



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**

Sede Amministrativa: Università degli Studi di Padova  
Dipartimento TERRITORIO e SISTEMI AGRO-FORESTALI

Scuola di Dottorato di Ricerca in  
TERRITORIO, AMBIENTE, RISORSE E SALUTE

Indirizzo: ECOLOGIA

Ciclo XXI

Progetto di Ricerca PRIN

***“Xilogenesi ed accrescimento longitudinale al  
limite superiore del bosco: determinanti ambientali  
e fisiologici”***

Direttore della Scuola: Ch.mo Prof. VASCO BOATTO

Supervisore: Ch.ma Prof.ssa CRISTIANA COLPI

Correlatore: Ch.mo Prof. TOMMASO ANFODILLO

Dottoranda: ROBERTA RIONDATO

964737-DR

Anno Accademico 2008/09



## RIASSUNTO

Nel corso della loro evoluzione gli alberi hanno sviluppato degli accorgimenti anatomici e strutturali finalizzati ad ottenere un adeguato sviluppo verticale. Sulla Terra non mancano infatti esempi di specie in grado di superare i 100 m di altezza e nel corso della propria esistenza un singolo individuo di sequoia può modificare le sue dimensioni attraversando ben 12 ordini di grandezza.

L'accrescimento longitudinale, tuttavia, non è infinito: ogni specie manifesta una altezza massima e all'interno della stessa si possono osservare dimensioni diverse in relazione all'ambiente di crescita.

I meccanismi che conducono al rallentamento del ritmo di crescita in altezza, fenomeno ontogenetico tipico di tutte le specie vascolari, non sono ancora stati chiariti.

Nella comunità scientifica, a seguito di accesi dibattiti, è sembrata prevalere l'idea che la limitazione sia da imputare alle dimensioni della pianta, piuttosto che alla sua età, ed in particolare alla capacità di trasportare una sufficiente quantità d'acqua dalle radici alle foglie, sedi del processo fotosintetico.

L'intera architettura della pianta sarebbe quindi ideata per ottenere un trasporto efficiente e sarebbe sottoposta a vincoli di natura meccanica e idraulica, questi ultimi descrivibili in base a note leggi della fisica quali quella di Hagen-Poiseuille.

La lunghezza del percorso, la dimensione della cellula xilematica e le asperità delle pareti sono infatti la causa di notevoli perdite energetiche (aumento della resistenza idraulica) che ostacolano il moto ascendente della linfa.

Tra i vari meccanismi di compensazione che la pianta potrebbe adottare per minimizzare l'effetto della lunghezza del percorso un grande interesse ha riscosso quello proposto nel modello WBE (West *et al.*, 1999), ossia la rastremazione xilematica.

È stata perciò ipotizzata l'esistenza di un valore minimo di rastremazione, sul quale tutte le specie sono portate a convergere nel corso dell'evoluzione: un profilo xilematico troppo cilindrico potrebbe infatti indurre una limitazione alla crescita in altezza.

Attualmente non vi è accordo, tra gli studiosi, se esista realmente una soglia di rastremazione minima ed universale e se questa venga mantenuta costante nel corso dell'ontogenesi.

Lo scopo di questo lavoro è proprio quello di indagare la struttura xilematica di conifere di alta quota tipiche delle Alpi (*Picea abies* Karst., *Larix decidua* Mill., *Pinus cembra* L.), valutando i cambiamenti di forma dei condotti di piante giunte ormai alla loro massima altezza e con cimale disseccato per cause fisiologiche.

Inoltre sono state eseguite una serie di analisi collaterali per ricercare eventuali altri meccanismi compensativi che la pianta potrebbe adottare nel tentativo di limitare l'aumento di resistenza idraulica interna allo xilema.

Sono stati valutati anche gli effetti dei principali parametri climatici sulla xilogenesi.

Il lavoro, quindi, si presenta costituito da diversi capitoli, ognuno riguardante uno specifico argomento della ricerca.

Nel primo capitolo, attraverso il metodo dell'analisi del fusto, è stato possibile valutare l'accrescimento radiale, longitudinale e volumetrico delle piante esaminate.

Il profilo del fusto cambia nel corso dell'ontogenesi e la forma del cimale, significativamente diversa da quella delle parti inferiori, diviene sempre più cilindrica.

Nel secondo e quarto capitolo sono state approfondite le conoscenze sull'architettura idraulica di tre soggetti, valutando la forma dei condotti e la sua variazione nel tempo.

Le analisi sono state eseguite misurando il diametro delle tracheidi in ogni anello della pianta, a diverse altezze. I campioni legnosi, estratti lungo gli assi longitudinale e radiale del fusto, sono stati inclusi in paraffina, tagliati con microtomo rotativo e osservati al microscopio.

Per ogni pianta è stato possibile ricostruire il profilo longitudinale di almeno 20 anni precedenti il disseccamento del cimale: ne è risultato un grado di rastremazione prossimo alle soglie previste dal modello WBE. Tuttavia la forma dei condotti non deve ritenersi uniforme ma piuttosto spezzata dato che le cellule nel cimale sono decisamente più rastremate di quelle del fusto. Questa differenza aumenta in prossimità dell'anno del disseccamento suggerendo l'ipotesi che un peggioramento nel sistema di trasporto possa essere la causa di un aumento di resistenza idraulica. A questo proposito è stato stimato anche in numero totale di cellule presente nella sezione trasversale del fusto in vari anni ed a varie altezze.

Nel terzo capitolo si è dato ampio spazio alle relazioni clima-accrescimento ed è stato possibile verificare che il numero di cellule (ovvero lo spessore anulare) è molto più influenzato del lume del condotto dalla temperatura, dalle precipitazioni e dalla nuvolosità.

La pianta, a varie altezze del fusto, mostra risposte diverse: la zona più sensibile si collocherebbe alla base della chioma e questo potrebbe determinare ulteriori variazioni nella forma dei condotti e nei rapporti meccanici tra altezza e diametro.

Questa Tesi contribuisce in maniera innovativa alla ricerca in quanto indaga i cambiamenti ontogenetici in piante già giunte alla loro massima altezza. I risultati, seppur complessi e non completamente interpretabili, contribuiscono a sostenere l'ipotesi che un peggioramento nel sistema di conduzione può pesantemente limitare l'altezza delle piante.

# SUMMARY

During evolution, trees have developed anatomical and structural modifications in order to obtain an adequate longitudinal growth.

On Earth, some species grow taller than 100 m and a single giant sequoia tree spans about 12 orders of magnitude from seedling to mature tree.

However, vertical growth is not unlimited: every species grows to a maximum which can vary with the different environmental conditions.

At present, it is still uncertain which are the actual mechanisms determining the decline in height growth during ontogeny.

Among the scientific community it is commonly accepted the limitations to the height growth are size-related rather than age-related and, particularly, the ability to deliver water from roots to leaves (for the photosynthetic processes) seemed to be very important in this respect.

The whole tree architecture must be designed in order to guarantee an efficient long-distance transport and it is determined by mechanical and hydraulic constraints.

Hydraulic constraints arise from well-known physics laws, especially from the Hagen-Poiseuille law.

In fact, the ascent sap flow is affected, in fact, by the path-length, the cell radius and the wall roughness that cause high losses of energy and increase the cost of transport (hydraulic resistance).

A number of mechanisms of compensation are known to exist that help to minimize the increment of resistance with path-length but great attention has been attributed to a recent theoretical model (West *et al.*, 1999) that proposed the xylem tapering as a key compensation mechanism.

The degree of conduit tapering predicted by WBE model represents the minimum value on which evolutionary forces are converged: a cylindrical pipe, in fact, could induce limitations to height growth.

At present, scientists do not agree either that a minimum and universal threshold of conduit tapering does actually exist and either that this value is invariant during ontogeny.

The aim of this work is to increase the knowledge about the xylem structure, and its ontogenetic changes, in alpine conifers (*Picea abies* Karst., *Larix decidua* Mill., *Pinus cembra* L.) that have approached their maximum height and show physiological top dieback.

Beyond the tapering of conduits, further analyses are carried out in order to search other mechanisms of resistance compensation, , and the effects on xilogenesis of environmental variables are also investigated.

This research was divided in chapters, each dealing with a specific argument.

In the first issue it has been carried out the stem-analysis, a method used to evaluate radial, longitudinal and volumetric growth of the examined trees.

During ontogeny there was a change in the whole stem profile with the stem top, more tapered than the lower part, becoming more cylindrical.

The second and the fourth issues have focused on the hydraulic architecture of three individuals and have evaluated the shape of conduits and their variation with time.

At different heights along the stem, and within each tree-ring, diameter of tracheids has been measured. Woody samples have been extracted along the radial and the longitudinal axis, embedded in paraffin and cut by a rotative microtome. The obtained slides have been observed under a light microscope.

In each tree the longitudinal vessel profile has been analysed for a minimum of 20 years before the top dieback: the results showed a degree of tapering approaching the WBE model prediction. However, the degree of variation of conduits along the stem was not uniform but rather segmented: at the tree top vessels were more tapered than towards the base. This discrepancy increased when the trees were close to the dieback year and, in such situation, it seems that the hydraulic resistance increased. For this reason, the total number of cells in the cross-sections were measured for different years and heights.

Climate growth relationships have been analyzed in the third chapter, and the results showed that the cell production (ring width) was more related to environmental variables (temperature, precipitation and cloudiness) than cell lumen.

The intensity of responses to climate-signal was different along the tree stem: the most sensible zone was located at the crown base and this could be the cause of changes in cell's shape and of diameter:height ratio.

This Thesis has introduced a new element to the research about the limits to tree height, in fact it has investigated ontogenetical changes in trees that were approaching their maximum height.

The results, complex and not fully explained, would suggest that an insufficient degree of conduit tapering strongly constrains the height growth of trees.

# INDICE

<b>INTRODUZIONE</b>	<b>11</b>
<b>STRUTTURA, FUNZIONE E COMPLESSITÀ' DEL SISTEMA VASCOLARE VEGETALE</b>	<b>13</b>
<b>IL MODELLO DI WEST, BROWN ED ENQUIST (MODELLO WBE)</b>	<b>20</b>
<b>PRESENTAZIONE E SCOPO DELL'INDAGINE</b>	<b>26</b>
<b>CAPITOLO 1. ANALISI DENDRO-AUXOMETRICHE</b>	<b>29</b>
<b>1.1. DINAMICA DELL'INCREMENTO CORRENTE DI ALTEZZA E DI VOLUME IN CONIFERE DI ETÁ SUPERIORE AL SECOLO DI AMBIENTE SUBALPINO</b>	<b>31</b>
RIASSUNTO	31
1.1.1 INTRODUZIONE	31
1.1.2 MATERIALI E METODI	36
Area di studio	36
Raccolta del materiale legnoso e criteri di scelta	37
Analisi dendrometriche	38
Analisi statistiche	39
1.1.3 RISULTATI	40
Altezza	40
Volume	42
1.1.4 DISCUSSIONE	46
Altezza	46
Volume	48
1.1.5 CONCLUSIONI	49
<b>1.2. ANALISI DELLA RASTREMAZIONE DEL FUSTO DURANTE L'ONTOGENESI DI CONIFERE CON CIMALE DISSECCATO.</b>	<b>51</b>
RIASSUNTO	51
1.2.1. INTRODUZIONE	51
1.2.2. MATERIALI E METODI	56
Analisi statistiche	57
1.2.3. RISULTATI	58

Profili del fusto	58
Ontogenesi e rastremazione del fusto	61
Serie radiali (curva ipsometrica dinamica)	69
1.2.4. DISCUSSIONE	73
Cambiamenti ontogenetici nel profilo del fusto	73
Modelli di similarità elastica e geometrica	76
1.2.5. CONCLUSIONI	78
<b>1.3. DISTRIBUZIONE DELL'ALBURNO E DEL DURAME LUNGO IL FUSTO DI UN INDIVIDUO DI <i>LARIX DECIDUA</i> MILL.</b>	<b>81</b>
RIASSUNTO	81
1.3.1. INTRODUZIONE	81
1.3.2. MATERIALI E METODI	84
Alburno e durame	84
Analisi cellulari	85
1.3.2. RISULTATI	86
Anelli di alburno e durame e loro spessore	86
Area dell'alburno	90
1.3.3. DISCUSSIONE	92
1.3.5. CONCLUSIONI	96
<b><u>CAPITOLO 2. ANALISI CELLULARI</u></b>	<b>97</b>
<b>2.1. ANALISI DELL'ANATOMIA CELLULARE IN CONIFERE DI ALTA QUOTA.</b>	<b>99</b>
RIASSUNTO	99
2.1.1. INTRODUZIONE	99
2.1.2. MATERIALI E METODI	103
Analisi cellulari	103
Modelli ed analisi statistiche	105
2.1.3. RISULTATI	106
Serie radiali	106
Modello segmentato	109
2.1.4. DISCUSSIONE	113
Serie radiali	113
Modello segmentato	115
2.1.5. CONCLUSIONI	117



## **CAPITOLO 3. RELAZIONI CLIMA-ACCRESIMENTO (DETERMINANTI AMBIENTALI)119**

<b>3.1. QUAL'E' LA PARTE PIU' SENSIBILE AL CLIMA LUNGO IL FUSTO?</b>	<b>121</b>
RIASSUNTO	121
3.1.1. INTRODUZIONE	121
3.1.2. MATERIALI E METODI	124
Dati meteorologici	124
Costruzione delle cronologie e relazioni clima-accrescimento	125
3.1.3. RISULTATI	126
Anni caratteristici	126
Relazioni clima-accrescimento e sensitività a varie altezze del fusto	126
Risposte climatiche in differenti esposizioni del fusto	133
3.1.4. DISCUSSIONE	135
Anni caratteristici	135
Relazioni clima-accrescimento	136
Risposte climatiche in diverse parti del fusto	139
3.1.5. CONCLUSIONI	141
<b>3.2. VARIABILI CLIMATICHE ED AMPIEZZA CELLULARE. UN CASO DI STUDIO IN CONIFERE ALPINE.</b>	<b>143</b>
RIASSUNTO	143
3.2.1. INTRODUZIONE	143
3.2.2. MATERIALI E METODI	146
3.2.3 RISULTATI	147
Relazioni clima-accrescimento	147
Analisi della risposta climatica lungo il fusto	151
3.2.4 DISCUSSIONE	153
CONCLUSIONI	158

## **CAPITOLO 4. ALLOMETRIE VEGETALI** **159**

<b>4.1. FORMA DEI CONDOTTI XILEMATICI E VARIAZIONI ONTOGENETICHE IN CONIFERE D'ALTA QUOTA CON CIMALE DISSECCATO.</b>	<b>161</b>
RIASSUNTO	161
4.1.1. INTRODUZIONE	162
4.1.2. MATERIALI E METODI	166
4.1.3. RISULTATI	166
Diametro idraulico (Dh) vs diametro (D)	166

Diametro idraulico (Dh) vs distanza dalla cima (L)	172
La rastremazione in rapporto a D ed L	177
Serie radiali di Dh	180
4.1.4. DISCUSSIONE	185
Rastremazione e ontogenesi	185
Forma dei condotti e disseccamento del cimale	188
4.1.5. CONCLUSIONI	192
<b>4.2. ANALISI DELLA RELAZIONE TRA IL NUMERO DI CONDOTTI ED IL DIAMETRO DEL FUSTO IN UN INDIVIDUO DI LARICE (<i>LARIX DECIDUA</i> MILL).</b>	<b>195</b>
RIASSUNTO	195
4.2.1. INTRODUZIONE	195
4.2.2. MATERIALI E METODI	198
4.2.3. RISULTATI	199
Variazioni longitudinali del $N_{\text{cell}}$ vs D	199
Analisi delle serie radiali	203
4.2.4. DISCUSSIONE E CONCLUSIONI	207
<b><u>CONCLUSIONI</u></b>	<b><u>211</u></b>
<b><u>BIBLIOGRAFIA</u></b>	<b><u>217</u></b>
<b><u>APPENDICE</u></b>	<b><u>237</u></b>

## INTRODUZIONE



*“Gli alberi sono lo sforzo infinito della terra  
per parlare al cielo in ascolto”*

(Rabindranath Tagore, scrittore e filosofo indiano, 1861-1941)



## STRUTTURA, FUNZIONE E COMPLESSITÀ' DEL SISTEMA VASCOLARE VEGETALE

Numerosi studi paleontologici hanno dimostrato che i primi organismi vegetali in grado di colonizzare le terre emerse comparvero all'incirca 470 milioni di anni fa (Wellman e Gray, 2000) e che questi soggetti, transitando da un mezzo acquoso ad uno gassoso, dovettero affrontare importanti cambiamenti fisiologici, anatomici e compositivi (Kenrick e Crane, 1997). I fossili più antichi, attestanti la presenza di un rudimentale sistema di trasporto dei liquidi, di un fusto differenziato e di una crescita di tipo apicale risalgono al primo Siluriano (430 milioni di anni fa) e sono relativi al gruppo delle eotracheofite, le prime piante a presentare innovazioni strutturali tali da determinare la futura evoluzione vegetale.

Le dimensioni dei primi generi (es. *Rhynia*, *Aglaophyton*) erano estremamente ridotte, non superando i 10 cm di altezza, (Kenrick e Crane, 1997; Roth-Nebelsick *et al.*, 2000) ma i paleontologi sono concordi nell'affermare che, nel corso delle ere geologiche, la strategia vincente delle piante sia stata quella di incrementare la massa dell'organismo per cui i *taxa* derivati presenterebbero dimensioni mediamente maggiori di quelle dei gruppi da cui si sono evoluti, così come ipotizzato nella legge di Cope (Enquist, 2002, Enquist *et al.*, 2007; Clausen e Erwin, 2008).

L'aumento delle dimensioni (e quindi dell'altezza) potrebbe essere favorito nella selezione naturale sia da fattori biotici che abiotici infatti alberi di taglia maggiore sarebbero in grado di vincere gli altri nella competizione per le risorse nutritive o limitanti (Enquist, 2002).

La ricerca della luce rappresenta, infatti, un'attività determinante per lo sviluppo e produce considerevoli effetti anche sulle differenti strategie allocative dell'organismo (King, 1990; Schwinning e Weiner, 1998; King *et al.*, 2005) inoltre alberi di taglia maggiore sono in grado di escludere i competitori mediante l'ombreggiamento. Recenti studi (Falster e Westoby, 2003) hanno però sottolineato che nella competizione per la luce il rapporto relativo tra piante potrebbe avere un'importanza maggiore dell'altezza assoluta: da questo è possibile dedurre che le maggiori dimensioni delle specie attuali rispetto alle antenate ancestrali non possono essere attribuite solamente a strategie competitive.

Altri vantaggi che vengono attribuiti all'aumento della taglia sono legati alle capacità riproduttive (Enquist, 2002; Brown *et al.*, 2004) connesse all'incremento di longevità dell'individuo, e alle migliorate condizioni di dispersione dei gameti, conseguenza diretta della distanza dei propaguli dal suolo (Nathan *et al.*, 2008), possibilità che, in ogni caso, sarebbe più

favorevole alle specie a disseminazione anemocora (Wright *et al.*, 2008) piuttosto che zoocora o idrocora.

In letteratura, tra gli altri benefici ottenibili, viene registrata anche la possibilità, per le piante più grandi, di stabilizzare il microclima (King, 1990) ed allo stesso tempo di diversificarlo con la creazione di una serie di nicchie favorevoli all'eccesso della specie.

Gli innegabili vantaggi presentati dalle specie di grandi dimensioni, se comparati a quelle più piccole, proposti come spiegazione del *perché* nel corso dell'evoluzione si sia seguita la regola di Cope, non consentono però di spiegare *come* sia stato possibile giungere agli attuali individui, che possono superare i 100 m di altezza.

Inoltre deve essere rilevata l'esistenza una certa confusione nomenclaturale tra i termini dimensione, massa, altezza, taglia (quest'ultima tradotta dal termine inglese, piuttosto equivoco, *size*) spesso utilizzati nel senso di "individuo che ha accumulato una biomassa notevole" che non definiscono specificatamente se tale massa è distribuita longitudinalmente lungo il fusto (ottenendo alberi "alti", propriamente detti), o in senso trasversale (elevati diametri).

Dal punto di vista biologico poi, risulta spontaneo associare le dimensioni all'età dato che, come in tutti gli altri animali vertebrati, anche nella nostra specie è possibile verificare negli anni l'accumulo di biomassa dell'organismo cosicché un bambino sarà sempre di dimensioni minori di quelle di un adulto. L'idea di una stretta dipendenza tra dimensioni ed età è invece spesso fuorviante negli alberi (Schweingruber, 1996): in molte occasioni infatti è possibile rintracciare soggetti di ridotte dimensioni ma di età secolari e viceversa individui enormi che hanno accumulato tutta la biomassa in pochi decenni. L'equivoco tra "grande" e "vecchio", un altro fattore disorientante piuttosto presente in letteratura (Niinemets, 2002), è stato al centro di accese discussioni scientifiche (Enquist, 2002; Magnani *et al.*, 2004; Mencuccini *et al.*, 2005) anche per le importanti implicazioni biologiche che derivano dall'uso dell'uno o dell'altro vocabolo, particolarmente se ci si riferisce ai processi ontogenetici di un singolo individuo.

Per cercare di dare una risposta alla domanda: "come le piante riescono a raggiungere determinate altezze?" è quindi necessario focalizzare l'attenzione sulle modalità di sviluppo, nel tempo, dell'organismo.

L'ontogenesi può quindi essere definita come l'insieme dei processi, guidati dalle informazioni codificate nel codice genetico, con i quali un essere vivente compie la propria evoluzione biologica partendo dagli stadi embrionali fino alla formazione definitiva dell'individuo (Wareing e Seth, 1967).

L'invecchiamento del soggetto, inteso come il semplice accumulo del numero di anni di vita (*ageing*, Wareing e Seth, 1967; Woolhouse, 1972), risulta quindi un elemento fondamentale per portare a termine queste trasformazioni.

Nelle piante però, al contrario degli animali, non si rilevano destrutturazioni significative a livello cellulare (Woolhouse, 1972) ma piuttosto variazioni nella fisiologia e nelle strategie di allocazione della biomassa prodotta attraverso la fotosintesi (McCarthy e Enquist, 2007).

In tutte le specie legnose terrestri, nonostante le diverse dimensioni, l'accrescimento viene perseguito seguendo lo stesso meccanismo ossia ricoprendo con un cono legnoso, quasi come un guscio esterno, i precedenti.

Questo implica che in ogni anno il fusto verrà contemporaneamente allungato ed ingrossato.

Le crescite longitudinale e radiale, pur essendo strettamente correlate, mostrano andamenti temporali decisamente diversi (Sumida *et al.*, 1997): mentre l'aumento diametrico si può considerare continuo durante tutta la vita dell'individuo, l'accrescimento longitudinale è destinato ad "esaurirsi" in tempi piuttosto precoci di modo che la pianta raggiunge una certa altezza massima, tipica della specie (Woolhouse, 1972; Ryan e Yoder, 1997; Midgley, 2003; Koch *et al.*, 2004; Niklas e Spatz, 2004; Niklas, 2007).

A livello individuale, indipendentemente dalle caratteristiche stazionali, la riduzione dell'incremento annuo di altezza con il concomitante aumento delle dimensioni della pianta è un fenomeno universale, osservabile in tutte le specie arboree (Weiner e Thomas, 2001; Zens e Webb, 2002).

La domanda posta in precedenza, sul come sia possibile ottenere una certa altezza deve quindi essere quindi perfezionata in: "perchè le piante non sono in grado di crescere all'infinito in altezza?"

Nel corso degli anni sono state numerose le proposte per tentare di spiegare questa apparente "perdita di vitalità" della pianta registrata sia a livello di singolo individuo che di popolamento (Gower *et al.*, 1996; Murty *et al.*, 1996; Ryan e Yoder, 1997; West *et al.*, 1999a,b; Enquist, 2002; Magnani *et al.*, 2002; Mencuccini, 2003; Anfodillo *et al.*, 2006; Du *et al.*, 2008) e che contribuisce ad rafforzare l'idea di una perdita di efficienza del sistema sincrona all'invecchiamento (Gerrish, 1990; Bond *et al.*, 2007).

La "senescenza", intesa in accezione negativa (fase di *stress* prolungato precedente la morte) è un concetto molto radicato in selvicoltura (Mencuccini *et al.*, 2005; Anfodillo, 2005) e l'inizio di questa fase viene solitamente determinato dalla comparsa di organi (quali le foglie) e strutture (tipo di ramificazione) diversi rispetto a quelli prodotti in precedenza che inducono variazioni nella fisiologia globale del soggetto (Woolhouse, 1967).

È stato dimostrato, ad esempio, che in alberi “vecchi” (di grandi dimensioni) vi è una efficienza di assimilazione minore di quella possibile per le piante giovani della stessa specie (Marshall e Monserud, 2003; Bond, 2000; Kenzo *et al.*, 2006).

Questo fatto potrebbe avere due spiegazioni opposte: la prima porta ad immaginare che la pianta, nel corso dell’ontogenesi, produca foglie con struttura differente (la foglia di un albero vecchio sarebbe inefficiente dal momento della formazione) e per questo si dovrebbe supporre un cambiamento nell’informazione genetica di base ossia nella decodificazione dei geni (Woolhouse, 1967; Monteuis *et al.*, 2008); la seconda ipotesi suggerirebbe invece la presenza di elementi esterni od interni alla pianta limitanti la funzionalità delle foglie stesse.

Quest’ultima possibilità, molto più realistica, verrebbe confermata dal fatto che nello stesso soggetto le foglie delle parti più alte della chioma assimilano meno rispetto a quelle poste più in basso (Schafer *et al.*, 2000; Niinemets, 2002; McDowell *et al.*, 2002b; Koch *et al.*, 2004).

L’ipotesi di una limitazione dell’altezza dipendente dall’età della pianta e da cambiamenti nel patrimonio genetico è stata proposta da numerosi Autori (Yoder *et al.*, 1994; Gower *et al.*, 1996; Bond, 2000; Day *et al.*, 2001, 2002; Binkley *et al.*, 2002) ma non risulta convincente in quanto non vi sono chiare evidenze di una degenerazione nei meristemi nel corso del tempo (Woolhouse, 1972; Wareing e Seth,; Onate e Mussè-Bosch, 2008) nemmeno in soggetti di *Pinus longeva* di 4700 anni di età (Lanner e Connor, 2001).

Esperimenti più recenti, condotti da Mencuccini *et al.* (2005), Bond *et al.* (2007), Mencuccini *et al.* (2007) e Petit *et al.* (2008) hanno dimostrato che i tessuti meristemati di rami di alberi vecchi, se innestati su giovani piante, sono in grado di riprendere normalmente la crescita longitudinale.

Anche se i meccanismi di limitazione innescati dall’età non possono essere completamente esclusi l’altezza delle piante, e quindi il suo sviluppo nel corso dell’ontogenesi, deve essere riferita ad altri fattori, legati alle dimensioni del soggetto, come già intuito da Maggs (1964 in Enquist, 2003).

L’aumento delle dimensioni quindi, nonostante i numerosi benefici elencati in precedenza, non sarebbe privo di svantaggi ed i principali pericoli che gli alberi devono affrontare durante la loro esistenza sono principalmente connessi alla stabilità meccanica ed idraulica.

Nel primo caso la pianta deve accumulare una grande quantità di biomassa legnosa in grado di garantire un adeguato ancoraggio al suolo ma il peso addizionale aggiunto oltre una certa distanza critica dal terreno potrebbe comportare flessioni del fusto e rendere l’individuo soggetto a schianti in concomitanza di abbondanti nevicate, trombe d’aria ed altri eventi calamitosi (McMahon, 1973; Niklas, 1994a,b, 1999; Meng *et al.*, 2006).



I limiti meccanici, pur rivestendo un ruolo di importanza primaria, non forniscono una spiegazione esauriente, tale da svelare completamente i meccanismi che limitano la crescita in altezza delle piante. Alcuni Autori (Niklas e Spatz, 2004; Niklas, 2007) hanno inoltre osservato che quasi tutte le specie attuali, se limitate esclusivamente dal punto di vista meccanico, potrebbero comunque continuare ad accrescersi fino a raggiungere un ordine di grandezza superiore a quello attuale.

La comunità scientifica è sembrata perciò concorde sulla maggiore importanza delle limitazioni idrauliche rispetto a quelle meccaniche (Mencuccini e Grace, 1996; Ryan e Yoder, 1997; McDowell *et al.*, 2002b; Mencuccini, 2002; Niklas e Spatz, 2004; Delzon *et al.*, 2004; Ryan *et al.*, 2005).

