa in relazione alla struttura dei suoi costituenti (Sjöström 1981).

I precursori per la biosintesi della lignina sono l'alcol *p*-cumarilico, l'alcol coniferilico e l'alcol sinapilico.

L'alcol *p*-cumarilico è precursore minore per entrambe le tipologie di legno: conifere e latifoglie; l'alcol coniferilico è il principale costituente della lignina delle conifere.

L'alcol sinapilico e l'alcol coniferilico invece sono i costituenti principali della lignina delle angiosperme. (Alder 1977).-

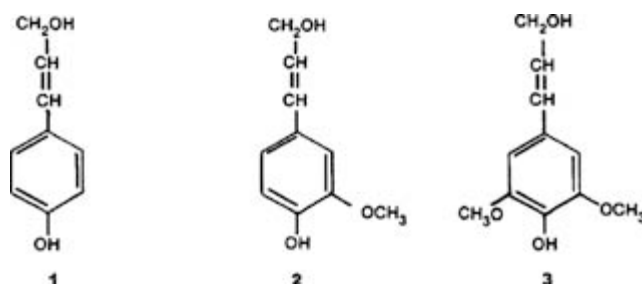


Fig 1: Struttura chimica dei precursori della lignina: (1) alcol *p*-cumarilico (2) alcol coniferilico e (3) Alcol sinapilico (da Rowell R. M. 2005).

Il legno di conifere ha un contenuto di metossili del 15-16%, quello di latifoglie raggiunge il 21%. (RCowell R. M. 2005). La lignina delle conifere è un prodotto della polimerizzazione dell'alcol coniferilico e la lignina appartenente a questo gruppo è chiamata lignina guaiacilica. La lignina delle latifoglie è costituita principalmente da siringolo-guaiacolo, perché, come è stato detto in precedenza, essa è un copolimero dell'alcol sinapilico e coniferilico (Rowell et al., 1980). Il rapporto tra questi due precursori varia da specie a specie, e assume valori che vanno da 4:1 a 1:2 (Sarkanen and Ludwig 1971).

Dunque la struttura, il contenuto percentuale, la localizzazione della lignina cambiano da specie a specie.

Il contenuto di lignina delle latifoglie si aggira intorno al 15-25%, mentre quello delle conifere è più alto, 25-35%. (Timell, 1967; Pettersen, R.C 1984, le tabella 7.1 e 7.2 mostrano il contenuto di lignina di conifere e latifoglie di diverse specie europee e americane (Rowell R.M., 2005, e Pettersen, R.C 1984).

Tabella 6.1 : contenuto percentuale di lignina nelle latifoglie: *= Pettersen 1984, **= Vidrich et al., 1991

Specie	Contenuto di Lignina	Specie	Contenuto di Lignina
Acer macrophyllum	25.0*	Liquidambar styraciflua	21.0*, 24.0*, 22.4*
Acer negundo	30.0*	Lyrodendron tulipifera	20.0*, 30.0*
Acer rubrum	21.0*, 24.0*, 23.0*	Ostrya carpinifolia	20.57**
Acer saccharinum	21.0*	Platanus occidentalis	23.0*, 25.3*
Acer saccharum	23.0*	Populus alba	16.0*
Aesculus octandra	30.0*	Populus deltoides	23.0*, 24.0*, 25.9*
Alnus glutinosa	22.38*	Populus tremoides	19.0*
Alnus rubra	24.0*	Populus trichocarpa	21.0*
Arbutus menziesii	21*	Prunus serotina	21.0*
Betula nigra	22.0*	Quercus alba	27.0*, 24.6*
Betula papyrifera	18.0*, 19.0*	Quercus cerris	19.93**
Castanea sativa	19.84**	Quercus coccinea	a
Carya glabra	24.0*, 23.0*	Quercus douglasii	27.0*
Carya ovata	21.0*	Quercus falcata	25.0*, 24.0*, 23.6*
Carya pallida	23.0*	Quercus kellogii	26.0*
Carya tomentosa	21.0*, 23.6*	Quercus lobata	19.0*
Carya laevigata	21.0*	Quercus lyrata	28.0*
Eucalyptus gigantea	22.0*	Quercus marylandica	26.0*, 30.1*
Fagus Grandifolia	22.0*, 30.9*	Quercus rubra	24.0*, 20.2*
Fraxinus americana	26.0*, 24.8*	Quercus velutina	24.0*, 25.3*
Fraxinus ornus	19.13**	Salix nigra	21.0*
Fraxinus pennsylvanica	26.0*	Tilia heterophylla	20.0*
Gleditzia triachantos	21.0*	Ulmus americana	22.0*, 24.0*, 27.8*
Laguncularia racemosa	23.0*	Ulmus crassifolia	27.0*

Tabella 6.2 : contenuto percentuale di lignina nelle Conifere: *= Pettersen (1984)

Specie	Klason Lignin	Specie	Klason Lignin
Abies amabilis	29.0	Pinus contorta	26.0
Abies balsamea	29.0, 29.0,	Pinus echinata	28.0
Abies concolor	28.0	Pinus elliotii	27.0
Abies lasiocarpa	29.0	Pinus monticola	25.0
Abies procera	29.0	Pinus palustris	30.0
Chamaecyparis thyoides	33.0	Pinus ponderosa	26.0
Ginkgo biloba	33.0	Pinus radiata	27.0
Juniperus communis	31.0	Pinus resinosa	26.0, 29.0
Juniperus deppeana	34.0	Pinus sabiniana	27.0
Larix decidua	26.0	Pinus strobus	27.0, 29.0
Larix laricina	26.0, 29.0	Pinus sylvestris	28.0, 27.0
Larix occidentalis	27.0	Pinus taeda	27.0, 27.0
Libocedrus decurrens	34.0	Pseudotsuga menziesii	27.0, 32.0
Picea engelmanni	28.0	Sequoia sempervirens	33.0
Picea abies	29.0	Taxodium disticum	33.0
Picea glauca	29.0, 27.0	Thuja occidentalis	30.0, 31.0
Picea mariana	27.0, 30.0	Thuja plicata	32.0
Picea sitchensis	27.0	Tsuga Canadensis	33.0, 33
Pinus attenuata	27.0	Tsuga Heterophylla	29.0
Pinus banksiana	27.0, 29.0	Tsuga mertensiana	27.0
Pinus clausa	27.0		

LOCALIZZAZIONE

Numerosi sono i metodi per studiare la distribuzione della lignina (3- Mule, 1900; Hoffmann and Parameswaran 1976; Kishi, Harada, Saiki, 1982; Crocker, 1921; Hepler, Fosket, Newcomb, 1970; Parham, 1974; Davis and Shiraishi 2000, Thomas, Gratzl, 1979; Meier, 1955; Parham and Coté 1971).

La lignina è distribuita nella parete secondaria delle cellule, con la più alta concentrazione nella lamella mediana.

Tuttavia considerando la differenza di volume tra lamella mediana e parete secondaria si può dire che il 70 % della lignina è localizzata nella parete cellulare (Rowell R.M., 2005).

Sebbene la maggior parte dei metodi sono utili per identificare la localizzazione della lignina nelle diverse tipologie di cellule xilematiche e nelle diverse parti di esse, tuttavia tali metodi danno poche informazioni quantitative. Il microscopio a raggi ultravioletti (UV) con sezioni sottili di legno ha dato buoni risultati (Lange, 1954) per una valutazione quantitativa della lignina nei tessuti; tale metodo stima che la concentrazione in peso della lignina è del 16 e 73% rispettivamente per la parete secondaria e i componenti della lamella mediana per le tracheidi di abete rosso (Norway spruce).

Tali risultati sono in eccellente accordo con quelli di Bailey (1936) che ha trovato pari al 71% il contenuto in peso della lignina nella lamella mediana delle tracheidi di abete di Douglass. Precedentemente a questo autore Ritter (1925) ha concluso che approssimativamente il 75% della lignina nel legno è localizzata nella lamella mediana e che il 25 % è invece distribuito nella S2.

Successivamente Goring ed altri studiosi (B.J. Fergus, A.R. Procter, J.A.N. Scott and D.A.I. Goring, 1969; J.A.N. Scott, A.R. Procter, B.J. Fergus and D.A.I. Goring, 1969; J.A.N. Scott, and D.A.I. Goring, 1970; J.A.N. Scott, and D.A.I. Goring, 1974; J.R. Wood and D.A.I. Goring, 1974; B.J. Fergus and D.A.I. Goring, 1970; B.J. Fergus and D.A.I. Goring, 1970; J.R. Wood and D.A.I. Goring, 1971; Y. Musha D.A.I. Goring, 1975) hanno perfezionato il metodo UV utilizzando sezioni estremamente sottili (0,5 µm), ed hanno concluso che i risultati di Bailey e Lange erano corretti. Essi hanno concluso in accordo con altri autori (G.P. Berlin e R.E. Mark 1965) che la zona della lamella mediana può contenere circa il 40% della lignina totale nel legno a causa del ridotto volume.

Inoltre tali autori hanno osservato come la lignina si distribuisce nelle diverse cellule xilematiche. Goring e Yang (1978-1980) hanno riscontrato che la parete secondaria delle cellule delle conifere contiene il doppio di molti gruppi funzionali rispetto alla lamella mediana.

CONIFERE

Nelle conifere è emerso che la concentrazione della lignina della Parete S2 è considerevolmente più bassa rispetto a quella della lamella mediana, sebbene quest'ultima presenti un contenuto percentuale maggiore.

Tab, 6.3: Distribuzione della lignina nelle tracheidi di *Picea mariana* determinata mediante microscopia a UV (da Fergus B. J. et al., 1969).

Wood	Morphological region	Tissue volume (%)	Lignin (% of total)	Lignin conc. (g/g)
Earlywood	S	87	72	0.23
	ML	9	16	0.50
	ML _{cc}	4	12	0.85
Latewood	S	94	82	0.22
	ML	4	10	0.60
	ML _{cc}	2	8	1.00

La tabella 6.3 mostra tali risultati relativamente alla *Picea mariana* Mill., (B B.J. Fergus, A.R. Procter, J.A.N. Scott and D.A.I. Goring, 1969); analoghi risultati sono stati ottenuti per la *Pseudotsuga menziesii* Mirb. (Wood and D.A.I. Goring, 1971), (tab 6.4).

Tab 6.4: la distribuzione della lignina nel legno di abete di Douglass determinata attraverso il microscopio a UV(da Wood and Goring 1971)

Wood	Morphological region	Tissue volume (%)	Lignin (% total)	Lignin conc. (g/g)
Earlywood	Tracheid S	74	58	0.25
	Tracheid ML	10	18	0.56
	Tracheid ML _{cc}	4	11	0.83
	Paren. ray S	8	10	0.40
	Tracheid ray S	4	3	0.28
Latewood	Tracheid S	90	78	0.23
	Tracheid ML	4	10	0.6
	Tracheid ML _{cc}	2	6	0.9
	Paren. ray S	3	4	—
	Tracheid ray S	1	2	—

Studi un po' più recenti hanno messo in evidenza le differenze all'interno della parete cellulare (S.Saka and R.J. Thomas, 1982): la concentrazione della lignina nello strato S2 (di *Pinus taeda* L.) è più basso rispetto a ciascuno dei due rimanenti livelli S1 ed S3, sebbene in quantità ridotte. (Tab.6.5). Analoghi risultati sono emersi in altri studi (K. Fukazawa and H. Imagawa, 1981).

Tab.6.5: Distribuzione della lignina nelle tracheidi di *Pinus taeda* determinata mediante brominazione con SEM-EDXA (da Saka S. and Thomas R. J. 1982)..

Wood	Morphological region	Tissue volume (%)	Lignin (% of total)	Lignin conc. (g/g)
Earlywood	S ₁	13	12	0.25
	S ₂	60	44	0.20
	S ₃	9	9	0.28
	ML	12	21	0.49
	ML _{cc}	6	14	0.64
Latewood	S ₁	6	6	0.23
	S ₂	80	63	0.18
	S ₃	5	6	0.25
	ML	6	14	0.51
	ML _{cc}	3	11	0.78

LATIFOGLIE

La lignina delle latifoglie è costituita principalmente di unità di guaiacolo e siringolol, e il loro rapporto sembra essere diverso nelle varie strutture anatomiche del legno.(J. Fergus and D.A.I. Goring, 1970; B.J. Fergus and D.A.I. Goring, 1970). Negli anni '80 Saka et al., (1988 a; 1988 b) hanno sviluppato un nuovo metodo per la determinazione della proporzione tra guaiacolo e siringolo combinando il metodo del microscopio a UV con la brominazione -EDXA(UV-EDXA). Dallo studio è emerso che la parete secondaria delle fibre contiene principalmente residui di

siringolo, mentre la parete secondaria dei vasi contiene maggiormente unità di guaiacolo. I raggi parenchimatici contengono in egual misura unità di guaiacolo e siringolo: dunque il maggior apporto di unità di siringolo è contenuto nella S2 delle fibre.

Molti autori confermano che le unità di base della lignina variano nelle differenti parti del legno (K.E. Wolter, J.M. Harkin, T. K. Kirk, 1974; T. K. Kirk, H.-m. Chang, and L.F.Lorenz , 1975). Terashima et al., (1986) hanno osservato che la lignificazione della parete cellulare dei vasi, degli angoli delle cellule e dei componenti della lamella mediana avviene ad opera della deposizione di unità di guaiacolo, mentre per le fibre ad opera di unità di siringolo e guaiacolo.

Recenti studi (Saka and D.A.I. Goring, 1988, K. Takabe, S. Mijauchi, R. Tsunoda, and K.Fukazawa 1992; J.Wu, K. Fukazawa, and J. Ohotani, 1992; Y. Watanabe and K. Fukazawa,1993) hanno dimostrato che all'interno della parete cellulare delle fibre di pioppo bianco la lignina non presenta sostanziali differenze nella sua distribuzione tra le diverse pareti, S1,S2,S3.

Anche all'interno dei vasi si osserva la medesima distribuzione, tuttavia la concentrazione nei vasi è circa 1,9 volte maggiore rispetto a quella delle fibre, che a loro volta mostrano un concentrazione maggiore rispetto a quella delle cellule parenchimatiche.

Dallo studio è anche emerso che gli angoli della lamella mediana e con le fibre e i vasi hanno la maggiore concentrazione di lignina tab. (Tab. 6.6).

È interessante notare che la concentrazione di lignina nella lamella mediana delle latifoglie è più bassa rispetto a quella delle conifere (Saka and D.A.I. Goring, 1988, B B.J. Fergus,A.R. Procter, J.A.N. Scott and D.A.I. Goring, 1969).

Tabella 6.6 distribuzione della lignina in *Fagus grandifolia* (da Saka S. and Thomas R. J. 1982).

Element	Morphological region	Tissue volume (%)	Lignin concentration (g/g)	
			UV-EDXA ^a	UV only ^b
Fiber	S ₁	11.4	0.14	—
	S ₂	58.5	0.14	0.16
	S ₃	3.5	0.12	—
	ML	5.2	0.36	0.34
	ML _{cc(F/F)} ^c	2.4	0.45	0.72
Vessel	S ₁	1.6	0.26	—
	S ₂	4.3	0.26	0.22
	S ₃	2.3	0.27	—
	ML	0.8	0.40	0.35
	ML _{cc(F/V)} ^d	≈0	0.58	—
Ray parenchyma	S	8.0	0.12	0.22
	ML	2.0	0.38	—
	ML _{cc(F/R)} ^e	≈0	0.47	—
	ML _{cc(R/R)} ^f	≈0	0.41	—

Le cellule dei raggi parenchimatici contengono più lignina delle tracheidi (Hoffmann and Timell, 1972; Harada and Wardrop, 1960; Perilia 1961; Perilia and Heitto, 1959), Cfr Tab 6.7.

Tabella 6.7: Composizione chimica dei raggi parenchimatici e delle tracheidi nel legno di *Pinus resinosa* (da Hoffmann G. C. and Timell T.E., 1972)

Cell wall constituent	Normal wood ^a		Compression wood ^b	
	Ray cells (%)	Tracheids (%)	Ray cells (%)	Tracheids (%)
Lignin	40	28	40	40
Cellulose	35	42	35	30
Galactoglucomannan	9	20	11	9
1,3-Glucan	2	—	2	2
Galactan	Trace	Trace	Trace	10
Glucuronoarabinoxylan	11	8	10	7
Pectin	2	1	1	1
Other polysaccharides	1	1	1	1

NELLA CORTECCIA

I componenti elementari e i gruppi funzionali contenuti nella lignina della corteccia non differiscono in maniera sostanziale dalla quelli della lignina del legno della stessa specie (1-Sarkanen and Hergewrt1971, Hemingway 1981), gli studi hanno dimostrato che vi è meno lignina nella corteccia interna rispetto a quella esterna.

Il rapporto di gruppi OCH_3 nella corteccia di pioppo è più basso nella corteccia rispetto a quello riscontrato nel legno della stessa specie, mentre si osserva un più alto rapporto di gruppi fenolici OH in OCH_3 (Clermont 1970). Ci sono più unità di guaiacolo nella corteccia delle piante decidue e più unità di p-idrossilfenile nelle conifere rispetto alla lignina del legno delle stesse specie (Andersson et al 1973). Non vi sono tuttavia differenze strutturali tra la lignina della corteccia e quella del legno della medesima specie.

LEGNO GIOVANILE -. LEGNO TARDIVO

Il legno giovanile ha meno cellulosa e maggior quantità di lignina e emicellulose rispetto al legno maturo (Rowell R. M. 2005). La lignina diminuisce molto rapidamente al maturare delle cellule.

Il legno tardivo presenta maggiori quantità di lignina in generale rispetto al legno primaverile nelle conifere (Tab 7.4) (J.R. Wood and D.A.I. Goring, 1971).

LEGNO DI REAZIONE

Il contenuto di lignina varia in relazione alla presenza del legno di reazione. Il legno di compressione presenta un quantitativo di lignina superiore a quello del legno sano (Rowell R. M. 2005, Panshin and de Zeeuw 1980, Timell 1982). La cellulosa nel legno di compressione presenta un minore grado di cristallizzazione nello strato s2 e pertanto in esso aumenta la concentrazione di lignina paragonato al legno sano, come si evince in tab 6.8 (Timell, 1982)

Tabella 6.8: Composizione chimica media della lignina nel legno di reazione e nel legno normale (Timell, 1982; Schwerin, 1958).

Conifere		Legno normale	Legno di compressione
	lignina	30.0	39.0
Latifoglie		Legno normale	Legno di tensione
	lignina	29.5	13.8

Nella parete cellulare il 40% di lignina è localizzato nella zona esterna del S2 e il restante 40% è distribuito uniformemente nella restante parte dello strato S2. (Panshin and de Zeeuw 1980).

La tabella 7.8 mostra la variabilità della lignina nel legno di tensione, essa è normalmente più bassa rispetto al legno sano (Schwerin 1958).

La maggiore quantità di cellulosa cristallizzata nello stato gelatinoso G e con angolo delle microfibrille di soli 5% riduce fortemente il quantitativo di lignina ed emicellulose presenti.

Tabella 6.8 (Schwerin 1958).

Sebbene sia stato dimostrato che all'aumentare del rapporto di crescita dovrebbe corrispondere un aumento del quantitativo totale di lignina nel legno (Helander 1933; Dinwoodie 1961; Hermann et al., 1998; Mäkinen et al., 2002a, 2002b, Lundgreen 2004; Jaakkola et al., 2005), recenti studi hanno dimostrato che le fertilizzazioni e i diradamenti non influiscono in maniera significativa sui livelli di lignina delle tracheidi di abete rosso di Norvegia. (Jaakkola et al., 2007).

ESTRAZIONE

Vi sono differenti modi per estrarre la lignina si citano di seguito alcuni esempi.

Klason Lignina

Ottenuta dall'idrolizzazione dei polisaccaridi con acido solforico al 72%.

Lignina enzimatica: ottenuta attraverso la rimozione dei polisaccaridi per via enzimatica.

Milled Lignina (MWL)

Björkman Lignina: ottenuta attraverso solventi organici (Björkman 1956-1957).

Il presente studio è finalizzato ad analizzare e caratterizzare la lignina di castagno (*Castanea sativa* Mill.) di provenienza laziale.

Lo studio ha come obiettivo principale quello di misurare il quantitativo totale di lignina ed analizzare la sua ultrastruttura: sono stati studiati i diversi composti glicidici e siringilici che costituiscono il polimero. Come obiettivo specifico lo studio si propone di analizzare come varia la struttura della lignina nei diversi siti di indagine e tra piante cipollate e piante sane; infine è stata analizzata la variabilità tra 2 classi cronologiche: 6-10 anni e 11-15 anni per mettere in evidenza eventuali variazioni qualitative del polimero col procedere dell'età.

MATERIALI E METODI

Lo studio del quantitativo di lignina è stato effettuato su 4 campioni di castagno provenienti da 3 siti differenti del territorio laziale: 2 dai Monti Cimini, 1 dai Monti Sabatini ed 1 dai Monti Lepini.

Sono stati selezionati i campioni legnosi provenienti dai provini usati per la prova a flessione statica: ovvero i provini aventi sezione 2X2 cm e lunghi 24-30 cm.

Successivamente con l'ausilio di una pialla manuale i primi cm di ogni singolo provino sono stati ridotti in trucioli dello spessore di qualche decimo di mm. Successivamente tale materiale è stato ulteriormente sminuzzato mediante un molino elettrico (Fig.2 A) per ottenere una polvere finissima (con diametro di qualche decina di μm). Per ciascuno dei 4 campioni dunque è stato ottenuto un quantitativo di circa 60 g di polvere di legno.

Prima di procedere all'estrazione della lignina il legno è stato epurato degli estrattivi: inizialmente sono state estratte tutte le sostanze solubili in acetone, mediante l'utilizzo del Soxhlet per solidi, la procedura prevede una serie di 24-25 cicli.

Successivamente sono stati estratti i tannini solubili in acqua. Un campione legnoso è stato immerso in un volume di acqua 150 volte superiore e riscaldato a 100°C per 1 h, con l'accorgimento di tenere tappato il contenitore per evitare l'evaporazione dell'acqua.

Il materiale ottenuto epurato di gran parte degli estrattivi con peso molecolare maggiore è stato sottoposto ad una serie di analisi per l'estrazione della lignina.

Il quantitativo totale di lignina è stato ottenuto attraverso il metodo TAPPI (Technical Association of Pulp and Paper Industry) n 222 (per la lignina acido-solubile) e Metodo TAPPI n.250 (per la lignina acido- insolubile: Lignina Klason) e che fornisce i valori di lignina solubile ed insolubile all'interno del legno.

Si è operato come segue:

a) **Idrolisi con H_2SO_4**

200mg di materiale lignocellulosico finemente tritato e seccato in stufa (a 105°C per una notte) (P_1), vengono messi in provettoni di vetro con tappo a vite con l'aggiunta di 2 ml di H_2SO_4 al 72% (mescolando con una bacchetta di vetro) e lasciati in un termostato a 30°C per 1h.

Successivamente si aggiungono 56 ml di H_2O distillata, si agita, si pulisce la bacchetta di vetro, e si mette in stufa a 105°C per 4 ore.

Il materiale viene quindi filtrato su imbuto Buchner con filtri in lana di vetro (Watman GF/F), lavato con H_2O distillata ed il volume del liquido filtrato portato a 200ml, sempre con H_2O distillata. Il residuo solido rimasto sul filtro viene messo ad essiccare in stufa a 105°C per una notte.

b) **Determinazione del contenuto di lignina:**

Lignina Acido Insolubile: si pesa il residuo solido essiccato e si ottiene (P_2)

Calcolo: Lignina Insolubile (in %) = $P_2/P_1 \times 100$

Lignina Acido Solubile: si diluisce una parte dei 200ml di filtrato con H_2O distillata (1ml di filtrato + 5 ml H_2O) e si legge l'assorbanza a 205 nm.

Calcolo: Lignina Solubile (in %) = $A_{205}/110 \times (6 \times 100/1000) \times 200/P_1$

Dove 110= Coeff. Di estinzione % medio

6= rappresenta la diluizione effettuata (1+5)

200= volume totale (espresso in millilitri)

P_1 = peso iniziale (espresso in grammi)

Nel nostro caso, con $P_1 = 0.2\text{g}$ si ha=

$$A_{205}/110 \times (6 \times 100/1000) \times 200/0.2 = A_{205}/110 \times (0.6) \times 1000 =$$

$$A_{205}/110 \times (600) = \underline{A_{205} \times 5.45}$$

LIGNINA TOTALE %=

LIGNINA INSOLUBILE % + LIGNINA SOLUBILE %

ANALISI STRUTTURALE DELLA LIGNINA

Indagini successive hanno invece riguardato la struttura specifica della lignina all'interno dei campioni analizzati attraverso la tecnica della pirolisi accoppiata ad un sistema gas cromatografo-spettrometro di massa (Py-GC/MS). Con questa tecnica è possibile analizzare macromolecole organiche e di riconoscerle mediante il loro caratteristico pirogramma. Per questa indagine sono stati analizzati 28 campioni legnosi.

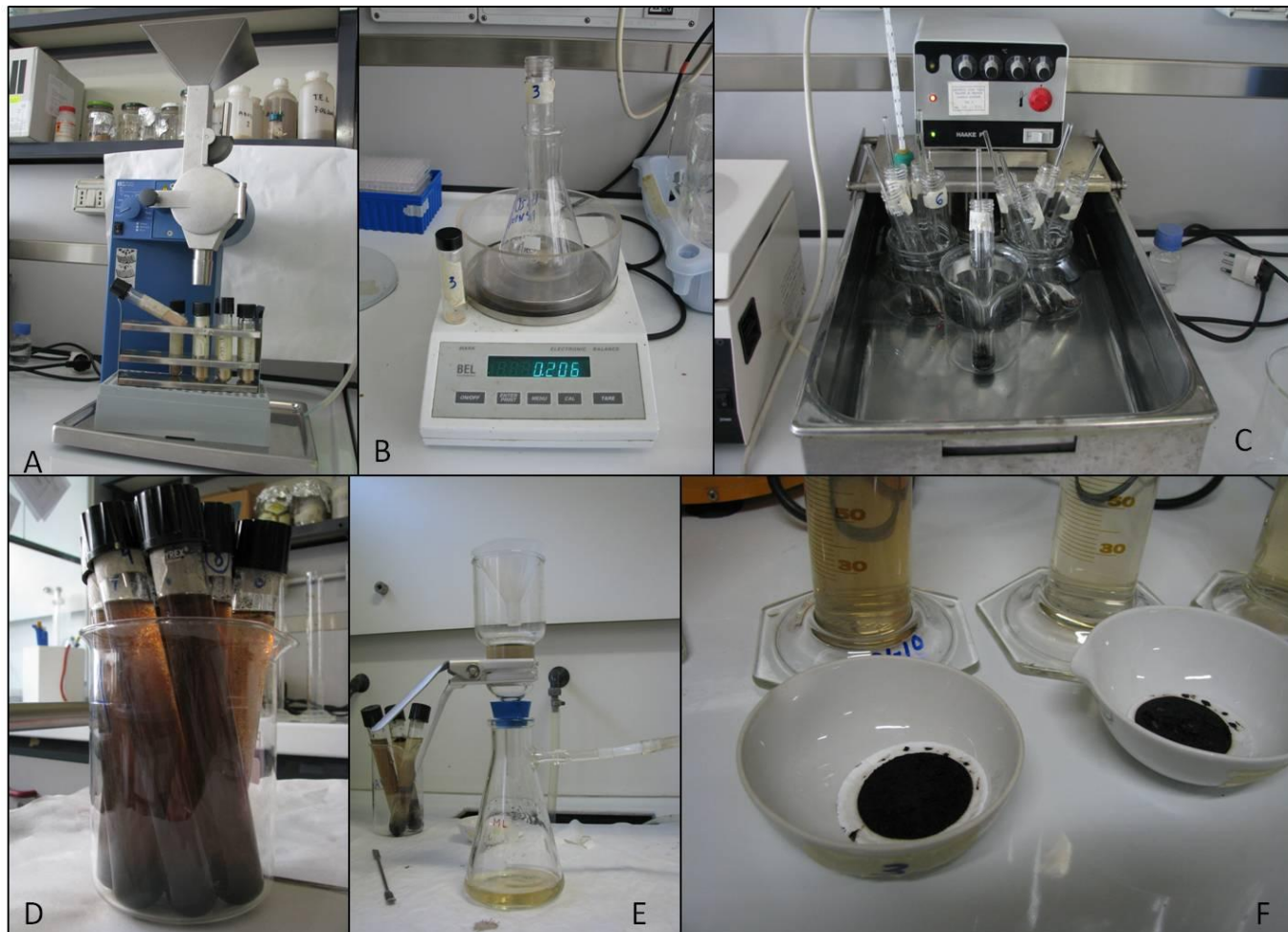


Fig 2 Fasi di lavorazione per l'estrazione della lignina: A, riduzione in polvere dei campioni legnosi mediante molino; B, peso del quantitativo di polvere da utilizzare mediante bilancia di precisione, C, soluzione di acido solforico per l'estrazione della lignina a temperatura controllata, E, filtrazione per separare la parte solubile della lignina da quella insolubile, F lignina solubile e lignina insolubile (nei crogioli), pronta per la misurazione.

Lo studio è stato impostato in modo da mettere in evidenza la variabilità strutturale della lignina (contenuto di unità guaiaciliche e siringiliche – G:S) nelle piante di castagno del territorio della Regione Lazio.

Le indagini hanno riguardato:

1. Analisi delle differenze tra i diversi siti della regione Lazio; Monti Cimini, Monti Sabatini, Castelli Romani, Monti Lepini.
2. Analisi delle differenze tra campioni cipollati e campioni sani
3. Analisi delle differenze tra campioni di età compresa tra 6 e 10 anni e campioni di età compresa tra 11 e 15 anni.

Per l'analisi cronologica, sono stati scelti quei provini che presentavano un range di età pari a quello di indagine, pertanto sono stati selezionati tutti i provini contenenti approssimativamente gli anelli che andavano dal 6° al 10° anno, e dal 11° al 15° anello. Laddove i provini presentavano qualche traccia di anelli non appartenenti alle suddette classi di età, tramite bisturi si è provveduto ad eliminare la porzione di provino non ricadente nel range cronologico desiderato.

L'analisi dei campioni cipollati e sani, ha previsto esclusivamente il reclutamento di una serie di provini appartenenti a piante che presentavano la cipollatura e, di contro, appartenenti a piante sane.

Il campionamento per questo tipo di analisi è stato effettuato come segue.

Tab.6.9: Campionamento per le analisi col metodo Pirolisi gasmassa (Py-GC/MS).

AREA	Classi d'età		Piante sane - piante cipollate	
	6-10	11-15	alberi cipollati	alberi sani
Monti Cimini	3	3	4	6
Monti Sbatini	3	3	2	4
Castelli Romani	3	3	2	4
Monti Lepini	3	3	1	5
Totale	12	12	9	19

In totale dunque sono state analizzate 28 piante per le 4 aree di studio: 10 per i Monti Cimini, e 6 rispettivamente per i Monti Sabatini, per i Castelli Romani e per i Monti Lepini.

