



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELLA TUSCIA DI VITERBO

DIPARTIMENTO DI TECNOLOGIE, INGEGNERIA E SCIENZE DELL'AMBIENTE E DELLE
FORESTE

CORSO DI DOTTORATO DI RICERCA

SCIENZE E TECNOLOGIE PER LA GESTIONE FORESTALE E AMBIENTALE
XXI CICLO

**PRODUZIONE LEGNOSA E MIGLIORAMENTO GENETICO: VARIABILITÀ DELLE
CARATTERISTICHE DEL LEGNO IN CLONI DI CILIEGIO (*Prunus avium* L.)**

Curriculum: Tecnologia del Legno e Xilologia
(AGR/06)

Coordinatore: Prof. Gianluca Piovesan

Tutor: Prof.ssa Manuela Romagnoli

Co-Tutor: Dott. Michele Brunetti

Dottoranda: Michela Nocetti

Al mio “Capo”

*senza il quale tutto questo
non sarebbe stato possibile*

RIASSUNTO

Il lavoro si inserisce nell'ambito del miglioramento genetico delle piante per la produzione di legno di pregio in arboricoltura. Nel caso specifico delle piante arboree, la maggior parte dei miglioratori considera i caratteri del legno come secondari ai fini della selezione. Anche qualora l'obiettivo sia la produzione di legno, la prima fase del programma di miglioramento viene effettuata sui caratteri di accrescimento, morfologici e sulla resistenza agli agenti patogeni. Tale selezione, però, non comporta necessariamente un miglioramento complessivo delle caratteristiche tecnologiche del legno.

Sono stati quindi studiati cloni di ciliegio (*Prunus avium* L.) prelevati da due impianti clonali. I caratteri analizzati sono stati: l'accrescimento, la forma del fusto, l'estensione del durame e, più in dettaglio, le caratteristiche fisiche e meccaniche del legno.

La ricerca si è articolata in tre fasi principali: lo studio della variabilità dei caratteri a livello di pianta, clone e sito; l'analisi delle correlazioni tra caratteri e valutazione della rappresentatività della densità rispetto a tutte le altre proprietà del legno; l'analisi densitometrica allo scopo di verificare la possibilità di una selezione precoce. Inoltre sono state effettuate alcune osservazioni sulla presenza della vena verde (alterazione cromatica molto frequente nel legno del ciliegio di provenienza europea).

Per la maggior parte dei caratteri studiati si è evidenziato un effetto clone altamente significativo, confermando l'influenza del fattore genetico sui caratteri di accrescimento e sui caratteri del legno. Ma, mentre per i caratteri di accrescimento il fattore sito è risultato il più rilevante, per le proprietà del legno la maggiore variabilità è stata riscontrata all'interno della singola pianta: per i cloni analizzati, le maggiori differenze sono state riscontrate tra l'alburno e il durame. È stato rilevato, inoltre, un minore controllo genetico sulle proprietà del durame rispetto a quanto verificato nell'alburno, probabilmente a causa della maggiore influenza di fattori ambientali nel processo di duramificazione.

I caratteri di accrescimento sono risultati ben correlati tra di loro ma non con le proprietà del legno, rendendo inefficace una selezione basata solamente sullo sviluppo dimensionale delle piante al fine di migliorare anche la qualità del legno, ma evidenziando la possibilità di una loro selezione contemporanea.

La massa volumica si è inoltre confermata il carattere che meglio rappresenta il complesso delle proprietà del legno.

La selezione su piante giovani è apparsa possibile grazie alle buone correlazioni tra le proprietà dell'alburno e quelle del durame e alla buona correlazione tra la densità del legno della pianta di 20 anni e quella misurata all'età cambiale di 5-6 anni.

Infine, la presenza di vena verde si è dimostrata influenzata dal fattore genetico, presentando incidenze diverse nei vari cloni, ma determinata in modo rilevante anche dalla stazione di crescita. Le colorazioni si confermano comunque legate alla presenza di legno di tensione.

ABSTRACT

The study concerns with the genetic improvement programmes of trees for valuable wood production. So far, breeding strategy have been mainly targeted to maximize acclimation/adaptation to specific environment conditions, tree growth and disease resistance, but it is not obvious that such strategy might lead to improvement of wood characteristics at the same time. Wood characterization is an important step considering that the main final purpose of arboriculture is the production of high quality timber.

Cherry (*Prunus avium* L.) clones sampled from two clonal trials have been tested. The analysed traits were: growth; stem shape; heartwood content and, deeply, physical and mechanical characteristics of wood.

The study followed three main steps: the investigation of trait variability, both within tree, within and among clones and between sites; the analysis of correlations between traits and the effectiveness of density as representative trait of the whole wood properties; microdensitometric analysis aimed to verify the possibility of early selection of genotypes. Moreover, some observations on the presence of the green vein (widespread chromatic anomaly in the European wild cherry) were carried out.

The results suggested the importance of the clone effect on the most of the analysed traits, revealing the presence of genetic control over both growth and wood traits. But, while the site was the most important source of variation for the growth traits, for the wood traits most variation was detected within tree, rather than within or among clones or between sites. Within tree variability seemed to be due mainly to the heartwood / sapwood presence and the genetic control was lower on heartwood than sapwood properties, showing probably an high environmental control on the heartwood formation process.

The growth traits were correlated between themselves but not with the wood traits, leading to an ineffective selection based on the tree growth in order to improve either wood quality, but pointing out the possibility of a contemporary selection based both on growth and wood properties.

The wood density was confirmed to be the trait that best represent the whole wood characteristics.

The early selection seemed to be possible thanks to the high correlation between heartwood and sapwood properties and the high correlation between the density of the adult tree and the density measured at the cambial age of 5-6 years.

Finally, the presence of the green vein seemed to be influenced by the genotype (different clones showed different incidence of the green vein), but the environment played a very important role, as well. The green vein showed to be closely connected to the tension wood.

INDICE

PREMESSA	1
SCOPI DEL LAVORO	3
PARTE I – INQUADRAMENTO GENERALE: LA PRODUZIONE DI LEGNO DI CILIEGIO IN ARBORICOLTURA E I PROGRAMMI DI MIGLIORAMENTO GENETICO	5
1.1 La produzione di legno in piantagione	5
1.2 Il ciliegio nel mercato del legno italiano	6
1.3 Miglioramento genetico delle piante per la produzione legnosa con particolare riferimento ai caratteri del legno	8
1.3.1 Introduzione.....	8
1.3.2 Miglioramento genetico: cosa migliorare?	10
1.3.3 I caratteri del legno utilizzabili ai fini della selezione.....	13
1.3.4 Il miglioramento delle latifoglie in Italia: il caso del ciliegio	16
1.3.5 Considerazioni conclusive.....	18
PARTE II – LA VARIABILITÀ DEI CARATTERI DEL LEGNO IN DUE IMPIANTI CLONALI DI CILIEGIO	20
2.1 Introduzione.....	20
2.2 Materiali e metodi.....	21
2.2.1 Campionamento.....	21
2.2.2 Misurazioni in campo e prove di laboratorio	22
2.2.3 Analisi statistica dei dati.....	26
2.3 Risultati.....	29
2.3.1 Statistiche descrittive.....	29
2.3.2 Analisi complessiva della varianza.....	31
2.3.3 Variabilità intra - albero	33
2.3.4 Variabilità intra- e inter - clone	35
Caratteri di accrescimento, forma del fusto e estensione del durame	35
Caratteri del legno	36
Confronto tra cloni	38
2.3.5 Variabilità inter - sito.....	48
2.4 Discussioni	51
2.4.1 Caratteri di accrescimento	51

2.4.2 Caratteri di forma del fusto	52
2.4.3 Estensione di durame e alburno	52
2.4.4 Caratteri del legno	53
Variabilità intra – albero	53
Variabilità intra e inter - clone	55
Variabilità inter – sito	56
Controllo genetico sulle proprietà del legno di alburno e durame	56
Confronto tra cloni	57
2.5 Conclusioni	58
PARTE III – CORRELAZIONI E DENSITOMETRIA	60
3.1 Introduzione	60
3.2 Materiali e metodi	61
3.2.1 Misure densitometriche	61
3.2.2 Analisi dei dati	62
3.3 Risultati	63
3.3.1 Correlazioni tra caratteri	63
3.3.2 Correlazioni alburno/durame	68
3.3.3 Correlazione tra densità misurata con metodo gravimetrico e densitometria	69
3.3.4 Le variabili densitometriche	71
3.3.5 Correlazioni tra accrescimento e densità	71
3.3.6 Variazione delle misure densitometriche con l'età cambiale e correlazioni alle diverse età	73
3.4 Discussioni	77
3.4.1 Correlazioni tra caratteri	77
3.4.2 Correlazione tra densità misurata con metodo gravimetrico e densitometria	78
3.4.3 Densità, ampiezza anulare ed età cambiale secondo i profili densitometrici	79
3.4.4 Possibilità di una selezione precoce	80
3.5 Conclusioni	81
PARTE IV – LA VENA VERDE	83
4.1 Introduzione	83
4.2 Materiali e Metodi	84
4.3 Risultati	85
4.3.1 Incidenza della vena verde	85
4.3.2 Influenza della vena verde sui caratteri del legno	87

4.3.3 Indagini anatomiche	90
4.4 Discussioni	92
4.5 Conclusioni.....	94
CONCLUSIONI FINALI.....	95
BIBLIOGRAFIA	98
APPENDICI	109
RINGRAZIAMENTI	129

PREMESSA

Il presente lavoro si inserisce nell'ambito del miglioramento genetico delle piante per la produzione di legno di pregio in arboricoltura. In questo contesto sono stati analizzati diversi parametri tra cui l'accrescimento, la forma del fusto, l'estensione del durame e, più in dettaglio, alcune caratteristiche del legno di cloni di ciliegio (*Prunus avium* L.).

È necessario premettere che, benché numerosi caratteri siano importanti nel determinare la qualità del legno, come la forma del fusto e l'accrescimento, qui vengono indicate con il termine “caratteristiche del legno” quelle proprietà più strettamente tecnologiche del materiale, ovvero le sue proprietà fisiche e meccaniche.

Nel testo che segue è stato inoltre impiegato il termine “caratteri del legno”, alternativamente a “caratteristiche” (convenzionalmente utilizzato in tecnologia del legno), per ribadire la connotazione genetica dello studio.

Il testo si articola in quattro parti indipendenti nella loro struttura, ciascuna relativa a una fase specifica della ricerca, ma che nel loro insieme si completano sviluppando l'intero argomento trattato.

La prima parte consiste in un inquadramento generale della tematica, attraverso uno studio bibliografico sull'argomento, focalizzando inoltre quali siano gli aspetti ritenuti più rilevanti da analizzare.

La seconda parte riguarda lo studio della variabilità dei parametri misurati e la caratterizzazione dei cloni campionati nel corso della ricerca.

La terza parte analizza le correlazioni esistenti tra i caratteri studiati e valuta l'uso della microdensitometria come metodo speditivo e non distruttivo per la misura della densità del legno. Indaga, inoltre, la possibilità di una selezione precoce per i caratteri del legno.

La quarta e ultima parte riporta alcune osservazioni sulla presenza di “vena verde” nel ciliegio, come la sua incidenza possa essere legata al fattore genetico e come questa influenzi le proprietà del legno.

Infine sono riportate le conclusioni generali del lavoro, con una discussione su quali caratteri del legno siano da considerarsi di maggiore importanza ai fini della selezione e del miglioramento genetico di piante di ciliegio sulla base degli impieghi del legno, ma anche dei risultati ottenuti dallo studio della variabilità di tali caratteri, della loro correlazione con gli altri parametri (accrescimento) e della “facilità” della loro misurazione e rilievo. Sono inoltre

fornite alcune indicazioni sulla possibilità e l'efficacia di una selezione precoce, effettuata su piante giovani per ottenere miglioramenti sulla produzione legnosa di piante adulte.

SCOPI DEL LAVORO

I fattori che determinano la qualità del legno, soprattutto per le latifoglie di pregio impiegate in arboricoltura, possono essere raggruppati sotto tre aspetti principali: primo fra tutti la stazione di crescita, che deve essere idonea per un valido e rapido sviluppo della o delle specie impiegate; a seguire le pratiche colturali che devono essere effettuate in modo corretto, programmato e tempestivo; in ultimo, ma non per importanza, l'oculata scelta del materiale vivaistico, intesa come individuazione delle specie e delle provenienze adatte alla stazione dell'impianto e come utilizzo di materiale geneticamente selezionato per l'arboricoltura da legno.

A quest'ultimo proposito in passato sono stati intrapresi importanti programmi di miglioramento genetico di piante arboree per la selezione di individui da impiegare in arboricoltura da legno. In particolare si è trattato di pioppo ed eucalipto (tra le specie a rapido accrescimento), ma anche, castagno, olmo, noce e ciliegio per la produzione di legname di pregio. In questo contesto il Centro di Ricerca per la Selvicoltura, CRA – SEL (prima Istituto Sperimentale per la Selvicoltura di Arezzo) ha condotto molti studi sulla variabilità genetica del ciliegio in Italia, selezionando fenotipi superiori per l'arboricoltura da legno. Il materiale così selezionato è stato impiegato per la realizzazione di impianti clonali sperimentali, all'interno dei quali sono stati condotti i primi studi di variabilità clonale di caratteri relativi al portamento degli individui e al loro accrescimento.

Non si deve però dimenticare che anche alcune caratteristiche del legno sono influenzate dal fattore genetico e quindi anche in questo ambito ci sono possibilità di interventi di miglioramento. Dato che lo scopo dell'arboricoltura di pregio è la produzione di legno di elevata qualità, è interessante approfondire la ricerca negli impianti clonali di ciliegio, attraverso lo studio delle proprietà del legno dei cloni precedentemente selezionati per accrescimento e morfologia della pianta. L'introduzione delle caratteristiche del legno nei programmi di miglioramento genetico è ormai considerata un importante obiettivo; per fare questo, però, è necessario conoscere la variabilità di questi caratteri, l'entità del controllo genetico, la possibilità e l'efficacia di una selezione basata su di essi.

In sintesi, gli scopi del presente lavoro sono quindi i seguenti:

- lo studio della variabilità dei caratteri di accrescimento, di forma del fusto ed estensione del durame a livello inter-clonale e inter-sito;

- lo studio della variabilità dei caratteri del legno a livello intra-albero, intra- e inter-clone e inter-sito;
- la caratterizzazione del legno di cloni di ciliegio selezionati per l'arboricoltura da legno sulla base di caratteri morfologici e di accrescimento;
- l'analisi delle correlazioni tra i caratteri del legno e quelli di accrescimento ai fini della selezione in programmi di miglioramento genetico;
- l'analisi della correlazione tra la densità e gli altri caratteri del legno;
- l'applicazione della tecnica densitometrica per approfondire la relazione tra densità del legno e accrescimento;
- l'utilizzo dei dati densitometrici per analizzare la correlazione tra la densità del legno alle varie età e quella della pianta adulta allo scopo di verificare la possibilità di effettuare selezioni precoci;
- fornire alcune informazioni sull'incidenza della vena verde nei cloni campionati e sulla sua influenza sulle proprietà del legno.

PARTE I – INQUADRAMENTO GENERALE: LA PRODUZIONE DI LEGNO DI CILIEGIO IN ARBORICOLTURA E I PROGRAMMI DI MIGLIORAMENTO GENETICO

1.1 La produzione di legno in piantagione

Negli ultimi decenni le piantagioni hanno assunto un'importanza sempre maggiore nell'approvvigionamento del legname ai fini industriali. Mentre la domanda mondiale di legno, inteso sia come legname da opera sia per la produzione di energia, è in continua crescita, i costi di gestione delle foreste naturali aumentano a causa dei maggiori costi di utilizzazione, delle regolamentazioni sempre più restrittive e dell'introduzione dei nuovi oneri ambientali.

Attualmente le piantagioni producono circa il 34% della domanda mondiale di legname da opera, ma potrebbero raggiungere il 75% nel 2050 (Sedjo 2001a), riducendo in questo modo la pressione sulle foreste naturali con conseguenti benefici per la conservazione dell'ambiente, la preservazione degli ecosistemi e della biodiversità e la mitigazione dei cambiamenti climatici grazie al maggiore assorbimento e stoccaggio di carbonio (Fenning e Gershenzon 2002).

In questo contesto, il miglioramento genetico di specie da utilizzare in impianti di arboricoltura da legno può portare sicuramente benefici di natura economica e vantaggi più prettamente ambientali. Dal punto di vista economico la selezione di piante “migliori” per tasso di accrescimento e resistenza ai patogeni può comportare una maggiore produttività in termini quantitativi e, allo stesso tempo, una qualità più elevata del legname prodotto se anche i caratteri del legno desiderati sono inclusi nel programma di miglioramento genetico. I benefici ambientali risiedono, tra l'altro, nella possibilità di utilizzare piante *ad hoc* selezionate in aree più o meno degradate, o comunque interessate da difficili condizioni climatiche come basse temperature, carenze idriche o gelate (Sedjo 2001b), e nella riduzione della necessità di trattamenti fitosanitari. Per tutte queste ragioni appare importante intraprendere lo studio di nuove opportunità nel campo della produzione di legno in piantagione, soprattutto dal punto di vista del miglioramento genetico.

Nel caso particolare delle latifoglie destinate alla produzione di legno di pregio, la qualità del materiale prodotto è senza dubbio più rilevante rispetto alla quantità; per tale motivo le caratteristiche del legno assumono in questo contesto un'importanza particolare e non dovrebbero essere trascurate dai programmi di miglioramento.

1.2 Il ciliegio nel mercato del legno italiano

Oltre alla positiva funzione di assorbimento e stoccaggio di carbonio (che si ottiene anche grazie all'impiego del legno per la realizzazione di manufatti durevoli), all'ampio areale che lo rende una specie autoctona in gran parte dell'Europa, e all'elevato valore paesaggistico dovuto soprattutto alla gradevole fioritura, il ciliegio è molto apprezzato dall'industria per la produzione di legno di elevata qualità (tab. 1.1). Il suo legno è usato soprattutto nel settore dell'arredamento, in falegnameria, per la produzione di pavimenti e tranciati di pregio. Ha durame e alburno differenziati e il durame ha un colore rosato o giallo-bruno che tende a scurirsi con il tempo; l'aspetto, e quindi anche il colore, sono caratteristiche molto importanti per questo legno in conseguenza dei suoi impieghi prevalenti (Signorini 2006). Uno dei principali difetti nelle provenienze europee, infatti, è la presenza di striature verdastre (vena verde) di cui si parlerà più approfonditamente in seguito (Parte IV).

Può essere definito un legno semi-pesante (massa volumica a umidità normale in media pari a 620 kg/m^3), con ritiri e deformazioni di media entità, tessitura fine e fibratura generalmente diritta; le proprietà meccaniche sono generalmente buone e la durezza media.

La lavorabilità è buona sia per la segagione, ma anche nel caso della sfogliatura (peraltro non molto praticata) e della tranciatura; l'unione con chiodi o viti, ma anche l'incollaggio, sono praticabili senza particolari difficoltà e la tenuta risulta buona. Infine anche la piallatura e la verniciatura producono risultati ottimali (Giordano 1988; Casini et al 2000).

Tab. 1.1 – Principali avversità, benefici, esigenze culturali e caratteristiche del legno del ciliegio europeo (*Prunus avium*) schematizzati da Hemery (2007).

Impacts	
<i>Factor</i>	<i>Comments</i>
Disease	Bacterial cankers
Pests	Deer
Drought	Resistant
Other	Temperature will increase vigour
Opportunities	
<i>Factor</i>	<i>Comments</i>
carbon-sink	Fast growing and good longevity, range of durable products to lock carbon
ecosystem services	Native to much of Europe. High associated biodiversity. High landscape value.
stand design and management	Genetic stock important (canker resistance and form). Good in mixed forests. Light demanding. High pruning necessary.
Timber	Highly decorative and valuable. Uses – furniture, turnery, veneer.

Attualmente l'Italia è uno dei maggiori Paesi europei trasformatori di legno di ciliegio; anche se è doveroso precisare che con il termine commerciale “ciliegio” si intende sia il ciliegio europeo (*Prunus avium*, selvatico e da frutto), ma anche il ciliegio americano (*Prunus serotina*), importato soprattutto dal Nord America per soddisfare l'elevata domanda europea. Le maggiori problematiche riferibili al legno di ciliegio, che possono ridurre le rese di lavorazione e la qualità del prodotto finito, sono: l'eccessiva presenza di nodi (il ciliegio ha infatti elevate esigenze di potatura), la presenza della vena verde (soprattutto nel ciliegio europeo), e la presenza di tasche di gomma (principalmente nelle provenienze americane). I prezzi del legno di ciliegio possono variare considerevolmente secondo l'uso finale (segagione o tranciatura) e la qualità dell'assortimento (frequenza dei difetti, dimensioni e forma dei tronchi), ma sono solitamente tra i più alti per le specie europee.

Per quanto riguarda la produzione di legno di ciliegio (*Prunus avium*) in Italia, non è facile trovare dati sull'ammontare complessivo. Sicuramente la diffusione di questa specie è aumentata negli ultimi decenni grazie al Regolamento CEE 2080/92 e ai successivi piani di sviluppo rurale, che hanno concesso incentivi per la realizzazione e la gestione di impianti per la produzione di legno in terreni agricoli. Dal 1994 al 2000, 104.141 ha di piantagioni sono stati realizzati grazie agli incentivi pubblici e il 75% di questi ha visto l'utilizzo di latifoglie (Colletti 2001), tra cui anche di ciliegio.

Si può qui menzionare l'esempio della Lombardia, la regione italiana con il maggior numero di ettari di nuove piantagioni realizzate grazie agli incentivi comunitari (Colletti 2001), dove il ciliegio occupa il 10,58% dei terreni imboschiti ed è superato solo dal noce europeo (11,33%) e dal pioppo (14,98%) (Fonte dei dati: Regione Lombardia – Direzione Generale Agricoltura).

In Piemonte, un'altra delle regioni italiane in cui l'arboricoltura per la produzione di legno di pregio ha avuto un grande sviluppo, il ciliegio occupa il 48% (2000 ha) dei terreni imboschiti con latifoglie, insieme al noce (1200 ha), farnia (500 ha) e frassino (450 ha) (Licini 2007).

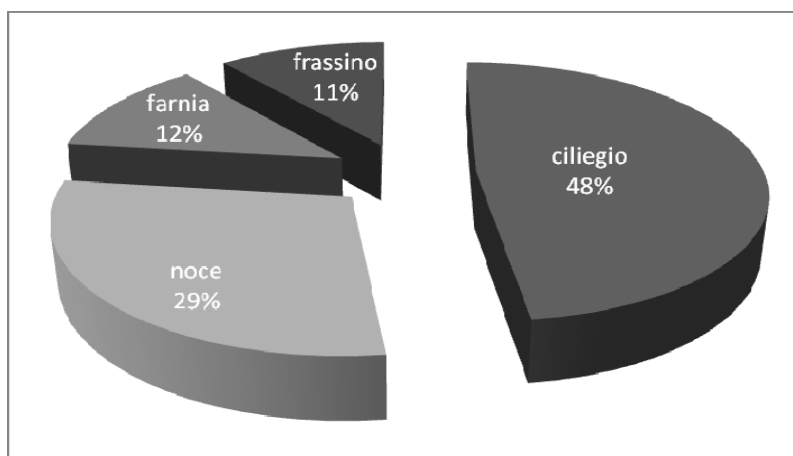


Fig. 1.1 – Percentuale per specie di aree imboschite con latifoglie di pregio con gli incentivi comunitari in Piemonte.

Appare quindi evidente l'utilità di studi mirati alla selezione e al miglioramento di genotipi di ciliegio da impiegare nelle piantagioni da legno di elevata qualità e all'individuazione delle più corrette pratiche colturali da mettere in atto. Inoltre, lo studio delle caratteristiche del legno del materiale migliorato è indispensabile per completare i programmi di miglioramento genetico e sicuramente utile quando questo materiale diventa disponibile per l'uso in arboricoltura anche a seguito della possibile e auspicata iscrizione nel Registro Nazionale dei Cloni Forestali (Legge 22 maggio 1973 n. 269, art. 21).

1.3 Miglioramento genetico delle piante per la produzione legnosa con particolare riferimento ai caratteri del legno¹

1.3.1 Introduzione

In un qualunque processo di trasformazione industriale la conoscenza e la riproducibilità dei requisiti originari della materia prima rappresentano un presupposto fondamentale sotto il profilo economico-finanziario.

Nel caso del legno, trattandosi di materiale di origine biologica, l'estrema variabilità delle sue caratteristiche rende la lavorazione e la successiva commercializzazione, sotto questo punto di vista, molto più esposte ai rischi che possono interessare la qualità ed il valore finale del prodotto, rispetto a processi industriali che impiegano materie prime più omogenee e meno

¹ Testo della pubblicazione: Nocetti M., 2008. Miglioramento genetico delle piante per la produzione legnosa con particolare riferimento ai caratteri del legno. *Forest@* 5: 112-120 [online: 2008-03-27] URL: <http://www.sisef.it/forest@/>.

deteriorabili. A questa peculiarità si aggiunge il fatto che, a seconda dell'impiego finale a cui il legno viene destinato, esiste una notevole variabilità nell'identificazione delle caratteristiche ritenute più idonee a descriverne la qualità (Berti 1992, 1995, Mori 1997, Berti e Uzielli 2000, Berti e Brunetti 2003).

Al fine di ottenere i risultati desiderati è importante che l'ambiente di crescita sia idoneo a uno sviluppo rapido ed equilibrato delle piante; è essenziale l'utilizzo di materiale vivaistico opportunamente selezionato, ma certamente anche le cure colturali, continue, puntuali e opportune, da parte dell'arboricoltore rivestono un ruolo fondamentale nel determinare le caratteristiche del prodotto finale (Berti 1992, 1995, Brunetti e Nocetti 2006).

E' evidente quindi come l'interazione *genotipo x ambiente* (Zobel e Talbert 1984) sia determinante nella riuscita di una piantagione di arboricoltura da legno. L'impiego di materiale di propagazione ottenuto attraverso programmi di miglioramento genetico permette di ottenere un prodotto più omogeneo e quindi maggiormente apprezzato dal mondo industriale.

Il patrimonio genetico influenza senza dubbio le capacità di adattamento, la resistenza alle avversità biotiche e abiotiche, le proprietà di accrescimento. Proprio su questi caratteri si è basata la maggior parte degli studi di variabilità genetica, selezione e miglioramento sviluppati nel caso di piante per la produzione legnosa. Non si deve però dimenticare che anche le caratteristiche del legno sono influenzate dal fattore genetico e anche in questo campo ci sono possibilità di azione per migliorare le proprietà di quello che è il prodotto a cui l'arboricoltore mira.

Appare quindi importante approfondire i principi del miglioramento genetico nell'ottica dello studio e del miglioramento dei caratteri del legno a partire dai numerosi programmi di selezione sviluppati in Italia su latifoglie per la produzione legnosa (fig 1.2) e considerando la scarsità di studi genetici sui caratteri del legno di latifoglie di pregio.



Fig 1.2 – Impianto clonale di ciliegio da legno presso l’Azienda Sperimentale Marani (Ravenna) realizzato dal Centro di Ricerca per la Selvicoltura (CRA-SEL, ex Istituto Sperimentale per la Selvicoltura di Arezzo).

1.3.2 Miglioramento genetico: cosa migliorare?

La prima cosa da fare all’inizio di un programma di miglioramento genetico è naturalmente decidere che cosa migliorare.

In generale si possono indicare alcuni principi che il miglioratore deve tenere in considerazione al momento della scelta dei caratteri da studiare, che infatti devono (Rozenberg e Cahalan 1997):

1. rispecchiare le esigenze dell’utente, tenendo in considerazione la destinazione del materiale prodotto;
2. soddisfare tali esigenze costantemente nel tempo;
3. non essere correlati negativamente con altri caratteri ritenuti “positivi”;
4. essere sotto un forte controllo genetico;
5. essere il più possibile correlati nelle diverse età della pianta, in modo da accelerare i tempi di selezione.

Per quanto concerne il primo e il secondo punto questi parametri sono necessariamente collegati al concetto di qualità del legno, intesa come l'insieme dei requisiti che soddisfano le esigenze dell'uso finale a cui il materiale sarà destinato (Berti 1995, Perstorper et al. 1995, Mori 1997).

Il concetto di qualità è quindi relativo e contiene di per sé un elemento di variabilità (Janin et al. 1996), soprattutto quando si considera che il legno prodotto in una piantagione può essere impiegato per usi diversi. Una volta che siano stati chiariti i requisiti di qualità da ottenere e l'*iter* da seguire per il raggiungimento del risultato prefisso, i tempi necessari per il conseguimento dei primi risultati in uno studio di miglioramento genetico sono relativamente lunghi. Prevedere quali saranno le proprietà del legno richieste dall'industria di trasformazione in futuro non è certo semplice, senza considerare che l'evoluzione delle tecniche di lavorazione è assai più rapida del miglioramento stesso. Da qui l'importanza di basare la selezione su caratteri ritenuti desiderabili in modo costante nel tempo. Un aspetto come l'omogeneità delle proprietà del legno, ad esempio, sarà sempre considerato positivo, sia come parametro per definire la qualità del materiale, sia come requisito richiesto dal mondo industriale (Zobel e Jett 1995).

Più delicata appare la valutazione delle correlazioni tra le diverse variabili sotto il profilo dell'ereditabilità genetica. La selezione ha lo scopo di scegliere le piante migliori da usare come base per la produzione delle nuove generazioni e i caratteri del legno, che sono l'"obiettivo" da perseguire in questa fase, non devono essere in contrasto tra di loro e non devono essere geneticamente correlati in modo negativo (almeno non in modo rilevante) con altri caratteri quali il tasso di accrescimento della pianta, la sua resistenza agli agenti patogeni, il grado di adattabilità all'ambiente o altre proprietà del legno ritenute "desiderabili". In caso contrario, infatti, una selezione per mezzo di tali caratteri porterebbe inevitabilmente a un peggioramento delle proprietà alle quali sono contrapposti. Un esempio potrebbe essere quello della massa volumica del legno che in alcuni casi, in particolare nelle conifere, può essere negativamente correlata con l'ampiezza dell'anello annuale e quindi con il tasso di accrescimento (Zobel e van Buijtenen 1989, Zhang e Morgenstern 1995, Zobel e Jett 1995); una selezione basata sulla massa volumica elevata in questi casi, porterebbe a scegliere individui con accrescimenti più lenti. Come è noto, sotto il profilo economico, il tasso di accrescimento è considerato una caratteristica prioritaria per gli arboricoltori.

Un altro presupposto del miglioramento è il controllo genetico. Affinché la scelta di un carattere possa dare dei buoni risultati in un programma di selezione, occorre una elevata variabilità (su cui operare la selezione) e un forte controllo genetico. Come si è

precedentemente affermato il carattere che viene rilevato e misurato è il risultato di due fattori, quello genetico e quello ambientale, e della loro interazione. Il controllo genetico di un carattere viene misurato su basi statistiche, suddividendo la varianza totale del carattere misurato (varianza fenotipica, V_P) in varianza genetica (V_G) e varianza ambientale (V_E). La varianza ambientale comprende tutti gli effetti su quel determinato carattere dovuti a fattori esterni, siano essi le condizioni climatiche della stazione, le caratteristiche pedologiche, la concorrenza tra individui ecc. La varianza genetica può a sua volta essere suddivisa in varianza additiva (V_A) e varianza non additiva (V_{NA}). La prima è la componente più importante in quanto è la principale causa della “somiglianza” tra genitori e riflette la porzione di genotipo per uno specifico carattere che un parente trasmette alla progenie; la varianza non additiva è il risultato della dominanza (interazione allelica in uno stesso *locus*) e dell’epistasi (interazione allelica in *loci* differenti).

Il rapporto tra la varianza dovuta al genotipo e quella totale (varianza fenotipica) prende il nome di ereditabilità ed è una misura del grado di controllo genetico sul carattere in esame. Si distinguono, però, l’ereditabilità in senso stretto (h^2), data dal rapporto tra la varianza additiva e la varianza fenotipica, e l’ereditabilità in senso lato (H^2), data dal rapporto tra varianza genotipica totale e varianza fenotipica.

Nel caso di test clonali (gruppi di individui ottenuti tramite propagazione vegetativa) è possibile calcolare soltanto l’ereditabilità in senso lato, mentre sperimentazioni con impollinazioni controllate permettono di distinguere la varianza additiva e la varianza dominante e di calcolare l’ereditabilità in senso stretto.

Un breve schema dei calcoli sopra descritti è presentato in tab. 1.2; per ulteriori approfondimenti si rimanda a testi specifici (Falconer e Mackay 1996).

Naturalmente più elevato è il valore di ereditabilità (valore compreso tra 0 e 1) e maggiore è il controllo genetico; valori di h^2 compresi tra 0,4 e 0,7 sono considerati medio – alti, valori superiori allo 0,7 molto alti.

Tab. 1.2 – Simboli e metodi di stima per il calcolo dei parametri genetici (V_A = varianza additiva; V_{NA} = varianza non additiva).

	Simbolo	Metodo di stima
Varianza fenotipica	V_P	$V_P = V_G + V_E$; $V_P = V_A + V_{NA} + V_E$
Varianza genetica	V_G	$V_G = V_A + V_{NA}$
Varianza ambientale	V_E	Non calcolabile*
Ereditabilità in senso stretto	h^2	$h^2 = V_A / V_P$
Ereditabilità in senso lato	H^2	$H^2 = V_G / V_P$

(*) Non calcolabile per via diretta, ma in via teorica $V_E = V_P - V_G$.

L'ultimo aspetto riguarda i tempi necessari per la selezione, che nel caso delle piante arboree sono piuttosto lunghi; per questo sarebbe opportuno che i caratteri in esame fossero ben correlati nelle diverse età della pianta. L'ereditabilità, infatti, tende a cambiare con l'età per vari motivi: da un lato i fattori ambientali non sono costanti nel tempo, dall'altro questi possono influenzare diversamente l'individuo in età differenti e in condizioni di competizione più o meno marcata nella cenosi. Il risultato di questi mutamenti è una variazione dell'influenza relativa del fattore genetico sulla varianza totale fenotipica e quindi del valore di ereditabilità, impiegato come indice sintetico nei programmi di miglioramento (Zobel e Jett 1995).

Per fare un esempio, le proprietà del legno giovanile sono spesso diverse da quelle del legno maturo: quindi, basare la selezione su misure e rilievi effettuati sul legno giovanile può portare a erronee conclusioni per quanto concerne le proprietà del legno maturo. D'altra parte però, per minimizzare i tempi del miglioramento, sarebbe di aiuto poter effettuare la selezione su piante relativamente giovani. Da qui l'importanza che i caratteri studiati siano, se non relativamente costanti, significativamente correlati nel legno giovanile e nel legno maturo (Rozenberg e Cahalan 1997).

1.3.3 I caratteri del legno utilizzabili ai fini della selezione

Nel caso specifico delle piante arboree, la maggior parte dei miglioratori considera i caratteri del legno come secondari ai fini della selezione (per esempio Isebrands e Hunt 1976, Akachuku 1984, Zobel e Jett 1995). Anche qualora l'obiettivo sia la produzione di legno, la prima fase del programma di miglioramento viene effettuata sui caratteri di accrescimento e morfologici, come la forma del fusto, la numerosità e la conformazione dei rami, il grado di adattamento alla stazione di crescita e la resistenza agli agenti patogeni.

E' evidente come una tale selezione non comporti necessariamente un miglioramento complessivo delle caratteristiche tecnologiche del legno ai fini dell'impiego finale che ci si propone. Emerge quindi l'importanza di introdurre anche i caratteri del legno come parte integrante del processo di selezione o, in alternativa, far seguire ad esso uno studio sulle proprietà del materiale da condurre sulle piante precedentemente selezionate solo su basi morfologiche (Zobel e Jett 1995).

Gli studi sviluppati fino ad oggi sulla variabilità dei caratteri del legno hanno dimostrato come alcuni di questi siano soggetti a un controllo genetico medio – alto; in particolare le ricerche si

sono concentrate sulle conifere sia a causa della semplicità dell'organizzazione cellulare del loro legno (omoxilo), sia per il forte interesse rivestito nella produzione di pasta per cellulosa. Uno dei primi studi che ha evidenziato un forte controllo genetico è quello condotto su pino (*Pinus elliottii*), e in particolare su piante sottoposte a innesto, rilevando una totale mancanza di correlazione tra i caratteri del legno (densità e lunghezza delle tracheidi) misurati al di sopra e al di sotto dell'innesto. Le misure hanno mostrato differenze significative nonostante il legno fosse stato prodotto nello stesso ambiente, dallo stesso apparato radicale e dalla stessa chioma, indicando quindi una forte influenza del genotipo (Zobel et al. 1962).

A partire da queste prime ricerche, molti caratteri sono stati oggetto di studi per valutare l'ereditabilità genetica: la massa volumica del legno, la lunghezza delle cellule, l'angolo microfibrillare e poi le proprietà chimiche, il contenuto di estrattivi, cellulosa, lignina e emicellulose, oppure caratteri più macroscopici quali l'estensione di alburno e durame (fig 1.3), la transizione da legno giovanile a legno maturo, la percentuale di legno tardivo e primaticcio, la presenza di legno di reazione, la deviazione della fibratura, la lucentezza e il colore del legno.

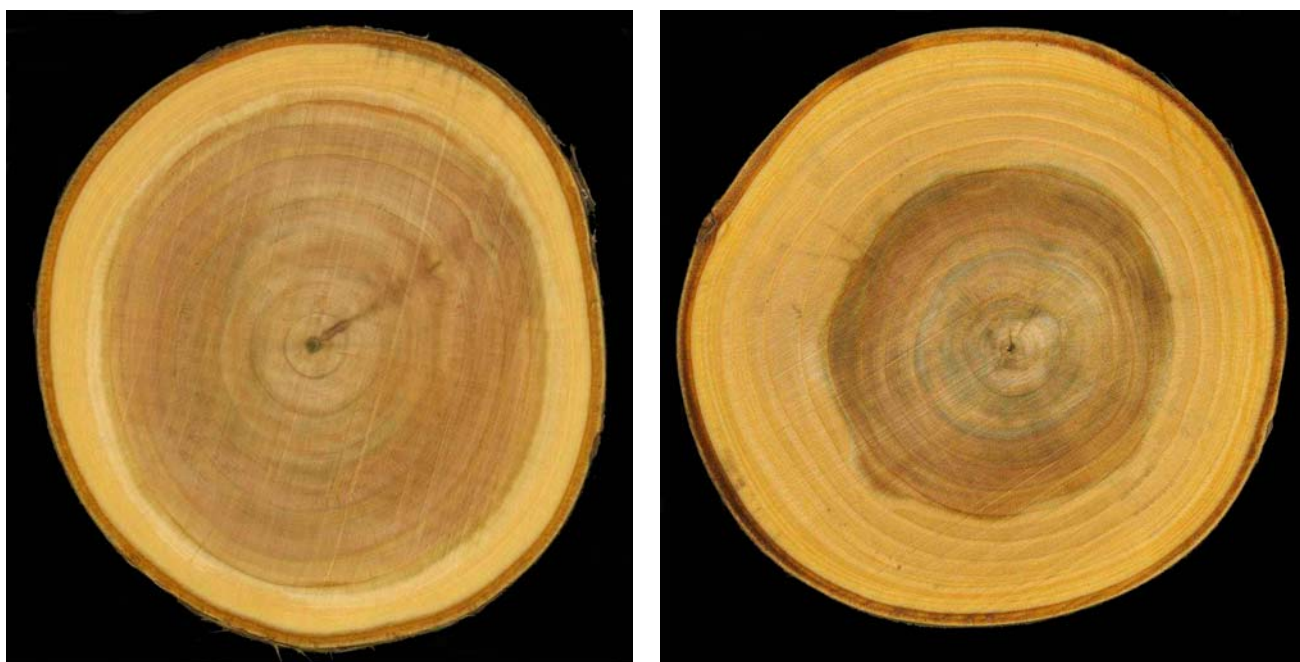


Fig. 1.3 – Rotelle di piante appartenenti a due cloni differenti di ciliegio provenienti dallo stesso impianto e coetanei. Si noti la notevole differenza di estensione della duramificazione.

Naturalmente l'ereditabilità, come già precedentemente accennato, non è un valore fisso e la sua stima cambia a seconda del carattere analizzato, della specie in questione, della stazione

di crescita e anche della numerosità del campione (numero di cloni, numero di piante per clone).

Nel programma di miglioramento generalmente l'attenzione si concentra su pochi caratteri considerati come obiettivo prevalente. L'introduzione di numerosi fattori porterebbe sicuramente a un minore successo dovuto a un effetto di "diluizione", che significherebbe un minor guadagno genetico per le qualità più importanti (Zobel e Jett 1995). Ne consegue la necessità di scegliere quei caratteri che si sono dimostrati più rappresentativi, che sono contraddistinti da elevati valori di ereditabilità e che naturalmente sono di maggiore interesse per il miglioratore.

Tra tutte le caratteristiche del legno, in genere la densità, o meglio la massa volumica del legno, è il carattere più frequentemente ricercato e selezionato nei programmi di miglioramento genetico. Come è noto la massa volumica è facilmente misurabile e, soprattutto, è considerata un compendio delle proprietà del legno, essendo spesso correlata a molte altre caratteristiche fisico-meccaniche come i ritiri/rigonfiamenti e le resistenze meccaniche, che rappresentano un importante elemento di valutazione per le utilizzazioni industriali ed altro (Armstrong et al. 1984, Zobel e van Buijtenen 1989, Zobel e Jett 1995, Rozenberg e Cahalan 1997, Zhang 1997, Rozenberg et al. 2001).

La densità si è rivelata essere contraddistinta da ereditabilità medio – alta, ma, come è facilmente intuibile, nessuna affermazione generalizzata è possibile.

Diversamente dalle conifere, gli studi sul controllo genetico dei caratteri del legno per le latifoglie sono meno numerosi. Le specie più studiate sono quelle appartenenti ai generi *Eucalyptus* e *Populus* (si veda i lavori citati in Zobel e van Buijtenen 1989). In linea di massima i risultati si possono definire positivi anche per le latifoglie; la densità si è infatti dimostrata un carattere dotato di un soddisfacente controllo genetico e sufficientemente rappresentativo delle proprietà del legno, anche se i risultati della selezione non sono sempre facilmente interpretabili, a causa della maggiore complessità cellulare del legno eteroxilo.