La comparsa di *Rhynia* sulla Terra ha permesso alle piante di fare il primo passo per superare un grande ostacolo evolutivo: quello, cioè, di garantire un adeguato rifornimento di acqua e sostanze nutritive a tutte le parti dell'organismo spostando i liquidi verso l'alto (Roth-Nebelsick *et al.*, 2000). La necessità di formare un buon sistema di trasporto risulta da allora di vitale importanza per tutte le specie vegetali, in quanto da esso dipendono strettamente i processi di assimilazione ed, in definitiva, la crescita e la perpetuazione della specie.

Lo xilema, un insieme di cellule morte, rappresenta il tessuto adibito a questa funzione: in esso l'acqua si muove attraverso il ben noto *continuum* suolo-pianta-atmosfera (Sperry *et al.*, 2003; Angeles *et al.*, 2004; Zimmermann *et al.*, 2004).

Lo xilema di conifere ed angiosperme, indipendentemente dalla differenza anatomica del tessuto (Becker *et al.*, 1999; Hacke e Sperry, 2001; Karam, 2005), presenta una notevole complessità ed una molteplicità di percorsi tra loro ridondanti, in modo che l'acqua, in caso di danni ai condotti, possa evitare queste zone (Hacke *et al.*, 2006).

Tuttavia il flusso maggiore avviene in senso longitudinale perciò è risultato naturale semplificare la struttura dello xilema e considerarlo come un insieme di tubi indipendenti decorrenti in parallelo dalla base all'apice del fusto (Shinozaki *et al.*, 1964).

Il fattore chiave nella determinazione dell'altezza delle piante e nella comprensione delle strutture di conduzione selezionate nel corso dell'evoluzione potrebbe essere rappresentato dall'aumento della resistenza idraulica, interna ai condotti xilematici, correlata all'aumento della distanza di trasporto della linfa tra il suolo e le foglie (Ryan e Yoder, 1997; West *et al.*, 1997, Enquist, 2002).

Lungo questo percorso si osserverebbero infatti delle perdite di energia dovute all'attrito contro le pareti cellulari, le punteggiature o altre zone di giunzione di due elementi vasali (Aumann *et al.*, 2006; Pittermann *et al.*, 2006) inoltre, per la Legge di Hagen-Poiseuille (Sperry e Hacke,

2004; Sperry *et al.*, 2005), i condotti di lume ridotto porterebbero ad enormi aumenti di resistenza idraulica.

La prima ipotesi proposta alla comunità scientifica per spiegare la riduzione dell'accrescimento longitudinale delle piante si basava sull'evidenza sperimentale che un incremento di resistenza idraulica portava alla chiusura degli stomi e quindi alla limitazione dei processi fondamentali, quali la fotosintesi (*Hydraulic Limitation Hypothesis* (HLH) Ryan e Yoder, 1997).

Per la legge di Hagen-Poiseuille si verificherebbe inoltre un aumento lineare di resistenza all'aumentare della lunghezza del percorso (ossia della distanza da terra): questa forte semplificazione non è stata completamente verificata nelle piante a causa di meccanismi compensativi in grado di ridurre la resistenza idraulica. Fra questi debbono essere annoverati: l'aumento di produzione di radici fini (Magnani *et al.*, 2000), l'aumento della quantità dell'alburno in rapporto all'area fogliare (McDowell *et al.*, 2002a; Sala, 2006) e della sua permeabilità (Pothier *et al.*, 1989).

La relazione tra altezza massima e resistenza idraulica, già intuita da altri Autori (Shinozaki *et al.*, 1964; Ryan e Yoder, 1997) rappresenta la base di modelli più complessi (West *et al.*, 1997) che si prefiggono di fornire delle spiegazioni matematiche universali riguardo le modalità di crescita degli alberi.

Il lavoro proposto da West *et al.* (1997, 1999a,b, WBE) nonostante le assunzioni biologicamente scorrette o inverosimili, che lo hanno reso bersaglio di pesanti critiche (Midgley, 2003; Kozlowski e Konarzewski, 2004; 2005; Bokma, 2004; Zaehle, 2005) è però un apprezzabile tentativo di considerare la pianta nel suo insieme (Niklas, 2006), relazionando le dimensioni dei vari organi attraverso una struttura di tipo segmentato, in modo da mantenere delle proporzioni abbastanza stabili durante la crescita.

Un'altro pregio è quello di aver compreso l'importanza della rastremazione dei vasi di conduzione, già descritta molti anni prima (Zimmermann, 1974), che potrebbe rivelarsi un meccanismo di regolazione fondamentale nel corso dell'ontogenesi, riducendo le perdite energetiche e stabilizzando il valore della resistenza idraulica.

Il modello WBE immagina piante che non presentano riduzioni di accrescimento longitudinale, quindi del tutto teoriche e non rispondenti alla realtà, mentre l'ipotesi HLH non riconosce l'importanza della rastremazione come meccanismo compensativo nei confronti dell'aumento della resistenza idraulica.

Le due ipotesi non si escludono a vicenda ed è possibile proporre un modello di compromesso (Anfodillo *et al.*, 2006; Petit *et al.*, 2008) in cui si presuppone che nei primi decenni di vita la pianta presenti rapporti ottimali di rastremazione, come previsto dal WBE, mentre con il passare

del tempo questa rastremazione non sia più in grado di essere mantenuta e peggiori portando alle riduzioni di accrescimento spiegate dalla HLH.

Questa visione non sarebbe in contrasto neppure con l'ipotesi (Magnani *et al.*, 1996, 2000, 2002, 2008) di una struttura vegetale che permetta di ottimizzare l'assimilazione mediante una equilibrata allocazione dei fotosintati e che mantenga, al contempo, il livello minimo di potenziale idrico al di sopra della soglia di innesco della cavitazione xilematica.

Le considerazioni presentate fino ad ora potrebbero spiegare le modalità di accrescimento longitudinale delle piante ed i meccanismi che conducono alla riduzione della lunghezza del getto apicale annuo. Allo stesso tempo il concetto di senescenza potrebbe essere valutato in una nuova accezione: non più come un inesorabile declino fino ad arrivare alla morte della pianta ma piuttosto come uno stato di sub-ottimalità dell'intera struttura vegetale perpetrato per un tempo illimitato una volta che la stessa abbia stabilizzato le sue dimensioni su di una soglia massima (Anfodillo, 2005).

Il meccanismo di limitazione dell'altezza così proposto, può considerarsi universale.

Perchè, allora, alberi della stessa specie ma vegetanti in zone completamente diverse presentano altezze anche molto differenti?

La relazione tra questa dimensione della pianta ed il suo ambiente di crescita, lungamente studiata in campo forestale (Ryan e Yoder, 1997) è normalmente alla base delle pianificazioni forestali (Susmel, 1980; Wang, 1994, 1998) e si basa sulla constatazione che alberi di ambienti molto freddi o aridi presentano stature (quindi produzioni legnose) decisamente inferiori a quelle di alberi cresciuti in condizioni ottimali.

I determinanti ambientali (temperatura, precipitazioni) influiscono pesantemente sulla xilogenesi, regolando la distensione cellulare (Rossi e Deslauriers, 2007; Gricar e Cufar, 2008) ed in definitiva agendo sulla rastremazione dei condotti (Coomes *et al.*, 2007; Fisher *et al.*, 2007), limitandone la funzione regolatrice sulla resistenza idraulica

Se le condizioni ambientali fossero ottimali si dovrebbero teoricamente ottenere piante in grado di estrinsecare appieno il loro patrimonio genetico (Anfodillo *et al.*, 2006; Weitz *et al.*, 2006; Fisher *et al.*, 2007) e quindi di raggiungere la massima altezza specifica, il cui valore dovrebbe essere attribuito esclusivamente a meccanismi fisiologici di base e a caratteristiche strutturali e compositive tipiche di quella specie.

Alcuni ambienti estremamente limitanti per la crescita, quali la *treeline* (Korner, 1998; 2003), o comunque le zone di quote elevate, si prestano particolarmente bene all'indagine degli effetti del clima sulle piante (Korner e Paulsen, 2004; Shi *et al.*, 2006; Anfodillo, 2007), anche nell'ottica

di constatare le deviazioni dell'architettura idraulica dalla struttura teorica ipotizzata da West *et al.* (1997, 1999).

L'albero, da questo punto di vista, si presenta come un essere vivente straordinario, in grado adattarsi ai più diversi ambienti (Phillips *et al.*, 2008) modificando la propria struttura costituita per la maggior parte di massa morta, capace di assorbire acqua da grandi profondità ed elevarla fino ad un centinaio di metri in altezza (Enquist, 2003) senza la necessità di un trasporto metabolicamente attivo ma "semplicemente" utilizzando l'energia solare (Zimmermann, 1993; Sperry *et al.*, 2002; Tyree, 2003; Buckley, 2005).

Risulta quindi di estremo interesse approfondire le conoscenze sulla sua fisiologia anche nell'ottica, futura ma non troppo, di un possibile utilizzo delle nuove scoperte a fini ingegneristici.

#### IL MODELLO DI WEST, BROWN ED ENQUIST (MODELLO WBE)

Tutti gli organismi vegetali ed animali conosciuti hanno beneficiato, nel corso dell'evoluzione, della differenziazione delle dimensioni corporee: questo ha permesso di ottenere una gran varietà di strategie di sopravvivenza (Brown *et al.*, 2000) ed un miglior utilizzo delle risorse disponibili nell'ambiente (Binkley *et al.*, 2004).

Nonostante l'universalità dei principi matematici e fisici (Brown *et al.*, 2000) i cambiamenti di dimensione risultano determinanti per il funzionamento di tutte le strutture biologiche ed i processi fisiologici, anche a livello dell'ontogenesi di un singolo individuo (West *et al.*, 1997).

Diversi studi scientifici (Whithield, 2001; Economo *et al.*, 2005; Da Silva *et al.*, 2006) hanno infatti verificato che la dipendenza di numerose variabili biologiche (Y) dalla massa dell'organismo (M) potrebbe essere descritta attraverso una potenza di forma:

$$Y = y_0 M^b$$

con costante  $y_0$  ed esponente  $b$ , detta, appunto, equazione allometrica (McMahon e Kronauer, 1976) per il fatto che l'esponente  $b$  differisce quasi sempre dall'unità (Brown *et al.*, 2000).

Murray (1927) fu uno dei primi scienziati a notare che questo esponente si collocava spesso su valori inferiori ad 1, in seguito si identificarono valori di scala prossimi a 2/3 (Kikuzawa, 1999; Speakman, 2005) o 3/4 (Savage *et al.*, 2004) a seconda che le variabili esaminate fossero basate su strutture geometriche di tipo euclideo o si fosse considerata la forma segmentata (o auto-simile) spesso osservata nelle strutture naturali (Mandelbrot *et al.*, 1998).

In biologia la superiorità di quest'ultima assunzione è stata ribadita più volte (Niklas, 1994a; Savage *et al.*, 2004; Farrell-Gray e Gotelli, 2005), anche se non sono mancate le perplessità (Bokma, 2004; Li *et al.*, 2005; Glazier, 2005; Da Silva *et al.*, 2006; Etienne *et al.*, 2006), ed ha costituito la base per un nuovo modello, estremamente esteso e complesso, proposto da West, Brown ed Enquist (WBE *model*) in una prima versione (West *et al.*, 1997) in seguito riveduta e corretta (West *et al.*, 1999a).

Un principio estremamente importante, sul quale si fonda l'intero modello, sarebbe quello per cui i tempi ed i rapporti biologici dipenderebbero strettamente dalle modalità di scambio di energia e molecole tra i vari tessuti (West *et al.*, 1997; 1999; Brown *et al.*, 2000).

La presenza di una struttura di tipo frattale dovrebbe garantire una certa uniformità nelle relazioni tra le caratteristiche anatomiche, fisiologiche e persino ecologiche, suggerendo l'esistenza di un meccanismo comune previsto da un esponente allometrico multiplo di 1/4 (Brown *et al.*, 2000).

Un modello così strutturato si presta perciò a previsioni estese sia a livello di comunità (rarietà delle specie, densità dei popolamenti) che a livello di individuo (struttura del sistema di trasporto, altezza delle piante ecc...), addirittura considerandone l'ontogenesi.

Ai fini di questo studio la proposta di West *et al.* (1999b) non viene esaminata integralmente ma solo nella sezione riguardante l'anatomia delle piante vascolari e le relative implicazioni fisiologiche.

Pochi modelli, infatti, hanno cercato di legare tra loro le relazioni esistenti tra la geometria dell'intera pianta, l'anatomia microscopica del sistema vascolare ed i processi fisiologici dovuti al flusso dei liquidi (Enquist *et al.*, 2000). Tra questi deve essere ricordato il "*pipe model*" di Shinozaki *et al.* (1964), semplicistico e spesso criticato (Tyree e Ewers, 1991) o rivisto (Rennolls, 1994; Deckmyn *et al.*, 2006), a cui bisogna rendere il merito di aver consolidato e sviluppato l'osservazione di Leonardo da Vinci sul fatto che l'architettura della pianta riflette direttamente quella idraulica. Il *pipe model* ha così consentito di creare le basi per la comprensione del disegno strutturale degli alberi e della loro funzionalità, collegando con proporzionalità diretta l'area conducente a quella fotosintetizzante.

Nella sua formulazione originale (West *et al.*, 1997) il modello WBE non poteva essere applicato al sistema vascolare vegetale in quanto i condotti di trasporto, al pari di quelli animali, venivano ipotizzati con biforcazioni. La criticità di questo punto (Petit, 2008) ha costretto gli Autori a riformulare le equazioni già pubblicate ed adottare la semplificazione di Shinozaki *et al.* (1964).

La struttura xilematica delle piante viene così idealizzata come un insieme di tubi identici decorrenti in parallelo dalla base all'apice del fusto e che si estendono con continuità dalle radici ai piccioli delle foglie.

La pianta è immaginata con una struttura gerarchica composta di livelli autosimili (struttura frattale) in cui il rapporto di ramificazione ( $n$ ), detto *branching ratio*, risulterebbe costante e pari a 2.

Le assunzioni fondamentali del WBE *model* sono pertanto:

- 1) una rete di ramificazione tale da consentire l'approvvigionamento idrico di tutte le cellule (*volume-filling*);
- 2) l'invarianza delle dimensioni degli elementi terminali nel corso dell'ontogenesi (*size-invariance*);
- 3) la minimizzazione dell'energia richiesta per il trasporto delle risorse;
- 4) l'uniformità dei limiti biomeccanici;

La quarta assunzione è stata proposta nella seconda formulazione del modello (West *et al.*, 1999a).

Per una dettagliata analisi del modello WBE si rimanda alla trattazione di Petit (2008), in questo lavoro si riporteranno, invece, esclusivamente le equazioni relative agli argomenti trattati, al fine di facilitare la comprensione delle analisi eseguite.

Nel modello l'architettura frattale della pianta viene descritta da una serie di successioni geometriche in cui il livello di base viene solitamente indicato con il pedice 0, quello dei piccioli con N e quello dei livelli intermedi (K) con un numero progressivo dalla base verso l'apice.

I rapporti principali, due in origine, sono stati fissati a tre quando il modello è stato proposto specificatamente per le piante (West *et al.*, 1999) e sono:

- a) il rapporto tra i raggi ( $r$ ) del fusto, o ramo, appartenenti a due livelli successivi (livello  $-k$  di ramificazione):

$$\beta_k = \frac{r_{k+1}}{r_k} = n^{-a/2} \quad (1)$$

Per il principio dell'*area preserving*  $a=1$  in ogni livello ovvero, in accordo con le osservazioni di Leonardo da Vinci, la somma dell'area trasversale di tutti i rami di ogni diramazione è la medesima del tronco che li ha generati.

- b) il rapporto tra le lunghezze del fusto o ramo ( $l$ ) di due livelli successivi. Si basa sul principio del *volume-filling*:

$$\gamma_k = \frac{l_{k+1}}{l_k} = n^{-1/3} \quad (2)$$

c) il rapporto tra i raggi ( $d$ ) dell'elemento di conduzione a diverse altezze:

$$\bar{\beta}_k = \frac{d_{k+1}}{d_k} = n^{-\bar{a}/2} \quad (3)$$

L'equazione 3 assume una importanza fondamentale nel presente lavoro ed in tutte le trattazioni che si occupano di stabilire i meccanismi che regolano l'altezza massima delle piante. Per mantenere l'assunto secondo il quale il volume di linfa complessivo nella pianta è in rapporto diretto con il proprio metabolismo (Petit, 2008) gli Autori hanno dovuto introdurre l'idea che i condotti xilematici presentassero lume di dimensione diversa tra livelli, ovvero rastremassero (West *et al.*, 1999a).

Il significato della riduzione dei diametri cellulari dalla base all'apice del fusto non era finora stato compreso e, seppure questa caratteristica anatomica fosse stata verificata in anni precedenti (Zimmermann, 1974), la modellizzazione del sistema di trasporto continuava a seguire le indicazioni di Shinozaki *et al.* (1964) che consideravano il condotto isodiametrico in ogni punto del fusto.

West *et al.* (1999) immaginano invece che il minimo grado di rastremazione xilematica sia universale in quanto tutte le piante devono rispondere al principio della stabilizzazione dell'energia ed alle leggi idrauliche che guidano il flusso dei liquidi nei condotti.

Si osserva, in particolare, che in accordo con la legge di Hagen-Poiseuille (Tyree e Ewers, 1991) la capacità di trasporto dell'acqua ( $J$ ) di un tubo è legata alla quarta potenza del suo raggio ( $d$ ) ed è linearmente proporzionale alla lunghezza del percorso ( $l$ ). Reciprocamente la resistenza idraulica ( $R$ , che rappresenta una perdita energetica) sarà descritta dalla formula:

$$Ri = \frac{1}{J} = \frac{8\eta l_k}{\pi d_k^4} \quad (4)$$

In cui  $\eta$  rappresenta la viscosità dell'acqua.

Per il modello WBE la resistenza totale ( $R_{TOT}$ ) della pianta coincide con la somma delle resistenze ai vari livelli perciò la formula che ne risulta è:

$$R_{TOT} = \sum_{k=0}^N R_k^i = \left[ \frac{1 - \left[ \left( n^{1/3} - 1 \right) l_T / l_N \right]^{(1/6 - \bar{a})}}{1 - n^{(1/3 - 2\bar{a})}} \right] (R_N) \quad (5)$$

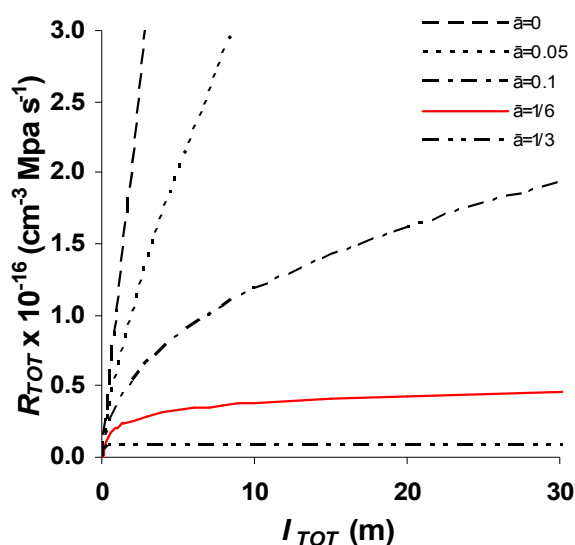
In cui  $R_N$  rappresenta la resistenza dell'elemento terminale, di lunghezza  $l_N$ , ed  $l_T$  l'altezza complessiva della pianta.

Normalmente l'elemento terminale presenta una lunghezza insignificante rispetto alla lunghezza totale del percorso perciò la resistenza idraulica dipenderà completamente dal grado di rastremazione dei condotti ( $\bar{a}$ ).

Gli Autori (Enquist *et al.*, 1999; West *et al.*, 1999) distinguono quindi fra due casi matematici:

- 1)  $\bar{a} < 1/6$  la resistenza aumenta in modo meno che proporzionale con l'altezza della pianta. Se  $\bar{a} = 0$  l'aumento è lineare a causa dell'assenza di rastremazione.
- 2)  $\bar{a} > 1/6$  la resistenza diviene indipendente dal percorso e quindi stabilizzata ai vari livelli.

La rastremazione minima che le piante dovrebbero aver sviluppato nel corso dell'evoluzione dovrebbe quindi essere pari ad  $1/6$  (0.167).



**Figura 1.**

Variatione della resistenza idraulica in funzione del grado di rastremazione del condotto ( $\bar{a}$ ). Condotti cilindrici conducono velocemente ad elevate resistenze totali ( $R_{TOT}$ ) anche in presenza di altezze della pianta ( $l_{TOT}$ ) ridotte. (da Petit, 2008).

L'effetto della rastremazione appare evidente in Figura 1: condotti poco rastremati conducono in breve tempo alla resistenza massima della specie con disastrosi effetti cavitativi (Becker *et al.*, 2000; Becker e Gribben, 2001) che possono condurre al disseccamento delle parti distali del fusto (Sperry *et al.*, 2002; Davis *et al.*, 2002).

La quarta assunzione del modello WBE prevede che la struttura della pianta sia ottimizzata anche per resistere alle sollecitazioni meccaniche (West *et al.*, 1999). La relazione individuata per descrivere questa funzione è molto nota in letteratura (King, 1986; Norberg, 1988; Niklas, 1994a,c):

$$\frac{l_k}{l_N} = \left( \frac{r_k}{r_N} \right)^{2/3a} \quad (6)$$



In particolare il coefficiente di rastremazione del fusto ( $\alpha$ ) ossia l'esponente del raggio ( $2/3a$ ) viene ad assumere un valore di  $2/3$ , coincidente con quello previsto dal modello di similarità elastica (King, 1990; Niklas, 1994b).

Combinando le equazioni 1 e 3 si ottiene il legame tra il raggio del fusto e quello della cellula:

$$\frac{d_k}{d_N} = \left( \frac{r_k}{r_N} \right)^{\bar{a}/\alpha} \quad (7)$$

ulteriori elaborazioni (sostituzione con la formula 6) è possibile verificare che il diametro della cellula è legato alla lunghezza del segmento:

$$d_k = l^{\frac{\bar{a}}{a\alpha}} \quad (8)$$

ovvero, per  $a=1$ ,  $\bar{a}=1/6$  e  $\alpha=2/3$ , applicando una correzione di 0.794 (Anfodillo *et al.*, 2006) originata dall'analisi del numero teorico di livelli di diramazione ( $N=20$ ) si ottiene la previsione finale:

$$d_k = l^{0.198} \approx l^{0.20} \quad (9)$$

La veridicità delle previsioni delle equazioni 7 e 9 sarà verificata con analisi accurate nei prossimi capitoli.

In conclusione si può osservare che il modello proposto da West, Brown ed Enquist (1997, 1999) presenta delle assunzioni piuttosto innovative che hanno contribuito a delineare un quadro organico sulle relazioni ed i meccanismi di base che guidano i rapporti tra i vari organi della pianta e quindi sulla sua fisiologia. Il modello, accolto con largo interesse dalla comunità ma aspramente criticato per le sue debolezze matematiche e logiche (Dodds *et al.*, 2001; Midgley, 2003; Kozlowski e Konarzewski, 2004; Bokma, 2004; Zaehle, 2005) nonché biologiche (Petit, 2008) ha svolto comunque un'egregia funzione nel riaccendere le discussioni attorno alle problematiche, tuttora irrisolte, su come le piante riescano a raggiungere determinate altezze.

Nonostante la formula proposta nel WBE per prevedere la massima altezza di un albero (West *et al.*, 1999) non possa considerarsi condivisibile (Petit, 2008) al modello va riconosciuta l'importante intuizione che la rastremazione dei condotti xilematici potrebbe agire come regolatore della resistenza nel corso dell'ontogenesi della pianta.

## PRESENTAZIONE E SCOPO DELL'INDAGINE

Con il presente lavoro si è tentato di dare un contributo originale al dibattito acceso attorno ai meccanismi che regolano l'altezza massima delle piante indagando, in particolar modo, l'architettura idraulica.

La rastremazione dello xilema, come proposto da West *et al.* (1999a), potrebbe infatti rivelarsi uno dei più importanti meccanismi di compensazione adottati dalla pianta nei confronti dell'incremento di resistenza idraulica, anche se non il solo (Pothier *et al.*, 1989; Magnani *et al.*, 2000; McDowell *et al.*, 2002a,b).

In letteratura (Anfodillo *et al.*, 2006; Petit *et al.*, 2008) vi sono prove del fatto che con l'aumento di dimensioni dell'albero si ottenga un cambiamento nella forma dei condotti che porterebbe ad una condizione di non ottimalità (Anfodillo *et al.*, 2006) e quindi alla limitazione nello sviluppo verticale. I dati a supporto di tale ipotesi sono però stati ottenuti con una analisi sincronica basata sul confronto dell'anatomia xilematica degli anelli più esterni di individui di diverse dimensioni.

Ad oggi non sono ancora state eseguite analisi di tipo diacronico, sullo stesso soggetto, per approfondire le conoscenze sui cambiamenti anatomico-strutturali che si verificano nel corso dell'ontogenesi; l'unico esempio presente in letteratura è riferito ad un giovane frassino (Weitz *et al.*, 2006) mentre restano semi-sconosciuti i comportamenti di piante adulte, che abbiano raggiunto la loro massima altezza.

Questa mancanza deve essere imputata alla grande mole di lavoro necessaria per acquisire i dati: solo ora, infatti, dopo quasi 10 anni dalla proposta di West *et al.* (1999) sulla funzione della rastremazione, si comincia ad avere un consistente numero di lavori scientifici che analizzano la struttura xilematica.

L'ipotesi che variazioni nella forma dei condotti conducano ad incrementi della resistenza è stata valutata esaminando le caratteristiche anatomiche e morfologiche di conifere della *timberline* alpina (*Picea abies* Karst., *Larix decidua* Mill., *Pinus cembra* L.) che avessero raggiunto la massima altezza consentita dalla stazione e che presentassero disseccamenti nelle parti distali: questi ultimi possono essere infatti considerati come l'evidente segno di uno squilibrio fisiologico (Woolhouse, 1967; Kelly *et al.*, 1992; Cruiziat *et al.*, 2002; Danby e Hik, 2007) e le modificazioni che la pianta mette in atto negli anni precedenti l'avvenimento potrebbero rivelarsi di estremo interesse per la ricerca.

Un albero è infatti un organismo estremamente complesso e come tale ogni suo singolo organo risulta interagente con gli altri e la sua architettura è basata su precisi rapporti di proporzionalità (Enquist, 2002) che influiscono sulla fisiologia dell'individuo stesso.

Il presente lavoro si propone quindi come una indagine complessa che ha tra i suoi obiettivi fondamentali quello di studiare l'anatomia xilematica delle piante adulte nonché le loro caratteristiche morfologiche in un'ottica temporale decisamente più estesa di quella dei normali studi scientifici, valutando cioè le variazioni di tali parametri nel tempo ed il loro effetto sinergico.

La pianta rappresenta, inoltre, un organismo perfettamente integrato con l'ambiente. La sua crescita, e quindi la sua altezza massima, saranno il risultato di processi fisiologici influenzati in maniera più o meno forte dalle caratteristiche ambientali del sito di crescita (Magnani *et al.*, 2002). L'incidenza delle variabili climatiche (determinanti ambientali) a livello xilogenetico è quindi un aspetto non trascurabile quando si vada a esaminare la struttura dei condotti xilematici delle piante.

Per la complessità delle interazioni e la vastità dei singoli aspetti considerati sarebbe risultato estremamente difficile esaminarli in un'unica trattazione.

Si è quindi preferito allestire una tesi costituita da articoli a struttura indipendente, riuniti tra loro per similarità degli argomenti discussi.

Nel primo capitolo sono stati indagati i parametri dendro-auxometrici delle piante, verificando in tutti i soggetti il tipico decremento annuo della lunghezza del getto apicale (Woolhouse, 1972; Ryan e Yoder, 1997; Weiner e Thomas, 2001), segno che stavano raggiungendo la loro altezza massima. È stato poi approfondito lo studio del rapporto diametro-altezza nel corso dell'ontogenesi di ogni singolo individuo in modo da poter delineare i vincoli di natura biomeccanica a cui la pianta deve sottostare (McMahon, 1973; Niklas, 1994a, 1999; Givnish, 1995).