La pirolisi consiste in una degradazione termica controllata in assenza di ossigeno con produzione di molecole neutre relativamente volatili o comunque analizzabili mediante gas cromatografia. Utilizzando un gas cromatografo in serie ad un pirolizzatore si ottiene un cromatogramma o pirogramma caratteristico di ogni matrice. L'accoppiamento con uno spettrometro di massa permette il riconoscimento qualitativo dei singoli frammenti da mettere in relazione con la struttura di partenza. I campioni analizzati sono costituiti da polveri o da microframmenti di peso variabile tra 0,01 e 0,15 milligrammi. La strumentazione impiegata è costituita da un pirolizzatore a fornace SGE, Pyrojector II, che è stato fatto operare a una temperatura di pirolisi di 600°C. Il pirolizzatore è accoppiato a un gascromatografo HP 5890, munito di colonna SGE BPX 5, 30 m, Ø 0.25 mm (fase stazionaria 0.25mm, 95% difenil-, 5% dimetil-silicone). Per il gascromatografo è stato utilizzato il seguente programma termico: isoterma iniziale a 50°C per 10 minuti, gradiente termico di 5°C al minuto fino a 290°C, isoterma finale a 290°C per 10 minuti. L'analisi spettrometrica di massa è stata condotta con uno spettrometro di massa VG AutoSpec (intervallo di massa da 40 a 450 m/z, ionizzazione ad impatto elettronico a 70 eV, acquisizione 2 scansioni al secondo).

Il metodo della pirolisi accoppiata alla GC/MS ha fornito informazioni utili per individuare e caratterizzare la molecola della lignina. Per il presente studio questa tecnica si è rivelata particolarmente adatta perché ha permesso di preparare i campioni senza effettuare particolari trattamenti, e di sottoporli direttamente alla Py-GC/MS.

Il risultato visivo della pirolisi è un pirogramma: esso è costituito da una gran quantità di picchi, la maggior parte dei quali è stata identificata mediante lo studio degli spettri di massa ad essi corrispondenti. In genere in esso si possono distinguere diverse zone principali nelle quali sono presenti i picchi derivanti rispettivamente dalla pirolisi della lignina e della cellulosa, delle emicellulose ecc.; nella zona iniziale del pirogramma sono presenti i picchi derivanti da cellulosa ed emicellulosa (carboidrati) che però non sono diagnostici ai fini del nostro studio (Terrone et al., 1995, Del Rio et al., 2001; Yokoi et al., 1999). I prodotti di pirolisi della lignina possono essere distinti in derivati del siringolo (**S**) e derivati del guaiacolo (**G**). Questa distinzione è risultata molto utile per caratterizzare lignine provenienti da diverse specie perché il contenuto relativo in **G** e **S** risulta abbastanza caratteristico di ogni specie. In particolare, il rapporto quantitativo tra la somma dei prodotti **S** e la somma dei prodotti **G** denominato **S/G**, viene utilizzato per

caratterizzare la struttura della lignina stessa (Choi *et al.*, 2001; Yokoi *et al.*, 1999; Rodrigues *et al.*, 1998 e 2000; Reale *et al.*, 2004).

E' stata effettuata, quindi, un'indagine quantitativa calcolando le aree dei picchi dei derivati fenolici di tipo **S** e **G** in ciascun pirogramma e normalizzando questi valori in modo da ottenere per ognuno dei picchi la corrispondente "area relativa". Con le aree relative ricavate si è realizzata una tabella dove sono riportati i rapporti **S/G** di tutti i campioni.

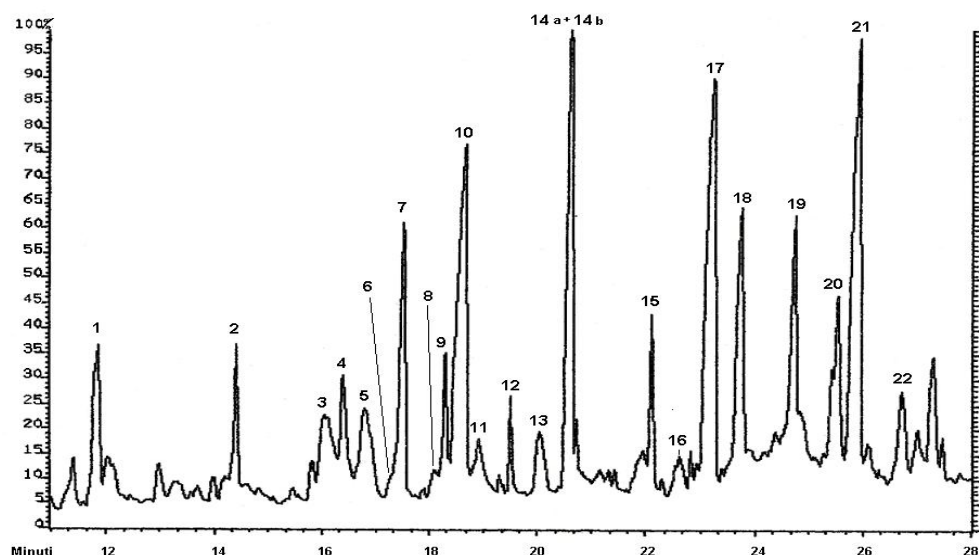


Fig. 3
pirogramma di
un campione di
Castanea sativa.

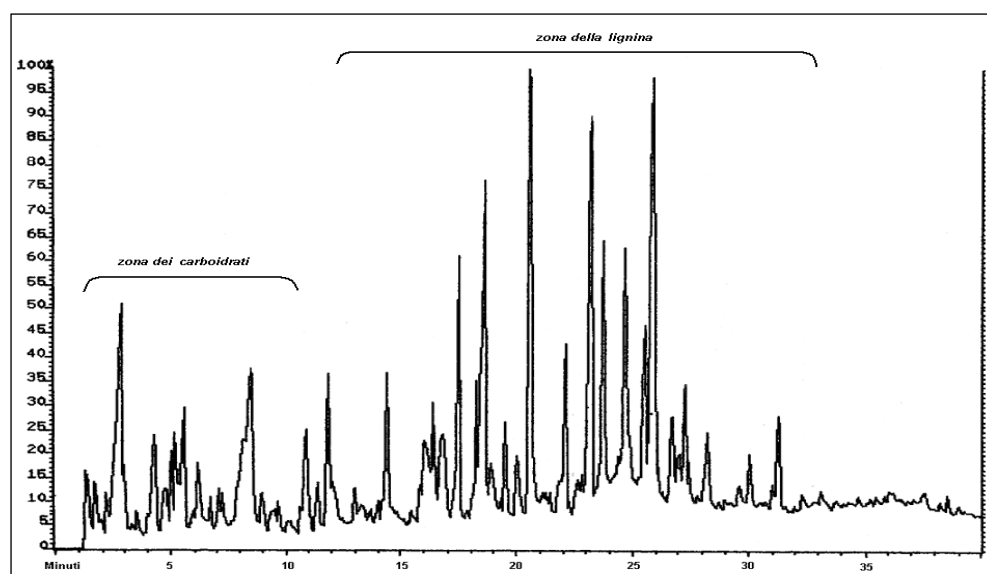


Fig. 3.1 Analisi di un programma di *Castanea sativa* individuazione delle aree di lignina e di cellulosa

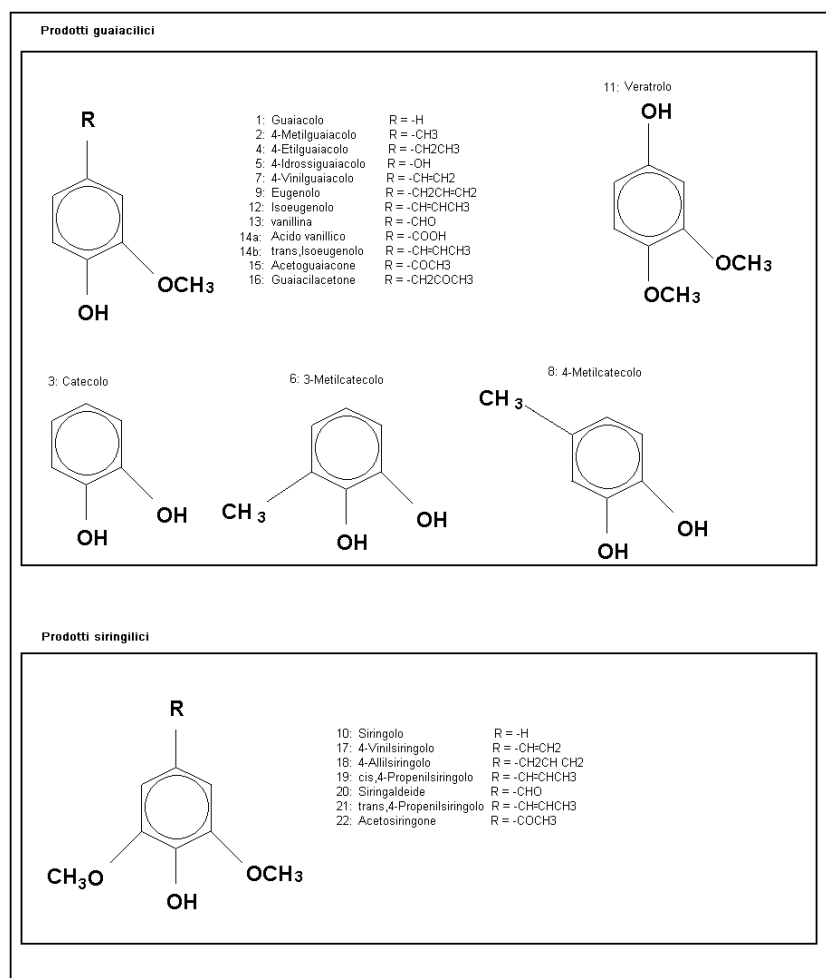


Figura 4. Formule di struttura dei principali prodotti aromatici di pirolisi suddivisi in composti di tipo **G** e **S**.

ANALISI STATISTICHE

I risultati ottenuti sono stati analizzati mediante il programma statistico SYSTAT 11.

Analisi delle componenti principali (PCA)

È stata effettuata la Analisi delle componenti principali (PCA) dei fenoli ottenuti per analizzare il loro contributo reciproco sull'organizzazione strutturale della lignina.

Analisi della varianza

Inoltre per ciascun fenolo è stata misurata l'analisi della varianza per verificare se vi fossero delle differenze tra piante cipollate e piante sane, tra le due classi cronologiche e infine tra i siti della regione Lazio.

È stata infine misurata la correlazione semplice tra caratteristiche fisico-meccaniche ed il quantitativo di ciascun fenolo trovato.

RISULTATI

Il quantitativo totale di lignina con relativa porzione solubile ed insolubile all'interno del legno di castagno è riportato nella tabella 6.10.

Tab 6.10 Quantitativo percentuale della lignina solubile, insolubile e totale per i campioni considerati.

CAMPIONE	% insolubile	% Lignina solubile	Lignina totale
P.F. 11C	24.00	1.24	25.24
CAD. 7 2s	25.50	1.00	26.50
P.F. 13C bsx	26.00	0.81	26.81
Bas. 22C bsx	25.00	0.65	25.65
MEDIA	25.13	0.93	26.05
DS	0.85	0.25	0.73

La tabella 6.12 mostra i risultati relativi alle quantità di fenoli **G** e **S** ottenuti dalla pirolisi del legno di differenti campioni di castagno esaminati. Pertanto considerando la somma dei composti di tipo **S** e la somma dei composti di tipo **G** e il loro rapporto si ottengono i risultati illustrati nella tabella 6.11.

Tab 6.11 contenuto di S e G e rapporto S/G tra i diversi campioni dei diversi territori.

	CAMPIONE	S	G	S/G
M. CIMINI	C10A-CDX	298.96	138.62	2,16
	C10A-BDX	329.46	139.25	2,37
	C11A-FSX	319.72	77.29	4,14
	C11C-CSX	333.72	156.1	2,14
	C13C-BSX	324.64	71.8	4,52
	C9-CDX	329.49	204.94	1,61
	C5B-BDX	305.89	163.07	1,88
	11A-DSX	428.69	149.3	2,87
	11A-CSX	339.39	182.75	1,86
	11A-CDX	492.99	167.52	2,94
M. SABATINI	C3-3D	388.77	197.07	1,97
	C4-3S	356.17	195.48	1,82
	22C-3D	353.22	155.71	2,27
	7-2S	380.71	171.05	2,23
	20C-2D	420.09	160.11	2,62
	25C-3D	504.19	148.2	3,40
C. ROMANI	52C-DX	409.9	220.12	1,86
	48-CDX	355.56	179.5	1,98
	40C-SX	285.41	191.46	1,49
	47-BDX	403	187.14	2,15
	38-BDX	223.37	175.1	1,28
M. LEPINI	56-BDX	506.26	192.71	2,63
	10C-BSX	507.01	146.27	3,47
	33C-CDX	448.77	132.72	3,38
	35C-CDX	390.46	155.73	2,51
	23C-BSX	431.23	168.23	2,56
	21C-BSX	460.05	147.99	3,11
	22C-BSX	480.42	145.4	3,30
	MEDIA	385,98	161.45	2.52
	DS	74,96	33.05	0.79
	Valore max	507,01	220.12	4.52
	Valore min	223,37	71.80	1.28

Tab. 6.12: principali composti fenolici ottenuti dalla pirolisi dei campioni di legno di castagno. I valori rappresentano le aree percentuali dei picchi cromatografici rilevati mediante analisi Py-GC/MS

CAMPIONI	Guai. (G)	4-METIL GUA I (G)	4-ETIL GUA I (G)	4-VINIL GUA I (G)	SIR. (S)	4-METIL SIR. (S)	4-ETIL SIR (S)	SIRING- ALDEIDE (S)	4-ALLIL SI (S)	4-PROPIL SIR (S)	CIS-4-PROP 1-ENIL SIR (S)	TRANS-4- PROP-1- ENIL SIR (S)	ACETO- SIRINGONE (S)	HOMOSIRINGAL DEIDE (S)	SIRINGIL- ACETONE (S)	SINAPYL ALDEIDE (S)
C10A-CDX(11-15)	44,41	46,62	18,56	29,03	66,41	100	5,53	57,82	13,59	2,48	2,61	35,03	15,49	0	0	0
C10A-BDX(6-10)	64,67	10,4	26,32	37,86	72,59	100	2,52	72,59	15,7	1,59	4,32	35,16	24,99	0	0	9,74
C11A-FSX	8,05	14,25	8,62	46,37	19,01	100	7,81	69,46	9,31	7,09	10,9	96,14	0	0	0	0
C11C-CSX (11-15)	43,78	34,12	10,2	68	70,69	100	13,27	81,78	4,5	3,31	5,38	42,46	4,48	0	7,85	0
C13C-BSX (6-10)	15,85	21,31	5,51	29,13	43,29	81,41	10,03	56,23	10,81	7,92	14,95	100	0	0	0	0
C9-CDX (11-15)	62,76	45,05	15,01	82,12	64,62	100	14,02	86,99	3,72	2,79	4,03	38,15	8,86	0	6,31	0
C5B-BDX (6-10)	50,67	36,25	19,15	57	65,39	100	11,51	57,55	16,97	3,55	1,14	36,25	6,44	4,88	2,21	21,68
11A-DSX	34,59	35,61	25,12	53,98	67,72	100	12,44	73,25	8,04	1,25	7,09	53	53,14	22,6	30,16	18,5
11A-CSX	37,74	38,93	42,79	63,29	69,94	100	11,3	43	6,46	0,65	7,07	39,09	22,1	13,78	26	8,22
11A-CDX	47,03	41,46	21,64	57,39	88,86	100	20,94	75,88	8,98	1,65	10,47	62,56	57,15	28,34	38,16	25,19
56-BDX	61,4	32,76	37,02	61,53	83,72	100	19,97	89,87	13,38	1,94	9,47	67,26	59,85	23,07	37,73	8,99
52C-DX	50,16	29,3	55,14	85,52	100	83,82	15,82	69,82	9,35	1,75	9,47	48,62	28,85	18,15	24,25	3,76
48-CDX	59,34	36,27	22,8	61,09	74,25	100	11,21	61,93	6,85	1,2	4,81	35,55	29,27	12,9	17,59	18,57
47-BDX	31,54	16,3	100	39,3	63,01	76,21	10,65	82,43	12,66	1,14	8,59	59,9	44,43	16,84	27,14	13
40C-SX	32,18	16,79	100	42,49	55,7	52,39	8,19	63,5	10,08	0,85	6,84	40,69	16,82	13,43	16,92	1,4
38-BDX	29,48	16,13	100	29,49	55,4	38,21	7,7	45,69	6,86	0,65	4,7	27,62	13,53	8,95	14,06	1,73
25C-3D	54,12	31,33	13,47	49,28	96,66	92,54	18,08	100	8,87	0,34	7,98	67,01	59,98	10,59	42,14	11,4
7-2S	51,18	51,32	23,4	45,15	100	92,67	16,83	54,77	10,16	1,58	9,3	45,2	11,3	14,96	23,94	3,31
22C-3D	35,41	36,16	31,83	52,31	45,78	100	16,16	55,74	6,7	0,74	5,79	42,4	36,02	16,5	27,39	8,73
20C-2D	43,13	39,23	35,02	42,73	66,31	100	17,9	66,97	8,58	1,21	7,22	48,67	50,96	19,38	32,89	10,32
C3-3D	59,45	50,2	16,24	71,18	80,56	100	18,09	13,66	19,13	0	0	97,82	6,05	4,82	48,64	11,76
C4-3S	47,82	55,34	13,51	78,81	46,36	100	19,1	89,24	3,88	2,5	10,51	44,9	12,26	16,13	11,29	26,66
22C-BSX	44,55	32,84	18,36	49,65	100	92,86	20,03	90,25	15,3	2,35	11,69	67,81	26,18	22,95	31	3,78
23C-BSX	46,2	40,52	25,47	56,04	99,61	100	19,27	61,68	12,99	1,87	11,46	52,67	26,38	17,13	28,17	2,07
35C-CDX	46,27	39,86	25,24	44,36	87,78	100	16,37	57,63	13,13	2,01	10,37	54,13	13,8	15	20,24	1,75
33C-CDX	39,39	28,29	28,05	36,99	100	89,58	17,52	73,59	15	2,38	10,38	56,9	30,92	22,56	29,94	1,72
21C-BSX	49,49	27,67	28,74	42,09	100	83,72	15,93	83,41	15,29	1,64	11,33	64,95	27,9	21,76	34,12	1,67
10C-BSX	54,34	29,94	28,46	33,53	100	98,08	19,79	93,5	14	1,98	11,61	68,26	36,26	30,11	33,42	3,71

Tab 6.13 valori medi del contenuto medio di S e G e loro rapport S/G con deviazione standard, valore max e min per i diversi comprensori territoriali.

		S	G	S/G
M.CIMINI	MEDIA	350.30	145.06	2.65
	DS	61.43	42.18	0.99
	Valore max	492.99	204.94	4.52
	Valore min	298.96	71.80	1.61
M. SABATINI	MEDIA	400.53	171.27	2.39
	DS	56.33	20.74	0.57
	Valore max	504.19	197.07	3.40
	Valore min	353.22	148.20	1.82
C. ROMANI	MEDIA	363.92	191.01	1.90
	DS	99.89	15.82	0.48
	Valore max	506.26	220.12	2.63
	Valore min	223.37	175.10	1.28
M. LEPINI	MEDIA	452.99	149.39	3.06
	DS	40.30	11.84	0.42
	Valore max	507.01	168.23	3.47
	Valore min	390.46	132.72	2.51

La tabella 6.13 mostra la variazione di Siringolo e Guaiacolo e il rapporto S/G all'interno dei diversi siti di studio.

Lo studio della PCA ha messo in evidenza il contributo dei diversi fenoli ottenuti dalla pirolisi dei campioni di legno, alla descrizione della varianza delle componenti principali (tabelle 6.14_6.16 e fig. 5).

Tabella 6.14 Autovalori delle componenti principali relative a tutti i campioni di castagno.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
4.588	2.855	2.571	1.705	1.198	1.048	0.442	0.3410	0.1917	0.1417	0.0840	0.0750	0.098	0.058	0.038	0.006

Tabella 6.15: Varianza spiegata dalle prime due componenti principali e rispettiva percentuale.

Variance Explained by Components	
1	2
4.588	2.855

Percent of Total Variance Explained	
1	2
28.673	17.843

Tabella 6.16. auto vettori, auto valori ed errore standard relativi alle variabili che costituiscono le prime due componenti principali

	Latent Vectors (Eigenvectors)		Component Loadings		Standard Error for Each Eigenvector Element	
	1	2	1	2	1	2
4 ETIL SIR	0,391	0,012	0,837	0,02	0,082	0,414
SIRINGIL ACETONE	0,386	0,191	0,826	0,322	0,093	0,182
HOMOSIRINGALDEIDE	0,352	0,296	0,754	0,5	0,125	0,16
SIR_	0,344	0,105	0,737	0,177	0,09	0,195
ACETO_SIRINGONE	0,32	0,232	0,685	0,393	0,117	0,222
GUAI_	0,293	-0,243	0,629	-0,411	0,132	0,358
4 PROPIL SIR	-0,275	-0,05	-0,589	-0,085	0,154	0,848
4 METIL GUAI	0,239	-0,391	0,512	-0,66	0,165	0,136
4 METIL SIR	0,186	-0,38	0,397	-0,641	0,181	0,5
4 ETIL GUAI	-0,08	0,367	-0,17	0,62	0,201	0,755
4 VINIL GUAI	0,165	-0,365	0,354	-0,618	0,164	0,156
CIS 4 PROP 1 ENIL SIR	0,068	0,318	0,146	0,538	0,193	0,764
SINAPYL ALDEIDE	0,192	-0,173	0,411	-0,292	0,125	0,269
SIRING ALDEIDE	0,145	0,136	0,311	0,23	0,135	0,38
4 ALLIL SI	0,062	0,136	0,133	0,229	0,141	0,294
TRANS 4 PROP 1 ENIL SIR	0,011	0,126	0,023	0,213	0,175	0,852

Factor Loadings Plot

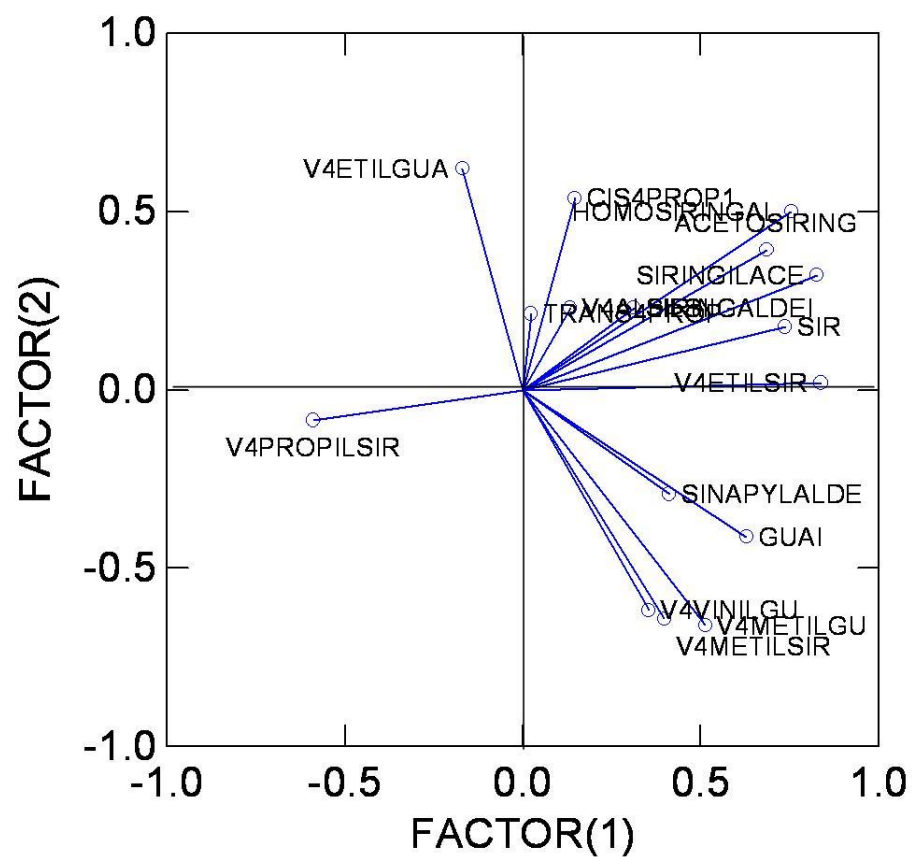


FIG.5: GRAFICO DEGLI AUTOVALORI DELLE VARIABILI IN FUNZIONE DELLE PRIME DUE COMPONENTI PRINCIPALI.

Sono state ottenute le componenti principali che spiegano il 28.7 ed il 17.8 della varianza totale paria al 46.5 % della varianza totale.

La componente 1 è positivamente correlata con la maggior parte dei fenoli indistintamente tra composti guaiacilici e siringilici, mentre è negativamente correlata con IL 4ETIL GUAIACOLO E CON IL 4 PROPIL SIRINGOLO. La componente 2 è negativamente correlata con il 4 PROPIL SIRINGOLO, GUAIACOLO, 4 VINIL GUAIACOLO, SINAPILALDEIDE, 4 METIL GUAIACOLO, 4 METILSIRINGOLO, mentre è positivamente correlato con il 4 ETIL SIRINGOLO, SIRINGOLO, SIRINGIL-ACETONE, ACETOSIRINGONE, HOMOSIRINGALDEIDE, CIS-4-PROP-1-ENIL SIRINGOLO, TRANS 4-PROP. 1 ENIL SIRINGOLO, 4 ALLIL SIRINGONE, SIRINGALDEIDE.

La tabelle 6.17 e 6.18 mostrano la variazione nel contenuto medio minimo e massimo e relativa DS della sommatoria dei composti di Siringolo, Guaiacolo e del rapporto S/G tra piante sane e piante cipollate, e tra le due principale classi cronologiche 6-10 e 11-15.

Tab 6.17 valori medi del contenuto medio di S e G e loro rapport S/G con deviazione standard, valore max e min in relazione alle piante sane e alle piante cipollate.

	Piante cipollate			Piante sane		
	S	G	S/G	S	G	S/G
Media totale	162.59	424.00	2.65	160.91	367.97	2.45
DS	17.61	102.23	0.76	38.72	52.13	0.81
V. Max	192.71	507.01	3.47	220.12	460.05	4.52
V. min	145.40	223.37	1.28	71.80	285.41	1.49

Tab 6.18 valori medi del contenuto medio di S e G e loro rapport S/G con deviazione standard, valore max e min in relazione alle due classi cronologiche considerate: 6-10 e 11-15.

	Classe cronologica 6-10			Classe cronologica 11-15		
	S	G	S/G	S	G	S/G
Media totale	397.44	155.84	2.67	371.45	172.81	2.22
DS	87.70	31.24	0.84	62.64	28.78	0.63
V. Max	506.26	192.71	4.52	507.01	220.12	3.47
V. min	223.37	71.80	1.28	285.41	132.72	1.49

Least Squares Means

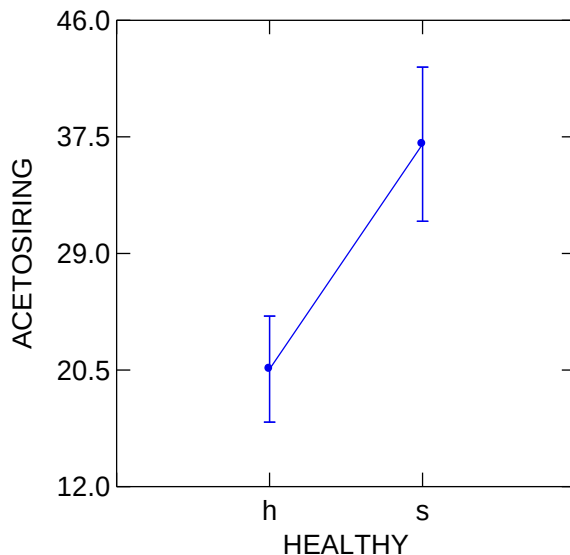


Fig.6: Analisi dei valori medi e delle relative deviazioni standard (ottenuti dalla ANOVA elaborate dal programma SISTAT 11) del composto ACETOSIRINGONE in relazione alla presenza della cipollatura (h= piante sane, s= piante cipollate).

L'Analisi della varianza dei singoli composti ha evidenziato situazioni differenti: in merito alla cipollatura solo il fenolo ACETOSIRINGONE ha evidenziato delle differenze significative ($p=0,024$ e $F=5.778$), mostrando maggiori concentrazioni nelle piante cipollate rispetto a quelle sane (fig.6)

Per le due classi di età, 6-10 e 11-15, non sono emerse invece differenze significative tra i composti guaiacilici e siringilici del legno.

La maggiore variabilità strutturale del polimero è dovuta invece al sito di provenienza. La figura Fig.6 mostra le variazioni dei valori medi e delle relative DS in relazione ai 4 siti per i diversi composti che hanno mostrato delle differenze significative: 4-METILGUAIACOLO ($p=0.008$ e $F=3.716$), 4-ETIL GUAIACOLO ($p=0,000$ e $F=10.095$), GUAIACOLO ($p=0.024$ e $F=3.927$), SIRINGOLO ($p=0,008$, $F=5.065$), 4-METIL SIRINGOLO ($p=0,031$ e $F=3.601$), 4-PROPIL SIRINGOLO ($p=0,008$ e $F=5.274$), CIS-4-PROP-1-ENIL SIRINGOLO ($p=0,039$ e $F=3.357$), HOMOSIRINGALDEIDE ($p=0,000$ e $F=22.111$), SIRINGIL-ACETONE ($p=0,000$ e $F=13.951$), 4-PROPIL SIRINGOLO ($p=0,008$ e $F=5.274$).

Il rapporto S/G ($p=0.058$) non è significativo ma è stato introdotto per mostrare come una grande variabilità è data dal sito dei M. Lepini.