A titolo di esempio si possono citare alcuni lavori condotti su pioppo, in cui l'ereditabilità per la densità del legno è risultata pari a 0,35 (Yanchuk et al. 1984); su eucalipto, valore pari a 0,55 (Otegbeye e Kellison 1980); ma anche su betulla, valore pari a 0,55 (Nepveu e Velling 1983); su diverse specie del genere *Quercus*, valori che vanno da 0,37 a 0,59 (Nepveu 1984); e su salice, in cui l'ereditabilità per la densità basale è risultata pari a 0,65 (Monteoliva et al. 2005).

Poche informazioni sono disponibili sui caratteri del legno delle latifoglie per la produzione di legno di pregio, sulla loro variabilità e il grado di controllo genetico a cui sono soggetti, su

come siano correlati tra di loro e se anche in questo caso la densità possa essere considerata un parametro rappresentativo.

1.3.4 Il miglioramento delle latifoglie in Italia: il caso del ciliegio

In Italia sono stati condotti in passato molti studi per il miglioramento genetico di latifoglie da destinare alla produzione di legno. Si deve sicuramente menzionare il pioppo, genere ampiamente studiato e largamente utilizzato in impianti di arboricoltura e che include i soli cloni ad essere attualmente iscritti nel Registro Nazionale dei Cloni Forestali (Bisoffi 1999); ma non si devono dimenticare l'eucalipto, il noce, il ciliegio, il castagno, l'olmo.

Gli studi fin qui condotti si sono basati principalmente su caratteri quali la resistenza ai patogeni, come nel caso della grafiosi per l'olmo (Santini et al. 2002), o l'accrescimento e l'architettura della pianta, come per il castagno (Maltoni et al. 2001), per l'eucalipto (Mughini 2001) e soprattutto per il noce (Paris et al. 2003). Unico studio sulle caratteristiche del legno è quello condotto da Santini et al. (2004) su due cloni di olmo resistenti alla grafiosi (fig. 1.4).



Fig. 1.4 – “San Zenobi”, clone di olmo selezionato per la resistenza alla grafiosi e le buone caratteristiche di accrescimento (foto Santini A.)

Particolare menzione per la produzione del legno di pregio è riservata, insieme al noce, al ciliegio (*Prunus avium* L.). Questa è una specie ampiamente diffusa in Europa, capace di adattarsi a diversi ambienti e, come già affermato, potenzialmente in grado di produrre un legname di elevato pregio. Da qui l'interesse per uno studio sulle sue potenzialità dal punto di vista del miglioramento genetico.

Finora la ricerca in Italia si è concentrata sullo studio della variabilità genomica presente nelle popolazioni naturali (Ducci e Proietti 1997) e sulla selezione dei fenotipi migliori per la realizzazione di impianti clonali. I caratteri presi in considerazione sono stati anche in questo caso le proprietà di accrescimento e l'architettura della pianta (Ducci e Veracini 1990). Infine, negli impianti clonali sono state effettuate le prime misure su alcuni caratteri (mortalità, accrescimento, architettura della pianta, fenologia) in piantine ancora in piccola età, ottenendo risultati interessanti: elevato effetto clonale su parametri dendrometrici ed elevata ereditabilità (Ducci et al. 1990, Minotta et al. 2000).

Molti altri programmi di selezione e miglioramento genetico sul ciliegio sono stati condotti con successo in altri paesi europei (come riportato in Kobliha 2002) e gli studi sul controllo genetico dei caratteri morfologici sono numerosi (Santi et al. 1998, Muranty et al. 1998, Curnel et al. 2003, Martinsson 2001). Non ci sono invece, per quanto a noi conosciuto, studi sulla caratterizzazione del legno di questi cloni, e mancano quindi dati sulla variabilità e l'ereditabilità delle proprietà del legno per questa specie. L'unico carattere ad oggi studiato su cloni di ciliegio italiani è stato il colore del legno (Signorini 2006).

Considerando l'importanza del legno di ciliegio, molto ricercato per la segagione e la trancitura per la produzioni di mobili, è sicuramente di grande interesse studiare l'ereditabilità delle sue caratteristiche. In particolare le variazioni e la stabilità dimensionali, la densità e la sua correlazione con le proprietà meccaniche e i caratteri di accrescimento della pianta. Queste caratteristiche, infatti, influenzano la lavorabilità del materiale e il livello di apprezzamento sul mercato e sono determinate in parte dalle condizioni di crescita, ma in parte anche dal genotipo.

Anche la presenza di anomalie specifiche del legno di ciliegio, come la già citata "vena verde" (un'alterazione cromatica riscontrata nel durame come evidenziato in fig. 1.5, che deprezza fortemente il materiale e probabilmente legata alla presenza di legno di tensione), sembrano avere incidenza diversa a seconda della provenienza ed essere legate al fattore genetico (Polge 1984).

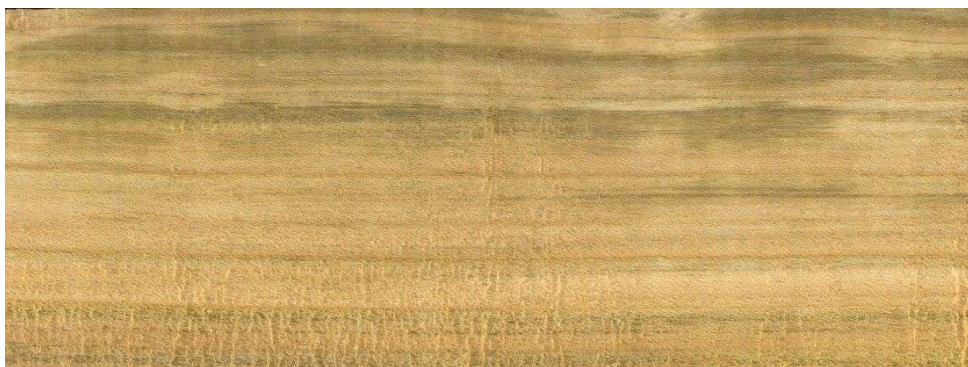


Fig. 1.5 – Striature verdastre (vena verde) in tavola radiale di ciliegio.

Pertanto lo studio dell'ereditabilità di questi caratteri appare quindi un passaggio fondamentale per ottimizzare la selezione di piante utilizzate per la produzione di legno di elevata qualità. In questo modo si possono aggiungere informazioni essenziali alla caratterizzazione dei cloni presenti sul territorio, al fine di rendere più completa la conoscenza delle loro potenzialità e più efficace il loro utilizzo.

È importante inoltre ricordare che alcune caratteristiche del legno, in particolare le caratteristiche meccaniche, chimiche e anatomiche, sono elementi richiamati (seppur come caratteri supplementari) dalle vigenti disposizioni legislative in merito all'iscrizione del clone nel già citato registro Nazionale dei Cloni Forestali (Bisoffi 1999).

1.3.5 Considerazioni conclusive

Come si può capire da quanto sopra riportato, in Italia molto rimane da fare sugli aspetti genetici relativi ai parametri tecnologici del legno delle latifoglie di pregio. Mentre programmi di miglioramento genetico sono stati sviluppati con successo, portando alla realizzazione di impianti clonali di genotipi accuratamente selezionati per l'impiego in arboricoltura, lo studio delle proprietà del legno è ancora agli inizi.

Si vuol qui pertanto ribadire l'importanza di questi studi che potrebbero fornire utili indicazioni per il futuro, sia nel campo del miglioramento genetico del legno, sia per conoscere meglio quali siano le relazioni esistenti tra le diverse proprietà del materiale nel caso di latifoglie cresciute in Italia.

Le ricerche fino a qui condotte su varie specie hanno confermato l'importanza dell'introduzione dei caratteri del legno nei programmi di miglioramento genetico, che, utilizzati insieme (o secondariamente) ai caratteri di accrescimento possono contribuire a dare

un valore aggiunto al prodotto finale, senza diminuire l'efficacia del miglioramento per quanto concerne i caratteri morfologici, di adattamento e di resistenza ai patogeni. Bisogna sempre tener presente che l'obiettivo finale del miglioramento degli alberi forestali per la produzione di legno è, appunto, il legno.

Conoscere l'ereditabilità dei caratteri del legno può essere sicuramente assai utile al momento dell'impostazione di un nuovo programma di miglioramento genetico o nel proseguo di uno già avviato. Da ricordare, comunque, che l'indice di ereditabilità deve essere stimato per ogni singola situazione, potendo cambiare a seconda del materiale biologico in questione, dell'età dello stesso e soprattutto del sito di allevamento e sviluppo delle piante. La conoscenza del livello di controllo genetico sui diversi caratteri del legno, anche se auspicabile dal punto di vista teorico, è difficilmente perseguibile per ogni singola specie nei vari ambienti di crescita. Da qui il possibile suggerimento, da un lato, di concentrare gli studi su quei caratteri, come la densità, generalmente rappresentativi del complesso delle qualità del legno e sulle relazioni esistenti tra questi e le altre proprietà di più difficile e dispendiosa misura; dall'altro, di analizzare l'interazione genotipo-ambiente in modo da studiare il genotipo in ambienti ben caratterizzati e permettere poi soddisfacenti previsioni di *performance* in altri ambienti.

In ultimo, si deve ribadire ancora una volta che il risultato di un impianto di arboricoltura è dato dall'insieme e dall'interazione di tre fattori, nessuno dei quali può essere trascurato: il fattore ambientale, il fattore genetico e le cure colturali, senza le quali non è possibile conseguire una buona riuscita. La selezione da sola non può garantire la produzione di ottimo legno in gran quantità, in quanto ogni genotipo cresciuto in ambienti diversi può portare a risultati dissimili.

PARTE II – LA VARIABILITÀ DEI CARATTERI DEL LEGNO IN DUE IMPIANTI CLONALI DI CILIEGIO²

2.1 Introduzione

Il primo passo in un programma di miglioramento genetico è, come già affermato, la scelta dei caratteri su cui basare la selezione. Nel caso del legno questi devono, tra le altre cose, rispecchiare le esigenze dell'utilizzatore in funzione della destinazione del materiale (Raymond 2002).

Considerando gli impieghi prevalenti del legno di ciliegio le caratteristiche che possono essere ritenute più importanti sono sicuramente l'aspetto del legno, i ritiri, la stabilità dimensionale e la lavorabilità; le proprietà meccaniche possono considerarsi secondarie, con l'eccezione della durezza (Nepveu 1992).

La scelta dei caratteri da esaminare in questo studio si è basata certamente su queste riflessioni, ma anche sull'intenzione di dare il maggior numero di informazioni sia ai miglioratori, sia agli arboricoltori, nonché ai tecnologi del legno, caratterizzando i cloni nel modo più completo ed esaminando quindi un maggior numero di caratteri. Poco infatti si conosce sulle caratteristiche del legno di latifoglie, soprattutto di latifoglie per la produzione di legno di pregio, e in particolare sull'influenza del fattore genetico su di esse, sulla loro variabilità e sulle relazioni che le legano.

Tra i requisiti che i caratteri devono avere perché siano utilizzabili efficacemente in un programma di miglioramento genetico, c'è primariamente l'essere soggetti a un forte controllo genetico. Scopo, quindi, di questa parte dello studio è l'analisi della variabilità di tutti i caratteri misurati a livello di sito, di clone, ma anche (per i caratteri del legno) di singola pianta, indagando quali siano le principali fonti di variazione e quale sia il peso del fattore genetico per ciascun carattere.

Ulteriore obiettivo in questa parte del lavoro è la caratterizzazione dei cloni campionati in modo da rilevare le principali differenze di *performance* sia per sviluppo dimensionale delle piante che per qualità del legno.

² Il testo del presente capitolo è oggetto della pubblicazione: Nocetti M., Brunetti M., Ducci F., Romagnoli M., Santi F. Variability of wood properties in two wild cherry clonal trials. Wood Science and Technology. In revisione.

2.2 Materiali e metodi

2.2.1 Campionamento

Il campionamento è stato effettuato in due impianti clonali realizzati dal Centro di Ricerca per la Selvicoltura, Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura (CRA-SEL). Il primo è situato pochi chilometri a nord di Ravenna, presso l'Azienda Agraria Sperimentale Marani (di seguito indicato come località "Marani"), mentre l'altro si trova a circa 40 km a sud-est di Firenze, in località Forestello (Arezzo). La descrizione dei due siti e degli impianti in essi realizzati è schematicamente riportata in tabella 2.1.

L'impianto nell'Azienda Marani è situato a circa 2 km dalla costa adriatica ed è soggetto all'azione di venti dominanti provenienti da nord-est, parzialmente attenuata da alcuni filari frangivento. La messa a dimora delle piantine è avvenuta nel 1986 con un sesto di impianto pari a 3 x 3 m; nel 1995 è stato effettuato un diradamento sistematico che ha asportato circa il 25% del soprassuolo.

Nella località Forestello il ciliegio è stato piantato nel 1987 misto con frassino e ontano, per sopperire alle carenze di azoto e fosforo nel suolo derivante dalla attività di estrazione di una centrale termoelettrica a lignite. Il sesto di impianto è stato ancora una volta 3 x 3 m, ma 6 x 6 per il ciliegio (Ducci et al 1990; Ducci et al 2006). Dal punto di vista selvicolturale la piantagione ha attualmente una struttura a due strati in cui il piano dominante è costituito dal ciliegio.

I cloni impiegati negli impianti sperimentali sono stati micropropagati da fenotipi superiori (*plus trees*) selezionati dal Laboratorio di Risorse Genetiche Forestali del CRA-SEL e dal Dipartimento di Colture Arboree dell'Università di Bologna, seguendo principalmente criteri di accrescimento e di architettura della chioma (Ducci e Veracini 1990). Il materiale genetico proviene dall'Appennino centrale, nella zona compresa tra le latitudini 44°31'20'' e 43°23'00'', ed è stato prelevato a diverse altitudini (tra 150 e 1000 m s.l.m.) nei territori delle province di Bologna, Firenze e Arezzo.

Il materiale genetico dei cloni Alpe1, Alpe2, Chiesa Vecchia e Puzzòlo è originario dell'Appennino Toscano, ad altitudini comprese tra i 900 e i 1000 m s.l.m.; Villa Ghigi e Colli Bolognesi provengono dalla zona delle Colline Bolognesi, ad altitudini inferiori (100-200 m).

I cloni campionati sono stati: Alpe1 (A1), Alpe2 (A2), Colli Bolognesi (CB), Chiesa Vecchia (CV), Puzzòlo (P), Villa Ghigi (VG1).

Per l'esecuzione delle prove di laboratorio oggetto di questa indagine, nella primavera del 2006 dall'impianto Marani sono stati prelevate 8 piante per ciascuno dei 6 cloni; nella stazione di Forestello, nel corso del 2007, sono stati prelevate da 4 a 7 piante dei cloni A1, A2, CV e P, non essendo presenti in questo impianto i cloni selezionati dal Dipartimento dell'Università di Bologna (CB e VG1). Inoltre a Forestello sono stati prelevati e sottoposti alle successive analisi anche 3 alberi nati da seme utilizzati come testimoni (T), per un totale complessivo di 74 piante abbattute.

Il numero di individui da campionare per ciascun clone è stato stabilito sulla base di lavori precedenti, che hanno individuato in 6-8 il numero ottimale di ramets al fine di ottenere la migliore accuratezza delle stime dei parametri genetici, considerando sia il guadagno genetico sia i costi che questo tipo di studi richiede (Russel e Libby 1986; Muranty et al 1996).

Tab. 2.1 – Caratteristiche climatiche, edafiche e colturali degli impianti clonali campionati.

	Marani	Forestello
coordinate geografiche	lat. 44°27' N, long. 12°12' E	lat. 43°34' N, long. 11°29' E
altitudine s.l.m.	5 m	250 m
suolo	franco limoso (64% limo, 27% argilla)	franco (44% limo, 30% argilla)
temperatura media annua	13°C	14°C
precipitazioni totali annue	650 mm	870 mm
sesto di impianto	3x3, diradamento (25%) nel 1995	3x3 misto, ciliegio 6x6 m
età delle piante campionate	20 anni	20 anni
numero cloni campionati	6	4
numero piante per clone	8	4 – 7 (+3 piante testimoni)

2.2.2 Misurazioni in campo e prove di laboratorio

Dopo l'abbattimento delle piante sono stati rilevati i principali parametri dendrometrici di ciascun individuo: altezza totale, diametro del tronco a 1,30 m dal suolo e successivamente a intervalli di 2 m di lunghezza. Da questi dati è stato poi calcolato il volume totale del fusto e il coefficiente di rastremazione, quest'ultimo ottenuto dal rapporto tra la differenza del diametro del tronco sopra corteccia a 1,30 m e l'ultimo diametro rilevato in altezza e la lunghezza del toppe stesso.

Un toppe di lunghezza pari a 1 m è stato poi prelevato a 50 cm dalla base del tronco per la preparazione dei provini da utilizzare nella caratterizzazione fisico-meccanica del legno; la porzione basale del fusto è stata tralasciata in quanto in questa zona la variabilità delle caratteristiche del legno è maggiore e, soprattutto, queste possono non essere rappresentative del resto del fusto (Zobel e van Buijtenen 1989). Inoltre alla base della pianta si possono riscontrare spesso danni meccanici.

Il toppe è stato poi portato in laboratorio e immediatamente predisposto per le successive prove.

Da ciascun campione è stata asportata una rotella spessa 2 cm; la sua sezione trasversale è stata scansionata e successivamente sono stati misurati con un software di analisi di immagine la percentuale di area occupata dal durame e il diametro dello stesso (come media di due diametri ortogonali). Il coefficiente di ellitticità, calcolato come differenza tra diametro maggiore e diametro minore della sezione trasversale misurati sopra corteccia, e il numero di anelli di alburno sono stati ugualmente determinati dall'immagine ottenuta con la scansione.

Dalla rotella è stato poi ricavato il materiale per la preparazione dei provini per le analisi densitometriche (vedi Parte III).

La parte restante del toppe è stata utilizzata per la preparazione dei provini per la determinazione della massa volumica, dei ritiri volumetrico e lineari, del coefficiente di nervosità (rapporto tra ritiro tangenziale e ritiro radiale) e di alcune proprietà meccaniche, in accordo con la normativa UNI – ISO per le prove su campioni di piccole dimensioni netti da difetti. Per ciascuna prova di laboratorio i provini sono stati ricavati dalle 4 tavole radiali, numerati in senso progressivo dal midollo verso la corteccia e classificati secondo l'età cambiale e la loro posizione nella zona di durame o di alburno; i provini caratterizzati dalla presenza sia di alburno che di durame sono stati esclusi dalle analisi. Inoltre, poiché al momento dell'abbattimento è stata notata la presenza di vena verde nel legno di alcune piante, è stata effettuata anche una classificazione visiva in base alla presenza/assenza di striature verdi (vedi capitolo sulla vena verde, Parte IV).

Uno schema del processo di lavorazione per la realizzazione dei provini è riportato in figura 2.1.

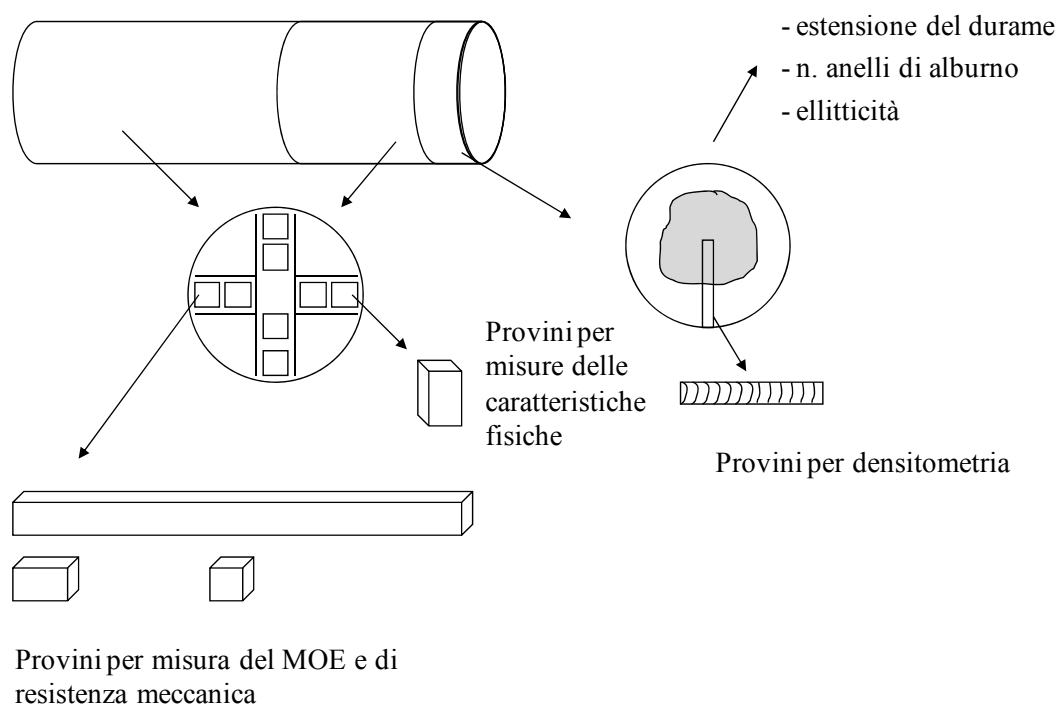


Fig. 2.1 – Schema grafico del processo di lavorazione per la preparazione dei provini per le rilevazioni di laboratorio.

Per la determinazione della massa volumica (UNI ISO 3131), dei ritiri volumetrici e lineari (UNI ISO 4469, UNI ISO 4858) e del coefficiente di nervosità, i provini prismatici di dimensioni pari a 20x20x30 mm sono stati misurati inizialmente allo stato fresco, poi una volta equilibrati alle condizione di temperatura di 20°C e umidità relativa dell'aria pari al 65% (corrispondenti ad una umidità attesa di equilibrio nel legno del 12%) e successivamente allo stato anidro dopo permanenza in stufa ventilata a $103 \pm 2^\circ\text{C}$ fino a peso costante. La densità basale è stata determinata come rapporto tra la massa allo stato anidro e il volume allo stato fresco.

Per la determinazione delle caratteristiche meccaniche del legno, i listelli ottenuti dalle tavole radiali sono stati condizionati in cella climatica alla temperatura di 20°C e umidità relativa dell'aria pari al 65% fino al raggiungimento del peso costante. Successivamente sono stati ricavati dei provini di dimensioni 20x20x400 mm che sono stati sottoposti alla prove per la determinazione del modulo di elasticità dinamico per mezzo del software BING, sviluppato dal CIRAD (<http://www.xylo-metry.org/en/software.html>; Brancheriau and Bailleres 2002), e alla prova per la determinazione della resistenza a flessione statica (secondo la norma UNI ISO 3133).

La resistenza a compressione parallela alla fibratura e la resistenza a taglio sono state determinate su provini di dimensioni rispettivamente pari a 20x20x30 mm e 20x20x20 mm secondo le norme UNI ISO 3787 e UNI ISO 3347.

Infine la durezza del legno è stata determinata con il metodo Brinell secondo la norma UNI EN 1534.

In totale, 406 e 374 provini sono stati testati rispettivamente per le stazioni di Marani e Forestello per la misura delle caratteristiche fisiche, mentre 822 e 719 provini sono stati utilizzati per la determinazione delle proprietà meccaniche.

Nella tabella 2.2 sono schematizzati tutti i caratteri dendrometrici e le proprietà del legno rilevati per la caratterizzazione dei cloni in esame, riportando anche l'unità di misura e la simbologia che saranno utilizzate di seguito del testo.

Tab. 2.2 – Dimensioni e numero di campioni sottoposti a prova, norme di riferimento, unità di misura e simbologia utilizzate nel testo per tutti i caratteri rilevati nello studio.

Carattere	Dimensioni provino (mm)	N campioni	Norma	Unità di misura	Simbolo
Accrescimento					
Diametro	-	74	-	cm	DBH
Altezza	-	74	-	m	H
volume fusto	-	74	-	dm ³	VOL
Forma del fusto					
rastremazione	-	74	UNI EN 1310	cm/m	TF
Ellitticità	-	74	UNI EN 1310	cm	OV
Estensione durame/alburno					
area del durame	-	74	-	%	HW%
Diametro del durame	-	74	-	cm	HWd
N anelli di alburno	-	74	-	-	SR
Caratteristiche fisiche del legno					
massa volumica al 12%	20 x 20 x 30	780	UNI ISO 3131	kg/m ³	D ₁₂
densità basale	20 x 20 x 30	780	UNI ISO 3131	kg/m ³	BD
ritiro longitudinale	20 x 20 x 30	780	-	%	LS
ritiro radiale	20 x 20 x 30	780	UNI ISO 4469	%	RS
ritiro tangenziale	20 x 20 x 30	780	UNI ISO 4469	%	TS
ritiro volumetrico	20 x 20 x 30	780	UNI ISO 4858	%	VS
coefficiente di nervosità	20 x 20 x 30	780	-	-	T/R
Caratteristiche meccaniche del legno					
modulo di elasticità dinamico	20 x 20 x 400	371	-	MPa	MOEd
modulo di elasticità statico	20 x 20 x 400	426	-	MPa	MOEs
modulo di rottura a flessione statica	20 x 20 x 400	426	UNI ISO 3133	MPa	MOR
resistenza a compressione assiale	20 x 20 x 30	426	UNI ISO 3787	MPa	MCS
resistenza a taglio	20 x 20 x 20	426	UNI ISO 3347	MPa	MSS
Durezza	50 (lunghezza)	263	UNI EN 1534	kg/mm ²	HB

2.2.3 Analisi statistica dei dati

Tutti i provini sono stati raggruppati per età cambiale e per la presenza di alburno o durame. Per la determinazione delle caratteristiche fisiche sono stati ricavati 3 provini per raggio nel caso di Marani (e quindi un corrispondente numero di gruppi di età cambiale) e 4 per Forestello. Per le prove meccaniche in entrambi i siti è stato possibile ricavare generalmente 2 provini per raggio.

Come primo passo sono state calcolate le statistiche descrittive di tutte le variabili per ciascun sito (media, errore standard e coefficiente di variazione fenotipico).

Successivamente, dopo la verifica della normalità dei dati e dell'omogeneità della varianza (test di Levene), è stata eseguita l'analisi della varianza includendo le seguenti fonti di variazione: sito, clone, pianta, età cambiale (modello 1), e tutte le proprietà rilevate, ad eccezione del ritiro longitudinale perché generalmente caratterizzato da una variabilità molto bassa.

$$X_{ijklm} = \mu + \beta_i + \gamma_j + \tau_k + \varphi_l + (\beta\gamma)_{ij} + (\beta\varphi)_{il} + (\gamma\varphi)_{jl} + (\beta\gamma\varphi)_{ijl} + \varepsilon_{ijklm} \quad (1)$$

dove X_{ijklm} è il valore fenotipico osservato del l -esimo gruppo di età cambiale della pianta k del clone j nel sito i , μ la media generale, β_i è l'effetto dovuto all' i -esimo sito, γ_j è l'effetto dovuto al j -esimo clone, τ_k è l'effetto dovuto alla k -esima pianta all'interno del clone, φ_l è l'effetto dovuto all' l -esimo gruppo di età cambiale, $(\beta\gamma)_{ij}$ è l'interazione tra l' i -esimo sito e il j -esimo clone, $(\beta\varphi)_{il}$ l'interazione tra l' i -esimo sito e l' l -esimo gruppo di età cambiale, $(\gamma\varphi)_{jl}$ è l'interazione tra il j -esimo clone e l' l -esimo gruppo di età cambiale, $(\beta\gamma\varphi)_{ijl}$ è l'interazione tra l' i -esimo sito, il j -esimo clone e l' l -esimo gruppo di età cambiale, ε_{ijklm} è l'errore residuo.

In questa prima analisi generale sono stati inclusi 4 cloni comuni nei due siti, 3 livelli di età cambiale per le caratteristiche fisiche del legno e 2 per le proprietà meccaniche.

Tutti gli effetti sono stati poi studiati in modo approfondito separatamente.

All'interno di ciascun sito e per le proprietà del legno è stata eseguita la seguente ANOVA per analizzare la variabilità all'interno del singolo albero (intra-albero):

$$X_{jlm} = \mu + \gamma_j + \varphi_l + (\gamma\varphi)_{jl} + \varepsilon_{jlm} \quad (2)$$

dove X_{jlm} il valore fenotipico osservato dell' l -esimo gruppo di attività cambiale del clone j , μ la media generale, γ_j è l'effetto dovuto al j -esimo clone, φ_l è l'effetto dovuto all' l -esimo gruppo di età cambiale, $(\gamma\varphi)_{jl}$ è l'interazione tra il j -esimo clone e l' l -esimo gruppo di età cambiale, ε_{jlm} è l'errore residuo. Le medie aggiustate di ogni carattere per i gruppi di età cambiale sono state calcolate basandosi sul precedente modello e ne sono state verificate le differenze reciproche con il test di Tukey.

In questa analisi sono stati inclusi tutti i 6 cloni campionati a Marani e i 4 cloni campionati a Forestello; 3 gruppi di età cambiale per le proprietà fisiche e 2 per le meccaniche nel sito ravennate e 4 gruppi per le fisiche e 2 per le meccaniche nell'impianto toscano.

Ancora per ogni singolo sito è stata poi testata la variabilità all'interno del clone e tra i cloni (intra- e inter-clone). Per le caratteristiche del legno l'ANOVA con il seguente modello è stata calcolata separatamente per i provini di durame e alburno:

$$X_{jkm} = \mu + \gamma_j + \tau_k + \varepsilon_{jkm} \quad (3)$$

dove X_{jkm} è il valore osservato fenotipico della pianta k del clone j , μ è la media generale, γ_j è l'effetto dovuto al j -esimo clone, τ_k è l'effetto dovuto alla k -esima pianta entro il clone, ε_{jkm} è l'errore residuo.

Le componenti della varianza sono state calcolate come di seguito riportato (tab. 2.3):

Tab. 2.3 – Analisi della varianza all'interno di ciascun sito. df = gradi di libertà; MS = media dei quadrati.

Fonte di variazione	df	MS	componenti della varianza
clone	c-1	A	$\sigma_c^2 = (A-C) / nr$
pianta entro clone	c (r-1)	B	$\sigma_r^2 = (B-C) / n$
errore residuo	cr (n-1)	C	$\sigma_e^2 = c$
totale	crn-1		

con:

c = numero di cloni

r = numero di piante per clone

n = numero di provini per pianta per clone

σ_c^2 = varianza dovuta al clone (varianza genetica)

σ_r^2 = varianza dovuta alla pianta entro clone

σ_e^2 = varianza residua

Su questo modello si è basato il calcolo delle medie aggiustate di ogni carattere per ogni clone ed è stato poi eseguito il test di Tukey per verificare le differenze tra cloni. Ancora una volta sono stati qui testati i 6 genotipi di Marani e i 4 di Forestello.

Infine, la variabilità dovuta al sito (inter-sito) è stata analizzata combinando i due siti ma mantenendo separati ancora una volta i campioni di alburno da quelli di durame. In questo caso è stato usato il seguente modello:

$$X_{ijm} = \mu + \beta_i + \gamma_j + (\beta\gamma)_{ij} + \varepsilon_{ijm} \quad (4)$$

dove X_{ijm} il valore fenotipico osservato del clone j nel sito i , μ è la media generale, β_i è l'effetto dovuto all' i -esimo sito, γ_j è l'effetto dovuto al j -esimoclone, $(\beta\gamma)_{ij}$ è l'interazione tra l' i -esimo sito e il j -esimo clone, ε_{ijm} è l'errore residuo. I cloni inseriti nell'analisi sono stati i 4 comuni nei due siti.

In questo caso le componenti della varianza sono state calcolate seguendo il seguente modello (fattore sito fisso, tab. 2.4):

Tab. 2.4 – Analisi della varianza nei due siti combinati. df = gradi di libertà; MS = media dei quadrati.

Fonte di variazione	df	MS	componente della varianza
Sito	s-1	A	-
clone	c-1	B	$\sigma_c^2 = (B-D) / sn$
sito x clone	(s-1) (c-1)	C	$\sigma_i^2 = (C-D) / n$
errore residuo	sc (n-1)	D	$\sigma_\varepsilon^2 = D$
totale	scn-1		

con:

s = numero di siti

c = numero di cloni

n = numero di campioni per ramet per clone

σ_c^2 = varianza dovuta al clone (varianza genetica)

σ_i^2 = varianza dovuta all'interazione *sito x clone*

σ_ε^2 = varianza residua

Tutte le analisi statistiche sono state eseguite per mezzo del software R (Ihaka e Gentleman, 1996; R Development Core Team, 2008).

Tab. 2.5 – Sintesi del processo di analisi statistica seguito nello studio. Sono illustrati il tipo di analisi statistica utilizzato per l'esame dei diversi livelli di variabilità; i fattori ed i caratteri inclusi nelle varie fasi di analisi; se l'analisi è stata condotta separatamente per i due siti e/o per durame e alburno nel caso dei caratteri del legno.

Tipo di analisi statistica	Variabilità esaminata	Fattori inclusi nell'analisi	Caratteri inclusi nell'analisi	Suddivisione dei dati	
				per sito	per alb/dur
statistica descrittiva	dispersione dei dati	-	tutti	SI	NO
ANOVA	complessiva	sito; clone; pianta entro clone; età cambiale; <i>sito x clone</i> , <i>sito x età cambiale</i> ; <i>clone x età cambiale</i> ; <i>sito x clone x età cambiale</i>	tutti	NO	NO
ANOVA	Intra – albero	clone; età cambiale; <i>clone x età cambiale</i>	D ₁₂ ; BD; RS; TS; VS; T/R; MOEd; MOEs; MOR; MCS; MSS; HB	SI	NO
ANOVA	Intra – inter – clone	clone; pianta entro clone	tutti	SI	SI
ANOVA	Inter – sito	sito; clone; <i>sito x clone</i>	tutti	NO	SI

2.3 Risultati

2.3.1 Statistiche descrittive

Le statistiche descrittive riportate in tabella 2.6 per tutte le variabili misurate e raggruppate per sito, mostrano come, per quanto riguarda le caratteristiche di accrescimento, gli alberi presentino mediamente dimensioni maggiori in Forestello rispetto a quanto riscontrato nella piantagione di Marani, sia in termini diametrici sia di altezza e, conseguentemente, di volume del fusto.

La forma del fusto appare in media migliore in Marani, in conseguenza della minore rastremazione e del più basso coefficiente di ellitticità osservati per le piante campionate in questa stazione.

L'estensione del durame (in percentuale della sezione trasversale) è maggiore nelle piante di Marani, però con un diametro del durame minore; il numero di anelli di alburno è analogo per le piante delle due stazioni.

Le proprietà del legno, invece, mostrano una maggiore omogeneità tra i due siti, anche se i valori medi sono leggermente inferiori in Marani per tutte le caratteristiche, ad eccezione della resistenza a taglio e della durezza.

I coefficienti di variazione sono contenuti per tutti i caratteri analizzati tranne che nel caso del coefficiente di ellitticità dei tronchi, che presenta una variabilità molto accentuata. In particolare la massa volumica e la densità basale mostrano i coefficienti più bassi in entrambi i siti. Tra le altre caratteristiche fisiche del legno, i ritiri, soprattutto il ritiro radiale, risultano avere la più alta variazione; mentre, tra le caratteristiche meccaniche, il modulo di elasticità appare il più stabile e la durezza la più variabile.

Tab. 2.6 – Media, errore standard (SE) e coefficiente di variazione fenotipico (CV_p) per tutti i caratteri raggruppati per sito.

Carattere	Marani		Forestello	
	Media $\pm$ SE	CV_p (%)	Media $\pm$ SE	CV_p (%)
Caratteri di accrescimento				
DBH (cm)	19,6 $\pm$ 0,3	9,8	27,5 $\pm$ 0,6	10,0
H (m)	11,7 $\pm$ 0,1	7,6	17,1 $\pm$ 0,4	10,3
VOL (dm ³)	177,0 $\pm$ 6,4	24,9	426,3 $\pm$ 25,4	28,6
Caratteri di forma del fusto				
TF (cm/m)	1,4 $\pm$ 0,1	24,3	1,6 $\pm$ 0,1	22,3
OV (cm)	1,7 $\pm$ 0,1	42,1	2,0 $\pm$ 0,2	57,0
Estensione durame / alburno				
HW% (%)	53,5 $\pm$ 1,4	18,1	39,1 $\pm$ 1,6	19,7
HWd (cm)	12,9 $\pm$ 0,2	10,5	15,3 $\pm$ 0,5	16,8
SR	10,0 $\pm$ 0,2	15,1	10,3 $\pm$ 0,2	11,1
Caratteri del legno				
D12 (kg/m ³)	613,5 $\pm$ 2,1	6,9	624,6 $\pm$ 2,1	6,3
BD (kg/m ³)	493,6 $\pm$ 1,4	5,8	497,9 $\pm$ 2,0	7,4
RS (%)	4,4 $\pm$ 0,1	27,2	4,7 $\pm$ 0,1	19,3
TS (%)	10,1 $\pm$ 0,1	16,1	11,4 $\pm$ 0,1	11,9
VS (%)	14,3 $\pm$ 0,1	17,7	15,7 $\pm$ 0,1	12,6
T/R	2,4 $\pm$ 0,0	17,2	2,5 $\pm$ 0,0	13,2
MOEd (MPa)	11341 $\pm$ 74	9,1	11638 $\pm$ 75	8,3
MOEs (MPa)	10172 $\pm$ 68	9,9	10198 $\pm$ 62	8,1
MOR (MPa)	111,2 $\pm$ 1,0	9,9	114,5 $\pm$ 1,1	12,9
MCS (MPa)	50,2 $\pm$ 0,3	10,2	51,6 $\pm$ 0,4	10,3
MSS (MPa)	16,7 $\pm$ 0,2	14,1	16,0 $\pm$ 0,2	15,2
HB (kg/mm ²)	3,7 $\pm$ 0,1	18,1	3,6 $\pm$ 0,1	18,0

Nel caso di Forestello è possibile analizzare anche qualche dato relativo alle misure effettuate sulle piante nate da seme, allo scopo di confrontare questi valori con quelli ricavati dai cloni della stessa stazione. I dati di accrescimento mostrano un minore sviluppo degli individui nati da seme sia dal punto di vista diametrico (media dei diametri a 1,30 m dal suolo pari a 25,0 cm), sia per l'altezza (media = 16,3 m) e il volume del fusto (media = 335,0 dm³), se confrontati con le medie rilevate per i cloni (tab. 2.3); i coefficienti di forma del fusto sono del tutto comparabili (TF medio = 1,5 e OV medio = 2,1). L'estensione percentuale di durame è molto simile (40,4% per le piante testimone contro 39,1% per i cloni) e il numero di anelli di alburno analogo (9,7).

Le piante nate da seme, inoltre, si distinguono dai cloni di Forestello per una densità basale minore (valore medio = 492,8 kg/m³) e ritiri leggermente maggiori (ritiro volumetrico medio = 15,81%); il coefficiente di nervosità, invece, è praticamente equivalente (2,5). Le caratteristiche meccaniche delle piante nate da seme risultano talvolta inferiori (MOEd = 10588 MPa, MOEs = 9256 MPa; MOR = 104,2 MPa; MCS = 49,0 MPa), altre volte comparabili (MSS = 16,2 MPa; HB = 3,5 kg/mm²) con quelle misurate per i cloni (tab.2.3).

Infine, la dispersione dei caratteri misurati è in genere maggiore per le piante nate da seme (media dei coefficienti di variazione pari a 17,4% contro 16,0% per i cloni).

2.3.2 Analisi complessiva della varianza

Nella prima analisi della varianza sono state incluse tutte le fonti di variazione, allo scopo di esaminare il loro effetto sulla variabilità totale. I risultati di questa elaborazione sono riassunti in tabella 2.7 e mostrano come tutti i principali effetti e le loro interazioni siano altamente significativi per la maggior parte delle variabili esaminate.

Nel caso dei caratteri di accrescimento e del contenuto di durame il fattore principale nel determinare la variabilità è il sito, mentre il fattore clone sembra avere approssimativamente la stessa importanza dell'interazione *sito x clone* (maggiore solo nel caso del parametro altezza della pianta). Viceversa i caratteri di forma del fusto non registrano differenze significative dovute al sito o all'interazione *sito x clone*, ma solamente al fattore clone (significatività peraltro bassa nel caso dell'ellitticità del fusto).

Il numero di anelli di alburno non presenta alcuna significatività per nessuno degli effetti analizzati, risulta infatti alquanto omogeneo sia nei diversi cloni che nei due siti.

Per quanto riguarda i caratteri del legno (sia le proprietà fisiche che meccaniche), sembrano essere relativamente trascurabili il fattore pianta all'interno del clone e le interazioni *clone x*

età cambiale e sito x clone x età cambiale. L'età cambiale è risultata essere il principale fattore esplicativo della varianza ad eccezione del modulo di elasticità e della massa volumica. Per quest'ultima maggiore importanza è da attribuire al sito, mentre per il modulo di elasticità al fattore clone.

In considerazione della significatività riscontrata per la maggior parte dei fattori esaminati, questi sono stati analizzati più approfonditamente in modo separato; a causa della presenza di significative interazioni tra il fattore sito e gli altri effetti, sono state necessarie analisi dettagliate per le singole stazioni, prima di procedere con lo studio degli effetti combinando i dati dei due siti.