Nello stesso capitolo è stata valutata la quantità di alborno e durame presente nel fusto di un larice, allo scopo di verificare la distribuzione longitudinale dei due tessuti: la quantità di alborno potrebbe infatti aumentare nel caso di un incremento di resistenza idraulica (Pothier *et al.*, 1989).

Nel capitolo successivo è stata approfondita la struttura idraulica della pianta, registrando le variazioni di dimensione delle cellule nel corso del tempo dalla base all'apice del fusto e dal midollo alla corteccia. I risultati confermano quanto trovato da numerosi altri Autori (Zimmermann, 1974; Becker *et al.*, 2003; James *et al.*, 2003; Anfodillo *et al.*, 2006; Coomes *et al.*, 2007; Petit *et al.*, 2008).

L'intero processo xilogenetico è fortemente influenzato da determinanti ambientali (quali temperatura, precipitazioni e nuvolosità) che possono modificare la dimensione e forma delle cellule (diametro cellulare) nonché il tasso di produzione delle stesse (spessore dell'anello).

Nel terzo capitolo, mediante relazioni clima-accrescimento, si è voluto verificare la risposta delle piante alle variabili climatiche ricordando che l'altezza degli alberi, anche della stessa specie, varia a seconda della stazione di crescita (Ryan e Yoder, 1997).

Nell'ultimo capitolo, il più importante, si è tentato di analizzare la forma longitudinale dei condotti verificando se il grado di rastremazione degli stessi potesse confermare le soglie universali proposte da West *et al.* (1999) o se, nel corso dell'ontogenesi, si fossero verificate delle variazioni di forma determinanti per l'aumento della resistenza idraulica e quindi dell'abbandono delle parti più distali della pianta.

Tutte le analisi eseguite, seppur considerando aspetti diversi, devono essere immaginate come tasselli dello stesso mosaico, un quadro che ritrae le principali relazioni architettoniche e anatomiche di una pianta e delle sue interazioni con l'ambiente esterno.

Questo a ribadire il fatto che l'albero è un organismo complesso, che non può essere riassunto da un semplice parametro ma che va valutato tramite una visione complessiva della sua struttura.

Nonostante le diversità tra individui e tra specie i meccanismi di base che guidano lo sviluppo vegetale potrebbero essere universali e derivare dalla stretta connessione tra i diversi organi, le loro dimensioni ed i processi fisiologici associati, secondo delle relazioni ben definite, come proposto nel modello di West *et al.* (1999).

Queste relazioni di base non sono però state ancora completamente verificate da dati empirici: il presente lavoro si propone quindi, pur senza la pretesa di fornire delle risposte assolute o dei modelli, di rendere disponibile una gran quantità di dati che potrebbe contribuire all'avanzamento delle conoscenze ed in futuro essere utile per rispondere al quesito "perché le piante non si accrescono in altezza all'infinito?".

## CAPITOLO 1. ANALISI DENDRO-AUXOMETRICHE



*“Nessuna grande opera viene creata in un istante”*

(Epitteto di Ierapoli, filosofo greco, 50-120 d.C.)



## 1.1. DINAMICA DELL'INCREMENTO CORRENTE DI ALTEZZA E DI VOLUME IN CONIFERE DI ETÀ SUPERIORE AL SECOLO DI AMBIENTE SUBALPINO

### Riassunto

Il metodo dell'analisi del fusto è stato applicato ai fusti principali di diversi individui di specie tipiche dell'orizzonte subalpino delle Alpi Nord-Orientali (*Picea abies* Karst., *Larix decidua* Mill e *Pinus cembra* L.) in modo da poter risalire alle curve dell'incremento corrente di altezza e di volume.

Il massimo allungamento del fusto si ottiene precocemente (50-60 anni di età) con getti lunghi fino a 40 cm, le piante non dimostrano invece di raggiungere la culminazione dell'incremento volumetrico nonostante siano prossime ai 200 anni di età.

L'accrescimento del volume rispetto al diametro a petto d'uomo, nel corso dell'ontogenesi, viene ben interpolato da una funzione potenza il cui esponente allometrico risulta compreso in un intervallo 2.351-3.312 ma i cui singoli valori differiscono dalla soglia prevista dal modello WBE (2.67). Questi risultati possono divenire di interesse quando si vogliono approfondire le conoscenze sulla fisiologia di piante prossime alla loro altezza massima che hanno raggiunto la scadenza del turno selvicolturale.

*Parole chiave:* conifere, incremento in altezza, incremento volumetrico, curve stereometriche, modello WBE.

### 1.1.1 Introduzione

L'accrescimento tridimensionale di un albero è ottenuto dalla combinazione di una crescita primaria (allungamento dell'asse principale) ed una secondaria (ingrossamento del fusto) dovute all'attività di tessuti totipotenti, quali i meristemi (Thomas *et al.*, 2000).

Le due dimensioni, nel corso dell'ontogenesi, non mantengono lo stesso tasso di accrescimento ed in tutte le specie è possibile osservare una riduzione dello sviluppo longitudinale mentre quello diametrico si mantiene all'incirca costante (Hara *et al.*, 1991) come osservabile in una qualsiasi curva ipsometrica (Curtis, 1967; Zeide, 1993).

Lo studio e l'approfondimento delle modalità di crescita delle piante vanta una lunga storia in selvicoltura e la sua importanza è stata tale da definire una scienza specifica: la dendroauxologia (Dennis *et al.*, 1985).

L'interesse sorge dal fatto che l'accrescimento, considerato come combinazione delle variazioni in altezza e diametro (ossia di volume), non rimane costante nel tempo (Briand *et al.*, 1993; Ishii *et al.*, 2000) si traduce in produzione legnosa e riveste quindi un ruolo economico fondamentale. Il suo studio potrebbe inoltre essere d'aiuto nella comprensione della fisiologia della pianta e, a livello più ampio, dei flussi energetici dei popolamenti forestali aiutando nella definizione di linee di gestione più consone alla stazione (Uzoh e Oliver, 2006).

Alla base degli studi dendroauxometrici vi è il concetto di incremento definibile come l'accrescimento conseguito in un periodo di tempo fissato.

L'incremento corrente, ossia la produzione annua di tessuti, rappresenta sicuramente il parametro più importante nella crescita di un popolamento e contribuisce alla caratterizzazione delle diverse cenosi forestali fornendo anche informazioni indirette sull'ambiente di crescita delle piante (Piussi, 1994).

Vista la grande variabilità dell'incremento diametrico in selvicoltura si ritengono molto più importanti l'incremento in altezza e quello volumetrico, quest'ultimo comprensivo di entrambe le dimensioni.

In popolamenti coetanei la culminazione dell'incremento di altezza viene classicamente utilizzata per distinguere la fase di palina da quella di perticaia (Giannini e Susmel, 2006) ed è quasi sempre associata all'inizio della differenziazione sociale degli individui (Cappelli, 1991).

Quando l'incremento annuo diviene trascurabile si ritiene che la pianta abbia raggiunto la massima altezza consentita dalla stazione e che non le sia più possibile formare getti particolarmente lunghi.

Ovviamente lo studio della curva di incremento corrente in altezza ha senso in popolamenti coetanei ma non disetanei; quando invece si osservano i cambiamenti ontogenetici di singoli individui, come in questo caso, si lavora con una prospettiva diversa: si ha infatti lo scopo di valutare a che età la pianta è in grado di estrinsecare le massime potenzialità di allungamento e se la stessa, in età più avanzate, sia in grado di emettere getti di notevole dimensione.

Lo studio dell'incremento volumetrico, sotto certi aspetti, risulta ancora più interessante.

Infatti quasi tutte le curve auxometriche attualmente disponibili sono state prodotte in Germania nel secolo scorso ed alla fine del 1800, utilizzando popolamenti planiziali strettamente coetanei, spesso artificiali ed a ciclo relativamente breve (Cappelli, 1991).



Una foresta d'alta quota quale quella esaminata, ad eccezione delle peccete montane strettamente coetanee, potrebbe però non trovare una corretta esemplificazione nelle curve classiche dato che queste ultime prevedono un picco massimo di incremento in volume piuttosto precoce, cosa difficilmente riscontrabile nei nostri ambienti dove la curva dell'incremento corrente sembra non raggiungere un massimo a causa di vari motivi (irregolarità dei popolamenti, lunghi periodi di adduggiamento ecc...).

Un altro problema dei modelli di accrescimento proposti in dendroauxometria è quello della longevità delle piante. Le variazioni di incremento corrente proposte si riferiscono infatti a piante considerate "a fine turno" o in prossimità di esso.

Il turno per una pecceta coetanea o paracoetanea viene indicato tra gli 80 e i 120 anni (Del Favero, 2000) mentre la longevità di un soggetto di pino cembro sfiora i 600 anni (Yashima e Bianconi, 2004), l'abete rosso può protrarsi oltre questa soglia (Susmel, 1980) ed il larice raggiunge addirittura i 1000 anni (Urbinati e Carrer, 2001).

Le piante vengono quindi considerate "vecchie" quando sono in realtà appena entrate nella maturità ed il taglio colturale impedisce di approfondire le conoscenze sulle modalità di crescita di soggetti più anziani.

Dubbi sul reale andamento dell'incremento corrente in soggetti prelevati da peccete di età avanzata (140-160 anni) sorgono dall'analisi del lavoro di Svaluto (1977) in cui si dimostra che quest'ultimo è notevolmente superiore a quanto evidenziato nelle tavole alsometriche utilizzate in quegli anni e si mantiene piuttosto regolare nel tempo.

Le analisi devono comunque essere condotte con cautela in quanto Smith e Long (2001) hanno osservato che l'incremento corrente (sia di volume che di altezza) nei popolamenti è anticipato anche di decenni rispetto a quello registrabile in singoli individui ed è associato alla densità, alla struttura, alle modalità di allocazione dei fotosintati ed a una serie di altri fattori la cui sinergia può produrre effetti ben diversi da quelli che agiscono sui singoli individui (Mella, 2001).

Le due scale, di individuo e popolamento, andrebbero quindi tenute separate (Smith e Long, 2001; Falster e Westoby, 2003; Anfodillo, 2005) a causa dei diversi processi coinvolti.

Nei popolamenti l'interesse per l'andamento dell'incremento corrente è stato recentemente riscoperto (Spiecker, 1995) e sono molti gli Autori che hanno registrato una variazione positiva di questo parametro su scala secolare (Spiecker, 1995; Mellert *et al.*, 2008).

Le spiegazioni fornite esulano per la maggior parte da meccanismi fisiologici interni alla pianta e si indirizzano verso fattori esterni quali il fenomeno del riscaldamento climatico, cambiamenti dell'uso del suolo e delle pratiche selvicolturali (Mellert *et al.*, 2004) e le aumentate deposizioni di azoto (Nöjd, 1996; Mellert *et al.*, 2008).

Lavori di tal genere non sarebbero quindi rapportabili alla scala di indagine di questo studio che si propone di analizzare le variazioni dell'incremento annuo di altezza e volumetrico su singoli soggetti di età superiore al turno normalmente adottato.

Oltre alle classiche tavole allometriche o dendrometriche, che forniscono le variazioni di massa (o volume) nel corso del tempo per popolamenti e singoli individui e che derivano da dati empirici piuttosto locali (Ishii *et al.*, 2000; Nishizono *et al.*, 2005), sono stati numerosi i tentativi di previsione dell'accrescimento della pianta durante l'ontogenesi.

I meccanismi fisiologici che portano alla presenza di un picco massimo sia per l'incremento in altezza che in volume non sono ancora completamente chiari (Murty *et al.*, 1996) ed è interessante notare che il primo parametro culmina più precocemente del secondo.

Attualmente la gran parte degli studiosi ritiene che l'altezza delle piante sia legata non tanto ad un invecchiamento dei tessuti (Lanner e Connor, 2001; Mencuccini *et al.*, 2007 ; Onate e Munnè-Bosch, 2008) ma piuttosto a modificazioni nel sistema di trasporto idrico (Ryan e Yoder, 1997; West *et al.*, 1997, 1999; Koch *et al.*, 2004; Niklas e Spatz, 2004; Anfodillo *et al.*, 2006) per cui limitazioni al flusso potrebbero a lungo andare indurre cambiamenti nell'allocazione delle risorse e quindi nella produzione di legno (Mencuccini *et al.*, 2005), per questo motivo si assisterebbe alla culminazione dell'incremento corrente in volume solo in un secondo tempo rispetto a quello di altezza.

L'incremento in altezza e quello volumetrico sembrerebbero inoltre essere influenzati da diverse condizioni stazionali. In particolare, seppure l'altezza non pare così legata alla densità del popolamento come il diametro, sembrerebbe maggiore in popolamenti densi (Mason, 2000) mentre al contrario il volume si riduce (Cao *et al.*, 2008; Vacchiano *et al.*, 2008).

L'incremento in altezza sarebbe quindi molto più influenzato dalla disponibilità di luce in gioventù, quindi dalla copertura e dalla lunghezza del periodo di adduggiamento fattori utilizzati in passato proprio per prevedere l'accrescimento longitudinale annuo (Golser e Hasenauer, 1997).

Le variazioni dell'incremento annuo in altezza nel corso dell'ontogenesi vengono meno modellizzate di quelle volumetriche e derivano generalmente dalla combinazione di diversi gruppi di variabili quali quelle legate alla dimensione della pianta, alla competizione e all'ambiente (Uzoh e Oliver, 2006), in particolare alla temperatura (Salminen e Jalkanen., 2005; 2007).

Le equazioni utilizzate per la quantificazione risultano decisamente complesse, anche quando si tenta di prevedere il volume della pianta (Courbet, 1999).

Risulta invece piuttosto interessante l'approccio per il quale l'incremento annuo volumetrico (in biomassa) sarebbe dipendente dal metabolismo della pianta e quindi prevedibile attraverso una relazione di tipo allometrico (Enquist *et al.*, 1998) di forma

$$Y=Y_0M^b$$

Dove Y rappresenta la variabile dipendente,  $Y_0$  una costante, M la variabile indipendente (quasi sempre la massa corporea) e b un esponente allometrico.

Gli organismi infatti dividono l'attività complessiva metabolica in catabolismo e anabolismo, in quest'ultimo caso sono compresi i processi associati al mantenimento e alla produzione di nuovi tessuti e si può quindi supporre che la produzione annua sia in realtà una frazione costante del metabolismo (Brown *et al.*, 2004), inteso come fotosintesi lorda.

Il legame tra il metabolismo (e quindi la produzione di biomassa) e la massa dell'individuo sembrerebbe estremamente forte e descritta da una potenza con esponente b pari a 3/4 (Enquist, 1998; Enquist, 2002), il risultato sarebbe simile sia per le piante che per gli animali (Damuth, 2001).

Questa relazione risulta valida anche quando viene esaminata la crescita del fusto perciò, dato che la massa M non è altro che il volume ( $V$ ) per una certa densità specifica, si può ottenere la previsione finale che il volume è legato al diametro ( $D$ ) da una potenza di esponente 8/3 ( $V \propto D^{8/3}$ ) (West *et al.*, 1999a,b).

La previsione di 8/3, inclusa in un modello più complesso definito WBE dal nome degli Autori che l'hanno proposto (West *et al.*, 1999) è stata indagata recentemente (Zianis e Mencuccini, 2005) e viene accettata solo parzialmente: nonostante la similarità dei risultati gli esponenti ottenuti risulterebbero mediamente più bassi.

Va comunque notato che questo tipo di analisi viene svolta considerando una grande quantità di individui e non valutando singoli soggetti nel corso della loro ontogenesi.

Con questo studio ci si propone quindi di valutare, in soggetti d'alta quota e nel corso della loro ontogenesi:

- a) la variazione dell'incremento corrente di altezza e di volume,
- b) la relazione tra il volume delle piante analizzate ed il loro diametro per verificare l'esistenza di una relazione allometrica di esponente 8/3 come previsto dal WBE *model*.

Si ritiene infatti che tali analisi possano risultare interessanti per la gestione delle formazioni forestali, in particolare per quanto riguarda la definizione del turno (Attocchi, 2008), data la cronica mancanza di dati su piante di notevole età e vegetanti a quote elevate.

### 1.1.2 Materiali e metodi

#### *Area di studio*

L'area scelta per il prelievo del materiale legnoso è stata quella dell'Alpe Cermis (località Casere e Barèta; 46° 15' N, 11° 29' E), ubicata sul versante orografico sinistro del torrente Avisio, in comune di Cavalese (Val di Fiemme, Provincia Autonoma di Trento).

La zona in esame si colloca nella parte settentrionale del massiccio del Lagorai (Cima di Lagorai 2586 m s.l.m.) nel tratto di versante compreso tra la Val Lagorai e la Val Moena e dominato dal Paiòn di Cermis (2229 m s.l.m.) ad una altitudine compresa tra i 1800 ed i 1900 m s.l.m..

Il soggetto 03113 proviene invece da una quota inferiore (circa 1600 m s.l.m.) ed è stato raccolto nel bosco delimitato da Cima Cece (2772 m s.l.m.) e dal Cauriol (2491 m s.l.m.) che dominano l'abitato di Predazzo (Val di Fiemme).

I versanti, in entrambi i casi, sono esposti in direzione Nord o Nord-Ovest.

Dal punto di vista climatico la Val di Fiemme può essere assimilata ad una conca fredda con estati miti (temperatura media mensile di luglio 17.1 °C) ed inverni rigidi (temperatura media mensile di gennaio -1.1 °C). Il regime pluviometrico è di tipo solstiziale estivo, con precipitazioni massime mensili nei mesi di giugno e luglio (100 mm), le precipitazioni annuali si attestano sugli 806 mm/anno (periodo di riferimento 1951-1998 per la stazione di Cavalese) con una media annuale di 93 giorni piovosi (Provincia Autonoma di Trento, 2006).

Il substrato geologico è costituito da rocce eruttive e metamorfiche quali porfidi riolitici, gneiss e filliti (Carrer and Urbinati, 2004) coperte da detriti quaternari che danno origine a suoli bruni lisciviati con orizzonte O podsolizzato e tessitura sabbiosa-sassosa.

Il tipo di humus prevalente è il moder micogenico.

La formazione forestale caratteristica dell'Alpe Cermis è la pecceta altimontana, a struttura coetanea o paracoetanea, con sottobosco a *Vaccinium myrtillus*. All'interno del consorzio di abete rosso (*Picea abies* Karst.) si trovano sporadici individui di larice (*Larix decidua* Miller), abete bianco (*Abies alba* Miller) e pino cembro (*Pinus cembra* L.).

L'età media degli alberi è di circa 200 anni con una altezza dominante di 30 m ed un diametro medio di 35-40 cm che porta a provvigioni unitarie di 450-500 m<sup>3</sup>/ha con una densità di 350-400 piante/ha. Questi valori, nell'abete rosso, vengono classificati nella terza e quarta classe del sistema di tariffe trentino per la cubatura degli alberi in piedi e viene adottato un turno di 160-180 anni (Mella, 2001).

Ai fini dello studio risulta utile ricordare che la funivia del Cermis è stata costruita nel 1967 e la strada forestale lungo la quale sono stati raccolti molti individui è stata allargata negli anni 1996-1997.

L'abete rosso 03113 proviene invece da una pecceta montana coetanea dove la specie *Picea abies* (L.) Karst raggiunge la massima altezza (circa 50 m) nel suo areale europeo di diffusione (Aderenti, 2004).

Le foreste sono di proprietà dell'Ente "Magnifica Comunità di Fiemme", per quanto riguarda l'Alpe Cermis, il distretto di riferimento è il III/B (Cavalese) e le particelle forestali in cui sono state raccolte le piante sono le numero 1, 8 e 14 del piano n.446.

#### *Raccolta del materiale legnoso e criteri di scelta*

L'esperimento è stato condotto su 6 soggetti appartenenti a diverse specie di conifere: 4 abeti rossi (*Picea abies* Karst.), 1 larice (*Larix decidua* Miller) e 1 pino cembro (*Pinus cembra* L.) (tabella 1).

Sono stati selezionati alberi che, per quanto possibile, presentassero altezze prossime a quella massima di popolamento, con ridotti incrementi longitudinali annui e cimale disseccato per cause non imputabili a fulmini o animali ma solo a stress fisiologico.

Ai fini di questo esperimento si ipotizza infatti che il disseccamento del cimale sia una conseguenza di intensi incrementi di resistenza idraulica all'interno dei condotti xilematici.

<b>specie</b>	<b>codice</b>	<b>Data raccolta</b>	<b>Quota (m s.l.m.)</b>	<b>Posizione sociale/nel popolamento</b>	<b>D<sub>1,30</sub> (cm)</b>	<b>H (m)</b>	<b>Morte cimale</b>
<i>P.abies</i>	03122	11/2003	1800	dominante/margine	54.1/58.8	34,18	1991
<i>P.cembra</i>	06001	09/2006	1860	dominato/margine	31.6/35.4	20,69	2000
<i>L.decidua</i>	06002	09/2006	1860	isolato	32.9/38,1	28,06	1985
<i>P.abies</i>	06003	09/2006	1860	codominante/margine	56.2/59.9	32.06	1993/'97*
<i>P.abies</i>	07001	07/2007	1860	codominante	64.1/66.3	34.44	1998
<i>P.abies</i>	03113	06/2003	≈1600	schianto invernale	73.60	46.56	-

**Tabella 1.** Caratteristiche principali dei soggetti arborei abbattuti. D<sub>130</sub>: diametro a petto d'uomo, sottocorteccia, misurato nell'anno di morte del cimale (sinistra) e nell'anno di abbattimento della pianta (destra) nell'anno; H: altezza della pianta.

\* soggetto biforcuto con due cimali secchi, si terrà conto del più lungo.

Il metodo di campionamento utilizzato è stato di tipo distruttivo: gli individui indicati sono stati infatti abbattuti e depezzati sul letto di caduta.

Alla base di ogni toppo è stata prelevata una rotella di spessore variabile tra i 3 e i 10 cm. I topi di base sono stati tagliati a misura (ogni 4 m), le parti superiori sono state depezzate a distanza sempre più ravvicinata (da 1 m fino a 0.50 m) e i cimali prelevati per intero, così da ottenere un numero variabile di 9-11 rotelle/fusto. In fase di raccolta con il termine “cimale” si è intesa la parte disseccata, nelle elaborazioni successive la denominazione “cimale” è stata estesa ad una porzione sommitale di fusto fissata al 10% dell’altezza raggiunta dalla pianta in ogni anno.

### *Analisi dendrometriche*

Le rotelle sono state stagionate all’aria per alcuni mesi e levigate su di una faccia con carta vetrata di diverse gradazioni per permettere una buona visibilità degli anelli di accrescimento.

La misurazione dello spessore anulare è stata effettuata procedendo dalla zona midollare alla corteccia, con una risoluzione al centesimo di millimetro (dendrocronografo CCTRMD modello *Aniol*) su almeno 3-4 raggi/rotella.

Le serie dendrocronologiche sono state archiviate attraverso il programma CATRAS (Aniol, 1987) con il quale si è eseguita anche una prima sincronizzazione manuale tra le serie afferenti alla stessa rotella e tra serie di diverse rotelle. In questo modo si è potuto pervenire ad una prima datazione dell’anno di morte del cimale, validata tramite il programma COFECHA (Holmes, 1983) che permette l’identificazione di eventuali errori di sincronizzazione.

Tale procedura restituisce la datazione finale di ogni singolo anello di accrescimento e rende in grado di stabilire l’anno in cui è iniziato il disseccamento del cimale.

I raggi di una stessa rotella sono stati mediati con media aritmetica semplice ed i valori ottenuti sono serviti per eseguire l’analisi del fusto e costruire, mediante il metodo dell’interpolazione lineare, la curva cumulata dell’altezza (Bevilacqua *et al.*, 2005; Lappi, 2006).

L’incremento corrente in altezza, secondo questa procedura, viene determinato dividendo la lunghezza del fusto misurata tra due rotelle successive per il numero di anni impiegati per l’accrescimento e coincide perciò con l’incremento medio del periodo.

Il valore cumulato di diametro risulta dalla somma delle singole ampiezze anulari (mediate sulla rotella) perciò è sempre inteso come misura sottocorteccia. Il diametro a petto d’uomo ( $D_{130}$ ), disponibile solo per il larice, è stato calcolato interpolando gli accrescimenti radiali delle due rotelle più vicine.

La distanza dalla cima rappresenta semplicemente la lunghezza esistente tra l'altezza raggiunta in un dato anno di crescita ed il punto campionato sul fusto.

Il volume annuo è stato calcolato sommando i volumi (V) dei singoli tronchi di cono e dei coni che formano il profilo della pianta. In particolare sono state utilizzate le seguenti formule:

$$V = \frac{\pi R_n}{3} (Hp - Hc) \quad (\text{cono})$$

$$V = (R_n^2 + R_n \times R_{n+1} + R_{n+1}^2) \times Hx \frac{\pi}{3} \quad (\text{tronco di cono})$$

dove:

$R_n$  = raggio della rotella all'anno n;

$R_{n+1}$  = raggio della rotella all'anno n+1;

H = altezza del tronco di cono (distanza tra due rotelle)

$H_p$  = altezza del fusto;

$H_c$  = altezza della sezione.

### *Analisi statistiche*

I parametri di scala delle equazioni stereometriche, ed i relativi limiti di confidenza, sono stati determinati con regressioni di tipo RMA (*Reduced Major Axis*, Sokal e Rohlf, 1981) sviluppate attraverso l'applicazione RMA (Bohonak, 2004). Prima dell'inserimento nel programma i dati grezzi sono stati linearizzati mediante trasformazione logaritmica di base 10. In questo modo i valori risultanti di intercetta ( $\alpha_{RMA}$ ) e di coefficiente angolare ( $\beta_{RMA}$ ) corrispondono, rispettivamente, al coefficiente e all'esponente allometrico caratteristici della funzione potenza.

I limiti di confidenza (95%) sono stati ottenuti applicando la procedura *bootstrap* a 10000 replicazioni (Davison e Hinkley, 1997) disponibile nell'applicazione.

La significatività delle regressioni lineari è stata testata tramite test di Fischer incluso nella procedura PROC NLIN di SAS® 9.1.2 (SAS Institute, Cary, NC, USA, 2004).

Le elaborazioni grafiche sono state eseguite con il *software* Sigmaplot® 9.0 (Systat Software Inc, AZ, USA, 2004).

### 1.1.3 Risultati

#### Altezza

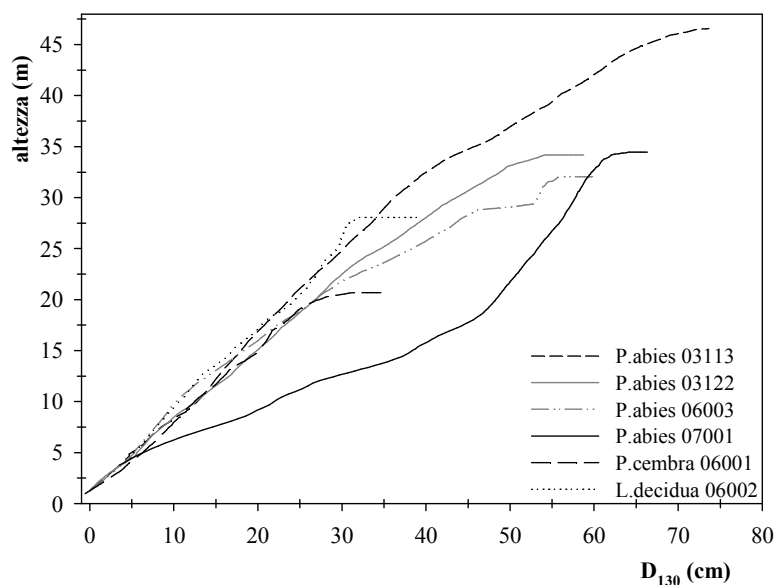
Il massimo sviluppo longitudinale annuo si colloca, in tutti i soggetti analizzati, attorno ai 40 anni d'età (figura 1, appendice I), nel pino cembro questo periodo è leggermente ritardato (50-60 anni d'età) mentre nell'abete rosso 07001 anticipato (20 anni). Per quest'ultimo soggetto però l'età reale deve essere considerata maggiore rispetto a quanto riportato nel grafico a causa della posizione piuttosto elevata della prima rotella del fusto esaminata.

La lunghezza del getto terminale raggiunge al massimo i 28-32 cm nel pino cembro, larice e negli abeti 06003 e 07001, la picea 03122 supera di poco i 40 cm annui.

L'abete rosso 03113 estrinseca tutte le sue potenzialità di crescita toccando i 48 cm/anno, va comunque notato che tale individuo vegetava ad una quota decisamente inferiore in una zona più favorevole alla crescita.