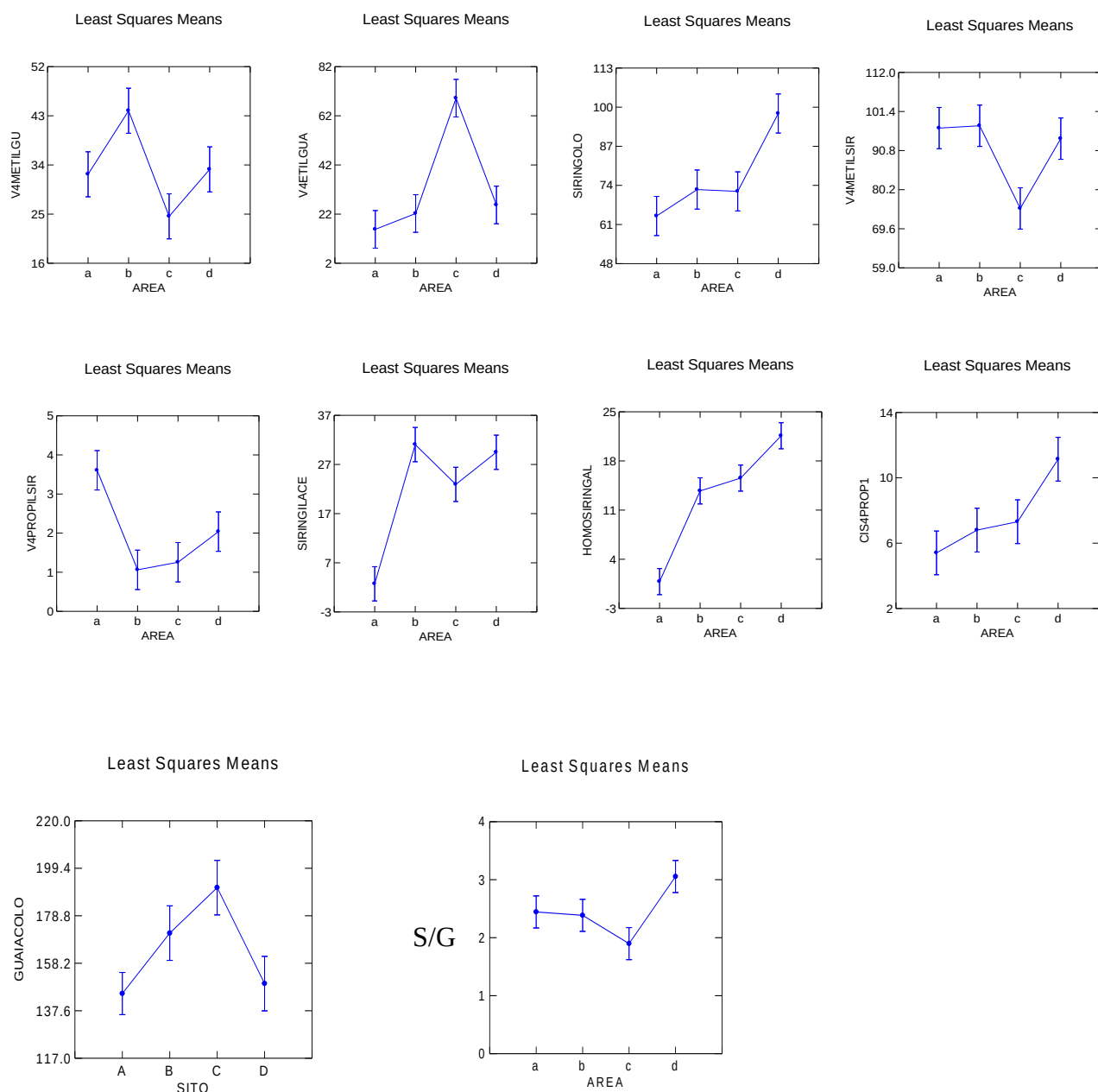


Fig.6: Analisi dei valori medi e delle relative deviazioni standard (ottenuti dalla ANOVA, elaborate dal programma SISTAT 11) di diversi composti in relazione al sito.

Le analisi della sommatoria di Gauaiacolo e Siringolo e del rapporto S/G ricalcano i risultati dei singoli composti della lignina.

DISCUSSIONI

La metodologia utilizzata per l'estrazione della lignina, ha permesso di effettuare misure attendibili e riproducibili su campioni di legno di castagno del Lazio. Le maggiori difficoltà nella determinazione quantitativa della lignina mediante metodo gravimetrico consistono nell'errore dovuto all'incompleta estrazione preventiva degli

estrattivi: la metodologia usata in questo studio ha permesso con elevato grado di precisione di allontanare gli estrattivi con elevato peso molecolare e di determinare con esattezza il contenuto di lignina nel legno di castagno. In questo studio è stato trovato un valore medio del 26% di lignina, in linea con i risultati di numerosi altri ricercatori, i quali hanno trovato che il contenuto medio di lignina nelle latifoglie è del 15-25%, mentre quello delle conifere è del 25-35% (B B.J. Fergus, A.R. Procter, J.A.N. Scott and D.A.I. Goring, 1969; Wood and D.A.I. Goring, 1971; K. Fukazawa and H. Imagawa, 1981). Vidrich et al., (1991) ha trovato che il contenuto medio di lignina nel castagno è del 19.84% circa, usando il metodo TAPPI (T13m). sebbene vi sono delle differenze tra il metodo usato in questo studio e le ricerche di Vidrich, non è escluso che i diversi risultati possano essere dovuti alla variabilità intraspecifica, infatti Pettersen (1984) in 2 differenti ricerche ha trovato valori molto differenti per alcune specie nel contenuto di lignina: per *Fagus grandifolia* ha trovato valori compresi tra 22.0% e 30.9%; tra 20.9% e 28% per *Quercus coccinea*; tra 20.0% e 30.0% per *Lyriodendron tulipifera*. Dunque una certa variabilità all'interno della specie e dei singoli individui è possibile. Inoltre un altro fattore di particolare importanza nella determinazione del quantitativo di lignina è la presenza del legno di reazione, che influenza il quantitativo totale di questo fenolo (Rowell R. M. 2005, Panshin and de Zeeuw 1980, Timell 1982; Timell, 1982; Schwerin, 1958). È importante pertanto effettuare un campionamento corretto per evitare di includere parti di legno con legno di reazione. Nel presente caso di studio è stato analizzato legno sano di piante in cui tale difetto era assente.

Il metodo della pirolisi accoppiata alla GC/MS ci ha fornito informazioni utili per individuare e caratterizzare la molecola della lignina. E' stato possibile individuare 16 composti prodotti dalla pirolisi e valutarne quantitativamente l'abbondanza relativa: le aree percentuali dei picchi dei derivati fenolici di tipo **S** e **G**, sono stati utilizzati per calcolare i rapporti **S/G** di tutti i campioni di castagno; la media dei valori è di 2,52 con un picco massimo di 4,52 e un valore minimo di 1,28. Altri ricercatori hanno determinato i valori di **S/G** per altre specie da cui sono stati ottenuti i risultati seguenti: 1,16 per *Fagus sylvatica* L., 0,16 per *Quercus crenata* L., 0,11 per *Ulmus minor*, 0,07 per *Quercus variabilis*, 0,03 per *Quercus suber* (Petrucchi 2009). Il rapporto **S/G** è un importante indice di durabilità del legno ovvero all'aumentare di tale rapporto aumenta la durabilità del legno (Vinciguerra et al., 2007) è interessante osservare come tale rapporto è molto alto nel nostro studio confermando la naturale durabilità del legno di castagno rispetto a molte altre specie. Dal confronto tra piante sane e piante cipollate non sono emerse differenze significative in merito al quantitativo totale dei composti di Guaiacolo e di Siringolo, né dal rapporto **S/G**. Tuttavia dall'analisi della varianza è emerso che un solo composto del siringolo ha una concentrazione più bassa nelle piante cipollate, tale composto è l'ACETOSIRINGONE.

L'età non sembra influenzare il quantitativo dei singoli composti guaiacilici e siringilici né i valori complessivi di queste due unità e del rapporto **S/G**. La lignina strutturalmente non mostra differenze nelle due classi cronologiche considerate.

Notevoli differenze statisticamente significative invece si riscontrano in relazione al sito. Tali differenze riguardano i singoli composti e la sommatoria del Guaiacolo e del Siringolo. In particolare per il 4-METILGUAIACOLO le 4 aree si distribuiscono tutte in maniera differente, non formando nessun gruppo distinto, per il 4-ETILGUAIACOLO invece l'Area dei Monti Sabatini spiegano la maggior parte della varianza collocandosi al limite superiore dell'intervallo, mentre gli altri siti mostrano valori simili. Per il SIRINGOLO invece le maggiori differenze sono dovute al sito dei

Monti Lepini che differisce in maniera preponderante rispetto alle altre aree ed in particolare rispetto ai Monti Cimini. Per il CIS-4-PROP-1-ENIL SIRINGOLO si osserva la medesima situazione illustrata per il Siringolo.

Il 4-METIL SIRINGOLO mostra differenze soprattutto in relazione al sito dei Catelli Romani che si colloca nell'intervallo inferiore mentre gli altri valori non mostrano differenze di rilievo. Per il composto HOMOSIRINGALDEIDE ancora una volta, è il sito dei Monti Lepini che differisce in maniera sostanziale dagli altri ed in particolare dal sito dei Monti Cimini. Nel SIRINGIL-ACETONE la maggiore variabilità è dovuta al sito dei Monti Cimini che assume valori molto più bassi rispetto agli altri i quali formano un gruppo piuttosto omogeneo. Infine 4-PROPIL SIRINGOLO assume valori elevati nei Monti Cimini e più contenuti negli altri siti.

Per quanto riguarda la sommatoria delle unità di guaiacolo i Monti Cimini e i Monti Sabatini mostrano i medesimi valori e le differenze sono dovute ai Monti Sabatini e soprattutto ai Castelli Romani. Diversa è la situazione del siringolo in cui la maggiore variabilità è dovuta principalmente al sito dei Monti Lepini in cui si raggiungono i valori più alti mentre per gli altri siti si osservano valori piuttosto simili.

Analoghi risultati sono stati osservati attraverso il Kruskal-Wallis Test che evidenzia le medesime differenze, tuttavia è emerso che anche il rapporto S/G varia in maniera significativa tra le diverse stazioni analizzate.

Il sito dei Monti Lepini differisce sostanzialmente dagli altri tre siti per la natura geologica del substrato che è di tipo calcareo rispetto agli altri tre siti che hanno un substrato vulcanico, si potrebbe concludere che la natura geologica influisce sulla tipologia strutturale della lignina ed in particolare della sua porzione siringilica, ovvero essa assume sempre valori elevati in questo sito, anche considerando i singoli composti (fa eccezione il 4-PROPIL SIRINGOLO).

Analogamente sarebbe interessante poter approfondire le differenze tra Monti Cimini e Monti Lepini che sembrano collocarsi sempre ai limiti opposti dell'intervallo statistico considerato. È molto probabile che il clima dei Cimini più oceanico abbia un ruolo importante nel determinare quelle differenze che la sola natura litologica non riesce a spiegare. I 4 siti infatti non differiscono per gestione selvicolturale.

Lo studio delle correlazioni ha messo in evidenza un'interessante connessione tra resistenza a flessione e struttura della lignina, sia il 4 METIL GUAIACOLO, il 4 ETIL SIRINGOLO ed il 4 ALLIL SIRINGOLO mostrano una (seppur debole) correlazione diretta con la resistenza a flessione, ma ciò che colpisce è il ruolo opposto e statisticamente importante di altri 2 fenoli: il 4 ETIL GUAIACOLO ed il 4 METIL SIRINGOLO. I 2 fenoli hanno lo stesso peso nell'influenzare la resistenza a flessione ma segno opposto ovvero il primo influenza in maniera inversa e l'altro direttamente la suddetta resistenza meccanica. Nelle latifoglie le unità di siringolo interessano maggiormente le fibre mentre quelle di guaiacolo si trovano anche nelle fibre ma principalmente nella lamella mediana (K.E. Wolter, J.M. Harkin, T. K. Kirk, 1974; T. K. Kirk, H.-m. Chang, and L.F. Lorenz, 1975). All'interno dei vasi si osserva la medesima distribuzione (Terashima et al., (1986)). Dallo studio di Saka et al., (1988a; 1988b) è emerso che la parete secondaria delle fibre contiene lignina più ricca in residui di siringolo, mentre la parete secondaria dei vasi contiene lignina con più unità di guaiacolo. I raggi parenchimatici contengono in egual misura unità di guaiacolo e siringolo: dunque il maggior apporto di unità di siringolo è contenuto nella S2 delle fibre. Si potrebbe spiegare pertanto perché il siringolo sia correlato direttamente con la resistenza a flessione del legno. Il rapporto inverso che questi 2 composti mostrano

nell'influencare la resistenza a flessione è dimostrata anche dai risultati della PCA che mostrano questi 2 fenoli opposti nel grafico degli autovalori (Fig. 5).

Anche la resistenza a compressione sembra mostrare delle deboli connessioni con alcuni fenoli della lignina sebbene anche in questo caso di segno opposto, in particolare il 4 propil siringolo è correlato negativamente mentre il siringolo ha segno positivo, anche in questo caso la PCA mostra che questi 2 fenoli sono opposti nel grafico degli autovalori (Fig.5). Secondo quanto riportato in bibliografia la lignina dovrebbe conferire resistenza compressione alle strutture xilematiche (Bonamini 1993) ma nel nostro studio abbiamo riscontrato una maggiore influenza sulla resistenza a flessione statica.

Dunque se il quantitativo totale di lignina non sembra avere alcuna influenza sulle caratteristiche meccaniche la sua struttura interna influenza la resistenza a flessione ed a compressione.

Le caratteristiche fisiche del legno mostrano anche esse delle connessioni seppure deboli con la struttura della lignina: in particolare la massa volumica mostra la più elevata connessione statistica con le unità di GUAIACOLO (0.506 al 99% di significatività statistica) mentre il SIRINGOLO mostra una correlazione leggermente più debole (0.496 al 95% di significatività statistica). Anche per la resistenza a compressione si osservano delle connessioni di segno opposto (le unità di 4 PROPIL SIRINGOLO sono correlate negativamente con la massa volumica): ciò è ancora una volta visibile nel grafico degli autovalori della PCA (Fig.5) ed è dovuto alla particolare organizzazione interna dei composti fenolici all'interno del polimero. Molto più contenuti i valori di correlazione con i ritiri dimensionali non si esclude che tali valori possano essere il frutto di una coincidenza statistica più che di un fenomeno scientificamente spiegabile.

CONCLUSIONI

Lo studio ha permesso di quantificare e caratterizzare la lignina presente all'interno del legno di castagno proveniente dai maggiori bacini produttivi della regione Lazio.

Dallo studio è emerso innanzitutto che il valore medio del quantitativo di lignina è di circa 26%.

Sono stati isolati 16 composti prodotti dalla pirolisi della lignina:

GUAIACOLO, 4-METIL GUAIACOLO, 4-ETIL GUAIACOLO, 4-VINIL GUAIACOLO, SIRINGOLO, 4-METIL SIRINGOLO, 4-ETIL SIRINGOLO, SIRING-ALDEIDE, 4-ALLIL SIRINGOLO, 4-PROPIL SIRINGOLO, CIS-4-PROP-1-ENIL SIRINGOLO, TRANS-4-PROP-1-ENIL SIRINGOLO, ACETO-SIRINGONE, SIRINGIL-ACETONE, HOMOSIRINGALDEIDE, SINAPYL ALDEIDE.

Sono stati individuare 16 composti prodotti dalla pirolisi della lignina, ed è emerso che il rapporto medio S/G è di 2,52, valore molto alto che conferma la naturale durabilità del legno di castagno.

La cipollatura non sembra avere alcuna correlazione con la struttura della lignina: la componente guaiacilica e siringilica, e il rapporto S/G non differiscono tra piante cipollate e piante sane. Solo un fenolo, l' ACETOSIRINGONE, mostra maggiori concentrazioni nelle piante cipollate rispetto a quelle sane.

La componente Guaiacil- e Siringil-derivati non differiscono in maniera significativa in merito alle due classi cronologiche considerate.

È invece l'area di provenienza il maggiore fattore di variabilità nella struttura della lignina per molti fenoli; sebbene si ritenga l'insieme congiunto delle caratteristiche stazionali, come responsabili di tali differenze, un ruolo di primaria importanza è da attribuirsi alla componente pedologica. Tali ipotesi tuttavia lasciano aperti interrogativi e spazio per approfondimenti sul ruolo che gioca il sito sulla caratterizzazione chimica del legno.

Infine lo studio ha messo in evidenza l'influenza della struttura della lignina sulle caratteristiche meccaniche in particolare sulla massa volumica, la resistenza a compressione e soprattutto sulla resistenza a flessione statica: sono stati individuati i residui fenolici della lignina che sono correlati in maniera diretta con l'incremento delle caratteristiche tecnologiche e quelli che lo sono in maniera inversa.

BIBLIOGRAFIA

- Alder, E., Lignin Chemistry: Past, present and future. *Wood Sci. Technology*, 11:169-218 (1977).
- Andersson, A., Erickson, M., Fridh, H., and Miksche, G.E. Gas chromatographic analysis of lignin oxidation products. XI. Structure of the bark lignins of hardwoods and softwoods. *Holzforschung* 27:189–193 (1973).
- Bailey A. J., *Ind. Eng. Che., Anal. Ed.*, 8:52 (1936).
- Berlin G.P. and Mark R. E., *Forest Prod. J.*, 16:140 (1965).
- Björkman, A., Studies on finely divided wood. Part 1. Extraction of lignin with neutral solvents. *Svensk Papperstid.* 59:477–485(1956).
- Björkman, A., Studies on finely divided wood. Part 2. The properties of lignins extracted with neutral solvents from softwoods and hardwoods. *Svensk Papperstid.* 60:158–169(1957).
- Browning B. L., *The Chemistry of Wood*, Wiley- Interscience, New York, p.57 (1963).
- Clermont, L.P. Study of lignin from stone cells of aspen poplar inner bark. *Tappi* 53(1):52–57. (1970).
- Catè W. A., Jr., in *Recent Advances in Phytochemistry*, Vol. II (F.A.Loewus and V.C. Runeckles, eds.), Plenum Press, New York, p.1 (1977).
- Crocker E. C. *Ind. Eng. Chem.*, 13:625 (1921).
- Davis N-S Hon and N. Shirashi *Wood and cellulosic chemistry (second edition)* CRC Press 2000.
- Del Rio J.C., Guterrez A., Martinez M.J., Martinez A.T.,. *Py-GC/MS study of Eucalyptus globulus wood treated with different fungi*. *J. Anal. Appl. Pyrolysis.* 58-59:441-452 (2001).
- Dinwoodie J.M., *Tracheid and fibre length in timber. A. Review of Literature*. *Forestry* 34:125-144. (1961)
- Erman M., Dutillul P., Avella-Shaw T., Intra-ring and inter variations of tracheid length in fast-grown versus slow-grown Norway spruce (*Picea abies*). *IAWA J.*19:3-23 (1998).
- Fergus B. J., and Goring D. A. I., *Holzforsch*, 24:113 (1970).
- Fergus B. J., and Goring D. A. I., *Holzforsch*, 24:118 (1970).
- Fergus B. J., Procter A.R., Scott J. A. N, and Goring D. A. I., *Wood Sci. Technol.*, 3:117 (1969).
- Fujii M., Azuma J., Tanaka F., Kato A. and Koshijima T., *Wood Res.*, 68:8 (1982).

- Fukazawa K. and Imakawa H., *wood Sci. Techonol.*, 15: 45 (1981).
- Harada H. and Wardrop A.B., *Mokuzai Gakkaishi*, 6:34 (1960).
- Helander A.B., *Variation in tracheid length of pine and spruce*. Publication 14. Fondation for Forest Products Research of Finland (1933).
- Hepler P.K., Fosket D. E. and E. H. Newcomb, *Am. J. Bot.*, 57:85 (1970).
- Higuchi H., *KASEAA*, 13: 206 (1975).
- Hoffmann G.C. and Timell T.E., *Tappi*, 55:871 (1972).
- Hoffmann G.C. and Timell T.E., *Tappi*, 55:733 (1972).
- Jaakkola T., Makinen H., Sarèn M.-P., Saranpaa P., Does thinning intensity affect the tracheid dimensions of Norway spruce? *Can. J. For. Res.* 35:2685-2697 (2005).
- Kirt T.K., Chang H.-m. and Lorenz L.F., *Wood Sci. Technol.*, 9:81 (1975).
- Kishi K., Harada H. and Saiki H., *Bull. Kyoto Univ. Forests.*, 54:209 (1982).
- Kollmann F.F. P. and Catè W.A., Jr. *Principles of Wood Science and Technology*, Vol. I, Solid Wood, Springer-Verlag, Berlin, p.55 (1968).
- Lange P. W. *Svensk Papperstidn.*, 57:525 (1954).
- Larson P. R., *Tappi*, 52:2170 (1969).
- Larson P.R., *Holzforsch.*, 23:17 (1969).
- Lundegren C., Cell wall thickness and tangential and radial cell diameter of fertilized and irrigated Norway spruce. *Siva Fennica* 38:95-106 (2004).
- Meier H., *Holz Roh-Werkst.*, 13:323 (1955.)
- Meier H., in *Biosynthesis and Biodegradation of Wood Components* (T. Higuchi, ed.), Academic Press, New York, p. 43 (1985).
- Musha Y. and Goring D. A. I., *Wood Sci. Technol.*, 9:45 (1975).
- Makinen, P. Saranpaa, S. Linder Effect of growth rate on fibre characteristics in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.), *Holzforschung* 56:449-60 (2002a).
- Makinen, P. Saranpaa, S. Linder Wood – density variation of Norway spruce in relation to nutrient optimization and fibre dimensions, *Can. J. For. Res.* 32:185-194 (2002b).
- Maule C., *Beitr. Wiss Botanik.*, 4:166 (1900).
- Panshin, A.J. and de Zeeuw, D. *Textbook of wood technology*, McGraw-Hill, New York. (1980).
- Parham R. A. and Côté W. A Jr., *Wood Sci. Technol.*, 5:49 (1971).
- Parham R. A., *Wood Sci.*, 6:305 (1974).
- Perila O. and Heitto P., *Suomen Kemistilehti*, B32:76 (1959).
- Pettersen, R.C. The chemical composition of wood. In: *The Chemistry of Solid Wood*, Rowell, R. M., Editor, Advances in Chemistry Series 20, American Chemical Society. (1984).
- Perila O., *J. Polymer. Sci.*, 51:19 (1961).
- Petrucchi G. Caratterizzazione chimica di tessuti legnosi mediante pirolisi-gas cromatografia/ spettrometria di massa e analisi dei gas svolti. Tesi di dottorato (2009).
- Reconderet J., Marques G., Gutierrez A., Nieto L., Santos I., Jimenez-Barbero J., Martinez A. T. and Del Rio J. C. 10th EWLP, Stockholm, Sweden, August 25-28, 2008.
- Ritter G. J., *Ind. Eng. Che.*, 17:1194 (1925).
- Rowell R.M., Distribution of reacted chemicals in southern pine modified with methyl isocyanate. *Wood Sci.* 13 (2): 102-110 (1980).
- Saka S. and Goring D.A.I., *Holzforsch.*, 42:149 (1988 a).
- Saka S., Hosoya S., F.G. T. St-Germain, and D.A.I. Goring, *Holzforsch.*, 42:79 (1988 b).
- Saka S., Thomas R. J., and Gratzl J. S., *Wood Fiber*, 11:99 (1979).

- Saka S. and Thomas R.J., Wood Sci. Technol., 16: 167 (1982).
- Saraken K.V. and Ludwig C.H. (Eds). Lignins: Occurrence, formation, structure and reactions, Wiley-Interscience, New York. (1971).
- Schwerin G., *Holzforsch.*, 12:43 (1958).
- Schwerin, G. The chemistry of reaction wood. II. The polysaccharides of *Eucalyptus goniocalyx* and *Pinus radiata*. *Holzforschung* 12:43–48. (1958).
- Scott J. A. N., Procter A. R., Fergus B. J. , and Goring D. A. I., Wood Sci. Technol., 3:73 (1969).
- Scott J.A.N. and Goring D. A. I. Wood Sci. Technol., 4:237 (1970).
- Scott J.A.N. and Goring D. A. I., Cell. Chem. Technol., 4:83 (1970).
- Sjostrom E., Wood Polysaccharides. Wood Chemistry, Fundamentals and Applications. Academic Press, New York, pp.51-67 (1981)
- Takabe K., Miyauchi S., Tssunoda R., and Fukazawa K., IAWA Bull., n.s., 13:105 (1992).
- Terachima N., Fukushima K. and Takabe K., *Holzforsch.*, 40 (Suppl.):101 (1986).
- Terron M.C., Fidalgo M.L., Galletti G.C. e Gonzalez A.E. *Pyrolysis-gas chromatography/mass spectrometry of milled wood lignin of two Chilean woods naturally decayed by Ganoderma australe, Phlebia chrysocrea, and a brown-rot fungus*. J. Anal. Appl. Pyrolysis **33**:61-75. (1995).
- Timel T.E., in *Cellular Ultrastructure of Woody Plants* (W. A.Côtè, Jr., ed.), Syracuse Univ. Press, New York, p.127 (1965).
- Timell T.E., *Wood Sci. Techonol.*, 1:45 (1967).
- Timell T.E., *Wood Sci. Techonol.*, 16:83 (1982).
- Vinciguerra V., Napoli A., Bistoni A., Petrucci G., Sgherzi R., Wood decay characterization of naturallyinfected London plane-tree in urban environment using Py –GC /MS, . J. Anal. Appl. Pyrolysis n. 78 – 228-231 (2007)
- Walter K. E., Harkin J. M. and Kirk T.K., *Physiol. Plant*, 31:140 (1974).
- Watanabe Y. and Fukazawa K., *Res. Bull. Hokkaido Univ. Forests*, 50:349 (1993).
- Wood J. R. and Goring D. A. I., *Pulp Paper Mag. Can.*, 72: T95 (1971).
- Wood J.R. and Goring D. A. I., *Microsc J.*, 100: 105 (1974)
- Wu J., Fukazawa K. and Ohotani J., *Holzforsch.*, 46:181 (1992).
- Yang J. M. and Goring D. A. I., *Can J. Chem.*, 58: 2411 (1980).
- Yang J. M. and Goring D. A. I., *Pulp Paper Can. Trans.*, 4:2 (1978).
- Yokoi H., Ishida Y., Othani H., Tsuge S., Sonoda T. e Ona T.,. *Charatterization of whitin-tree variation of lignin components in Eucalyptus camaldulensis by pyrolysis-gas chromatography*. *Analyst*. **124**: 669-674 (1999).
- Zakis G.F. *Functional Analysis of Lignin and Their Derivates*, TAPPI Press, Atlanta, GA (1994).

7. XILOGENESI

PREMESSA E STATO DELL'ARTE

Le caratteristiche microscopiche morfologico-strutturali sono state descritte da vari autori (Grosser, 1977, Schweinguber 1990, Nardi Berti, 2006), si tratta di una latifolia ad anello poroso con vasi primaverili molto grandi (diametri 300-500 micron) ben visibili ad occhio nudo e vasi autunnali molto piccoli, disposti in linee oblique. I vasi presentano perforazione unica, punteggiature intravascolari grandi, punteggiature raggio-vaso grandi. Tille sono presenti nei vasi della zona duramificata. I raggi sono monoseriati e omogenei (Nardi Berti, 2006).

Nonostante l'importanza del castagno nel nostro paese ancora poco si sa invece riguardo la formazione del legno e delle sue interazioni con i fattori ambientali. Analisi dendrocronologiche condotte sull'ampiezza degli anelli e sulla dimensione degli elementi cellulari sono state effettuate per lo più in Svizzera (Fonti & García Gonzalez, 2004; Fonti et al., 2007). Questi studi hanno consentito di comprendere le interazioni, positive o negative dell'ambiente con la formazione degli anelli.

La prima analisi dedicata all'attività cambiale è stata condotta da Ciampi (1951); nello studio viene osservata l'evoluzione della cerchia legnosa in campioni di castagno prelevati dal tronco, dai rami e da polloni. In due differenti località della Toscana Vallombrosa e S. Giusto. Le osservazioni rilevano come tra fine marzo e inizio aprile il cambio si riattivi in entrambi i siti e in data 8 aprile a Colle S.Giusto e l 7 maggio a Vallombrosa si può constatare anche la formazione completa dei vasi primaverili, in una fila a S.Giusto e in due file a Vallombrosa.. La chiusura del cambio invece avviene per entrambi i campioni nella prima metà di settembre (6 settembre a Vallombrosa e il 12 a Colle S.Giusto). Anche le fibre del legno tardivo in queste date appaiono completamente lignificate. Ciampi esegue anche le prime elaborazioni con i dati climatici delle annate di crescita ed individua una diretta relazione dell'effetto di temperature miti con la ripresa vegetativa. La correlazione con le precipitazioni non presenta il medesimo andamento lineare.

Fonti et al. (2007) con studi di analisi d'immagine, identificano nella temperatura il parametro che sembra essere il maggiore responsabile della riattivazione, della velocità e durata dell'attività cambiale. Alla temperatura si deve infatti un'influenza sull'attività delle auxine che determinano il momento in cui le iniziali cambiali iniziano a dividersi e differenziarsi, regolando poi la durata del periodo di espansione cellulare. Da questa dipende infatti la risposta della pianta agli stimoli esterni per la riattivazione dell'attività cambiale. Nei mesi di febbraio e marzo le temperature non hanno ancora raggiunto la soglia necessaria per la ripresa dell'attività cambiale tuttavia inviano segnali alle cellule perché si riattivi il trasporto ormonale. La riattivazione del cambio dipende dai recettori ormonali per l'auxina che sono in grado di reagire agli stimoli della temperatura. Temperature favorevoli alla ripresa vegetativa inducono una risposta nell'auxina e quanto prima queste condizioni si manifestano tanto più lungo sarà il periodo di attività cambiale e, in genere, tanto maggiori saranno le dimensioni degli elementi vasali.

Più articolato è il ragionamento sull' accrescimento annuale del castagno. Infatti alcuni studi condotti in Spagna , sul Massiccio del Montseny (Gènova & Garcia, 1984) hanno confermato l'importanza delle temperature sulla riattivazione dell'attività cambiale, evidenziando però nei mesi estivi, ed in particolare nel mese di agosto, come le precipitazioni, abbiano un effetto positivo sull'incremento legnoso (Gènova & Garcia, 1984).

Nell'ambito della tesi di dottorato lo studio della xilogenei del castagno, è stato affrontato inizialmente, soprattutto per identificare eventuali segnali nell'attività cambiale relativamente alla comparsa della cipollatura. La xilogenesi ha infatti rispetto ad altre metodi di indagine la capacità di fornire delle indicazioni non "ex post" come la dendrocronologia, ma in contemporanea al verificarsi dell'evento.