Tab. 2.7 – Valori di F e significatività di tutti gli effetti principali (sito, clone, pianta entro clone e età cambiale) e delle loro interazioni, risultato dell'analisi della varianza complessiva calcolata per tutti i caratteri.

carattere	sito	clone	pianta entro clone	età cambiale	sito X clone	sito X età cambiale	clone X età cambiale	sito X clone X età cambiale
DBH	244,6***	5,2**			3,9*			
H	799,9***	21,8***			10,6***			
VOL	283,8***	14,4***			10,4***			
TF	2,8 ns	6,5***			1,8 ns			
OV	3,9 ns	3,9*			1,2 ns			
HW%	89,1***	11,3***			10,8***			
HWd	36,9***	3,6*			7,1***			
SR	0,8ns	3,3*			1,4ns			
D12	183,5***	34,5***	4,9***	14,4***	43,8***	129,6***	3,7**	1,8ns
BD	99,3**	41,6***	4,6***	201,8***	43,8***	107,1***	3,3**	2,2ns
RS	183,6***	9,6***	2,4***	882,4***	31,2***	42,5***	1,1	2,7*
TS	935,0***	17,5***	2,8***	1056,8***	4,8**	20,0***	5,1***	13,8***
VS	717,1***	10,6***	2,6***	1440,9***	13,2***	40,4***	3,9***	11,3***
T/R	0,7ns	11,1***	2,1***	124,0***	27,2***	9,6***	1,3ns	1,3ns
MOEd	31,4***	142,4***	2,4***	10,7**	16,7***	6,0*	2,0	11,6***
MOEs	9,9**	138,5***	2,8***	0,7ns	35,6***	0,3ns	4,5**	9,4***
MOR	48,7***	20,2***	1,5*	84,5***	24,6***	4,7*	4,9**	0,2ns
MCS	78,6***	96,4***	2,0***	391,9***	13,5***	23,3***	4,8**	1,7ns
MSS	0,0ns	24,3***	1,1ns	156,5***	4,4**	21,9***	1,7ns	0,1ns
HB	4,1ns	4,6**	1,3ns	34,7***	0,6ns	9,2**	0,8ns	0,4ns

Livelli di significatività: * = 5%, ** = 1%, *** = 0,1%; ns = non significativo

2.3.3 Variabilità intra - albero

La variabilità intra – albero è stata valutata attraverso un’analisi della varianza calcolata per le caratteristiche del legno con i fattori “età cambiale” e “clone” e la loro interazione: i risultati sono riportati in tabella 2.8. Dai valori di F si riconferma l’elevata importanza del fattore età cambiale, sempre altamente significativo tranne che per il modulo di elasticità del legno. La massa volumica, che dai risultati dell’analisi complessiva precedentemente descritti sembrava non essere altamente influenzata dall’età cambiale, se esaminata separatamente per i due siti mostra, come per le altre caratteristiche del legno, la prevalenza dell’effetto età cambiale sul fattore clone. Il fattore clone comunque risulta sempre significativo (eccetto che per la durezza in Forestello), mentre l’interazione *età cambiale x clone* sembra avere un’importanza trascurabile.

La tabella 2.9 riporta i valori medi di tutte le caratteristiche del legno per classe di età cambiale; in corrispondenza di ogni classe sono anche indicate l’età in anni e l’appartenenza della stessa alla zona di durame o di alburno.

Il test di Tukey ha evidenziato che le proprietà del legno si diversificano significativamente tra alburno e durame, piuttosto che per classi di età cambiale.

I ritiri (radiale, tangenziale e volumetrico) sono molto maggiori nell’alburno rispetto al durame (+59%, +32%, +38% rispettivamente in Marani; +36%, +22%, +25% in Forestello); al contrario il coefficiente di nervosità sembra essere maggiore nel durame (+22% in Marani, +12% in Forestello). La massa volumica e la densità basale, invece, non mostrano una variazione ben definita procedendo lungo il raggio: in Marani i valori sono costanti mentre in Forestello diminuiscono dal midollo verso l’esterno (–8% la massa volumica e –12% la densità basale).

Infine, i campioni prelevati dal durame hanno valori medi significativamente maggiori per tutte le proprietà meccaniche (da +6% a +24%), ad eccezione del modulo di elasticità.

Tab. 2.8 – Risultati dell’ANOVA calcolata includendo il fattore età cambiale, il fattore clone e la loro interazione, per tutte le caratteristiche del legno.

Carattere	fonte di variazione	Marani			Forestello		
		df	F		df	F	
D12	età cambiale	2	70,7	***	3	83,4	***
	Clone	5	36,6	***	3	58,8	***
	età cambiale X clone	9	2,6	**	9	3,6	***
	Errore	389			323		
BD	età cambiale	2	10,6	***	3	242,3	***
	Clone	5	31,2	***	3	73,3	***
	età cambiale X clone	9	2,8	**	9	3,1	**
	Errore	389			323		
RS	età cambiale	2	834,8	***	3	251,1	***
	Clone	5	43,2	***	3	11,6	***
	età cambiale X clone	9	2,8	**	9	1,8	ns
	Errore	389			323		
TS	età cambiale	2	788,3	***	3	346,8	***
	Clone	5	40,2	***	3	3,8	*
	età cambiale X clone	9	5,5	***	9	7,2	***
	Errore	389			323		
VS	età cambiale	2	1072,4	***	3	468,6	***
	Clone	5	34,8	***	3	2,7	*
	età cambiale X clone	9	5,5	***	9	6,0	***
	Errore	389			323		
T/R	età cambiale	2	102,0	***	3	41,3	***
	Clone	5	26,2	***	3	20,1	***
	età cambiale X clone	9	1,8	ns	9	1,4	ns
	Errore	389			323		
MOEd	età cambiale	1	0,0	ns	1	11,4	***
	Clone	5	23,5	***	3	72,3	***
	età cambiale X clone	5	5,4	***	3	2,2	ns
	Errore	180			160		
MOEs	età cambiale	1	1,2	ns	1	0,9	ns
	Clone	5	27,2	***	3	80,6	***
	età cambiale X clone	5	3,8	**	3	2,5	ns
	Errore	207			171		
MOR	età cambiale	1	44,5	***	1	65,9	***
	Clone	5	20,2	***	3	22,8	***
	età cambiale X clone	5	2,1	ns	3	2,8	*
	Errore	207			171		
MCS	età cambiale	1	123,2	***	1	262,1	***
	Clone	5	25,4	***	3	38,0	***
	età cambiale X clone	5	2,2	ns	3	1,0	ns
	Errore	209			173		
MSS	età cambiale	1	52,0	***	1	207,1	***
	Clone	5	13,0	***	3	15,3	***
	età cambiale X clone	5	0,8	ns	3	1,7	ns
	Errore	209			172		
HB	età cambiale	1	8,4	**	1	45,6	***
	Clone	5	4,2	**	3	2,5	ns
	età cambiale X clone	5	0,5	ns	3	0,8	ns
	Errore	147			84		

Livelli di significatività: * = 5%; ** = 1%; *** = 0,1%; ns = non significativo

Tab. 2.9 – Valori medi aggiustati e corrispondenti errori standard (SE) per le caratteristiche fisiche e meccaniche del legno raggruppate per classe di età cambiale (cl). Sono riportati anche l'età cambiale (ca) in anni e la posizione nella zona di alborno (s) o durame (h) per ciascun gruppo. Le medie contraddistinte dalla stessa lettera non sono significativamente differenti al livello 0,1% (Tukey test).

differences at 10% (Tukey test):								
			D12 (kg/m ³)	BD (kg/m ³)	RS (%)	TS (%)	VS (%)	T/R
cl	ca	h/s	media ± SE	media ± SE	media ± SE	media ± SE	media ± SE	media ± SE
Marani								
1	3-5	h	595,2 ± 1,8 c	487,8 ± 1,2 a	3,7 ± 0,0 a	9,2 ± 0,1 a	12,9 ± 0,1 a	2,6 ± 0,0 b
2	6-8	h	610,6 ± 2.1 b	500,9 ± 1,5 b	3,7 ± 0,0 a	9,2 ± 0,0 a	12,8 ± 0,1 a	2,5 ± 0,0 b
3	9-	s	639,6 ± 1,9 a	493,8 ± 1,3 ab	5,9 ± 0,0 b	12,2 ± 0,0 b	17,7 ± 0,0 b	2,1 ± 0,0 a
Forestello								
1	3-5	h	643,9 ± 1,8 a	522,2 ± 1,4 a	4,1 ± 0,0 a	10,4 ± 0,0 a	14,3 ± 0,0 a	2,6 ± 0,0 b
2	6-8	h	641,6 ± 2,1 a	522,3 ± 1,7 a	3,9 ± 0,0 a	10,2 ± 0,0 a	14,0 ± 0,0 a	2,6 ± 0,0 b
3	9-12	s	621,3 ± 3,3 b	483,3 ± 2,8 b	5,3 ± 0,0 b	12,7 ± 0,0 b	17,7 ± 0,0 b	2,4 ± 0,0 a
4	13-	s	590,3 ± 1,8 c	459,2 ± 1,4 c	5,6 ± 0,0 b	12,5 ± 0,1 b	17,6 ± 0,1 b	2,3 ± 0,0 a*
			MOEd (MPa)	MOEs (MPa)	MOR (MPa)	MCS (MPa)	MSS (MPa)	HB (kg/mm ²)
Marani								
1	3-7	h	11330 ± 70 a	10221 ± 56 a	115,5 ± 0,7 a	52,3 ± 0,2 a	17,4 ± 0,1 a	3,9 ± 0,2 a
2	8-	s	11355 ± 71 a	10103 ± 72 a	105,1 ± 0,9 b	47,0 ± 0,4 b	15,5 ± 0,1 b	3,6 ± 0,3 a*
Forestello								
1	4-7	h	11466 ± 61 a	10159 ± 51 a	121,3 ± 0,7 a	55,2 ± 0,2 a	17,7 ± 0,1 a	3,9 ± 0,0 a
2	11-	s	11794 ± 92 b	10236 ± 80 a	107,8 ± 0,8 b	47,9 ± 0,3 b	14,3 ± 0,1 b	3,2 ± 0,0 b

* Statisticamente differente al livello di significatività dell'1%.

2.3.4 Variabilità intra- e inter - clone

La variabilità intra – e inter – clone è stata valutata considerando il fattore clone separatamente per i due siti campionati; le analisi sono state effettuate raggruppando le variabili “caratteri di accrescimento – forma del fusto – estensione del durame” (primo gruppo) e “caratteristiche fisico meccaniche del legno” (secondo gruppo).

Caratteri di accrescimento, forma del fusto e estensione del durame

In tabella 2.10 sono riassunti i risultati dell'analisi della varianza calcolata per il primo gruppo di caratteri. La percentuale di varianza dovuta al clone corrisponde all'ereditabilità in senso lato (indice di ereditabilità = percentuale della varianza dovuta al clone x 100). Sono emerse differenze significative per tutte le variabili tranne che per il coefficiente di rastremazione, il coefficiente di ellitticità del fusto in Forestello, e per il numero di anelli di alborno in entrambe le stazioni. Per questi caratteri, quindi, il genotipo sembra avere un'influenza minore rispetto al fattore ambientale.

In questo caso la varianza spiegata dal clone sembra essere più alta per i caratteri altezza totale della pianta, volume del fusto e percentuale di durame in Marani, media per diametro del tronco e per diametro del durame, più bassa per gli altri caratteri.

Tab. 2.10 – Risultati dell’ANOVA e percentuali della varianza (% var) per i caratteri di accrescimento, forma del fusto ed estensione di durame nei due siti.

Carattere	fonte di variazione	<i>Marani</i>			<i>Forestello</i>		
		df	F	% var	df	F	% var
DBH	clone	5	5,3***	34,9	3	3,2*	27,8
	errore	42		65,1	19		72,2
H	clone	5	13,7***	61,3	3	13,6***	69,0
	errore	42		38,7	19		31,0
VOL	clone	5	9,0***	49,9	3	10,3***	62,0
	errore	42		50,1	19		38,0
TF	clone	5	4,2**	28,7	3	1,9 ns	13,1
	errore	42		71,3	19		86,9
OV	clone	5	3,3*	22,7	3	1,7 ns	10,4
	errore	42		77,3	19		89,6
HW%	clone	5	15,1***	63,9	3	3,8*	33,0
	errore	42		36,1	19		67,0
HWd	clone	5	5,8***	37,3	3	4,5*	38,1
	errore	42		62,7	19		61,9
SR	clone	5	1,8 ns	8,6	3	1,9 ns	14,2
	errore	42		91,4	19		85,8

Livelli di significatività: * = 5%; ** = 1%; *** = 0,1%; ns = non significativo

Caratteri del legno

Nelle tabelle 2.11 e 2.12 sono riportati i risultati dell’analisi della varianza tra i fattori “clone” e “pianta entro clone” per le caratteristiche del legno. In questo caso i dati sono stati analizzati separatamente secondo l’appartenenza dei campioni all’alburno o al durame, considerando le significative differenze riscontrate nella precedente analisi intra – albero (tab. 2.9).

Come per le variabili precedentemente osservate, anche per le caratteristiche del legno (eccetto la durezza) i cloni differiscono significativamente tra loro in entrambi i siti, sia per l’alburno che per il durame. Per alcune variabili, e soprattutto nel caso del durame, si notano deboli ma significative differenze anche tra piante dello stesso clone.

Inoltre, per la maggior parte dei caratteri, la percentuale di varianza spiegata dall’effetto del clone (indice del controllo genetico sul carattere e corrispondente all’ereditabilità in senso lato) risulta maggiore nell’alburno rispetto al durame, a testimonianza di una maggiore influenza di fattori ambientali sulle caratteristiche di quest’ultimo. Da notare che la stessa osservazione risulta valida per entrambi i siti.

Tab. 2.11 – Risultati dell’ANOVA con fattori clone e pianta entro clone e percentuali della varianza (% var) per le caratteristiche del legno in Marani.

Carattere	fonte di variazione	durame			alburno		
		df	F	% var	df	F	% var
Marani							
D12	clone	5	40,5***	32,7	4	17,9***	39,0
	pianta	42	5,3***	28,5	33	1,3 ns	3,5
	errore	233		38,8	87		57,6
BD	clone	5	30,8***	27,8	4	18,2***	39,1
	pianta	42	4,8***	28,5	33	1,3 ns	4,4
	errore	233		43,7	87		56,5
RS	clone	5	33,0***	38,4	4	26,3***	44,6
	pianta	42	1,6*	5,4	33	1,9**	11,6
	errore	233		56,2	87		43,9
TS	clone	5	37,3***	40,9	4	11,3***	28,9
	pianta	42	1,7**	6,3	33	1.1 ns	1,4
	errore	233		52,8	87		69,8
VS	pianta	5	34,3***	38,7	4	9,6***	23,1
	errore	42	1,7**	6,9	33	1,5 ns	10,3
	error	233		54,4	87		66,6
T/R	clone	5	18,8***	26,2	4	27,2***	46,9
	pianta	42	1,4 ns	4,7	33	1,6*	8,6
	errore	233		69,1	87		44,5
MOEd	clone	5	33,6***	43,2	5	20,8***	51,3
	pianta	41	4,1***	32,6	30	2,0*	14,5
	errore	63		24,2	46		34,2
MOEs	clone	5	23,6***	36,3	5	36,0***	61,2
	pianta	42	3,3***	29,2	31	2,3**	13,6
	errore	81		34,5	53		25,2
MOR	clone	5	19,9***	35,8	5	9,6**	36,6
	pianta	42	2,6***	23,6	31	1,1 ns	2,0
	errore	81		40,6	53		61,4
MCS	clone	5	18,2***	28,8	5	27,7***	59,5
	pianta	42	3,6***	34,7	31	1,6 ns	8,3
	errore	83		36,5	53		32,2
MSS	clone	5	7,9***	23,2	5	5,9***	27,4
	pianta	42	1,1 ns	3,4	31	0,6 ns	0,0
	errore	83		73,4	53		72,6
HB	clone	5	2,3 ns	6,3	5	4,6**	22,5
	pianta	42	1,4 ns	15,6	31	1,3 ns	11,4
	errore	45		78,1	29		66,1

Livelli di significatività: * = 5%; ** = 1%; *** = 0,1%; ns = non significativo

Tab. 2.12 – Risultati dell’ANOVA con fattori clone e pianta entro clone e percentuali della varianza (% var) per le caratteristiche del legno in Forestello.

Carattere	fonte di variazione	durame			alburno		
		df	F	% var	df	F	% var
Forestello							
D12	clone	3	41,5***	39,7	3	18,7***	25,9
	pianta	19	3,9***	16,0	19	3,2***	18,0
	errore	160		44,3	133		56,2
BD	clone	3	48,3***	42,9	3	21,6***	30,6
	pianta	19	4,2***	16,3	19	2,5**	12,3
	errore	160		40,8	133		57,1
RS	clone	3	10,2***	14,0	3	5,2***	8,6
	pianta	19	3,0***	17,3	19	2,0*	11,7
	errore	160		68,7	133		79,7
TS	clone	3	10,7***	15,1	3	13,4***	18,9
	pianta	19	2,7***	14,7	19	3,6***	22,6
	errore	160		70,3	133		58,5
VS	clone	3	9,4***	13,3	3	8,9***	14,2
	pianta	19	2,7***	15,2	19	2,6***	16,1
	errore	160		71,5	133		69,7
T/R	clone	3	13,8***	18,0	3	13,0***	20,7
	pianta	19	3,3***	18,4	19	2,3**	12,8
	errore	160		63,6	133		66,6
MOEd	clone	3	27,5***	41,9	3	79,9***	76,6
	pianta	18	4,2***	27,2	19	1,4 ns	2,3
	errore	58		30,9	65		21,1
MOEs	clone	3	28,2***	46,8	3	71,3***	75,3
	pianta	19	2,6**	15,4	19	1,2 ns	0,9
	errore	66		37,8	67		23,8
MOR	clone	3	8,9***	26,5	3	19,8***	44,5
	pianta	19	0,9 ns	0,0	19	1,2 ns	2,8
	errore	66		73,5	67		52,7
MCS	clone	3	14,8***	34,1	3	34,7***	56,1
	pianta	19	1,7 ns	10,1	19	1,7 ns	6,9
	errore	68		55,7	67		37,0
MSS	clone	3	2,8*	7,5	3	24,6***	51,8
	pianta	19	0,5ns	0,0	19	0,9 ns	0,0
	errore	68		92,5	66		48,2
HB	clone	3	1,9 ns	7,4	3	1,6 ns	4,0
	pianta	19	0,9 ns	0,0	19	1,4 ns	17,1
	errore	23		92,7	23		78,9

Livelli di significatività: * = 5%; ** = 1%; *** = 0,1%; ns = non significativo

Confronto tra cloni

Il confronto tra i cloni è stato effettuato separatamente per i due siti per i gruppi di variabili “caratteri di accrescimento – contenuto di durame – numero di anelli di alburno” e per i “caratteri del legno”. Questo secondo gruppo di variabili è stato analizzato separatamente per i campioni di alburno e durame (tab. 2.13 – 2.14 – 2.15 e fig. 2.2 e 2.3).

Per quanto riguarda lo sviluppo dimensionale delle piante in Marani si possono notare diametri e altezze maggiori nel clone CB ma anche VG1, A1 e P, con conseguenti più elevati valori di volume del fusto. Accrescimenti minori sono riscontrabili per il clone A2, soprattutto dovuti a diametri ridotti, e per CV, caratterizzato da un minore sviluppo in altezza. In Forestello le differenze tra i diametri sono meno marcate. Il maggiore volume del fusto si ha per il clone A1, dovuto ad un elevato sviluppo in altezza, mentre gli altri cloni non presentano differenze particolarmente significative.

I caratteri di forma (TF e OV) non si differenziano tra i vari cloni, come anche il numero di anelli di alburno. L'estensione percentuale di durame è maggiore nel clone A2 e minore in VG1 e A1 in Marani, diversamente da Forestello, dove il clone A1 ha valori leggermente più elevati insieme a A2 (tab. 2.13; fig. 2.2-2.3).

In Forestello le piante nate da seme mostrano uno sviluppo diametrico inferiore rispetto agli altri cloni, un'altezza tra le più basse e, conseguentemente, un volume del fusto ridotto (fig. 2.3).

Per quanto riguarda i caratteri del legno, ad eccezione dei ritiri dimensionali, i parametri di densità e proprietà meccaniche hanno mostrato una buona corrispondenza tra alburno e durame dei medesimi cloni. Per questo motivo le considerazioni seguenti sono riferite ai campioni del durame, che rappresenta la porzione più rilevante ai fini dell'utilizzo del legno (tab. 2.14; fig. 2.2-2.3).

In Marani i cloni CB e VG1 presentano valori di densità e ritiri tra i più elevati; il coefficiente di nervosità è risultato invece tra i più bassi in VG1. Ritiri contenuti caratterizzano il clone A1, che però presenta un elevato coefficiente di nervosità, così come i cloni A2 e CV.

Per le caratteristiche meccaniche si distingue nettamente il clone CV con valori tra i più bassi per tutte le proprietà di resistenza meccanica e di elasticità; il clone A2 presenta tra i valori più alti di modulo di elasticità e VG1 di modulo di rottura, resistenza a compressione e taglio. In Forestello il clone CV mostra valori inferiori di densità e ritiri, ma soprattutto di resistenza meccanica; i cloni invece non differiscono per la durezza.

Un confronto tra i due siti ovviamente è possibile solo per i quattro cloni presenti in entrambe le piantagioni, con risultati diversificati. Ad esempio, come rilevato poco sopra, il clone CV sembra avere la stessa performance nelle due stazioni (densità e resistenze meccaniche inferiori), mentre il clone A1 ha ritiri tra i più bassi in Marani e tra i più alti in Forestello, proprietà meccaniche medio basse in Marani e tra le migliori in Forestello.

Infine, le piante nate da seme e utilizzate come testimoni non si distinguono nettamente dalla media dei cloni per quanto riguarda le caratteristiche del legno: la densità basale si discosta significativamente solo da quella del clone CV (la più bassa tra i cloni), mentre per i ritiri solo dal clone A1, che ha valori maggiori; le resistenze meccaniche sono inferiori alla media generale dei cloni, ma comunque superiori a quanto misurato per il clone CV (fig. 2.2).

Tab. 2.13 – Valori medi delle caratteristiche di accrescimento, forma del fusto, estensione di durame e numero di anelli di alburno per ciascun clone nei due siti. Le medie contraddistinte dalla stessa lettera non sono differenti al livello di significatività del 5% (Tukey test).

	DBH (cm)	H (m)	VOL (dm ³)	TF (cm/m)	OV (cm)	HW% (%)	HWd (cm)	SR
Marani								
A1	19,9 a	11,9 ab	198,5 a	1,4 ab	1,2 a	46,4 c	12,5 bc	11,0 a
A2	17,2 b	11,0 bc	119,5 c	1,1 a	1,3 a	67,6 a	12,8 abc	9,1 a
CB	20,8 a	12,5 ab	197,0 ab	1,5 ab	2,1 a	55,7 b	14,3 a	10,2 a
CV	19,1 ab	10,7 c	149,2 bc	1,7 b	2,2 a	50,1 bc	11,9 c	9,4 a
P	20,5 a	11,7 b	196,9 ab	1,5 ab	1,5 a	56,7 b	13,8 ab	10,2 a
VG1	20,2 a	12,6 a	200,9 a	1,3 ab	1,8 a	44,7 c	12,3 bc	10,2 a
Forestello								
A1	28,9 a	19,2 a	550,0 a	1,4 a	2,4 a	44,6 a	17,7 a	10,9 a
A2	26,2 a	15,9 b	357,0 b	1,5 a	1,5 a	40,3 ab	14,8 ab	9,8 a
CV	29,5 a	16,6 b	463,8 ab	1,7 a	2,7 a	31,4 b	14,2 ab	10,8 a
P	25,8 a	16,1 b	326,3 b	1,8 a	1,5 a	36,8 ab	13,8 b	9,7 a

Tab. 2.14 – Valori medi delle caratteristiche fisico meccaniche del legno di **durame** per ciascun clone nei due siti. Le medie contraddistinte dalla stessa lettera non sono differenti al livello di significatività del 5% (Tukey test).

	D12 (kg/m ³)	BD (kg/m ³)	RS (%)	TS (%)	VS (%)	T/R
Marani						
A1	583,9 bc	483,0 b	3,1 a	8,4 a	11,8 a	2,8 c
A2	571,7 c	473,2 b	3,2 a	8,9 b	12,1 a	2,8 c
CB	632,8 a	515,9 a	3,9 b	10,0 d	13,9 c	2,6 bc
CV	589,4 b	484,9 b	3,7 b	8,6 ab	12,3 a	2,4 b
P	591,9 b	484,0 b	3,7 b	9,4 c	13,1 b	2,6 b
VG1	626,1 a	510,1 a	4,3 c	9,4 c	13,4 bc	2,2 a
Forestello						
A1	653,7 a	530,2 a	4,2 b	10,5 c	14,5 b	2,5 a
A2	646,6 a	526,0 a	4,0 ab	10,2 ab	14,0 a	2,6 a
CV	601,6 b	489,7 b	3,9 a	9,9 a	13,6 a	2,6 a
P	650,7 a	528,9 a	3,7 a	10,4 bc	14,0 a	2,9 b
	MOEd (MPa)	MOEs (MPa)	MOR (MPa)	MCS (MPa)	MSS (MPa)	HB (kg/mm ²)
Marani						
A1	11858 a	10251 bc	105,1 d	49,6 cd	16,2 b	3,6 a
A2	12182 a	11142 a	111,5 cd	53,7 ab	16,6 b	3,8 a
CB	11724 a	10583 ab	120,1 ab	52,5 b	18,4 a	3,9 a
CV	9800 c	8957 d	104,7 d	48,2 d	15,9 b	3,6 a
P	10979 b	9782 c	118,4 bc	51,9 bc	17,7 ab	3,9 a
VG1	10745 b	10016 c	126,8 a	55,4 a	19,0 a	4,3 a
Forestello						
A1	11882 a	10560 a	128,9 a	56,9 a	17,5 ab	4,1 a
A2	11556 a	10244 ab	121,5 ab	56,2 a	18,0 ab	3,7 a
CV	10098 b	9018 c	107,6 c	50,5 b	16,4 b	3,8 a
P	11470 a	10153 b	118,6 bc	55,0 a	18,3 a	4,1 a

Tab. 2.15 – Valori medi delle caratteristiche fisico meccaniche del legno di **alburno** per ciascun clone nei due siti. Le medie contraddistinte dalla stessa lettera non sono differenti al livello di significatività del 5% (Tukey test).

	D12 (kg/m ³)	BD (kg/m ³)	RS (%)	TS (%)	VS (%)	T/R
Marani						
A1	622,4 c	480,6 c	5,6 a	12,0 b	17,5 ab	2,17 bc
A2	-	-	-	-	-	-
CB	646,9 b	499,8 b	5,6 ab	12,7 c	18,0 bc	2,27 c
CV	611,2 c	474,9 c	5,9 b	11,3 a	16,8 a	1,92 a
P	631,7 bc	489,2 bc	5,8 ab	12,0 b	17,4 ab	2,07 b
VG1	673,3 a	516,5 a	6,5 c	12,5 bc	18,4 c	1,92 a
Forestello						
A1	606,3 a	474,9 a	5,5 b	12,1 a	17,2 a	2,22 a
A2	619,8 a	479,3 a	5,6 b	13,0 b	18,1 c	2,33 b
CV	569,6 b	440,5 b	5,5 ab	12,6 b	17,7 bc	2,33 b
P	610,3 a	475,7 a	5,2 a	12,7 b	17,6 ab	2,44 c
	MOEd (MPa)	MOEs (MPa)	MOR (MPa)	MCS (MPa)	MSS (MPa)	HB (kg/mm ²)
Marani						
A1	11136 b	9684 c	93,9 c	45,1 b	15,1 ab	3,4 ab
A2	12609 a	12250 a	118,7 a	54,6 a	15,9 ab	3,6 ab
CB	11834 a	10643 b	114,6 a	49,0 a	16,2 a	3,8 a
CV	10246 c	9160 d	100,0 bc	42,3 c	14,1 b	3,2 b
P	11832 a	10495 b	110,2 ab	50,1 a	16,4 a	3,9 a
VG1	11794 a	10630 b	110,7 ab	50,1 a	16,5 a	3,8 a
Forestello						
A1	12517 a	10825 a	112,3 a	49,1 a	13,9 b	3,2 a
A2	12145 ab	10528 ab	116,3 a	50,1 ab	15,6 a	3,2 a
CV	10006 c	8666 c	95,6 b	42,4 c	12,6 c	3,0 a
P	11777 b	10331 b	102,3 b	48,1 b	14,6 b	3,4 a

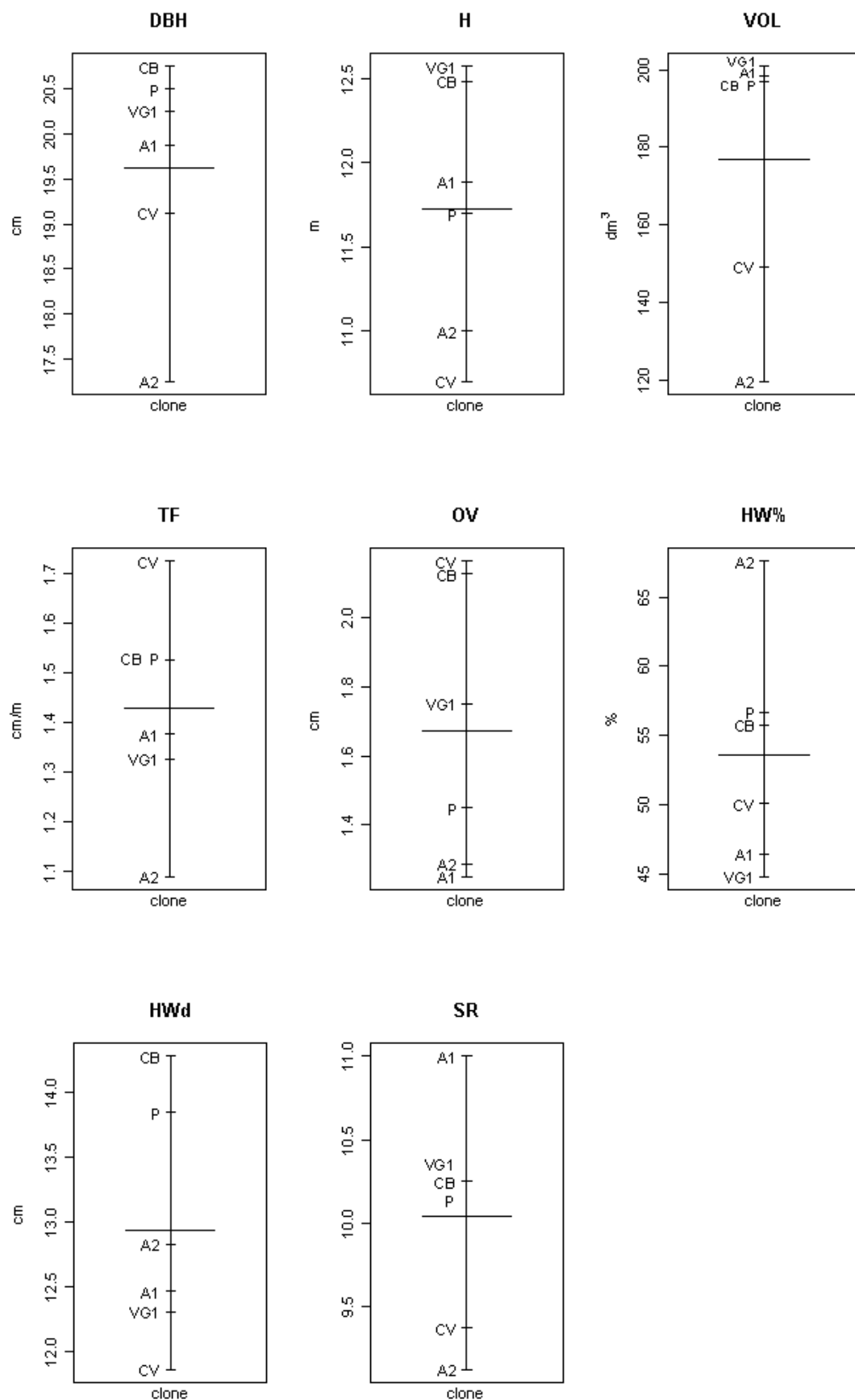


Fig. 2.2 – Valori medi per clone di tutti i caratteri in esame; per i caratteri del legno sono rappresentati i valori medi del durame. Sito **Marani**.

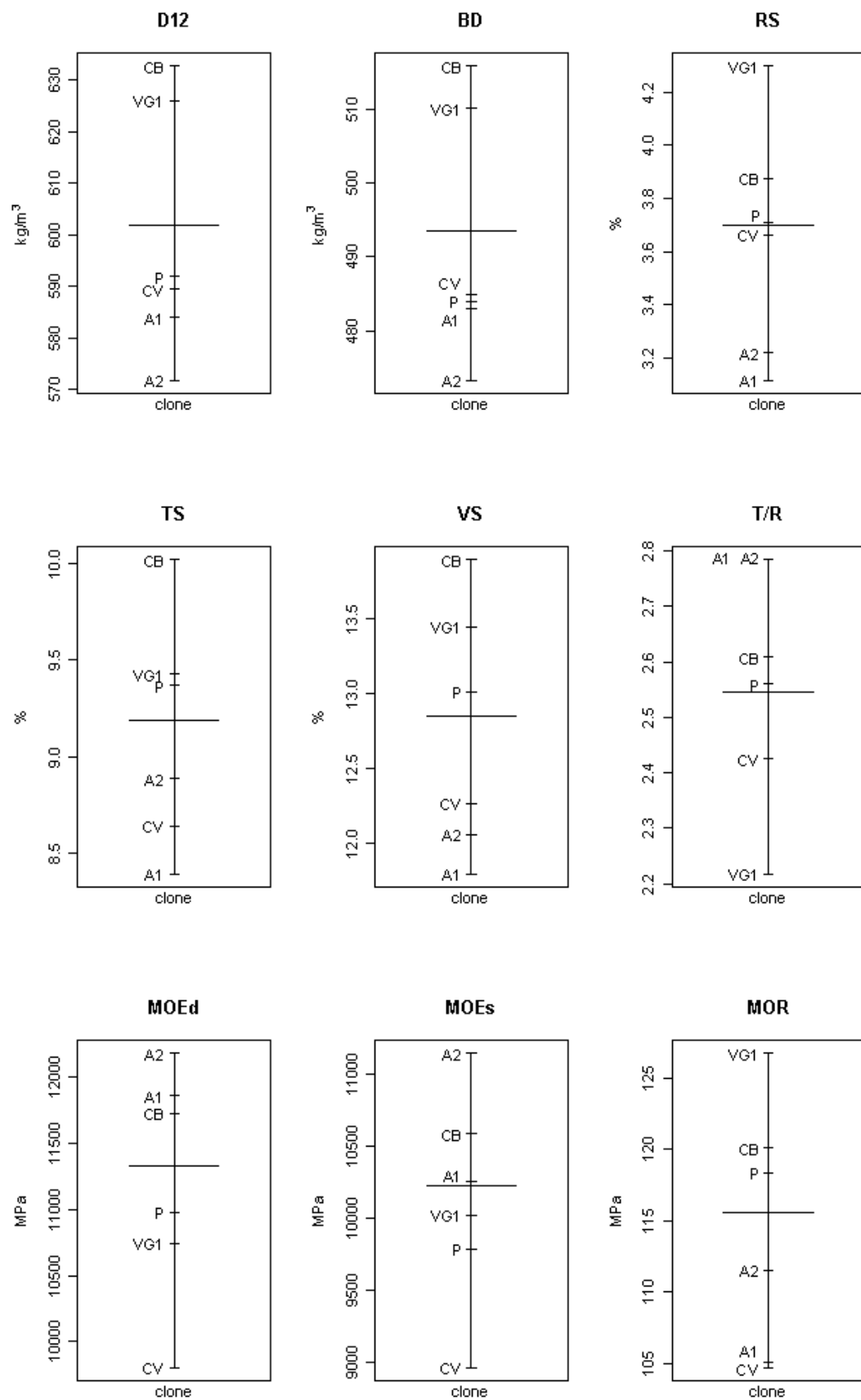


Fig. 2.2 – Continua.

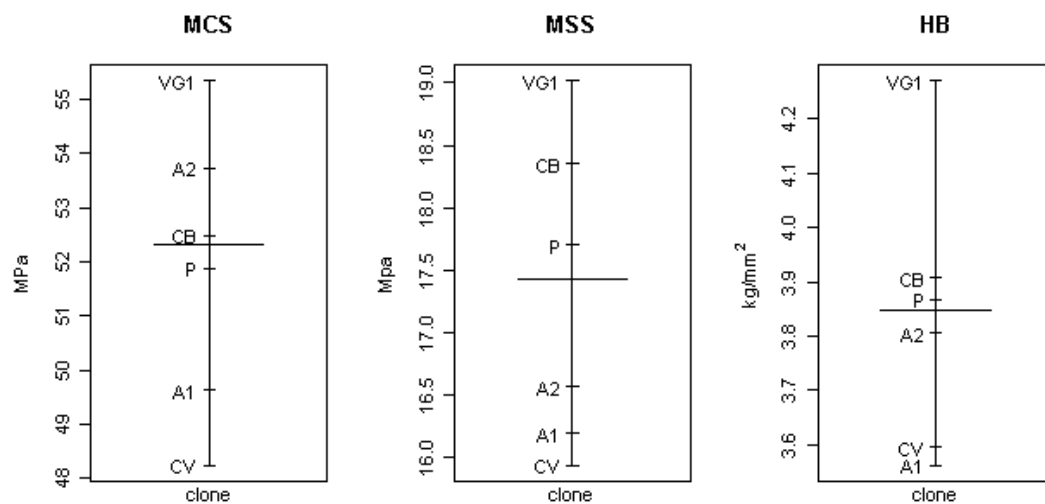


Fig. 2.2 – Continua.

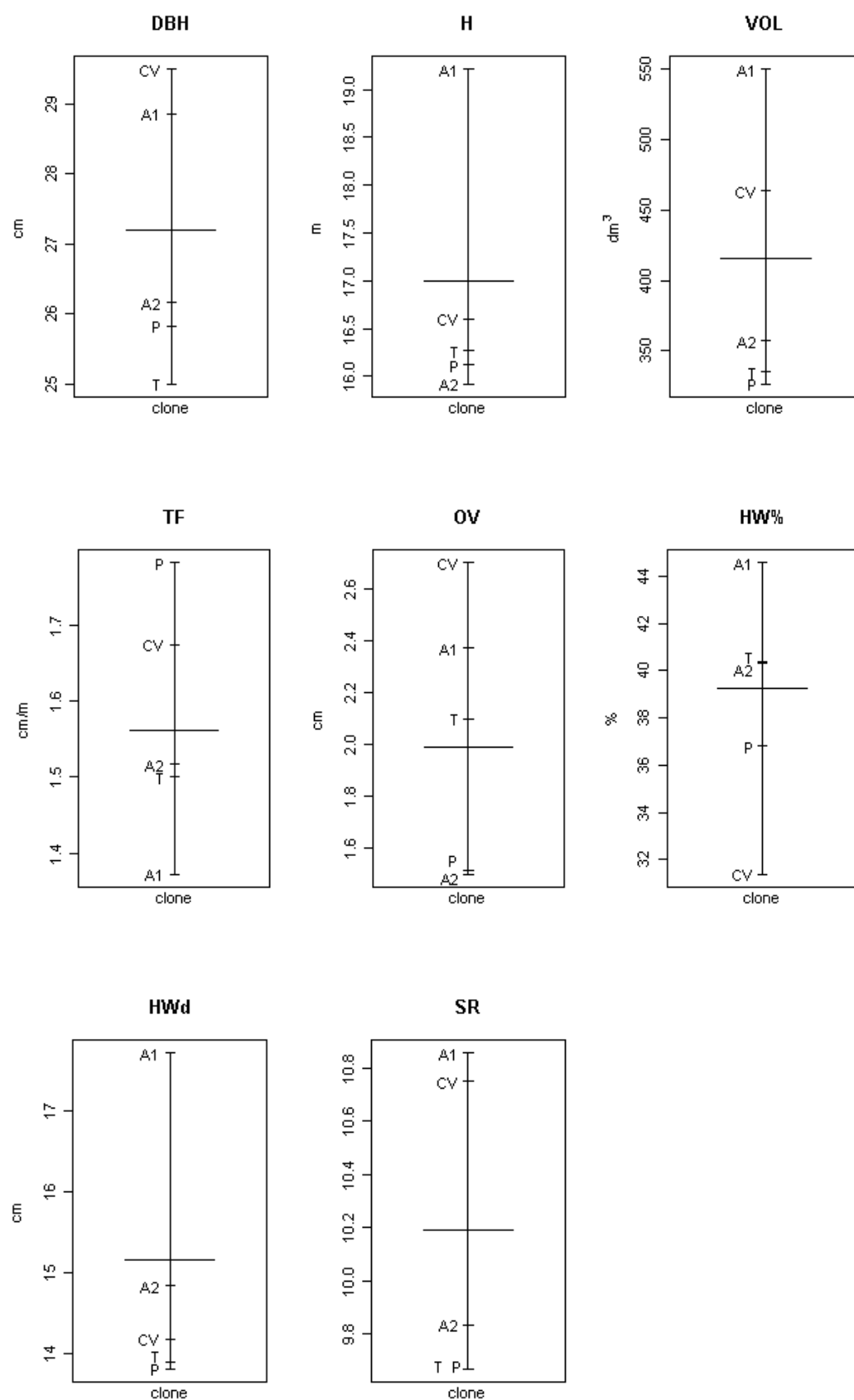


Fig. 2.3 – Valori medi per clone (sono incluse anche le piante da seme T) di tutti i caratteri in esame; per i caratteri del legno sono rappresentati i valori medi del durame. Sito **Forestello**.