Le picee 03113 e 03122 sono le piante che presentano curve degli incrementi correnti di altezza più simili a quelle classiche riportate in letteratura ossia con forma a campana asimmetrica fino a raggiungere pochi cm di sviluppo negli ultimi anni prima del taglio.

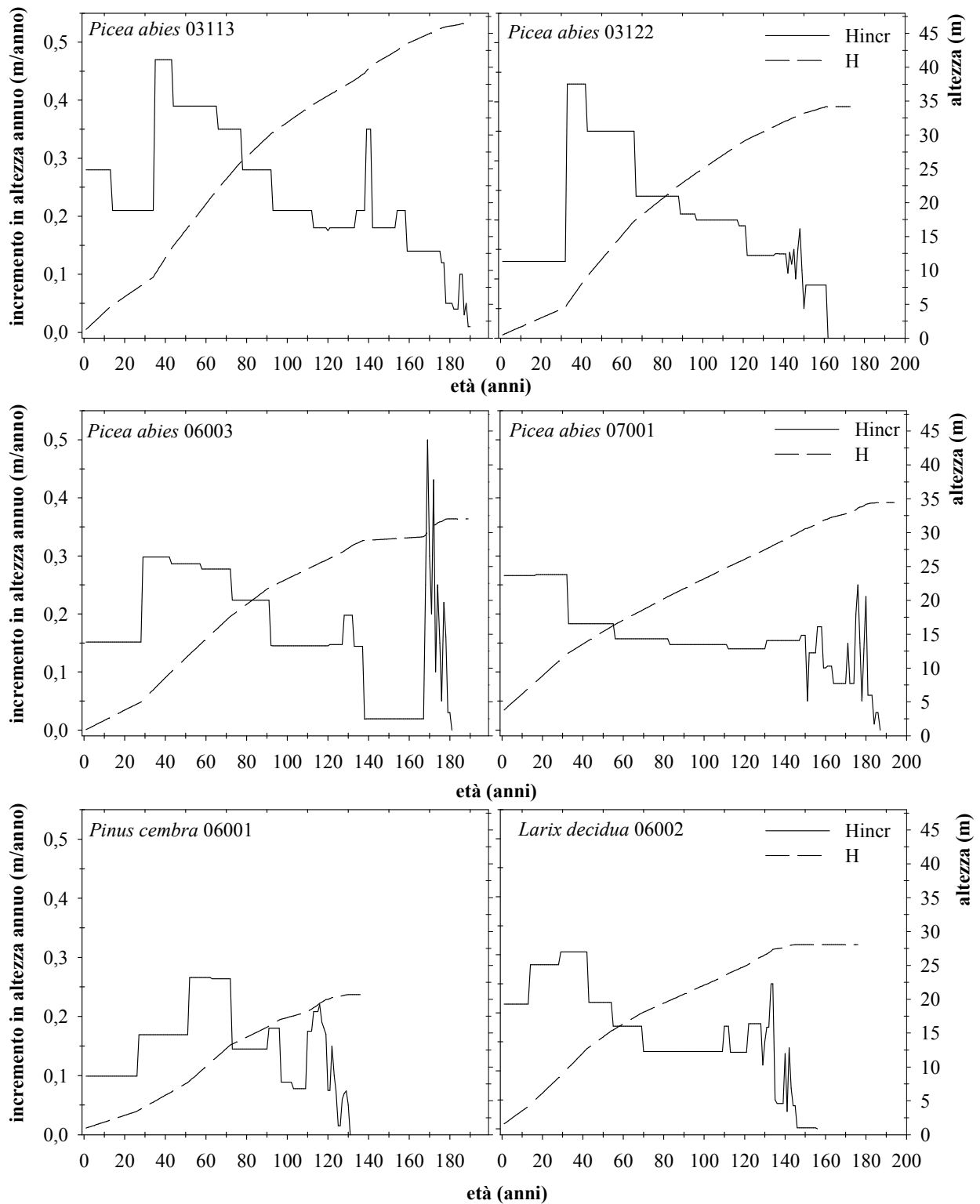
È interessante osservare che negli anni precedenti il disseccamento del cimale si verifica una inattesa ripresa di crescita longitudinale che in certi soggetti raggiunge addirittura i 48 cm/anno (abete rosso 06003).



**Figura 2.** Curve ipsometriche dinamiche.  $D_{130}$ = diametro a petto d'uomo.



La curva di sviluppo dell'altezza (figura 1) si dimostra generalmente sigmoideale, solo il soggetto 07001 mantiene un incremento longitudinale piuttosto costante nel tempo che contribuisce a far assumere alla curva una forma più rettilinea.



**Figura 1.** Incremento annuo di altezza (Hincr, linea continua) e sviluppo dell'altezza (H, linea tratteggiata) nel corso dell'ontogenesi di conifere di alta quota.

La diversità di questo soggetto è visibile anche analizzando le curve ipsometriche dinamiche di figura 2 in cui è possibile osservare l'accrescimento più lento rispetto alle altre piante.

### *Volume*

L'analisi delle curve dell'incremento corrente in volume (figura 3) restituiscono risultati particolarmente interessanti.

Questi soggetti infatti, pur sfiorando i 200 anni di età, non mostrano raggiungere un valore massimo di incremento ma piuttosto si osserva un continuo aumento che mostra una impennata dopo la morte del cimale (*Picea abies* 06003 e 03122) o negli anni immediatamente precedenti (abete rosso 07001 e pino cembro 06001).

L'abete 03113, che raggiunge i massimi incrementi di volume annui (80 dm<sup>3</sup>/anno) sembra aver raggiunto, all'età di 160 anni il culmine dell'incremento, che si mantiene poi piuttosto costante attorno ad un valore di 66 dm<sup>3</sup>/anno.

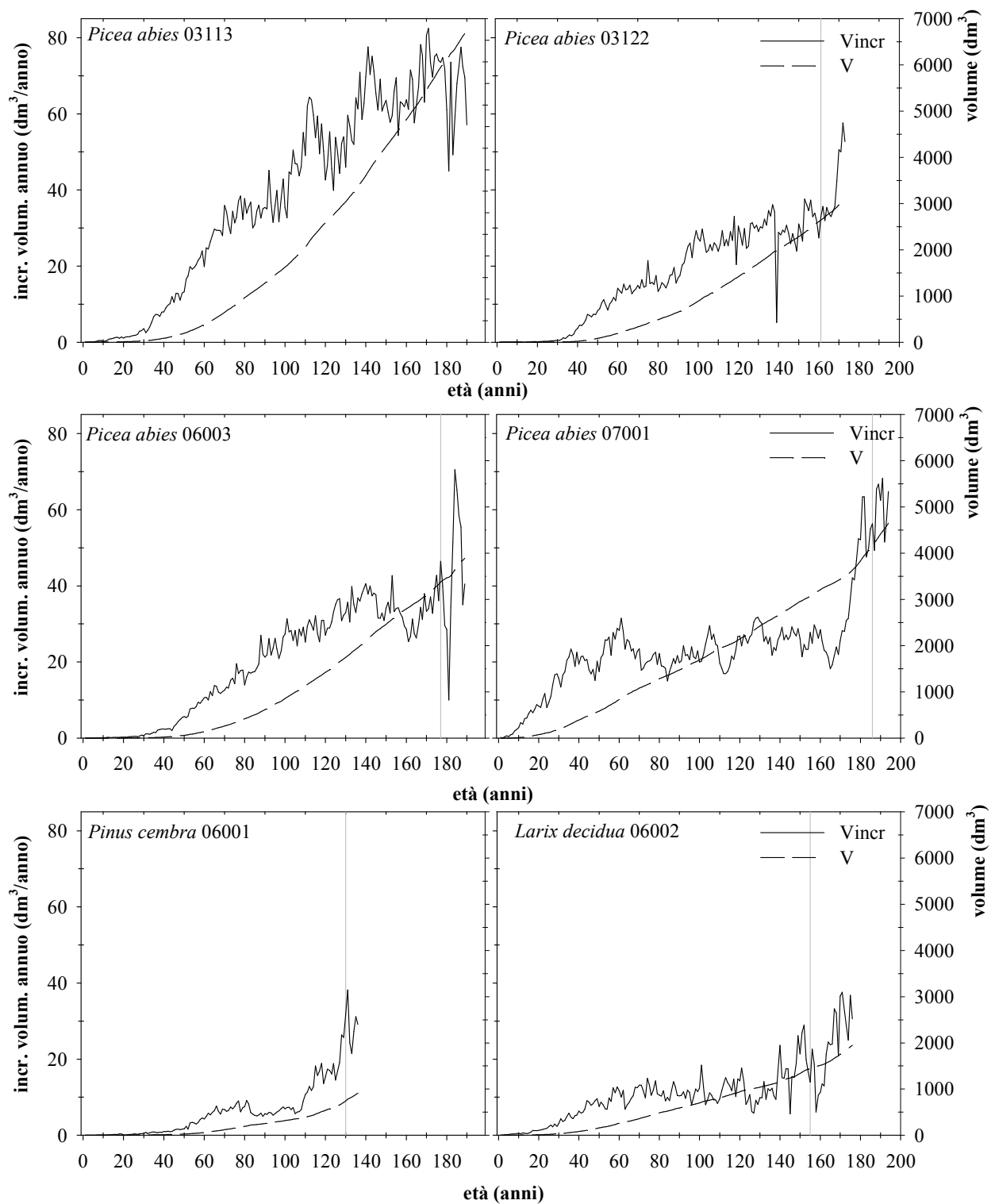
A parità di età gli abeti mostrano tassi di accrescimento decisamente superiori a quelli del pino cembro e del larice (incremento massimo 35 dm<sup>3</sup>/anno).

Come per l'altezza anche nel volume la picea 07001 si differenzia dalle altre possedendo un periodo di accrescimento contraddistinto da un incremento annuo costante protrattosi dai 40 ai 160 anni d'età.

Le curve volumetriche indicano che al momento dell'abbattimento il soggetto 03113 possedeva un volume di ben 7 m<sup>3</sup> mentre le piante vegetanti a quote più elevate presentavano al massimo 4 m<sup>3</sup> di volume cormometrico con un minimo di 1 m<sup>3</sup> del pino cembro.

Sono comunque valori che debbono ritenersi molto elevati.

Negli abeti 07001 e 03113 può essere fatta una ulteriore osservazione: si notano, nella curva dell'incremento corrente, dei cicli piuttosto regolari di crescita che hanno frequenza di 10-15 anni nel primo soggetto e di 15-20 anni nel secondo.



**Figura 3.** Variazione dell'incremento corrente in volume (Vincr, linea continua) e sviluppo del volume della pianta (V, linea tratteggiata) nel corso dell'ontogenesi. La linea grigia rappresenta l'età in cui è avvenuto il disseccamento del cimale.

pianta	n	$\alpha_{RMA}$	$\beta_{RMA}$	$R^2$	$\alpha_{RMA}$ , 95% l.c.	$\beta_{RMA}$ , 95% l.c.	$R^2$ , 95%l.c.	F	p
P.abies 03113	189	-1.578	2.964	0.997	-1.623 - -1.522	2.928 - 2.994	0.996 - 0.998	201366.00	<0.0001
P.abies 03122	166	-0.983	2.537	0.995	-1.090 - -0.898	2.481 - 2.608	0.994 - 0.997	119729.00	<0.0001
P.abies 06003	186	-0.747	2.351	0.977	-0.949 - -0.585	2.212 - 2.521	0.965 - 0.991	149699.00	<0.0001
P.abies 07001	182	-1.087	2.746	0.987	-1.307 - -0.869	2.585 - 2.910	0.976 - 0.998	67207.20	<0.0001
P.cembra 06001	132	-0.807	2.454	0.988	-0.976 - -0.646	2.345 - 2.569	0.979 - 0.998	21457.40	<0.0001
L.decidua 06002	163	-2.416	3.312	0.994	-2.532 - -2.311	3.249 - 3.381	0.992 - 0.996	32104.10	<0.0001

**Tabella 2.** Parametri RMA delle curve stereometriche. n: numero di punti,  $\alpha_{RMA}$ : intercetta della retta di regressione (costante allometrica);  $\beta_{RMA}$ : coefficiente angolare della retta (esponente allometrico); 95%l.c.: limiti di confidenza *bootstraps* a 10000 replicazioni;  $R^2$ : coefficiente di determinazione; F: valore del test di Fisher, p: probabilità del test.

Lo studio delle curve stereometriche (figura 4) permette di verificare se la nuvola di punti sia effettivamente interpolabile con una funzione potenza e se l'esponente allometrico di questa funzione sia rispondente a quanto previsto da West *et al.* (1999).

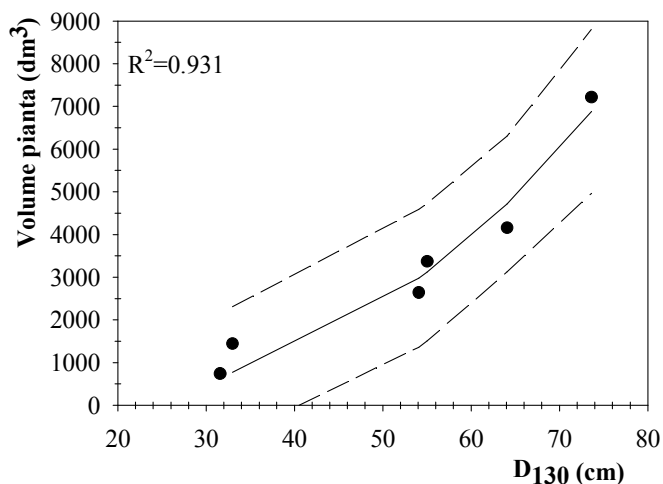
Dato che i valori di diametro a petto d'uomo e di volume sono riferiti all'ontogenesi di uno stesso soggetto le interpolazioni risultano particolarmente buone: la funzione potenza, la migliore per descrivere questa relazione, presenta valori di  $R^2$  sempre superiori a 0.97 e significatività con  $p < 0.0001$ .

In tabella 2 vengono proposti i parametri delle interpolazioni ottenute dopo la linearizzazione.

Il valore di esponente allometrico 2.67 può essere confermato solo dalla pianta 07001, negli altri casi i valori ottenuti sono statisticamente diversi ed a questo superiori (abete rosso 03113 e larice) o inferiori (abete rosso 03122, 06003, pino cembro).

L'intervallo di  $\beta_{RMA}$  risulta comunque piuttosto ristretto variando da 2.351 a 3.312.

L'esponente allometrico della potenza si mantiene simile a quelli calcolati in figura 4 (2.310) anche quando si vanno a graficare le coppie di diametro a petto d'uomo-volume dei singoli soggetti esaminati (figura 5).



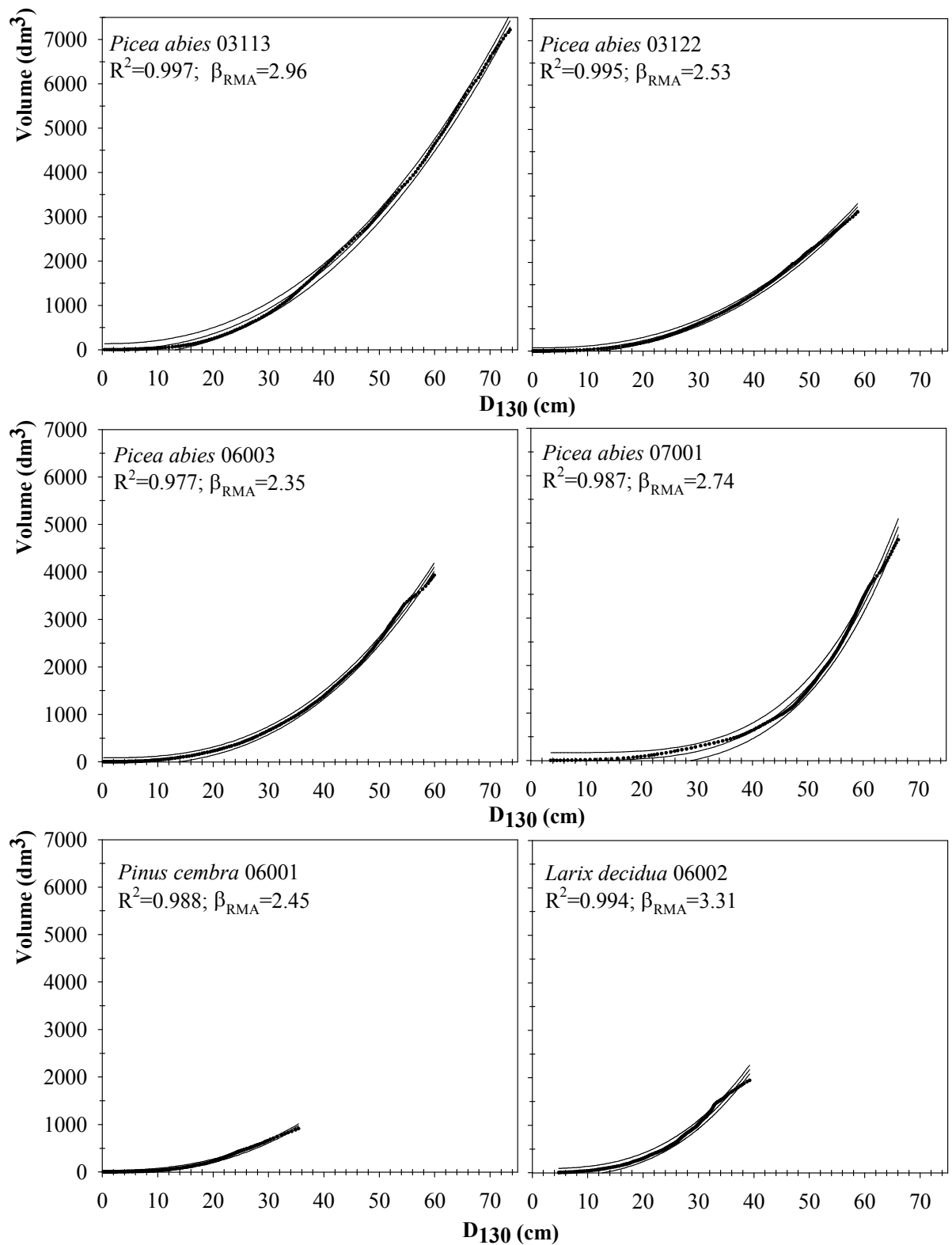
**Figura 5.** Curva stereometrica costituita da coppie di volume e diametro delle singole piante.

L'equazione della retta RMA risulta:

$$\log V = -0.50 + 2.310 \log D_{130}$$

con  $n=6$ ,  $R^2=$ ,  $F=171.2$ ,  $p < 0.001$

Limiti di confidenza 95% di  $\beta_{RMA}$ : 1.55-3.08



**Figura 4.** Curve stereometriche dinamiche.  $D_{130}$  = diametro a petto d'uomo.

#### 1.1.4 Discussione

##### *Altezza*

Le piante analizzate si collocano, secondo Susmel (1980), nella fase di maturità in quanto, al termine del ciclo di coltivazione, i soggetti di età più avanzata, nelle peccete subalpine, dovrebbero raggiungere i 250-300 anni.

I valori registrati di incremento di altezza sono confrontabili con quanto riportato da Da Corte (1981) che ha indagato popolamenti di alta quota (1800 m s.l.m.) nel comune di Cortina d'Ampezzo. Da questo studio è risultato che in soggetti di abete rosso (<70 anni) di altezza compresa tra 12 e 13 m la lunghezza della freccia apicale si attestava sui 30-35 cm. Individui della stessa specie di diametro inferiore presentavano anche incrementi longitudinali più ridotti (circa 10 cm). Valori di freccia apicale di 10-15 cm sono infatti raggiunti negli abeti studiati ad età inferiori di 30 anni.

Nella stessa ricerca il pino cembro ed il larice mostravano analoghi incrementi in presenza di diametri compresi tra i 15 ed i 20 cm, osservazione confrontabile con quanto riportato in fig. 1.

Per le abetine e le peccete del Cadore Susmel (1980) verifica che la culminazione dell'incremento in altezza avviene tra i 30 ed i 60 anni con getti di 30-60 cm/anno. Lo stesso Autore descrive inoltre una drastica riduzione della lunghezza della freccia apicale già dai 70 anni di età per giungere a soli 1.5-3 cm/anno dopo i 100-150 di età. Risulta quindi chiaro che i soggetti di questo studio, che vegetano a quote superiori a quelle prese in considerazione da Susmel, si avvantaggiano di un ambiente estremamente fertile in quanto riescono a mantenere accrescimenti paragonabili a popolamenti di altitudini inferiori.

L'abete rosso 03113 risponde particolarmente a questa descrizione.

Altri Autori (Regione del Veneto, 1985) hanno verificato che soggetti di età compresa tra i 40 e i 60 anni, provenienti da varie località delle Dolomiti Venete, riducono considerevolmente il loro accrescimento longitudinale annuo passando da una quota di 1700 m s.l.m. (27 cm) a 2000 m s.l.m. (5 cm). Tali ritrovamenti concordano perfettamente con quanto osservato.

Nei dintorni di Predazzo (1660 m s.l.m.) è stato verificato (Mella, 2001) che il 70% degli abeti rossi riesce a raggiungere una altezza di 4 m impiegando un tempo compreso tra i 18 ed i 40 anni (accrescimenti tra 0.10-0.22 cm/anno) mentre, contrariamente a quanto atteso, a quote maggiori (Ziano di Fiemme, 1750 m s.l.m.) l'accrescimento nei primi stadi di vita è più veloce: il 52% delle piante analizzate dimostrava di raggiungere i 4 m in 20 anni.

In questo studio risulta difficile stimare l'incremento di altezza verificatosi prima di raggiungere la soglia dei 1,30 m, si può comunque credere attendibile quanto registrato da Golser e Hausenauer (1997) che in giovani soggetti di *Picea abies* austriaci ( $H < 1.30$  m) hanno misurato incrementi di altezza medi variabili da 0.15 a 0.61 m/anno.

Il pino cembro registrava, al momento della morte del cimale, una altezza di quasi 21 m: per questa specie viene riportata una altezza massima di 25 m (Regione del Veneto, 1985) e si deve quindi dedurre che questo soggetto abbia potuto estrinsecare tutte le sue capacità di accrescimento longitudinale.

Il pino presenta, a quote superiori ai 1700 m s.l.m., una capacità di accrescimento longitudinale decisamente superiore all'abete rosso. Sulle Dolomiti Venete, a 2000 m di quota, è stato dimostrato che giovani soggetti sono in grado di emettere getti di 8 cm di lunghezza mentre ad altitudini inferiori (1800-1900 m s.l.m.) si osservano incrementi annui variabili tra i 21 ed i 33 cm (Regione del Veneto, 1985). L'individuo studiato, della stessa età (40-50 anni), dimostra un accrescimento longitudinale annuo di 28 cm, perfettamente comparabile ai dati riportati.

Tutti gli individui esaminati presentano incrementi longitudinali ridotti dopo i 100-150 anni di età. Il declino nel tasso di allungamento del getto terminale con l'aumentare dell'altezza della pianta è stato trovato essere, anche in conifere americane, molto intenso ed un individuo di *Pseudotsuga menziesii* può accrescersi di 0.67 m/anno all'età di 18 anni fino a 0.01 m/anno a 140 anni (Ishii *et al.*, 2000). Tuttavia, se è vero che non ci si può attendere da queste piante una ripresa duratura dell'accrescimento longitudinale e che quindi si deve confermare la proposta di Susmel (1980) che in tali condizioni la massima potenzialità dello sviluppo in altezza degli alberi è già stata espressa e che la riduzione del controllo apicale ha come risultato cime multiple o "nidi di cicogna" (Ishii *et al.*, 2000), si deve comunque riconoscere che sporadicamente questi soggetti sono ancora in grado di emettere getti di notevoli dimensioni, come nel caso dell'abete 06003.

Quest'ultima pianta potrebbe essere una conferma delle moderne ipotesi sui meccanismi che regolano la limitazione in altezza delle piante: se le limitazioni fossero di tipo idraulico, come proposto da numerosi Autori (Ryan e Yoder, 1997; West *et al.*, 1999; Koch *et al.*, 2004; Anfodillo *et al.*, 2006) e quindi il problema consistesse nell'aumento della resistenza al flusso della linfa, a seguito della morte del cimale si dovrebbero osservare incrementi in altezza superiori a quelli prodotti in precedenza, come effettivamente accade.

## *Volume*

In letteratura il termine dell'accrescimento volumetrico in peccete subalpine viene collocato attorno ai 150-250 anni di età (Del Favero, 2000).

L'abete rosso 03113 raggiunge un massimo incremento annuo di volume di 80 dm<sup>3</sup>. Questo valore deve ritenersi eccezionale in quanto Susmel (1980) rileva che peccete e abetine cadorine di quote simili arrivano, nelle stazioni più fertili e a parità di diametro, ad un massimo di 30-60 dm<sup>3</sup> annui poi decrescenti. Nelle stazioni meno fertili la culminazione si avrebbe attorno a diametri di 40 cm con 10-30 dm<sup>3</sup>/anno, valori comparabili a quelli di questo studio con la notevole differenza che queste piante non mostrano un picco di accrescimento.

La mancanza della culminazione dell'incremento in volume potrebbe essere dovuta a lunghi periodi di adduggiamento o di competizione tra piante tuttavia, in questo caso specifico, le piante si trovano in una fustaia non particolarmente fitta e si deve pertanto supporre che la culminazione non sia ancora stata raggiunta a causa di una combinazione di fattori stagionali (Mella, 2001).

I cicli di incremento che si osservano nelle piante 07001 e 03113 potrebbero essere dovuti alle attività selvicolturali. In questi popolamenti si interviene infatti con tagli successivi a piccole buche o semplicemente con taglio raso a buche che potrebbero aver permesso l'incremento diametrico. L'abete rosso è infatti una specie in grado di reagire prontamente alla disponibilità di spazio (Kantola e Makela, 2006; Makinen e Hein, 2006).

Gli Autori del modello WBE (Enquist *et al.*, 1998; West *et al.*, 1999) hanno previsto che l'esponente allometrico della potenza tra il diametro a petto d'uomo ed il volume della pianta debba essere un valore universale pari a 2,67, indipendente cioè dalle caratteristiche morfologiche e strutturali della pianta. Questa ipotesi non trova conferma nei risultati ottenuti: i valori dell'esponente variano infatti da 2.351 a 3.312 e sono per la maggior parte significativamente differenti l'uno dall'altro.

Già Niklas (2004) sollevava dei dubbi circa il valore dell'esponente, che avrebbe potuto rivelarsi specie-specifico piuttosto che universale, ma in questo caso tutti gli individui di abete rosso analizzati presentavano esponenti statisticamente diversi e quindi anche l'ipotesi di un  $\beta_{RMA}$  tipico della specie deve essere rigettata.

Scostamenti dal valore teorico sono stati ottenuti anche da Altri Autori (Zianis e Mencuccini, 2004; Zianis *et al.*, 2005; Commes e Allen, 2007), in particolare gli esponenti allometrici sembrerebbero collocarsi su valori inferiori a 2.67 (Zianis e Mencuccini, 2004).



Va tuttavia sottolineata la differenza tra le analisi di questo studio, condotte a livello ontogenetico sui cambiamenti avvenuti nel singolo individuo, e quelle riportate in letteratura che considerano invece una gran quantità di individui.

Quando si tenta di avvicinarsi al secondo approccio (figura 5) si nota immediatamente che il valore del coefficiente angolare della retta rimane piuttosto simile ai precedenti, attestandosi su valori di 2.310. Questo fatto rappresenta comunque una conferma della solidità della relazione  $D_{130}-V$  che si mantiene su di un intervallo di esponente piuttosto ridotto anche se non verifica perfettamente la previsione di 2.67.

Allo stesso modo deve essere rigettata la critica alla funzione potenza mossa da Weiner (2001) che si conferma invece come la miglior funzione interpolatrice per questi dati.

Il principale svantaggio nell'accettare un valore universale di  $\beta_{RMA}$ , indipendentemente dal valore assunto, può essere riferito al fatto che il rapporto del tasso di crescita specifico di  $V$  e  $D_{130}$  di specie vegetanti in ambienti completamente differenti dovrebbe rimanere costante, contrariamente a quanto suggerito dalla ecofisiologia e dall'ecologia (Zianis e Mencuccini, 2004).