Procedendo invece con le analisi in realtà ci si è resi conto che, nel caso del castagno, mancavano delle informazioni di base relativamente ai ritmi di attività cambiale e soprattutto al successo o insuccesso di determinate metodologie di campionamento. Partendo da queste premesse le analisi sono state affrontate con obiettivi più allargati rispetto allo scopo principale che possono essere così sintetizzati:

1. mettere a punto il protocollo per lo studio della xilogenesi nel castagno: testare i micro-campionamenti con il Trephor e vedere l'adattabilità del procedimento già messo a punto su conifere e latifoglie a porosità diffusa su una specie ad anello poroso;
2. apportare nuove conoscenze sui ritmi di accrescimento delle piante di castagno in relazione alle fasi di divisione cellulare e differenziazione dello xilema;
3. studiare l'applicabilità di modelli deterministici di accrescimento già ampiamente utilizzati per conifere e latifoglie a porosità diffusa, quali la funzione di Gompertz sul castagno;
4. stabilire le basi e fornire le prime conoscenze sulle relazioni tra attività cambiale e parametri climatici, identificando le linee guida per un ulteriore sviluppo della ricerca.
5. analizzare la genesi del difetto della cipollatura in piante che mostrano un alta percentuale di suscettibilità al difetto, dunque analizzare quali siano le differenze rispetto alla xilogenesi degli alberi ritenuti "sani".

La xilogenesi e l'attività cambiale nelle dicotiledoni

Le piante crescono ogni anno in direzione longitudinale e in direzione radiale. L'accrescimento radiale del legno nelle piante arboree deriva dall'attività di due meristemi laterali: il cambio cribro-legnoso e il cambio subero-fellodermico (fellogeno). Il primo produce xilema verso l'interno e floema verso l'esterno; il secondo origina il periderma, un tessuto secondario protettivo, complesso di sughero (fellema) sulla parte esterna e felloderma sulla parte interna. Le dimensioni di questi tessuti sono di solito molto ridotte rispetto a quelli accumulati dal cambio cribro-legnoso ma la loro importanza non è da meno.

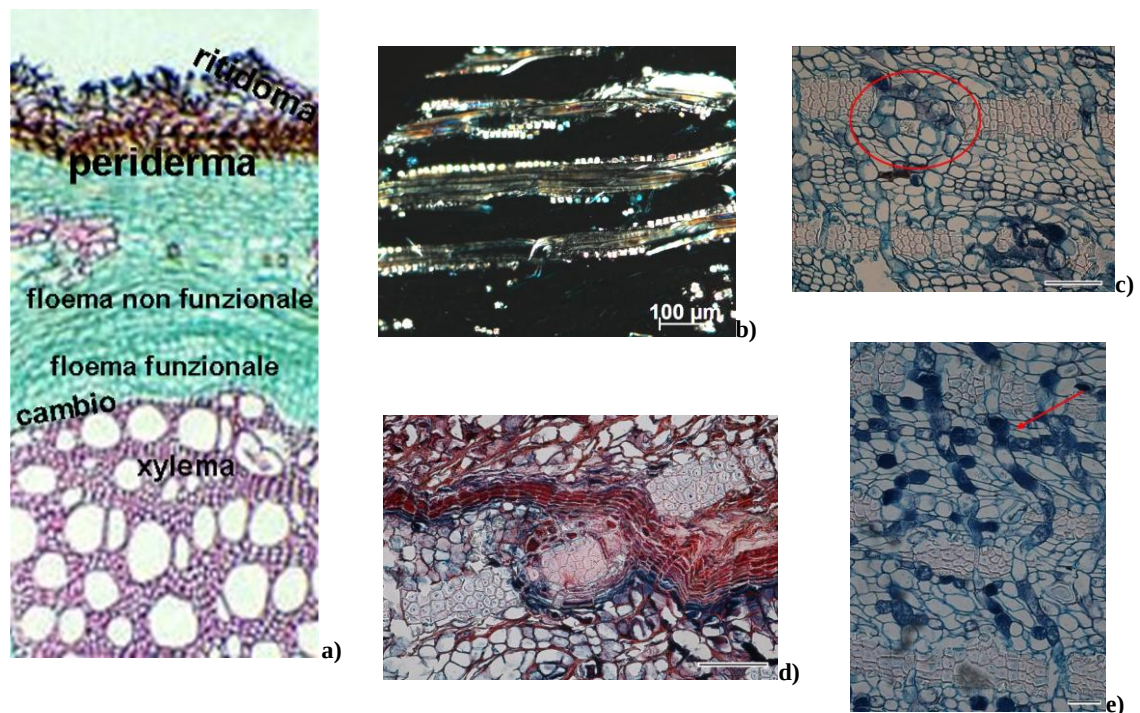


Figura 7. 1 a) sezione di tronco in cui sono distinguibili i vari tessuti; b) fibre del floema viste con filtro a luce polarizzata. Sono riconoscibili i cristalli presenti nelle cellule. Sezione radiale; c) zona di dilatazione dei raggi parenchimatici nel floema funzionale collassato; d) periderma compreso tra i tessuti di floema secondario funzionale e non funzionale. Il cambio subero-fellodermico circonda un gruppo di fibre. Il sughero si riconosce dalle pareti rosse mentre il felloderma dalle pareti blu (20x). e) metaboliti secondari inclusi nei raggi parenchimatici nel floema funzionale di stoccaggio.

Il cambio in genere consta di 4-6 cellule madri ben distinguibili prima della ripresa dell'attività cambiale. Nelle piante adulte il cambio cribro-legnoso costituisce un anello completo lungo la circonferenza del tronco (del ramo o della radice), compreso tra i due tessuti conduttori: lo xilema secondario ed il floema secondario. Lo xilema viene formato da un insieme di processi di sviluppo che iniziano con le divisioni nel cambio e sono seguite da un processo di differenziazione.

In linea generale la vita cellulare di un anello xilematico può essere suddiviso in due momenti: **l'incremento in numero di cellule**, dovuto alle divisioni delle cellule meristematiche e **la differenziazione**. La differenziazione è costituita a sua volta da diverse fasi consecutive: la determinazione della destinazione funzionale finale della cellula, la crescita postcambiale della cellula, la bio-sintesi della parete cellulare secondaria e della lignina e la morte cellulare programmata nelle cellule del sistema conduttore (per lo xilema vasi e tracheidi nelle latifoglie, tracheidi nelle conifere; per il floema cellule dei tubi cribrosi). Queste fasi di differenziazione nel loro complesso prendono il nome di *xilogenesi* e *floemogenesi*.

Le prime cellule prodotte dal cambio, le *cellule figlie*, si trovano in differenziazione postcambiale durante la quale vengono distinte in tracheidi o vasi, cellule parenchimatiche assiali, e cellule parenchimatiche radiali. Segue la fase di espansione cellulare o di distensione che vede l'assorbimento di acqua da parte del vacuolo protoplasmatico che provoca una distensione della parete primaria della cellula ed un

notevole aumento delle sue dimensioni. Intorno ai vasi si differenziano poi le tracheidi vasicentriche con funzione di sostegno. Le fasi di espansione e di maturazione si accavallano. Infatti quasi contemporaneamente all'espansione avviene la deposizione della parete secondaria. Passa invece qualche tempo perché avvenga la deposizione della lignina. Con la completa lignificazione cellulare, o fase di cellula matura, la cellula perde vitalità e muore.

Nei climi temperati delle aree geografiche alle nostre latitudini, il cambio alterna un periodo di attività ad un periodo di dormienza. Durante l'autunno il cambio è spesso attivo fino alla fine di agosto e per tutto settembre, quando poi inizia il periodo di dormienza. Soltanto agli inizi di ottobre si conclude anche la differenziazione nelle ultime cellule del legno con la lignificazione completa del legno di chiusura. La costituzione della parete cellulare al termine della xilogenesi vede un 40-50% di elementi di cellulosa, un 25% di emicellulose e il restante 25-35% costituito da lignina che si va a inserire negli spazi microfibrillari rimasti vuoti nella parete. Tipicamente la deposizione della lignina parte dagli angoli tra due cellule adiacenti procedendo poi verso l'interno del lume cellulare. La lignina inoltre apporta alla cellula non solo una funzione di sostegno ma anche di difesa dagli agenti patogeni, in quanto composto aromatico (Rossi & DesLauriers, 2003a).

Il numero di divisioni nella zona cambiale e postcambiale determina l'estensione dell'anello xilematico e floematico annuale mentre la deposizione della parete secondaria e la conseguente lignificazione rappresentano l'incremento annuo in biomassa delle piante.

Il processo di formazione legnosa come xilogenesi e floemogenesi è la diretta conseguenza dell'interazione tra l'espressione genotipica e l'ambiente. Prima però di decifrare qualsiasi segnale bisogna capire ed identificare quale tipo di cellula contiene l'informazione di cui abbiamo bisogno (Fonti et al., 2007).

MATERIALI E METODI

IL SITO OGGETTO DI STUDIO

Lo studio che segue è stato effettuato nell'area, ricadente all'interno del comune di Soriano, lungo le pendici del Monte Cimino nell'area di Pian dei Fraticelli.

Dati climatici:

I dati climatici sono stati presi dal sito dell'Idrografico della Regione Lazio, servizio fornito dall'Autorità di Bacino per il Fiume Tevere e provengono dalla stazione meteorologica di Soriano nel Cimino. Sono dati medi giornalieri di temperatura massima e minima e di precipitazioni. La stazione si trova ad un'altitudine di 510 m s.l.m. e l'altezza dello strumento dal suolo è di 2 m. I rilievi meteorologici disponibili iniziano dal 1996 (www.idrografico.it).

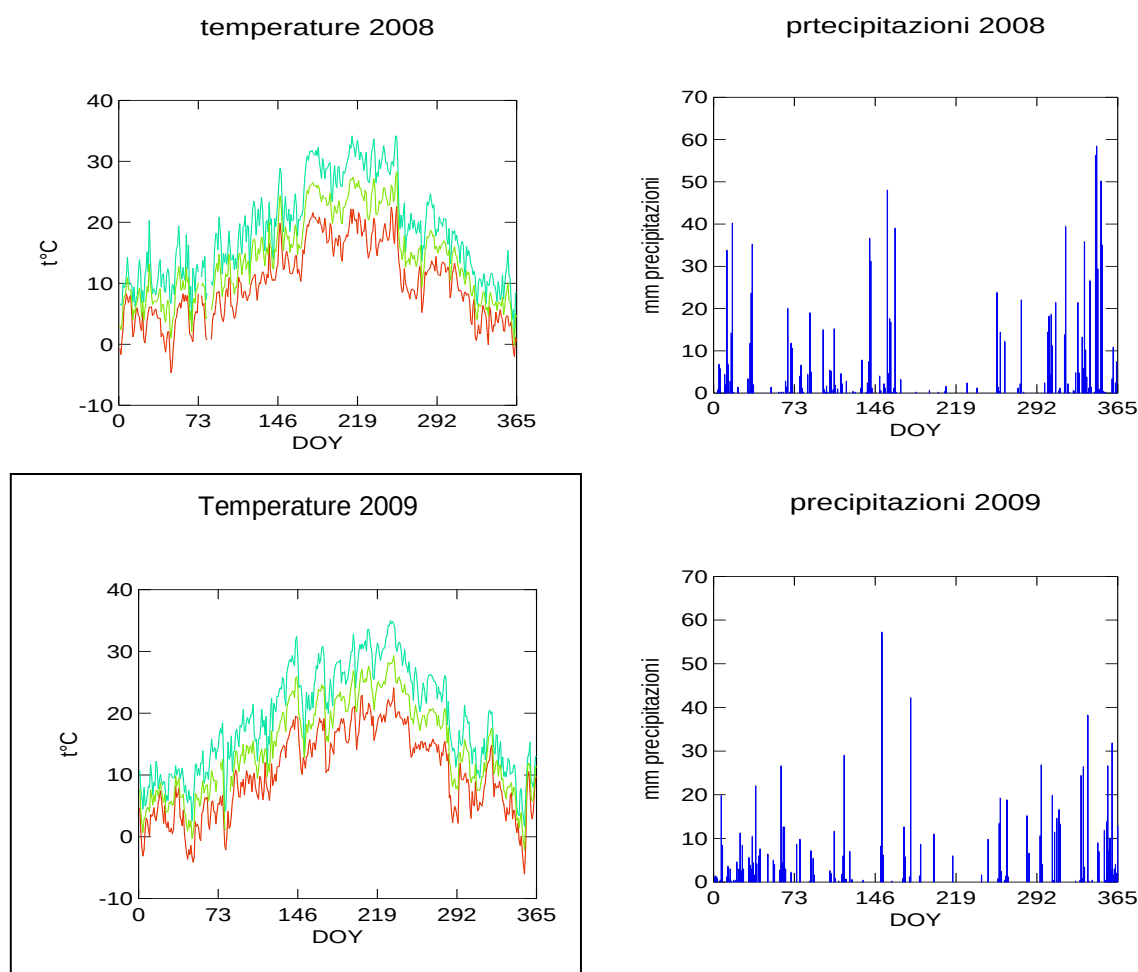


Fig. 7.2 Dati climatici degli anni 2008 e 2009. A sinistra temperature giornaliere minime (rosse), medie (verdi) e massime (blu); a destra precipitazioni giornaliere.

CAMPIONAMENTI:

Il lavoro è stato svolto (per il primo anno di campionamento) in collaborazione con la Biotechnical Faculty (BF) dell'Università di Ljubljana (UL). In particolare con il Department of Wood Science and Technology. Il secondo anno, il 2009, le analisi di laboratorio sono state effettuate a Viterbo del laboratorio di microscopia del DAF e poi portate a termine sempre a Ljubljana.

Sono stati selezionati 10 esemplari di *Castanea sativa* Mill provenienti dal sito di Pian dei Fraticelli sulla sommità del Monte Cimino (VT). Le piante presentano in generale buone condizioni di salute. Gli alberi hanno un'età di 30 anni, un diametro medio di ca. 18 cm ed un'altezza media di ca. 17 m.

Nella stagione silvana 2006/2007 la particella è caduta al taglio di utilizzazione con una successione degli interventi che hanno interessato dapprima la parte più vicina alla strada, nella stagione successiva 2007/2008 è stato ultimato il taglio sul resto dell'area. Le 10 piante (rilasciate dopo il taglio) sono state selezionate in modo da rappresentare

in maniera uniforme sul terreno ceppaie con un alto rischio di cipollatura (ove il numero di polloni cipollati evidenti dalla superficie di taglio era superiore al 75%), e ceppaie “sane” (quelle ceppaie che non presentavano alcun segno di cipollatura dall’analisi dei polloni abbattuti) (Spina et al., 2008). Dalla tabella 2 si evince il numero e il codice di quelle piante appartenenti al 1° o al 2° taglio colturale e che dunque al momento del primo campionamento, il 2008, si trovavano al loro primo (piante A,B,C,D,E,H2) e secondo (piante F,G,L,M) anno dal taglio. Di conseguenza durante i campionamenti del 2009 si sono osservati gli accrescimenti rispettivamente del secondo (piante A,B,C,D,E,H2) e terzo (piante F,G,L,M) anno di crescita.

Anno del taglio di fine turno	Lettera identificativa della pianta	Diametro	Altezza
2007	A	18	18,1
	B	13	13,2
	C	18	14,6
	D	18,5	15,3
	E	17	15,3
	H2	16	14,4
2008	F	20,1	21
	G	21	18,7
	L	22	19
	M	18	17

Tabella 1 Parametri dendrometrici delle dieci piante campionate, in rosso le piante appartenenti a ceppaie cipollate e che presentavano un alto rischio di cipollatura.

Il metodo usato per il campionamento è quello del prelievo di micro carote. Avvalendosi di un Trephor (Rossi et al., 2006b) con diametro delle carotine di 2,4 mm e lunghezza di ca.1,5 cm. i campioni sono stati prelevati a ca. 40 cm dal suolo, con l’intento di evidenziare eventuali anomalie dovute al difetto della cipollatura. I prelievi sono stati effettuati settimanalmente, nel 2008 a partire da metà aprile fino a metà ottobre, con una pausa durante il mese di agosto, e nel 2009 da metà marzo a fine ottobre sempre con scadenza settimanale. Vengono descritte di seguito le varie tappe della raccolta e preparazione dei campioni, eseguite tra le sedi di Viterbo e Department of Wood Science and Technology BF-UL Lubiana (Slovenia).

PRELIEVO: il prelievo consiste nell’immissione del Trephor nel fusto, e nell’estrazione con grande cautela della carotina, facendo ben attenzione che la zona del cambio non sia danneggiata. La carotina viene subito inserita in Eppendorf con etanolo al 60% per mantenere i tessuti intatti e disinfettati da eventuali microorganismi.

PREPARAZIONE: Le carotine ridotte di dimensioni vengono poste all’interno di biocassette, segnate con data e luogo e lettera identificativa della pianta.

DISIDRATAZIONE: le biocassette vengono poste in una gabbia metallica che si aggancia ad un sostegno all’interno del Processatore di tessuti Leica TP 1020-1 per la

disidratazione in soluzioni differenti di etanolo (70%, 90%, 95% e 100%) e bioclear (D-limonene). Il processo complessivo dura circa 20 ore. In assenza del Processatore si è provveduto a una serie di passaggi in vaschette con varie soluzioni per la disidratazione. Nel complesso il processo effettuato manualmente dura ca. 3 ore.

Reagente	Concentrazione (%)	Durata (ore)
etanolo	70	2
Etanolo	70	1,5
Etanolo	90	1,5
Etanolo	90	1,5
Etanolo	95	1,5
Etanolo	100	1,5
Etanolo	100	1,5
Bio-clear	100	1,5
Bio-clear	100	1,5
Bio-clear	100	1,5
Paraffin		2
Paraffin		2

Reagente	Concentrazione (%)	Durata (minuti)
Etanolo	70	30
Etanolo	95	30
Etanolo	100	30
Etanolo/neoclear	1:1	30
Etanolo/neoclear	1:3	30
Neoclear	100	15
Neoclear	100	15
Neoclear	100	15

Tabella 2 Procedimento di disidratazione applicato nei due laboratori: a sinistra le soluzioni e i tempi applicati a Lubiana all'interno del Processatore; a destra le soluzioni e i tempi applicati a Viterbo.

INCLUSIONE: le carotine vengono tolte posizionate sul fondo di un vassoietto metallico per l'inclusione in paraffina. La paraffina viene versata liquida (a 60°C, grazie all'erogatore di paraffina Leica EG 1120) sopra il campione (Leica EG F).

TAGLIO . Per il taglio si è utilizzato l'ultra microtomo Leica RM 2245 e quello a rotazione Reichert-Jung modello 1150/AUTOCUT. Si tagliano film di paraffina con micro sezioni di legno dello spessore di 10 micron, procedendo nella direzione di taglio dallo xilema al floema. Il film di carotine viene quindi immerso prima in acqua fredda per distenderlo. Si raccoglie quindi con un vetrino di passaggio, senza l'albumina e si trasferisce in acqua riscaldata a 40°C (nella vasca Leica HI 1210) dove si effettua il fishing con i vetrini precedentemente cosparsi di albumina. I vetrini numerati e datati vengono lasciati in stufa a 60°C finché la paraffina non si è del tutto sciolta.

RISCIACQUI: il cestello con i vetrini viene risciacquato secondo i seguenti passaggi:

2 turni da 15 minuti in bio-clear al 100%;

3 turni da 15 minuti in etanolo 100%

COLORAZIONE: Si usa la soluzione mista di van der Werf (40 mg di **safranina** e 150 mg di **astra blu** in una soluzione di 100 ml di acqua demineralizzata e 2 ml di acido acetico, van der Werf, 2006). Dopo ca. 10 minuti i campioni sono ben colorati. I vetrini vengono perciò sciacquati con etanolo e vengono tolte le parti inutili o danneggiate dal vetrino. Vengono quindi poste alcune gocce di Euparal, una resina liquida, per la conservazione dei campioni e vengono coperti con un copri vetrino.



Figura 7.3 Fasi della raccolta e della lavorazione dei campioni. a) il Trephor; b) campionamento con lo strumento inserito nel tronco. Girando le braccia si estrae lentamente evitando un taglio brusco dei tessuti nella pianta; c) la carotina viene ridotta di dimensioni; d) si segna la sezione trasversale; e) il Processatore di tessuti Leica TP 1020-1; f-h) inclusione delle carotine in vassoi con paraffina. I campioni vengono maneggiati con pinze elettriche e la paraffina viene mantenuta a 60°C dall'erogatore elettrico Leica EG 1120 ; i) il taglio al microtomo elettronico a rotazione Leica RM 2245; l)cassetta d'acqua a 40°C pronta per il fishing; m,n) colorazione dei vetrini e lavaggi in etanolo e bioclear.

OSSERVAZIONE E MISURAZIONE

I vetrini così preparati sono stati osservati al microscopio ottico e a luce polarizzata Nikon Eclipse 800. Con il microscopio ottico si è potuto seguire la differenziazione cellulare e l'avanzamento della deposizione della parete secondaria mediante il filtro a luce polarizzata

è stato misurato l'incremento settimanale dell'anello legnoso in formazione e sono state contate e misurate le cellule nella zona del cambio. Le misurazioni sono state effettuate su tre file radiali per avere un valore medio che rispettasse la normale variazione della circonferenza del fusto.

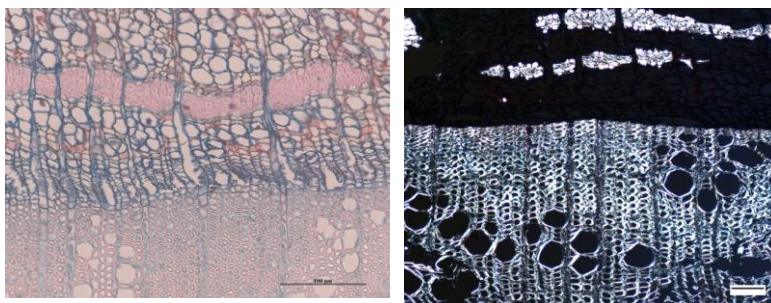


Figura 7.4 Immagini al microscopio ottico a luce normale e con filtro a luce polarizzata.

ANALISI STATISTICHE

I dati della larghezza settimanale dell'anello legnoso sono stati elaborati per commentare il modello di accrescimento della pianta. In particolare si è analizzata la crescita xylematica utilizzando la funzione di Gompertz (cfr. par. curva di Gompertz):

$$y = A * \exp(-\exp(B - k * t))$$

y = larghezza settimanale cumulative dell'anello legnoso;

t = giorno dell'anno;

A = asintoto superiore, che rappresenta la larghezza massima dell'anello;

B = momento sull'asse del tempo che indica l'inizio dell'attività cambiale (2);

k = stima delle dinamiche di crescita e rappresenta l'inclinazione della curva (0.02).

L'applicazione della Funzione di Gompertz è stata effettuata con il programma statistico SSPS a Ljubljana. Nel punto in cui la derivata prima dell'equazione è massima, si ha il massimo incremento nell'accrescimento della pianta, in quel punto. Sempre qui la derivata seconda dell'equazione ha valore pari a zero. Infine per un confronto delle medie dei dati per le dieci piante nei due anni di osservazione è stato applicato il test_t che fornisce il valore P di significatività statistica. Le elaborazioni sono state effettuate con il programma statistico SYSTAT11

ANALISI CLIMATICHE

Sono state utilizzate come serie cronologiche quelle costruite con le analisi dendrocronologiche considerando le sole piante A,B,C,D,E; le serie sono state standardizzate per eliminare il trend dovuto alla gestione agamica del sito. E' stato usato un filtro con una finestra di 7 anni e così è stata eliminata l'autocorrelazione di primo ordine dalla media del Modello AR 1.0.

A causa di dati metereologici incompleti di Soriano nel Cimino, le funzioni di risposta sono state calcolate usando i dati climatici desunti dalla banca dati NOA (Kalnay et al., 1996) i dati sono stati organizzati in matrici di 24 regressori da settembre dell'anno precedente (t-1) a ottobre dell'anno corrente (t). Le funzioni di risposta sono state calcolate per il periodo 1979 -2006 usando procedure dendroclimatiche standard basate sul metodo boot-strap (Guiot, 1990).

I segnali climatici dei singoli mesi si sono dimostrati non significativi, pertanto si è deciso di effettuare dei raggruppamenti in relazione alle temperature ed alle precipitazioni.

È stata effettuata la correlazione semplice tra clima e accrescimento, tra evoluzione dell'ampiezza anulare durante l'anno e temperature minime e massime dei diversi mesi e precipitazioni per isolare quale fosse il fattore climatico preponderantemente influente sulla xilogenesi.

È stata misurata la ANOVA tra le piante cipollate e le piante sane, per mettere in evidenza delle differenze significative tra i due gruppi: in particolare è stata misurata la varianza prendendo in considerazione il numero di cellule prodotte durante l'anno, l'accrescimento medio, il valore massimo e minimo degli incrementi. Inoltre sono state valutate tutte le differenze morfologiche e la precocità o tardività nell'attivazione ed entrata in dormienza del cambio tra i due gruppi di piante.

RISULTATI

IL CAMBIO

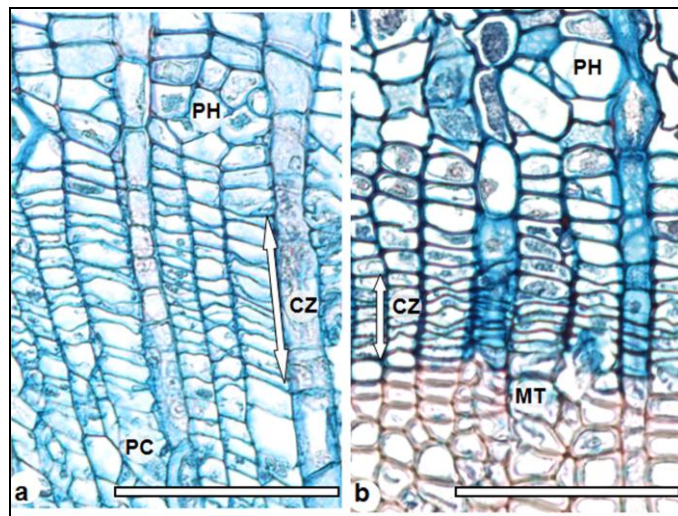


Figura 7.5 Il cambio in due momenti della stagione vegetativa 2008: a) il 25 giugno 2008 durante il momento delle massime divisioni. Qui le cellule hanno pareti sottili e sono molto appressate tra di loro; b) il cambio chiuso e in dormienza il 17 ottobre 2008. si notino le pareti più ispessite; PH- floema; CZ- zona del cambio; PC- cellule dello xilema in differenziazione postcambiale; MT- cellule dello xilema mature.

Nel 2008 non si è riusciti a osservare l'inizio esatto per ciascuna pianta delle divisioni cellulari in quanto i primi campioni sono andati perduti, tuttavia dalle osservazioni è possibile stabilire che l'attività del cambio era già iniziata da fine marzo - inizi aprile, in quanto la maggior parte dei campioni alla prima data del campionamento (16 marzo)

avevano già formato l'anello poroso. Le tabelle n 4, 5, 6 illustrano le fasi principali dell'attività cambiale nei due anni di indagine.

Nel 2009 il momento di massime divisioni non è stato osservato perchè molti campioni sono andati perduti durante la lavorazione e il cambio non è risultato visibile nel periodo di giugno-luglio. E' importante notare solo un picco di divisioni a inizio agosto con 12 cellule nel cambio.

Tabella 4: Attività cambiale e produzione di cellule durante le diverse delle stagioni 2008-2009.

	N di cellule inizio stagione	N di cellule period. Max divisioni	N di cellule period. Chiusura att.	Durata complessiva in giorni
2008	8 cellule (min 5 - max11)	(11-25 giu.) 12 cellule (min 10 -max 15)	fine ago.-10 ottobre 7 cellule (min 4 - max 8)	-
2009	8 cellule (min 5 - max12)	-	3 - 24 sett., 7 cellule (min 5 - max 9)	165 (min 143- max 177)

	marzo	aprile	maggio	giugno	luglio	Agosto	settembre	ottobre
2008	-	8,0±0,6	9,1±0,9	10,8±1,0	10,8±1,1	7,8±1,3		6,6±0,3
2009	7,5±0,7	6,8±0,1			9,9±0,5	9,5±2,2	8,7±0,8	6,9±0,5

Tabella 5 Numero medio mensile delle cellule nel cambio e deviazione standard.

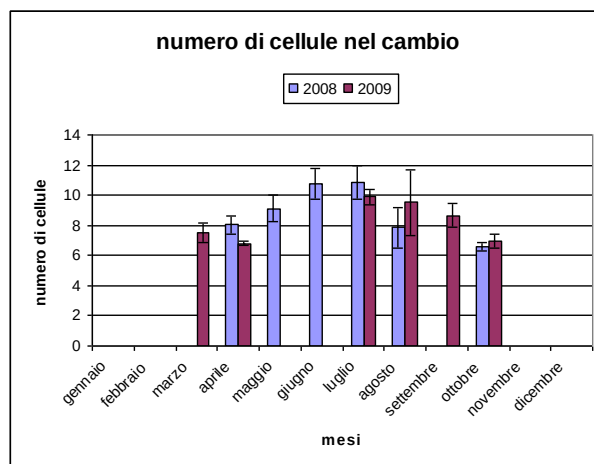


Fig. 7.6 Confronto del numero medio mensile di cellule nel cambio tra 2008 e 2009. A fine stagione in agosto del 2009 il numero di cellule rimane più alto che nel 2008 fino a settembre mentre al momento della dormienza in entrambi gli anni le piante presentano in media 6-7 cellule. In nessun caso il confronto nel numero di cellule delle 10 piante in ogni mese è significativamente differente ($P>0,05$).

Nel 2008 non è possibile fornire un dato certo dei giorni effettivi dell'attività cambiale: come dato di massima (desunto dalla presumibile data di inizio dell'attività vegetativa, ottenuta questa sia dalle osservazioni dei primissimi campioni, sia dallo stato di avanzamento dell'attività cambiale dei campioni integri) si può dire che la durata media di attività cambiale è 162 giorni (da 112 a 182). Nel 2009 non avendo avuto problemi

nel campionamento e nel taglio dei campioni si ha un dato certo di 165 giorni medi di attività vegetativa (variabili da 143 a 177).

Tabella 5: Attività cambiale e produzione di cellule durante le diverse fasi vegetative delle stagioni 2008-2009.

	N di cellule inizio stagione	N di cellule period. Max divisioni	N di cellule period. Chiusura att.	Durata complessiva in giorni
2008	8 cellule (min 5 - max 11)	(11-25 giu.) 12 cellule (min 10 -max 15)	fine ago.-10 ottobre 7 cellule (min 4 - max 8)	-
2009	8 cellule (min 5 - max 12)	-	3 - 24 sett., 7 cellule (min 5 - max 9)	165 (min 143- max 177)

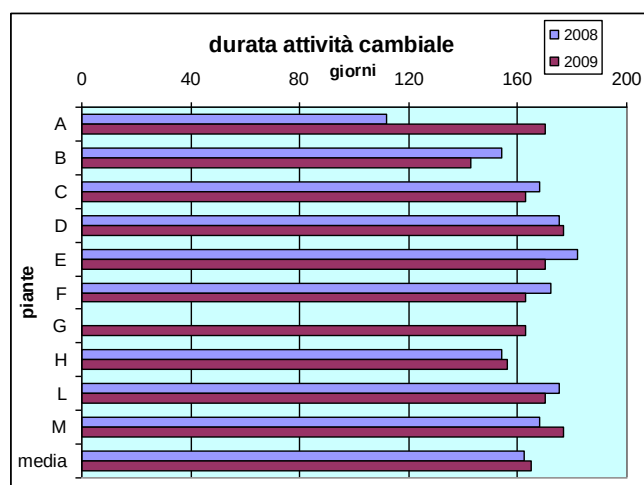


Fig. 7.7 Durata dell'attività cambiale nei due anni a confronto per le dieci piante più la media. La scala temporale indica la durata osservata in giorni.