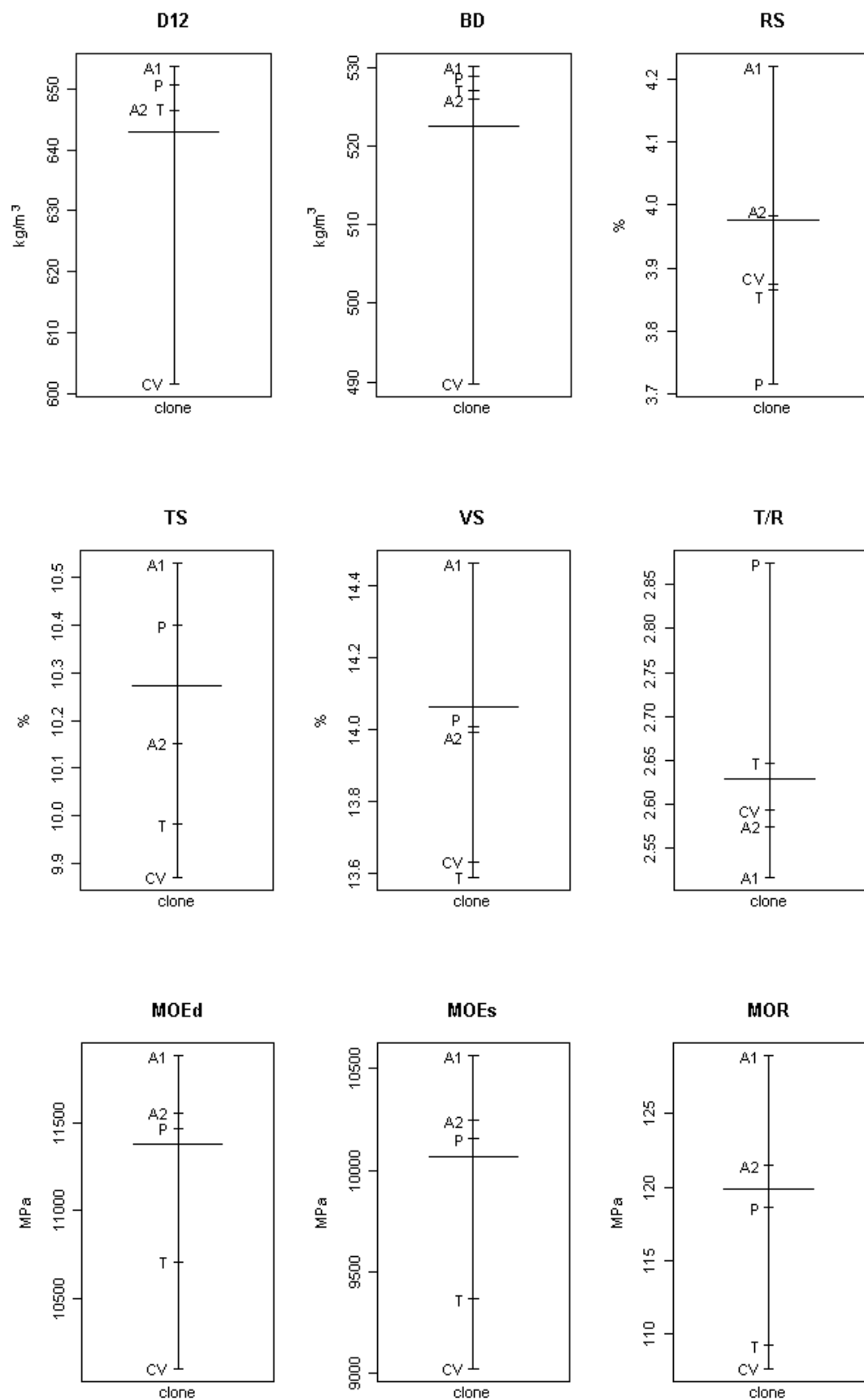


Fig. 2.3 – Continua.

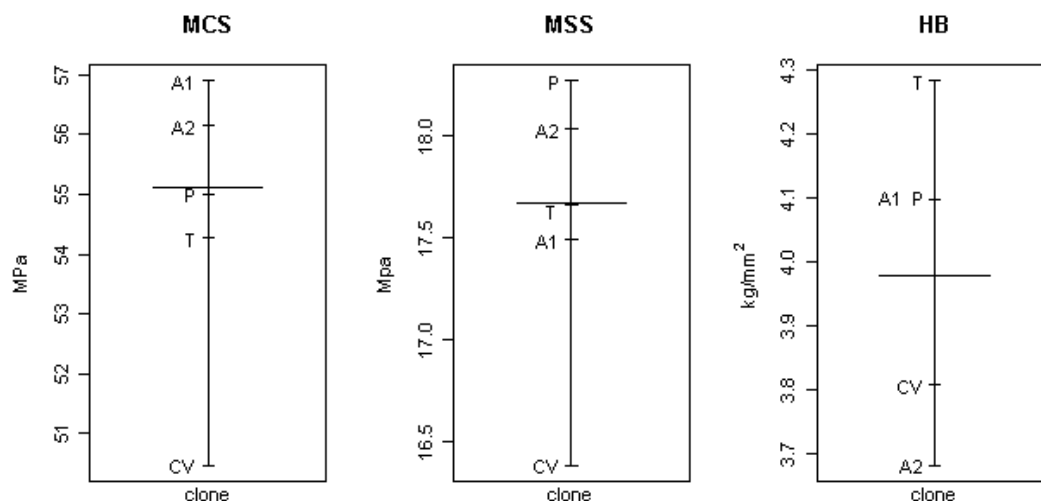


Fig. 2.3 – Continua.

2.3.5 Variabilità inter - sito

La variabilità tra i due siti è stata valutata con un'analisi della varianza per tutti i caratteri (tab. 2.16 e 2.17). I risultati evidenziano, come già precedentemente osservato dall'analisi complessiva, differenze significative tra le due stazioni per tutte le variabili, eccetto che per il coefficiente di rastremazione, il coefficiente di ellitticità e il numero di anelli di alburno, e, tra le caratteristiche del legno, per il coefficiente di nervosità, i moduli di elasticità statico e dinamico nel durame e la durezza sia per durame che per alburno.

Le differenze tra i cloni risultano di nuovo altamente significative tranne che per il coefficiente di ellitticità del fusto, il diametro del durame e il numero di anelli di alburno, come anche per il ritiro radiale e la durezza. Anche l'interazione *sito x clone* risulta significativa per molti dei caratteri studiati.

Se si confrontano i risultati ottenuti separatamente per il durame e per l'alburno (tab. 2.17), si osserva come la significatività degli effetti studiati e della loro interazione non mostra nette differenze, ma le componenti della varianza indicano una percentuale spiegata dal clone generalmente maggiore nel caso dell'alburno rispetto al durame e, allo stesso tempo, una varianza residua inferiore. Si riconferma, quindi, la probabile maggiore influenza dell'ambiente sulle caratteristiche del durame se paragonato all'alburno.

Tab. 2.16 – Analisi della varianza e percentuali della varianza (% var) per i caratteri di accrescimento, di forma e di estensione del durame nei due siti combinati.

Carattere	fonte di variazione	df	F	% var
DBH	sito	1	244,6***	
	clone	3	5,2**	17,8
	sito X clone	3	4,0*	24,9
	errore	47		57,4
H	sito	1	799,9***	
	clone	3	21,8***	38,7
	sito X clone	3	10,6***	35,8
	errore	47		25,5
VOL	sito	1	283,8***	
	clone	3	14,4***	29,2
	sito X clone	3	10,4***	40,9
	errore	47		29,9
TF	sito	1	2,8 ns	
	clone	3	6,5***	26,5
	sito X clone	3	1,8 ns	7,3
	errore	47		66,2
OV	sito	1	3,9 ns	
	clone	3	3,9*	17,0
	sito X clone	3	1,2 ns	2,1
	errore	47		80,8
HW%	sito	1	89,1***	
	clone	3	11,3***	23,6
	sito X clone	3	10,8***	45,1
	errore	47		31,3
HWd	sito	1	36,9***	
	clone	3	3,6*	9,1
	sito X clone	3	7,1***	42,8
	errore	47		48,1
SR	sito	1	0,8 ns	
	clone	3	3,3*	13,8
	sito X clone	3	1,3 ns	4,2
	errore	47		82,1

Livelli di significatività: * = 5%; ** = 1%; *** = 0,1%; ns = non significativo

Tab. 2.17 – Analisi della varianza e percentuali della varianza (% var) per i caratteri del legno di durame e albarno nei due siti combinati.

Carattere	fonte di variazione	durame			albarno		
		df	F	% var	df	F	% var
D12	sito	1	377,3***		1	18,3***	
	clone	3	11,5***	7,7	3	16,0***	20,8
	sito X clone	3	19,2***	26,8	2	2,4 ns	3,7
	errore	352		65,5	219		75,5
BD	sito	1	312,9***		1	15,1***	
	clone	3	11,0***	7,4	3	18,4***	21,5
	sito X clone	3	18,7***	26,3	2	5,4**	11,0
	errore	352		66,2	219		67,5
RS	sito	1	83,0***		1	19,4***	
	clone	3	1,4 ns	0,3	3	3,7*	4,1
	sito X clone	3	20,8***	30,6	2	5,6**	13,8
	errore	352		69,0	219		82,2
TS	sito	1	407,4***		1	50,9***	
	clone	3	14,7***	10,7	3	7,6***	8,5
	sito X clone	3	13,7***	19,9	2	9,4***	21,5
	errore	352		69,5	219		70,0
VS	sito	1	314,8***		1	5,3*	
	clone	3	7,7***	5,4	3	5,4**	6,4
	sito X clone	3	15,4***	23,1	2	5,7**	13,8
	errore	352		71,5	219		79,8
T/R	sito	1	0,0 ns		1	98,7***	
	clone	3	4,4**	2,8	3	5,5**	4,7
	sito X clone	3	14,7***	22,9	2	19,2***	38,1
	errore	352		74,3	219		57,2
MOEd	sito	1	0,1 ns		1	55,2***	
	clone	3	49,1***	48,3	3	67,0***	50,1
	sito X clone	3	5,4**	8,9	3	16,6***	23,6
	errore	135		42,8	127		26,3
MOEs	sito	1	0,2 ns		1	31,6***	
	clone	3	46,4***	42,6	3	64,8***	41,7
	sito X clone	3	10,3***	17,5	3	28,3***	35,7
	errore	161		40,0	135		22,7
MOR	sito	1	40,2***		1	19,6***	
	clone	3	7,6***	9,8	3	11,1***	14,9
	sito X clone	3	9,8***	26,4	3	12,6***	34,0
	errore	161		63,8	135		51,1
MCS	sito	1	69,7***		1	35,2***	
	clone	3	20,3***	26,4	3	48,4***	45,7
	sito X clone	3	6,5***	15,1	3	11,8***	20,8
	errore	164		58,5	135		33,5
MSS	sito	1	11,5***		1	8,1**	
	clone	3	5,2**	8,9	3	22,9***	38,7
	sito X clone	3	0,7 ns	0,0	3	0,6 ns	0,0
	errore	164		91,1	134		61,3
HB	sito	1	2,7 ns		1	3,8 ns	
	clone	3	0,8 ns	0,0	3	4,6**	9,4
	sito X clone	3	1,1 ns	0,0	3	0,3 ns	0,0
	errore	99		100,0	79		90,6

Livelli di significatività: * = 5%; ** = 1%; *** = 0,1%; ns = non significativo

2.4 Discussioni

Prima di affrontare la discussione dei risultati occorre ricordare che a causa del limitato numero di cloni inclusi nello studio (pur con un elevato numero di caratteri rilevati e di campioni misurati) la stima delle componenti della varianza deve essere letta con molta cautela. Fatta questa premessa è sicuramente possibile riportare alcune interessanti osservazioni e formulare considerazioni di carattere generale.

2.4.1 Caratteri di accrescimento

I caratteri di accrescimento hanno mostrato valori medi assai diversi nei due siti, anche se le condizioni climatiche ed edafiche sono molto simili. Le differenze di accrescimento diametrico, altezza e quindi anche volume delle piante, riscontrate tra gli individui dei due impianti, possono pertanto essere spiegate da ragioni colturali: nella stazione di Marani, infatti, le piante presentano tassi di accrescimento diametrico molto ridotti negli ultimi anni, a causa della competizione per lo spazio e per la necessità di interventi di diradamento. Nel sito di Forestello il ciliegio si è giovato molto probabilmente sia dell'azione benefica delle specie azotofissatrici (*Alnus cordata*) con cui sono state alternate nell'impianto misto, aumentando così la sua produttività (Kelty 2006), sia della maggiore spaziatura.

Le piante nate da seme, confrontate con i cloni in Forestello, risultano contraddistinte da accrescimenti minori, confermando in questo modo il buon risultato della selezione delle piante *plus* avvenuta nel programma di miglioramento genetico (basato soprattutto sulle caratteristiche di accrescimento, Ducci e Veracini 1990).

Per quanto riguarda il raffronto del peso delle diverse fonti di variazione, nel caso dei caratteri di accrescimento il fattore sito è sicuramente il più importante, ma le differenze tra i cloni sono comunque sempre significative, sia all'interno del singolo impianto, sia quando si analizzano i due siti in modo combinato. La percentuale di variazione spiegata dal fattore clone risulta maggiore quando viene calcolata separatamente per ciascun sito, piuttosto che con un'analisi multisito; infatti, l'inclusione nell'analisi di diverse condizioni di crescita può portare un aumento della variabilità imputabile all'ambiente.

Altri lavori condotti in impianti clonali di ciliegio in diversi paesi europei riportano risultati simili: Curnel et al (2003) in Belgio hanno riscontrato differenze significative tra i siti esaminati per altezza e circonferenza delle piante, nonché una significativa interazione *sito x*

clone. L'ereditabilità in senso lato riportata dagli stessi Autori varia da 0,11 a 0,55 (in media 0,37) per la circonferenza e da 0,11 a 0,52 (in media 0,28) per l'altezza in base al sito. Santi et al (1998) in Francia indicano valori di ereditabilità in senso lato che variano da 0,31 a 0,70 per la circonferenza e da 0,22 a 0,56 per l'altezza (0,23 e 0,20 rispettivamente nell'analisi multisito). Tutti i lavori precedentemente citati, quindi, hanno osservato differenze significative tra i cloni esaminati.

Come già precedentemente affermato le componenti della varianza sono difficili da stimare con un numero limitato di cloni, ma i risultati ottenuti da studi condotti su più siti e con un numero maggiore di cloni, concordano con quanto riportato nel presente lavoro.

2.4.2 Caratteri di forma del fusto

I parametri che esprimono le caratteristiche di forma del fusto (rastremazione ed ellitticità della sezione) sono risultati essere i meno influenzati dagli effetti analizzati in questo studio: il fattore sito sembra avere scarsa importanza in quanto non sono rilevabili differenze significative tra i valori misurati nelle due stazioni; il genotipo, invece, appare avere un'influenza maggiore (si vedano le differenze tra cloni riscontrate in Marani), ma comunque piuttosto limitata se paragonata a quanto osservato per gli altri caratteri studiati.

Le caratteristiche di forma del fusto sembrano quindi molto variabili a livello di singola pianta, constatazione avvalorata anche dall'elevato coefficiente di variazione osservato nel calcolo delle statistiche descrittive soprattutto per il coefficiente di ellitticità.

2.4.3 Estensione di durame e alburno

Le elevate differenze nel contenuto di durame riscontrate tra i due siti possono essere spiegate dal ridotto accrescimento diametrico delle piante di Marani negli ultimi dieci anni, con formazione di anelli molto stretti nella zona di alburno. Poiché il numero di anelli di alburno è praticamente lo stesso negli alberi dei due impianti, ne consegue una estensione del durame in termini percentuali molto maggiore in Marani.

Il diametro del durame, invece, è strettamente legato al diametro del fusto arboreo. Di conseguenza a dimensioni maggiori del tronco in Forestello corrispondono diametri di durame maggiori rispetto a quanto misurato in Marani, dove le piante presentano diametri del fusto mediamente inferiori.

La variabilità del contenuto di durame è dovuta in questo caso principalmente al sito, ma sono state riscontrate anche differenze significative tra i cloni, evidenziando un moderato controllo genetico su questo carattere.

Il numero di anelli di alburno, invece, è risultato molto omogeneo sia tra siti diversi sia tra cloni, denotando uno scarso controllo genetico a livello clonale. Inoltre, poiché nei due siti l'ampiezza degli anelli di alburno è estremamente diversa (anelli stretti in Marani e più ampi in Forestello), il tasso di accrescimento sembrerebbe non influenzare il numero di anelli che intraprendono il processo di duramificazione.

Dalle indagini bibliografiche effettuate non risultano studi sull'estensione del durame in cloni di ciliegio da legno. Nel caso del noce nero è stato riscontrato, però, un controllo genetico da moderato a alto per l'estensione percentuale di durame (Rink 1987; Woeste 2002).

Nelson (1976), in uno studio sulle caratteristiche dell'alburno del ciliegio americano negli Stati Uniti, ha indicato 13,6 come numero medio di anelli di alburno di piante di età diversa e non ha riscontrato alcuna differenza significativa tra i cinque siti studiati. Questo valore è leggermente maggiore di quanto rilevato in questo studio per il ciliegio europeo. L'Autore, inoltre, osserva una relazione positiva tra il numero di anelli di alburno e il diametro del fusto, e una correlazione negativa (soltanto in alcuni siti) con il tasso di accrescimento radiale; ulteriori approfondimenti sull'argomento sono sicuramente necessari.

Savill et al (1993) riportano, invece, un alto valore di ereditabilità in senso lato (0,83) per il numero di anelli di alburno in due specie di querce caducifoglie. In questo caso il contrasto con i risultati osservati per il ciliegio potrebbe essere spiegato dalle diverse specie in esame (querce e ciliegio) e/o dal limitato numero di cloni disponibile per il nostro studio.

2.4.4 Caratteri del legno

La variabilità dei caratteri del legno è stata analizzata a tre livelli: a livello di singolo albero (variazione intra – albero in senso radiale); a livello di clone (intra – e inter – clone) e a livello di sito (inter – sito).

Variabilità intra – albero

In accordo con quanto riscontrato anche da altri Autori per specie diverse (Mátyás e Peszlen 1997; Zhang e Jiang 1998; Baillères et al 2001), la maggiore parte della variabilità dei caratteri del legno di ciliegio analizzati in questo studio è da attribuire alla variazione intra – albero, piuttosto che alla variazione all'interno o tra cloni, o alle differenze tra siti.

La variabilità delle proprietà del legno all'interno della singola pianta e soprattutto in direzione radiale è attribuibile a diverse cause e, principalmente, al tasso di accrescimento (inteso come ampiezza dell'anello annuale), all'età cambiale e alla formazione del durame.

Tra queste, la relazione tra l'ampiezza anulare e le proprietà del legno verrà trattata nel prosieguo della ricerca (Parte III).

L'età cambiale influenza le caratteristiche del legno attraverso la formazione di legno giovanile o maturo, che si differenziano dal punto di vista anatomico, ma anche per le proprietà fisiche e meccaniche. Le caratteristiche del legno giovanile variano da specie a specie, come anche il grado con cui queste si diversificano da quelle del legno maturo. D'altra parte la presenza di legno giovanile è un elemento determinante nel definire le proprietà del legno delle conifere, meno nelle latifoglie e, in particolare, nelle latifoglie a porosità diffusa come il ciliegio, dove le caratteristiche del legno giovanile sembrano non differire considerevolmente da quelle del legno maturo (Zobel e Sprague 1998). Inoltre, non avendo riscontrato specifici studi sulla variabilità in senso radiale delle caratteristiche del legno di ciliegio, in base ai risultati qui descritti e per gli individui esaminati, la più importante causa di variazione intra – albero sembra essere la presenza di alburno e durame, piuttosto che l'età cambiale.

Il processo di duramificazione è associato alla morte delle cellule parenchimatiche nella zona cosiddetta di transizione e alla formazione di estrattivi, il cui quantitativo aumenta in modo considerevole nella zona di passaggio tra durame e alburno (Hillis 1997; Taylor et al 2002). L'elevata quantità di estrattivi riduce la permeabilità del durame, aumenta la sua stabilità dimensionale, aumenta il peso specifico e quindi la massa volumica (Giordano 1981; Miller 1999).

In accordo con quanto riportato sopra, i ritiri misurati nella zona di alburno dei cloni di ciliegio sono molto più elevati di quanto riscontrato nel durame; al contrario la massa volumica e la densità basale del durame sono risultate superiori a quelle dell'alburno solo negli individui di Forestello.

Per quanto concerne le proprietà meccaniche, le resistenze e la durezza risultano sempre inferiori nell'alburno rispetto al durame; diversa la situazione del modulo di elasticità che rimane costante nelle due zone. In effetti nel processo di duramificazione non si verificano modificazioni strutturali nella parete delle cellule legnose e per questo motivo normalmente in letteratura si ritiene che il solo processo di duramificazione non comporti differenze tra le

proprietà meccaniche di alborno e durame (Panshing e Zeuw 1980 in Taylor et al 2002). Alcuni Autori, però, ipotizzano un'influenza degli estrattivi, molto più abbondanti nel durame che nell'alborno, sulle caratteristiche di resistenza meccanica del legno (Green et al 1999), dopo aver osservato diminuzioni significative di resistenza a compressione e modulo di elasticità trasversale (ma non del modulo di elasticità longitudinale) a seguito della rimozione degli estrattivi dal legno (Grabner et al 2005).

Inoltre il processo di duramificazione sembra comportare alcuni cambiamenti (benché non si tratti di modificazioni strutturali) nella componente di lignina della parete cellulare, dovuti alla cosiddetta “lignificazione secondaria” (o meglio secondo alcuni autori “pseudo - lignificazione”). Questa modifica consiste nell'associazione dei nuovi estrattivi fenolici appena formati con la parete cellulare (Magel et al 1994), ma, mentre la lignina è una componente fondamentale nel determinare le caratteristiche meccaniche del legno, al momento non ci sono riscontri sull'effettivo aumento delle resistenze meccaniche dovuto a questo processo.

Variabilità intra – e inter - clone

Le significative differenze tra cloni, osservate per la maggior parte dei caratteri del legno, forniscono una chiara indicazione della presenza di un controllo genetico medio – alto su di essi (Zobel e van Buijtenen 1989; Zobel e Jett 1995). La durezza è il solo carattere per cui non sono state riscontrate differenze significative tra i cloni; questo fatto può essere dovuto all'effettiva assenza di controllo genetico o, più probabilmente, agli elevati errori di misura che il metodo Brinell comporta (Negri et al 1995).

Al contrario, nel corso di questo studio, sono emerse differenze di scarsa importanza tra i rametti dello stesso clone, benché in alcuni casi significative. Ne consegue, in futuri studi sulla genetica del legno, la possibilità di aumentare il numero di campioni per ciascuna pianta, riducendo il numero di individui da cui prelevare il materiale e adottando quindi una soluzione assai meno dispendiosa in termini di numero di alberi abbattuti.

Al momento non è possibile fare dei confronti con altri studi sulle caratteristiche del legno di cloni di ciliegio. È possibile, invece, riportare qualche esempio di stima dell'ereditabilità calcolata su altre specie legnose. Il carattere di gran lunga più studiato è sicuramente la densità del legno: Yanchuk et al (1984) indicano il valore di 0,35 e Pliura e Colleghi (2007) da 0,216 a 0,525 per l'ereditabilità in senso lato della densità in *Populus*; Nepveu e Velling

(1983) riportano 0,549 per *Betula pendula*; Nepveu (1984) da 0,369 a 0,585 per diverse specie del genere *Quercus* e Monteoliva et al (2005) 0,65 per *Salix*.

Valori di ereditabilità in senso lato sono anche disponibili per il ritiro volumetrico e il coefficiente di nervosità in *Betula pendula* (0,351 e 0,343 rispettivamente) (Nepveu e Velling 1983) e in *Quercus* (da 0,220 a 0,295 e 0,143 rispettivamente) (Nepveu 1984).

Circa le caratteristiche meccaniche i dati presenti in letteratura sono ancora più scarsi. Due diversi studi condotti su *Populus* riportano risultati opposti: in un caso differenze non significative tra le medie clonali per le proprietà meccaniche misurate (Mátiás e Peszlen 1997); nell'altro un valore di ereditabilità di 0,34 per il *compliance coefficient* del legno (reciproco del modulo di elasticità) e 0,47 per la resistenza a compressione (Hernández et al 1998).

Infine, Botrel et al (2007) hanno riscontrato un effetto clonale significativo sia per le caratteristiche fisiche del legno (densità basale, ritiro radiale e tangenziale, ma non per il ritiro volumetrico), sia per le proprietà meccaniche (modulo di elasticità in compressione e flessione, resistenza a compressione e modulo di rottura) in *Eucalyptus*.

Variabilità inter – sito

L'analisi multisito ha mostrato una elevata significatività dell'effetto del sito e dell'interazione *sito x clone*, evidenziando l'influenza delle condizioni di crescita sulle caratteristiche del legno.

La componente della varianza dovuta al clone calcolata combinando i due siti, nonostante sia sempre significativa, è in generale inferiore rispetto a quanto ottenuto all'interno di ciascuna stazione, a causa dell'aumento della variabilità ambientale quando si introducono nell'analisi più siti.

I caratteri del legno, analizzati in ambienti diversi, risultano comunque più stabili rispetto ai caratteri di accrescimento, come evidenziato anche da studi precedenti concentratisi principalmente sulla densità del legno (Zobel and Jett 1995; Zhang et al 2003; Pliura et al 2007). Benché siano rilevabili alcune differenze tra i valori medi calcolati nei due siti per le diverse proprietà del legno, esse non appaiono elevate.

Controllo genetico sulle proprietà del legno di alburno e durame

Sia nell'analisi all'interno del singolo sito, sia combinando le due stazioni, il controllo genetico è risultato maggiore sulle caratteristiche del legno di alburno piuttosto che sul

durame, denotando una probabile maggiore influenza dell'ambiente sulle proprietà fisiche e meccaniche di quest'ultimo e sul processo di duramificazione.

L'influenza dell'ambiente sulla formazione del durame è stata suggerita in passato da Rink e Phelps (1989) in uno studio su progenie di noce nero, come una possibile spiegazione della maggiore ereditabilità in senso stretto per la densità dell'alburno (0,54) rispetto a quella del durame (0,35). A conferma di questo, ulteriori studi hanno osservato la mancanza di controllo genetico e la forte influenza dell'ambiente di crescita delle piante sulla produzione di etilene (Nelson et al 1981), la concentrazione del quale sembra legata alla formazione di estrattivi e quindi al processo di duramificazione (Hillis 1987; Taylor et al 2002).

In ultimo si può notare che l'interazione *clone x età cambiale* in questo studio risulta essere sempre inferiore all'effetto del clone; inoltre il *ranking* dei cloni non cambia in modo considerevole se si considerano i caratteri dell'alburno o del durame. Tutto questo porta a concludere che una selezione efficiente condotta su campioni ricavati dall'alburno può essere rappresentativa anche delle caratteristiche del durame. Così come, nell'ottica di accelerare i tempi dei programmi di miglioramento genetico, una selezione precoce su piante giovani, quando la duramificazione non è ancora avvenuta, appare del tutto possibile. Questo concetto sarà comunque ripreso e approfondito nella parte successiva (Parte III).

Confronto tra cloni

Per quanto riguarda le *performance* dei cloni nei due siti, risulta difficile trarre delle conclusioni generali: in alcuni casi gli stessi cloni hanno evidenziato risultati diversi nelle due stazioni, a conferma ulteriore dell'importanza della corretta scelta della località in cui far crescere le piante. Alcune osservazioni di sintesi sono comunque interessanti.

L'accrescimento delle piante si è dimostrato molto legato alla stazione, tuttavia il clone A2 ha presentato le dimensioni minori in Marani e comunque limitate in Forestello, denotando una tendenza a una crescita più lenta. In Marani il clone CB ha mostrato gli sviluppi maggiori, soprattutto in diametro, facendo presupporre un maggiore adattamento dovuto alla provenienza geografica del materiale genetico di questo clone (Colline Bolognesi), più vicina come caratteristiche a quelle della stazione di accrescimento.

I cloni non si differenziano, invece, per la forma del fusto; è già stata infatti discussa precedentemente la mancanza di controllo genetico su questi caratteri (rastremazione ed ellitticità) e quindi la predominanza su di essi di fattori esterni come le cure colturali e l'ambiente di crescita.

L'estensione del durame sembra invece maggiore nel clone A2, che predomina per questo carattere in Marani e presenta valori comunque elevati anche in Forestello.

In quanto alle proprietà del legno di ciliegio, i dati reperibili in letteratura sono i seguenti (Giordano 1988): la massa volumica a umidità del 12% può presentare valori da 550 a 800 kg/m³ (in media 620 kg/m³); i ritiri presentano valori medi, come anche il coefficiente di nervosità; il modulo di elasticità è pari in media a 10000 MPa; la resistenza a flessione varia da 88 a 126 MPa (in media 106 MPa); la resistenza a compressione assiale va da 44 a 61 MPa (in media 53 MPa). Confrontando questi valori con quelli misurati nei cloni campionati si può rilevare una generale corrispondenza.

Nel confronto tra i cloni si può riportare una differenziazione del clone CV per massa volumica e proprietà meccaniche inferiori rispetto agli altri in entrambe le stazioni e dei cloni CB e VG1 per densità maggiori, ma anche migliore stabilità dimensionale (questi però non possono essere confrontati nei due siti).

In ultimo, le piante nate da seme presenti nella stazione di Forestello si sono differenziate dai cloni per accrescimenti minori, ma non per le proprietà del legno. Questo, come affermato in precedenza, appare come un indice della buona riuscita della selezione effettuata sulla base dei caratteri di accrescimento, ma che non ha preso in considerazione, almeno nella prima fase, i caratteri del legno.

2.5 Conclusioni

Riassumendo i risultati principali di questa fase del lavoro si può affermare che:

- per la maggior parte dei caratteri studiati si è evidenziato un effetto clone altamente significativo, confermando l'influenza del fattore genetico sui caratteri di accrescimento e sui caratteri del legno;
- i caratteri di forma del fusto rilevati, come anche il numero di anelli di alburno, non risultano essere soggetti a un forte controllo genetico;
- tra le proprietà del legno analizzate la durezza ha mostrato le minori differenze tra i cloni, ma non è chiaro se questo risultato sia dovuto a una effettiva mancanza di controllo genetico o alle limitazioni che contraddistinguono la metodologia per la misura di questo carattere;
- per i caratteri di accrescimento il fattore sito sembra essere il più rilevante, mentre per le proprietà del legno la maggiore variabilità è stata riscontrata all'interno della singola pianta;

- l'elevata variabilità dei caratteri del legno all'interno della singola pianta sembra essere dovuta principalmente alla presenza di alburno e durame;
- il controllo genetico sui caratteri del legno di durame è risultato inferiore rispetto all'alburno, indice questo di un rilevante effetto dell'ambiente sul processo di duramificazione;
- le differenze riscontrate tra alburno e durame rendono evidente la necessità, anche ai fini del miglioramento genetico, di approfondire la conoscenza della variabilità del legno all'interno della pianta;
- in considerazione dell'elevata variabilità intra-albero e delle scarse differenze tra i ramet dello stesso clone, sembra plausibile, in futuri test clonali sui caratteri del legno, la possibilità di aumentare il numero di campioni per ciascuna pianta e ridurre il numero di individui, limitando così le piante da abbattere;
- le differenze rilevate tra i siti per la maggior parte dei caratteri studiati enfatizzano la necessità di una corretta scelta della stazione e soprattutto della regolare e accurata pratica delle cure colturali;
- le caratteristiche di accrescimento dei cloni sono risultate migliori rispetto alle piante nate da seme utilizzate come testimoni, mentre le proprietà del legno non si sono differenziate nettamente. Questo conferma il successo della precedente selezione avvenuta sulla base dei caratteri di accrescimento, ma anche la necessità di introdurre lo studio delle proprietà del legno se anche queste costituiscono uno degli obiettivi del programma di miglioramento.

3.1 Introduzione

Dopo aver analizzato la variabilità dei caratteri e l'effettiva presenza di un controllo genetico su di essi, è importante studiarne le reciproche correlazioni (Raymond 2002). In particolare per quanto riguarda il legno si vuol qui indagare la relazione tra la densità e le altre proprietà, al fine di verificare la sua effettiva connotazione di carattere più rappresentativo e quindi predittivo degli altri parametri fisico-meccanici. Questa affermazione, infatti, è ormai ampiamente documentata in letteratura per quanto concerne le conifere, mentre più controversa e sicuramente meno conosciuta è la situazione delle latifoglie, in particolare delle latifoglie per la produzione di legno di pregio.

Nell'ambito dei test clonali e dei programmi di miglioramento genetico in generale, la necessità di effettuare numerosi rilievi su molti individui richiede l'individuazione di tecniche di misura delle caratteristiche che siano il più possibile speditive, di costi limitati, ma anche efficaci. In questo studio è stata testata la tecnica densitometrica per il rilievo della densità del legno, verificando la conformità dei dati ottenuti con quelli rilevati con il metodo gravimetrico nel caso specifico del legno di ciliegio.

Inoltre i profili densitometrici essendo molto dettagliati, forniscono valori per singolo anello di accrescimento e rendono così possibile l'approfondimento della relazione esistente tra la densità del legno e l'accrescimento della pianta, in questo caso individuato dall'ampiezza anulare.

Infine è stata valutata la possibilità di una selezione precoce su piante giovani, ma comunque rappresentativa anche delle qualità del legno della pianta adulta. La verifica è basata sull'analisi della correlazione dei parametri tecnologici alle diverse età. Un metodo che consente di valutare la selezione precoce di individui con le caratteristiche tecnologiche desiderate è quello che fa capo alle analisi dei profili densitometrici.

In considerazione delle notevoli differenze riscontrate tra le caratteristiche del durame e dell'alburno (Parte II), si è proceduto inoltre all'indagine della correlazione esistente tra le due zone di legno, per verificare anche sotto questo aspetto la possibilità di effettuare efficacemente la selezione su piante giovani, in cui la duramificazione non è ancora avvenuta, per ottenere miglioramenti nelle proprietà del legno di piante adulte, in cui invece il durame costituisce il prodotto principale.

3.2 Materiali e metodi

Per la prima parte delle analisi sono stati utilizzati i dati sui caratteri di accrescimento, di forma del fusto, estensione del durame e delle proprietà del legno ottenuti con la metodologia descritta nel paragrafo 2.2. Al fine di analizzare le relazioni esistenti tra di loro è stata realizzata una tabella di correlazione con i coefficienti di Pearson. Il confronto è stato effettuato anche tra alburno e durame per ciascun carattere del legno.

Inoltre sono riportati i risultati ottenuti da misure densitometriche a raggi X (Polge 1966) secondo la metodologia qui di seguito brevemente illustrata.

3.2.1 Misure densitometriche

Da ogni pianta campionata nei due siti, Marani e Forestello, secondo le modalità descritte in precedenza (paragrafo 2.2), è stata prelevata una rotella (a circa 1,3 m di altezza), sulla quale è stato individuato un raggio rappresentativo della sezione e privo di anomalie. Per l'intera lunghezza del raggio è stata preparata una striscia larga circa 1 cm nella direzione tangenziale e spessa 1,2 mm nella direzione longitudinale. I campioni così ottenuti sono stati condizionati in cella climatizzata alla temperatura di 20°C e umidità relativa dell'aria del 65%, prima di essere analizzati con la tecnica densitometrica.

Il procedimento consiste nel sottoporre a una fonte di raggi X i provini di legno insieme ad una dima di acetato di cellulosa di spessore variabile e densità nota come riferimento, facendo attenzione a garantire un'esposizione omogenea su tutto il provino e la perpendicolarità dei raggi alla superficie dello stesso. Le radiografie così ottenute sono state scansionate con una risoluzione pari a 1000 dpi con 8 bit per pixel. Infine, le immagini digitali sono state analizzate per mezzo del software WinDENDRO (Guay et al 1992), ottenendo una risoluzione spaziale di 25 µm.

L'ultimo passaggio ha previsto l'acquisizione dei valori densitometrici per mezzo di una routine scritta ed eseguita con il software R (Ihaka and Gentleman 1996; R Development Core Team 2008).

I profili densitometrici sono stati suddivisi in intervalli in corrispondenza degli anelli annuali (Fig. 3.1) e per ciascun anello sono state calcolate le seguenti variabili:

- **rw**: ampiezza anulare (ring width) espressa in mm;
- **m**: densità media dell'anello (kg/m^3);
- **mi**: densità minima anulare (kg/m^3);
- **ma**: densità massima anulare (kg/m^3);

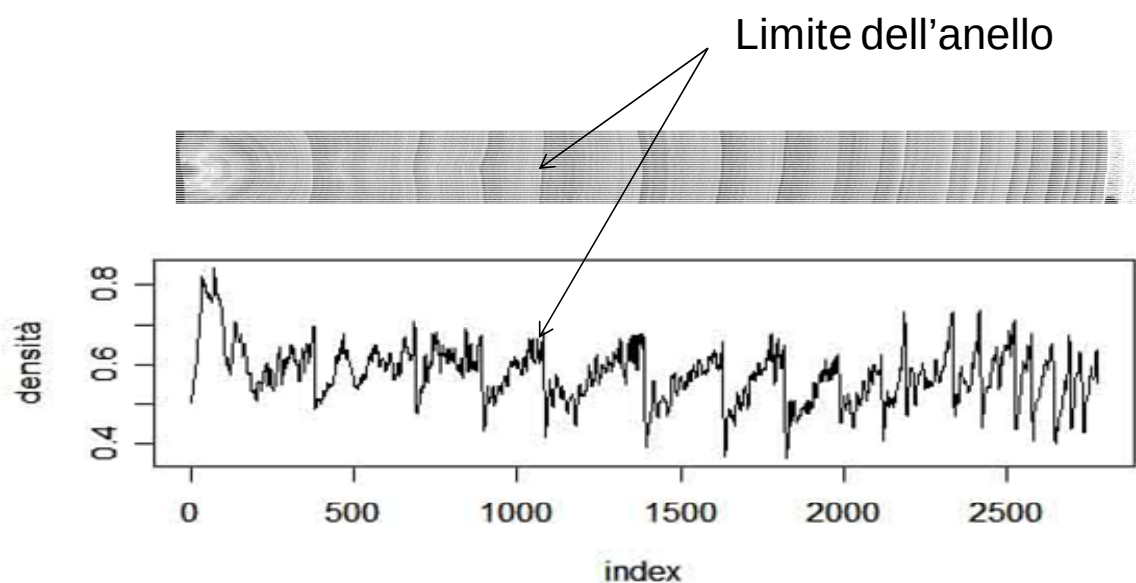


Fig. 3.1 – Corrispondenza del limite dell'anello annuale nel provino di legno e nel profilo densitometrico.

Ciascun anello può essere identificato cronologicamente dall'anno solare in cui si è formato, determinato con un conteggio dalla corteccia verso il midollo, oppure dalla sua posizione a partire dal midollo (età cambiale). Tra i due conteggi non c'è una perfetta corrispondenza a causa del diverso sviluppo in altezza delle piante, perciò nelle analisi successive è stata solitamente impiegata l'età cambiale piuttosto che l'anno solare.

3.2.2 Analisi dei dati

L'analisi dei dati ottenuti con la densitometria è articolata in cinque passaggi.

In primo luogo, al fine di valutare la corrispondenza dei valori di densità misurati con il metodo gravimetrico sui provini prismatici e in quelli ottenuti dalla densitometria, sono stati

calcolati i coefficienti di correlazione di Pearson tra i valori medi di densità per pianta ottenuti con le due metodologie.

Per tutte le variabili densitometriche sono stati poi calcolati i valori medi e i relativi errori standard, nonché i coefficienti di variazione fenotipici, per ogni clone nelle due stazioni (e per le piante nate da seme T in Forestello) e per ciascun sito (per il calcolo delle statistiche del sito in Forestello sono stati presi in considerazione soltanto i cloni).

È stata inoltre eseguita un'analisi della varianza in funzione del fattore clone e del fattore età cambiale, separatamente per i due siti, approfondendo così l'analisi di queste due fonti di variazione con le informazioni più dettagliate derivanti dall'analisi anello per anello possibile con la tecnica a raggi X.

La relazione tra accrescimento e densità è stata approfondita calcolando i coefficienti di correlazione tra tutte le variabili densitometriche e successivamente tra i valori di ampiezza anulare e densità (media, minima e massima) a parità di età cambiale.

Infine, sono stati calcolati i coefficienti di correlazione tra i valori medi di densità alle varie età e quelli medi dell'intero profilo, allo scopo di ottenere delle indicazioni sulla bontà di stima della densità della pianta adulta a partire dai valori misurati alle diverse età.

Una parte dei risultati ottenuti, benché sempre commentati nel testo, è riportata solo in Appendice, al fine di rendere più semplificata la trattazione.

3.3 Risultati

3.3.1 Correlazioni tra caratteri

In tabella 3.1 sono riportati i coefficienti di correlazione lineare tra tutti i caratteri misurati (accrescimento, forma del fusto, estensione del durame e proprietà del legno), calcolati congiuntamente per i due siti e considerando i valori medi per pianta; in Appendice II sono invece riportate le tabelle di correlazione ricavate indipendentemente per ciascun sito e mantenendo separati, per quanto riguarda i caratteri del legno, i dati relativi all'alburno e al

durame. La figura 3.2, infine, mostra le relazioni lineari esistenti tra la densità basale e le altre caratteristiche fisiche e meccaniche del legno calcolate sui valori medi per pianta e congiuntamente per i due siti.

Dalle tabelle e figure suddette si possono fare le seguenti osservazioni:

- I caratteri di accrescimento (DBH, H) sono positivamente correlati tra di loro, quindi a un incremento diametrico maggiore corrisponde anche un più elevato sviluppo in altezza.
- I coefficienti di forma del fusto, rastremazione ed ellitticità, mostrano una correlazione positiva (modesta ma significativa) solo con il diametro del fusto.
- La percentuale dell'area del durame è negativamente correlata con i caratteri di accrescimento: questa relazione è spiegabile dal diverso sviluppo dimensionale nelle due stazioni. Come già analizzato in precedenza, le piante in Marani hanno avuto mediamente sviluppi volumetrici minori rispetto a quelle cresciute nell'impianto di Forestello, a causa della maggiore concorrenza per lo spazio. Gli ultimi anelli formati, prevalentemente di alburno, in Marani sono quindi molto stretti (in media 2,3 mm), a differenza di quelli di durame che sono decisamente più larghi (in media 7,9 mm), ne deriva quindi una maggiore percentuale di durame espressa come area. A diametri del fusto minori corrispondono estensioni percentuali di durame maggiori (Marani) e viceversa (Forestello).
- Il diametro del durame, invece, è positivamente correlato con il diametro del fusto, ma anche con l'altezza della pianta e il volume del fusto.
- Il numero di anelli di alburno non mostra alcuna correlazione significativa con gli altri caratteri, ad eccezione di una relazione negativa con l'estensione percentuale di durame.
- Nessuno dei caratteri di accrescimento, forma del fusto ed estensione del durame presenta correlazioni rilevanti con i caratteri del legno. I valori altamente significativi che si notano per le correlazioni tra diametro del fusto, altezza della pianta, volume del fusto, percentuale di durame e i ritiri percentuali del legno, sono dovuti ancora una volta alle differenze di crescita nei due impianti: sviluppi dimensionali maggiori ed estensione del durame minore in Forestello corrispondono a ritiri mediamente maggiori. Calcolando i coefficienti separatamente per ciascun sito, queste correlazioni non vengono osservate (vedi Appendice II).
- La massa volumica e la densità basale sono correlate in modo altamente significativo con tutte le caratteristiche fisiche e meccaniche del legno. Significatività più basse si

riscontrano solo per il modulo di elasticità, dinamico e statico. Le correlazioni risultano sempre positive tranne che con il coefficiente di nervosità, con il quale si registra una relazione lineare negativa. Quest'ultima relazione, però, se analizzata separatamente per sito e per alburno/durame, per quanto generalmente negativa, non è risultata sempre significativa (vedi Appendice II).