Un continuo aumento di biomassa sarebbe inoltre possibile solo se concomitante ad una buona efficienza fotosintetica ossia ad un adeguato valore di area fogliare (Fuchs e Livingston, 1996; Zianis *et al.*, 2005; Groot e Saucier, 2007) che dovrebbe mantenersi costante nel tempo rispetto alla biomassa o alla quantità di tessuto conducente e che invece è stato dimostrato diminuire, nell'abete rosso (Korner e Paulsen 2004) ed in altre specie (McDowell *et al.*, 2002a).

Le curve stereometriche individuali mancano quindi dei dati relativi a dimensioni della pianta maggiori di quelle osservate (es. nell'abete rosso  $> 90$  cm) che potrebbero modificare in maniera interessante i risultati ottenuti.

### **1.1.5 Conclusioni**

L'analisi dei cambiamenti, nel corso dell'ontogenesi di una pianta, dell'incremento in altezza e dell'incremento volumetrico risulta di particolare interesse in quanto consente di valutare la diversa possibilità di accrescimento dell'individuo nel tempo.

Viene confermato il diverso andamento dello sviluppo in altezza ed in volume della pianta che nelle fasi giovanili si accresce maggiormente in senso longitudinale manifestando una precoce (50-60 anni) culminazione dell'incremento annuo mentre l'aumento di biomassa è decisamente più lento. A questo proposito risulta particolarmente interessante osservare che in piante bicentinarie, quali quelle esaminate, non si raggiunge ancora un massimo nell'incremento annuo di volume e questo risultato deve considerarsi importante per due ragioni:

- vi è una certa carenza di dati incrementali in piante che hanno superato il turno colturale;
- la presenza di incrementi sostenuti in piante mature suggerisce che non vi sia una “perdita di efficienza” nella produzione, almeno a queste età.

Le curve stereometriche del volume suggeriscono inoltre che la relazione  $D_{130}-V$  sia estremamente robusta ed i valori dell'esponente allometrico piuttosto simili seppure non identificabili con il valore 2.67 teorizzato da West *et al.* (1999a).

Studi di questo tipo, pur nella loro semplicità, consentono di porre le basi conoscitive per indagini più approfondite di altro tipo, anche anatomiche, che si interessino di comprendere il funzionamento dei meccanismi di accrescimento nelle piante.

## 1.2. ANALISI DELLA RASTREMAZIONE DEL FUSTO DURANTE L'ONTOGENESI DI CONIFERE CON CIMALE DISSECCATO.

### **Riassunto**

La limitazione dello sviluppo in altezza nelle piante è dovuta principalmente a due tipi di fattori: idraulici e biomeccanici. In questo ultimo caso la pianta è costretta ad assumere delle forme del fusto che consentano di ridurre il pericolo di instabilità meccanica dovuto al peso proprio ed a agenti destabilizzanti esterni quali il vento e la neve.

Sono stati proposti numerosi modelli per spiegare la relazione tra l'altezza e il diametro dell'individuo ma quello maggiormente condiviso risulta essere il principio della similarità elastica, dove l'altezza sarebbe legata al diametro con un esponente  $2/3$ .

Questo modello è stato incorporato anche nella spiegazione fisico-matematica di West *et al.* (1999) dei rapporti allometrici intercorrenti tra le varie parti dell'organismo vegetale.

Questo studio analizza sia i cambiamenti, nel corso dell'ontogenesi, della rastremazione del fusto di conifere d'alta quota sia il rapporto di crescita tra altezza, valutando la sua aderenza a quello proposto dal modello di similarità elastica ( $H \propto D^{2/3}$ ).

In entrambi i casi si ottengono delle funzioni di tipo potenza descritte da un esponente superiore ad 1 che nel primo caso indica una forma del fusto piuttosto cilindrica mentre nel secondo suggerisce un tipo di crescita più simile a quello previsto dal modello di similarità geometrica.

*Parole chiave:* rastremazione del fusto, ontogenesi, conifere, cimale disseccato, modello di similarità geometrica, modello di similarità elastica, curva ipsometrica dinamica.

### **1.2.1. Introduzione**

Le piante vascolari viventi attualmente sulla Terra presentano valori massimi di altezza e di massa distribuiti su 12 ordini di grandezza e singoli individui di determinate specie sono in grado di coprire l'intero intervallo nel corso della loro ontogenesi (Enquist e Niklas, 2001).

Le diverse specie vegetali, in particolare quelle che raggiungono notevoli dimensioni, devono essere in grado di accrescersi mantenendo una struttura che consenta di sopportare gli stress fisico-meccanici intrinseci (forza peso, resistenza a trazione e compressione, elasticità) e quelli estrinseci applicati dall'esterno (carichi da vento e da neve): per questo motivo, pur nella loro

varietà, tutti gli alberi sono riconducibili a poche forme base (Nygren e Pallardy, 2008) risultanti dall'assemblaggio di unità costitutive elementari.

I limiti biomeccanici potrebbero quindi aver guidato l'evoluzione delle piante (King, 1990; Niklas, 2001; Jagel *et al.*, 2003; Edwards, 2003) rappresentandone il principale ostacolo allo sviluppo verticale dato che il superamento di una soglia critica di altezza, definita dalla dimensione massima in grado di tollerare le deformazioni indotte dalle forze interne ed esterne all'individuo, renderebbe la struttura instabile (McMahon, 1973; King, 1991; Morgan e Cannel, 1994; Niklas e Speck, 2001; Meng *et al.*, 2006).

In questa situazione, nei punti del fusto sottoposti al massimo sforzo quali la base, potrebbero verificarsi microscopici collassi degli elementi strutturali (Niklas, 2007) con conseguenti schianti di rami o dell'intero individuo (Niklas, 1999).

Nel corso dell'ontogenesi, nonostante i mutamenti di forma, dimensione e delle proprietà del materiale costituente, i limiti all'aggiunta di materiale costruttivo divengono sempre più evidenti in quanto l'incremento di biomassa aumenta proporzionalmente il carico che la struttura deve sopportare contro il vento e la gravità (Niklas, 1994a).

È stato infatti dimostrato (Niklas, 1999) che il fattore di sicurezza del tronco diminuisce all'aumentare dell'età dell'individuo (e quindi delle dimensioni).

Il materiale che compone il fusto assume un ruolo molto importante nel consentire all'albero di raggiungere determinate stature (Jagel *et al.*, 2003) in quanto ogni molecola possiede specifici valori del modulo di elasticità (cioè il rapporto tra la forza applicata e la relativa deformazione dell'oggetto, senza giungere alla rottura): ciò è evidente in piccoli organismi vegetali, quali i muschi, che sono costituiti di tessuti quasi esclusivamente parenchimatici mentre sclerenchimi e fibre xilematiche risultano decisamente più adeguati per sostenere ed innalzare il peso del fogliame, come avviene nelle piante superiori (Niklas, 1994b).

L'eterogeneità dei materiali di base che compongono il tronco ed una forma adeguata sembrano essere i migliori meccanismi di compensazione che la pianta possa mettere in atto per ridurre le limitazioni biomeccaniche (Niklas e Spatz, 2000) soprattutto se si considera che il fusto è formato da un insieme di coni legnosi sovrapposti annualmente e quindi costruiti secondo le esigenze del momento (Kellomaki *et al.*, 1999).

I limiti meccanici tuttavia, se analizzati singolarmente, non sono in grado di spiegare le altezze massime degli alberi misurate in campo in quanto le sovrastimano di un ordine di grandezza (Niklas e Spatz, 2004; Niklas, 2007) suggerendo così l'esistenza di altri fattori influenti sulle dimensioni vegetali, generalmente riconosciuti come limiti di natura idraulica e legati al

trasporto dei liquidi all'interno del fusto (Ryan e Yoder, 1997; West *et al.*, 1999a, Enquist e Niklas, 2001; Niklas, 2007).

Le costrizioni biomeccaniche continuano comunque a rappresentare degli importanti aspetti del problema, con ricadute non trascurabili su disparati organi vegetali, perciò vengono incluse a pieno titolo nei modelli allometrici che si propongono di analizzare le relazioni strutturali e fisiologiche delle piante (West *et al.*, 1997, 1999b).

In meccanica un fusto è paragonabile ad una trave ad incastro singolo (Niklas, 1999) ove il massimo momento flettente ( $\sigma_{\max}$ ) è ottenuto quando la lunghezza del tronco ( $L$ ) eguaglia la distanza tra l'incastro ed il punto di applicazione della forza ( $\ell$ ), ne deriva quindi la formula fondamentale:

$$\sigma_{\max} = \rho g \frac{AL\ell}{Z} \quad (1)$$

dove:

$g$ = forza di gravità;

$\rho$ = densità del materiale;

$A$ = area della sezione trasversale;

$Z$ = coefficiente legato alla forma della sezione (momento di inerzia).

Dalla equazione 1 si ottiene che, supponendo una colonna di forma cilindrica con  $L=\ell$  e  $Z=\pi r^3/4$  (dove  $r$ =raggio), il massimo momento flettente è legato anche al rapporto di snellezza ( $L/r$ ) e decresce all'aumentare della sezione trasversale del fusto o al diminuire del volume complessivo del cilindro (Niklas, 1994a). Questo tipo di ragionamento risulta valido immaginando le forme più disparate.

Sulla base di queste considerazioni il rapporto allometrico esistente tra il diametro ( $D$ ) e l'altezza della pianta ( $L$ ) è stato esaminato, da lungo tempo, secondo tre modelli che portano alla predizione di diversi esponenti allometrici ( $\beta$ ) della potenza  $L$  vs  $D$  (McMahon e Kronauer, 1976; Niklas, 1994b).

Il modello della similarità dello stress ritiene che le forze inducenti deformazioni siano ripartite costantemente lungo la lunghezza  $L$  del tronco e viene soddisfatto dalla relazione:

$$L \propto D^{1/2} \quad (2)$$

Il modello elastico prevede che la flessione dell'estremità libera del fusto debba rimanere costante e proporzionale ad  $L$ :

$$L \propto D^{2/3} \quad (3)$$

Come illustrato da MacMahon (1973), rielaborando la formula di Euler-Greenhill, questa relazione è supportata dall'assunzione che la densità del materiale e le sue proprietà meccaniche siano da ritenersi uniformi tra le varie parti del fusto e costanti durante l'ontogenesi.

L'ultimo criterio adottato per spiegare la relazione  $L$  vs  $D$  è quello della similitudine geometrica per il quale la proporzione tra incremento diametrico e longitudinale resterebbe costante nel tempo:

$$L \propto D^1 \quad (4)$$

I modelli elencati derivano dall'equazione 1 e sono quindi legati al rapporto di snellezza della pianta e alla capacità autoportante del fusto ed alla fine rappresentano la funzione di una curva ipsometrica.

In un popolamento l'utilità di una curva ipsometrica è innegabile: permette infatti di ottenere informazioni sulla massima altezza raggiungibile in una determinata stazione (Thomas e Bazzaz, 1999) e quindi sulla fertilità della stazione stessa (Knowe, 1994; Wang *et al.*, 1994, Wang, 1998; Ishii *et al.*, 2000), sulla forma delle piante, tramite il rapporto di snellezza (Inoue, 2004; Bevilacqua *et al.*, 2005) ed indirettamente, sulle dinamiche forestali future (Thomas e Bazzaz, 1999; Ishii *et al.*, 2000; Zucchini, 2001).

Nel caso di un singolo individuo, non disponendo di termini di confronto, la curva ipsometrica potrebbe rappresentare la variazione nel tempo nelle strategie di allocazione (Ryan *et al.*, 2005) ed in definitiva fornire delle informazioni indirette sulla fisiologia della pianta (Umeki, 2001).

Per questo motivo la relazione ontogenetica tra  $L$  e  $D$  è stata a lungo investigata (Greenhill, 1881 in: McMahon e Kronauer, 1976; Rennols, 1994; Niklas, 1994a,b), soprattutto sulle piante mature, per le sue ricadute selvicolturali ed economiche e si sono generalmente ottenuti risultati piuttosto simili alle previsioni del modello di elasticità (Niklas, 1993). L'esponente allometrico della potenza dovrebbe quindi collocarsi tra 0.5 (similarità dello stress) e 0.67 (similarità elastica) ma appare ovvio che nella realtà i coefficienti di confidenza al 95% comprendono ampiamente questi valori (Niklas, 1994b) e resta attualmente impossibile definire il migliore tra i due criteri.

Nel WBE *model* le assunzioni fondamentali sono riferite ad una ipotetica angiosperma, l'esponente  $2/3$  (0.67) viene quindi adottato in tutte le equazioni del modello, andando ad influire in maniera determinante anche nelle relazioni necessarie al calcolo del grado di rastremazione dei condotti xilematici. In particolare la relazione:

$$\frac{l_k}{l_N} = \left( \frac{r_k}{r_N} \right)^{2/3a} \quad (5)$$

viene fatta derivare dalle due fondamentali:

$$\frac{l_{k+1}}{l_k} = n^{-1/3} \quad (\text{principio del } volume \text{ filling}) \quad (6)$$

$$\frac{r_{k+1}}{r_k} = n^{-a/2} \quad (\text{rapporto tra i raggi del fusto di due livelli successivi}) \quad (7)$$

ove  $a$  rappresenta il coefficiente di mantenimento dell'area trasversale ( $a=1$ ), intuito già da Leonardo da Vinci ed  $n$  il coefficiente di diramazione del fusto ( $n=2$ ).

Perciò se la stabilità meccanica è la stessa in tutti i rami e se si considera il modello di similarità elastica, l'esponente allometrico  $\beta$  ( $2/3$ ) diviene indipendente dal livello esaminato e si ottiene una architettura ramificata di tipo frattale (Enquist, 2002).

Si crea così una inesattezza in quanto la rastremazione dei condotti è riferita all'asse longitudinale del fusto mentre l'esponente di scala tra l'altezza ed il diametro del modello di elasticità deriva principalmente dal valore del diametro a petto d'uomo relazionato alla relativa altezza (Zhang, 1997; Niklas e Spatz, 2004).

La differenza nell'allometria diametro-altezza valutata in senso radiale o longitudinale può essere decisamente grande e condurre ad interpretazioni errate dei risultati (Henry e Aarssen, 1999) nonché potrebbe inficiare la validità delle equazioni proposte nel modello WBE.

Infatti mentre l'esponente derivato dallo studio della curva ipsometrica ( $2/3$ ) non fornisce nessuna informazione circa la forma della pianta ma solo sul mantenimento, o meno, delle proporzioni tra diametro ed altezza nel corso dell'ontogenesi, nel secondo caso si ottiene l'esatto opposto.

In letteratura molti studi che si occupano delle variazioni della forma del fusto nel corso dell'ontogenesi vengono eseguiti tramite confronti inter-individuali piuttosto che intra-individuali ed i soggetti vengono spesso classificati in categorie di maturità che presentano differenze di età relativamente piccole se paragonate alla longevità fisiologica della specie, a causa dell'ottica commerciale che guida la gran parte delle ricerche (Lanner e Connor, 2001).

Gli Autori che hanno esaminato la rastremazione del fusto nelle piante come un elemento determinante sia nella fisiologia dell'organismo che nell'accrescimento in altezza sono in realtà la minoranza (Rennols, 1994; Sumida *et al.*, 1997; Niklas e Spatz, 2004; Meng *et al.*, 2006), questo perché lo studio della forma del tronco è generalmente legato alla tecnologia del legno e alla dendrometria, in quanto da essa dipendono gli assortimenti ritraibili (Ikonen *et al.*, 2006).

Vista la grande abilità degli alberi ad adattare la loro struttura all'ambiente esterno modificando i siti di allocazione (Rennols, 1994; Vanninen, 2004) la selvicoltura si è occupata da lungo tempo di studiare le operazioni colturali che consentissero di ottenere fusti economicamente validi (Karlsson, 2005): le ricerche sono state innumerevoli valutando l'effetto della densità del

popolamento (Weiner, 1984; Jones e Harper, 1987), dei diradamenti (Arbaugh e Peterson, 1993; Tasissa e Burkhart, 1997, Karlsson, 2005) o considerando le risposte a lungo termine a seguito di diversi trattamenti del popolamento (Bevilacqua *et al.*, 2005).

In questo studio, pur valutando gli aspetti selvicolturali, ci si concentrerà maggiormente su quelli fisiologici analizzando dei soggetti con cimale disseccato, che vengono normalmente considerati “privi di futuro” dai pratici e quindi eliminati dai popolamenti forestali.

I disseccamenti del cimale, visti come l’adattamento alle fluttuazioni ambientali nel corso di fasi di crescita cicliche (Woolhouse, 1967), sono da sempre imputati a motivi idraulici (Rood *et al.*, 2000; Rice *et al.*, 2006) e sono quindi il segnale di una condizione non-ottimale del sistema di trasporto xilematico a cui potrebbe essere legata una variazione critica della forma del fusto.

Risulterebbe quindi interessante investigare anche il contributo di un simile carattere come fattore limitante alla crescita in altezza delle piante.

Lo studio si propone quindi di valutare, nel corso della loro ontogenesi, le variazioni della forma del fusto in conifere di alta quota nonché di indagare i cambiamenti nelle proporzioni tra diametro e altezza delle varie piante confrontando i coefficienti ottenuti con quelli del modello d’elasticità e valutando le possibili implicazioni fisiologiche a livello di singolo individuo.

### 1.2.2. Materiali e metodi

Si rimanda al Cap. 1.1, in particolare alla tabella 1, per ottenere una descrizione dettagliata delle piante esaminate, delle caratteristiche della stazione e dei metodi utilizzati per l’analisi.

In questo contesto si ricorda che in fase di raccolta con il termine “cimale” si è intesa la parte disseccata, nelle elaborazioni successive la denominazione “cimale” è stata estesa ad una porzione sommitale di fusto fissata al 10% dell’altezza raggiunta dalla pianta in ogni anno.

<b>Caratteristica</b>	<b><i>Picea abies</i></b>	<b><i>Pinus cembra</i></b>	<b><i>Larix decidua</i></b>	<b><i>Picea abies</i></b>	<b><i>Picea abies</i></b>	<b><i>Picea abies</i></b>
Codice	03122	06001	06002	06003	07001	03113
Numero di rotelle	35	52	69	46	52	24
Numero di rotelle nella parte morta	26	34	58	25	45	-
Lunghezza parte morta (m)	2.69	3.22	3.07	2.68	3.81	-

**Tabella 1.** Caratteristiche del *dataset* esaminato.

L’analisi separata delle diverse parti del fusto ha come scopo principale quello di individuare eventuali differenze di rastremazione lungo lo stesso anello di crescita, infatti se la



rastremazione fosse costante non vi dovrebbe essere discrepanza tra valori calcolati per il fusto e per il cimale. In tabella 1 sono riportate le caratteristiche del *dataset* utilizzato nel calcolo.

Il rapporto di snellezza delle piante (H/D) è stato calcolato per ogni anno dividendo il valore dell'altezza stimata con quello del diametro ad 1.30 m ed utilizzando la stessa unità di misura (La Marca, 1999). La misura del diametro a questa altezza, è risultata disponibile solo per *Larix decidua* (rotella a 1.38 m), negli altri casi è stato necessario interpolare gli accrescimenti delle due rotelle più vicine per ottenere una stima attendibile.

### *Analisi statistiche*

I parametri di scala delle equazioni allometriche, e relativi limiti di confidenza, sono stati determinati con regressioni di tipo RMA (*Reduced Major Axis*, Sokal e Rohlf, 1981) sviluppate attraverso l'applicazione RMA (Bohonak, 2004). Prima dell'inserimento nel programma i dati grezzi sono stati linearizzati mediante trasformazione logaritmica di base 10. In questo modo i valori risultanti di intercetta ( $\alpha_{RMA}$ ) e di coefficiente angolare ( $\beta_{RMA}$ ) corrispondono, rispettivamente, al coefficiente e all'esponente allometrico caratteristici della funzione potenza (rastremazione del fusto).

Ai parametri riferiti alle serie radiali di diametro-altezza è stato attribuito un nome diverso: intercetta ( $\alpha_{0RMA}$ ) e coefficiente angolare ( $\alpha_{0RMA}$ ).

I limiti di confidenza (95%) sono stati ottenuti applicando la procedura *bootstrap* a 10000 replicazioni (Davison e Hinkley, 1997) disponibile nell'applicazione.

La significatività delle regressioni lineari è stata testata tramite test di Fischer incluso nella procedura PROC REG di SAS® 9.1.2 (SAS Institute, Cary, NC, USA, 2004).

Il test di omogeneità delle pendenze (ANCOVA), condotto per verificare la similarità dei coefficienti angolari di rette calcolate per diversi anni o periodi di vita della pianta, è stato eseguito con procedura PROC GLM inclusa nel programma statistico SAS 9.1, in caso di non omogeneità delle varianze, valutata con test di Levene, si è ricorsi alla procedura Welch ANOVA.

Per il test di Student appaiato si è utilizzato il comando PROC TTEST.

Le elaborazioni grafiche sono state eseguite con il *software* Sigmaplot® 9.0 (Systat Software Inc, AZ, USA, 2004).

### 1.2.3. Risultati

#### *Profili del fusto*

Le piante esaminate presentano profili del fusto piuttosto regolari e simili tra loro, seppure appartenenti a specie diverse. Negli abeti rossi è distinguibile il neiloide di base (fig.1.), estremamente pronunciato nel campione 03122, che raggiunge i 4-5 m da terra, indipendentemente dall'altezza totale dei soggetti. La forma svasata della parte inferiore del tronco rappresenta circa il 10% dell'altezza, la forma delle parti superiori è invece assimilabile al classico paraboloide di Apollonio.

In quasi tutti i casi il restringimento basale comincia ad evidenziarsi nella prima metà degli anni '60, in precedenza si poteva osservare una forma del fusto più regolare e conica.

Nel pino cembro lo svasamento è meno pronunciato e deriva dalla notevole crescita di base verificatasi negli ultimi lustri.

Contrariamente a quanto osservato il larice presenta, a 4 m da terra, un rigonfiamento del fusto che appare di difficile attribuzione ma abbozzato già nei primi anni del 1900, va comunque ricordato che questa pianta era affetta da carie basale.

pianta	codice	anno	n	gruppo	CSS	MSE	F	p	F Lev	p Lev
Pino cembro	06001	2000	8	pre-	8.21	0.15	2.01	0.0774	1.52	0.1880
				post-	46.83	0.22	24.53	<0.0001	1.11	0.3776
Larice	06002	1985	11	pre-	12.72	0.07	8.28	<0.0001	3.85	0.0050
				post-	6.36	0.07	4.61	0.0014	2.68	0.0009
Abete rosso	03122	1991	8	pre-	5.97	0.02	14.28	<0.0001	2.35	0.0412
				post-	7.64	0.05	10.26	<0.0001	5.19	0.0003
Abete rosso	07001	1998	9	pre-	2.50	0.04	3.73	0.0091	3.42	0.0037
				post-	6.29	0.10	2.14	0.0510	2.00	0.0680

**Tabella 2:** Risultati del test ANOVA sulle medie di ampiezza anulare a diverse altezze dal suolo. I valori in corsivo risultano significativi ( $p < 0.05$ ). Con disomogeneità delle varianze (Levene con  $p < 0.05$ ) si è utilizzato il test Welch ANOVA. CSS= somma degli scarti al quadrato, MSE= devianza dell'errore, F=valore di Fisher calcolato, p= probabilità calcolata, F\_Lev=valore di Fisher calcolato nel test di Levene per l'omogeneità delle varianze, p\_Lev= probabilità associata al test di Levene.

Dalla figura 2 e dalla tabella 2 appare evidente che la forma del fusto è dettata dalla diversa quantità di sostanze allocate (e quindi di legno prodotto) alle diverse altezze dal suolo.

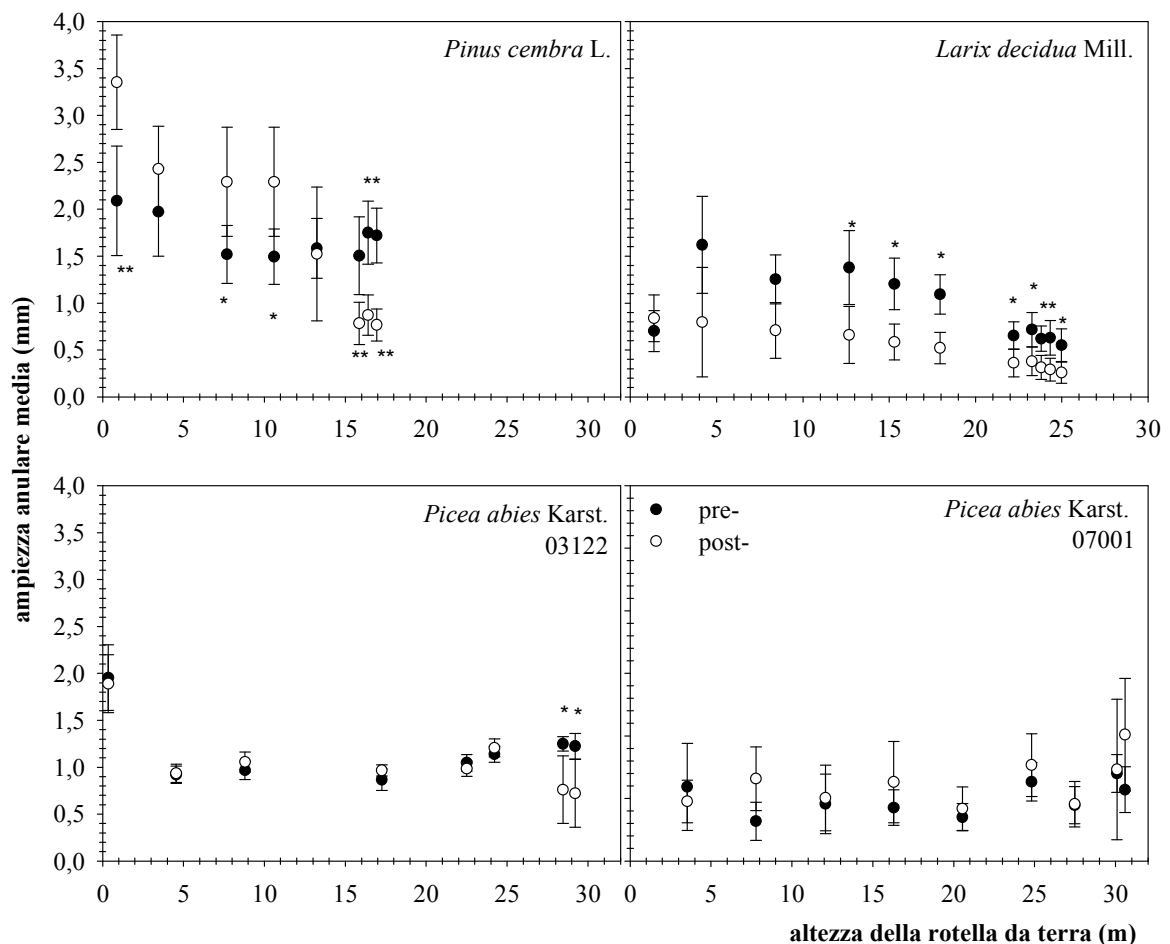
La forma "strozzata" di alcune piante potrebbe infatti derivare dal fatto che gli anelli di crescita, in queste piante, sono generalmente più ampi alla base rispetto all'apice del fusto.

Analizzando tramite test ANOVA la variazione longitudinale dell'ampiezza media dei 6 anelli precedenti e seguenti l'anno di morte del cimale è possibile notare che esistono spesso delle differenze significative: gli anelli rastremano diminuendo di spessore nelle parti più elevate del tronco (tab. 3).