Ciò che colpisce è l'elevata variabilità individuale all'interno del popolamento più che le differenze medie tra i 2 anni che sono peraltro estremamente simili; all'interno del popolamento gli stimoli climatici ed ambientali in generale influenzano in maniera differente le piante di un sito a tal punto che la durata dell'attività vegetativa possa differire di ben 70 giorni nel 2008 e 34 nel 2009.

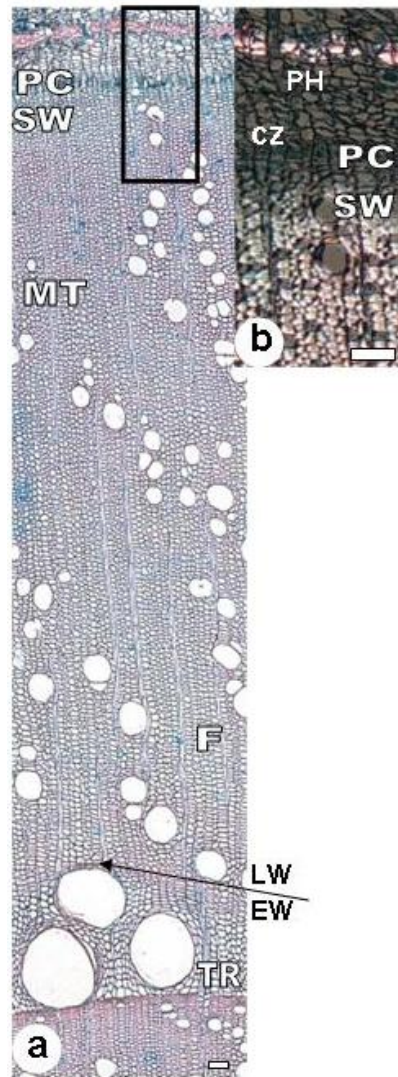


Figura 7.8 anello di xilema nel Castagno (*Castanea sativa*) del 29 Settembre: (a) ultime cellule formate al di sotto del cambio (CZ) sono ancora in fase di crescita postcambiale. (PC); sotto di esse vi sono le cellule in fase di deposizione della parete secondaria (SW), e cellule mature (MT). La freccia suddivide il legno primaticcio (EW) al di sotto, mentre al di sopra con vasi piccoli e a bande tangenziali si individua il legno tardivo (LW). Granparte del tessuto xilematico è rappresentato da tracheidi (TR) attorno ai vasi primaticci e da fibre (F). (b) Dettaglio della parte individuate dal rettangolo in cui è evidente il floema (PH). La scala delle barre è di 100 μm .

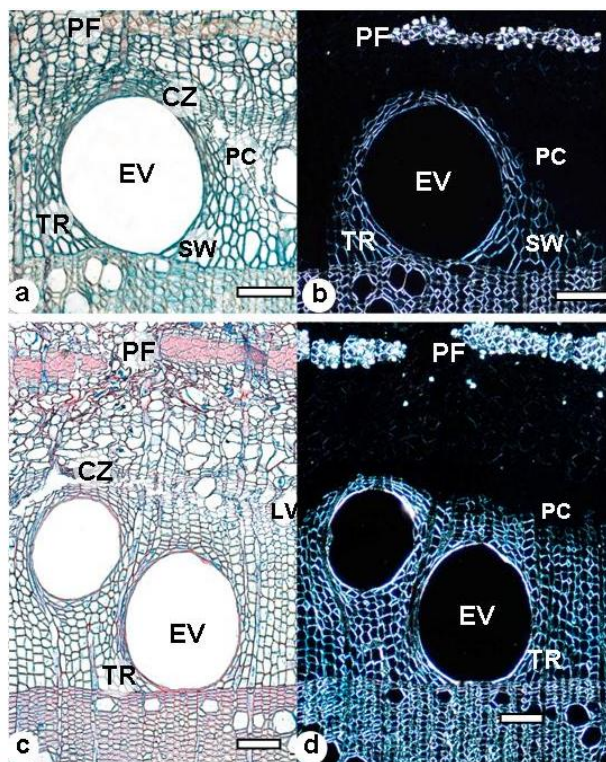


Figure 7.9. Sviluppo di un vaso primaverile nella porzione di legno primaverile dell'anello xilematico nel Castagno (*Castanea sativa*): (a, b) 25 aprile l'espansione del primo vaso primaticcio (EV) e delle tracheidi (TR) è completata ed attorno ad essi è iniziata la deposizione della parete secondaria (SW), (b) le cellule non mostrando birifrangenza sono nella fase di crescita postcambiale. (PC); (c, d) 28 maggio, i primi vasi tardivi (LV) e le cellule intorno e sottostanti la zona cambiale (CZ) sono nella fase PC. (PF) fibre floematiche. La scala delle barre è di 100 μm .

Le tappe fondamentali per il completo sviluppo cellulare, subito dopo le divisioni nel cambio, sono la differenziazione post-cambiale, l'espansione cellulare, la deposizione della parete secondaria e la lignificazione (fasi nettamente distinte nella fisiologia della pianta ma quasi contemporanee nei tempi), la formazione dei vasi tardivi, il termine dell'attività cambiale e l'entrata in dormienza del tessuto meristematico, ed infine la deposizione del legno di chiusura lungo tutto l'anello. La tabella 6 mostra le diverse fasi nei 2 anni di indagine.

Tabella 6: Fasi dell'attività cambiale

	Inizio attività cambiale	Espansione vasi primaticci	Deposizione parete II e lignificazione	Formazione vasi tardivi	Termine divisioni dormienza	Lignificazione dell'anello e formazione di legno di chiusura
2008	-	17- 25 aprile	17- 25 aprile (1 mag. max)	5 giu. (18 mag. - 18 giu.)	21 set. (7 ago. - 10 ott.)	1 ott. (17 set. - 17 ott.)
2009	29 mar. (16 mar. - 7 apr)	10 apr. (31 mar.- 23 apr.)	22apr. (13 apr - 6 mag.)	28 mag. (20 mag. - 5 giu.)	12 sett (3 sett. - 24 set.)	26 set. (17 set. - 1 ott.)

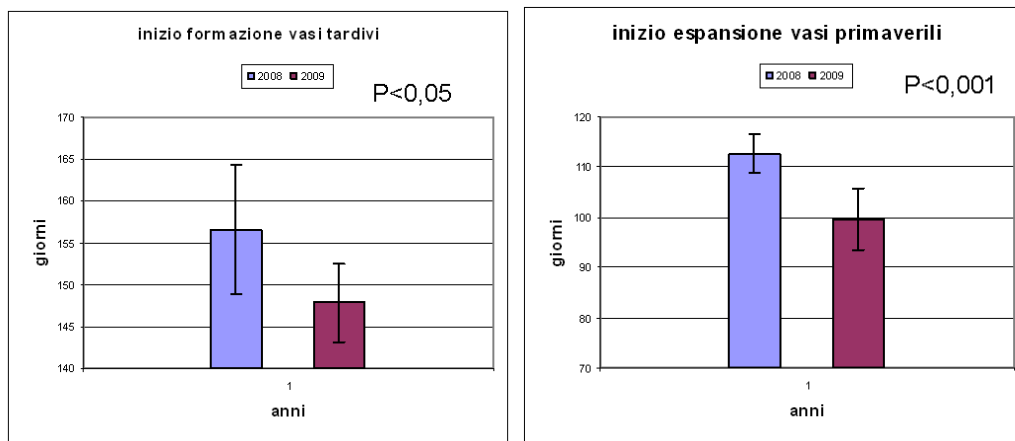


Fig.7.10 Fasi di differenziazione nello sviluppo dello xilema per i due anni a confronto. L'asse del tempo rappresenta i giorni dell'anno in cui si osserva ciascuna fase. Le barre rappresentano il valore medio dei dieci alberi osservati con l'intervallo di deviazione standard. E' indicato inoltre il valore di significatività statistica nel confronto tra i due anni.

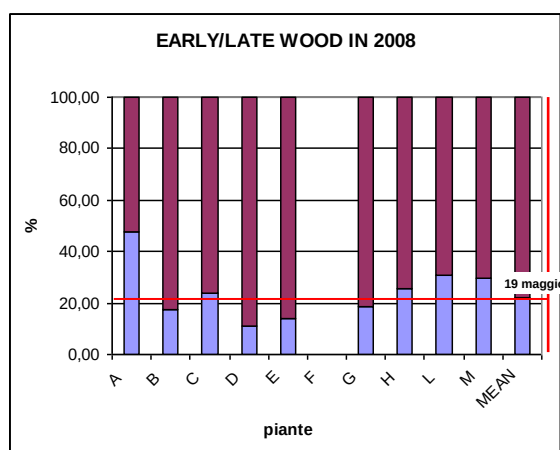
Confrontando la distribuzione dei campioni in ogni stadio della differenziazione e nei due anni vediamo che le uniche differenze statisticamente significative riguardano la fase di formazione dei vasi tardivi e di quelli primaticci (Fig. 7.10) in particolare il 2008 mostra una maggiore precocità media rispetto all'anno successivo.

Fase di espansione	P<0,001
Fase di lignificazione	P>0,05 (P = 0,52)
Fase di formazione vasi tardivi	P<0,05 (P = 0,047)
Fase di chiusura del cambio	P>0,05 (P = 0,30)
Fase di completamento differenziazione	P>0,05 (P = 0,146)

Le misure dell'anello poroso per il 2008 e per il 2009, sono state mediate e portate in valori percentuali, dopo una correzione con i valori ricavati dalla curva di Gompertz. In generale il rapporto di produzione tra legno primaverile e legno tardivo nei due anni e tra le piante è di **1:4 per il 2008 e 1:3 per il 2009**, ma la variabilità tra individui è maggiore.

Un aspetto molto interessante da notare riguarda il momento in cui comincia la formazione del legno tardivo. Si fa riferimento infatti con questo nome al legno in cui sono presenti i primi vasi tardivi, ossia quei vasi con lume cellulare inferiore a 0,01 mm² (Fonti et al., 2007). Per quasi tutte le piante si può verificare che l'ampiezza di porzione porosa dell'anello misurata a fine stagione sull'anello completo, è circa uguale all'ampiezza raggiunta dall'anello nel momento in cui deve iniziare la produzione di vasi tardivi. Questo momento nel 2008 cade il 19 maggio mentre nel 2009 il 18 maggio (Fig. 7.11).

Il tempo che impiega una pianta per formare la porzione porosa dell'anello va dai 20 ai 62 giorni con una media tra i due anni di **43 giorni** (32 in media nel 2008 e 54 in media nel 2009). Per la formazione del legno tardivo occorrono dai 106 a 155 giorni (circa 3 volte il primo) con una media tra i due anni di **129 giorni** (135 in media nel 2008 e 123 in media nel 2009) (Fig.7.12). Nel 2008 però si consideri che avendo mancato il momento di riattivazione del cambio la durata della formazione dell'anello primaverile è un'approssimazione per difetto facendo riferimento come inizio al primo campionamento osservato.



GRAF	early	late	rapporto	
A	47,92	52,08	1	1
B	17,23	82,77	1	5
C	24,01	75,99	1	3
D	10,80	89,20	1	8
E	13,93	86,07	1	6
F				
G	18,75	81,25	1	4
H	25,62	74,38	1	3
L	30,96	69,04	1	2
M	29,82	70,18	1	2
MEAN	21,82	78,18	1	4

GRAF	early	late	rapporto	
A	24,48	75,52	1	3
B	32,77	67,23	1	2
C	28,29	71,71	1	3
D	26,19	73,81	1	3
E	23,27	76,73	1	3
F	19,98	80,02	1	4
G	24,62	75,38	1	3
H	26,52	73,48	1	3
L	17,89	82,11	1	5
M	31,81	68,19	1	2
MEAN	24,28	75,72	1	3

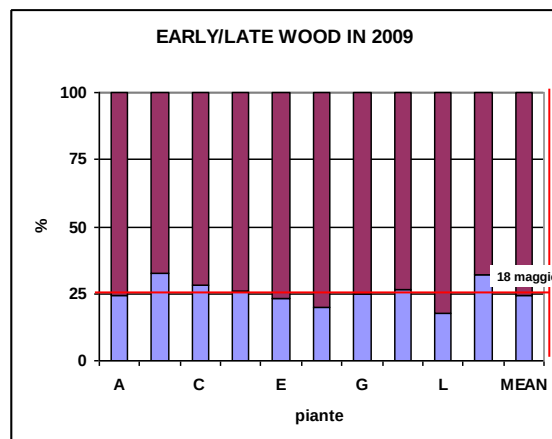


Fig.7.11 Rapporto percentuale tra l'ampiezza espressa in micron tra legno primaverile e legno tardivo nei due anni 2008 e 2009. gli istogrammi rappresentano il rapporto per le 10 piante e le tabelle i relativi valori percentuali e assoluti tra le due porzioni del legno per le 10 piante. Negli istogrammi è anche indicato il giorno in cui la media delle piante presenta la transizione tra i due tessuti, rispettivamente il 19 maggio nel 2008 e il 18 maggio nel 2009

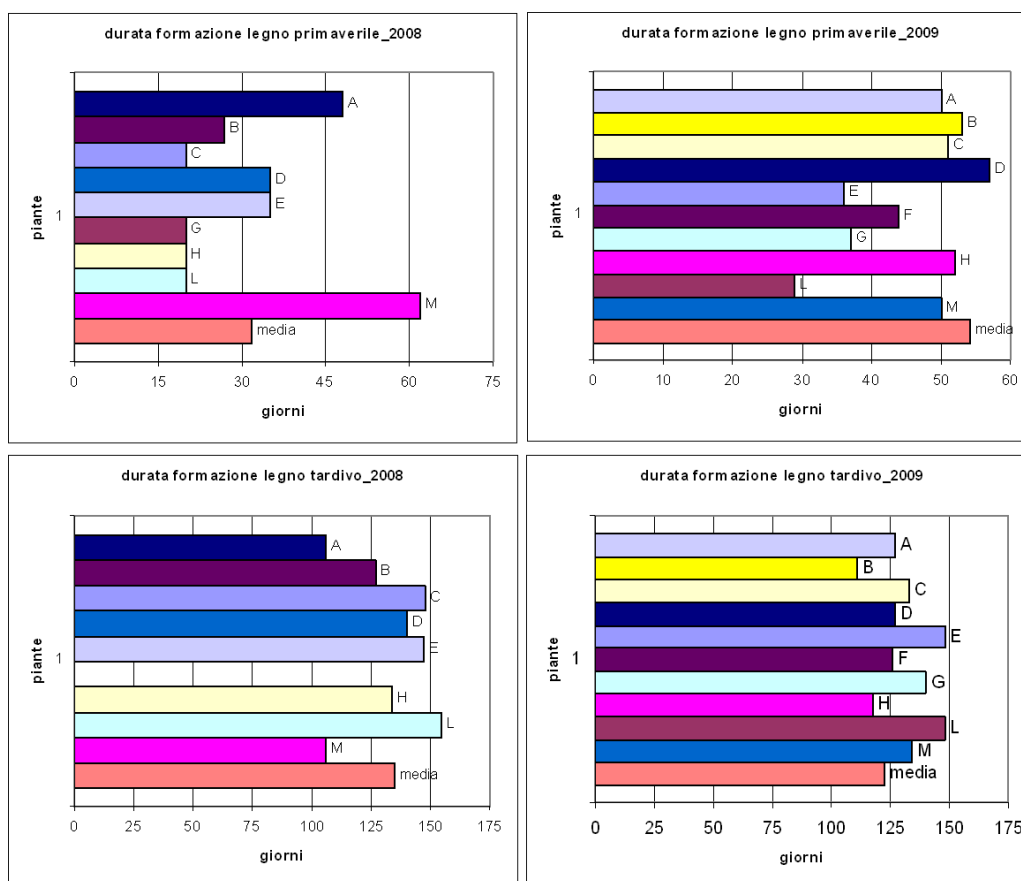


Fig. 7.12 Durata della formazione della porzione di legno primaverile e legno tardivo per le 10 piante nei due anni a confronto. L'asse del tempo rappresenta i giorni di durata delle fasi di produzione e non i giorni dell'anno.

Il confronto con il test_t tra i due anni relativamente alla formazione del legno tardivo, non mostra significatività statistica ($P > 0,05$).

MISURE DI AMPIEZZA DELL'ANELLO LEGNOSO E CURVA DI GOMPERTZ

La variabilità tra gli individui nelle misure di ampiezza dell'anello è risultata evidente soprattutto nel primo anno di campionamento, anno nel quale le piante si trovavano rispettivamente ad 1 (A,B,C,D,E,H) e 2 anni (F,G,L,M) di distanza dal taglio di utilizzazione nella particella.

I valori di ampiezza sono stati poi elaborati con il modello di regressione non-lineare della curva di Gompertz. La tabella 8 mostra i risultati per ciascuna pianta e il valore medio dell'accrescimento durante le 2 stagioni di osservazione 2008 e 2009.

Tab.8: Variabilità negli anni 2008/9 dell'accrescimento delle piante, la culminazione dell'incremento legnoso, la durata in giorni della produzione legnosa, e l'incremento medio settimanale, i valori medi si riferiscono a tutte le piante del sito.

	Accrescimento (μ)		Giorno di culminazione anello legnoso		Durata in giorni della produzione legnosa		Tasso di incre. legnoso med. settimanale	
	2008	2009	2008	2009	2008	2009	2008	2009
A	1027,69	2532,67	138	158	167	182	6	14
B	2410,75	3725,46	158	182	174	190	14	20
C	2907,88	3232,38	149	152	154	154	19	21
D	3323,7	2940,73	184	167	211	160	16	18
E	2764,19	2818,19	168	161	114	143	24	20
F	-	3114,9	-	158	-	129	-	24
G	-	4566,42	-	163	-	211	-	22
H2	2463,98	4111,58	173	161	20	148	-	28
L	6782,98	4053,2	187	148	333	174	20	23
M	5115,05	3331,86	159	152	108	83	47	40
Media	3349,5	3442,7	164,5	160,2	160,1	157,4	20,9	23

Nell'anno 2008 la variabilità di accrescimento tra le piante è superiore al 2009.

Nel 2008 le curve di Gompertz delle piante F e G non danno un risultato accettabile per cui i parametri della funzione non vengono presi in considerazione. La curva di Gompertz individua il giorno di culminazione dell'incremento legnoso (parametro T) che varia nel 2008 tra il giorno 138 - 18 maggio- (p.A) e il giorno 187 -6 luglio- (p.L). Nel 2009 varia tra il giorno 148 – 28 maggio- (p.L) e il giorno 182 – 1° luglio- (p.B). in media il giorno di culminazione nel 2008 è il 164° (13 giugno) e nel 2009 è il 159° (8 giugno), la tabella che segue illustra la variabilità tra le diverse piante nei due anni. La durata in giorni della produzione legnosa, secondo il parametro D della curva di Gompertz nel 2008 varia tra 108 (p.M) e 333 (p.M) giorni con una media di 108 giorni. I valori della pianta H2 non è attendibile. Nel 2009 varia tra 83 (p.M) e 211 (p.G) con un valore medio di durata di 174 giorni. Il parametro R rappresenta il tasso di incremento legnoso medio settimanale delle piante, espresso in micron/settimana. Il tasso di produzione delle piante nel 2008 varia tra 6 micron/settimana (p.A) a 47 micron/settimana (p.M) con una media di 32 micron/settimana. il valore della pianta H di 126 micron/settimana non è attendibile. Nel 2009 il tasso di produzione varia tra 14 micron/settimana (p.A) e 40 micron/settimana (p.M) con una media di 20 micron/settimana.

E' stata fatta la media degli accrescimenti tra le sole piante A, B, C, D ed E che mostrano una maggiore rispondenza al modello di Gompertz nell'anno 2008. Analogamente si è operato per il 2009. Entrambe le curve mostrano andamento simile e larghezza finale non molto differente, nel 2008 arrivando a 3112 micron e nel 2009 a 2990 micron.

Nel 2008 infatti vediamo che la durata complessiva della produzione legnosa è inferiore a quella del 2009. Nonostante ciò l'ampiezza finale, e ancor più il tasso di incremento settimanale, risulta maggiore nel 2008 (con una media di 16,08 μ /settimana) piuttosto che nel 2009 (con una media di 12.98 μ /settimana).

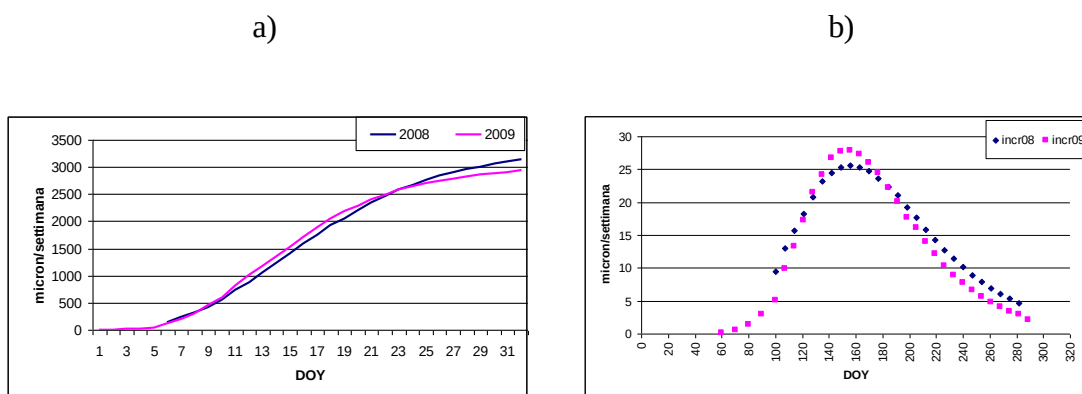


Fig. 7.13 a) curve di Gompertz del 2008 e 2009 messe a confronto. Le curve sono calcolate come la media delle piante A,B,C,D ed E. Viene anche indicato il giorno di fine delle divisioni nel cambio (tondi scuri 2008 e rombi scuri 2009); b) curva derivata prima di Gompertz del 2008 e 2009 a confronto. La curva mostra l'andamento dell'incremento legnoso medio settimanale della media della piante. (tondi scuri 2008, rombi scuri 2009).

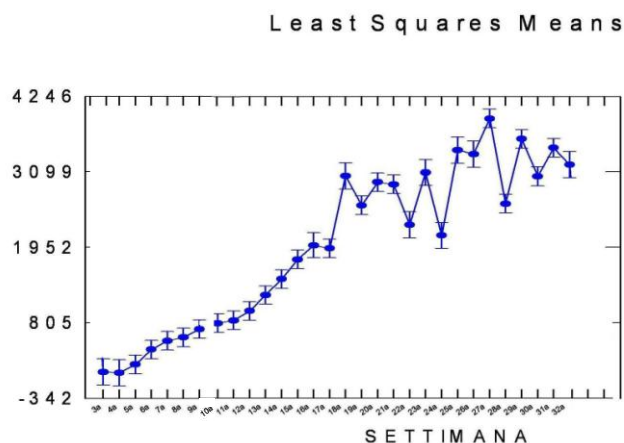


Fig. 7.14: incremento medio settimanale del castagno di Pian dei Fraticelli mediato per le 2 stagioni di crescita 2008-2009

RELAZIONI ACCRESCIMENTO-CLIMA

Le funzioni di risposta elaborate per il castagno mostrano il comportamento della specie nei vari mesi dell'anno rispetto al variare dei parametri ambientali.

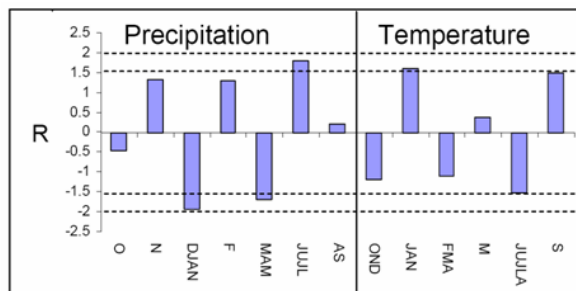


Fig. 7.15 Funzioni di risposta per il castagno dei Monti Cimini.

Si vede perciò che il periodo estivo è abbastanza critico, dato che la pianta presenta una risposta abbastanza positiva alle precipitazioni di giugno e luglio mentre ha una risposta negativa alle temperature di giugno, luglio ed agosto.

Dal calcolo della correlazione semplice tra clima e accrescimento medio annuo è emerso che i fattori preponderanti durante la stagione vegetativa sono le temperature (max e min), mentre nessuna correlazione è stata osservata con le precipitazioni (Tab. 9).

Tab. 9: Correlazione semplice tra valore dell'accrescimento medio e temperature minime e massime e precipitazioni

	Tmax	Tmin	precipitazioni
VM(μ)	0.468(0.001)	0.475 (0.000)	-

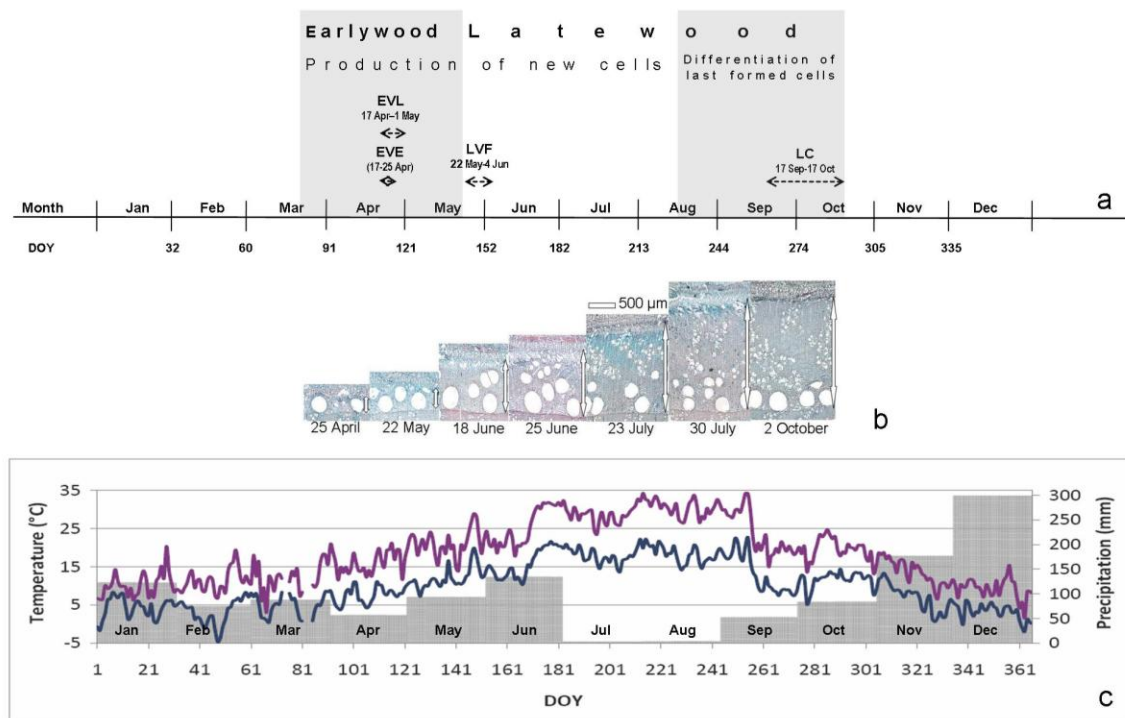


Fig. 7.16. fasi di sviluppo dell'anello xilematico durante la stagione vegetativa 2008 nel castagno (*Castanea sativa*) e dati climatici. (a) (EVE) completa espansione dei primi vasi primatici, (EVL) lignificazione dei primi vasi primatici, (LVF) formazione dei primi vasi tardivi e (LC) completa lignificazione dello xilema; la figura generalizza l'accrescimento basando i dati su 5 alberi. (b) sezione trasversale illustrate lo sviluppo durante tutto il periodo vegetativo. L e frecce mostrano l'ampiezza anulare raggiunta in ciascun periodo analizzato. L'ampiezza anulare prodotta il 30 luglio è approssimativamente la stessa raggiunta il 2 ottobre; tuttavia il 30 luglio la differenziazione delle cellule neo formate non è ancora avvenuta il 2 ottobre invece la differenziazione è completata. (c) diagramma climatico delle precipitazioni e delle temperature minime e massime giornaliere (linee) e somma delle precipitazioni medie mensili per il sito (istogrammi).

Cipollatura

L'analisi della ANOVA non ha messo in evidenza delle differenze statisticamente significative tra piante cipollate e piante sane, sia per quanto riguarda il numero di cellule prodotte dal cambio, che per l'incremento prodotto durante l'anno. Inoltre non sono emerse differenze relativamente ai periodi di attivazione del cambio del floema e relativa dormienza.

DISCUSSIONI

I risultati ottenuti nel lavoro di ricerca svolto negli anni 2008 e 2009 hanno permesso di approfondire la conoscenza sulla xilogenesi del castagno ponendo alcuni punti fermi sulla struttura cellulare della zona cambiale, sui tempi e modalità della formazione del legno primaverile e legno autunnale, differenziazione delle ultime cellule formate nello xilema e, infine, sulla struttura e sviluppo del floema.

INIZIO DIVISIONI NEL CAMBIO

Le divisioni nel cambio, e quindi la formazione di xilema nel castagno di Soriano nel Cimino, presumibilmente iniziano dopo l'ultimo freddo del periodo di marzo, in particolare nella seconda metà del mese. Il dato per l'anno 2008 è stimato (in maniera tuttavia, del tutto attendibile) tenendo conto del livello di sviluppo delle cellule alla data della prima osservazione ed è fatto risalire a fine marzo (28 marzo- 1 aprile), mentre nel 2009 il periodo può essere fissato tra il 16 marzo e il 7 aprile. Questo risultato assume una valenza che può essere attribuita alla specie, poiché trova confronto con le analisi condotte da Ciampi (1951) e dai risultati ottenuti con sistemi di analisi d'immagine da Fonti et al.(2007). Questi due autori identificano nell'ultima settimana di marzo e nella prima di aprile il periodo determinante per la formazione dei vasi primaverili.