- I ritiri, lineari e volumetrico, sono positivamente correlati tra di loro e negativamente con il coefficiente di nervosità; non sembrano invece correlati con le proprietà meccaniche.
- Il coefficiente di nervosità presenta valori di correlazione con gli altri caratteri generalmente bassi.
- Le proprietà meccaniche sono positivamente correlate tra di loro, ma non con i ritiri e il coefficiente di nervosità. Correlazioni più basse si registrano per la durezza, pur mantenendosi comunque positive.
- In generale le precedenti osservazioni riportate per i caratteri del legno sono valide sia per l'alburno che per il durame (vedi Appendice II).

Tab 3.1 – Correlazioni fenotipiche tra i caratteri di accrescimento, forma del fusto e legno, calcolate sui valori medi per pianta per le caratteristiche fisiche e meccaniche del legno, unendo i due siti.

	DBH	H	VOL	TF	OV	HW%	HWd	SR	D ₁₂	BD	RS	TS	VS	T/R	MOEd	MOEs	MOR	MCS	MSS
DBH	1																		
H	0,86***	1																	
VOL	0,94***	0,92***	1																
TF	0,34**	0,03 ns	0,13 ns	1															
OV	0,40***	0,23 ns	0,39 ns	0,32**	1														
HW%	-0,58***	-0,52***	-0,51***	-0,33**	-0,12 ns	1													
HWd	0,74***	0,68***	0,77***	0,09 ns	0,38**	0,05 ns	1												
SR	0,20 ns	0,18 ns	0,21 ns	0,08 ns	0,14 ns	-0,42***	-0,01 ns	1											
D ₁₂	0,34**	0,34**	0,31**	0,16 ns	0,17 ns	-0,42***	0,26*	0,22 ns	1										
BD	0,24*	0,27*	0,22 ns	0,09 ns	0,14 ns	-0,24*	0,28*	0,17 ns	0,97***	1									
RS	0,46***	0,40***	0,42***	0,19 ns	0,20 ns	-0,68***	0,13 ns	0,28*	0,74***	0,59***	1								
TS	0,69***	0,68***	0,63***	0,27*	0,21 ns	-0,71***	0,34**	0,22 ns	0,70***	0,56***	0,73***	1							
VS	0,64***	0,61***	0,58***	0,26*	0,20 ns	-0,76***	0,27*	0,28*	0,76***	0,60***	0,87***	0,96***	1						
T/R	-0,06 ns	0,00 ns	-0,08 ns	-0,03 ns	-0,10 ns	0,31**	0,07 ns	-0,22 ns	-0,41***	-0,34**	-0,77***	-0,16 ns	-0,38***	1					
MOEd	0,02 ns	0,22 ns	0,12 ns	-0,28*	-0,19 ns	0,18 ns	0,24*	0,04 ns	0,29*	0,31**	-0,16 ns	0,16 ns	0,04 ns	0,35**	1				
MOEs	-0,07 ns	0,11 ns	0,00 ns	-0,30*	-0,18 ns	0,25*	0,16 ns	-0,01 ns	0,37**	0,29*	-0,14 ns	0,07 ns	-0,01 ns	0,27*	0,91***	1			
MOR	0,09 ns	0,29*	0,145ns	-0,20 ns	0,01 ns	0,02 ns	0,22 ns	0,00 ns	0,63***	0,50***	0,33**	0,39 ***	0,35**	-0,14 ns	0,53***	0,61***	1		
MCS	-0,00 ns	0,21 ns	0,08 ns	-0,36**	-0,14 ns	0,16 ns	0,19 ns	-0,03 ns	0,54***	0,40***	0,07 ns	0,21 ns	0,13 ns	0,07 ns	0,70***	0,66***	0,75***	1	
MSS	-0,26*	-0,13 ns	-0,24*	-0,26*	-0,15 ns	0,25*	-0,04 ns	0,02 ns	0,62***	0,38**	0,12 ns	0,09 ns	0,08 ns	-0,11 ns	0,36**	0,34**	0,67***	0,68***	1
HB	-0,17 ns	-0,04 ns	-0,12 ns	-0,25*	0,02 ns	0,12 ns	-0,03 ns	0,03 ns	0,60***	0,27*	0,14 ns	0,11 ns	0,10 ns	-0,09 ns	0,22 ns	0,26*	0,48***	0,52***	0,67***

Livelli di significatività: * = 5%; ** = 1%; *** = 0,1%; ns = non significativo

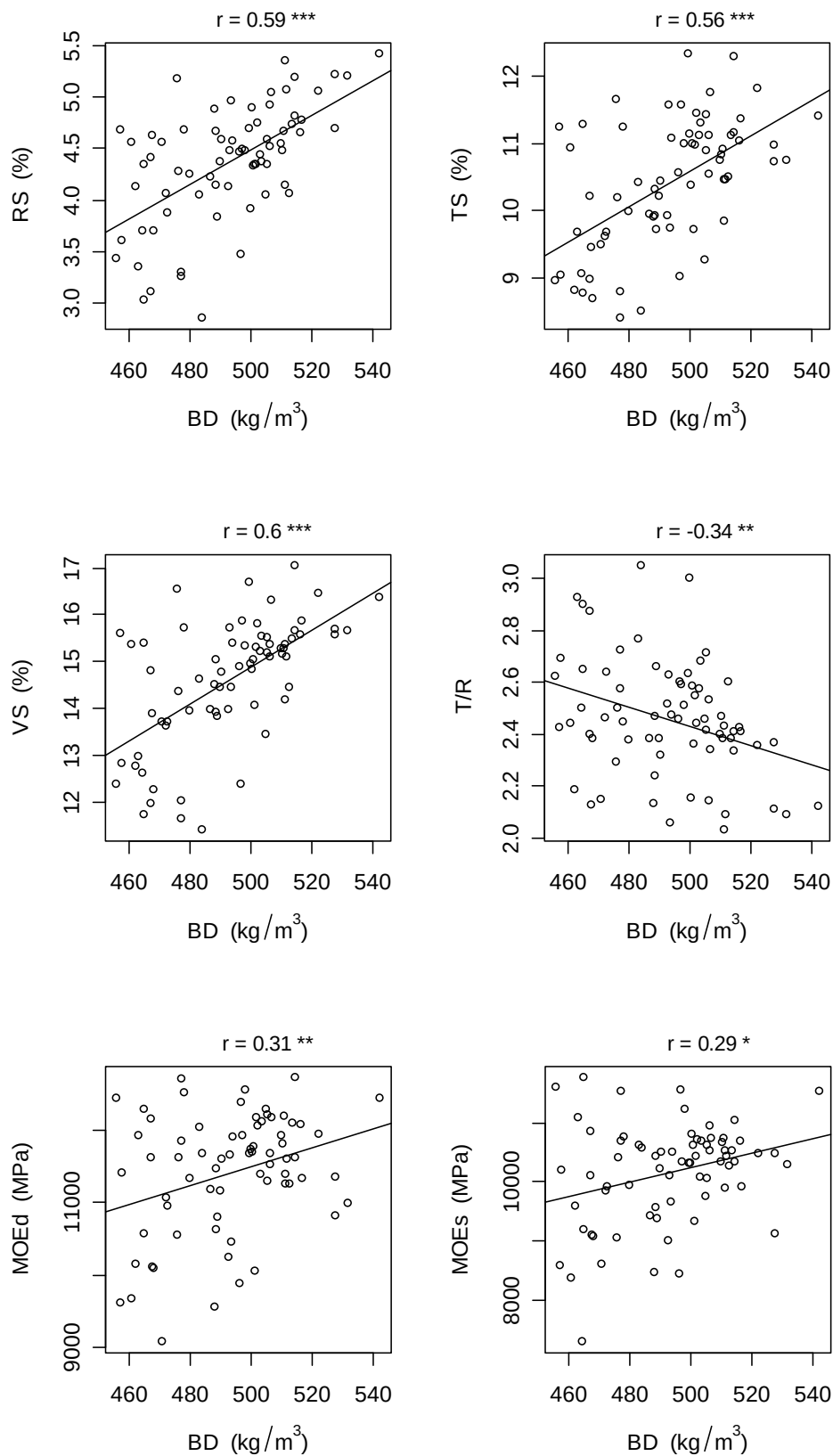


Fig. 3.2 – Relazioni tra la densità basale e le altre caratteristiche fisiche e meccaniche del legno, calcolate sui valori medi per pianta, unendo i due siti.
Livelli di significatività: * = 5%; ** = 1%; *** = 0,1%; ns = non significativo

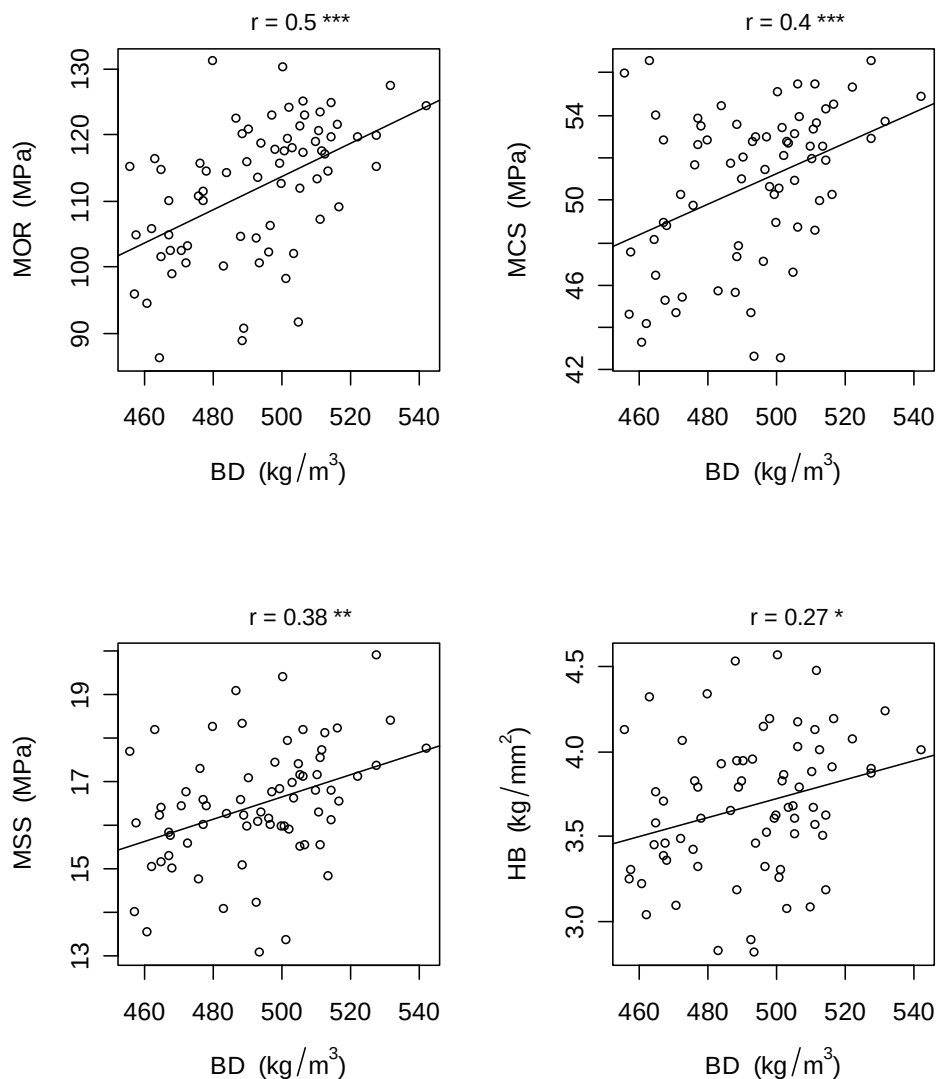


Fig. 3.2 – Continua.

3.3.2 Correlazioni alburno/durame

I coefficienti di correlazione lineare tra le zone di alburno e durame calcolati per le caratteristiche fisiche e meccaniche sono riportati in tabella 3.2. I grafici delle relazioni lineari ad essi relativi sono riportati in Appendice III.

In generale le caratteristiche del durame sono risultate altamente e positivamente correlate con quelle dell'alburno per tutte le proprietà del legno analizzate, ad eccezione dei ritiri e del coefficiente di nervosità, che mostrano coefficienti di correlazione più bassi (Marani) o addirittura non significativi (Forestello).

Le correlazioni migliori si possono osservare per la massa volumica, la densità basale e le caratteristiche meccaniche, con l'eccezione della durezza.

Tab. 3.2 – Coefficienti di correlazione di Pearson (r) tra le proprietà dell'alburno e del durame per le caratteristiche fisiche e meccaniche del legno nei due siti.

	Marani	Forestello
Carattere	r	r
D ₁₂	0,74 ***	0,69 ***
BD	0,70 ***	0,76 ***
RS	0,63 ***	0,42 *
TS	0,57 ***	0,08 ns
VS	0,50 **	0,08 ns
T/R	0,50 **	0,39 ns
MOEd	0,70 ***	0,74 ***
MOEs	0,79 ***	0,81 ***
MOR	0,58 ***	0,61 **
MCS	0,69 ***	0,82 ***
MSS	0,71 ***	0,62 **
HB	0,40 *	0,10 ns

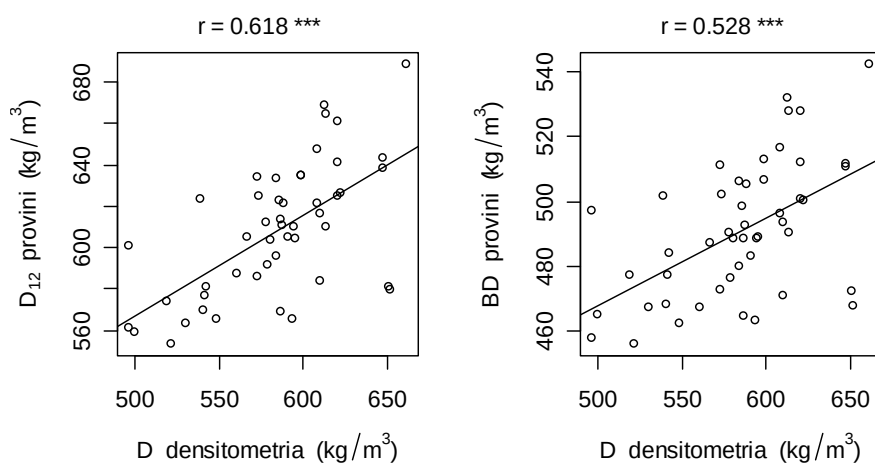
Livelli di significatività: * = 5%; ** = 1%; *** = 0,1%; ns = non significativo

3.3.3 Correlazione tra densità misurata con metodo gravimetrico e densitometria

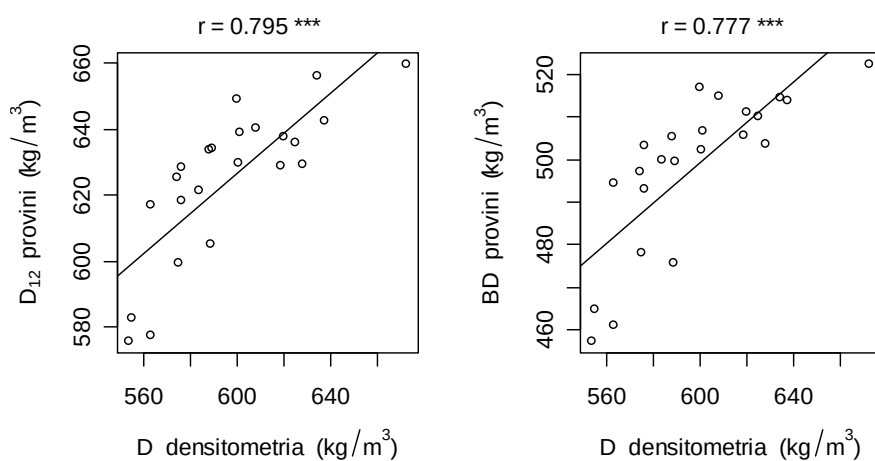
I coefficienti di correlazione lineare sono stati calcolati anche tra la massa volumica e la densità basale e la densità rilevata con il metodo densitometrico (valori medi per pianta).

I risultati sono riportati in figura 3.3 e mostrano come i coefficienti siano elevati, positivi e altamente significativi. I valori per Forestello sono leggermente maggiori rispetto a quanto riscontrato in Marani.

Marani



Forestello



Tutto

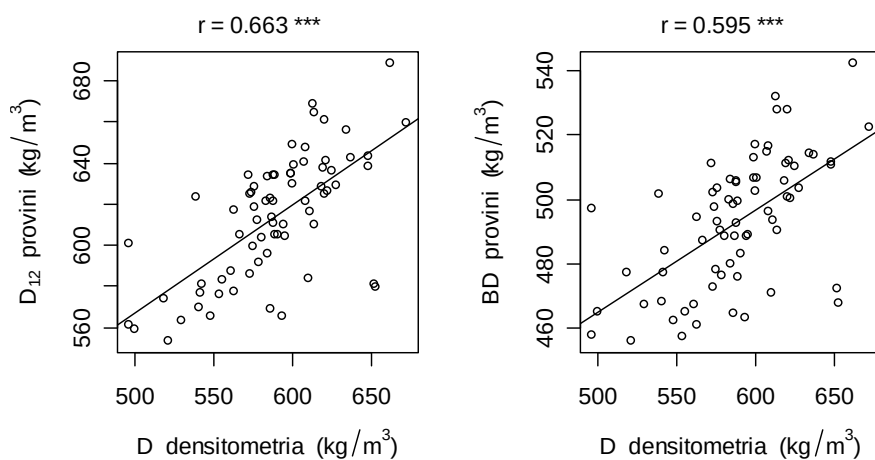


Fig. 3.3 – Correlazione tra la massa volumica (D₁₂) e la densità basale (BD) misurate con metodo gravimetrico e la densità (D) rilevata con il metodo densitometrico (r = coefficiente di correlazione). Livelli di significatività: * = 5%; ** = 1%; *** = 0,1%; ns = non significativo

3.3.4 Le variabili densitometriche

Dalle statistiche descrittive (Appendice IV e V) si evince una generale conferma di quanto osservato nella sezione precedente per i caratteri di accrescimento e per la densità (tab. 2.6): esaminando i valori medi di ampiezza anulare si evidenziano accrescimenti maggiori in Forestello. Per questa stazione i valori di densità media sono generalmente maggiori, quelli di densità minima dell'anello sono inferiori e quelli di densità massima superiori rispetto a quanto rilevato per le piante di Marani.

Per quanto riguarda i cloni, CB e VG1 si distinguono in Marani per una densità media superiore agli altri (come già rilevato dalle prove gravimetriche sui provini prismatici), mostrando anche elevati valori di densità minima e massima. I cloni con valori di densità più bassi sembrano essere di nuovo A2 in Marani e CV in Forestello, ai quali sono associati anche i valori più bassi di densità minima e massima.

L'analisi della varianza (riportata in Appendice VI) ha evidenziato per tutte le variabili densitometriche la presenza di un'influenza altamente significativa sia del fattore clone che del fattore età cambiale, confermando così l'importanza del genoma nel determinare la densità del legno, ma anche il ruolo che assume la variabilità all'interno della singola pianta.

3.3.5 Correlazioni tra accrescimento e densità

L'analisi densitometrica ha consentito di approfondire la relazione esistente tra l'accrescimento (rw) e la densità del legno.

Nella tabella 3.3 sono riportati i coefficienti di correlazione tra le diverse variabili densitometriche, separatamente per le due stazioni: si osserva chiaramente come la densità media sia correlata in modo positivo e altamente significativo con la densità minima e massima dell'anello. Queste ultime sono altresì correlate positivamente tra di loro, ma con valori più bassi dei coefficienti.

L'ampiezza degli anelli non mostra alcuna correlazione con le variabili di densità in Marani, mentre, seppur di scarsa entità, si evidenzia una relazione positiva tra rw e i valori di densità (media, minima e massima) in Forestello. Quest'ultimo dato potrebbe però essere influenzato dalla posizione dell'anello lungo il raggio: nella parte del profilo vicino al midollo, infatti, si

trovano gli anelli più ampi e allo stesso tempo densità maggiori (zona di durame); nella parte più esterna si hanno anelli più stretti e densità minore (zona di alburno).

Come già più volte descritto, l'ampiezza dell'anello infatti non è costante lungo il raggio, ma in entrambe le stazioni tende a diminuire, a volte in modo drastico, passando dal midollo verso la corteccia, probabilmente a causa della sempre maggiore concorrenza tra le piante. Per limitare questo effetto, sono stati allora calcolati i coefficienti di correlazione tra ampiezza anulare e variabili di densità a parità di età cambiale (tab. 3.4).

Tab. 3.3 – Coefficienti di correlazione fenotipici per le variabili densitometriche. Forestello sopra la diagonale, Marani sotto.

	rw	m	mi	ma
rw	1	0,48***	0,24***	0,30***
m	0,04ns	1	0,76***	0,68***
mi	-0,07*	0,76***	1	0,35***
ma	0,08*	0,83***	0,57***	1

Livelli di significatività: * = 5%; ** = 1%; *** = 0,1%; ns = non significativo

Tab. 3.4 – Coefficienti di correlazione tra ampiezza e densità media, massima e minima dell'anello, per età cambiale (in anni).

età cambiale	Marani			Forestello		
	M	mi	ma	m	mi	ma
1	-0,34*	-0,28 ns	-0,40**	-0,16 ns	-0,23 ns	0,05 ns
2	-0,36*	-0,33*	-0,03 ns	-0,30 ns	-0,59**	-0,18 ns
3	-0,19 ns	-0,05 ns	-0,18 ns	-0,32 ns	-0,53**	-0,03 ns
4	-0,47***	-0,48***	-0,28 ns	0,02 ns	-0,48*	0,25 ns
5	-0,02 ns	0,09 ns	0,09 ns	0,24 ns	0,02 ns	0,50*
6	0,15 ns	0,17 ns	0,07 ns	0,22 ns	-0,23 ns	0,42*
7	-0,06 ns	-0,07 ns	0,08 ns	0,15 ns	-0,08 ns	0,17 ns
8	0,07 ns	-0,04 ns	0,22 ns	-0,01 ns	0,22 ns	-0,20 ns
9	0,11 ns	-0,03 ns	0,25 ns	-0,16 ns	0,13 ns	-0,26 ns
10	0,44**	0,19 ns	0,52***	0,53**	0,24 ns	0,27 ns
11	0,25 ns	0,06 ns	0,36*	0,25 ns	0,17 ns	0,56**
12	0,48***	0,12 ns	0,56***	0,27 ns	0,17 ns	-0,07 ns
13	0,50***	0,02 ns	0,52***	0,15 ns	0,32 ns	0,06 ns
14	0,55***	0,12 ns	0,52***	0,39 ns	0,16 ns	0,16 ns
15	0,58***	0,17 ns	0,59***	0,08 ns	-0,42*	0,56**
16	0,46**	-0,10 ns	0,55***	0,50*	0,27 ns	0,57**
17	0,41**	-0,01 ns	0,41**	0,41 ns	0,11 ns	0,57**
18	-	-	-	0,36 ns	-0,02 ns	0,60**

Livelli di significatività: * = 5%; ** = 1%; *** = 0,1%; ns = non significativo

Si osserva così in Marani una correlazione positiva per gli anelli più esterni (che sono anche i più piccoli) sia per la densità media che per la densità massima dell'anello; mentre in Forestello non emerge alcuna correlazione con la densità media e minima (contrariamente a quanto rilevato in precedenza sull'intero profilo, tab. 3.3), mentre si notano correlazioni positive per gli anelli più esterni con la densità massima, ma di minore significatività.

3.3.6 Variazione delle misure densitometriche con l'età cambiale e correlazioni alle diverse età

In generale non è stato possibile osservare un andamento univoco nelle due stazioni per nessuna delle misure densitometriche al variare dell'età cambiale: in Marani la densità media dell'anello sembra piuttosto costante, mentre la minima e la massima variano in modo irregolare lungo il raggio; in Forestello, invece, sia la densità media che la minima decrescono passando dal midollo verso l'esterno, mentre la densità massima dell'anello aumenta nei primi anni per poi decrescere (Appendice VII).

Nella figura 3.4 è rappresentata la densità media dell'anello in funzione dell'età cambiale per diverse classi di ampiezza anulare. Le informazioni che così si ottengono sono:

- la generale sovrapposizione dei valori delle diverse classi di ampiezza conferma una limitata (se non assente) influenza della dimensione dell'anello sulla densità; fa eccezione la classe degli anelli più piccoli (inferiori a 1 mm), ai quali corrispondono densità minori (soprattutto in Marani);
- si nota una separazione tra le classi di ampiezza estreme: generalmente anelli più ampi corrispondono ad età cambiali inferiori e anelli più piccoli alla zona più esterna. Questa mancanza di sovrapposizione rende difficile l'analisi del fattore età cambiale a parità di dimensione dell'anello;
- la separazione tra le classi di ampiezza estreme corrisponde anche alle zone di alburno e durame (sono presenti in media 10 anelli di alburno).

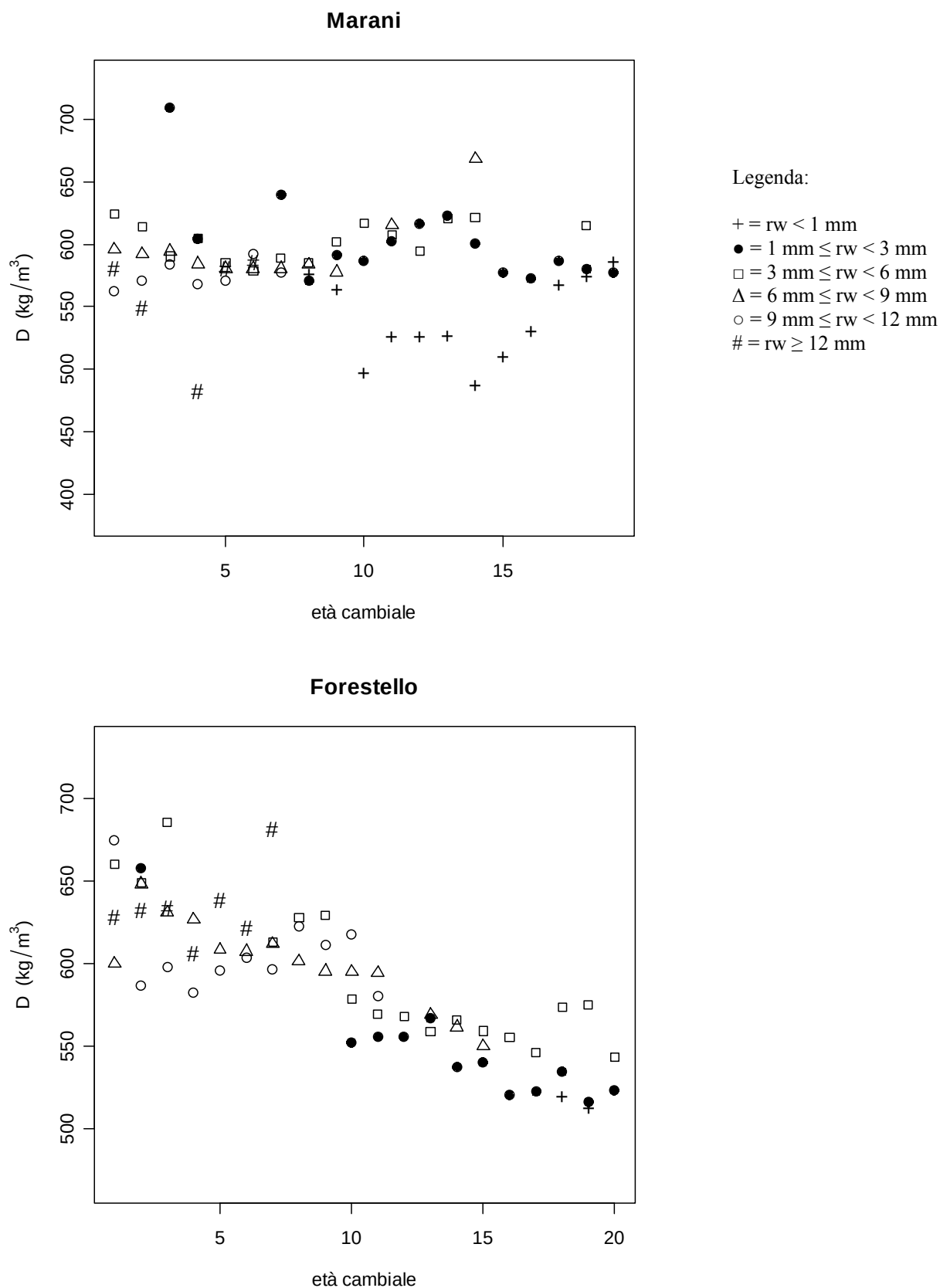


Fig. 3.4 – Andamento della densità media (D) dell'anello con l'età cambiale (in anni) a parità di ampiezza anulare (classi si ampiezza riportate in legenda).

Infine, il grafico in fig. 3.5 mostra i coefficienti di correlazione tra la densità media calcolata alle varie età e la densità media del profilo. Questa analisi ha lo scopo di indagare come la stessa variabile sia correlata alle diverse età, in modo da poter fornire indicazioni utili sulla scelta dell'età per una selezione precoce (Koubaa et al 2000).

Le osservazioni che si possono riportare sono:

- in conseguenza della scarsa variazione della densità osservata lungo il raggio (soprattutto in Marani, fig. 3.3) già ai primi anni la densità media è altamente correlata con quella dell'intera pianta;
- il coefficiente di correlazione tra la densità media alle diverse età e la densità media dell'intero profilo aumenta all'aumentare dell'età cambiale;
- la correlazione assume valori pari a 0,99 ad una età cambiale di 9 anni in Marani e 11 in Forestello, ma supera il valore di 0,90 già a 5 anni in Marani e a 6 in Forestello.

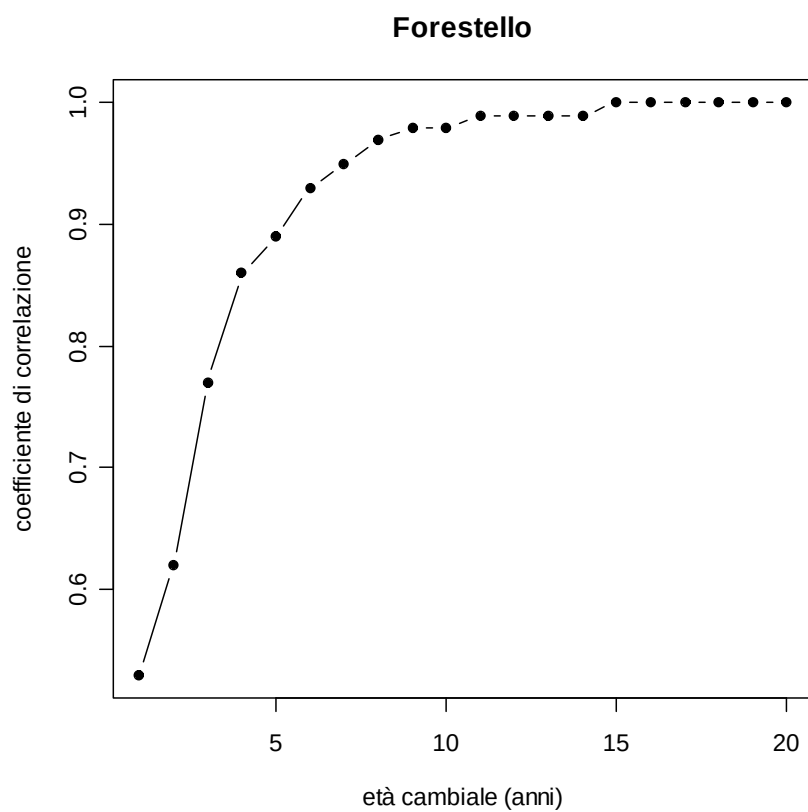
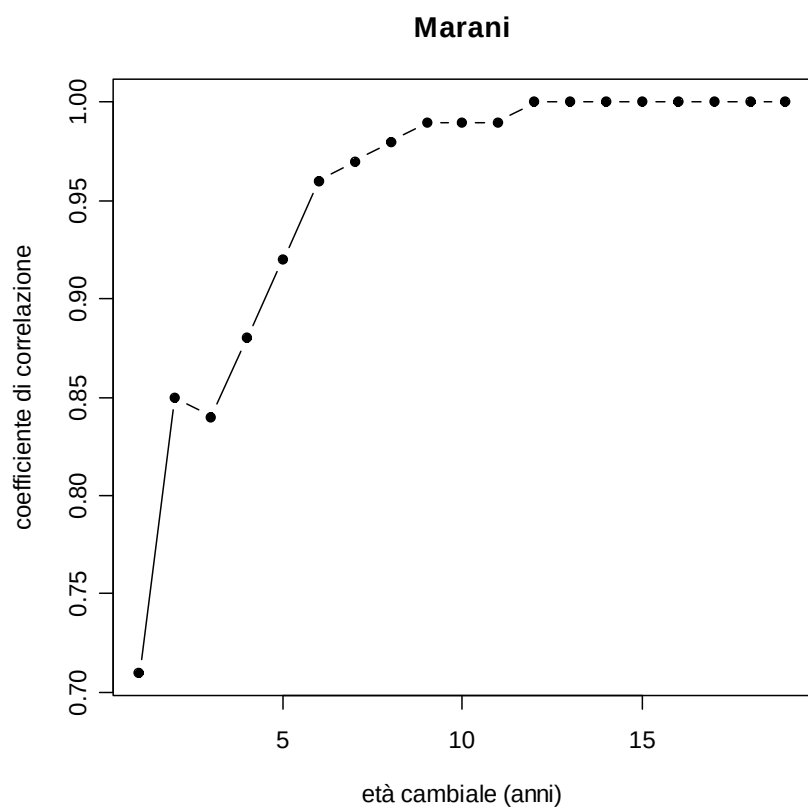


Fig. 3.5 – Coefficienti di correlazione tra la **densità media** alle varie età cimbali e la densità media dell'intero profilo.

3.4 Discussioni

3.4.1 Correlazioni tra caratteri

L'analisi delle relazioni esistenti tra i caratteri misurati in questo studio ha evidenziato la presenza di correlazioni positive tra i caratteri di accrescimento (diametro, altezza e volume del fusto) come già rilevato in altri studi su ciliegio (Muranty et al 1998; Curnel et al 2003) e su pioppo (Zhang et al 2003).

Questi non hanno però mostrato alcuna correlazione significativa con le proprietà fisiche e meccaniche del legno. Risultati simili sono stati riportati in lavori precedenti condotti su pioppo da Zhang et al (2003), che hanno rilevato l'assenza di correlazioni tra la densità basale e le principali misure dendrometriche (diametro, altezza e volume del fusto), e da De Boever et al (2007), che non hanno osservato alcuna correlazione tra le caratteristiche di accrescimento e le proprietà fisico meccaniche del legno.

Da queste valutazioni quindi, si evince la possibilità di effettuare un programma di miglioramento che comprenda contemporaneamente l'accrescimento e le caratteristiche del legno. Una selezione basata sui ritmi di sviluppo dimensionale delle piante, infatti, non comporterà un'automatica selezione positiva per i caratteri del legno, ma non avrà neanche come conseguenza un loro peggioramento, rendendo quindi possibile l'inserimento dei caratteri del legno nei programmi di miglioramento genetico.

I coefficienti di forma del fusto, rastremazione ed ellitticità della sezione, oltre a non essere soggetti a controllo genetico (Parte II), non presentano neanche correlazioni importanti con gli altri caratteri. Si dimostrano quindi difficilmente migliorabili tramite selezione genetica, ma è possibile intervenire adottando attente e corrette pratiche colturali (scelta del sito adatto a uno sviluppo equilibrato, opportuna spaziatura tra le piante, diradamenti tempestivi).

L'estensione del durame, in termini di diametro dello stesso, risulta positivamente correlata con il diametro del fusto, quindi una selezione basata su un maggiore sviluppo diametrico delle piante comporta anche un aumento nel diametro del durame. Lo stesso non si può dire per l'area della sezione in percentuale occupata da durame, che è maggiormente condizionata dalla crescita delle piante, in particolare dall'entità degli accrescimenti.

Il numero di anelli di alburno, invece, non mostra alcuna correlazione con gli altri caratteri, a conferma del difficile controllo di questo parametro, che non pare essere influenzato né dal fattore genetico (almeno a livello clonale), né dalla stazione (si veda parte II), ma neanche dal tasso di accrescimento.

Per quanto riguarda invece più specificatamente i caratteri del legno, la densità si conferma anche per il ciliegio il parametro più rappresentativo (Zobel e van Buijtenen 1989; Rozenberg e Cahalan 1997), presentando correlazioni significative sia con le altre caratteristiche fisiche che meccaniche.

La relazione tra la densità del legno e le proprietà meccaniche è stata molto studiata in passato, con risultati in taluni casi contrastanti. Ad esempio, in uno studio condotto su più specie al fine di mettere a confronto questa relazione per conifere, latifoglie ad anello poroso e latifoglie a porosità diffusa, si è notato come in generale per le latifoglie la relazione sia risultata migliore per quelle a porosità anulare rispetto a quelle a porosità diffusa. In particolare la resistenza a rottura a flessione (MOR) si è dimostrata la caratteristica più legata alla densità, seguita dalla resistenza a compressione; il modulo di elasticità (MOE) invece ha mostrato una relazione più debole (Zhang 1997). Anche se nello studio di Zhang (1997) le latifoglie a porosità diffusa considerate sono state betulla e pioppo, i risultati appaiono perfettamente confrontabili con quelli ottenuti nel presente studio sul ciliegio.

Da rilevare però che, in altri lavori (per lo più condotti su pioppo) la correlazione tra densità e proprietà meccaniche si è dimostrata più modesta (Mátyás e Peszlen 1997; Hernandez et al 1998).

3.4.2 Correlazione tra densità misurata con metodo gravimetrico e densitometria

La necessità di condurre, durante test clonali, misure su un elevato numero di individui da un lato e l'elevata variabilità del legno che richiede numerosi campionamenti per una stessa pianta dall'altro, sottolineano l'esigenza di trovare metodi di misura delle caratteristiche speditivi e poco costosi, ma allo stesso tempo che permettano il rilievo di consistenti informazioni. Queste prerogative sono attribuibili alla tecnica densitometrica, che, oltre ad essere più speditiva rispetto al metodo gravimetrico per la determinazione della densità del legno e a fornire informazioni più dettagliate, se applicata su carote prelevate dal fusto, può anche considerarsi un metodo non distruttivo.

La correlazione calcolata tra i valori di densità e massa volumica misurati con il metodo gravimetrico sui provini prismatici e la densità determinata con la densitometria, è risultata considerevole e altamente significativa.

Considerando l'elevata variabilità che caratterizza le proprietà del legno internamente alla singola pianta, che le misure di massa volumica e densità basale sono state condotte sui quattro raggi mentre la densitometria solo su un raggio, che la preparazione dei provini non permette un campionamento del raggio nella sua interezza come invece avviene per la densitometria, e infine che i rilievi non sono stati effettuati esattamente alla stessa altezza del tronco, si può concludere che la corrispondenza tra le due metodologie deve essere considerata decisamente attendibile. Questo risultato permette di far assumere alla densitometria un ruolo alternativo al metodo gravimetrico per il rilievo della densità in studi clonali.

3.4.3 Densità, ampiezza anulare ed età cambiale secondo i profili densitometrici

L'analisi dei dati densitometrici a livello anulare ha permesso di approfondire la relazione tra densità del legno e accrescimento della pianta (ampiezza anulare), da una parte ed età cambiale dall'altra. La densità del legno, infatti, può essere influenzata (oltre che dal fattore genetico e ambientale) anche dalla dimensione dell'anello e dalla sua posizione lungo il raggio.

Nel caso del ciliegio nessuna correlazione è stata rilevata tra l'ampiezza dell'anello e le variabili di densità a parità di età cambiale. Soltanto nel caso di Marani una correlazione positiva è stata registrata per anelli di dimensioni inferiori a 1 mm.

Una conferma di queste affermazioni è stata riscontrata in letteratura: in generale nelle latifoglie a porosità diffusa non si registrano correlazioni tra ampiezza dell'anello e densità (Fukazawa 1984; Zobel e van Buijtenen 1989); la stessa conclusione è riportata in particolare per il pioppo (Mátyás e Peszlen 1997) e per il ciliegio americano (Koch 1967). Fukazawa (1984), inoltre, riporta una correlazione positiva per anelli di ampiezza inferiore a 1 mm in latifoglie giapponesi a porosità diffusa. Nepveu (1992), invece, cita i risultati di altri lavori su ciliegio dove, per anelli di ampiezza compresa tra 1,5 e 4,5 mm, si è osservata una diminuzione della densità all'aumentare dell'ampiezza anulare, ma non si deduce se queste considerazioni siano state condotte a parità di età cambiale.

In accordo, quindi, con quanto evidenziato in precedenza dall'analisi delle correlazioni tra caratteri, per i cloni di ciliegio delle due stazioni campionate una selezione contemporanea per accrescimento e densità del legno appare del tutto possibile.

L'esame delle variazioni di densità con l'età cambiale, invece, non ha dato risultati chiari in quanto le due stazioni hanno mostrato profili del tutto differenti.

Allo stesso modo le informazioni che possono essere raccolte in letteratura sono contrastanti. Nelle conifere questo andamento è piuttosto uniforme (un iniziale aumento per poi stabilizzarsi), mentre nelle latifoglie esistono comportamenti differenti (Zobel e Sprague 1998): Koch (1967) nel ciliegio americano riporta un iniziale aumento della densità fino a 10 anni e poi una diminuzione fino a 30 anni; nel pioppo (Bendtsen e Senft 1986; Mátyás e Peszlen 1997) e nell'ontano (Evans et al 2000) non si riscontrano cambiamenti sostanziali lungo il raggio; Fukazawa (1984) in latifoglie giapponesi a porosità diffusa ha riscontrato un aumento della densità nei primi 5-8 cm del raggio e poi uno stabilizzarsi della stessa.