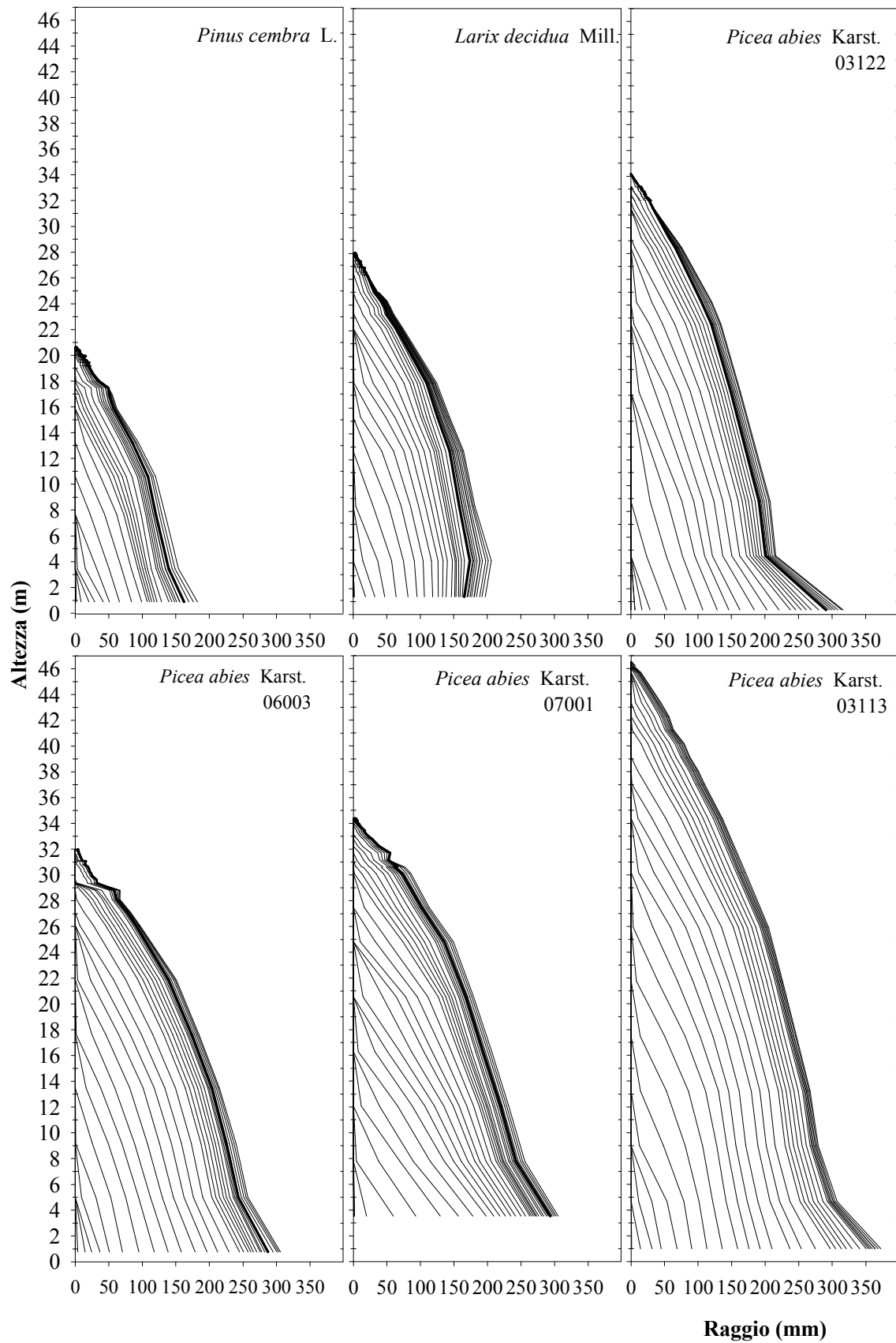
Nel larice (n=11, F=8.28, p<0.0001) e nell'abete rosso 03122 (n=8, F=14.28, p<0.0001) questa caratteristica risulta molto marcata e la rotella di base si distingue statisticamente per gli anelli significativamente più larghi di quelli all'apice.

In seguito al disseccamento del cimale la rastremazione anulare diviene evidente anche nel pino cembro (n=8, F=24.53, p<0.0001) che nei 6 anni precedenti il 2000 era stato in grado di formare anelli di ampiezza simile a varie altezze del fusto (n=8, F=2.01, p=0.077).

La rotella con gli incrementi maggiori rimane comunque quella di base.



**Figura 2** . Variazione nell'ampiezza media dei 6 anelli precedenti (pre-) e seguenti (post-) l'anno di morte del cimale lungo il fusto di conifere con cima disseccata. Le linee di confidenza rappresentano la deviazione standard dalla media, gli asterischi indicano il risultato ottenuto con test t appaiato (\*= p<0.05; \*\*= p<0.001). I valori sono riportati in appendice IIa.



**Figura 1:** profili dei fusti nei soggetti analizzati. La linea nera rappresenta l'anno di morte del cimale. Le linee sono tracciate ogni 10 anni fino al 1960, ogni 5 fino al 1990, ogni 2 in seguito.

Al contrario delle altre piante l'abete rosso 07001 è in grado di produrre anelli di ampiezza omogenea lungo il fusto solo in seguito la morte del cimale.

Eventuali effetti della perdita della dominanza apicale possono essere valutati confrontando, con test di Student appaiato, le ampiezze degli anelli formati nei 6 anni precedenti e seguenti quello del disseccamento (fig.2, appendice IIa).

Mentre l'abete 07001 non sembra avvertire le conseguenze dell'avvenimento, dimostrando accumuli di legno comparabili tra i due periodi, gli altri soggetti rispondono in maniera diversa.

*Picea abies* 03122, al pari dell'esemplare 07001, si dimostra poco sensibile al disseccamento del cimale mostrando una drastica riduzione ( $p < 0.005$ ) dell'ampiezza anulare solo nelle rotelle poste in vicinanza della parte morta (28.45 e 29.20 m).

Il pino cembro presenta differenze statisticamente diverse per quasi tutte le rotelle, in particolare si osservano due andamenti opposti: alla base del fusto l'ampiezza anulare tende ad aumentare a seguito della morte del cimale passando da una media di 2.09 mm a 3.35 mm (0.88 m:  $F = -4.54$ ,  $p = 0.006$ ) mentre nelle parti superiori del tronco si verifica un comportamento opposto con ampiezze medie di 1.5-1.7 mm che si riducono a 0.70-0.80 mm (16.94 m:  $F = 11.63$ ,  $p < 0.0001$ ).

Nella rotella di base del larice (1.38 m) non è significativo l'aumento di incremento negli anni post morte ( $F = -0.81$ ,  $p = 0.45$ ) ma nel tratto superiore ai 10 m di altezza da terra la differenza tra i due periodi si fa molto intensa e nel 1986-1991 si osservano ampiezze anulari decisamente ridotte rispetto al 1979-1984 ( $p < 0.05$ ).

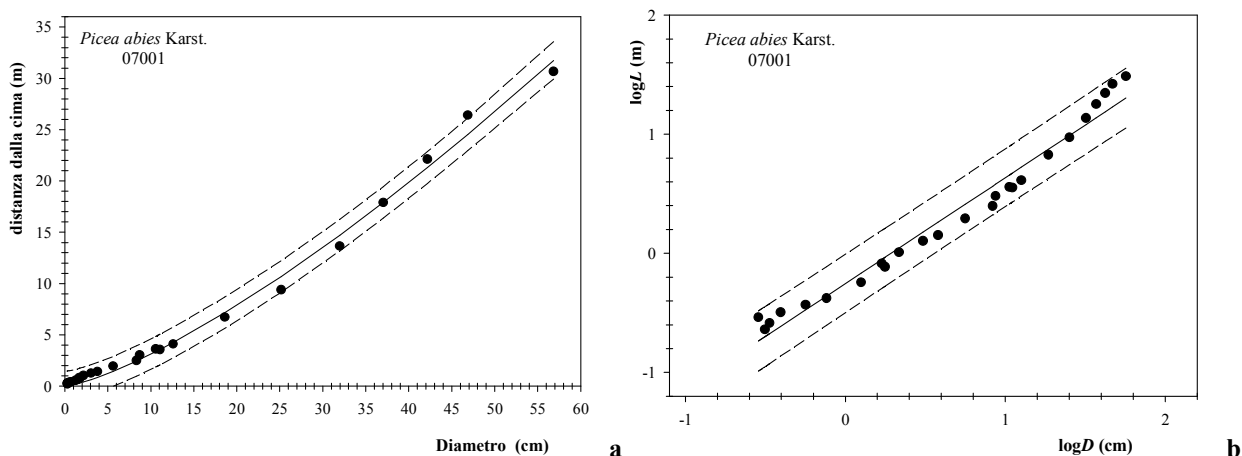
Su 3 delle 4 piante analizzate l'unico elemento in comune risulta essere la diminuzione di crescita nelle parti più alte del fusto a seguito della perdita della dominanza apicale.

### *Ontogenesi e rastremazione del fusto*

La relazione tra distanza dalla cima ( $L$ ) e diametro del fusto ( $D$ ), risulta, in tutti i soggetti analizzati, e per ogni anno di crescita, ben descritta da una funzione potenza (appendice IIb) e sempre significativa ( $p < 0.0001$ ), con esponente allometrico ( $\beta$ ) mediamente pari o superiore ad 1. In figura 3 viene riportato un esempio di interpolazione sui dati grezzi (con funzione potenza) e sui dati trasformati con logaritmo (regressione lineare): i punti si dispongono in maniera sigmoideale e la trasformazione non è in grado di eliminare completamente il *trend*.

Considerando tutte le piante analizzate si ottiene un campo di variazione del coefficiente angolare  $\beta_{RMA}$ , compreso tra 0.77 e 1.90. Sono valori generalmente superiori a quelli previsti dal

modello di similarità dello stress ( $\beta=0.5$ ) e dell'elasticità (0.67) ma consoni al modello geometrico (1).



**Figura 3.** Interpolazione della nuvola di punti  $L$  vs  $D$  per l'anno 1992 dell'abete rosso 07001. Funzione potenza (a) e retta di regressione su dati trasformati con  $\log_{10}$  (b). Limiti di confidenza al 95%. Equazione RMA della retta:  $\log L = -0.26 + 0.90 \log D$ ,  $R^2 = 0.973$ .

La specie che presenta valori di pendenza della retta mediamente più elevati è *Picea abies*, in particolare il campione 06003 (1.308) (tabella 3), pianta di altezza medio-alta con accrescimenti molto regolari.

Il larice possiede  $\beta_{RMA}$  pari a 1.114, valore basso se confrontato con quelli degli altri soggetti, ma derivante da un *dataset* con elevata dispersione dalla media, dove si giunge a  $\beta_{RMA}=1.50$ .

Le intercette delle rette ( $\alpha_{RMA}$ ) si collocano tra i valori -1.78 e -0.01 che, ritrasformati indicano, rispettivamente, altezze di 0.01 e 0.96 m in presenza di un diametro nullo.

Nel complesso i soggetti analizzati presentano parametri di regressione piuttosto uniformi e variazioni simili nel corso dell'ontogenesi (figura 4a e 4b).

Durante i periodi osservati si registrano infatti delle oscillazioni cicliche nel valore di  $\alpha_{RMA}$  e  $\beta_{RMA}$  che perdono la loro regolarità negli anni precedenti la morte del cimale.

Pur con qualche coincidenza le piante non dimostrano una chiara sincronizzazione dei cicli, che avrebbe potuto essere computata alla gestione selvicolturale, ma il modello seguito rimane lo stesso: da valori di coefficiente angolare leggermente inferiori ad 1 si assiste ad una costante crescita fino a 1.2-1.5 per poi crollare nuovamente su valori di  $\beta_{RMA}$  inferiori ad 1.

La pianta che presenta andamento più regolare, sotto questo aspetto, risulta l'abete rosso 03113, mentre la più irregolare l'abete 06003 che, nell'ultimo ventennio, dimostra una cilindricazione del fusto piuttosto spinta.

<b>pianta</b>	<b>periodo</b>		$\alpha_{RMA}$	$\beta_{RMA}$	$R^2$	anno $\beta_{RMA}$
03122	1919-1991	media	-0.462	1.175	0.993	
		min	-0.587	0.970	0.975	1968
		max	-0.206	1.272	0.997	1947
06001	1943-2000	media	-0.409	1.146	0.986	
		min	-0.648	0.930	0.955	1962
		max	-0.134	1.354	0.999	1979
06002	1900-1985	media	-0.377	1.114	0.972	
		min	-0.911	0.842	0.932	1964
		max	-0.013	1.500	0.993	1931
06003	1890-1997	media	-0.738	1.308	0.987	
		min	-0.177	0.820	0.867	1992
		max	-1.783	1.900	1.000	1984
07001	1895-1998	media	-0.558	1.127	0.990	
		min	-0.868	0.771	0.964	1916
		max	-0.046	1.326	1.000	1925
03113	1867-2002	media	-0.424	1.146	0.986	
		min	-0.708	0.980	0.972	1867
		max	-0.149	1.373	0.998	1904

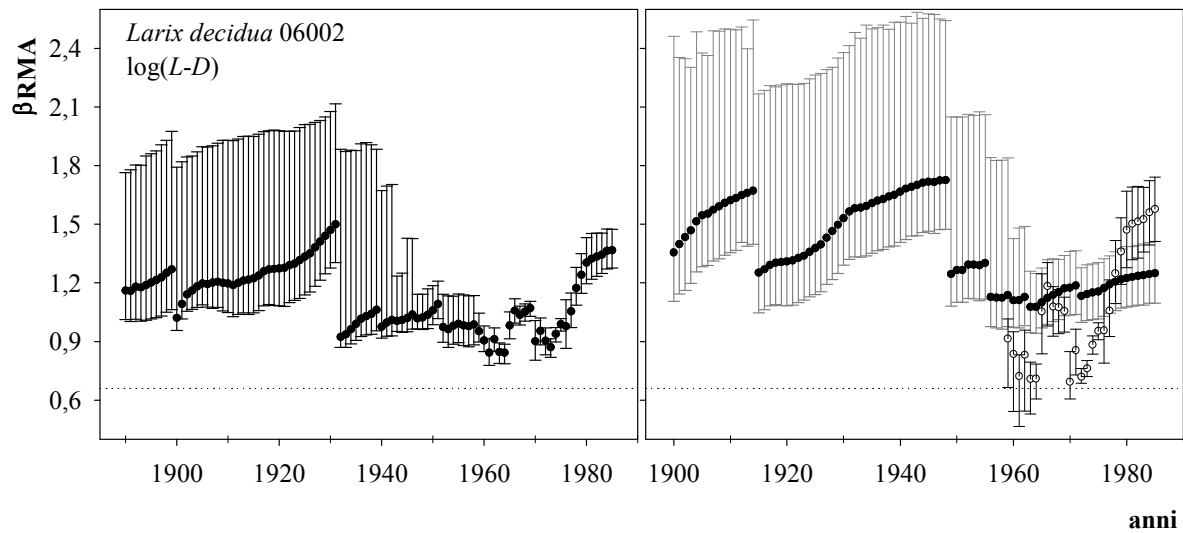
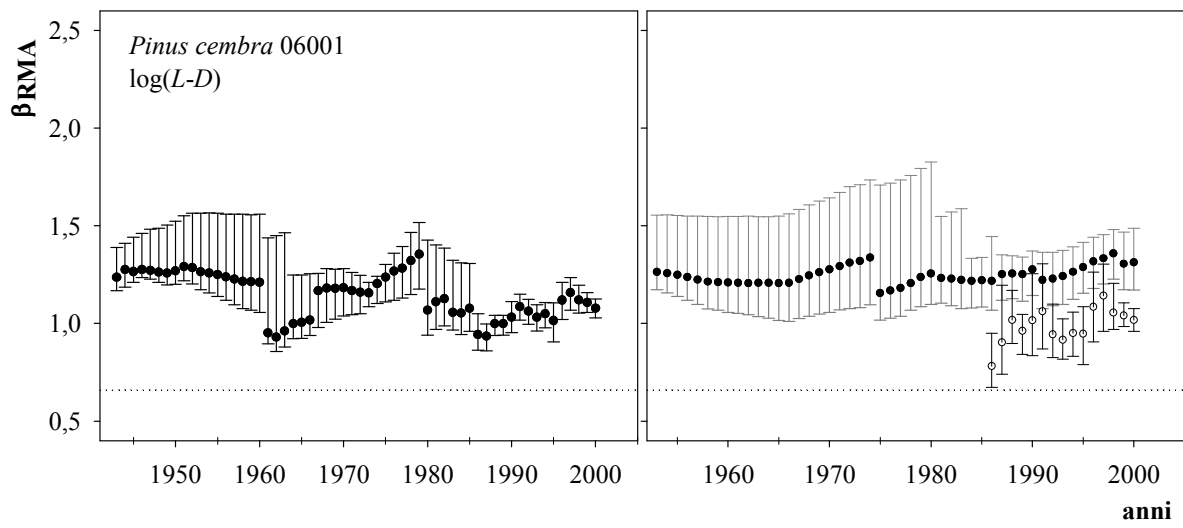
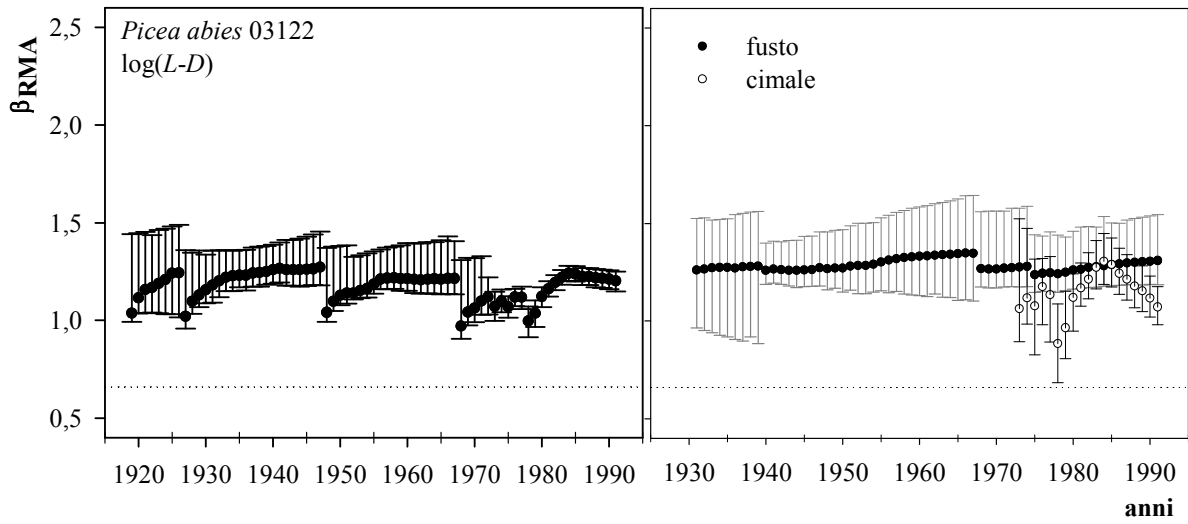
**Tabella 3.** Parametri riassuntivi delle rette di regressione calcolate con metodo RMA sui punti afferenti all'intero fusto. nell'ultima colonna viene riportato l'anno in cui il coefficiente angolare della retta ( $\beta_{RMA}$ ) presenta valore massimo o minimo.

L'intercetta presenta ovviamente comportamento speculare per cui al calare del coefficiente angolare si assisterà ad un incremento nel valore di  $\alpha_{RMA}$  (figura 4b).

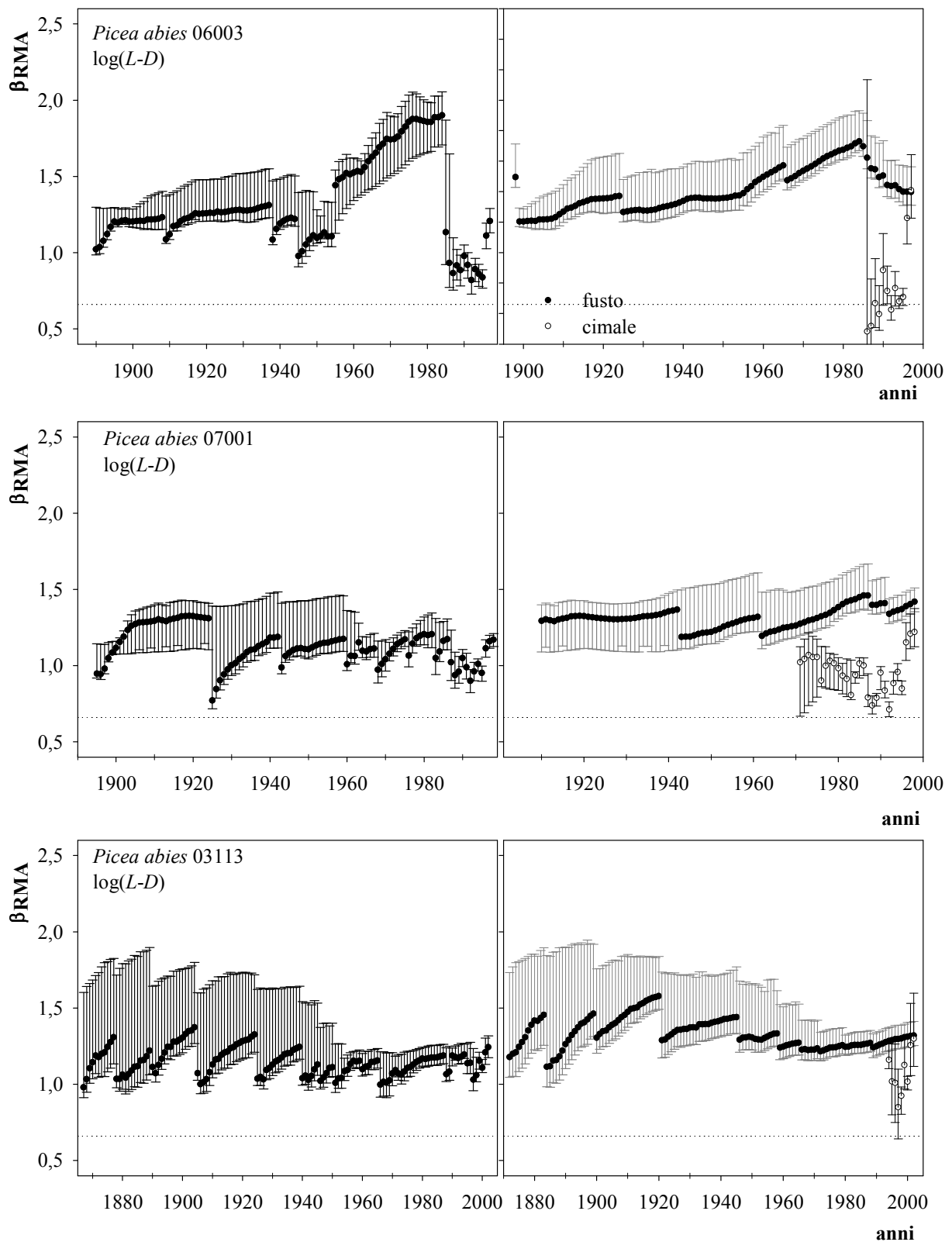
Non è possibile distinguere un comportamento univoco, nei soggetti raccolti, nel periodo precedente la morte del cimale infatti mentre l'abete rosso 03122 ed il pino cembro si trovavano in una fase discendente dei valori di  $\beta_{RMA}$ , tutte le altre piante mostrano coefficienti angolari sempre maggiori. I massimi valori di rastremazione del fusto non si raggiungono mai nel periodo immediatamente precedente la morte del cimale.

Esaminando separatamente le rastremazioni del tratto inferiore e superiore del fusto si nota immediatamente che il coefficiente di rastremazione del cimale è generalmente inferiore (e molte volte statisticamente diverso) da quello del fusto, con valori che si collocano in posizione intermedia tra il modello geometrico e quello di similarità elastica.

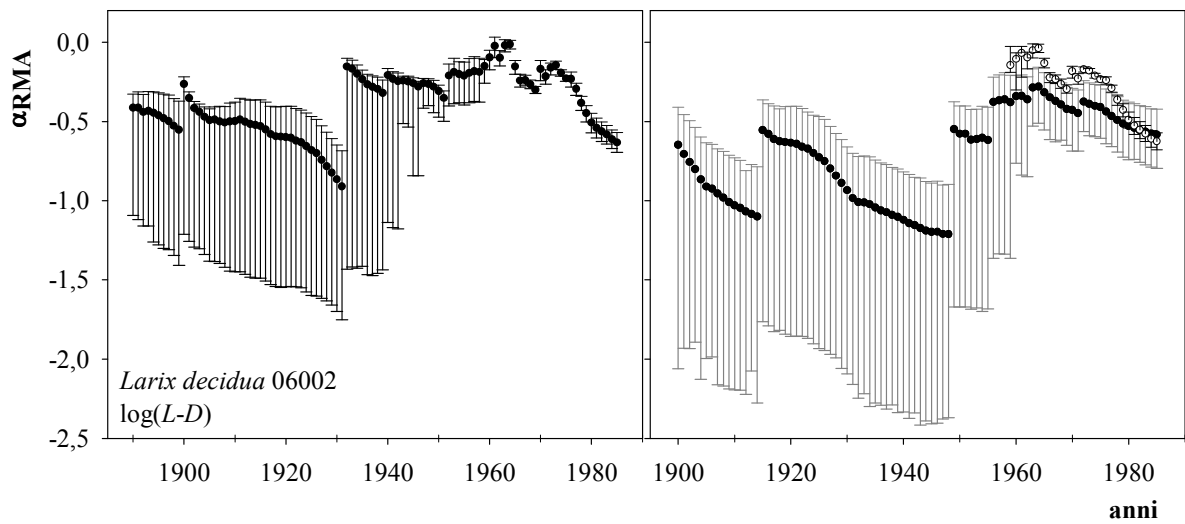
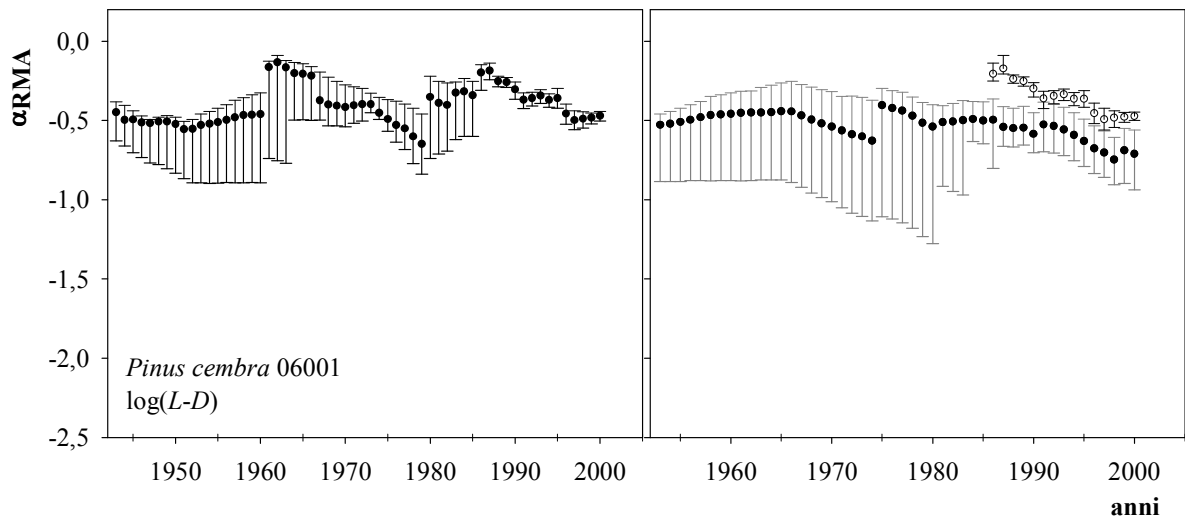
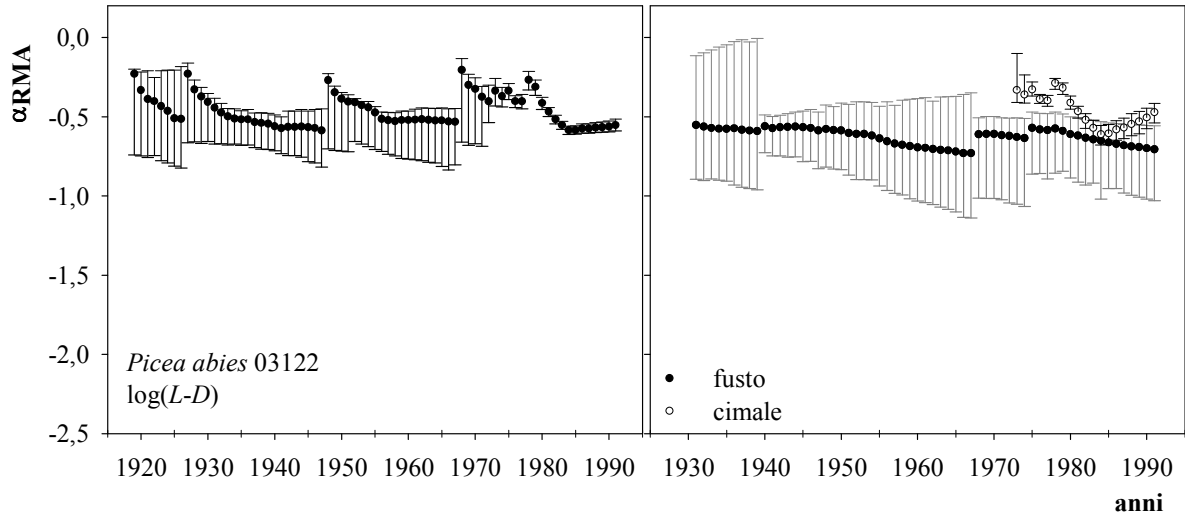
In alcuni anni di crescita del larice e della picea 06003 i valori  $\beta_{RMA}$  non sono statisticamente distinguibili da 0.67.