E' importante caratterizzare sotto il profilo climatico il periodo in cui si evidenzia l'inizio dell'attività cambiale. Nel mese di marzo le temperature minime si sono mantenute in un intervallo tra 0,4°C e 8°C (2008) e tra -2,1°C e 10,8°C (2009). Questa variabilità identifica una soglia di temperatura media minima di 4 °C relativamente al 2008 e 2009. L'ultimo periodo freddo prima della fine del mese nel 2008 è nei giorni dal 20 al 25 marzo in cui la temperatura scende a 0,7-1,1°C e nel 2009 dal 19 al 26 marzo in cui la temperatura scende a -2,1-4,1°C. Durante tutto il mese il numero di giorni in cui la temperatura minima si mantiene al di sopra dei 4°C è 16 (2008) e 19 (2009) mentre quelli in cui la temperatura minima rimane sotto i 2°C è 7 (2008) e 6 (2009). La temperatura media invece in marzo va da 2 a 13,3°C (2008) e da 1,2 a 13,9°C (2009) e nell'ultima settimana del mese è in un range tra 5,55-13,3°C (2008) come media di 8,4 e tra 7,4-13,9°C (2009) con media 8,7.

Castellani (1978-79), utilizzando le fascette dendrometriche, ha monitorato la crescita radiale di varie specie legnose in Italia, tra cui il castagno. Egli stima che l'inizio della crescita del legno comincia nella prima decade di maggio e finisce nella seconda decade di ottobre. In entrambi i periodi la temperatura media è in un intorno di 8-13°C, in particolare il valore di 8°C è esattamente quello ritrovato nel presente lavoro di ricerca e quindi quello che più verosimilmente è da attribuire all'inizio dell'attività del castagno. Il ruolo della temperatura all'inizio della stagione di crescita è riconosciuto da molti autori, in particolare Rossi et al. (2007) che evidenzia come, nelle conifere di alta quota, la temperature al di sopra di 4-5°C –minima giornaliera- e 8-9°C –media giornaliera- stimolino l'attivazione dei processi fisiologici di xilogenesi.

Queste soglie termiche possono quindi essere considerate un segnale climatico di ampio respiro per l'inizio dell'attività vegetativa di molte conifere e latifoglie che vivono in ambienti molto diversi tra loro.

Dallo studio è inoltre emerso che l'accrescimento e l'attività cambiale sono influenzati maggiormente dalla temperatura (temperatura max e minima), mentre le precipitazioni hanno un ruolo secondario (come si evince dalle correlazioni), è emerso che le temperature del periodo febbraio marzo e aprile sono inversamente correlate con l'accrescimento probabilmente a causa delle gelate tardive, analogamente le alte temperature del periodo giugno luglio e agosto pregiudicano l'accrescimento. Il segnale delle precipitazioni del periodo primaverile mostra valori negativi con l'accrescimento, e così anche il segnale positivo del periodo estivo. Molto importante sarebbe a questo punto identificare le correlazioni con le fasi fenologiche e i parametri climatici che maggiormente condizionano le fasi della xilogenesi. In questa fase sono state appena introdotte alcune riflessioni sulle possibili correlazioni con il clima. Il momento di inizio della stagione vegetativa risulta comunque essere quello maggiormente legato al clima ed in particolare alle temperature del mese precedente la riattivazione del cambio.

Il numero di cellule nel cambio, al primo campionamento nel 2008, è di ca. 8 (tra 5 e 11) così anche nel 2009 (8 con valori compresi tra 5 e 12). Da questi valori si passa poi a valori di ca. 10-12 (7-18) già dagli inizi di maggio e si mantengono su questo tasso per tutta la stagione fino a settembre. A fine stagione, in ottobre, il cambio che ritorna in dormienza presenterà lo stesso numero di cellule di inizio stagione. Nel faggio in Slovenia le cellule del cambio in dormienza sono 4 (3-5) (Cufar et al., 2008a) e nell'acero montano sempre a Lubiana sono 8-9 (Marion et al., 2007). Nelle conifere si è visto che il numero di cellule nel cambio in dormienza non supera le 7. Mancano del tutto riferimenti per latifoglie ad anello poroso. Contrariamente a quanto si verifica in queste due specie in cui si ha un andamento crescente nel numero di cellule del cambio identificato con 10-13 a fine maggio (Cufar et al., 2008a) e nell'acero montano arrivano a 16-17 (Marion et al., 2007), nel castagno dei Monti Cimini il numero di cellule raggiunge il valore di 12 e si mantiene all'incirca agli stessi livelli fino ai primi del mese di agosto (dati osservati nel 2008).

Nel castagno il massimo numero di cellule nel cambio non corrisponde al momento di massimo incremento nella produzione xilematica. Infatti dalla funzione di Gompertz il massimo incremento dell'anello legnoso cade tra la seconda metà di maggio e la prima metà di giugno. In particolare nel 2008 cade il 164° giorno – il 13 giugno- mentre nel 2009 cade il 159° giorno – 8 giugno. I valori di massimo incremento trovano comunque conferma nel castagno negli altri studi eseguiti sull'attività cambiale. Castellani (1978-79) identifica il momento in cui si raggiunge il massimo incremento percentuale (31,2%), a giugno con una temperatura media di 15,2°C e piovge di 70 mm. Molto più difficile è il confronto, relativamente a questo aspetto con le altre specie di conifere e latifoglie. Il periodo di massima produttività per il faggio in Slovenia si ha tra il 21 maggio e il 5 giugno come anche per il faggio in Germania (Cufar et al., 2008°). Rossi per le conifere di alta quota e Gricar per le conifere in Slovenia identificano il periodo di massima produzione con il solstizio d'estate, il 21 giugno, in relazione al fotoperiodo (Rossi et al., 2006a, Rossi et al., 2007; Gricar, 2007).

FORMAZIONE DEL LEGNO TARDIVO E INTERRUZIONE ESTIVA DEL CAMBIO

Il legno tardivo è quello maggiormente responsabile della maggior parte dell'ampiezza dell'anello legnoso. Il tessuto inizia a formarsi nell'ultimo terzo di maggio e continua poi ininterrottamente per 3 mesi, essendo stato osservato fino alla prima settimana di agosto. Questo nonostante nel 2008 l'estate sia stata particolarmente calda e seccata, più che nel 2009, durante la quale si è registrato un certo quantitativo di apporto idrico. Non può quindi essere attribuito al castagno, nelle condizioni in cui è stato studiato, un periodo di interruzione estiva ed una successiva riattivazione

autunnale del cambio. E' certo che dopo il mese di giugno si osserva una riduzione dell'incremento settimanale, così come del resto avviene nella maggior parte delle specie che vegetano in ambiente mediterraneo. Castellani nell'osservare gli incrementi diametrici in piante di fasce fitoclimatiche differenti, per le fasce del *Lauretum* e *Castanetum*, preferisce parlare di basso tasso di incrementi piuttosto che di un vero e proprio arresto durante l'estate (Castellani, 1978-79). Ugualmente van der Werf, osservando *Quercus robur* e *Fagus sylvatica* in Olanda durante la stagione del 2003, famosa per essere stata particolarmente calda e siccitosa, riporta che sia il faggio che la farnia mantengono alti livelli di attività cambiale fino a inizio luglio mentre dal mese di luglio si abbassa sensibilmente il tasso di divisioni, pur continuando la produzione delle cellule. La farnia quindi conclude la stagione a metà estate mentre il faggio ha una ripresa a metà settembre e conclude la produzione a metà ottobre (van der Werf et al., 2007).

La fine delle divisioni del cambio nel castagno dei Monti Cimini avviene tra metà agosto e fine settembre nel 2008 (metà agosto-2 ott.) e tra inizio e fine settembre (3-24 sett.) nel 2009.

Dopo la fine delle divisioni nel cambio la lignificazione delle ultime cellule dello xilema prodotte completano la lignificazione che finisce a metà ottobre, questo sia nel 2008 che nel 2009. La durata dell'attività vegetativa è abbastanza confrontabile con i dati di Castellani (Castellani, 1978-79), meno con il castagno di Ciampi (Ciampi, 1951) che sembra interrompere la produzione cellulare leggermente in anticipo, a metà settembre.

La fine del periodo vegetativo quindi sembra essere piuttosto predeterminata, così come comparabile è la durata del periodo vegetativo in entrambi gli anni a confronto. La durata del periodo vegetativo si è rilevata una durata di 171 giorni ovvero 5 mesi e 21 giorni, nel 2008 e di 176 giorni ovvero 5 mesi e 26 giorni, nel 2009. Ad un periodo vegetativo assimilabile nei due anni, corrisponde però una ampiezza anulare totale leggermente differente (3,13 mm nel 2008 e 2,99 mm nel 2009). Questa differenza è ancor più evidenziata nella misura del tasso di incremento settimanale medio (25 micron/settimana nel 2008 e 15 micron/settimana nel 2009). Ne deriva che la diversa produttività, non è da imputare ad una differente lunghezza del periodo vegetativo quanto ad una diversa accelerazione nelle fasi di vegetazione della pianta.

Questo comportamento potrebbe essere una spiegazione nella differenza di accrescimento delle piante negli anni 2008 e 2009; infatti le precipitazioni di giugno e luglio nei due anni sono state rispettivamente di 137 mm nel 2008 e 90 mm nel 2009 creando quindi una situazione di svantaggio nel 2009 rispetto al 2008. Allo stesso modo le temperature medie dei mesi di giugno, luglio e agosto mostrano una media molto simile, 22°C nel 2008 e 23°C nel 2009, e una cumulata per lo stesso periodo di 2091°C nel 2008 e 2120°C nel 2009. Questo sarebbe perciò un ulteriore segnale di disparità a svantaggio del 2009 rispetto al 2008 trattandosi di una funzione di risposta negativa della pianta al fattore temperatura.

Molto differenti sono i periodi che segnano la cessazione delle divisioni cambiali e la lunghezza del periodo vegetativo nelle diverse specie e in relazione agli ambienti di crescita. Per il faggio in Slovenia la cessazione delle divisioni si ha già tra il 25 luglio e il 16 agosto ed i giorni di attività cambiale sono 100, con chiusura del cambio a metà agosto (Cufar et al., 2008a). Sempre in Slovenia Marion rileva per l'*Acer* 147 giorni di attività cambiale che prosegue fino a metà settembre con la differenziazione cellulare (Marion et al., 2007).

Per quanto riguarda le modalità di accrescimento, particolare menzione meritano i risultati ottenuti con la funzione di Gompertz. Il modello cerca di eliminare la variabilità nell'ampiezza degli accrescimenti lungo l'anello di crescita durante la stagione. Diversi potrebbero essere i modelli da adottare in questa direzione (logistica, Weibull, monomolecolare, Korf, Richards...) ma nonostante ciò la curva di Gompertz pare essere la più indicata per la sua forma asimmetrica sigmoidale (Rossi et al., 2003b; Gricar et al., 2008). Un lavoro sull'adattabilità di diverse funzioni di regressione alle

latifoglie ad anello poroso, quale il castagno è stato intrapreso Vovk (2010) nell'ambito del suo stage Erasmus a Viterbo, ha evidenziato che la curva di Gompertz è la migliore e, tra le altre considerate, quella che meglio si adatta anche alle latifoglie ad anello poroso. La standardizzazione operata nel presente contributo di ricerca, evidenzia però alcune problematiche legate all'anello poroso.

Per quello che riguarda la differenziazione, sono emersi alcuni punti fermi nella xilogenesi del castagno.

La fase di espansione cellulare è quella più delicata perché non essendo le pareti ancora lignificate, spesso non presentano robustezza sufficiente e durante la lavorazione l'informazione viene perduta. L'ispessimento della parete avviene immediatamente sui vasi per consentire l'azione di trasporto e resistenza meccanica. Il dato era stato già osservato anche nelle latifoglie a porosità diffusa (Cufar et al., 2008a), a sottolineare la necessità di una efficienza e sicurezza nel trasporto. L'apposizione della parete secondaria è quasi contemporanea alla fase di lignificazione e si manifesta a non più di una settimana di distanza dalla fase di espansione dei vasi primaverili.

Oltre a una differenza nella mediana (fig. 7.7, 7.11, 7.12) della distribuzione delle piante durante ogni fase di differenziazione nei due anni a confronto, c'è anche una variabilità tra individui di uno stesso anno. Questa variabilità rappresenta la dispersione nel comportamento delle piante rispetto al ritmo generale di differenziazione. La causa nella maggiore o minore dispersione della frequenza delle piante nelle fasi può essere ricondotta sia a fattori endogeni quali la genetica di ogni individuo, sia a fattori esterni alla pianta, quali il livello sociale, l'esposizione ecc. In generale si può dire che l'avanzamento nelle differenti fasi di differenziazione segue un segnale predeterminato all'interno di ogni pianta. L'attivazione di questo processo è dovuta però a un fattore soglia esterno, verosimilmente esso può essere la temperatura. Non è però da escludere che anche altri fattori agiscano sui ritmi di differenziazione, come il fotoperiodo (Rossi & DesLauriers, 2007).

Due comunque sono i fattori da mettere in evidenza riguardo le differenze tra i due anni e all'interno di uno stesso anno per quanto riguarda il comportamento delle piante nelle fasi di differenziazione. La prima differenza rappresenta un generale anticipo osservato nell'anno 2009 in tutte le fasi, che può essere ricondotto a un fattore termico che ha influenzato una traslazione nelle fasi ma che va verificata con correlazioni climatiche e soglie termiche. Il secondo riguarda l'anno 2008 che presenta una maggiore variabilità tra individui soprattutto nelle fasi di espansione dei vasi e lignificazione dell'anello. Appare più predeterminata la fase di espansione dell'anello poroso e di apertura e chiusura del cambio. Anche per capire quali sono i fattori che determinano tali differenze di comportamento tra individui occorrono ulteriori studi sulle correlazioni con il clima.

ANALISI DELLA CIPOLLATURA

Lo studio della xilogenesi del castagno non ha messo in evidenza delle differenze importanti tra piante appartenenti a ceppaie cipollate e piante appartenenti a ceppaie ritenute sane.

Non vi sono differenze nel numero di cellule prodotte dal cambio né sulle dimensioni dell'anello. Sebbene si identifichi la fase successiva agli interventi selvicolturali come a rischio per la comparsa del difetto non sono tuttavia state evidenziate anomalie che possano con certezza essere ricondotte alla formazione della cipollatura. I risultati ottenuti in questa direzione lasciano aperti molti interrogativi e necessitano comunque di un approfondimento con eventualmente altri sistemi di indagine più avanzati di microscopia.

CONCLUSIONI

Il metodo del micro-carotaggio per l'analisi intra-annuale della crescita delle piante è sicuramente il metodo di analisi della xilogenesi che associa alla minore invasività sulle piante i risultati migliori. E' auspicabile che possa essere più ampiamente impiegato anche nelle latifoglie, soprattutto in quelle, come il castagno, che presentano un diametro ridotto perché derivano da un governo a ceduo con turni speso molto brevi. Nel sito in esame, dopo due anni di campionamenti sulle stesse piante, non sono stati osservati evidenti sintomi di deperimento né influenze negative sui ritmi biologici degli individui. La qualità dei campioni ottenuti è in genere buona e la micro-carotina conservata in Eppendorf con etanolo può essere preparata in laboratorio anche dopo molto tempo dalla raccolta senza che la qualità del prodotto ne risenta.

Il lavoro in laboratorio nel complesso mostra buoni risultati. Il protocollo, sviluppato per le conifere, in alcuni passaggi deve essere adattato al legno di latifoglie che presenta caratteristiche diverse. Ad esempio la fase del taglio risulta più difficoltosa per le latifoglie, per di più ad anello poroso, devono pertanto essere adottati opportuni accorgimenti come ammorbidente del materiale, giusto angolo di inclinazione etc, ed in ogni caso frequentemente non si ottengono buoni campioni per il collasso del legno primaticcio della porzione porosa dell'anello. La scarsa qualità di alcuni vetrini soprattutto nei mesi di giugno e luglio in cui le cellule del cambio sono più delicate, può forse essere dovuta al mancato uso di un idoneo fissativo per irrobustire le pareti cellulari. Si pensa che l'utilizzo di un micro carotatore con diametro superiore potrebbe dare migliori risultati per le latifoglie ad anello poroso. Certamente gli studi xilogenetici presentano un limite nel grande impegno di tempo nelle fasi di raccolta dei materiali e di lavorazione in laboratorio.

Gli svantaggi del metodo vengono però compensati dalla grande mole di dati ritraibili da uno stesso campione analizzato al microscopio. Oltre alle misure di accrescimento ad intervalli settimanali, sono anche osservabili le differenti fasi di sviluppo cellulare e la formazione dei tessuti legnosi. Come la deposizione della parete secondaria delle cellule e la lignificazione delle pareti.

Informazioni che sono ad elevata risoluzione temporale, permettono di supportare le decisioni in maniera tempestiva, monitorando lo stato di salute delle piante e la risposta alle variazioni ambientali, permettendo anche il confronto con conifere e latifoglie e con individui della stessa specie che crescono in situazioni stazionali differenti.

Lo studio eseguito sul castagno dei Monti Cimini ha permesso di ottenere dei primi punti di partenza per monitorare i ritmi e le modalità dell'attività vegetativa della specie, indicando il momento di inizio dell'attività vegetativa nella seconda metà di marzo ed i primi di aprile, il momento di massimo incremento nel mese di giugno, la chiusura dell'attività a fine settembre, con una durata media di 165 giorni.

Inoltre ha evidenziato un ispessimento della parete ed una lignificazione che procede con maggiore velocità a sostegno dei vasi primaticci, la lignificazione delle ultime cellule dell'anello che si protrae oltre la chiusura del cambio ed infine una maggiore variabilità nel comportamento degli individui durante i mesi estivi e a fine stagione, soprattutto nell'anno 2008 (fasi di formazione dei vasi tardivi e di fine della lignificazione dell'anello).

Gli studi hanno anche evidenziato delle differenze nei ritmi di accrescimento tra l'anno 2008 e l'anno 2009, tuttavia le differenze ravvisate non sono elevate e si discostano di poco in termini temporali e di incremento.

Molti sono però gli sviluppi che devono essere ancora approfonditi per evidenziare le modalità per standardizzare gli accrescimenti delle piante e soprattutto per stabilire correlazioni valide con i parametri climatici.

Le prime elaborazioni hanno evidenziato un ruolo importante delle temperature in genere soprattutto nelle componenti del cambio (momento di ripresa delle divisioni), ma non si esclude un ruolo importante delle precipitazioni in particolare quelle di giugno e luglio nel ritmo di accrescimento dell'ampiezza anulare e nel tasso di formazione dei vasi tardivi.

In questo senso vanno quindi testati modelli che attualmente non sono stati sufficientemente elaborati nelle latifoglie ad anello poroso, e che in unione con lo studio delle fasi fenologiche possono fornire risultati estremamente innovativi nel campo delle ricerche ambientali.

Sviluppi sono anche da attendersi in relazione alla produttività delle piante.

Dallo studio è emerso che le osservazioni sulla formazione dell'anello con le metodologie adottate non sono capaci di indicare delle anomalie riconducibili alla cipollatura, ovvero le piante che mostravano una predisposizione al difetto non hanno mostrato differenze significative nella xilogenesi rispetto a quelle prive di cipollatura.

BIBLIOGRAFIA

Alfieri, F. J., Evert, R.F., 1968. Seasonal development of the secondary phloem in *Pinus*. American Journal of Botany, 55: 518–528.

Alfieri, F. J., Evert, R.F., 1973. Structure and seasonal development of the secondary phloem in the Pinaceae. Botanical Gazette, 134: 17–25.

Antonova G.F., Stasova V.V., 1993, Effects of environmental factors on wood formation in Scots pine stems, Trees 7, 214-219.

Antonova G.F., Stasova V.V., 1997, Effects of environmental factors on wood formation in Larch (*Larix deciduas* Ldb.) stems, Trees 11, 462-468.

Antonova, G.F. and Stasova, V.V., 2006. Seasonal Development of Phloem in Scots Pine Stems, Russian Journal of Developmental Biology, 37, 306–320.

Atti IV Convegno Nazionale Castagno, 2005, luogo del convegno Montella (Av), 20-22 ottobre 2005.

Bernetti, Selvicoltura speciale, 1995, UTET, Torino.

Ciampi C., Evoluzione della cerchia legnosa in *Castanea sativa* Mill., 1951, Nuovo Giornale Botanico Italiano, n.5, vol. LVIII, n.2.

Clemenzi F., Xilogenesi su Conifere e Latifoglie dei Monti Cimini: Metodologia e primi risultati”, Elaborato finale in tecnologie del legno, a.a. 2008-2009, Università degli Studi della Tuscia, Facoltà di Agraria.

- Corona E., Romagnoli M, 2008, Dendrocronologia per I Beni Culturali e l'Ambiente, Firenze, Nardini Editore, p.15-16.
- Cufar K., Prislan P., Gricar J., 2008a, Cambial activity and wood formation in beech (*Fagus sylvatica*) during the 2006 growth season, Wood Research, 53(4): 1-12.
- Cufar K., Prislan P., de Luis M., Gricar J., 2008b, Tree-ring variation, wood formation and phenology of beech (*Fagus Sylvatica*) from a representative site in Slovenia, SE Central Europe, Trees.
- Davis, J.D., Evert, R.F. 1968. Seasonal development of the secondary phloem in *Populus tremuloides*. Botanical Gazette 129 (1): 1-8.
- DesLauriers A., 2003, Dynamique de la croissance radiale et influence météorologique quotidienne chez le sapin baumier (*Abies balsamea* (L.) Mill.) en forêt boréale, PhD Dissertation, Chicoutimi, Université du Quebec a Chicoutimi.
- DesLauriers A., Morin H., 2004, Intra-annual tracheid production in balsam fir stems and the effect of meteorological variables, Trees 19, 402-408.
- DesLauriers A., Rossi S., Anfodillo T., Saracino A., 2007, Cambial phenology, wood formation and temperature thresholds in two contrastino years at high altitude in southern Italy, Tree Physiology 28, 863-871.
- De Luis M., Gricar J., Cufar K., Raventos J., 2007, Seasonal dynamics of wood formation in *Pinus halepensis* from dry and semi-arid ecosystems in Spain", IAWA Journal, Vol.28 (4), 389-404.
- Derr W.F., Evert R.F., 1967. The cambium and seasonal development of the phloem in *Robinia pseudoacacia*. American Journal of Botany 54 (2): 147-153.
- Evert R. F., 1963, Ontogeny and structure of the secondary phloem in *Pyrus malus*, America Journal of Botany, 50:8-37.
- Evert R. F., Murmanis L., 1965, Ultrastructure of the secondary phloem of *Tilia*, America Journal of Botany, 52:95-106.
- Fonti P., 2002, Investivations into ring shake of chestnut, Dissertation n. 14732, Bellinzona-Zurich.
- Fonti P., Braeker O., Giudici F., 2002, Relationship between ring shake incidence and earlywood vessel characteristics in chestnut wood, IAWA Journal, Vol.23.
- Fonti P., Giudici F., Conedera M., 2002, La cipollatura nel legno di castagno: un problema centrale per il rilancio della castanicoltura da legno di qualità, Schweiz. Z. Forstwes., 153, 430-436.
- Fonti P. & Garcia-Gonzalez I., 2004, Suitability of chestnut earlywood vessel chronologies for ecological studies, New Phytologist, 163: 77-86.
- Fonti P., Solomonoff N. Garcia-Gonzalez I., 2007, Earlywood vessels of *Castanea sativa* record temperature before their formation, New Phytologist, 173: 562-570.

- Forster T, Schweingruber FH, Denneler B, 2000, Increment puncher: a tool for extracting small cores of wood and bark from living trees. *IAWA* 21: 169-180.
- Freund H., "Handbuch der mikroskopie in der technik", 1952, Umschau verlag- Frankfurt am main.
- Garcia-Gonzalez I., Fonti P., 2006, Selecting earlywood vessels to maximize their environmental signal, *Tree Physiology*, 26, 1289-1296.
- Gellini R., Grossoni P., *Botanica forestale*, vol.II. Angiosperme, CEDAM , 1997, p.124-129.
- Génova R., Garcia C., 1984, Analisis dendroclimatológico (*Castanea sativa* Mill.) en el Macizo del Montseny, *Mediterranea Ser. Biol.*, n.7, 67-82.
- Gricar J., "Xylo- and Phloemogenesis in Silver fir (*Abies alba* Mill.) and Norway spruce (*Picea abies* (L.)Karst.)", Professional and Scientific Works, Slovenian Forestry Institute, Ljubljana, 2007.
- Gricar J., Zupancic M., Cufar K., Oven P., 2007a, Wood formation in Norway spruce studied by pinning technique and intact tissue sampling method, *Wood Research* 52 (2): 1-9.
- Gricar J., Zupancic M., Cufar K., Oven P., 2007b, Regular cambial activity and xylem and phloem formation in locally heated and cooled stem portions of Norway spruce, *Wood Science and Technology* (41), 6: 463-475.
- Gricar J., Levanič T., Oven P., 2008a, Parameters of Gompertz function for evaluation of wood formation dynamics expressed as number of cells or measured widths in Norway spruce, *Wood Research*, 53(4): 1-10.
- Gricar J., Cufar K., 2008b, Seasonal dynamics of Phloem and Xylem formation in Silver fir and Norway spruce as affected by drought, *Russian Journal of plant physiology*, vol. 55, no. 4, pp. 538-543.
- Grosser D., *Die Hoelzer Mitteleuropas*, 1977, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York: 288 str.
- Hartig T., 1837, Vergleichende Untersuchungen ueber die Organisation des Stammes der einheimischen Waldbaume Jahresber Fortsche Forstwiss Forstl Naturkd, 1:125-168.
- Horacek P., Slezingerova J., Gandelova L., 1999, Effects of environment on the xylogenesis of Norway spruce (*Picea abies* (L.)Karst.), in: *Tree-Ring Analysis. Biological, Methodological and Environmental Aspects* (ed. R.Wimmer, R.E. Vetter), pp. 33-54, CAB International, Oxford.
- Krže L., Gricar J., Cufar K., 2007, Relation between xylem and phloem increment in Silver fir (*Abies alba* Mill.), *Zbornik gozdarstva in lesarstva* 84, s. 3-10
- Lawton, J.R., 1972, Seasonal variations in the secondary phloem of some forest trees from Nigeria. II. Structure of the phloem, *New Phytologist* 71(2), 335-348
- Lawton, J.R., 1976, Seasonal variation in the secondary phloem from the main trunks of willow and sycamore trees, *New Phytologist* 77(3), 761-771

Lo Monaco A., 1984, Un po' di storia sulla faggeta del Monte Cimino (Viterbo), *Monti e Boschi*, 3:38-40.

Lupi C., Morin H., DesLauriers A., Rossi S., 2010, Xylem phenology and wood production. Resolving the chicken-or-egg dilemma, *Plant , Cell & Environment*.

Marion L., Gricar J., Oven P., 2007 Wood formation in urban Norway maple trees studied by the micro-coring method, *Dendrochronologia*.

Nardi Berti R., La struttura anatomica del legno, II edizione, CNR-IVALSA, 2006.

Pividori M., L'analisi dendroecologica nello studio della dinamica dei cedui-Analisi dell'accrescimento iniziale di polloni di Castagno nel periodo 1959-1994 in un'area del Piemonte nord-occidentale, 1° Congresso SISEF, 4-6 giugno 1997.

Raven P.H., Evert R.F., Eichhorn S.E., "Biologia delle piante", 6°ed., 2006, Zanichelli.

Roccato P., La faggeta del Monte Cimino: analisi del dinamismo strutturale, 2005, Tesi di laurea, DAF, Facoltà di agrarian, Università della Tuscia, a.a. 2004-2005, Viterbo.

Romagnoli M., Nocetti M., Sarlatto M., Evangelistella L., 2003, Dendrochronological assessment of chestnut (*Castanea sativa* Mill.) for dating purposes in Central Italy, *Dendrochronologia*, 21/3: 117-130

Romagnoli M., Codipietro G., 1996, Pointer years and growth in Turkey oak (*Quercus cerris* L.) in Latium, *Annales des Sciences Forestières*, 53: 671-684

Rossi S. & DesLauriers A., 2003a, La formazione dell'anello legnoso nelle piante forestali: dinamismi e metodi d'analisi, *Monti e Boschi*, n.5.

Rossi S., DesLauriers A., Morin H., 2003b, Application of the Gompertz equation for the study of xylem cell development, *Dendrochronologia* 21/1, 33-39.

Rossi S., DesLauriers A., Anfodillo T., Morin H., Saracino A., Motta R., Borghetti M., 2006a, Conifers in cold environment synchronize maximum growth rate of tree-ring formation with day length, *New Phytologist* 170(2):301-310.

Rossi S., Anfodillo T., Menardi R., 2006b, Trephor: a new tool for sampling microcores from tree stems, *IAWA Journal* 27 (1):89-97.

Rossi S., DesLauriers A., Anfodillo T., Carraro V., 2007, Evidence of threshold temperatures for xylogenesis in conifers at high altitudes, *Oecologia*, 152:1-12.

Rossi S., DesLauriers A., 2007, Scale temporali d'azione di temperature e fotoperiodo sulla xilogenesi al limite superiore del bosco, *Forest@*.

Rossi S., DesLauriers A., Anfodillo T., Carrer M., 2008a, Age-dependent xylogenesis in timberline conifers, *New Phytologist*, 177:199-208.

- Rossi S., DesLauriers A., Anfodillo T., De Zan C., Nocetti M., 2008b, Lo studio della xilogenesi: dal campionamento all'analisi dei risultati, in "Dendrocronologia per i Beni Culturali e l'Ambiente", Cardini Editore, Firenze.
- Schmitt U., Moeller R., Eckstein D., 2000, Seasonal wood formation dynamics of beech (*Fagus sylvatica* L.) and black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) as determined by the "pinning" technique, *Journal of Applied Botany*, 74:10-16.
- Schweingruber F.H., 1990, Mikroskopische Holzanatomie: Formenspektren mitteleuropaischer Stamm-und Zweighoelzer zur Bestimmung von rezentem und subfossilem Material Birmensdorf: Eidgenoessische Anstalt fur das Forstliche Versuchswesen: 226 str.
- Spina S., Agrumi M., Bistoni A., Romagnoli M., 2008, "Cipollatura del castagno. Un caso di studio nei Monti Cimini (Vt)", *Sherwood*, n.143.
- Spina S., Romagnoli M., 2010, Characterization of ring shake defect in chestnut wood in the Lazio Region (Italy), *Forestry* 2010 83: 315-327.
- Trockenbrodt M., 1990, Survey and discussion of the terminology used in Bark Anatomy, *IAWA Bulletin* 11, 141-166.
- Tucker, C. M., Evert, R. F. 1969, Seasonal development of the secondary phloem in *Acer negundo*, *American Journal of Botany*, 56 (3): 275-284.
- Vaganov E.A., 1996, Analysis of seasonal tree-ring formation and modeling in dendrochronology, *Tree Rings, RADIOCARBON* 73-87.
- van der Werf G.W., Sass-Klaassen U., Mohren G.M.J., 2007, The impact of the 2003 summer drought on the intra-annual growth pattern of beech (*Fagus sylvatica* L.) and oak (*Quercus robur* L.) on a dry site in the Netherlands, *Dendrochronologia*.
- Vannini A., Vettraino A., Montagni A., Fabi A., Belli C., 2004, Individuazione di tecniche innovative per il monitoraggio del "Mal dell'inchiostro" del castagno su scala comprensoriale, *Atti della IX Conferenza sulla castanicoltura*.
- Vovk M., Wood formation in chestnut (*Castanea sativa* Mill.) at the site in Italy, Graduation thesis, University studies; University of Ljubljana, Biotechnical faculty, Department of forestry and renewable forest resources, in terminazione.
- Waldboth M., Oberhuber W., 2009, Synergistic effect of drought and chestnut blight (*Chryphonectria parasitica*) on growth decline in European chestnut (*Castanea sativa* Mill.), 39, 1:43-55.
- Wodzicki T.J., 2001, Natural factors affecting wood structure, *Wood science and technology* 35(2001) 5-26.
- Zobel B.J., Jett J.B., Genetics of wood production, 1995, *Sprinter Series in Wood Science*, Springer-Verlag, 352 pp.