Nel caso dei cloni qui analizzati la lettura dei dati ottenuti risulta particolarmente difficile a causa della distribuzione degli anelli appartenenti alle diverse classi di ampiezza anulare. Anelli più ampi si trovano esclusivamente nella parte del raggio vicino al midollo, mentre anelli più stretti nella zona più esterna: la mancanza di sovrapposizione di classi di ampiezza anulare rende difficile l'osservazione della relazione tra densità ed età cambiale a parità di accrescimento. Inoltre, (soprattutto in Forestello) la presenza di 10 anelli di alburno (solitamente di densità inferiore) non permette di attribuire la diminuzione della densità lungo il raggio all'età cambiale o alla presenza di alburno.

3.4.4 Possibilità di una selezione precoce

Come più volte affermato, al fine di abbreviare i tempi di selezione, è importante conoscere come i caratteri del legno siano correlati alle diverse età e quindi individuare il periodo idoneo per effettuare i campionamenti e le misure per stimare efficacemente le proprietà del legno formato in futuro (Koubaa et al 2000; Raymond 2002).

A questo scopo è importante considerare anche il fattore alburno/durame, vista la netta differenziazione per tutte le caratteristiche del legno (Parte II), e l'età cambiale.

La correlazione tra le proprietà dell'alburno e del durame è risultata in generale alta e significativa, permettendo quindi una buona stima delle caratteristiche del durame sulla base di quelle dell'alburno. Correlazioni molto buone si sono registrate per la massa volumica, la

densità basale e per le caratteristiche meccaniche (ad eccezione della durezza); valori inferiori per i ritiri lineari e volumetrico e per il coefficiente di nervosità. Questo può essere spiegato dal fatto che le proprietà fisiche del legno, e in particolare la stabilità dimensionale, sono le più influenzate dal processo di duramificazione. In contrasto con questi risultati, Rink e Phelps (1989) hanno riscontrato significative ma modeste correlazioni (0,28) tra la densità dell'alburno e del durame nel noce nero; emerge pertanto la necessità di ulteriori studi su un maggior numero di genotipi e su specie differenti.

Per quanto concerne i cloni studiati, come già affermato precedentemente, si può concludere che un'analisi condotta su campioni di alburno può essere rappresentativa anche delle proprietà del durame, permettendo quindi una selezione precoce su piante giovani quando la duramificazione non è ancora avvenuta.

Lo studio delle correlazioni della densità del legno alle diverse età ha mostrato come questa sia ben correlata già dai primi anni, soprattutto per le piante di Marani, dove i valori di densità non sembrano variare molto lungo il raggio.

I coefficienti di correlazione assumono, infatti, valori pari a 0,99 ad una età cambiale di 9 anni in Marani e 11 in Forestello, ma superano il valore di 0,90 già a 5 anni in Marani e a 6 in Forestello. Considerando che la misura è stata eseguita ad un'altezza pari a 1,30 m, a questi valori di età si possono aggiungere 2-3 anni (tempo in media necessario ad una piantina di ciliegio per raggiungere tale altezza) per avere un'indicazione dell'età della pianta a cui poter effettuare le misure ai fini di una selezione efficace sui caratteri della pianta di 20 anni.

3.5 Conclusioni

I principali risultati ottenuti in questa terza parte della ricerca possono essere così riassunti e schematizzati:

- i caratteri di accrescimento sono ben correlati tra di loro ma non con le proprietà del legno, rendendo inefficace una selezione basata solamente sullo sviluppo dimensionale delle piante al fine di migliorare anche la qualità del legno, ma evidenziando la possibilità di una loro selezione contemporanea;
- i coefficienti di forma del fusto analizzati non sembrano essere correlati con nessuno degli altri caratteri, risultando così difficilmente migliorabili se non con corrette pratiche colturali;

- la massa volumica si dimostra il carattere che meglio rappresenta il complesso delle proprietà del legno;
- i valori di densità misurati con la tecnica densitometrica e con il metodo gravimetrico sono ben correlati, dimostrando la possibilità di un efficace utilizzo della densitometria sul legno di ciliegio;
- è confermata l'assenza di una qualche relazione tra densità del legno e accrescimento della pianta anche a fronte dell'approfondimento condotto a livello anulare sui profili densitometrici;
- la selezione su piante giovani appare del tutto possibile grazie alle buone correlazioni tra le proprietà dell'alburno e quelle del durame e alla buona correlazione tra la densità del legno della pianta adulta e quella misurata all'età di 5-6 anni.

È importante in ultimo ribadire che le caratteristiche del legno sembrano distribuirsi in due gruppi ben distinti, che corrispondono alle zone di alburno e di durame. Gli scarsi studi sulla presenza e l'importanza del legno giovanile nelle latifoglie a porosità diffusa e soprattutto nel ciliegio, non ci permettono di approfondire questi aspetti e soprattutto di trarre delle conclusioni definitive. Le analisi effettuate sul materiale a nostra disposizione sembrano evidenziare che esiste un notevole effetto dovuto alla presenza di alburno e durame sulla variabilità intra – albero del legno, ma rimangono del tutto da verificare la presenza di eventuali altri effetti dovuti esclusivamente al legno giovanile. Per quanto riguarda la densità, comunque, indipendentemente dalla presenza e dall'estensione del legno giovanile, agli effetti pratici, già dopo 5-6 anni essa risulta ben correlata con la densità media della pianta a 20 anni.

4.1 Introduzione

Come precedentemente affermato, il legno di ciliegio è particolarmente apprezzato per le sue qualità estetiche; utilizzato come segato o tranciato in ebanisteria e nella produzione di mobili, il suo aspetto è una delle caratteristiche più importanti. In questo contesto Signorini (2006) ha indagato la variabilità del colore in cloni di ciliegio, riscontrando un'influenza del genotipo su questo carattere, ma anche una sua forte variabilità all'interno dello stesso clone e della singola pianta.

Uno dei difetti più diffusi nel legno del ciliegio europeo è la presenza della vena verde, un'alterazione cromatica consistente in colorazioni verdastre distribuite a bande, difficile da correggere e, al contrario, spesso accentuata dalla coloritura artificiale (Polge 1984). La presenza di vena verde, oltre a costituire una forte penalizzazione dal punto di vista estetico, spesso è accompagnata da maggiori difficoltà di lavorazione, consistenti soprattutto in una più difficile piallatura, maggiori deformazioni durante l'essiccazione (soprattutto dei piallacci) e maggiore instabilità degli assemblaggi nel legno massiccio.

Queste caratteristiche sono tipiche anche del legno di tensione, al quale la vena verde sembra essere legata (Ferrand 1983). Proprio da questa possibile relazione ha preso spunto in passato lo studio di Langbour (1986), che ha cercato di individuare un metodo per determinare la presenza di vena verde sugli alberi in piedi basato sulla deformazione di carote prelevate sul lato teso del fusto, ottenendo risultati non propriamente soddisfacenti. La presenza o meno delle striature verdastre, infatti, non è prevedibile fino al momento dell'abbattimento.

Durante questo studio la presenza di vena verde nel legno dei cloni, soprattutto nella stazione di Marani, ha permesso alcune indagini per valutare in modo esplorativo l'incidenza della colorazione ed evidenziare un'eventuale influenza del fattore genetico sul fenomeno.

Inoltre sono state condotte analisi per esaminare come la presenza di vena verde incida sulle caratteristiche fisiche e meccaniche del legno e se questa sia legata al legno di tensione.

4.2 Materiali e Metodi

I provini utilizzati per la caratterizzazione fisico-meccanica, ricavati dalla zona di durame delle piante campionate nelle due stazioni precedentemente descritte, sono stati classificati visivamente secondo la seguente graduatoria:

n = assenza di vena verde

v = presenza di vena verde

vv = striature verdi molto intense.

La valutazione è stata eseguita osservando tutte le facce dei campioni e riportando poi la peggiore sulla base della presenza / assenza di vena verde e dell'intensità del colore delle striature.

L'incidenza di questa anomalia nelle due piantagioni è stata calcolata come percentuale del numero di provini nelle tre classi sul totale dei campioni di durame.

È stata poi eseguita un'analisi della varianza (ANOVA) a due vie con somma dei quadrati di tipo III nel caso di dati sbilanciati, includendo nel modello il fattore clone, il fattore vena verde e l'interazione tra i due:

$$X_{ijm} = \mu + \alpha_i + \gamma_j + (\alpha\gamma)_{ij} + \varepsilon_{ijm} \quad (4.1)$$

dove X_{ijm} è il valore fenotipico osservato del livello di vena verde i del clone j , μ è la media generale, α_i è l'effetto dovuto all' i -esimo livello di vena verde, γ_j è l'effetto dovuto al j -esimo clone, $(\alpha\gamma)_{ij}$ è l'interazione tra l' i -esimo livello di vena verde e il j -esimo clone, ε_{ijm} è l'errore residuo.

Infine, alcuni campioni caratterizzati dalla presenza di vena verde sono stati sottoposti a indagine anatomica. Per mezzo di un microtomo a slitta sono state effettuate sezioni prevalentemente trasversali dello spessore di 20 μm . Queste sono state poi trattate con un apposito colorante che permette di evidenziare in rosso le zone lignificate della parete cellulare e in blu quelle ad elevato contenuto di cellulosa, e successivamente osservate al microscopio ottico con ingrandimenti da 10x fino a 40x.

4.3 Risultati

4.3.1 Incidenza della vena verde

Nella seguente tabella (tab. 4.1) e nei successivi istogrammi (fig. 4.2 e 4.3) è riportata l'incidenza della vena verde nei due siti studiati, calcolata sui provini per le determinazioni fisiche in quanto più numerosi per singola pianta rispetto a quelli per le prove meccaniche.

Nelle piante provenienti da Marani la vena verde si è dimostrata molto più frequente, soprattutto per quanto riguarda la presenza di striature molto intense. Le piante di Forestello, invece, oltre ad avere un'incidenza molto minore del fenomeno, non hanno mostrato generalmente colorazioni particolarmente intense.



Fig. 4.1 – Presenza di striature verdi nel clone CB (sx) e assenza di colorazioni nel clone P (dx) in Marani.

Per quanto riguarda i singoli cloni, in Marani si sono verificate delle differenze piuttosto marcate: P e A2 sono i cloni che hanno mostrato l'incidenza minore, mentre CB è stato quello con il più alto numero di provini con venature più scure (fig 4.1). In Forestello il clone con la percentuale più alta di provini con vena verde è stato CV, mentre A1 e A2 quelli con la percentuale più bassa. Le singole piante, invece, hanno mostrato una generale omogeneità di incidenza della vena verde all'interno di ciascun clone (vedi Appendice IX).

Il confronto degli stessi cloni nei due siti ha fornito risultati contrastanti: CV, P e A2 hanno mantenuto lo stesso comportamento, mentre A1 ha mostrato una forte presenza di vena verde a Marani contrariamente a quanto rilevato in Forestello.

Tab. 4.1 – Numero di provini (%) in ciascuna classe di vena verde per ciascun clone nei due siti.

Clone	Marani			Forestello		
	n	v	vv	n	v	vv
A1	8	55	38	84	16	0
A2	50	44	6	85	6	9
CB	8	37	55	-	-	-
CV	17	49	34	14	70	16
P	66	27	6	62	36	2
VG1	38	58	4	-	-	-
T	-	-	-	74	26	0

n = assenza di vena verde; v = presenza di vena verde; vv = presenza marcata

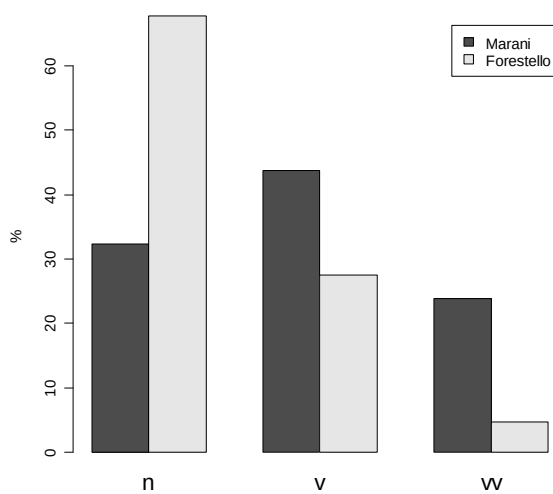


Fig. 4.2 – Numero di provini (%) con e senza vena verde nei due siti (n = assenza di vena verde; v = presenza di vena verde; vv = presenza marcata)

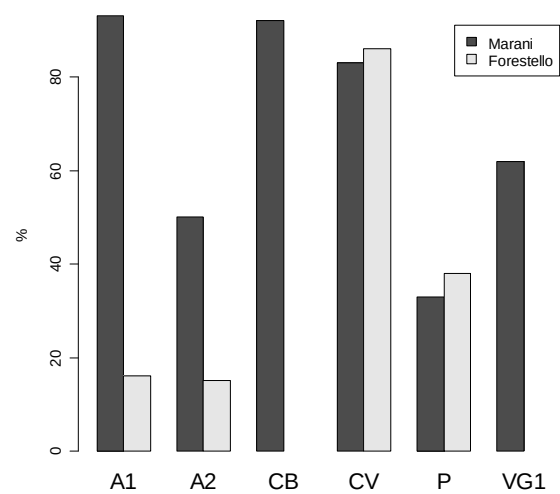


Fig 4.3 – Numero di provini (%) con presenza di vena verde (v + vv) per ciascun clone nei due siti.

4.3.2 Influenza della vena verde sui caratteri del legno

Le analisi dell'influenza della vena verde sulle caratteristiche del legno sono state condotte sui campioni provenienti dall'impianto di Marani, vista la maggiore incidenza qui riscontrata.

L'analisi della varianza a due vie, includendo il fattore clone e il fattore vena verde, è stata possibile solo per le proprietà fisiche in quanto il maggior numero di provini ha permesso di avere un *disegno* completo, seppur sbilanciato. I risultati sono presentati in tabella 4.2: il fattore clone si è rivelato significativo per tutti i caratteri tranne che per il ritiro longitudinale; il fattore vena verde è risultato significativo per la massa volumica al 12% di umidità, per la densità basale e il ritiro longitudinale, mentre una più bassa significatività è stata riscontrata anche per il ritiro radiale e il coefficiente di nervosità. L'interazione tra i due fattori non è risultata significativa per nessuna delle variabili, quindi i due effetti sembrano agire in modo indipendente sulla risposta delle caratteristiche fisiche del legno.

Analizzando i campioni solo per gruppo di vena verde, differenze significative sono state riscontrate nuovamente per la massa volumica al 12%, per la densità basale, per il ritiro longitudinale e quello volumetrico, ma non per gli altri ritiri lineari e il coefficiente di nervosità. Sia la densità del legno, sia il ritiro longitudinale aumentano all'aumentare dell'intensità della colorazione verde (fig. 4.4).

Per nessuna delle caratteristiche meccaniche, infine, sono state evidenziate differenze significative tra i gruppi di assenza / presenza di vena verde (fig. 4.5).

Tab 4.2 – Valori di F e relativa significatività per i fattori clone, vena verde e loro interazione come risultato dell'ANOVA calcolata per le proprietà fisiche nei campioni di durame di Marani.

	D ₁₂	BD	LS	RS	TS	VS	T/R
vena	5,8 **	5,3 **	7,0 **	3,2 *	1,1 ns	5,2 **	3,7 *
clone	6,7 ***	5,1 ***	2,1 ns	10,6 ***	7,1 ***	10,4 ***	6,3 ***
clone x vena	1,6 ns	1,7 ns	0,7 ns	1,2 ns	1,0 ns	1,5 ns	1,5 ns

Livelli di significatività: * = 5%; ** = 1%; *** = 0,1%; ns = non significativo

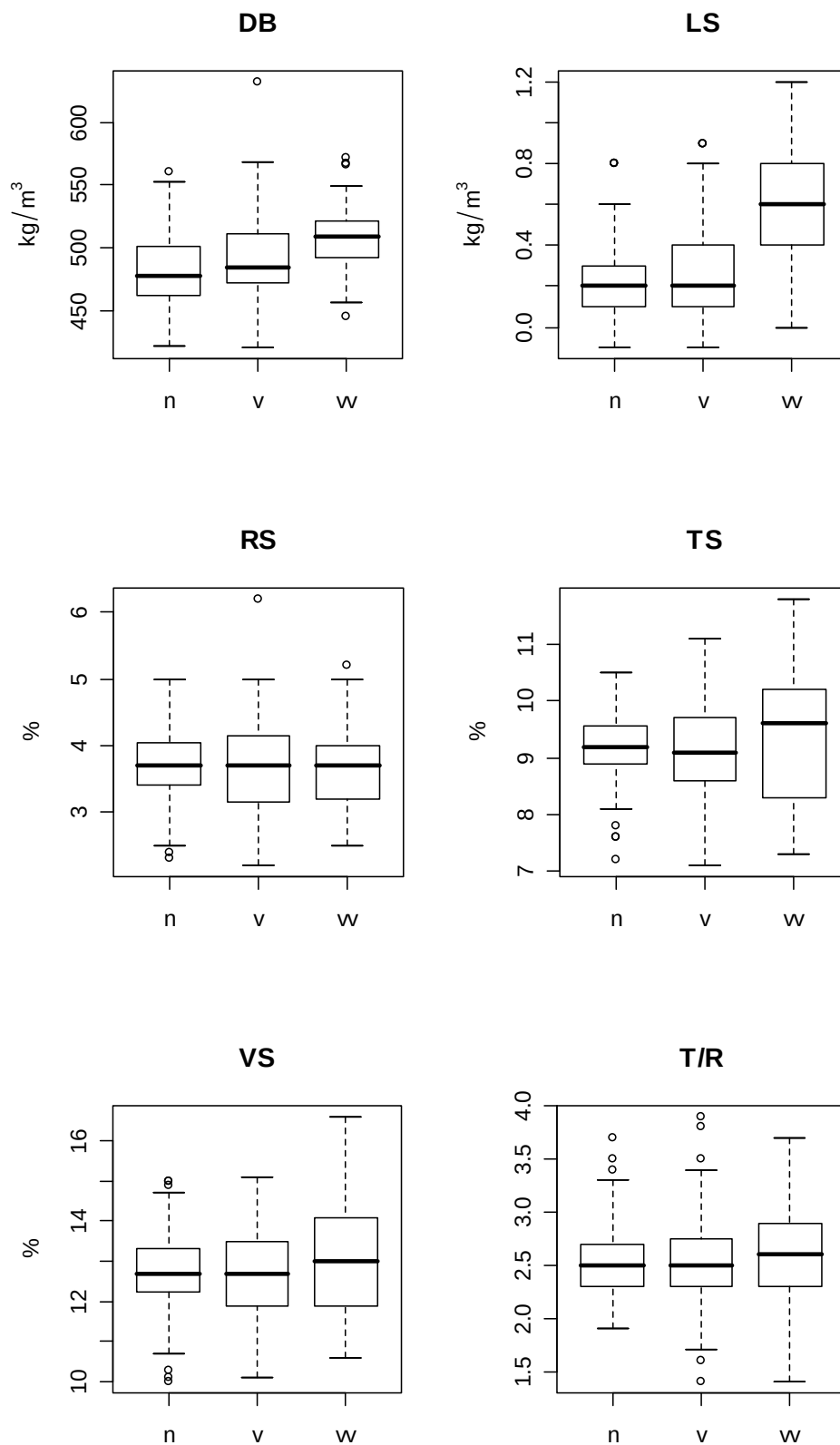


Fig. 4.4 – Boxplot delle caratteristiche fisiche dei campioni di Marani raggruppate per presenza di vena verde. Numerosità del campione per i gruppi di vena verde: n = 91 provini; v = 123; vv = 65.

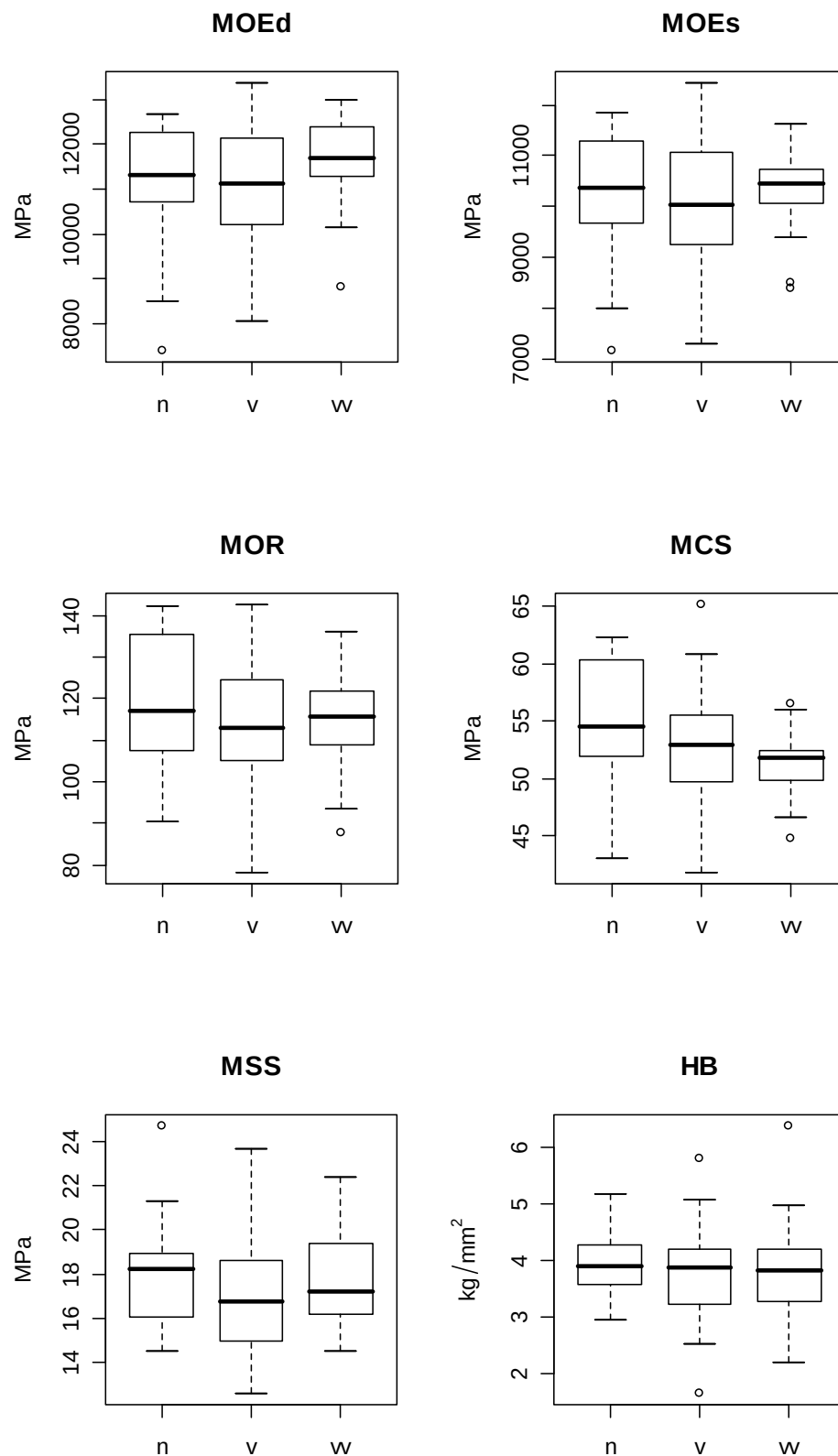


Fig. 4.5 – Boxplot delle caratteristiche meccaniche dei campioni di Marani raggruppate per presenza di vena verde. Numerosità del campione per i gruppi di vena verde: n = 20 provini; v = 66; vv = 45.

4.3.3 Indagini anatomiche

Come descritto precedentemente, alcuni campioni caratterizzati dalla presenza di vena verde sono stati sottoposti a indagine anatomica, permettendo alcune interessanti osservazioni.

In primo luogo sono stati prelevati campioni dallo stesso anello legnoso, in parte dalla zona con colorazione verde e in parte dalla zona diametralmente opposta, non presentante le caratteristiche striature.

Le sezioni anatomiche hanno rilevato la forte presenza di legno di tensione in corrispondenza delle colorazioni verdastre, mentre è stato riscontrato legno a struttura normale in quei campioni in cui il colore macroscopico non sembrava alterato. Il legno di tensione è solitamente riconoscibile a livello microscopico dalla presenza di uno strato gelatinoso di spessore variabile nella parete secondaria delle fibre, formato prevalentemente da cellulosa; i vasi sono di numero e dimensioni ridotti, mentre le cellule parenchimatiche non mostrano particolari differenze rispetto al legno normale (fig. 4.6).

Anche campioni con venature verdi meno accentuate e meno intense, osservati microscopicamente, hanno mostrato le caratteristiche cellule del legno di tensione, ma questa volta disposte a bande eterogenee e caratterizzate comunque da uno strato gelatinoso meno sviluppato e con zone lignificate più evidenti (fig. 4.7).

Infine alcune sezioni sono state preparate anche da campioni di alburno, dove la colorazione del legno dovuta al processo di duramificazione non è ancora avvenuta. Anche qui è stato possibile rilevare la presenza di legno di tensione, pur in assenza della colorazione verde.

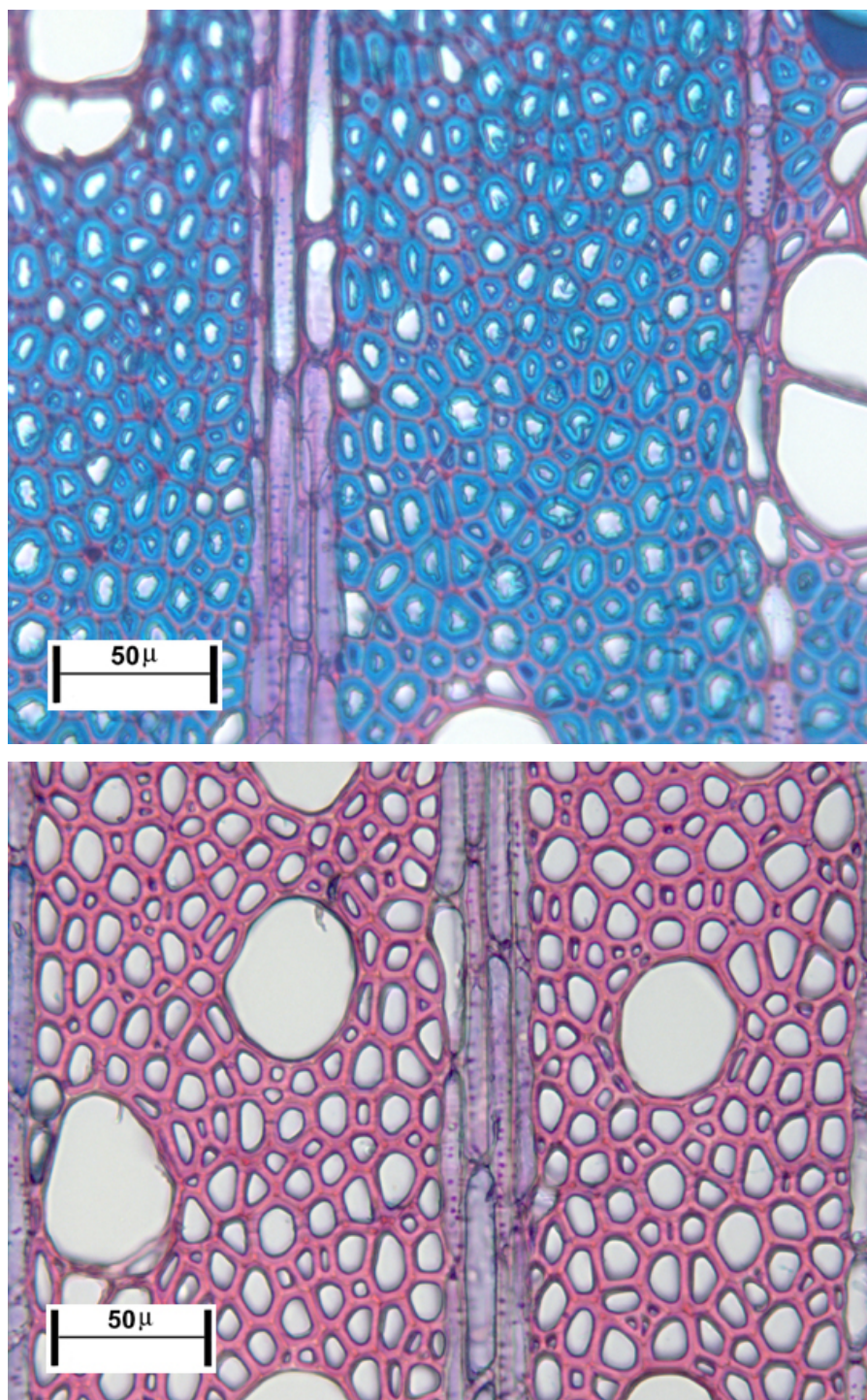


Fig. 4.6 – Sezione anatomica di provini di legno con vena verde (sopra) e privi di colorazioni macroscopiche (sotto) prelevati dallo stesso anello annuale.

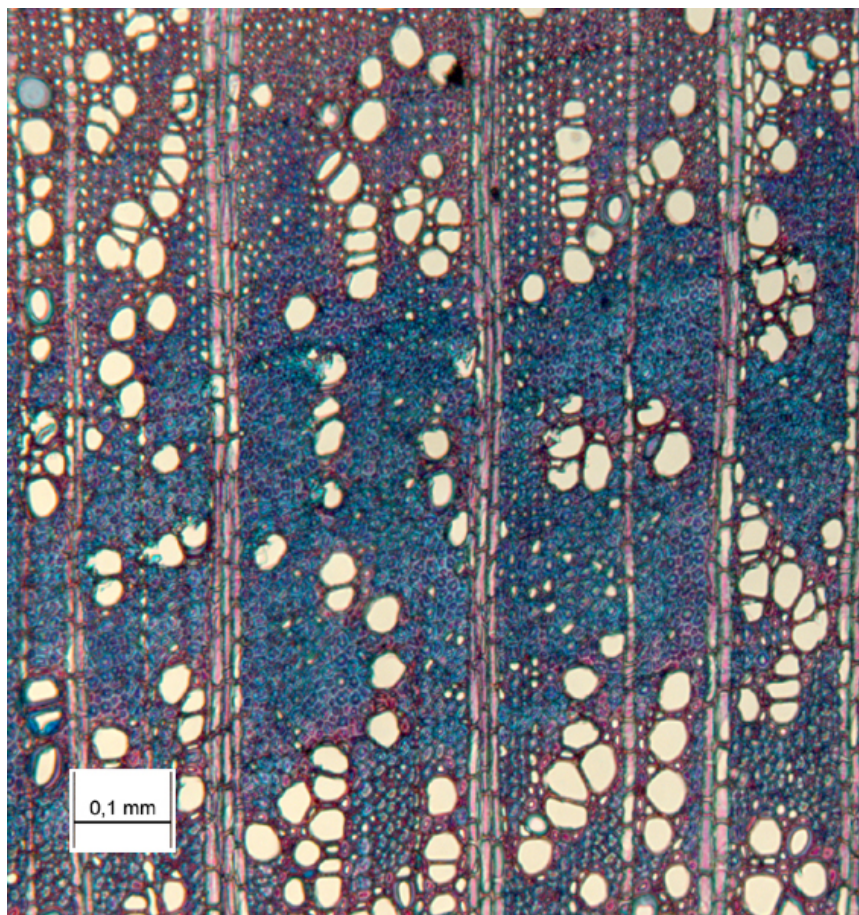


Fig. 4.7 – Sezione anatomica con legno di tensione disposto a bande.

4.4 Discussioni

Le osservazioni condotte sui provini portano a concludere la presenza di un effetto clonale sul formarsi della vena verde; nella stessa stazione, infatti, cloni diversi cresciuti nelle stesse condizioni ambientali mostrano differenze marcate di incidenza della colorazione, mentre una generale omogeneità è stata riscontrata nelle piante all'interno di ciascun clone. Allo stesso tempo, però, gli stessi cloni in stazioni diverse mostrano intensità differenti di sviluppo della vena verde, indicando una chiara influenza delle condizioni di crescita delle piante nel determinare il formarsi delle striature verdastre.

Altri autori in passato hanno ipotizzato l'influenza del fattore genetico nel causare questo fenomeno (Masset 1977 in Polge 1984), ma nessuna evidenza è stata ancora riportata al momento sull'argomento.

Il fattore clone e il fattore vena verde sembrano agire in modo indipendente nel determinare le proprietà del legno esaminate. Questo implica anche che i loro effetti su tali caratteristiche possono essere analizzati separatamente e in modo indipendente.

In particolare, quindi, tra le proprietà del legno, quelle maggiormente influenzate dalla presenza di vena verde sono la massa volumica, la densità basale e il ritiro longitudinale, che dimostrano valori decisamente superiori nei provini con colorazioni molto marcate. Le altre caratteristiche del legno, sia fisiche che meccaniche, non mostrano grosse differenze tra provini con o senza vena verde.

Le stesse caratteristiche sono riportate in letteratura per il legno di tensione: maggiore densità rispetto al legno normale (Hughes 1965; Washusen et al 2001; Ruelle et al 2007) e maggiore ritiro longitudinale (Hughes 1965; Clair et al 2003, Ruelle et al 2007); queste sono sicuramente le proprietà che più chiaramente contraddistinguono il legno di tensione, mentre per le altre vengono riportati risultati contrastanti. Non si osservano trend ben definiti per il ritiro tangenziale e radiale (Hughes 1965): mentre Clair et al (2003) nel castagno non riscontrano differenze significative tra legno di tensione e legno normale per i ritiri tangenziale e radiale, Ruelle et al (2007) in uno studio su 10 specie tropicali osservano un maggiore ritiro longitudinale, ma comportamenti differenti per quanto riguarda il ritiro radiale. Per le proprietà meccaniche ancora Ruelle et al (2007) riportano un modulo di elasticità maggiore nel legno di tensione e una resistenza a compressione praticamente invariata rispetto a quella del legno normale; Hughes (1965) invece riferisce di modulo di elasticità, resistenza a flessione e resistenza a compressione minori nel legno di tensione.

La corrispondenza tra le caratteristiche del legno di tensione e quelle qui riscontrate per i provini con vena verde (soprattutto per quanto riguarda la maggiore densità e il maggiore ritiro longitudinale) lasciano presupporre una corrispondenza tra legno di tensione e vena verde, peraltro confermata dalle indagini anatomiche effettuate. Questa corrispondenza è stata ipotizzata anche da Ferrand (1983).

Polge (1984), inoltre, ha osservato un'elevata percentuale di legno di tensione in corrispondenza delle zone con vena verde in piante di ciliegio; l'associazione tra legno di tensione e vena verde è emersa in modo evidente non solo per la presenza dello strato gelatinoso nelle cellule, ma anche per le altre caratteristiche fisico-meccaniche del legno riscontrate (elevato ritiro longitudinale; elevato rendimento in fibre e loro maggiore lunghezza). Secondo l'Autore, peraltro, la vena verde non è legata al legno di tensione a livello individuale (si possono trovare individui con vena verde ma non legno di tensione), ma sicuramente a livello di popolazione le pratiche colturali che limitano il legno di tensione possono ridurre anche la vena verde.

Infine, alcune considerazioni riguardo al formarsi della colorazione. La presenza di vena verde è riscontrabile solo nella zona duramificata della sezione ed è possibile osservare una linea marcata più scura al confine tra l'alburno e il durame, facendo presupporre che la pigmentazione verde avvenga al momento della duramificazione (Langbour 1986). La presenza, inoltre, di cellule caratteristiche del legno di tensione nelle sezioni anatomiche effettuate nell'alburno porterebbe ad ipotizzare in queste cellule una diversa composizione degli estrattivi (per quantità e/o tipologia): al momento della duramificazione in queste cellule la quantità e/o la tipologia di estrattivi potrebbero essere diverse rispetto al legno normale.

Questa affermazione è in accordo con quanto riscontrato da Signorini (2006) che ha condotto delle analisi sugli estrattivi nel legno di ciliegio, osservando delle differenze molto marcate tra i quantitativi presenti nel legno con vena verde rispetto ai campioni che non presentavano tale colorazione. Lo studio si è basato però su un numero esiguo di campioni e ha mostrato risultati contrastanti a seconda del metodo di estrazione utilizzato.

Studi specifici sull'argomento appaiono sicuramente interessanti e necessari per apportare ulteriori informazioni e conoscenze sull'argomento.

4.5 Conclusioni

I risultati delle analisi qui descritti e discussi portano a concludere quanto segue:

- la presenza e l'intensità della vena verde sembrano essere influenzate dal fattore genetico;
- la stazione di crescita è comunque determinante per il formarsi del fenomeno;
- la presenza di vena verde e il fattore genetico influenzano le caratteristiche del legno in modo indipendente, quindi tali effetti possono essere analizzati separatamente;
- i provini con vena verde sono caratterizzati da maggiore densità e maggiore ritiro longitudinale, mentre non mostrano evidenti differenze per le altre caratteristiche fisiche e meccaniche rispetto ai campioni privi di colorazioni;
- si riscontra una decisa corrispondenza tra la presenza di vena verde e il legno di tensione;
- indagini più specifiche e approfondite sono necessarie per quantificare l'influenza del genotipo sul formarsi della vena verde e per studiare le modalità di deposizione degli estrattivi durante la duramificazione, con particolare riferimento alle cellule del legno di tensione.

CONCLUSIONI FINALI

Nei passati programmi di miglioramento genetico di specie arboree per la produzione di legno in piantagione, i caratteri maggiormente usati durante la selezione sono stati l'accrescimento, la conformazione del fusto e dei rami e la resistenza agli agenti patogeni. Questi aspetti sono da considerarsi sicuramente di primaria importanza per l'ottenimento di genotipi superiori, ma appare sempre più evidente l'importanza dello studio dei caratteri del legno che, aggiunti ai precedenti, possono contribuire a migliorare la qualità del prodotto ultimo dell'arboricoltura, soprattutto nel caso di colture per la produzione di legno di pregio.

In passato, lavori condotti su diverse specie (principalmente conifere) hanno dimostrato l'efficacia di una selezione effettuata sulle caratteristiche del legno, in particolar modo sulla densità. I risultati del presente studio confermano questa conclusione, rilevando la presenza di controllo genetico sulla maggior parte delle proprietà del legno analizzate.

L'utilizzo di un elevato numero di caratteri in un programma di miglioramento genetico, però, può comportare una perdita nell'efficacia della selezione; per questo si dovrebbe concentrare l'attenzione su pochi parametri, scegliendo quelli che siano sotto forte controllo genetico, desiderabili ai fini del miglioramento, non in contrasto tra loro e i più rappresentativi delle qualità da ricercare.

Nel caso specifico del legno, e in particolare del legno di ciliegio, quali sono i caratteri su cui basare la selezione? In primo luogo si devono considerare i principali utilizzi di questa specie. Si tratta prevalentemente di falegnameria, produzione di piallacci di pregio, di mobili e pavimenti, tutte destinazioni per cui sono rilevanti le qualità estetiche del materiale, ma anche l'entità dei ritiri, la stabilità dimensionale e la lavorabilità. Tra le caratteristiche meccaniche, invece, quella sicuramente più importante risulta la durezza.

Tutte queste proprietà sono risultate ben correlate con la densità del legno, che può quindi essere utilizzata come carattere principe da valutare nell'ambito del miglioramento genetico. In particolare essa è correlata positivamente con i ritiri, quindi a densità più alte corrispondono ritiri di maggiore entità, ma questo non sembra comportare necessariamente deformazioni superiori. Il coefficiente di nervosità, infatti, ha mostrato una correlazione negativa o assente con la densità, quindi una selezione per maggiore densità, non comporterebbe un peggioramento della stabilità della forma dei prodotti ottenuti. Una maggiore densità, inoltre, significa anche migliori proprietà meccaniche e migliore lavorabilità. In particolare la sua correlazione positiva con la durezza rende migliorabile anche questo carattere che nel corso dello studio ha mostrato un minor controllo genetico.

I caratteri di forma del fusto sono invece risultati di difficile miglioramento (scarso controllo genetico e limitate correlazioni con gli altri caratteri); mentre l'estensione del durame si è dimostrata positivamente correlata con il diametro del fusto, quindi migliorabile già con la selezione per accrescimento.

La maggiore variabilità per quanto riguarda i caratteri del legno è stata riscontrata a livello di singolo albero; si ribadisce quindi l'importanza dello studio della variabilità intra - albero al fine di poter praticare nel modo più corretto la selezione, sia come modalità che come tempistica.

Per i cloni analizzati, le maggiori differenze internamente alle piante sono dovute alla presenza di zone di alburno e durame. Per quest'ultimo è stato riscontrato un minore controllo genetico sulle sue proprietà rispetto a quanto verificato nell'alburno, probabilmente dovuto alla maggiore influenza di fattori esterni nel processo di duramificazione.

Le caratteristiche del legno di alburno e di durame sono comunque ben correlate tra di loro, quindi una selezione effettuata su piante giovani in cui la formazione del durame non è ancora avvenuta può essere similmente efficace sulle proprietà del legno duramificato della pianta adulta. In particolare per la densità si è visto che se misurata su campioni di 5-6 anni di età cambiale (2-3 anni in più di età dell'impianto) può fornire stime adeguate della densità della pianta all'età di 20 anni.

La presenza di vena verde si è dimostrata influenzata dal fattore genetico, presentando incidenze diverse nei vari cloni, ma determinata in modo rilevante anche dalla stazione di crescita. Le colorazioni si confermano comunque legate alla presenza di legno di tensione, sia dalle verifiche anatomiche effettuate, sia dalle proprietà del legno ad esse corrispondenti. I provini con vena verde, infatti, sono caratterizzati da una maggiore densità e maggiore ritiro longitudinale, mentre le altre proprietà del legno non sembrano essere influenzate da questo difetto. Da aggiungere, infine, che i fattori, vena verde e clone sono risultati importanti nel determinare le caratteristiche del legno, ma con un'azione indipendente.