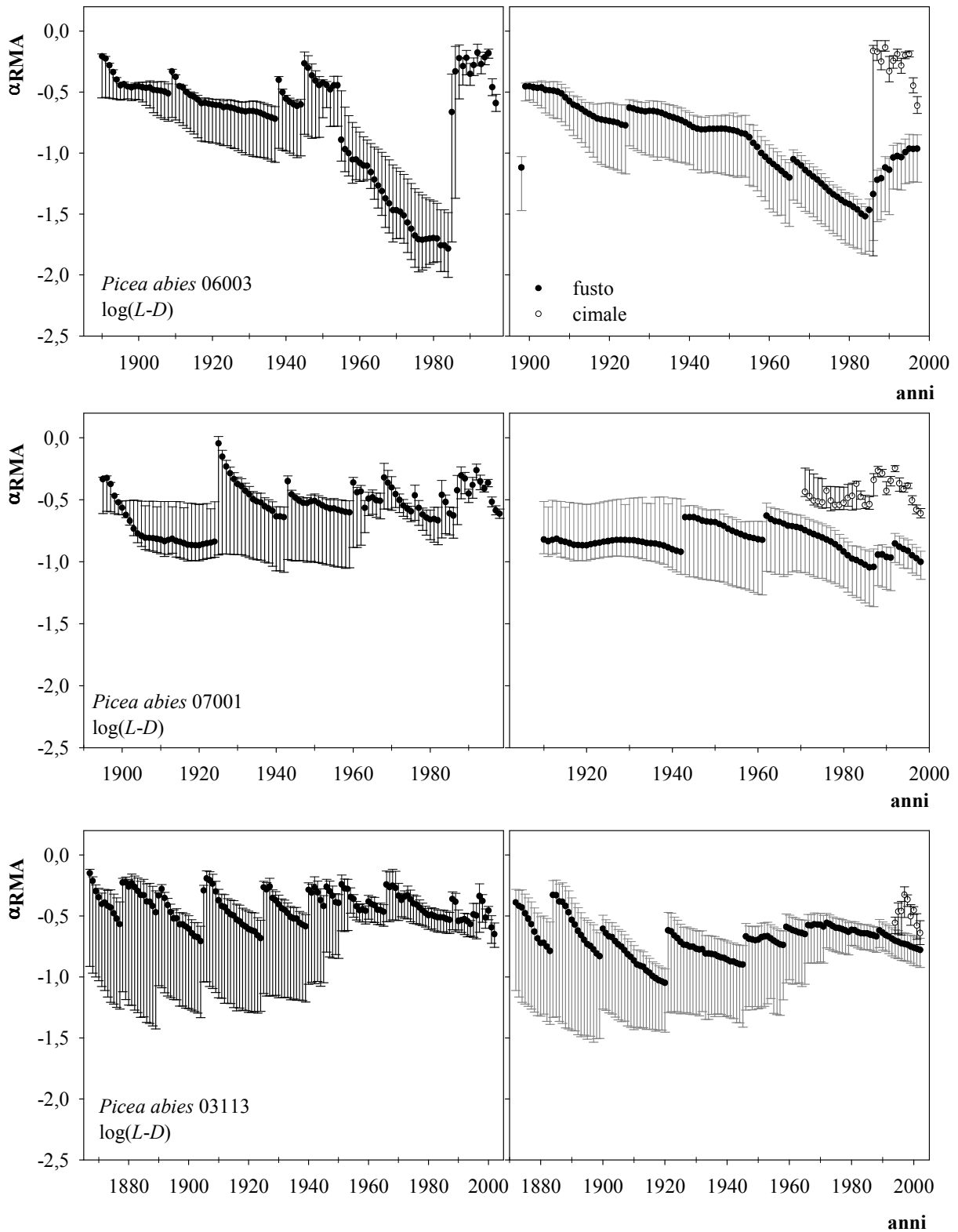






**Figura 4a.** Coefficiente angolare RMA ( $\beta_{RMA}$ ) della relazione distanza dalla cima ( $L$ ) vs diametro del fusto ( $D$ ) calcolato su dati trasformati ( $\log_{10}$ ). Nei grafici di sinistra si riportano i  $\beta_{RMA}$  relativi all'intero fusto, in quelli di destra i punti disponibili sono stati suddivisi tra cimale (entro il 10% di distanza dalla cima, cerchi vuoti) e fusto (cerchi neri). I limiti di confidenza (95%) sono rappresentati dalle linee verticali. La linea orizzontale indica il valore soglia  $2/3$ .





**Figura 4b.** Intercetta RMA ( $\alpha_{RMA}$ ) della relazione distanza dalla cima ( $L$ ) vs diametro del fusto ( $D$ ) calcolato su dati trasformati ( $\log_{10}$ ). Nei grafici di sinistra si riportano i  $\beta_{RMA}$  relativi all'intero fusto, in quelli di destra i punti disponibili sono stati suddivisi tra cimale (entro il 10% di distanza dalla cima, cerchi vuoti) e fusto (cerchi neri). I limiti di confidenza (95%) sono rappresentati dalle linee verticali.

Il periodo a disposizione per valutare le variazioni nei valori di coefficiente angolare ed intercetta è piuttosto breve, possono tuttavia essere fatte alcune considerazioni. Anzitutto valori di rastremazione diversi tra fusto e cimale indicano un profilo del tronco non uniforme e quindi non spiegabile attraverso l'uso di un'unica funzione potenza, questo viene confermato più volte mediante l'utilizzo di un test di parallelismo delle pendenze.

Gli abeti rossi 03113, 06003 e 07001 hanno comportamento molto simile dimostrando coefficienti di rastremazione diversi tra le due parti del fusto ( $p < 0.001$ ) in tutti gli anni esaminati eccezion fatta per il 2002 e 2001 (03113) e 1997 e 1998 (06003). Anche nel pino cembro la somiglianza tra valori di  $\beta_{RMA}$  costituisce più un'eccezione che una regola.

Al contrario l'abete rosso 03122 presenta profilo più uniforme con netta distinzione tra fusto e cimale nei due anni precedenti il disseccamento dello stesso.

Nel larice il test del parallelismo risulta significativo ( $p < 0.001$ ) in due brevi periodi, 1960-1964 e 1970-1975, in tutti gli altri anni il profilo del fusto deve considerarsi uniforme.

La maggior parte dei soggetti analizzati presentava coefficiente di rastremazione del cimale con valori crescenti al momento del disseccamento.

Se si esaminano nel loro insieme tutti i punti  $L$  vs  $D$  disponibili all'interno di un singolo soggetto (tabella 4) si ottengono interpolazioni estremamente significative. I coefficienti angolari risultano leggermente inferiori a quelli medi di tabella 3, specialmente per i soggetti 03113 e 06003, ma più uniformi tra individui attestandosi saldamente attorno a 1.

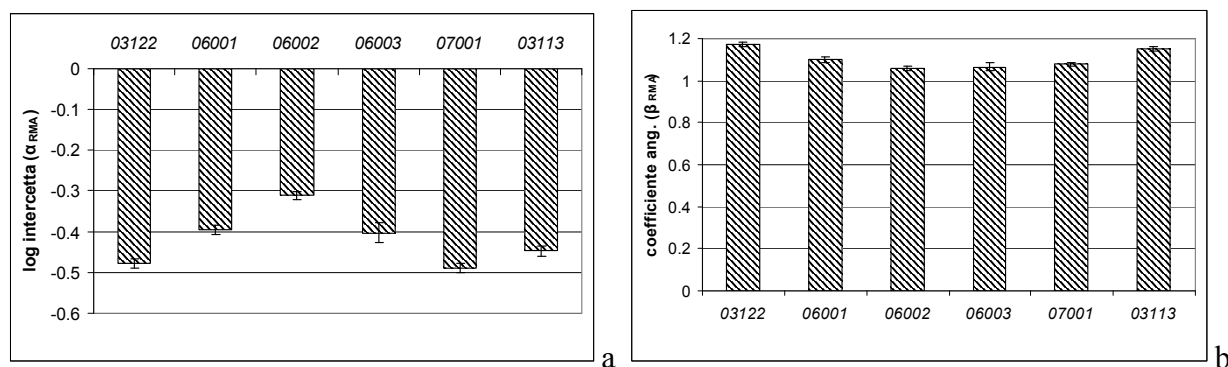
pianta	n	$\alpha_{RMA}$	$\beta_{RMA}$	$R^2$	$\alpha_{RMA}, 95\% \text{ l.c.}$	$\beta_{RMA}, 95\% \text{ l.c.}$	$R^2, 95\% \text{ l.c.}$	F	p
P.abies 03122	898	-0.478	1.174	0.990	-0.490 - -0.467	1.164 - 1.184	0.989 - 0.991	87203.80	<0.0001
P.cembra 06001	736	-0.395	1.101	0.980	-0.408 - -0.383	1.087 - 1.114	0.977 - 0.982	37765.40	<0.0001
L.decidua 06002	1608	-0.311	1.060	0.972	-0.321 - -0.300	1.049 - 1.071	0.970 - 0.975	56436.20	<0.0001
P.abies 06003	1000	-0.403	1.063	0.949	-0.430 - -0.378	1.045 - 1.083	0.943 - 0.955	18723.30	<0.0001
P.abies 07001	1040	-0.488	1.078	0.989	-0.500 - -0.477	1.070 - 1.087	0.988 - 0.990	92225.10	<0.0001
P.abies 03113	1428	-0.448	1.151	0.984	-0.462 - -0.434	1.141 - 1.161	0.982 - 0.986	87259.60	<0.0001

**Tabella 4.** Parametri delle rette di regressione RMA calcolate sulla base dell'insieme dei punti misurati per un singolo albero. I limiti di confidenza sono stati calcolati con metodo *bootstrap* a 10000 replicazioni (probabilità 95%).

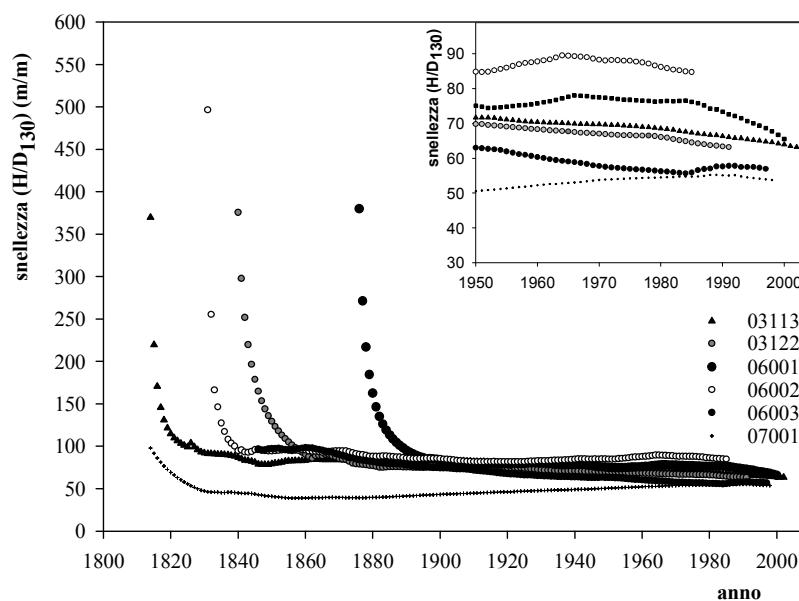
Il test dell'omogeneità delle pendenze rivela differenze significative tra i vari soggetti ( $n=6$ ,  $F=69.43$ ,  $p < 0.001$ ) anche se gli abeti rossi 06003 e 07001 con il larice 06002 formano un gruppo con profilo del fusto simile (06002 vs 07001:  $F=2.46$ ,  $p=0.11$ ; 06003 vs 07001:  $F=0.80$ ,  $p=0.37$ ) (figura 5b).

Il rapporto di snellezza ( $H/D_{130}$ ), calcolato per ogni soggetto (figura 6), assume valori estremamente alti nei primi anni di vita (300-400) a causa del ridottissimo diametro, misurato a petto d'uomo, rispetto all'altezza e si stabilizza dopo soli 10-20 anni sui valori tipici (<100).

I sei alberi si dimostrano comunque diversi nella loro crescita seppure sia diffusa la tendenza a diminuire il valore del rapporto, eccezion fatta per l'abete rosso 07001 che lo aumenta nel corso degli anni pur rimanendo la pianta più "tozza" ( $H/D_{130} \approx 50$ ).



**Figura 5.** Intercetta (a) e coefficiente angolare (b) della retta di regressione RMA calcolata per ogni individuo. I limiti di confidenza sono riportati numericamente in Tab. 4.



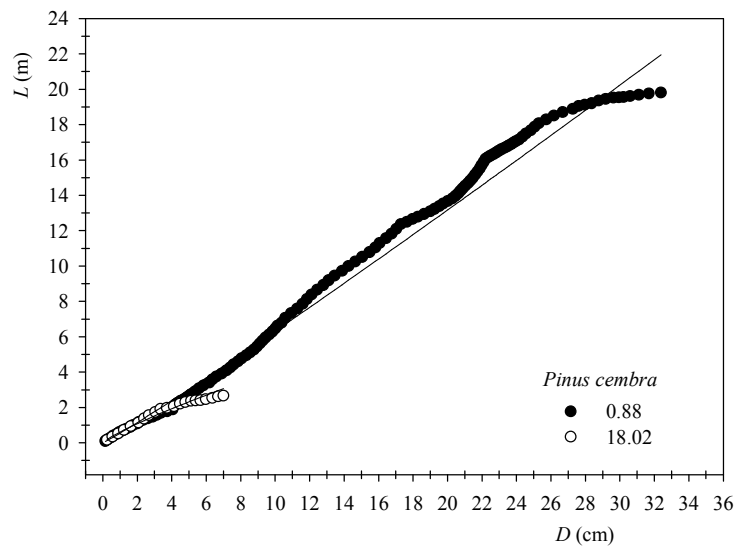
**Figura 6.** Variazione, nel corso dell'ontogenesi, del rapporto di snellezza nei soggetti esaminati. Nel riquadro in alto a destra vengono riportati i valori dell'ultimo cinquantennio.

### *Serie radiali (curva ipsometrica dinamica)*

La funzione potenza si dimostra un'ottima interpolatrice per la relazione  $L$  vs  $D$ : il coefficiente di determinazione si mantiene (con l'eccezione della rotella posta a 32.27 m nella pianta 07001) sempre superiore a 0.80 (appendice IIc).

Nell'abete rosso 03122 l'interpolazione risulta estremamente buona con  $R^2$  maggiori di 0.99.

In figura 7 si riporta un esempio di tali relazioni.



**Figura 7.** Esempio di relazione tra il diametro del fusto ( $D$ ) e la distanza dalla cima ( $L$ ) in serie radiali a diversa altezza del fusto di *Pinus cembra*.

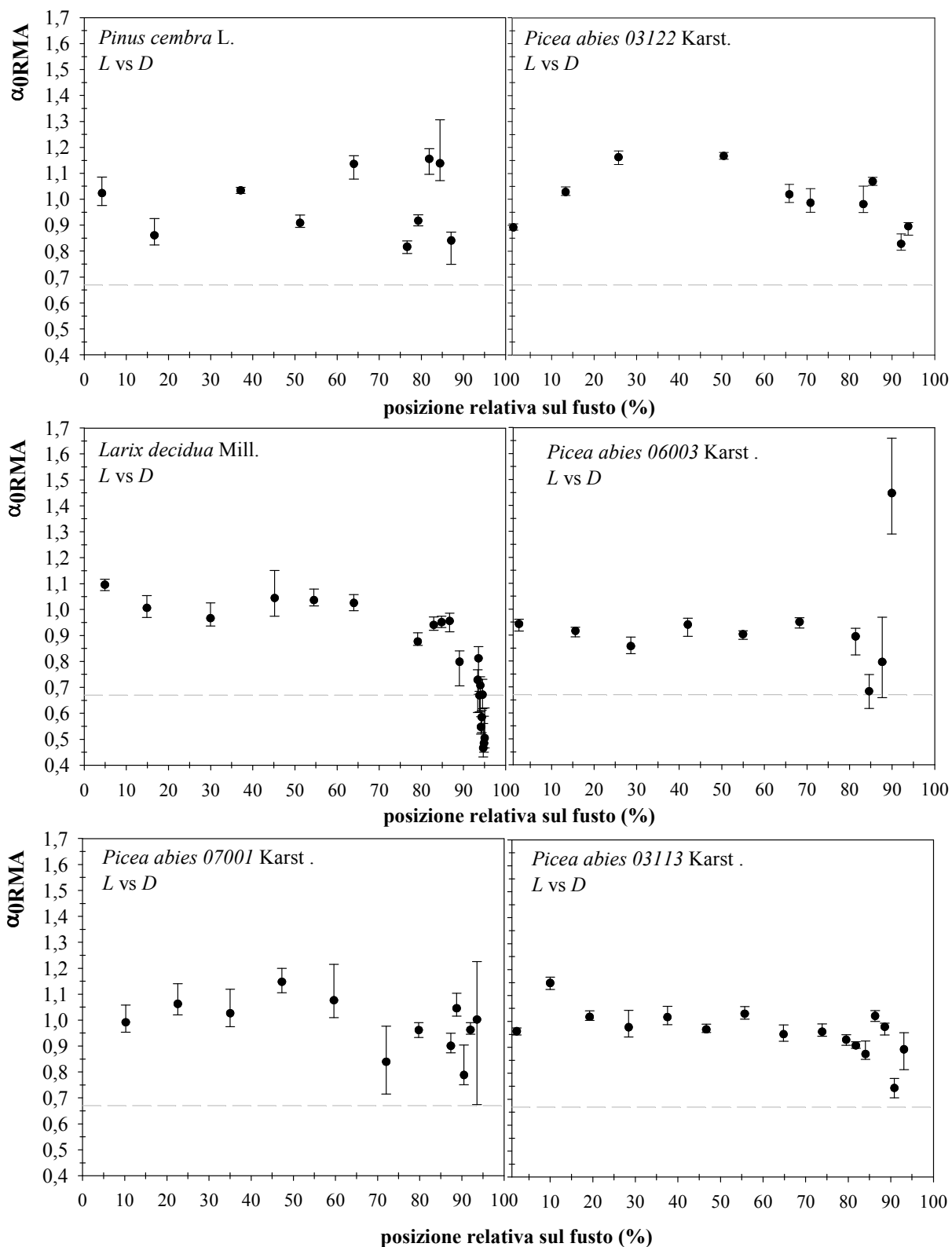
Gli esponenti allometrici ( $\alpha_{0RMA}$ ) calcolati per serie poste a diverse altezze nel fusto (figura 8, appendice IIc) si collocano su valori generalmente superiori alla soglia attesa di  $2/3$  (0.67).

I coefficienti angolari occupano l'intervallo compreso tra 0.466 e 1.447 uno spazio, quindi, estremamente ampio. Questa dispersione si rispecchia le variazioni osservabili all'interno di un singolo fusto: casi esemplari sono l'abete rosso 06003 (intervallo di variazione 0.683-1.447) ed il larice (0.466-1.095).

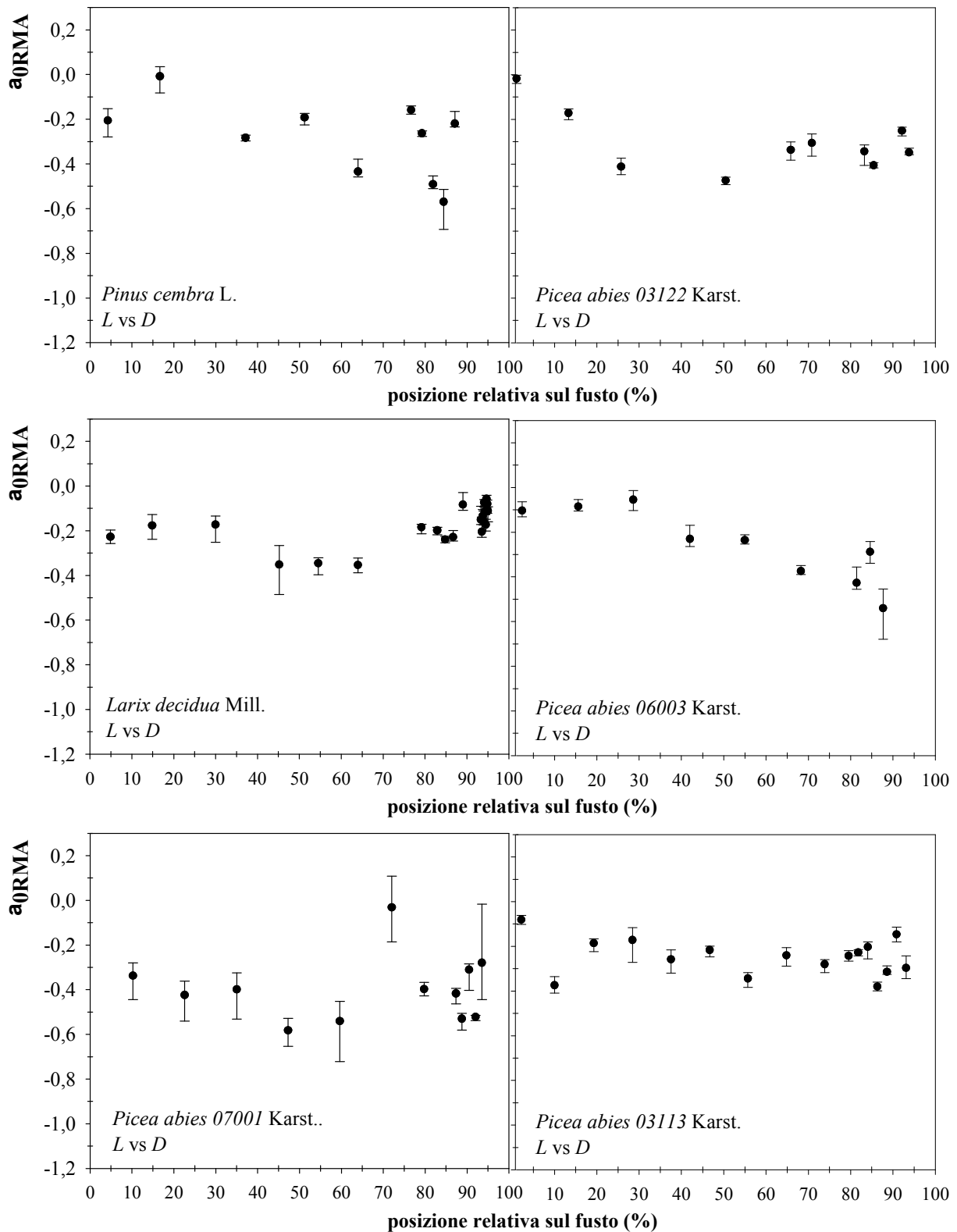
Al contrario l'abete rosso 03122 ed il pino cembro mostrano *range* più contenuti.

Non è possibile rintracciare, spostandosi verso le parti distali del tronco, una variazione ben definita nel valore del coefficiente angolare: esso sembra diminuire nel larice e negli abeti 03113 e 03122, avvicinandosi al valore di 0.67, mentre nel pino cembro e nell'abete 07001 il risultato è estremamente confuso.

Le relazioni  $L$  vs  $D$  analizzate radialmente si dimostrano inoltre piuttosto indipendenti, anche quando appartengono allo stesso individuo: l'analisi ANCOVA conferma infatti che le pendenze delle rette sono significativamente differenti in tutti i soggetti esaminati ( $p < 0.0001$ ).



**Figura 8.** Coefficiente angolare della retta ( $\alpha_{0RMA}$ ) distanza dalla cima ( $L$ ) vs diametro del fusto ( $D$ ) nelle serie radiali (dati trasformati in logaritmo di base 10). Interpolazione lineare con metodo RMA, limiti di confidenza al 95% con replicazione *bootstrap*. La linea tratteggiata rappresenta la soglia attesa (2/3)



**Figura 9.** Intercetta della retta ( $a_{0RMA}$ ) distanza dalla cima ( $L$ ) vs diametro del fusto ( $D$ ) nelle serie radiali (dati trasformati in logaritmo). Interpolazione lineare con metodo RMA, limiti di confidenza al 95% con replicazione *bootstrap*.



Le intercette delle rette (figura 9), analogamente a quanto visto in precedenza, sono altrettanto disperse ma di valore piuttosto costante lungo il fusto. Solo l'abete rosso 06003 mostra una tendenza alla diminuzione del valore di  $a_{0RMA}$  spostandosi verso le zone superiori del tronco.

Il coefficiente allometrico  $a_{0RMA}$  è compreso nell'intervallo -1.331 - -0.008 ed è il larice a dimostrare la minor dispersione (-0.354 - -0.058).

#### 1.2.4. Discussione

##### *Cambiamenti ontogenetici nel profilo del fusto*

L'analisi del profilo del fusto assume importanza quale indice delle diverse strategie di allocazione delle risorse che le piante sono in grado di effettuare nel corso dell'anno e risulta quindi suscettibile di cambiamenti durante l'ontogenesi (Arbaugh e Peterson, 1993; Courbet, 1999; Russo *et al.*, 2007).

L'accrescimento radiale, infatti, non risulta costante alle varie altezze (Fritts, 1966) ed è influenzato dalle caratteristiche ambientali (Schweingruber, 1996; Orwig e Abrams, 1997; Wipfler *et al.*, 2005)

I cambiamenti ontogenetici possono essere valutati osservando le variazioni dei parametri della funzione potenza, ottima interpolatrice della nuvola di punti *L-D* disposti longitudinalmente (Niklas, 1994b), anche se in alcuni anni risulterebbe più consono l'uso di una curva sigmoide, come riportato da altri Autori (Smith e Long, 2001).

Le piante analizzate presentano una forma piuttosto cilindrica con coefficienti di rastremazione superiori all'unità. Valori molto simili sono stati individuati anche da Anfodillo *et al.* (2006) in due soggetti di larice abbattuti in aree geograficamente ed ecologicamente prossime a quella ivi considerata che restituiscono un valore dell'esponente allometrico non statisticamente diverso da 1 per il soggetto di larice più giovane (47 anni) e abbondantemente superiore a tale soglia nel secondo individuo ( $\beta_{RMA}=1.55$ , circa 180 anni).

Il coefficiente di rastremazione calcolato esclusivamente sui punti afferenti al tratto intermedio del fusto appare quasi sempre superiore a quello del cimale descrivendo forme altamente cilindriche; nel secondo caso si è in presenza di trasformazioni più radicali passando da forme neiloidiche (con  $\beta_{RMA}<1$ ) a cilindriche.

Tutti i fusti esaminati presentano, quindi, la classica forma forestale costituita da un insieme di sezioni a geometria diversa quali il neiloide alla base, il paraboloide o il cilindro nella parte centrale del fusto ed il cono in quella superiore (Rennolls, 1994; Lee *et al.*, 2003).

Nell'abete rosso 03113, con cimale vivo, la forma prevalente è quella parabolico-cilindrica da imputarsi probabilmente alle diverse modalità di crescita di questa pianta che vegetava a quote inferiori ed in un popolamento coetaneo più denso di quello dell'Alpe Cermis.

È risaputo infatti che piante di densi popolamenti possiedono fusti più cilindrici (Makinen e Hein, 2006) di quelle poste a densità minori.

Lo svasamento basale (neiloide), tipico degli abeti rossi, viene generalmente fatto discendere dall'effetto dell'innesto tra gli elementi del fusto e delle radici ossia dall'influenza dei cordoni radicali (Ikonen *et al.*, 2006) ma potrebbe anche derivare dalla particolare forma degli anelli di crescita, evidenziata in fig. 2, che si presentano rastremati, con ampiezze mediamente maggiori alla base rispetto all'apice del fusto.

Tale ritrovamento contrasta solo parzialmente con quanto riportato in letteratura. Infatti se autorevoli Autori (Fritts, 1966; Schweingruber, 1996) indicano che la classica "forma media" longitudinale dell'anello presenta ampiezze ridotte nelle parti inferiori del fusto rispetto a quelle superiori e che questa caratteristica tende ad intensificarsi con il passare del tempo (Lanner e Connor, 2001; Ikonen *et al.*, 2006) è altrettanto vero che lo spessore anulare è influenzato dagli agenti esterni in maniera differenziata alle varie altezze (Fritts *et al.*, 1965).