8. UTILIZZO DEL TANNINO DI CASTAGNO COME ADESIVO NEI PANNELLI DI PARTICELLE

INTRODUZIONE

La ricerca di limitare l'uso della formaldeide nella realizzazione dei pannelli di particelle unitamente alla ricerca di nuove applicazioni industriali per il castagno hanno suggerito un innovativo percorso di ricerca che prevede l'utilizzo del tannino di castagno come coformulato nella realizzazione di una resina sintetica utilizzabile come collante nei materiali cellulosici.

In base alla capacità di idrolizzarsi, i tannini sono stati classificati in due categorie:

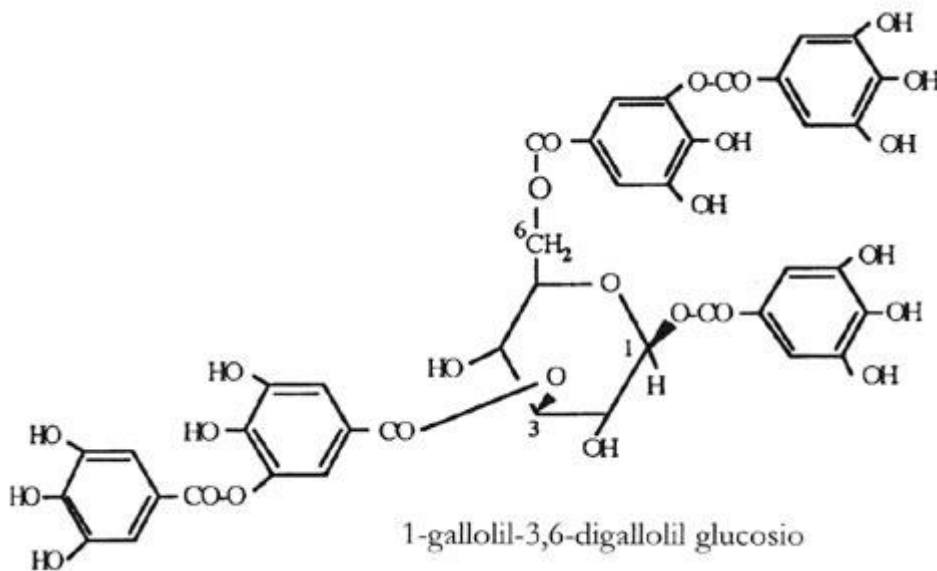
- *tannini idrolizzabili*;
- *tannini condensati*.

I *tannini idrolizzabili* sono copolimeri degli acidi gallico e/o ellagico uniti agli zuccheri (solitamente glucosio). Vengono infatti anche denominati rispettivamente *tannini gallici* (esteri dell'acido gallico e del glucosio) e *tannini ellagici* (estere dell'acido esaidrossidifenico e glucosio).

Essi sono facilmente idrolizzabili da acidi deboli, ad alte temperature si decompongono dando pirogallolo, un composto epatotossico e fortemente irritante, e sono ad alto peso molecolare. Si dividono in:

- Ellagitannini (costituiti da acido gallico, acido ellagico e uno zucchero)

Non si conosce la precisa struttura dei polimeri, tuttavia mediante idrolisi parziale si possono individuare vari segmenti, come ad esempio:



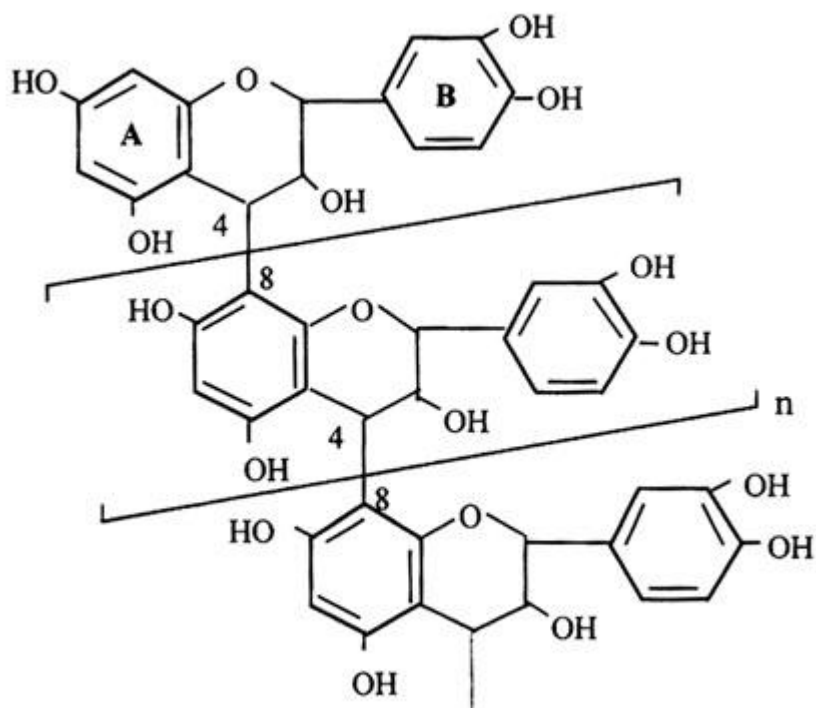
L'«acido tannico» in commercio è una miscela di questi polimeri dell'acido gallicoglucosidato.

I *tannini condensati* o *proantocianidine*, perché possono dare origine ad antocianidine, sono polimeri di flavonoidi che si sono condensati principalmente tramite legami C-C : quindi un tannino condensato dell'uva è un polimero di flavanoidi. Tali legami non vengono facilmente idrolizzati in condizioni normali. La polimerizzazione tra i monomeri avviene attraverso il carbonio nelle posizioni 4, 6 e 8 nel sistema dei flavonoidi.

Il carbonio 4 lega il C8
o il C6 di un'altra unità

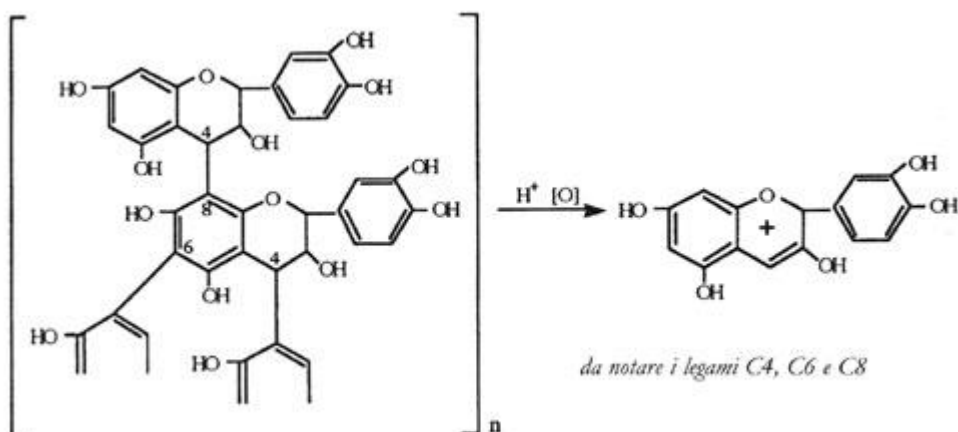
C4 - C8
C4 - C6

Sono i legami presenti in genere,
(ma quelli tra C4 e C8 sono i più numerosi)

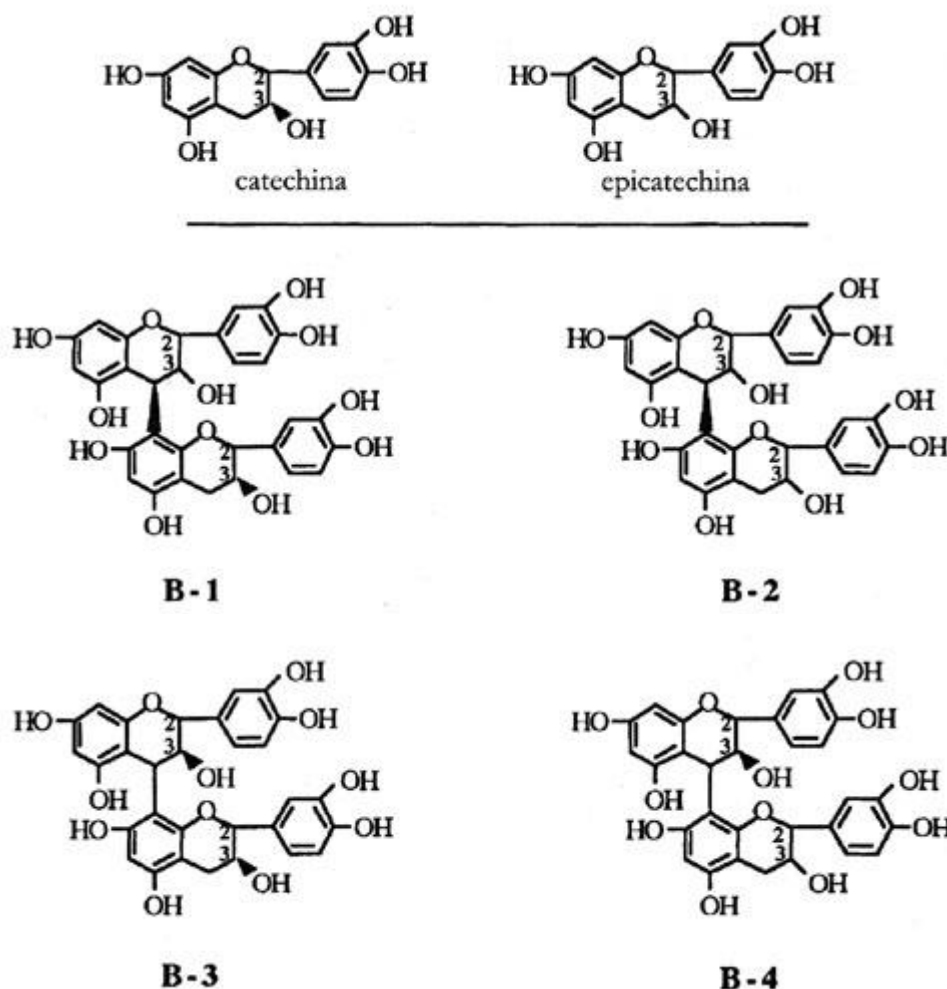


Struttura generale dei tannini condensati

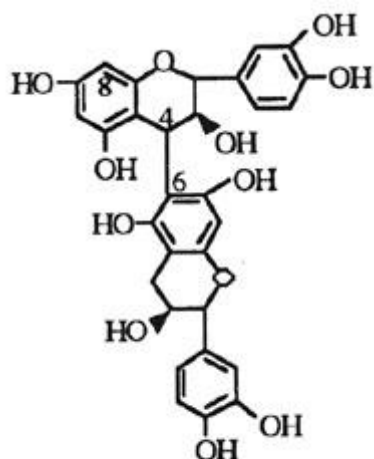
I tannini condensati si dividono in più classi in funzione dei gruppi ossidrilici nella loro struttura di base. Quelli presenti nella buccia sono le prodelphinidine, costituite da unità di gallo catechine, e le procianidine derivate dalle catechine; alcune molecole sono legate all'acido gallico (AcG). I tannini condensati più comuni sono polimeri del 3-flavanolo (gruppo delle catechine e dei loro epiisomeri), mentre meno diffusi sono i 3,4-flavandioli (gruppo della leucocianidina). Vengono denominate anche procianidine o leucocianidine perché possono dissociarsi se sottoposte a determinate condizioni termiche ed acide, per ossidazione possono trasformarsi in cianidine. La formazione di cianidine dal polimero delle procianidine può essere rappresentata nel seguente modo:



Il processo non è a tutt'oggi compreso completamente ed avviene solo con il gruppo delle leucocianidine. Le catechine, ad es., se sottoposte alle medesime condizioni invece di dissociarsi sviluppano prodotti più condensati. Inoltre, non si è riusciti a verificare se questa ipotesi di trasformazione avviene anche nei vegetali. Pertanto, il termine, procianidina o leucocianidina, è attribuito solamente ai polimeri dei flavani (3-flavanolo o 3,4-flavandiolo). È nota la formazione di quattro dimeri della catechina ed epicatechina:

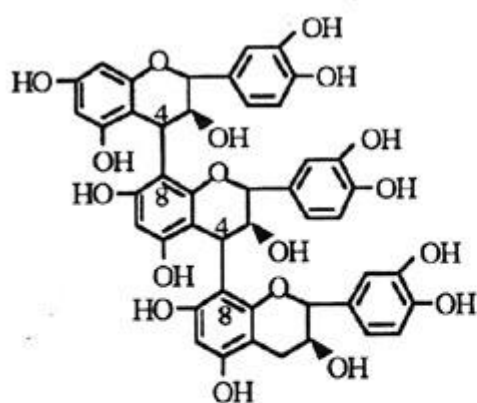


Da notare le stereo strutture (diastereoisomeri) di queste quattro procianidine (B-1 a B-4). Gli isomeri dimerici presentano differenze negli idrossili del carbonio in posizione 3 dei due monomeri (catechina ed epicatechina) e nel carbonio in posizione 4 nel quale avviene la dimerizzazione. L'idrossile del carbonio 3 può trovarsi sopra il piano dell'anello centrale (configurazione catechina 3S) o sotto (configurazione epicatechina 3R). Il carbonio 4, che non è asimmetrico in nessun monomero, lo diviene per dimerizzazione con due configurazioni isomeriche: con il secondo flavonoide sopra il piano (B-1 e B-2) o sotto (B-3 e B-4). Per quanto riguarda l'anello **B** (legato al carbonio asimmetrico in posizione 2) esso può trovarsi sotto (2R) e sopra (2S) il piano. Sebbene le sequenze B abbiano teoricamente otto isomeri (i quattro qui descritti possono presentarne uno simmetrico quando l'anello B è sopra il piano), solo i quattro **B-1** -> **B-4** riportati (anello B sotto il piano 2R) sono stati riscontrati in natura. Si è inoltre verificata la presenza di un dimero con legame C-4 -> C-6 (B-5):

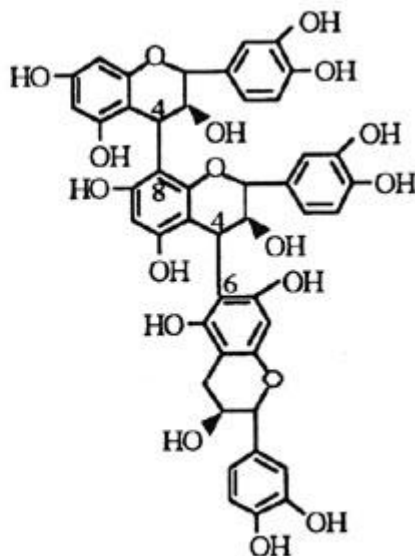


4-6-dicatechina (**B-5**)

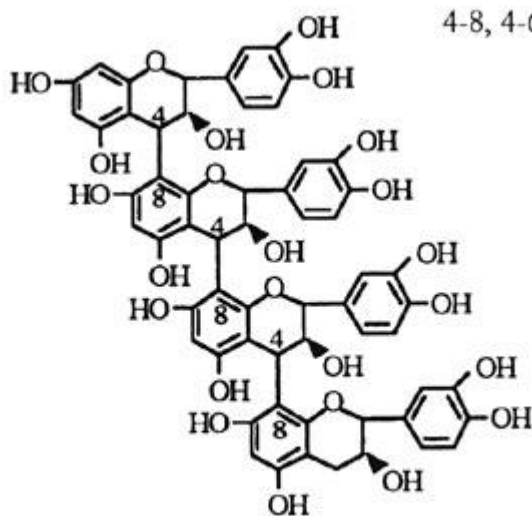
I trimeri e i tetrameri hanno le seguenti strutture:



4-8, 4-8-tricatechina

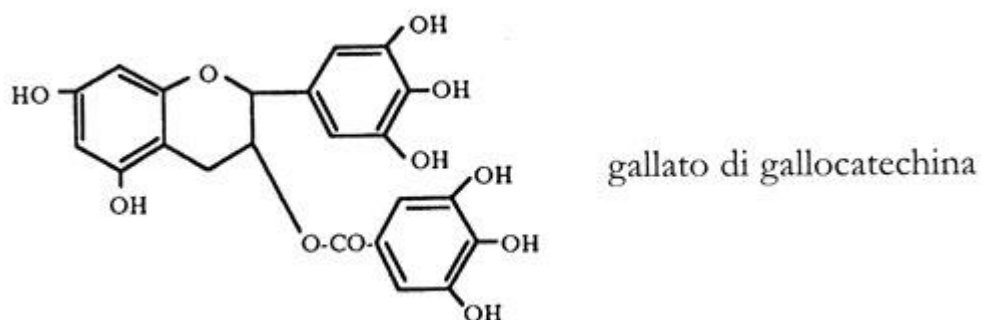


4-8, 4-6-tricatechina



4-8 tutte le tetracatechine

La classificazione dei tannini, in idrolizzabili e condensati, ha solamente un significato storico. Entrambi i gruppi, infatti, possono essere idrolizzati. Pertanto, questi termini vengono utilizzati soprattutto per differenziare i principali monomeri che compongono i polimeri, ossia l'acido gallico glucosidato nei «tannini idrolizzabili» e i flavani nei «tannini condensati». Sono inoltre conosciuti i copolimeri che risultano dall'unione di segmenti di flavonoide e di acido cinnamico, come ad es.:



La maggior parte dei tannini utilizzati per realizzare adesivi è di tipo condensato e proviene in massima parte dalla corteccia. Generalmente la corteccia contiene più estrattivi rispetto alle cellule xilematiche della stessa specie. I componenti chimici della corteccia possono essere grossolanamente estratti e frazionati mediante solventi non polari, come l'etere del petrolio, seguita da dietil etere, etanolo, e acqua. composti meno polari (lipoidi, resine, terpeni ecc.) possono essere estratti con solventi non o meno polari. Dunque etanolo e acqua dissolvono le sostanze polari come flavonoidi, fenoli, zuccheri, e tannini condensati.

Le soluzioni con Acetone e acqua sono molto usate per l'estrazione dei tannini condensati (Proter, 1989).

Ma vengono utilizzate a volte anche soluzioni di etil-acetato per tannini con basso peso molecolare, ed anche soluzioni acquose di NaOH vengono spesso usate per l'estrazione di tannini condensati.

I tannini condensati provenienti dalla *Acacia mearnsii* (black wattle) sono stati usati con successo per la realizzazione di adesivi per oltre due decenni in Sud Africa.

Questo tipo di tannini hanno progressivamente sostituito le resine fenoliche-formaldeidiche e sono ampiamente utilizzate dai produttori di pannelli di particelle, compensato, colle in genere, mobili ecc. altre specie sono state studiate per l'estrazione di tannini condensati da usare come adesivi, ma il tannino black wattle sembra molto più conveniente (Laks, 1991). La produzione di tannino di *A. mearnsii* e di *Quebracho* (tannino del *Schinopsis* spp.) è stata di circa 150.000 tonnellate per i primi anni '90, dei quali solo il 20-30% utilizzati nella realizzazione di adesivi (Pizzi et al., 1993). (Grandi prospettive si hanno per il tannino di pino in Australia, Cile, Stati Uniti, ma ancora molte difficoltà sono dovute al basso campo di estraibilità, eccessiva viscosità, ed eccessiva velocità di reazione verso la formaldeide (Laks, 1991).

L'utilizzo dei tannini condensati per la realizzazione di resine è stato ampiamente studiato in passato e tuttora è argomento di ricerca per migliorare le prestazioni dei pannelli (Pizzi A., 1978, Dalton L.K., 1950, Fraser et al., 1957; Horioka et al., 1975; Kulvjik E., 1977; Yahazi Y. And Collins P.J. 1994; Taiwo E.A and Ogunbodede R.A., 1995; Fechtal M., Riedl B., 1993; Dix B. and Marutzzky R., 1987; Dix B. and Marutzzky R., 1988; Grigoriou A., Voulgaridis E., Passialis C., 1990; Grigoriou A., 1990; Vazquez G., Antorrena G.J., Francisco L., 1992; Vazquez G., Antorrena G.J. Gonzalez J., Alvarez J.C. 1996; Von Leyser E., Pizzi A., 1990; Kim S., Mainwaring D.E., 1996; Kreibich R.E. and R.W. Hemingway, 1987; Kreibich R.E. and R.W. Hemingway Nearn W.T., 1993). La necessità di pensare e proporre percorsi produttivi ad elevato grado di compatibilità e la ricerca per un impiego di sempre più ampio spettro del castagno, unitamente alla necessità di incrementare sempre più prodotti naturali con bassa (o nulla) tossicità, ha portato a

testare il tannino del legno di castagno per la formulazione di nuoveresine da utilizzare nell'ambito degli adesivi,

Partendo da questa premessa sono state effettuate una serie di analisi volte a valutare le prestazioni del tannino idrolizzabile di castagno come adesivo per la realizzazione di pannelli di particelle .

MATERIALI E METODI

È stato utilizzato tannino idrolizzabile proveniente da castagno del centro Italia ottenuto dal legno e dalla corteccia, prodotto nello stabilimento della Nuova rivart (Radicofani- SI)

Il tannino in questione presenta le seguenti caratteristiche fisiche e chimiche:

Solubilità in H₂O: completa

Solubilità in solventi organici: alcoli, acetone

densità a 20°C: 0.5 - 0.58 kg/dm³

pH: 3.0 – 3.5 (sol. 10%)

Punto di congelamento: n.a

Punto di ebollizione: n.a.

Punto di infiammabilità: >180°C (vaso aperto)

Limite inferiore e superiore di esplosività: n.d.

Temperatura di autoaccensione: >500°C

Sostanza secca: 92.98 %

Acqua: 7.02%

Tannini: 76.26%

Non Tannini: 16.11%

DESCRIZIONE ANALISI	RISULTATO
ANALISI NUTRIZIONALE (Singoli Parametri)	
Amido	< LQ
Proteine (N x 6,25)	1,7
Contenuto in acqua	8,3
Ceneri	0,87
Elementi Nutrizionali	
Calcio come Ca	0,149
Ferro come Fe	298
Magnesio come Mg	96,9
Potassio come K	0,153
RICERCA DI METALLI E NON METALLI IN ICP	
Alluminio come Al	189
Arsenico come As	0,116
Cadmio come Cd	0,103
Manganese come Mn	145
Mercurio come Hg	< LQ
Nichel come Ni	3,41
Piombo come Pb	1,38
Rame come Cu	2,90
Selenio come Se	0,033
Zinco come Zn	17,3
Cromo trivalente come Cr III	0,490
Cromo esavalente come Cr VI	< LQ
Acido cianidrico	< LQ
Fluoruri come F	< LQ
Fibra grezza	0,9
Fibra al detergente acido (ADF)	2,1
Fibra al detergente neutro (NDF)	3,4
Lignina al detergente acido (ADL)	0,7
INSETTICIDI ORGANO CLORURATI Gruppo 1	
Aldrin	< LQ
Dieldrin	< LQ
Aldrin e dieldrin, somma espressa in dieldrin	< LQ
o,p'-DDD	< LQ
p,p'-DDD	< LQ
o,p'-DDE	< LQ

Tab. 8. 1: Analisi chimiche del tannino; LQ= Limite di quantificazione, < LQ non indica l'assenza della sostanza indagata (da Neutron rapporto di prova 10 C02499-It-0).

Gli esperimenti sono stati effettuati nei laboratori de l'ENSTIB dell'Università di Nancy in Francia. Le operazioni per l'ottenimento di una resina con buone qualità fisico-meccaniche passa attraverso una serie di metodologie che sono volte ad ottenere un prodotto con una certa viscosità e una capacità adesiva adeguata, successivamente la resina prodotta in quantità elevata viene testata usando delle fibre di legno per l'ottenimento di pannelli, che saranno successivamente testati fisico-meccanicamente, per valutare le prestazioni finali del prodotto.

1 FASE PRODUZIONE DELLA RESINA

Per ottenere la resina sono state usate le seguenti quantità assolute di prodotti:

Fenolo:1

Tannino:1

Metanolo: 0.86 (soluzione al 13%)

Paraformaldeide: 1.12

H2O: 0.12

NaOH: 0.5

In particolare per la realizzazione della resina da testare si è proceduto come segue: 10 g di fenolo vengono miscelati a 10 g di tannino di castagno, a 8.51 g di una soluzione di metanolo al 13%, a cui vengono aggiunti 11.23 g paraformaldeide e una minima quantità di H₂O pari a 0.47 g.



Fig. 1 fase di preparazione della resina

Questa soluzione viene messa a riscaldare su una piastra magnetica, per 30 minuti portando la temperatura a 40°C. L'aumento della temperatura permette ai composti di andare in soluzione in quanto abbassa notevolmente il punto di attivazione della soluzione e diminuisce sensibilmente la viscosità dei composti: una delle maggiori difficoltà nell'ottenere la resina sta proprio nella delicatezza delle fasi iniziali, in cui l'elevatissima viscosità dei diversi composti immersi nel pallone devono essere mescolati inizialmente mediante delle barrette di vetro per consentire una completa soluzione dei composti.

Successivamente si innalza molto lentamente e con grande cura la Temperatura: in 30 minuti si raggiungono i 94°C. anche questa seconda fase è particolarmente delicata in quanto raggiunto un punto isotermico corrispondente a circa 93°-95°C la soluzione rischia di aumentare improvvisamente di volume e fuoriuscire dal pallone. Pertanto è assolutamente necessario monitorare e graduare la temperatura della soluzione affinché essa si innalzi in maniera costante e graduale. Successivamente si avrà la massima cura di mantenere la temperatura a 94°C per 30 minuti. Mantenere la temperatura costante a 94°C è indispensabile per ottenere una viscosità ottimale della resina, se si verificano degli sbalzi di temperatura di pochissimi gradi può accadere o che la resina rimanga troppo fluida o che al contrario collassi e gelifichi.

La temperatura nel presente caso di studio è stata monitorata mediante delle leve che sollevavano il pallone per permettere di mantenere la soluzione entro un range di temperatura di sicurezza.



Fig. 2 Resina pronta per i test.

Al termine di 30 minuti in cui ho mantenuto la Temperatura a 94°C, si introduce l'idrossido di sodio (al 33% di concentrazione) in 4 fasi: ovvero 1.33g ogni 15 minuti, mantenendo al temperatura sempre a 94°C. l'Idrossido di sodio ha un effetto di innalzamento termico piuttosto repentino a contatto con l'acqua, pertanto in questa fase è particolarmente importante cercare di mantenere la temperatura entro i 94°C.

Infine la resina viene lasciata a riscaldare per un tempo sufficiente a garantirne il raggiungimento di una viscosità ottimale. Il tempo necessario di questa fase è stato ottenuto dopo ripetuti tentativi in

cui la resina mostrava una fluidità non corretta, infine si è giunti ad individuare un tempo ottimale di 14 minuti.

Successivamente si lascia raffreddare la resina immergendo il pallone in acqua fredda e si testano le sue caratteristiche fisico-meccaniche.

FASE 2 TEST FISICO-MECCANICI DELLA RESINA

La resina prodotta deve essere testata entro il secondo giorno per evitare che si denaturi. È stata calcolata la viscosità con la macchina Brookfield Mod.DV.+Visometer.



Fig. 3 La macchina Brookfield Mod.DV.+Visometer per il calcolo della viscosità

Il calcolo della viscosità è molto importante in quanto resine troppo fluide tendono ad essere assorbite dal legno a causa dell'elevato contenuto acquoso e a diminuire le proprie capacità adesive. La viscosità viene misurata a 25°C. essa deve avere valori di 400 Cp c.a.

Il contenuto di umidità di materiale solido è stato effettuato mediante la formula $(P_f - P_s / P_f) \times 100$.

Il calcolo del contenuto di materiale solido nella resina è importantissimo in quanto in base ad esso si calcola il quantitativo di legno che può essere utilizzato nel pannello.

È stato calcolato il PH, mediante un pHmetro, e affinché il suo valore sia di 11, è stato necessario correggerlo mediante NaOH.

Infine sono state misurate le caratteristiche meccaniche (T.M.A. Termo Mechanical Analysis) della resina per valutare il suo potere adesivo mediante la macchina Mettler Toledo TC15 con il metodo TP OM – 25-250, 10°C /min. Per questo tipo di analisi viene spalmato un sottile film di resina (3 mg in totale, generalmente si procede spalmando 1.5 mg su ciascuna piastrina) su 2 delle piastrine di legno di lunghezza di circa 20mm, altezza di 5mm e spessore di 0.5 mm, prestando particolare attenzione a non pressare troppo le due piastrine sovrapposte affinché la resina non fuoriesca di bordi.

Il test restituisce la resistenza della resina calcolando il MOE delle due piastrine incollate a diverse temperature sino a 250 °C.. La macchina restituisce una serie di valori che descrivono una curva i cui valori perché una resina possa essere considerata efficiente devono superare i 2000 Mpa.