In ultimo, la caratterizzazione del legno dei cloni esaminati nello studio ha dimostrato come il clone CV si sia distinto per una densità più bassa e peggiori caratteristiche meccaniche, mentre i cloni CB e VG1 per densità maggiori e maggiore stabilità dimensionale. Non è comunque facile trarre delle conclusioni generalizzabili a causa dei comportamenti a volte contrastanti di alcuni cloni nelle due stazioni, a conferma dell'importanza anche della stazione

di crescita e delle situazioni esterne al fattore genetico nel determinare le caratteristiche del legno. Si ribadisce ancora una volta la necessità di una stretta collaborazione tra il selvicoltore e il miglioratore, perché per una buona riuscita dell'impianto sono altrettanto importanti la scelta del miglior genotipo, la sua idoneità alla stazione di crescita e la corretta gestione della piantagione.

Alla luce delle indagini condotte e dei risultati conseguiti, è possibile infine individuare alcuni possibili sviluppi e prospettive future per la ricerca in questo ambito. In particolare potrebbe essere di rilevante interesse e utilità:

- ampliare l'indagine su un maggior numero di cloni (o individui) anche in siti diversi, per meglio evidenziare l'influenza del fattore genetico e quella dell'ambiente sulle caratteristiche del legno;
- impiegare tecniche più speditive per analizzare la variabilità dei caratteri esaminati;
- approfondire le indagini sulla relazione vena verde / fattori stazionali e genetici per selezionare più correttamente i genotipi migliori e le aree più idonee alla piantagione di ciliegio da legno;
- verificare le osservazioni fatte sulle proprietà del legno attraverso prove di lavorazione da effettuare su materiale proveniente da piantagioni clonali non appena le piante abbiano raggiunto le dimensioni idonee.

BIBLIOGRAFIA

Akachuku A.E., 1984. The possibility of tree selection and breeding for genetic improvement of wood properties of *Gmelia arborea*. Forest Science, 30(2): 275-283.

Armstrong J.P., Skaar C., de Zeeuw C., 1984. The effect of specific gravity on several mechanical properties of some world woods. Wood Science and Technology 18(2): 137–146.

Baillères H., Vitrac O., Ramanantoandro T., Rozenberg P., 2001. Taking into account the intra-tree variability in breeding programs. Proceedings of Joint Meeting “Wood, Breeding; Biotechnology and industrial expectation”. 11-14 June 2001, Bordeaux, France: 120.

Bendtsen B.A., Senft J., 1986. Mechanical and anatomical properties in individual growth rings of plantation-grown eastern cottonwood and loblolly pine. Wood and Fiber Science, 18(1): 23-38.

Berti S., 1992. Caratteristiche tecnologiche e destinazione del legno prodotto. In: Arboricoltura da legno in collina e montagna. Accademia Nazionale di Agricoltura, Edagricole, Bologna: 99-114.

Berti S., 1995. Caratteristiche tecnologiche e qualità del legno. Sherwood 3: 39-43.

Berti S., Brunetti M., 2003. La qualità del legno negli impianti di latifoglie pregiate. In: Arboricoltura da legno: un'attività produttiva al servizio dell'ambiente (Minotta ed), Ed. Avenue Media, Bologna: 173-180.

Berti S., Uzielli L., 2000. Qualità ed impieghi della produzione legnosa. Atti del convegno: Arboricoltura da legno: quale futuro? Nuoro 30-31 ottobre 1997, Accademia Italiana di Scienze Forestali e Università degli Studi di Sassari: 49-59.

Bisoffi S., 1999. I cloni di pioppo iscritti al Registro Nazionale dei Cloni Forestali. Sherwood 43: 25-28.

- Botrel M.C.G., Silva J.R.M., Trugilho P.F., Rosado S.C.S., Fernandes B.R., 2007. Genetic gain in physical and mechanical properties of *Eucalyptus* clones. *Scientia Forestalis*, 76: 13-19.
- Brancheriau L., Baillès H., 2002. Natural vibration analysis of clear wooden beams: a theoretical review. *Wood Science and Technology*, 36(4): 347-365.
- Brunetti M., Nocetti M., 2006. Influenza delle pratiche colturali sulla qualità del legno. Atti del Convegno: "L'arboricoltura nella filiera del legno pregiato", 5-6 ottobre 2006, Cornaredo – Milano, Piagnani M.C. (ed): 233-249.
- Casini L., De Meo I., Mori P., 2000. Scheda sul legno di ciliegio (*Prunus avium*). *Sherwood*, 62: 35-36.
- Clair B., Ruelle J., Thibaut B., 2003. Relationship between growth stress, mechanical-physical properties and proportion of fibre with gelatinous layer in chestnut (*Castanea sativa* Mill.). *Holzforshung* 57(2): 189-195.
- Colletti L., 2001. Risultati dell'applicazione del regolamento CEE 2080/92 in Italia. *Sherwood*, 70: 23-31.
- Curnel Y., Jacques D., Nanson A., 2003. First multisite clonal test of wild cherry (*Prunus avium* L.) in Belgium. *Silvae Genetica* 52 (2): 45–52.
- De Boever L., Vansteenkiste D., Van Acker J., Stevens M., 2007. End-use related physical and mechanical properties of selected fast-growing poplar hybrids (*Populus trichocarpa* x *P. deltoides*). *Annals of Forest Science*, 64(6): 621-630.
- Ducci F., Germani A., Janin G., Proietti R., Signorini G., 2006. Clone selection for wild cherry (*Prunus avium* L.) with special reference to some traits used. In: Bozzano M., Rusanen M., Rotach P. and Koskela J. (eds), Noble hardwoods network. Report of the sixth (9-11 June 2002, Alter do Chao, Portugal) and seventh meetings (22-24 April 2004, Arezzo Italy), IPGRI: 53-60.

Ducci F., Proietti R., 1997. Variabilità alloenzimatica nel ciliegio selvatico (*Prunus avium* L.) in Italia. Annali dell'Istituto Sperimentale di Selvicoltura 25-26 (1994-1995): 81-104.

Ducci F., Veracini A., 1990. Criteri di scelta e sistema di valutazione di fenotipi superiori nel miglioramento genetico di latifoglie a legname pregiato. Annali dell'Istituto Sperimentale di Selvicoltura 21: 57-79.

Ducci F., Veracini A., Tocci A., Canciani L., 1990. Primi risultati di una sperimentazione pilota di arboricoltura clonale da legno con *Prunus avium* L. Annali dell'Istituto Sperimentale di Selvicoltura 21: 81-106.

Evans J.W., Senft J.F., Green D.W., 2000. Juvenile wood effect in red alder: analysis of physical and mechanical data to delineate juvenile and mature wood zones. Forest Product Journal, 50(7/8): 75-87.

Falconer D.S., Mackay T.F.C., 1996. Introduction to quantitative genetics. Prentice – Hall, Harlow: 464.

Fenning T.M., Gershenzon J., 2002. Where will the wood come from? Plantation forests and the role of biotechnology. Trends in Biotechnology, 20(7): 291-296.

Ferrand J.C., 1983. La veine verte du merisier est – ce du bois de tensions? Biologie et Forêt, 35(2): 95-97.

Fukazawa K., 1984. Juvenile wood of hardwoods judged by density variation. IAWA Bulletin, 5(1): 65-73.

Giordano G., 1981. Tecnologia del legno. Vol 1. La materia prima. Edizioni Utet, Torino, 1086 pp.

Giordano G., 1988. Tecnologia del legno. Vol 3, Tomo 2. I legnami del commercio. Edizioni Utet, Torino: 920-921.

Grabner M., Müller U., Gierlinger N., Wimmer R., 2005. Effects of the heartwood extractives on mechanical properties of larch. *IAWA Journal*, 26(2): 221-220.

Green D.W., Winandy J.E., Kretschmann D.E., 1999. Mechanical properties of wood. In: *Wood handbook – Wood as engineering material*. Gen. Tech. Rep. Madison, WI, USDA, Forest Service, Forest Products Laboratory: 4/1-4/45.

Guay R., Gagnon R., Morin H., 1992. A new automatic and interactive tree ring measurement system based on a line scan camera. *The Forestry Chronicle* 68: 138-141.

Hemery G.E., 2007. Forest management and silvicultural responses to predicted climate change impacts on valuable broadleaved species. Short-Term Scientific Mission report for Working Group 1, COST Action E42, 73 pp.

Hernández R.E., Koubaa A., Beaudoin M., Fortin Y., 1998. Selected mechanical properties of fast-growing poplar hybrid clones. *Wood and Fiber Science*, 30(2): 138-147.

Hillis W.E., 1987. *Heartwood and Tree Exudates*. Springer Series in Wood Science, Springer-Verlag, 268 pp.

Hughes F.E., 1965. Tension wood. A review of literature. Part II: The properties and use characteristics of tension wood. *Forestry Abstract*, 26(2): 179-186.

Ihaka R., Gentleman R., 1996. R: A Language for Data Analysis and Graphics. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 5(3): 299-314

Isebrands J.G., Hunt C.M., 1976. Growth and wood properties of rapid-grown Japanese larch. *Wood and Fiber*, 7(2): 119-128.

Janin G., Moro N., Jay-Allemand C., Berti S., Petillo R., Charrier B., Burtin P., 1996. Appréciation esthétique de la couleur et du dessin du placage de bois de noyer (*Juglans regia*) à l'aide d'enquête en milieu professionnel et auprès des particuliers en Italie. *Atti del convegno: Scienze e industrie del legno. Colloquio No 4, Nancy, 11-13 settembre 1996*: 99-106.

Kelty M., 2006. The role of species mixture in plantation forestry. *Forest Ecology and Management*, 233: 195-204.

Kobliha J., 2002. Wild cherry (*Prunus avium* L.) breeding program aimed at the use of this tree in the Czech forestry. *Journal of Forest Science*, 48 (5): 202-218.

Koch C.B., 1967. Specific gravity as affected by rate of growth within sprout clumps of black cherry. *Journal of Forestry*, 65(3): 200-202.

Koubaa A., Zhang S.Y., Isabel N., Beaulieu J., Bousquet J., 2000. Phenotypic correlations between juvenile – mature wood density and growth in black spruce. *Wood and Fiber Science*, 32(1): 61-71.

Langbour P., 1986. Relations entre contraintes de croissance et veine verte chez le merisier (*Prunus avium*). PhD Thesis, INRA, D.E.A. Sciences du Bois, 87 pp.

Licini F., 2007. L'attuazione dei regolamenti comunitari per l'arboricoltura da legno. Presentation to the Workshop "L'arboricoltura da legno con latifoglie di pregio", Torino (Italy), 15-16 October 2007.

[<http://www.regione.pmn.it/montagna/eventi/convegni/arboricoltura.htm>]

Magel E.A., Monties B., Drouet A., Jay-Allemand C., Ziegler H., 1995. Heartwood formation: biosynthesis of the heartwood extractives and "secondary" lignification. EUROSILVA – Contribution to Forest Tree Physiology. Dourdan, France, November 7-10, 1994, Ed. INRA, Le Colleques n. 76: 35-36.

Maltoni A., Mariotti B., Tani A., 2001. Analisi di caratteri architeturali in cultivar di castagno (*Castanea sativa* Mill.). In: Atti del Convegno Nazionale Castagno 2001, Marradi (Firenze), 25-27 ottobre 2001 (Bellini E ed): 326-332.

Martinsson O., 2001. Wild cherry (*Prunus avium* L.) for timber production: consequences for early growth from selection of open-pollinated single-tree progenies in Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research* 16: 117-126.

Mátyás C., Peszlen I., 1997. Effect of age on selected wood quality traits of poplar clones. *Silvae Genetica*, 46(2-3): 64-72.

Miller R.B., 1999. Structure of wood. In: Wood handbook – Wood as engineering material. Gen. Tech. Rep. Madison, WI, USDA, Forest Service, Forest Products Laboratory: 2/1-2/4.

Minotta G., Santi I., Ponti F., 2000. Confronto tra cloni di ciliegio da legno (*Prunus avium* L.) in due località dell'Appennino settentrionale: risultati dei primi 13 anni di osservazione. *Monti e Boschi* 6: 38-47.

Monteoliva S., Senisterra G., Marlats R., 2005. Variation of wood density and fiber length in six willow clones (*Salix* spp.). *IAWA Journal* 26 (2): 197–202.

Mori P., 1997. Idoneità all'uso, qualità e pregio del legname tondo. *Sherwood* 9: 9-12.

Mughini G., 2001. Cloni di *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden per la produzione di legname di qualità - Risultati di una prova di selezione. *Sherwood*, 72: 33-36.

Muranty H., Santi F., Pâsques L.E., Dufour J., 1996. Nombre optimal de ramets par clone dans deux tests clonaux. *Annales des Sciences Forestières*, 53(1): 123-138.

Muranty H., Schermann N., Santi F., Dufour J., 1998. Genetic parameters estimated from a wild cherry diallel: consequences for breeding. *Silvae Genetica*, 47 (5-6): 249–257.

Negri M., Berti S., Borchì S., 1995. Le prove per la determinazione della durezza del legno. Stato dell'arte e confronto tra diverse metodologie. *Annali Accademia Italiana Scienze Forestali*, 44: 113-160.

Nelson N.D., 1976. Gross influences on heartwood formation in black walnut and black cherry trees. USDA Forest Service, Research paper, 10 pp.

Nelson N.D., Rietveld W.J., Isebrands J.G., 1981. Xylem ethylene production in five black walnut families in the early stages of heartwood formation. *Forest Science*, 27(3): 537-543.

Nepveu G., 1984. Contrôle héréditaire de la densité et de la rétractibilité du bois de trois espèces de Chêne (*Quercus petraea*, *Quercus robur* et *Quercus rubra*). *Silvae Genetica* 33 (4-5): 110–115.

Nepveu G., 1992. L'utilisation des bois de frêne et de merisier: aptitudes technologiques, facteurs de variabilité. *Revue Forestière Française*, ns: 42-149.

Nepveu G., Velling P., 1983. Variabilité génétique individuelle de la qualité de Bois chez *Betula pendula* Roth. *Silvae Genetica*, 32 (1-2): 37–49.

Otegbeye G.O., Kellison R.C., 1980. Genetics of wood and bark characteristics of *Eucalyptus viminalis*. *Silvae Genetica*, 29 (1): 27–31.

Paris P., Ducci F., Brugnoli E., De Rogatis A., Fady B., Malvolti M.E., Olimpieri G., Pisanelli A., Proietti R., Scartazza A., Cannata F., 2003. Primi risultati di prove comparative d'accessioni europee di noce da legno. Atti del III Congresso Nazionale SISEF Alberi e Foreste per il Nuovo Millennio, Viterbo 15-18 Ottobre 2001: 1-7.

Perstorper M., Pellicane P.J., Kliger I.R., Johansson G., 1995. Quality of timber products from Norway spruce. Part I. Optimization, key variables and experimental study. *Wood Science and Technology*, 29: 157-170.

Pliura A., Zhang S.Y., MacKay J., Bousquet J., 2007. Genotypic variation in wood density and growth traits of poplar hybrids at four clonal trials. *Forest Ecology and Management*, 238: 92-106.

Polge H., 1984. Essai de caractérisation de la veine verte du merisier. *Annales des Sciences Forestières*, 41(1): 45-57.

Polge H., 1966. Établissement des courbes de variation de la densité du bois par exploration densitométriques de radiographies d'échantillons prélevés à la tarière sur de arbres vivants. Application dans le domaines technologiques et physiologique, Thèse de doctorat, Université de Nancy, France, 206 pp.

R Development Core Team, 2008. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, ISBN 3-900051-07-0, <http://cran.r-project.org/doc/manuals/refman.pdf>.

Raymond C.A., 2002. Genetics of Eucalyptus wood properties. *Annals of Forest Science*, 59: 525-531.

Rink G., 1987. Heartwood color and quantity variation in a young black walnut progeny test. *Wood and Fiber Science*, 19(1): 93-100.

Rink G., Phelps J.E., 1989. Variation in heartwood and sapwood properties among 10-year-old black walnut trees. *Wood and Fiber Science*, 21(2): 177-182.

Rozenberg P., Cahalan C., 1997. Spruce and wood quality: genetic aspects (A review). *Silvae Genetica*, 46 (5): 270–279.

Rozenberg P., Frank A., Cahalan C., 2001. Incorporating wood density in breeding programs for softwoods in Europe: a strategy and associated methods. *Silvae Genetica*, 50 (1): 1-7.

Ruelle J., Beauchene J., Thibaut A., Thibaut B., 2007. Comparison of physical and mechanical properties of tension and opposite wood from ten tropical rain forest trees from different species. *Annals of Forest Science*, 64(5): 503-510.

Russel J.H., Libby W.J., 1986. Clonal testing efficiency: the trade-offs between clones tested and ramets per clone. *Canadian Journal of Forest Research*, 16(5): 925-930.

Santi F., Muranty H., Dufour J., Paques L.E., 1998. Genetic parameters and selection in a multisite wild cherry clonal test. *Silvae Genetica*, 47 (2-3): 61–67.

Santini A., Fagnani A., Ferrini F., Mittempergher L., 2002. “San Zenobi” and “Plinio” elm trees. *HortScience*, 37(7): 1139-1141.

Santini A., Fagnani A., Ferrini F., Mittempergher L., Brunetti M., Crivellaro A., Macchioni N., 2004. Elm breeding for DED resistance, the Italian clones and their wood properties. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*, 13(1): 179-184.

Savill P.S., Kanowski P.J., Gourlay I.D., Jarvis A.R., 1993. Short note: Genetic and intra-tree variation in the number of sapwood rings in *Quercus robur* and *Q. petraea*. *Silvae Genetica*, 42(6): 371-375.

Sedjo R., 2001a. From foraging to cropping: the transition to plantation forestry, and implications for wood supply and demand. *Unasylva*, 52(204): 24-27.

Sedjo R., 2001b. Biotechnology's potential contribution to global wood supply and forest conservation. *Resources for the Future*, Discussion Paper 01-51: 33pp.

Signorini G., 2006. Studio sulla variabilità interclonale del colore del legno di ciliegio. Tesi di dottorato di ricerca, Università degli Studi di Firenze, 172 pp.

Taylor A.M., Gartner B.L., Morrell J.L., 2002. Heartwood formation and natural durability – A review. *Wood and Fiber Science*, 34(4): 587-611.

Washusen R., Ades P., Evans R., Ilic J., Vinden P., 2001. Relationship between density, shrinkage, extractive content and microfibril angle in tension wood from three provenances of 10-year-old *Eucalyptus globulus* Labill. *Holzforshung*, 55(2): 176-182.

Woeste K.E., 2002. Heartwood production in a 35-year-old black walnut progeny test. *Canadian Journal of Forest Research*, 32: 177-181.

Yanchuk A.D., Dancik B.P., Micko M.M., 1984. Variation and heritability of wood density and fiber length of trembling Aspen in Alberta, Canada. *Silvae Genetica*, 33 (1): 11–16.

Zhang S.Y., 1997. Wood specific gravity – mechanical property relationship at species level. *Wood Science and Technology*, 31(3): 181–191.

Zhang S.Y., Jiang H., 1998. Variability of selected wood characteristics in 40 half-sib families of black spruce (*Picea mariana*). *Wood Science and Technology*, 32: 71-82.

Zhang S.Y., Morgenstern E.K., 1995. Genetic variation and inheritance of wood density in black spruce (*Picea mariana*) and its relationship with growth: implication for tree breeding. Wood Science and Technology, 30: 63-75.

Zhang S.Y., Yu Q., Chauret G., Koubaa A., 2003. Selection for both growth and wood properties in hybrid poplar clones. Forest Science, 49(6): 901-908.

Zobel B.J., Cole D., Stonecypher R., 1962. Wood properties of clones of slash pine. Forest Genetics Workshop, Macon (Georgia, USA): 32-39.

Zobel B.J., Jett J.B., 1995. Genetics of Wood Production. Springer Series in Wood Science, Springer-Verlag, 352 pp.

Zobel B.J., Sprague J.R., 1998. Juvenile wood in forest trees. Springer Series in Wood Science, Springer-Verlag, 300 pp.

Zobel B.J., Talbert J., 1984. Applied forest tree improvement. Wiley, New York, 505 pp.

Zobel B.J., van Buijtenen J.P., 1989. Wood Variation. Its Causes and Control. Springer Series in Wood Science, Springer-Verlag, 363 pp.

NORME

UNI EN 1310. Legno tondo e segati - Metodo di misurazione delle caratteristiche.

UNI EN 1534. Parquet e pavimentazioni di legno - Determinazione della resistenza alla penetrazione (Brinell) - Metodo di prova

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 3347. Legno. Determinazione della resistenza al taglio parallelamente alla fibratura.

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

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

UNI ISO 4858. Legno. Determinazione del ritiro volumetrico.

APPENDICI

APPENDICE I

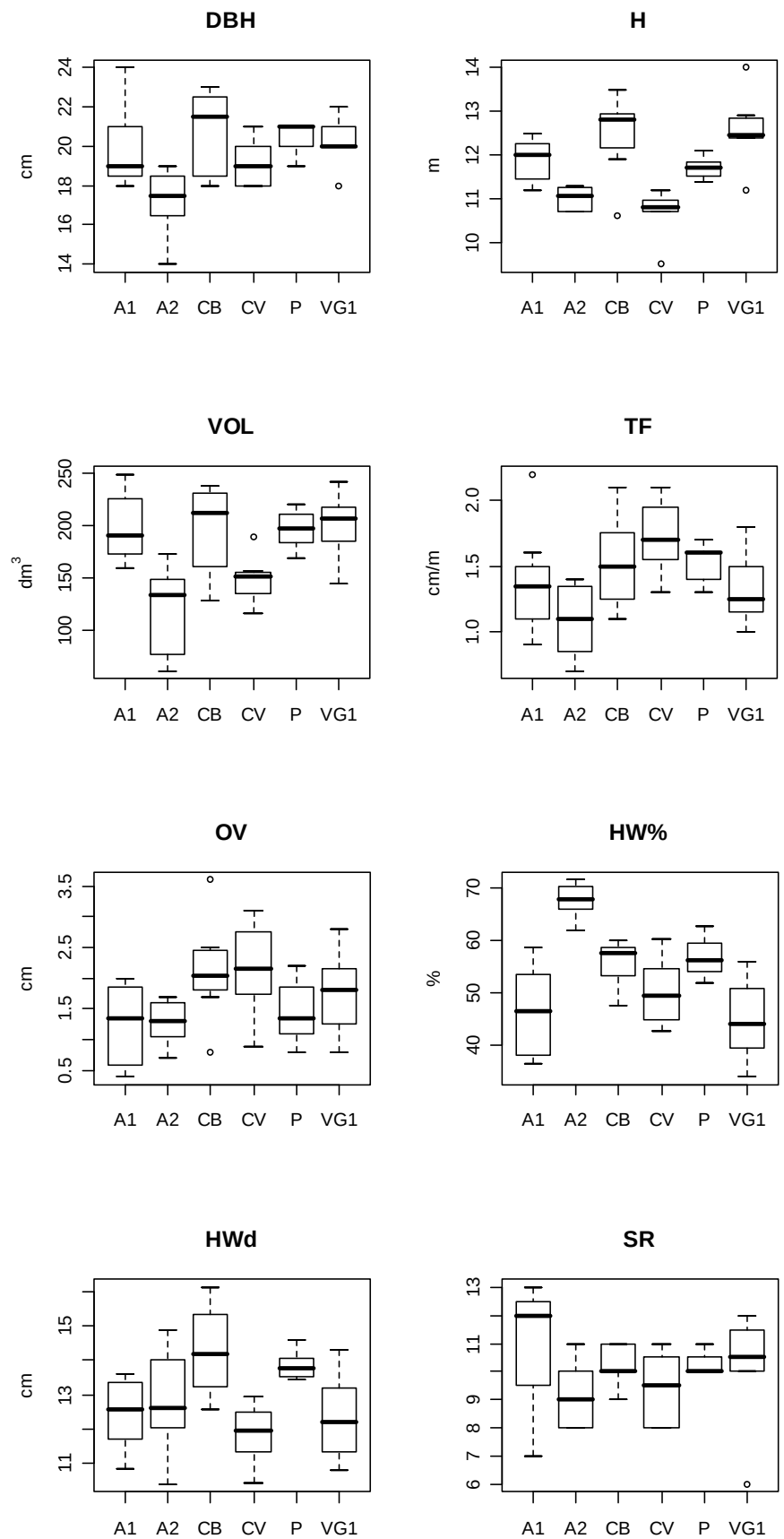


Fig. A – Boxplot per clone per tutti i caratteri in esame. Sito **Marani**.

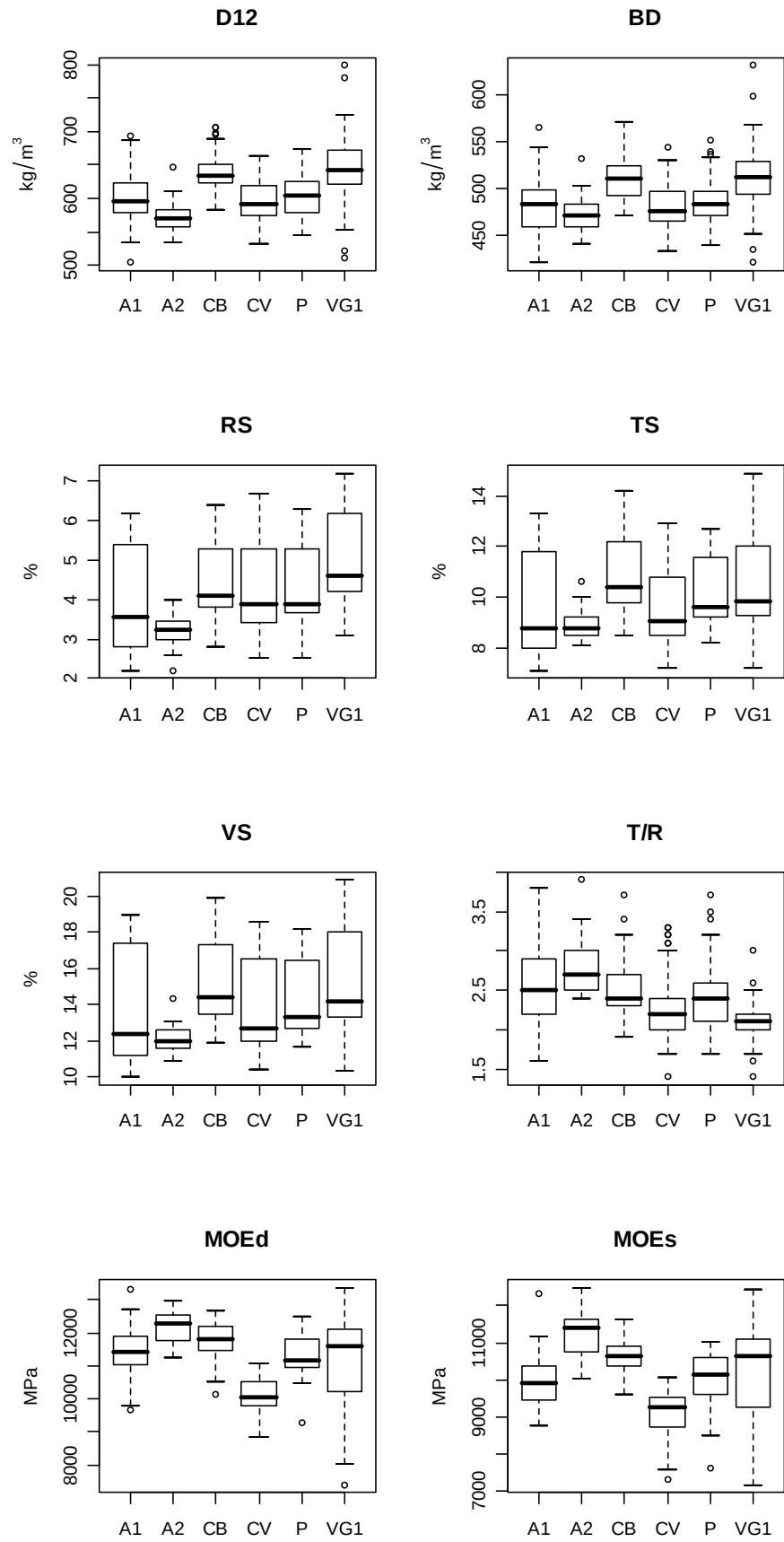


Fig. A – Continua.

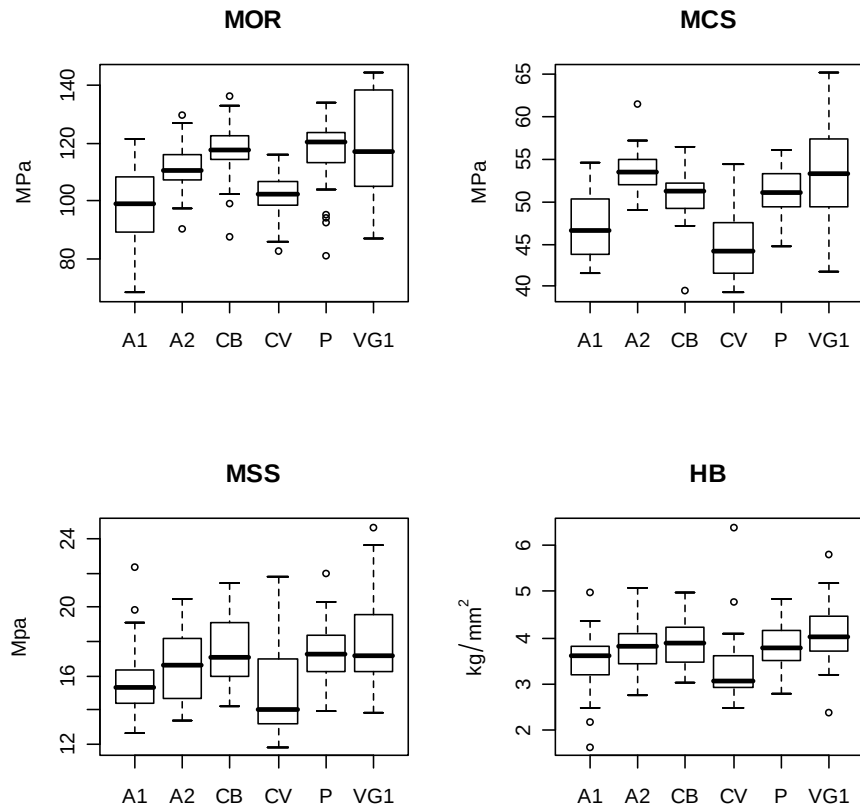


Fig. A – Continua.

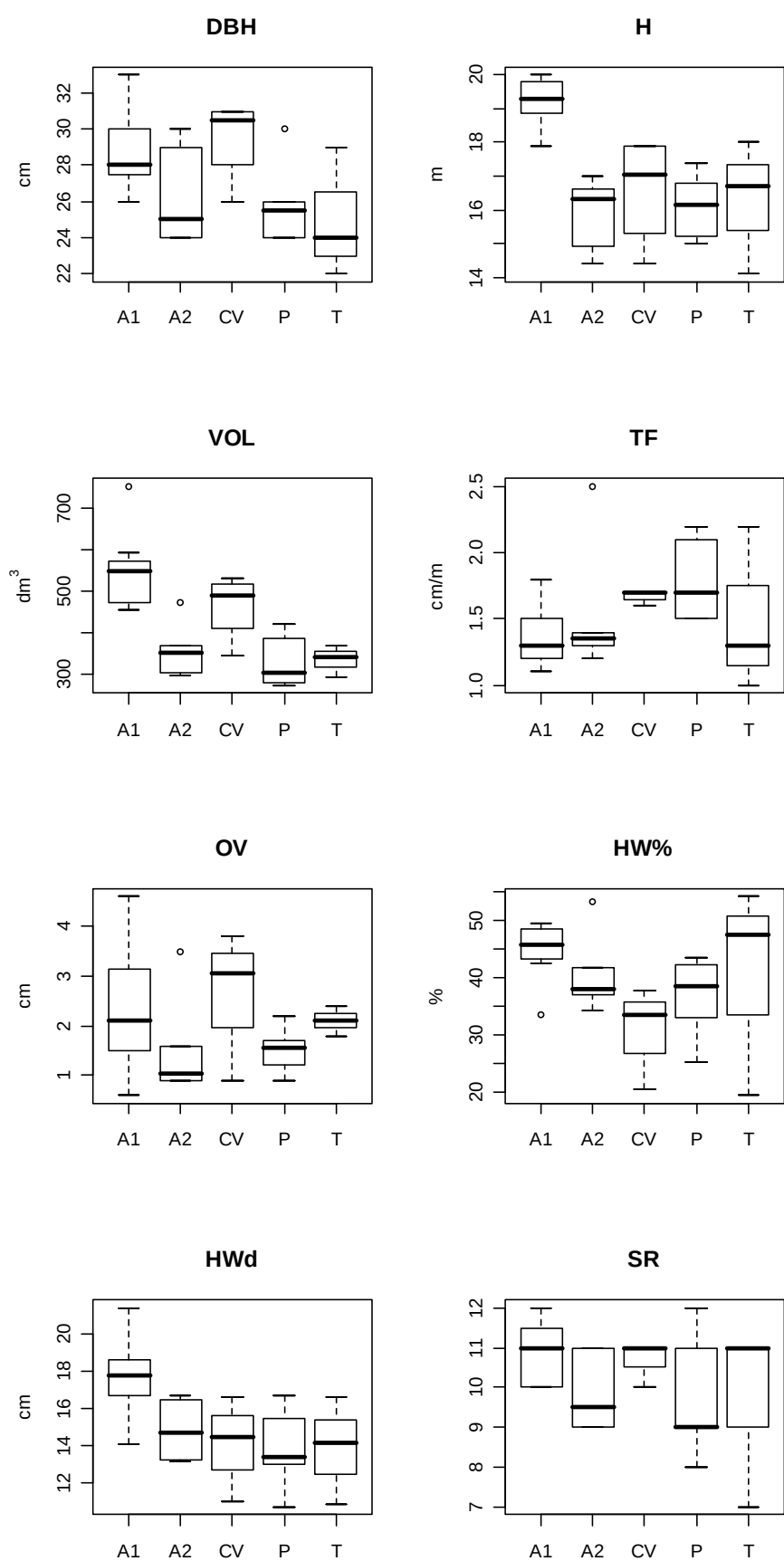


Fig.B – Boxplot per clone per tutti i caratteri in esame. Sito **Forestello**.

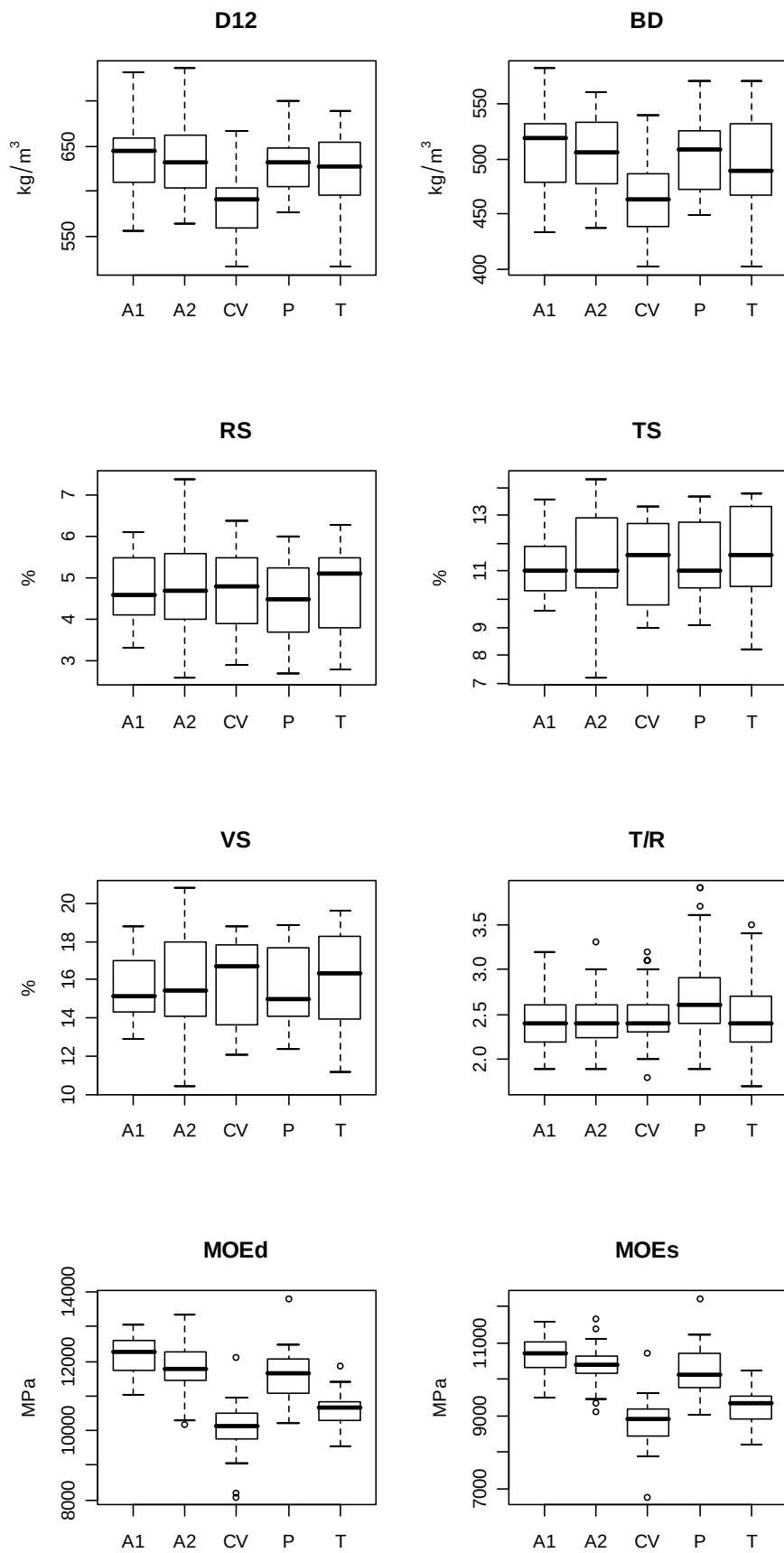


Fig. B – Continua.

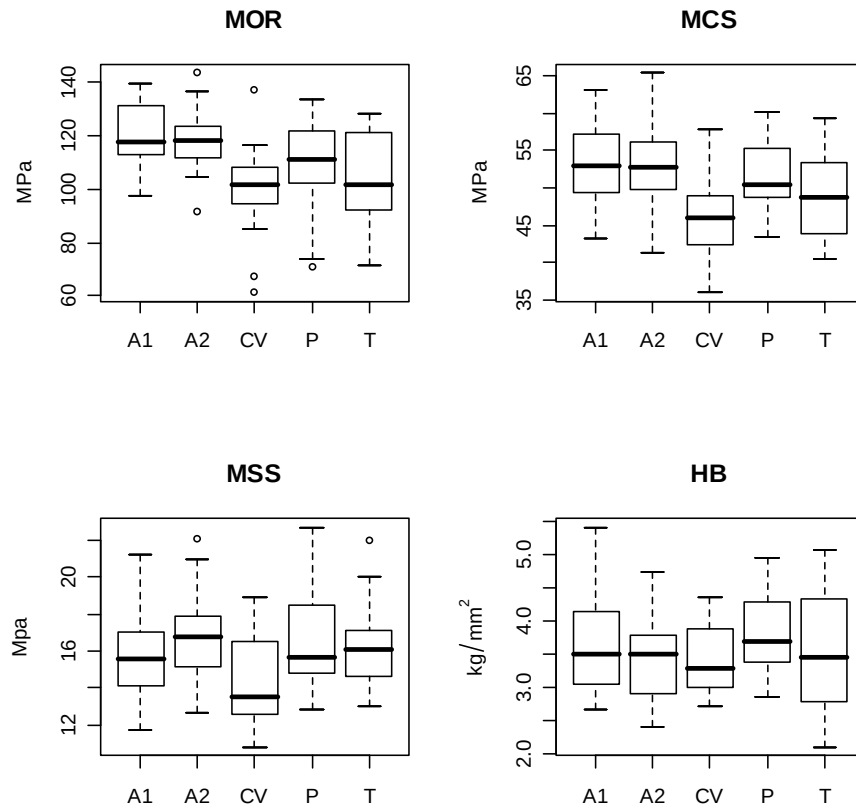


Fig. B – Continua.

APPENDICE II

Tab. A – Coefficienti di correlazione fenotipica tra i caratteri di accrescimento, forma del fusto e legno; calcolati per le proprietà fisiche e meccaniche del legno sulle medie per pianta dei dai di alborno sopra la diagonale e di durame sotto, per i campioni di **Marani**.

	DBH	H	VOL	TF	OV	HW%	HWd	SR	D ₁₂	BD	RS	TS	VS	T/R	MOEd	MOEs	MOR	MCS	MSS	HB
DBH	1	0,46**	0,84***	0,48***	0,24 ns	-0,42**	0,58***	0,25 ns	0,14 ns	0,07 ns	0,03 ns	0,41*	0,36*	0,17 ns	0,07 ns	0,10 ns	0,16 ns	-0,01 ns	0,13 ns	0,18 ns
H	0,46**	1	0,64***	-0,19 ns	-0,05 ns	-0,28 ns	0,34*	0,24 ns	0,42***	0,40*	0,21 ns	0,47**	0,44**	0,05 ns	0,46**	0,39*	0,36*	0,45**	0,63***	0,53***
VOL	0,84***	0,64***	1	0,27 ns	0,13 ns	-0,48***	0,46**	0,31*	0,32*	0,25 ns	0,10 ns	0,51**	0,49**	0,14 ns	0,26 ns	0,20 ns	0,10 ns	0,21 ns	0,33*	0,35*
TF	0,48***	-0,19 ns	0,27 ns	1	0,43**	-0,32*	0,07 ns	0,08 ns	-0,23 ns	-0,27 ns	-0,21 ns	0,05 ns	-0,05 ns	0,21 ns	-0,33*	-0,16 ns	-0,03 ns	-0,30 ns	-0,42**	-0,28 ns
OV	0,24 ns	-0,05 ns	0,13 ns	0,43**	1	-0,19 ns	0,10 ns	0,06 ns	0,20 ns	0,21 ns	-0,13 ns	0,19 ns	0,01 ns	0,23 ns	-0,14 ns	-0,14 ns	0,17 ns	-0,04 ns	-0,01 ns	-0,05 ns
HW%	-0,42**	-0,28 ns	-0,48***	-0,32*	-0,19 ns	1	0,42**	-0,54***	-0,23 ns	-0,13 ns	-0,44**	-0,20 ns	-0,44**	0,28 ns	0,18 ns	0,28 ns	0,19 ns	0,21 ns	0,19 ns	0,02 ns
HWd	0,58***	0,34*	0,46**	0,07 ns	0,10 ns	0,42**	1	-0,16 ns	0,06 ns	0,09 ns	-0,34*	0,27 ns	0,02 ns	0,43**	0,29 ns	0,34*	0,28 ns	0,24 ns	0,34*	0,25 ns
SR	0,25 ns	0,24 ns	0,31*	0,08 ns	0,06 ns	-0,54***	-0,16 ns	1	0,24 ns	0,22 ns	-0,03 ns	0,25 ns	0,25 ns	0,17 ns	0,05 ns	-0,22 ns	-0,10 ns	0,14 ns	0,08 ns	0,22 ns
D ₁₂	0,36*	0,43**	0,37**	0,13 ns	0,35*	-0,40**	0,16 ns	0,19 ns	1	0,99***	0,46**	0,70***	0,75***	0,03 ns	0,49**	0,45**	0,24 ns	0,59***	0,80***	0,69***
BD	0,35*	0,41**	0,35*	0,12 ns	0,34*	-0,40**	0,14 ns	0,20 ns	0,99***	1	0,38*	0,62***	0,64***	0,06 ns	0,54***	0,43**	0,35*	0,60***	0,52**	0,48**
RS	0,29*	0,35*	0,31*	0,06 ns	0,26 ns	-0,32*	0,06 ns	0,09 ns	0,68***	0,61***	1	0,16 ns	0,56***	-0,80***	-0,02 ns	0,04 ns	-0,02 ns	0,11 ns	0,23 ns	0,23 ns
TS	0,25 ns	0,36*	0,28 ns	0,05 ns	0,26 ns	0,05 ns	0,36*	-0,02 ns	0,64***	0,56***	0,61***	1	0,88***	0,44**	0,53**	0,60***	0,36*	0,53**	0,35*	0,42*
VS	0,31*	0,43**	0,36*	0,05 ns	0,28 ns	-0,13 ns	0,29*	0,06 ns	0,76***	0,68***	0,81***	0,94***	1	0,02 ns	0,40*	0,45**	0,15 ns	0,40*	0,29 ns	0,38*
T/R	-0,18 ns	-0,21 ns	-0,18 ns	-0,06 ns	-0,15 ns	0,37**	0,13 ns	-0,13 ns	-0,42**	-0,38**	-0,86***	-0,15 ns	-0,43**	1	0,35*	0,32 ns	0,26 ns	0,19 ns	-0,03 ns	-0,01 ns
MOEd	-0,24 ns	0,10 ns	-0,12 ns	-0,31*	-0,25 ns	0,28 ns	0,09 ns	0,04 ns	0,13 ns	0,08 ns	-0,26 ns	0,15 ns	0,00 ns	0,42**	1	0,89***	0,65***	0,77***	0,60***	0,49*
MOEs	-0,13 ns	0,23ns	-0,07 ns	-0,31*	-0,15 ns	0,23 ns	0,11 ns	0,03 ns	0,24 ns	0,15 ns	-0,13 ns	0,17 ns	0,05 ns	0,27 ns	0,88***	1	0,66***	0,64***	0,43**	0,42*
MOR	0,14 ns	0,61***	0,27ns	-0,21 ns	0,16 ns	-0,15 ns	0,10 ns	0,07 ns	0,71***	0,48***	0,53***	0,53***	0,55***	-0,33*	0,24 ns	0,47***	1	0,57***	0,38*	0,28 ns
MCS	-0,20 ns	0,36*	-0,02 ns	-0,45**	-0,01 ns	-0,04 ns	-0,13 ns	0,10 ns	0,69***	0,32*	0,45**	0,46**	0,45**	-0,26 ns	0,41**	0,51***	0,77***	1	0,73***	0,63***
MSS	0,13 ns	0,65***	0,33*	-0,33*	0,01 ns	-0,13 ns	0,11 ns	0,26 ns	0,81***	0,33*	0,50***	0,54***	0,56***	-0,30*	0,20 ns	0,16 ns	0,64***	0,67***	1	0,75***
HB	-0,01 ns	0,44**	0,16 ns	-0,39**	0,07 ns	-0,08 ns	0,00 ns	0,03 ns	0,69***	0,17 ns	0,32*	0,35*	0,36*	-0,19 ns	0,01 ns	0,09 ns	0,57***	0,55***	0,68***	1

Livelli di significatività: * = 5%; ** = 1%; *** = 0,1%; ns = non significativo

Tab. B – Coefficienti di correlazione fenotipica tra i caratteri di accrescimento, forma del fusto e legno; calcolati per le proprietà fisiche e meccaniche del legno sulle medie per pianta dei dai di alburno sopra la diagonale e di durame sotto, per i campioni di **Forestello**.

	DBH	H	VOL	TF	OV	HW%	HWd	SR	D ₁₂	BD	RS	TS	VS	T/R	MOEd	MOEs	MOR	MCS	MSS	HB
DBH	1	0,38 ns	0,84***	0,20 ns	0,75***	0,29 ns	0,72***	0,31 ns	-0,15 ns	-0,11 ns	0,10 ns	-0,44*	-0,31 ns	-0,48*	-0,19 ns	-0,27 ns	-0,34 ns	-0,26ns	-0,48*	-0,08 ns
H	0,38 ns	1	0,76***	-0,53**	0,35 ns	0,55**	0,67***	0,35 ns	-0,29 ns	-0,16 ns	-0,14 ns	-0,70***	-0,67***	-0,45*	0,28 ns	0,22 ns	0,06 ns	-0,01 ns	-0,44*	-0,16 ns
VOL	0,84***	0,76***	1	-0,31 ns	0,64**	0,44*	0,83***	0,33 ns	-0,17 ns	-0,09 ns	0,08 ns	-0,61**	-0,48*	-0,59**	0,06 ns	-0,02 ns	-0,12 ns	-0,12 ns	-0,54**	-0,24 ns
TF	0,20 ns	-0,53**	-0,31 ns	1	0,15 ns	-0,17 ns	-0,12 ns	0,04 ns	0,16 ns	0,13 ns	0,08 ns	0,20 ns	0,20 ns	0,08ns	-0,18 ns	-0,17 ns	-0,20 ns	-0,07 ns	0,19 ns	0,51*
OV	0,75***	0,35 ns	0,64**	0,15 ns	1	0,23 ns	0,52*	0,27 ns	-0,14 ns	-0,13 ns	0,03 ns	-0,20 ns	-0,17 ns	-0,21 ns	-0,23 ns	-0,30 ns	-0,24 ns	-0,43*	-0,42*	0,04 ns
HW%	0,29 ns	0,55**	0,44*	-0,17 ns	0,23 ns	1	0,83***	-0,22 ns	0,13 ns	0,25 ns	0,05 ns	-0,53**	-0,45*	-0,49*	0,52*	0,47*	0,29 ns	0,34 ns	0,16 ns	0,06 ns
HWd	0,72***	0,67***	0,83***	-0,12 ns	0,52*	0,83***	1	0,09 ns	0,06 ns	0,17 ns	0,12 ns	-0,63**	-0,49*	-0,64**	0,37 ns	0,29 ns	0,12 ns	0,20 ns	-0,13 ns	0,02 ns
SR	0,31ns	0,35 ns	0,33 ns	0,04 ns	0,27 ns	-0,22 ns	0,09 ns	1	-0,28 ns	-0,25 ns	0,00 ns	-0,27 ns	-0,22 ns	-0,19 ns	-0,08 ns	-0,12 ns	0,04 ns	-0,16 ns	-0,27 ns	0,01 ns
D ₁₂	-0,17 ns	0,04 ns	-0,07 ns	0,03 ns	-0,19 ns	0,28 ns	0,19 ns	0,03 ns	1	0,98***	0,47*	0,40 ns	0,48*	-0,09 ns	0,69***	0,70***	0,69***	0,74***	0,70***	0,50*
BD	-0,16 ns	0,04 ns	-0,07 ns	0,06 ns	-0,22 ns	0,30 ns	0,21 ns	0,05 ns	0,99***	1	0,37 ns	0,23 ns	0,30 ns	-0,14 ns	0,70***	0,71***	0,52*	0,71***	0,62**	0,19 ns
RS	0,10 ns	0,20 ns	0,31 ns	-0,27 ns	0,08 ns	0,03 ns	0,19 ns	0,19 ns	0,42*	0,36 ns	1	0,33 ns	0,62**	-0,61**	0,18 ns	0,16 ns	0,41*	0,22 ns	0,10 ns	0,01 ns
TS	-0,21 ns	0,17 ns	-0,03 ns	-0,07 ns	0,07 ns	0,32 ns	0,13 ns	-0,19 ns	0,59**	0,51*	0,44*	1	0,93***	0,53**	-0,12 ns	-0,07 ns	0,11 ns	-0,01 ns	0,35 ns	0,21 ns
VS	-0,10 ns	0,17 ns	0,11 ns	-0,17 ns	0,04 ns	0,18 ns	0,15 ns	-0,01 ns	0,65***	0,57**	0,80***	0,87***	1	0,22 ns	-0,07 ns	-0,04 ns	0,21 ns	0,06 ns	0,33 ns	0,16 ns
T/R	-0,23 ns	-0,17 ns	-0,37 ns	0,29 ns	-0,08 ns	0,10 ns	-0,16 ns	-0,33 ns	-0,17 ns	-0,14 ns	-0,89***	0,00 ns	-0,46*	1	-0,26 ns	-0,21 ns	-0,27 ns	-0,22 ns	0,20 ns	0,17 ns
MOEd	-0,13 ns	0,20 ns	0,06 ns	-0,18 ns	-0,35 ns	0,22 ns	0,19 ns	0,21 ns	0,47*	0,52*	0,05 ns	0,13 ns	0,16 ns	-0,01 ns	1	0,99***	0,76***	0,88***	0,61**	0,24 ns
MOEs	-0,05 ns	0,29 ns	0,13 ns	-0,15 ns	-0,19 ns	0,42*	0,35 ns	0,11 ns	0,49*	0,61**	0,04 ns	0,34 ns	0,27 ns	0,10 ns	0,97***	1	0,76***	0,89***	0,63**	0,26 ns
MOR	-0,28 ns	0,36 ns	0,05 ns	-0,35 ns	-0,27 ns	0,24 ns	0,15 ns	0,24 ns	0,73***	0,66***	0,30 ns	0,44*	0,48*	-0,13 ns	0,76***	0,75***	1	0,74***	0,69***	0,14 ns
MCS	-0,20 ns	0,16 ns	0,01 ns	-0,12 ns	-0,30 ns	0,40 ns	0,30 ns	-0,13 ns	0,68***	0,73***	0,50 ns	0,45*	0,57**	-0,33 ns	0,63**	0,65***	0,69***	1	0,76***	0,29 ns
MSS	-0,42*	-0,23 ns	-0,43*	0,14 ns	-0,42*	0,14 ns	-0,11 ns	-0,04 ns	0,32 ns	0,62**	-0,21 ns	0,19 ns	0,04 ns	0,31ns	0,48*	0,57**	0,43*	0,43*	1	0,40 ns
HB	0,05 ns	0,33 ns	0,21 ns	-0,15 ns	0,03 ns	-0,01 ns	0,12 ns	-0,11 ns	0,30 ns	0,14 ns	0,18 ns	0,29 ns	0,25 ns	-0,05ns	0,23 ns	0,27 ns	0,22 ns	0,34 ns	-0,15 ns	1

Livelli di significatività: * = 5%; ** = 1%; *** = 0,1%; ns = non significativo

APPENDICE III

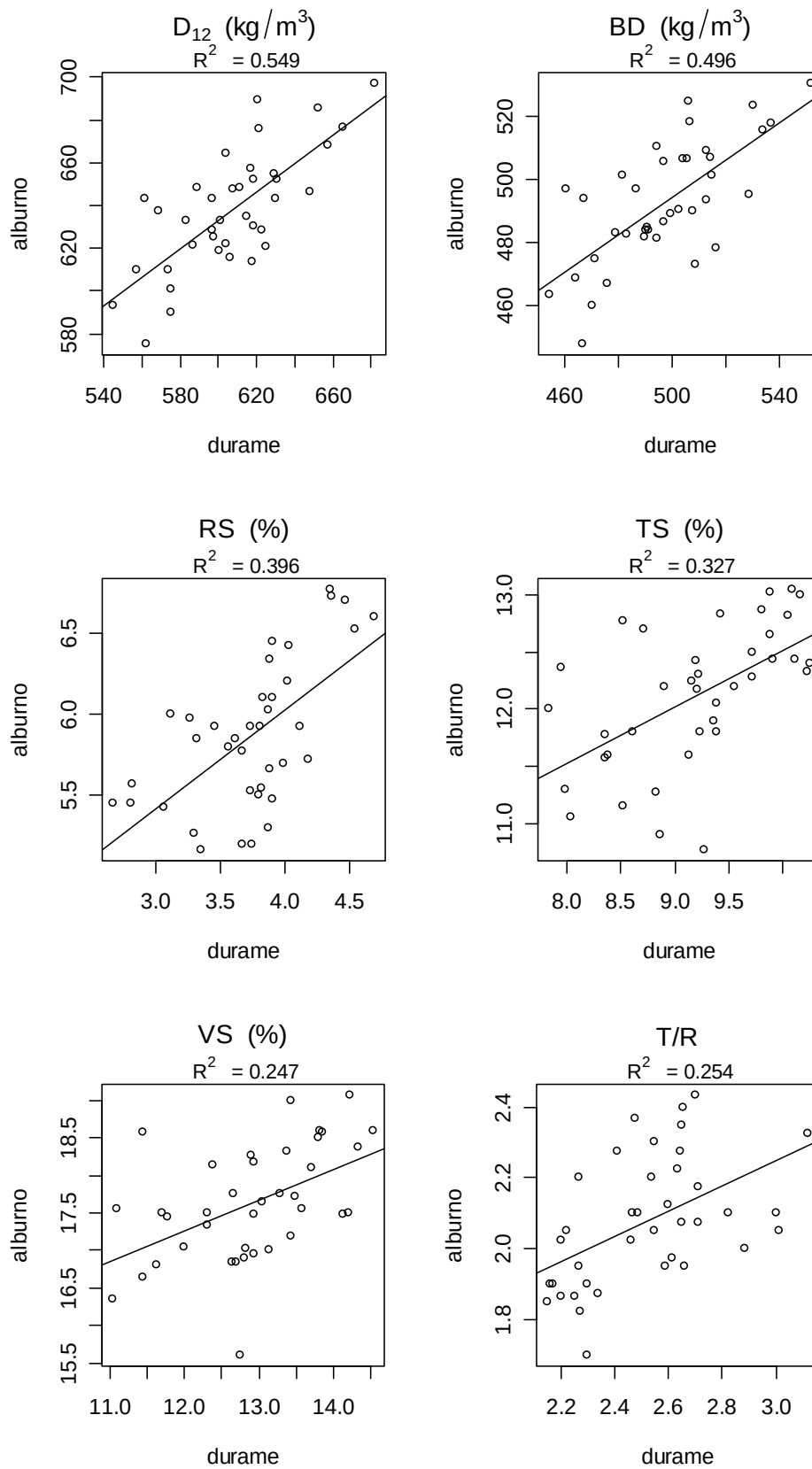


Fig. A – Relazioni lineari tra le proprietà dell'alburno e del durame per tutti i caratteri del legno. Sito **Marani**.

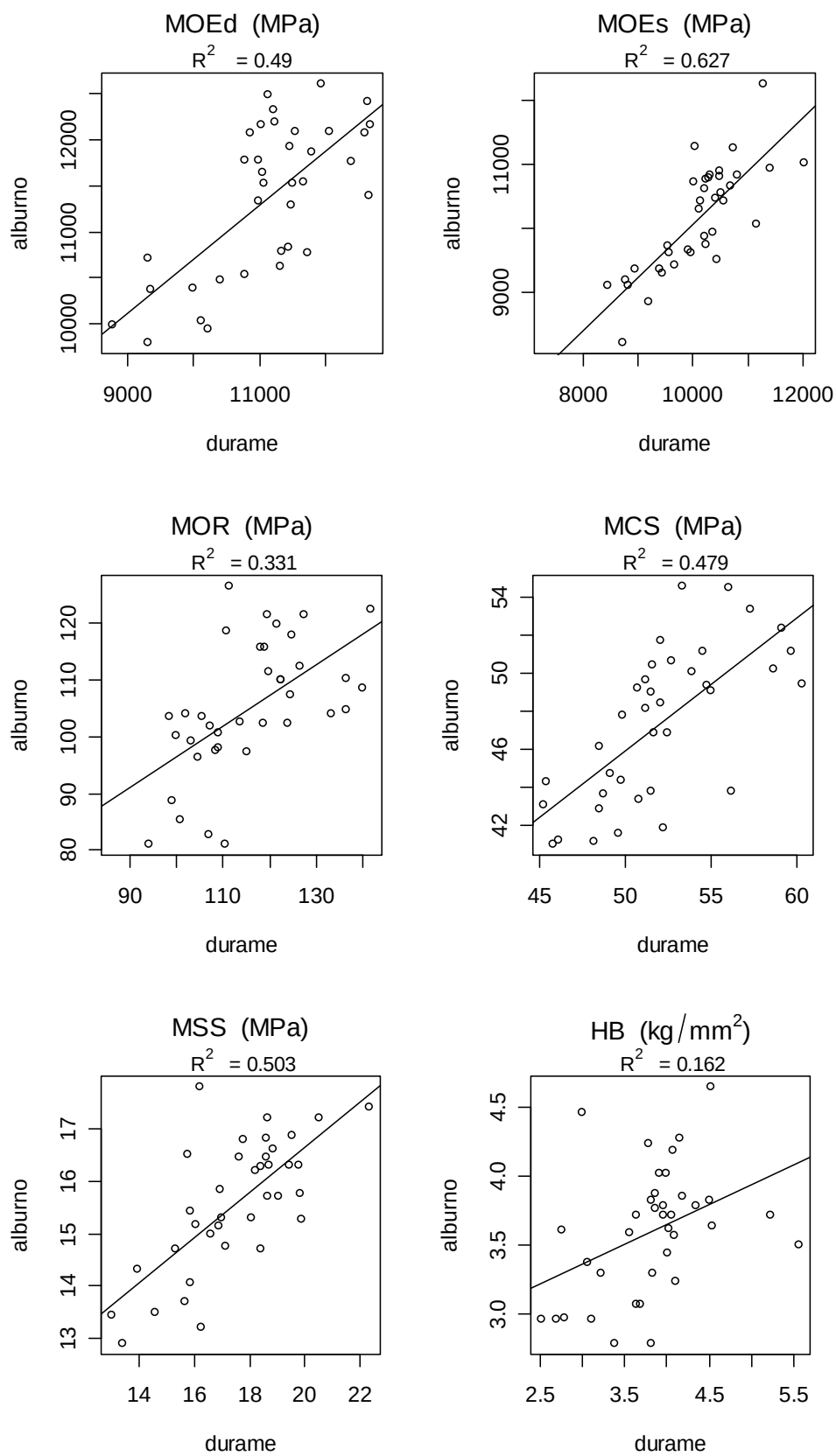


Fig. A – Continua.

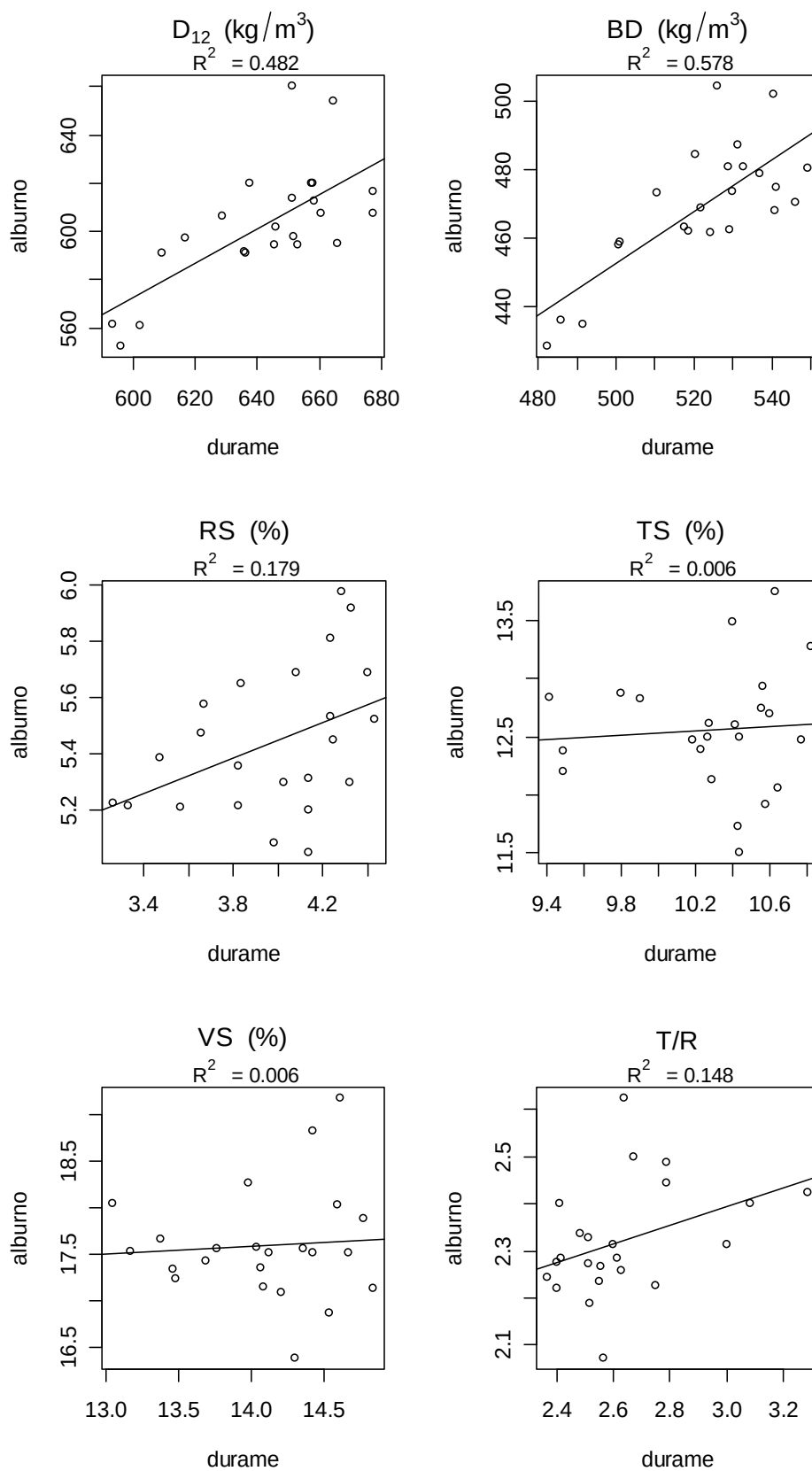


Fig. B – Relazioni lineari tra le proprietà dell'alburno e del durame per tutti i caratteri del legno. Sito **Forestello**.

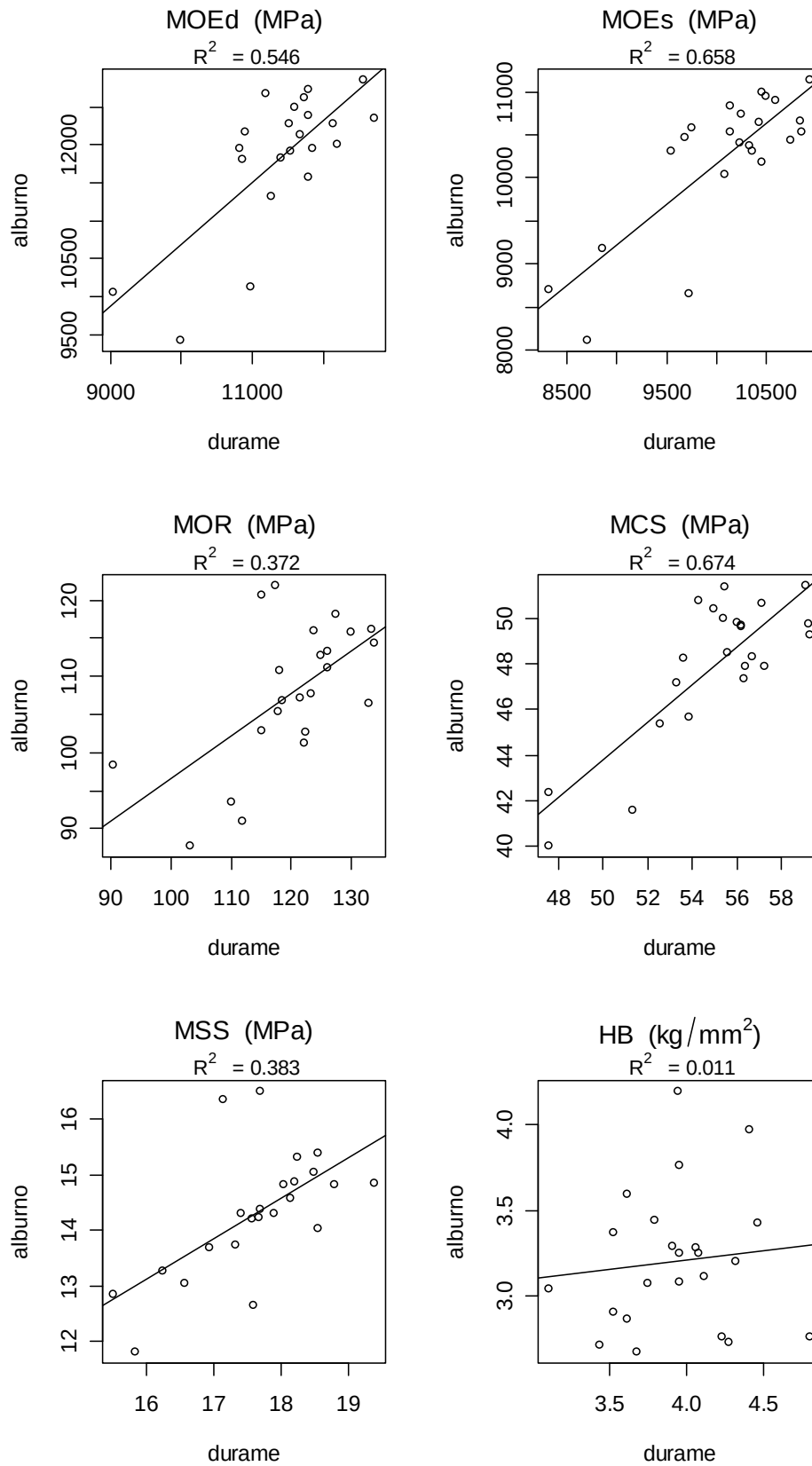


Fig. B – Continua.

APPENDICE IV

Tab. A – Valore medio, errore standard (SE) e coefficiente di variazione fenotipico delle variabili densitometriche calcolati per ciascun clone e per sito.

clone/ sito	rw		m		mi		ma	
	media $\pm$ SE	CVp	media $\pm$ SE	CVp	media $\pm$ SE	CVp	media $\pm$ SE	CVp
	(mm)	(%)	(kg/m ³)	(%)	(kg/m ³)	(%)	(kg/m ³)	(%)
Marani								
A1	4,9 $\pm$ 0,2	9,3	570,4 $\pm$ 11,4	5,6	460,8 $\pm$ 7,3	6,6	677,8 $\pm$ 11,4	4,7
A2	4,1 $\pm$ 0,2	11,9	530,5 $\pm$ 10,8	5,8	428,2 $\pm$ 8,3	5,5	639,4 $\pm$ 11,7	5,2
CB	4,8 $\pm$ 0,3	15,9	606,7 $\pm$ 8,2	3,8	476,4 $\pm$ 8,6	5,1	724,7 $\pm$ 7,2	2,8
CV	4,4 $\pm$ 0,2	15,2	582,5 $\pm$ 13,8	6,7	453,8 $\pm$ 12,7	7,9	701,1 $\pm$ 11,1	4,8
P	5,0 $\pm$ 0,1	7,4	595,3 $\pm$ 9,8	4,7	508,9 $\pm$ 8,4	4,7	739,9 $\pm$ 5,6	2,1
VG1	4,8 $\pm$ 0,1	7,5	621,6 $\pm$ 8,4	3,8	477,7 $\pm$ 5,9	3,5	750,8 $\pm$ 8,8	3,3
Sito	4,7 $\pm$ 0,1	12,7	584,5 $\pm$ 5,9	7,0	467,6 $\pm$ 4,9	7,3	705,6 $\pm$ 6,7	6,6
Forestello								
A1	6,6 $\pm$ 0,3	11,8	606,6 $\pm$ 8,7	3,8	417,2 $\pm$ 6,3	4,0	778,2 $\pm$ 5,3	1,8
A2	6,0 $\pm$ 0,3	11,2	609,3 $\pm$ 16,7	6,7	476,3 $\pm$ 15,9	8,2	773,9 $\pm$ 14,1	4,5
CV	6,5 $\pm$ 0,2	7,6	564,9 $\pm$ 8,1	2,9	402,8 $\pm$ 9,2	4,6	716,6 $\pm$ 7,6	2,1
P	6,0 $\pm$ 0,2	7,9	594,0 $\pm$ 7,5	3,1	459,9 $\pm$ 5,1	2,7	761,1 $\pm$ 6,2	2,0
T	6,2 $\pm$ 0,7	20,6	570,2 $\pm$ 8,9	2,7	424,7 $\pm$ 3,8	1,6	712,8 $\pm$ 17,4	4,2
sito	6,3 $\pm$ 0,1	10,4	596,8 $\pm$ 6,3	5,0	441,2 $\pm$ 7,8	8,4	761,8 $\pm$ 6,3	4,0

APPENDICE V

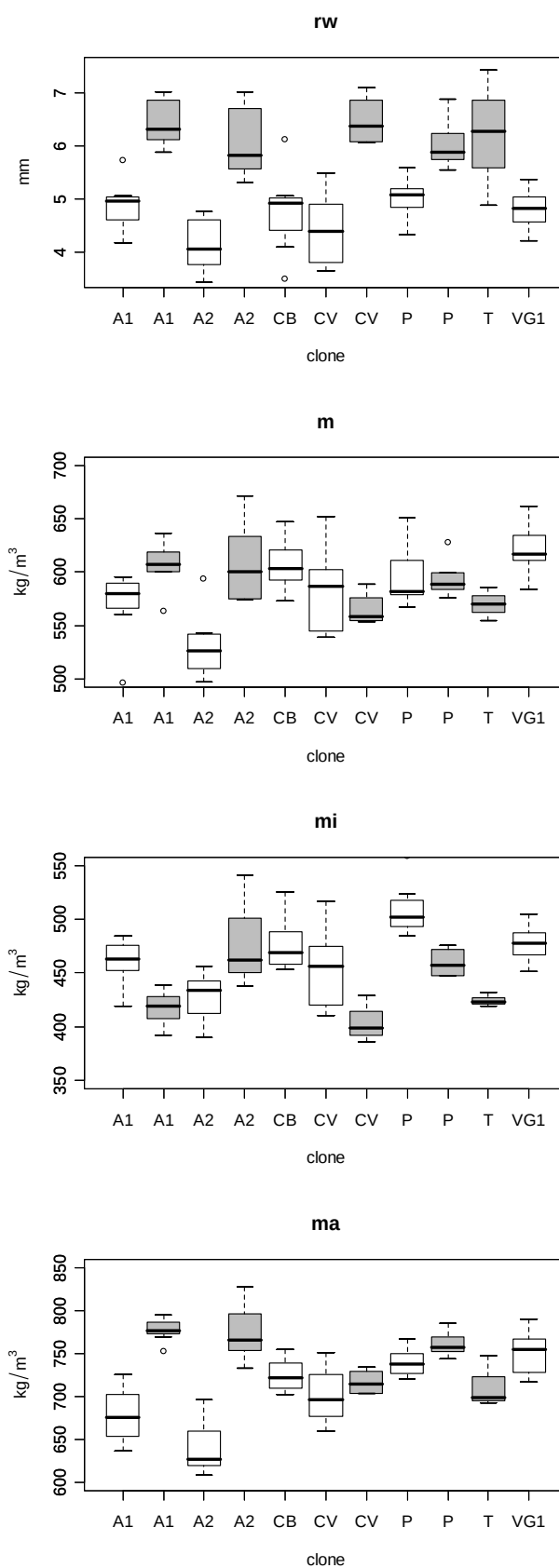


Fig. A – Boxplot per i cloni di ciascun sito per tutte le variabili densitometriche. In grigio i dati relativi a Forestello, in bianco i dati relativi a Marani.

APPENDICE VI

Tab. A – Risultati dell’analisi della varianza per le variabili densitometriche, calcolata inserendo il fattore clone, età cambiale e la loro interazione.

variabile	fonte di variazione	Marani		Forestello	
		df	F	df	F
rw	età cambiale	18	223,6 ***	19	66,8 ***
	clone	5	9,7 ***	3	8,7 ***
	età cambiale X clone	85	3,8 ***	54	3,1 ***
	errore	734		350	
m	età cambiale	18	4,5 ***	19	18,7 ***
	clone	5	82,4 ***	3	25,2 ***
	età cambiale X clone	85	1,7 ***	54	1,5 *
	errore	734		350	
mi	età cambiale	18	6,7 ***	19	17,6 ***
	clone	5	58,8 ***	3	84,8 ***
	età cambiale X clone	85	1,7 ***	54	1,6 **
	errore	734		350	
ma	età cambiale	18	7 ***	19	9,3 ***
	clone	5	113,1 ***	3	45,1 ***
	età cambiale X clone	85	2,5 ***	54	1,8 ***
	errore	734		350	

Livelli di significatività: * = 5%; ** = 1%; *** = 0,1%; ns = non significativo

APPENDICE VII

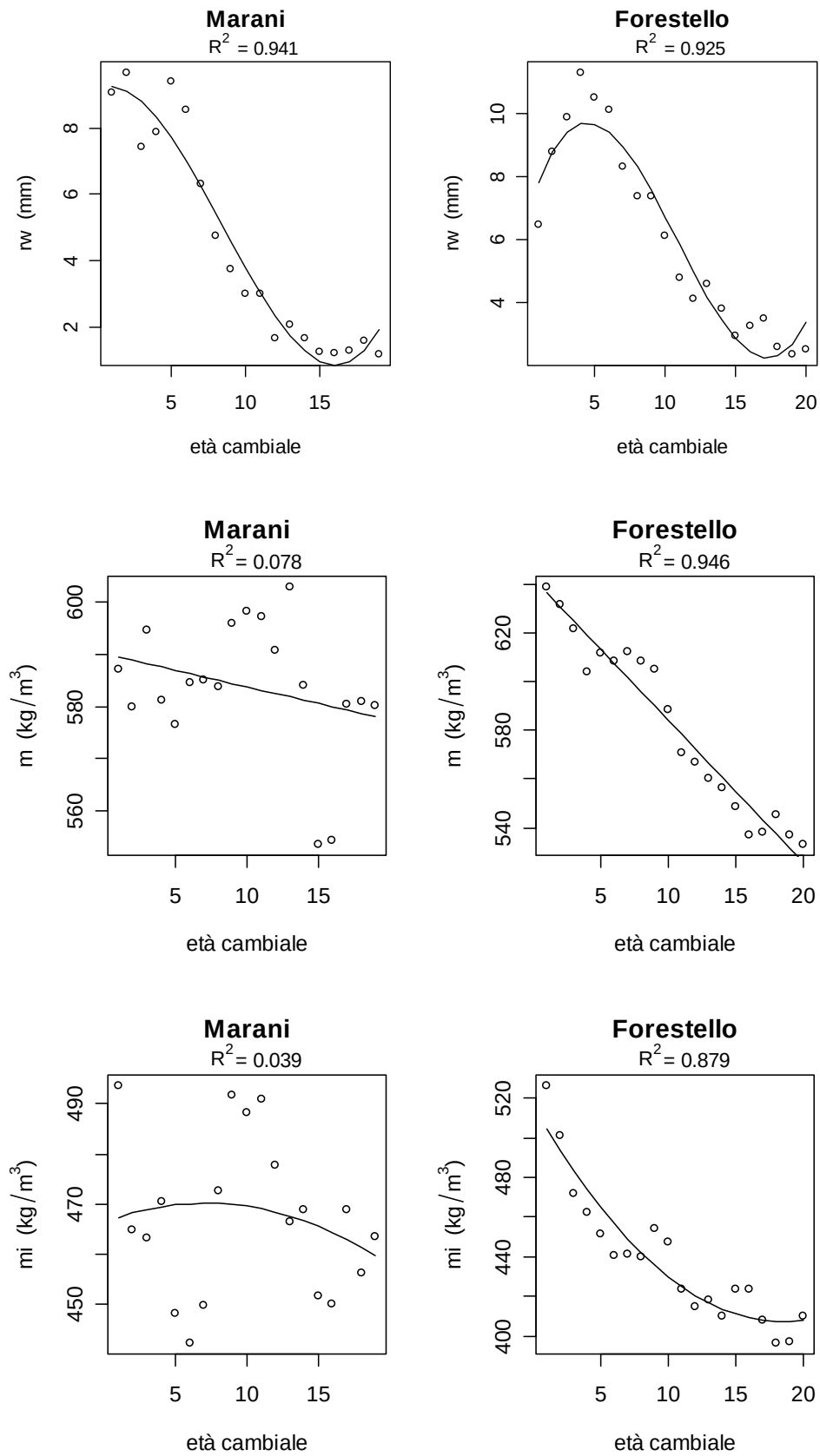


Fig. A – Andamento delle variabili densitometriche con l'età cambiale (in anni) per i due siti.

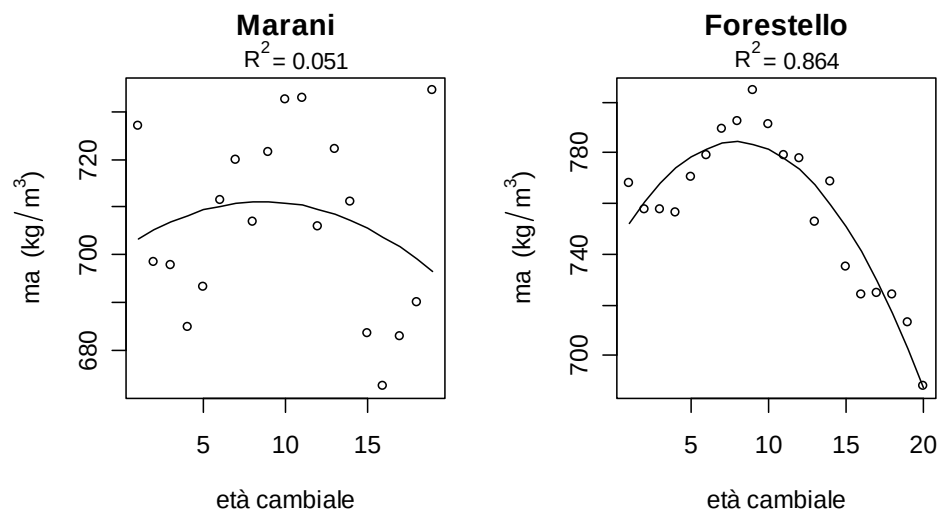


Fig. A – Continua.

APPENDICE VIII

Tab. A – Coefficienti di correlazione tra alburno e durame per le variabili densitometriche.

	Marani	Forestello
rw	0,25ns	-0,18ns
m	0,64***	0,83***
mi	0,50***	0,78***
ma	0,75**	0,67**
het	0,43***	0,64***

Livelli di significatività: * = 5%; ** = 1%; *** = 0,1%; ns = non significativo

APPENDICE IX

Tab. A – Numero di provini nelle 3 classi di vena verde per pianta per ciascun clone nei due siti.

	A1			A2			CB			CV			P			VG1		
	n	v	vv	n	v	vv	n	v	vv	n	v	vv	n	v	vv	n	v	vv
Marani																		
1	0	1	4	1	2	1	0	3	3	2	3	0	7	0	1	4	1	0
2	0	1	3	4	0	0	0	4	3	0	2	3	6	2	0	3	4	0
3	0	3	1	0	4	0	0	2	6	2	3	0	2	3	3	5	3	0
4	2	6	0	2	2	0	0	2	5	0	1	3	6	2	0	0	7	0
5	0	5	0	2	2	0	2	2	3	2	2	2	6	2	0	3	4	1
6	0	1	4	2	2	0	0	3	5	0	3	3	4	4	0	4	3	0
7	1	1	1	3	1	0	1	3	0	1	3	1	4	2	0	0	6	0
8	0	4	2	2	1	1	1	0	3	0	3	2	6	2	0	1	3	1
Forestello																		
1	4	5	0	4	0	4	-	-	-	1	6	0	3	6	0	-	-	-
2	7	2	0	7	2	0	-	-	-	0	8	0	5	2	1	-	-	-
3	11	0	0	6	1	0	-	-	-	0	9	0	8	0	0	-	-	-
4	8	0	0	8	0	0	-	-	-	1	3	2	3	5	0	-	-	-
5	8	0	0	8	0	0	-	-	-	-	-	-	5	2	0	-	-	-
6	11	1	0	7	0	0	-	-	-	-	-	-	4	1	0	-	-	-
7	7	6	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

RINGRAZIAMENTI

In primis desidero ringraziare Luciano Scaletti e Paolo Pestelli, i due fantastici tecnici che mi hanno dato un indispensabile aiuto nella preparazione dei provini e nello svolgimento delle prove di laboratorio.

Fulvio Ducci per aver fornito il materiale legnoso su cui è basato tutto lo studio e per avermi propriamente instradato in un argomento a me totalmente sconosciuto quale quello del miglioramento genetico.

L'Azienda Sperimentale Marani per aver dato un supporto fondamentale alla sperimentazione, soprattutto durante l'abbattimento delle piante.

Il Centro di Ricerca per la Selvicoltura (ex Istituto Sperimentale per la Selvicoltura) di Arezzo per aver messo a disposizione i campi sperimentali e il personale per l'abbattimento delle piante.

Philippe Rozenberg per avermi ospitato presso i suoi laboratori e avermi insegnato i fondamenti della micro-densitometria.

Frédéric Millier per avermi supportato nella realizzazione e nello sviluppo delle radiografie.

Frédérique Santi, Leopoldo Sanchez e Roberto Olmi per il fondamentale supporto durante le elaborazioni statistiche.

Isacco Beritognolo, Maurizio Sabatti e Marco Fioravanti per i preziosi consigli nello svolgimento del lavoro.