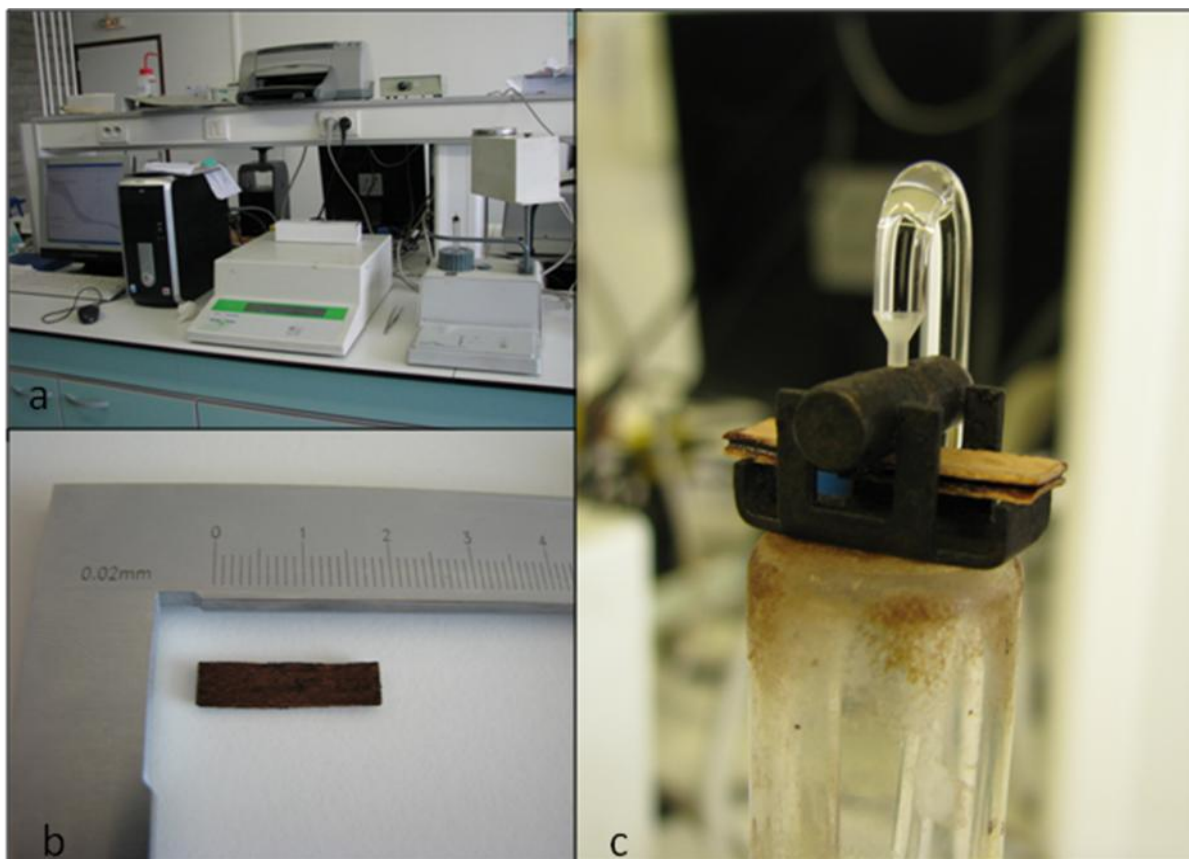


Fig. 4 fasi del test TMA, a) macchina Mettler Toledo TC15., b) piastrina di legno utilizzata per il test, c) particolare della macchina Mettler Toledo TC 25 e martelletto che trasferisce le sollecitazioni al campione.

Viene eseguita infine una analisi dell'MRN per valutare la reattività del tannino nella resina, ovvero per valutare quanto esso abbia reagito.

FASE 3 REALIZZAZIONE DEL PANNELLO

Successivamente si procede a realizzare il pannello, viene preparato un quantitativo di scaglie di legno di cui si misura tramite 2 pesate successive il contenuto di umidità.

Il quantitativo di resina utilizzato è del 10% del peso del legno secco. Ovviamente bisogna tener conto del quantitativo di H₂O del legno e della quantità di NaOH usato per correggere il PH della resina che modifica sia la viscosità che la percentuale del solido nella resina.

Successivamente si miscela il legno con la resina e si posiziona in uno stampo di forma quadrata e si pressa il materiale ad elevata temperatura (250°C), mediante delle guide metalliche che permettono una pressatura fino ad un h di 2 cm, per un tempo di 3 minuti.



Fig. 5 Diverse fasi di preparazione dei pannelli: a) miscelazione meccanica del preparato legno-resina, b) disposizione della miscela legno –resina in stampo quadrato, c) pressatura, d) tavoletta pressata, e) refilatura del pannello e taglio dei campioni per realizzare provini da testare, e) provini tagliati pronti per i test fisico-meccanici.

FASE 4 TEST FISICO-MECCANICI SUL PANNELLO

Ottenuti i provini viene misurata la densità del legno ed il profilo densiometrico di ciascun campione per valutare se la pressatura sia avvenuta in maniera uniforme o vi sono dei vuoti che compromettono la resistenza del campione.

La misura della densità viene effettuata attraverso una macchina a Raggi X, GRECON DAX 5000, che restituisce il valore medio minimo e massimo di densità e il profilo densiometrico lungo lo spessore di ciascun campione.

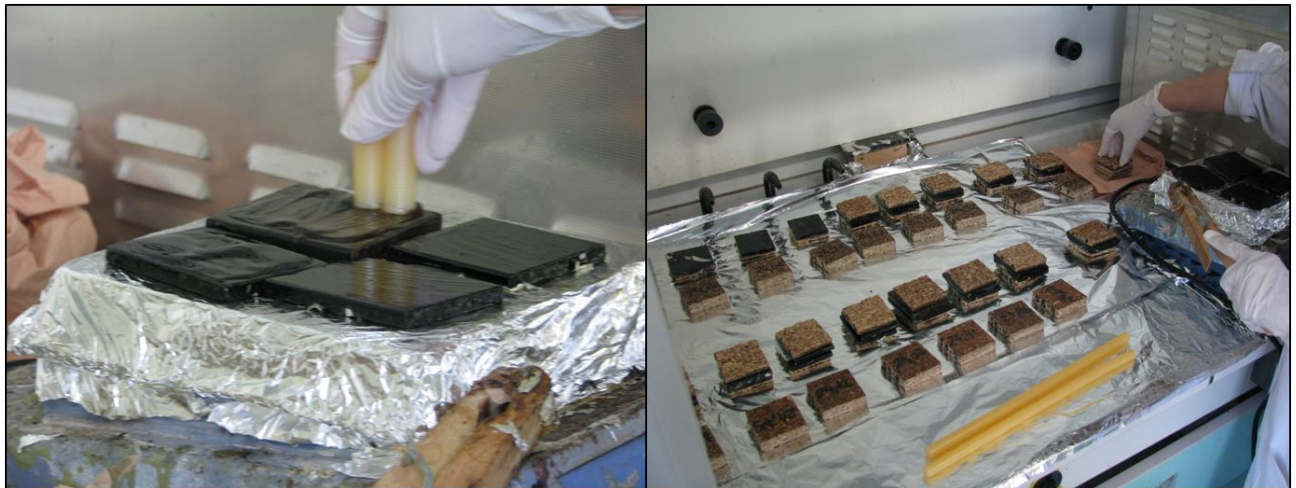


Fig. 6: macchina GRECON DAX 500.

Successivamente valutata la bontà dei risultati della densità si scelgono i campioni migliori il cui numero deve essere superiore al 90% dei campioni totali ottenuti (altrimenti si procede alla realizzazione di nuovi campioni).

I campioni successivamente vengono preparati per calcolare la resistenza meccanica di trazione. Ciascun campione viene cosparso di colla ed incollato a delle piastre metalliche che consentono ad una macchina prova-materiali di testare i provini. Un campione per avere risultati accettabili deve avere una resistenza a trazione pari a 0.35 N/mm².

Fig. 7: fase di incollaggio dei provini a piastre metalliche



RISULTATI

Dopo ripetute prove modulando la temperatura i tempi di reazione è stata ottenuta una resina dalle seguenti caratteristiche:

Viscosità : 525-550 Cp

% H₂O = 39%

% solido = 61

PH = 8.6

Il PH è stato corretto ed innalzato sino al valore 11, mediante l'aggiunta di 8 % di NaOH sul quantitativo iniziale della resina.

Per tale ragione si modificano i valori finali di Viscosità e % solida della resina che diventano rispettivamente di 375-400 Cp, e di 55.8% (il contenuto di H₂O diventa del 44.2%).

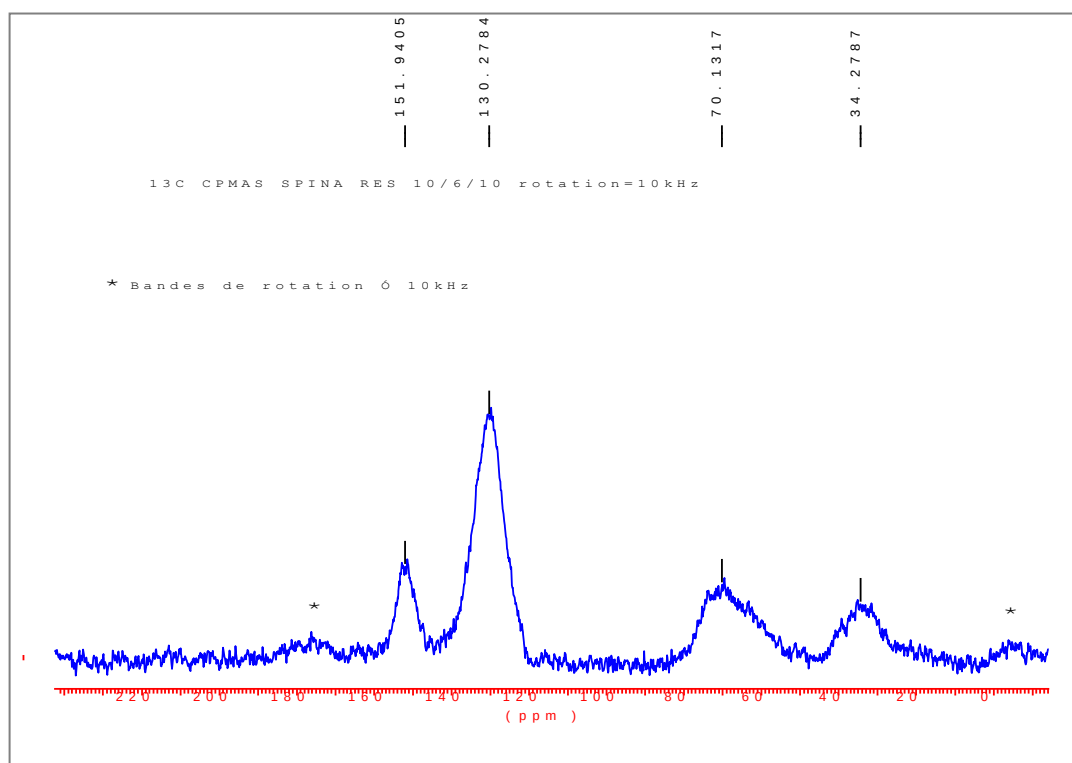


Fig.8 visualizzazione grafica dell'RMN del solido della resina ottenuta.

L'analisi dell'RMN per analizzare la resina e la reazione del tannino per valutare se esso abbia completamente reagito hanno dato parere positivo, vi è stata una completa reazione tra fenolo e tannino (come si evince dalla fig.8).

La figura 9 mostra le prestazioni meccaniche della TMA della resina prodotta, come si vede i risultati mostrano prestazioni molto elevate, che raggiungono anche i 4000 MPa.

La resina ottenuta viene miscelata al legno e la tabella 2 riporta le misure ed i valori di massa volumica e di resistenza a trazione di ciascun provino.

Dai valori della tabella 8.2 emerge che la resina testata ha valori estremamente affidabili come adesivo. I campioni E1, E9, E13, 114, 15 sono stati esclusi dal test perché presentavano una massa volumica un po' più bassa rispetto a gli altri campioni.

CONCLUSIONI

Lo studio preliminare sull'efficienza del tannino di castagno come coformulato nella realizzazione di adesivi per pannelli di particelle ha dato buoni risultati attraverso la metodologia adottata. Il tannino idrolizzabile di castagno è stato già testato già nel 1976 (Kulvjik 1976) come adesivo ma con concentrazioni fenoliche più elevate (66%). Il limite del lavoro di Kulvjik sta nel fatto che non sono espresse le metodologie di esecuzione degli esperimenti e dunque l'esperienza non risulta ripetibile. Kulvik inoltre usa la resina nella realizzazione di compensati in cui non vi è la necessità di un pressaggio veloce non sussiste. Nel caso di studio invece la resina è applicata ad un tipo di pannello non solo semplicemente differente, ma molto più complesso da realizzare, i cui tempi di pressaggio sono molto rapidi.

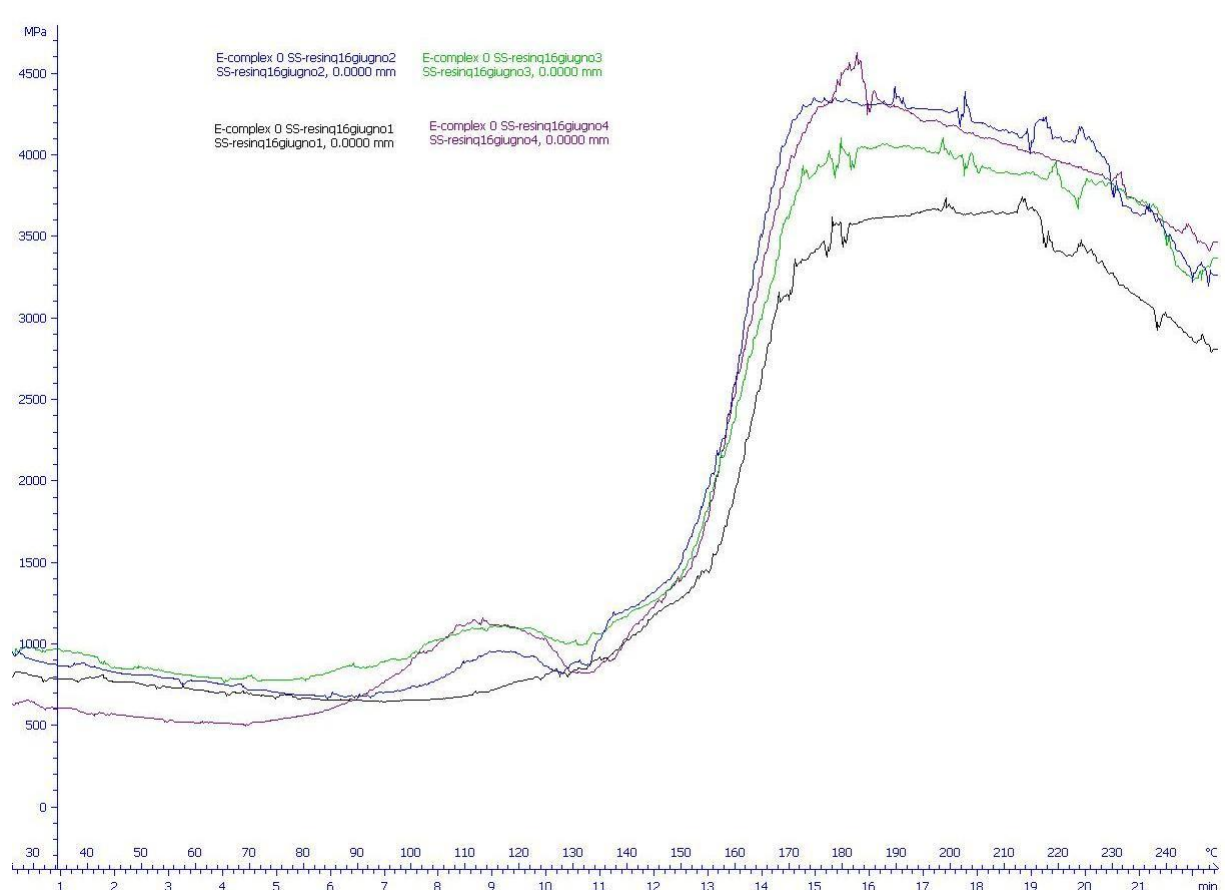


Fig.9 TMA. Risultati della prova meccanica sulla resina ottenuta, in genere la resine viene testata 3 volte, in questo caso l'abbiamo testa 4 volte, con risultati molto soddisfacenti.

Tab. 8.2: descrizione dei provini per le prove meccaniche

campione	lunghezza	larghezza	spessore	massa	volume in mm3	densità (g/cm3)	densità (Kg/cm3)	surface	Res. Traz. (KN)	Res. Traz. (N)	RESISTENZA A TRAZIONE N/mm2
E-1	49,99	49,42	14,22	23,83	35130,59	0,68	678,33	2470,51			
E-2	49,87	49,87	14,22	24,1	35365,38	0,68	681,46	2487,02	1,78	1780	0,72
E-3	49,93	49,15	14,24	24,62	34945,81	0,70	704,52	2454,06	1,48	1480	0,60
E-4	50,01	49,99	14,18	24,22	35450,00	0,68	683,22	2500,00	1,73	1730	0,69
E-5	49,81	49,56	14,14	24,05	34905,77	0,69	689,00	2468,58	1,47	1470	0,60
E-6	49,9	50,01	14,19	24,06	35411,13	0,68	679,45	2495,50	1,4	1400	0,56
E-7	49,9	50,05	14,12	24,58	35264,63	0,70	697,02	2497,50	1,29	1290	0,52
E-8	49,87	50,01	14,12	24,48	35215,26	0,70	695,15	2494,00	1,26	1260	0,51
E-9	49,88	50,05	14,23	24,1	35525,11	0,68	678,39	2496,49			
E-10	49,9	50,15	14,1	24,52	35285,04	0,69	694,91	2502,49	1,6	1600	0,64
E-11	49,93	49,91	14,08	23,95	35087,45	0,68	682,58	2492,01	1,33	1330	0,53
E-12	49,88	49,96	14,14	23,99	35236,95	0,68	680,82	2492,00	1,1	1100	0,44
E-13	50,15	49,62	14,07	23,36	35012,39	0,67	667,19	2488,44			
E-14	50,1	50,11	14,1	23,23	35398,21	0,66	656,25	2510,51			
E-15	50,13	49,89	14,12	23,53	35313,92	0,67	666,31	2500,99			
media	49,95	49,85	14,15133	24,04133	35236,51	0,68	682,31	2490,01	1,444	1444	0,58

I risultati ottenuti permettono inoltre di prospettare l'utilizzo di percentuali di tannino più elevate che consentirebbero un'ulteriore diminuzione di tossicità della resina e dei prodotti.

Kulvik ha dimostrato inoltre che l'utilizzo del tannino di castagno potrebbe avere un'importanza decisiva nell'industria dei pannelli anche sotto il profilo economico, inoltre la realizzabilità del progetto è stata ampiamente dimostrata nel '76 dalle 3.000 tonnellate di pannelli prodotti con questo metodo.

Le prospettive future prevedono l'utilizzo di diverse percentuali di tannino di castagno con concentrazioni superiori.

L'utilizzo del tannino di castagno nella realizzazione di resine adesive per pannelli di particelle appare dunque auspicabile sebbene a fronte, ancora, di un attuale elevato costo economico. Esso trova tuttavia, il suo fine ultimo nella tutela della salute umana e anche nella possibilità di creare delle economie non trascurabili per ampi territori montani e per nuovi orizzonti selvicolturali per la specie in questione, la possibilità di una più estesa ed accurata ricerca in questa direzione potrebbe portare a ridurre i costi e a valorizzare un prodotto assolutamente naturale con tossicità minima, creando un volano economico non trascurabile.

BIBLIOGRAFIA

- Dalton L.K., Tannins-formaldehyde resins as adhesives for wood. *Austr. J. Appl. Sci.* Vol.1 pp.554-70. 1950
- Dix B. and Marutzzky R., *Holz. Roh Werkst.*, 45: 457-463. 1987;
- Dix B. and Marutzzky R., *Holz. Roh Werkst.*, 46: 19-25. 1988.
- Grigoriou A., Voulgaridis E., Passialis C., *Holzforsh., Holzverwert.*, 39: 9-11. 1987;
- Grigoriou A., *Holz. Roh Werkst.*, 48: 377-380. 1990;
- Fechtal M., Riedl B., *Holzforsh.*, 47: 349-357. 1993;
- Fraser D., A., Hall R.W. AND Raum A.L.J., Preparation of "High-ortho" novolakresins. Metal ions catalysis and orientation effect, *J. Appl. Chem.*, Vol. 7 N. 12. 1957;
- Horioka K., Sugano E., Katsuzawa Y., Haiashida K., Synthesis of tannin resin adhesives and their properties, IUFRO conference on Wood gluing. September. Madison, Wisconsin, 1975;
- Kim S., Mainwaring D.E., *Holzforsh.*, 50: 42-48. 1996;
- Kreibich R.E. and R.W. Hemingway; *Forest. Prod.. J.*, 37(2) : 43-46. 1987;
- Kreibich R.E. and R.W. Hemingway Nearn W.T., *Forest. Prod.. J.*, 43(7/8): 45-48. 1993
- Kulvjik E., Chestnut wood Tannin extract in plywood Adhesives. *Adhesives Age*, March 1976; Supplied by British Library- "The world's Knowledge".
- Laks P.E., in *Wood and Cellulosic Chemistry* (D.N.S. Hon and Shiraishi, eds) , MarcelDekker, New York, p .257 (1991)
- Pizzi A., Wattle-base adhesives for exterior Grade Particleboard. *Forest Product Journal* . Vol. 28 n12, p42-47 – 1978
- Pizzi A., Von Leyser E., ValenzuelaJ., and Clark J.G., *Holzforsh.*, 47: 168-174. 1993.
- Proter L.J., in *Natural Products of Woody Plants, I* (J.W.Rowe, ed.), Springer – Verlag, New York, pp. 651-690 (1989)
- Taiwo E.A and Ogunbodede R.A., *Wood Svci. Technol.*, 29:103-108; 1995;
- Vazquez G., Antorrena G.J., Francisco L., Gonzalez J., *Holz. Roh Werkst.*, 50: 253-256. 1992;
- Vazquez G., Antorrena G.J. Gonzalez J., Alvarez J.C. *Holz. Roh Werkst.*, 54: 93-97. 1996;
- Von Leyser E., Pizzi A., *Holz. Roh Werkst.*, 49: 25- 29. 1990;
- Yahazi Y. And Collins P.J.; *Holz. Roh Werkst.*, 52:307-310. 1994.

CONSIDERAZIONI FINALI

Lo studio condotto sul castagno laziale ha permesso di ampliare le conoscenze su una specie di notevole interesse sia economico che forestale.

Lo studio sulla cipollatura ha chiarito ma non risolto alcune tematiche inerenti al difetto consentendo di proporre delle soluzioni selvicolturali appropriate per contenerlo; una corretta gestione selvicolturale potrebbe ridurre il rischio e produrre materiale di migliore qualità: risulta pertanto sconsigliato allungare il turno del ceduo oltre il limite produttivo consentito dalla stazione (come si evince dallo studio dendrocronologico), è stato osservato che l'età è un fattore decisivo nel determinare e nell'aggravare il difetto: il difetto comincia a manifestarsi con una maggiore gravità nei cedui maturi con età superiore ai 30 anni. Pertanto, gli alberi più colpiti nel bosco ceduo sono le matricine.

L'età gioca anche un ruolo importante nel determinare la comparsa della cipollatura. Il limite di 12-14 anni è considerato un periodo critico per le probabili tensioni interne che si verificano nello sviluppo degli individui arborei, sebbene le fessurazioni comincino a manifestarsi già al 7° anno. Tuttavia all'intorno critico di 12-14 anni non corrisponde un ben determinato diametro, ovvero le dimensioni non hanno effetto sulla manifestazione delle fessurazioni. Dunque se da un lato si può intervenire sul difetto abbassando l'età del turno ed adeguandola ad ogni situazione, dall'altra vi è un momento critico i cui effetti possono solo ipoteticamente essere ridotti mediante diradamenti e sfolli precoci. È accertato che le matricine mostrano maggiore vulnerabilità al difetto pertanto affidare un incremento qualitativo del materiale ritraibile dal bosco a queste piante (grazie alle loro maggiori dimensioni) è molto rischioso in quanto si può ottenere legname certamente di maggiori dimensioni ma sicuramente con una più elevata incidenza della cipollatura. Gli interventi selvicolturali esercitano un ruolo importante sulla qualità del legname, è stato osservato che molte cipollature soprattutto per le piante dei Monti Cimini si verificano in corrispondenza dei tagli colturali di fine turno. È importante anche sottolineare come essi sembrano avere anche un effetto retroattivo nella manifestazione del difetto. In generale i diradamenti provocano delle perturbazioni nell'equilibrio statico della pianta che può favorire o accentuare la cipollatura, dunque come proposto da altri ricercatori gli interventi dovrebbero procedere in maniera graduale e continua anche perché è stato osservato che la qualità del materiale diminuisce all'aumentare dell'ampiezza anulare, questa dovrebbe infatti mantenersi entro un limite di 3-5 mm annui.

Dunque interventi selvicolturali intensi diminuiscono il valore del bosco sia perché favoriscono la manifestazione della cipollatura, o in ogni caso l'accentuano, e sia perché favoriscono la formazione di un legno di minore qualità con accrescimenti molto elevati.

Se da un alto un aumento dell'età favorisce la comparsa della cipollatura al contempo Le caratteristiche meccaniche del castagno sembrano diminuire all'aumentare del diametro.

Una selvicoltura più attenta alle esigenze del bosco meno soggetta ai bisogni finanziari immediati dei proprietari potrebbe favorire la formazione di un legno di qualità superiore che potrebbe avere un valore notevole sul mercato: un accrescimento lento, continuo e senza sbalzi di intensità è alla base per l'ottenimento di un materiale ottimale.

Accanto a quanto detto sinora, lo studio ha permesso di chiarire quale sia il fattore di maggiore variabilità nella qualità del materiale sia in termini di entità della cipollatura, sia in termini di caratteristiche tecnologiche del legno: il sito di provenienza. Le ricerche hanno infatti dimostrato che le differenze maggiori sono dovute alla stazione di provenienza; le caratteristiche stazionali, climatiche, orografiche, pedologiche, unitamente alle differenze nella gestione colturale determinano la formazione di un legno con qualità in alcuni casi molto diverse tra loro. Dunque maggiore attenzione deve essere rivolta alla vocazione produttiva di un area, cercando di esaltarne ed intensificarne la selvicoltura del castagno ove si osserva una maggiore predisposizione colturale. Il fattore "incremento legnoso" rappresenta solo uno degli aspetti che rendono un area interessante per la produzione legnosa, è necessario porre l'attenzione anche sulla qualità finale del materiale che si produce, sebbene questo richieda tempi leggermente superiori.

Accanto ai risultati di ordine selvicolturale, le ricerche hanno permesso di comprendere molti aspetti poco noti legati al legno ed alla sua variabilità intrinseca all'interno dell'albero, connessa alla sua natura anisotropa.

È stata infatti analizzata la variabilità delle caratteristiche del legno all'interno del fusto, ed è stato osservato che la qualità del legname diminuisce all'aumentare dell'età del legno e spostandoci verso la zona cambiale: il legno degli anelli più vicini alla corteccia ha delle caratteristiche fisico-meccaniche inferiori a quello del legno più vicino al midollo.

Ma il ruolo del castagno non si esaurisce nella mera produzione legnosa; oggi questa specie ha assunto un ruolo di primo piano nella costruzione di ampi paesaggi montani e sempre di più sta assumendo il ruolo di bioindicatore, sia sotto il semplice profilo paesaggistico e sia sotto l'aspetto scientifico, nel chiarire i fattori che legano l'ambiente al suo sviluppo. Le ricerche hanno messo in evidenza le modalità di formazione dell'anello legnoso e la lunghezza del periodo vegetativo che in media è di 165 giorni. È stata osservata è una grande variabilità all'interno del popolamento nella risposta vegetativa mentre si osserva una bassa variabilità tra un anno e l'altro.

Il fattore climatico più importante nello sviluppo delle piante sembra essere la temperatura, le precipitazioni rivestono un ruolo meno rilevante. Di grande interesse è l'individuazione del periodo

di maggiore intensità vegetativa, il periodo ovvero, in cui vi è una crescita più sostenuta del castagno: le curve di Gompertz hanno individuato tale periodo nel mese di giugno. Dalla seconda metà di maggio comincia la produzione del legno tardivo, ovvero il legno primaticcio si forma in media in $\frac{1}{4}$ del tempo di tutto il periodo vegetativo.

Ma gli interessi legati al castagno sono rivolti anche alle innovazioni legate ad uno sfruttamento più ampio del semplice materiale legno. Già nel passato era noto l'utilizzo del tannino di questa specie per la concia delle pelli, oggi questo polimero viene utilizzato in diversi settori dall'industria, nella cosmesi, nell'alimentazione animale ecc. Le ricerche svolte in questo lavoro hanno dimostrato l'efficienza del tannino di castagno come composto nella realizzazione di resine fenoliche a bassa tossicità per la realizzazione di pannelli di particelle.

La possibilità di intraprendere nuovi percorsi produttivi potrebbe aprire nuove prospettive per la specie e per le economie locali ad essa legate.

Con questa tesi si è voluto dare un contributo di carattere sia scientifico che pratico per conoscere meglio una specie di grande interesse per il territorio e per la sua economia. Non sono state proposte delle soluzioni definitive al problema della cipollatura ma sicuramente sono stati approfonditi tutti quei fattori che possono scatenarla ed aggravarla. Sono state fornite delle linee guida per l'ottenimento di legname di buona qualità tecnologica e sono state individuate le aree a maggiore vocazione produttiva del territorio laziale, per uno sfruttamento più efficiente della risorsa legno. La possibilità di approfondire alcune tematiche affrontate in questa ricerca potrebbe sicuramente migliorare lo sfruttamento e la gestione del castagno. La possibilità di testare il tannino di castagno come adesivo in quantitativi superiori al 50%, potrebbe essere di grande utilità per abbattere considerevolmente i livelli di tossicità delle resine fenoliche nella realizzazione dei pannelli di particelle. Lo studio della xilogenesi potrebbe continuare a fornire nuove informazioni non solamente legate all'anatomia del legno ma anche al suo rapporto con il clima. Infine uno sfruttamento sistematico della specie in aree con elevata vocazione produttiva potrebbe migliorare la resa economica attraverso materiale di qualità superiore.

Ringraziamenti

Intendo innanzitutto ringraziare la professoressa Romagnoli per la fiducia e l'opportunità che mi ha concesso, lasciandomi ampia libertà intellettuale; si intende ringraziare il Comune di Soriano nel Cimino per la lungimiranza e il suo contributo indispensabile al compimento di questi studi.

Si ringraziano tutti coloro che in questi 4 anni di lavoro hanno partecipato in maniera attiva a fornire quei risultati che oggi trovano un compimento in questa pubblicazione.

In ordine cronologico:

Manuel Agrumi (a cui mi lega una sincera amicizia), Riccardo Ludovisi, Sabrina Di Tommaso, Paolo Lodi, Riccardo Viola, Elena Ortenzi, Chiara Radocchia, Martina Cherubini, il professore Luna, il dottore Vinciguerra. Si ringrazia il professor Antonio Pizzi per l'accoglienza e per la collaborazione attiva in Francia. Si ringraziano tutti gli amici tra i quali Andrea Pesce che ha allietato questi anni con la sua allegria.

Si ringraziano le aziende Chinucci Legnami, Fratelli Trulli, Piangoli Legno, il Corpo Forestale di Bassiano (LT).

Si ringrazia Corrado per il suo aiuto in segheria.

Si ringraziano tutti coloro che in maniera diretta o indiretta mi hanno aiutato a concludere questo lavoro. Un ringraziamento particolare alla mia fidanzata Patrizia che mi ha saputo rincuorare e animare nei momenti difficili.

Infine, ma non per ultima, ringrazio mia madre, che sempre, ha ritenuto importante qualsiasi cosa io facessi.