Valori di coefficiente di rastremazione del fusto, nelle parti distali, inferiori ad 1 ed in alcuni casi non dissimili da 0.67 potrebbero garantire al cimale l'elasticità necessaria per resistere alle sollecitazioni da vento e da neve, più intense a parecchi metri da terra, e permettere la vitalità di questa parte fondamentale, soprattutto nelle conifere, per il regolare svolgimento di tutta la crescita, quale dispensatrice di ormoni e sostanze regolatrici dello sviluppo (Aloni, 2006).

I getto terminale dell'anno possiede mediamente un tessuto più soffice che deve resistere alla cavitazione (Suzuki e Hiura, 2000) ed è stato notato che densità del legno basse si accompagnano a moduli di elasticità maggiori (Niklas, 1994b; 1999) con conseguente aumento del fattore di sicurezza nelle parti più giovani del fusto rispetto a quelle più vecchie (Sterck and Bongers, 1998).

La competizione tra piante, in un popolamento forestale, rappresenta uno dei principali fattori che influiscono sulla forma del fusto (Makinen e Hein, 2006) perché determina la disposizione e la quantità totale delle foglie ed è stata più volte suggerita l'esistenza di un solido legame allometrico tra dimensioni della chioma e crescita del tronco (Shinozaki *et al.*, 1964; Courbet, 1999).

Tutti gli abeti rossi esaminati occupavano una posizione sociale dominante o codominante e, tranne l'abete 03113, erano piante che in tempi relativamente recenti sono divenute di margine

subendo l'improvvisa apertura del popolamento (gli abeti 06003, 07001, 03122 e il larice si collocano a bordo strada, il pino cembro accanto al laghetto per l'innervamento artificiale).

I soggetti, quindi, transitando da una situazione di bosco relativamente fitto, con fenomeni di autopotatura, ad una di margine, potrebbero aver incrementato la dimensione della chioma e conseguentemente spostato l'allocazione dei carboidrati nella parte inferiore del tronco (Karlsson, 2005; Ikonen *et al.*, 2006) dato che la regione del fusto di massima crescita risulta essere vicina alla base della chioma viva (Makela, 2002).

L'effetto ottenuto potrebbe quindi essere paragonato a quello di un diradamento forte che generalmente ha come risultato quello di aumentare la crescita diametrica del terzo inferiore del fusto come riscontrato nel pino silvestre (Ikonen *et al.*, 2006), nell'abete rosso (Karlsson, 2005) e nel pino strobo (Bevilacqua *et al.*, 2006).

In quest'ultima specie l'effetto del rilascio si protrae per circa 20 anni e non influenza lo spessore degli anelli all'apice della pianta ma solo nel tratto compreso tra il livello del suolo e il 60% dell'altezza totale, la maggiore allocazione si ottiene comunque ad altezze inferiori a 1.30 m (Bevilacqua *et al.*, 2006).

Nelle piante provenienti dall'Alpe Cermis il neiloide di base comincia a formarsi attorno agli anni 1960-65, concomitantemente ai lavori di disboscamento e costruzione della funivia e delle infrastrutture annesse, si potrebbe quindi ipotizzare un rapporto di causa-effetto tra le due cose.

Va comunque ricordato che alberi dominati e codominanti, quali quelli in esame, si sono dimostrati meno sensibili ai cambiamenti di crescita indotti con i diradamenti rispetto a quelli sottomessi (Tasissa and Burkhart, 1997) e che nell'abete rosso le aperture improvvise potrebbero, oltre che portare a fusti molto rastremati (Karlsson, 2005), indurre delle riduzioni di crescita (Kantola *et al.*, 2007).

Questa specie, paragonata ad altre più eliofile, risente meno dell'ombreggiamento prodotto dalle piante vicine (Leverenz, 1996) e si è dimostrata in grado di rispondere velocemente alle aperture del popolamento, rioccupando con nuovi getti lo spazio aereo disponibile (Makinen e Hein, 2006). Inoltre la distribuzione del fogliame alle varie altezze è più stabile nell'abete rosso che, ad esempio, nel pino silvestre e la massima densità del fogliame sembra porsi ad una distanza più stabile dalla cima del fusto (Kantola e Makela, 2006).

In tutte le piante esaminate si accentua la riduzione dello spessore degli anelli all'apice del fusto negli anni immediatamente seguenti al disseccamento.

Questo comportamento è stato classificato come sintomatico di forti diradamenti (Ikonen, 2006; Karlsson, 2005) o di stati di deperimento causati da fitopatologie fungine (Cherubini *et al.*, 2002) o da forti stress idrici (Krause ed Eckstein, 1992 in: Schweingruber, 1996).

In questo ultimo caso si potrebbe supportare l'ipotesi di uno *stress* idrico concentrato nelle parti superiori del fusto e dovuto a forti incrementi nella resistenza idraulica (Ryan e Yoder, 1997; Bond, 2000; Koch *et al.*, 2004) conseguenti al peggioramento del sistema di trasporto xilematico (West *et al.*, 1999a; Anfodillo *et al.*, 2006; Petit *et al.*, 2008).

Il disseccamento del cimale ha inoltre come conseguenza la perdita temporanea del flusso di auxina nelle parti superiori del fusto: questo fitormone risulta determinante, oltre che nel conferire il tipico portamento monopodiale, nel regolare la produzione e la distensione cellulare (Aloni, 1984; 2006). Si può quindi ipotizzare che lo sconvolgimento del flusso ormonico abbia contribuito alla transizione verso forme sempre più cilindriche, forse coinvolte nei processi che hanno portato al disseccamento. Il cilindro possiede infatti una superficie a contatto con l'ambiente esterno più estesa di quella conica perciò un esponente allometrico elevato fa presupporre aree esposte maggiori.

La respirazione del fusto, difficilmente misurabile, può essere ben parametrizzata utilizzando la superficie esposta a sua volta influenzata al rapporto di snellezza e dalla rastremazione (Inoue, 2004; 2006). Si può allora ipotizzare che la cilindrizzazione del cimale sia deleteria aumentando i problemi di *stress* idrico già imputabili ad un peggioramento del sistema di trasporto.

#### *Modelli di similarità elastica e geometrica*

Il rapporto tra la crescita in altezza ed in diametro nelle serie radiali (comparabile ad una curva ipsometrica dinamica) viene qui descritto da una funzione potenza di esponente maggiore o uguale ad 1. Questo significa che nel corso dell'ontogenesi le proporzioni della pianta si mantengono circa costanti o divengono più allungate, il contrario cioè di quello previsto dal modello di similarità elastica che conduce, nel tempo, a geometrie tendenzialmente più tozze.

Per le gimnosperme vengono spesso riportati valori dell'esponente prossimi ad 1, in obbedienza al modello di similarità geometrica (Niklas, 1994b): il modello di similarità elastica sarebbe perciò più adatto a descrivere i fusti delle angiosperme (Niklas, 1994a) ed effettivamente anche il modello WBE (West *et al.*, 1999) è stato elaborato per questo *phylum* vegetale.

Le differenze tra gimnosperme ed angiosperme potrebbero derivare dalle diverse strategie di allocazione del materiale poiché le prime, rispetto alle seconde, investirebbero maggiormente in strutture lunghe con comportamenti fisico-meccanici simili a quelli delle travi ad un solo incastro (Niklas, 1994b) e questa supposizione potrebbe essere estesa anche alle angiosperme caratterizzate da una forte dominanza apicale. Tale ipotesi non sembra comunque adatta a

fornire una risposta per le specie di Cactacee osservate da Price e Enquist (2006) che pure sembrano allinearsi al modello di similarità geometrica.

Nelle rotelle superiori della maggior parte delle piante esaminate è possibile osservare una riduzione nel valore di  $\alpha_{ORMA}$ , ossia nel tempo l'aumento percentuale dell'altezza rispetto a quella del diametro tende a diminuire, originando strutture piuttosto tozze.

Questo non deve stupire, infatti, le serie radiali collocate verso il cimale, pur essendo costituite da legno giovanile (Greenwood, 1995) ed avendo una minore età cambiale descrivono la ridotta capacità di accrescimento longitudinale tipica delle piante che hanno ormai raggiunto la loro massima altezza (Ryan e Yoder, 1997).

Le differenze statisticamente significative tra rotelle di uno stesso individuo, evidenziate con il test ANCOVA, possono essere ricondotte al fatto che l'accrescimento in altezza non è costante nel tempo mentre quello diametrico è molto più stabile.

Nelle parti più distali del fusto è comunque atteso un esponente allometrico inferiore dato che Sterck e Bongers (1998) hanno rilevato un fattore di sicurezza maggiore rispetto alle altre, osservazione confermata da Whittaker e Woodwell (1968) che in rametti di *Pinus radiata* hanno registrato che la proporzione tra  $L$  ed  $H$  si manteneva attorno ad un esponente di 0.56.

Nelle conifere le parti superiori del tronco possono comunque essere paragonate alle curve ipsometriche di semenzali in quanto la crescita in altezza annua è ugualmente ridotta: in soggetti di *Pinus taeda* di altezza complessiva inferiore ad 1 m l'accrescimento longitudinale avviene, in rapporto al diametro, seguendo una potenza di esponente allometrico 0,40 (Zhang *et al.*, 1996; dati rielaborati).

È interessante osservare che, nonostante le grandi differenze dimensionali tra l'abete rosso 03113 e gli altri individui della stessa specie, non si ottengano per questa pianta dei valori di  $\alpha_{ORMA}$  di molto superiori anzi, la picea 03122 possiede esponenti allometrici decisamente più elevati. L'intercetta, nella picea 03113, assume tuttavia un valore superiore agli altri individui: si deve quindi supporre che le modalità di crescita tra  $D$  ed  $L$  siano simili nei soggetti esaminati, anche se quantitativamente diverse.

Le differenze nell'intercetta potrebbero quindi essere interpretate, in un'ottica selvicolturale, come i diversi gradi di fertilità delle stazioni (Wang *et al.*, 2006) confermando i risultati di Wang (1998) che suggeriscono una certa indipendenza tra la fertilità della stazione ed il rapporto percentuale tra gli incrementi di altezza e diametro, nel tempo.

Valori troppo elevati dell'esponente allometrico potrebbero inoltre suggerire un elevato rapporto di snellezza nella pianta che, per ottenere la luce necessaria alla crescita, allocherebbe maggiormente in senso verticale piuttosto che radiale (Zucchini, 2001).

Il rapporto di snellezza dei soggetti esaminati potrebbe così avere un ruolo più fisiologico che meccanico nella limitazione dell'altezza in quanto i valori calcolati risultano inferiori alla soglia critica proposta per l'abete rosso (80), ad eccezione del larice, e dovrebbero porre al riparo da gravi danni da neve e vento (Makinen e Hein, 2006).

Per le conifere inoltre, a causa del loro *habitus* conico, non sarebbe neppure vera l'affermazione che alberi con elevati rapporti di snellezza avrebbero proporzionalmente una ampiezza di chioma minore (Niklas, 1994b).

La variazione della forma del tronco nel tempo non viene presa in considerazione da nessuno dei tre modelli di similarità illustrati nell'introduzione che, per questo motivo, hanno ricevuto delle critiche (Niklas, 1994b).

La creazione di modelli sulla base di nuvole di punti diametro-altezza potrebbe incorporare delle inesattezze dovute ai cambiamenti ontogenetici del modulo di elasticità e dei tipi di sollecitazione (in una pianta adulta il fusto funge da struttura di supporto soggetta ad elevati gradi di compressione mentre in un soggetto giovane si comporta come una trave ad incastro, molto più sollecitata a flessione) o dovute a motivi puramente matematici quale la maggior influenza, sulla nuvola di punti, del diametro delle piante di grandi dimensioni che, pur venendo misurato a 1.30 m, non risulterebbe più rappresentativo tendendo a crescere in maniera sproporzionata rispetto al resto del fusto (Niklas, 1994a).

In particolare il modello elastico è stato criticato da Suzuki e Hiura (2000) che hanno evidenziato la mancanza di una visione multifunzionale della relazione diametro del fusto-altezza che deve essere tesa non solo ad ottimizzare le funzioni meccaniche ma anche ad evitare l'ombreggiamento dei vicini e massimizzare la crescita dell'individuo.

### **1.2.5. Conclusioni**

In questo studio si dimostra che conifere di alta quota possiedono profili del fusto piuttosto cilindrici, con un grado di rastremazione dissimile tra fusto e cimale. La forma di quest'ultimo, conica, tende a modificarsi radicalmente negli anni precedenti il disseccamento e gli effetti di tale cambiamento potrebbero risultare importanti nella limitazione allo sviluppo longitudinale delle piante o rappresentare il risultato dell'azione di fattori fondamentali agenti a livello fisiologico.

Per le conifere non pare adatto il modello di similarità elastica e questo fa sorgere dei dubbi circa la validità del modello WBE per questo *phylum* vegetale.

In lavori di questo tipo deve essere tenuta in considerazione la differenza tra l'analisi longitudinale del fusto (rastremazione) e quella delle serie radiali (più simile a curve

ipsometriche) tantopiù che in letteratura è possibile rintracciare numerose informazioni, provenienti da elaborazioni differenti ma classificate tutte sotto la voce “rastremazione”, che possono portare a dei fraintendimenti nel momento in cui si vanno a porre a confronto i risultati sperimentali.

Nonostante gli innumerevoli lavori svolti nel campo della selvicoltura per poter comprendere ed acquisire delle tecniche di gestione in grado di modificare la forma del fusto pochi lavori si sono concentrati sull’analisi di singoli individui cercando di collegare le variazioni del profilo del tronco alla fisiologia della pianta.

Nell’analisi dei fattori limitanti l’altezza delle piante è quindi auspicabile che venga approfondito questo tipo di indagine, anche in una prospettiva selvicolturale e produttiva, svincolandosi però da considerazioni prettamente meccaniche ma valutando il fusto come il risultato complessivo dei rapporti intercorrenti tra i vari organi dell’albero e quale indicatore dell’efficienza di crescita dell’individuo.





### 1.3. DISTRIBUZIONE DELL'ALBURNO E DEL DURAME LUNGO IL FUSTO DI UN INDIVIDUO DI *LARIX DECIDUA* MILL.

#### **Riassunto**

Con questo lavoro sono state indagate le relazioni intercorrenti tra i parametri dell'alburno e del durame (numero di anelli, spessore, area e volume) con il diametro, l'età ed il numero di cellule in un soggetto di *Larix decidua* Mill. raccolto all'Alpe Cermis (Provincia Autonoma di Trento).

Sia l'alburno che il durame mostrano una stretta dipendenza dal diametro della rotella ma il numero di anelli dell'alburno si mantiene circa costante nel fusto con una media di  $24 \pm 1.76$  mentre l'area del tessuto conducente tende ad aumentare dalla cima alla base del fusto.

Con il metodo dell'analisi del fusto è stato possibile ricostruire le curve stereometriche per l'alburno ed il durame riferite all'ontogenesi della pianta. Lo studio della proporzione tra i due tipi di xilema può risultare interessante quando si vogliono approfondire i meccanismi fisiologici della pianta ed in particolare variazioni nella quantità di alburno possono essere viste come compensazioni nei confronti della resistenza idraulica interna ai condotti.

*Parole chiave:* durame, alburno, ontogenesi, *Larix decidua* Mill.

#### **1.3.1. Introduzione**

Le piante sono in grado di rifornire di acqua e sostanze nutritive ogni singola foglia della chioma, anche quelle poste ad enormi distanze da terra. Il trasporto dei liquidi è garantito da un tessuto appositamente strutturato: il legno o xilema (Martinez-Vilalta e Pinol, 2004).

Lo xilema è fondamentalmente costituito da cellule morte, che hanno perso i loro organelli e, vuote, assumono la forma di tubi adatti al trasporto dei liquidi (Hacke e Sperry, 2001).

In una sezione trasversale di fusto, però, non tutto il tessuto xilematico è conducente ma solo le cerchie legnose esterne: questo tessuto, idraulicamente attivo, è detto alburno, mentre quello morto durame (Utsumi *et al.*, 2003).

Harris (1954) ha dimostrato, in *Pinus radiata*, che la differenza principale tra alburno e durame consiste nella percentuale di punteggiature aspirate che passano bruscamente dal 40%, negli anelli di alburno più interni, al 100% nel durame. L'acqua sarebbe così impossibilitata a fluire verso il centro del fusto e si manterrebbe nello strato più esterno.

Nella maggior parte delle specie risulta arduo distinguere visivamente l'alburno dal durame in quanto le due parti si presentano indifferenziate, ossia presentano le stesse caratteristiche esterne, ed in campo l'unico sistema valido per riconoscerle è quello di prelevare carote da alberi vivi ed osservarle controluce: la parte traslucida, satura d'acqua, coincide infatti con l'alburno (Eckmüller e Sterba, 2000; Sellin, 2004).

Una volta che il legno si è stagionato non esiste altra possibilità che ricorrere a specifiche analisi di laboratorio (Harris, 1954; Gjerdrum, 2003) o colorimetriche (Monserud e Marshall, 1999; Sellin e Kupper, 2006).

Il compito è facilitato nelle specie in cui vi è discromia, quali i pini (Climent *et al.*, 2003; Pinto *et al.*, 2004) e i larici (Paques, 2001), perchè il durame appare sempre di colore più scuro a causa della deposizione, nei lumi vuoti, di sostanze resinose, tanniche o derivate dal metabolismo della pianta (Bamber, 1976; Meerts, 2002) che contribuiscono ad aumentare la resistenza meccanica e quella di degradazione del legno (Pinto *et al.*, 2004). Esistono inoltre due tipi di durame: uno più interno (tipicamente scuro) ed uno esterno, difficilmente distinguibile dall'alburno se non per il fatto che le cellule non sono più conducenti (Petit, 2008).

I meccanismi che conducono alla trasformazione dell'alburno in durame non sono ancora chiari (Stokes e Berthier, 2000; Pinto *et al.*, 2004; Petit, 2008) nonostante gli studi a riguardo siano iniziati da molti decenni (Harris, 1954; Bamber, 1976). La risoluzione di tale problema potrebbe risultare di interesse non solo dal punto di vista tecnologico (ad esempio per ottenere legno di miglior qualità) (Sellin, 1994; Gjerdrum, 2003) ma anche fisiologico: la trasformazione di un anello di alburno in uno di durame potrebbe infatti servire a mantenere nel fusto la giusta quantità di tessuto conduttore (Bamber, 1976) evitando "sprechi" o *surplus* di acqua (Berthier *et al.*, 2001).

Va anche ricordato che l'alburno contiene più dell'80% delle cellule viventi del fusto (Sellin, 1994) e quindi potrebbe avere un ruolo determinante nel bilancio del carbonio dell'albero (Gerrish, 1990) e nelle perdite per respirazione, che sono state trovate essere linearmente correlate alla quantità di alburno (Ryan e Waring, 1992).

Il rapporto tra il durame e l'alburno influisce inoltre sulle caratteristiche di resistenza meccanica dei fusti (Niklas, 2007) e Wynn-Edwards (1962) suggeriva addirittura che la longevità delle piante fosse più legata alla durabilità della massa morta del durame piuttosto che alla vitalità delle singole cellule (in: Woolhouse, 1967).

Considerando però che è proprio grazie all'acqua estratta dal suolo che gli alberi possono attivare tutti i loro processi fisiologici ed accrescersi, la quantità di alburno presente in un fusto si rivelerebbe allora di estrema importanza per garantire un adeguato funzionamento del

“sistema pianta”, come intuito nel *pipe model* (Shinozaki *et al.*, 1994) che lo pone in stretta relazione con il numero di foglie rifornite.

Nel corso dell'ontogenesi il numero di anelli attivi risulterebbe quindi costante ed in rapporto con la quantità di tessuto fotosintetizzante (Eckmüllner e Sterba, 2000): nelle conifere, che mantengono gli aghi più a lungo si misura generalmente uno spessore di alburno maggiore di quello delle latifoglie, in particolare le latifoglie a porosità anulare possono affidare il trasporto della linfa grezza solamente all'ultimo anello formato (Becker *et al.*, 1999).

La costanza nel numero di anelli di alburno nel corso dell'ontogenesi è stata verificata per l'abete rosso (Sellin, 1994), il pino silvestre ed il pino marittimo (Knapic e Peireira, 2005), seppure tali Autori ritengano che la formazione del primo anello di durame sia un fenomeno legato all'età della pianta. Si osserva infatti che nei giovani soggetti il fusto è costituito esclusivamente da alburno e che questo comincia a trasformarsi in durame una volta raggiunta una certa età o dimensione e a seconda delle condizioni locali (Berthier *et al.*, 2001).

Altri hanno invece osservato che la trasformazione dell'anello di alburno in durame potrebbe essere dovuta ad eventi meccanici traumatici o a forti resistenze idrauliche interne ai condotti (Stokes e Berthier, 2000; Berthier *et al.*, 2001; Climent *et al.*, 2002).

In quest'ultimo caso si potrebbe ipotizzare uno stretto legame tra i meccanismi di formazione del primo anello di durame e le teorie che tentano di spiegare l'altezza degli alberi come il risultato di limitazioni interne di tipo idraulico (Ryan e Yoder, 1997; West *et al.*, 1999a).

Petit (2008) ha dimostrato, immettendo una soluzione di safranina nel fusto di *Acer pseudoplatanus*, che esso è costituito da anelli indipendenti l'uno dall'altro collegati solo all'apice. In questo modo, nel corso dell'ontogenesi, si avrebbe un aumento di resistenza passando dall'anello più esterno a quello più interno che potrebbe condurre alla perdita di funzionalità del primo anello di alburno formato, trasformandolo in durame.

Il modello proposto da West *et al.* (1997, 1999a) attribuisce una grande importanza al rapporto tra il tessuto conducente e quello non conducente nella determinazione dello sviluppo, anche in altezza, della pianta. Il modello è stato tuttavia criticato (Kozłowski e Konarzewski, 2004) in quanto propone una struttura non realistica del tessuto presente in una sezione trasversale. Nel modello WBE non si tiene conto dell'esistenza dell'alburno e del durame ma il fusto viene immaginato come costituito da un tessuto omogeneo dove lo spazio non conducente è rappresentato dalle sole pareti cellulari: la pianta tipo del modello è quindi costituita esclusivamente da alburno.

La resistenza idraulica potrebbe essere mantenuta costante grazie alla rastremazione xilematica mentre altri Autori hanno suggerito che proprio una aumento della quantità di alburno rispetto

all'area fogliare (McDowell *et al.*, 2002a), od un suo aumento di permeabilità (Pothier *et al.*, 1989; Shelburne e Hedden, 1996) potrebbero costituire un meccanismo di compensazione attuato dalle piante che abbiano raggiunto una determinata dimensione.

La superficie occupata dall'alburno è quindi estremamente importante per la pianta ma ancora di più lo è il rapporto tra l'alburno e la superficie fogliare, che molti Autori hanno dimostrato essere molto stretto (Mencuccini e Grace, 1995; Monserud e Marshall, 1999; Medhurst e Beadle, 2002) come previsto dal *pipe model* (Shinozaki *et al.*, 1994) e dal *WBE model* (West *et al.*, 1999) e che rappresenta un elemento chiave nella fisiologia degli alberi.

Alcuni Autori (Eckmüllner e Sterba, 2000) hanno inoltre puntualizzato che non tutta l'area dell'alburno sarebbe realmente interessata da una elevata conduttanza idraulica dato che le cellule del legno tardivo presentano lumi estremamente ristretti e per la legge di Hagen-Poiseuille (Zimmermann, 1993) il flusso di acqua che le attraversa sarebbe quasi nullo. Così una migliore misura dell'area conducente, e quindi del rapporto tra area fogliare ed alburno, dovrebbe essere riferita solo al legno primaticcio delle cerchie non duramizzate.

Gli obiettivi di questo lavoro sono quindi riassumibili nei seguenti punti:

- a) valutare la variazione del numero di anelli di alburno e durame lungo il fusto di un individuo di larice (*Larix decidua* Mill.);
- b) valutare la variazione dell'area dell'alburno lungo il fusto;
- c) ricostruire la variazione della massa di alburno e di durame nell'individuo analizzato;
- d) valutare l'area conducente in rapporto al numero di cellule, sia di legno tardivo che primaticcio.

### **1.3.2. Materiali e metodi**

#### *Alburno e durame*

Il larice (*Larix decidua* Mill.) è una specie con forte discromia tra il durame, che si presenta di colore rosso scuro, e l'alburno, bianco giallastro. Per questo motivo si è rivelato essere una specie ideale per procedere ad una analisi di questo tipo.

Il soggetto utilizzato, di 28.06 m di altezza e 38 cm di diametro, è stato abbattuto nel versante settentrionale del massiccio del Lagorai, sull'Alpe Cermis (Valle di Fiemme, Provincia Autonoma di Trento), ad una quota di 1900 m s.l.m.

Lo spessore del durame, in ogni rotella, è stato ottenuto contando<sup>1</sup> gli anelli di colore più scuro (Yang *et al.*, 1994) e sommando le loro singole ampiezze. Dato che il durame non si dimostra omogeneo nella rotella è stato necessario mediare le misure di 3-4 raggi; l'alburno (*SW*) è stato ottenuto come differenza tra il numero di anelli totali (*N*) e quelli di durame (*HW*), metodo ampiamente utilizzato (Climent *et al.*, 2003).

L'area dell'alburno (*SA*) rappresenta la somma della superficie delle corone circolari degli anelli classificati come alburno.

Il metodo dell'analisi del fusto è stato applicato per calcolare le variazioni di volume del durame e dell'alburno nel corso del tempo (si veda il Cap. 1.1).

### *Analisi cellulari*

Una volta eseguita la lettura delle ampiezze anulari dalle rotelle, sono state asportate delle listelle diametrali, che comprendessero il midollo, dello spessore di circa 5-8 mm. Queste, a loro volta, sono state ridotte in due raggi e suddivise in spezzoni di dimensioni di circa 4x4x20 mm. I campioni, previa assegnazione di un codice di riferimento, sono stati inclusi in biocassette plastiche di 2.5 x 3 x 0.5 cm e fatti bollire in acqua per 45-60 minuti allo scopo di eliminare le resine e le altre impurità.

Attraverso l'utilizzo del processatore automatico Citadel 1000 (Shandon) si è resa possibile la preparazione all'inclusione in paraffina con metodo standard (Anderson e Bancroft, 2002) e diversi passaggi in immersione.

Le sezioni da analizzare (8-10  $\mu\text{m}$  di spessore) sono state ottenute servendosi di un microtomo rotativo semiautomatico a paraffina (Leica RM 2145), asciugate in stufa a 65-70°C e, dopo la rimozione dei residui paraffinici con D-limonene, colorate con una soluzione acquosa 1% di safranina.

L'asciugatura dei campioni è stata eseguita all'aria, per permettere il fissaggio permanente mediante balsamo del Canada (Eukitt®).

Per ogni anno di accrescimento sono state contate tutte le cellule presenti sulla fila (3 file ad anello) distinguendo tra cellule primaticce e cellule tardive (quelle con diametro, a vista, minore della metà del diametro delle cellule della prima fila).

---

<sup>1</sup> Le misurazioni sono state effettuate da Giulia Attochi (2008) "*Dinamica dell'incremento corrente in conifere di età superiore al secolo di ambiente subalpino*". Tesi di Laurea Triennale in Tecnologie Forestali ed Ambientali. Università degli Studi di Padova.

Con *software* WinCELL (Regent Instruments Inc, Sainte-Foy, QC, Canada) è stata possibile l'analisi delle fotografie digitali acquisite tramite microscopio ottico (Nikon, Eclipse 80i) ad un ingrandimento di 200X. Le foto sono state catturate, per ogni anello, lungo strisciate (3-4) che andavano dal legno primaticcio a quello tardivo evitando sovrapposizioni.

Il programma è in grado di calcolare, per le cellule che superano una certa dimensione, l'area, il diametro maggiore e minore.

Il numero di cellule totale ( $N_{cell}$ ) presente sulla corona circolare è stato perciò stimato rapportando il numero di cellule sulla fila, e la loro dimensione, all'intero anello; il numero di cellule primaticce ( $N_{EW}$ ) e tardive ( $N_{LW}$ ) è invece derivato dalla proporzione media esistente tra le cellule della fila.

Le elaborazioni statistiche dei dati ottenuti hanno seguito la metodologia del Cap. 1.1

### 1.3.2. Risultati

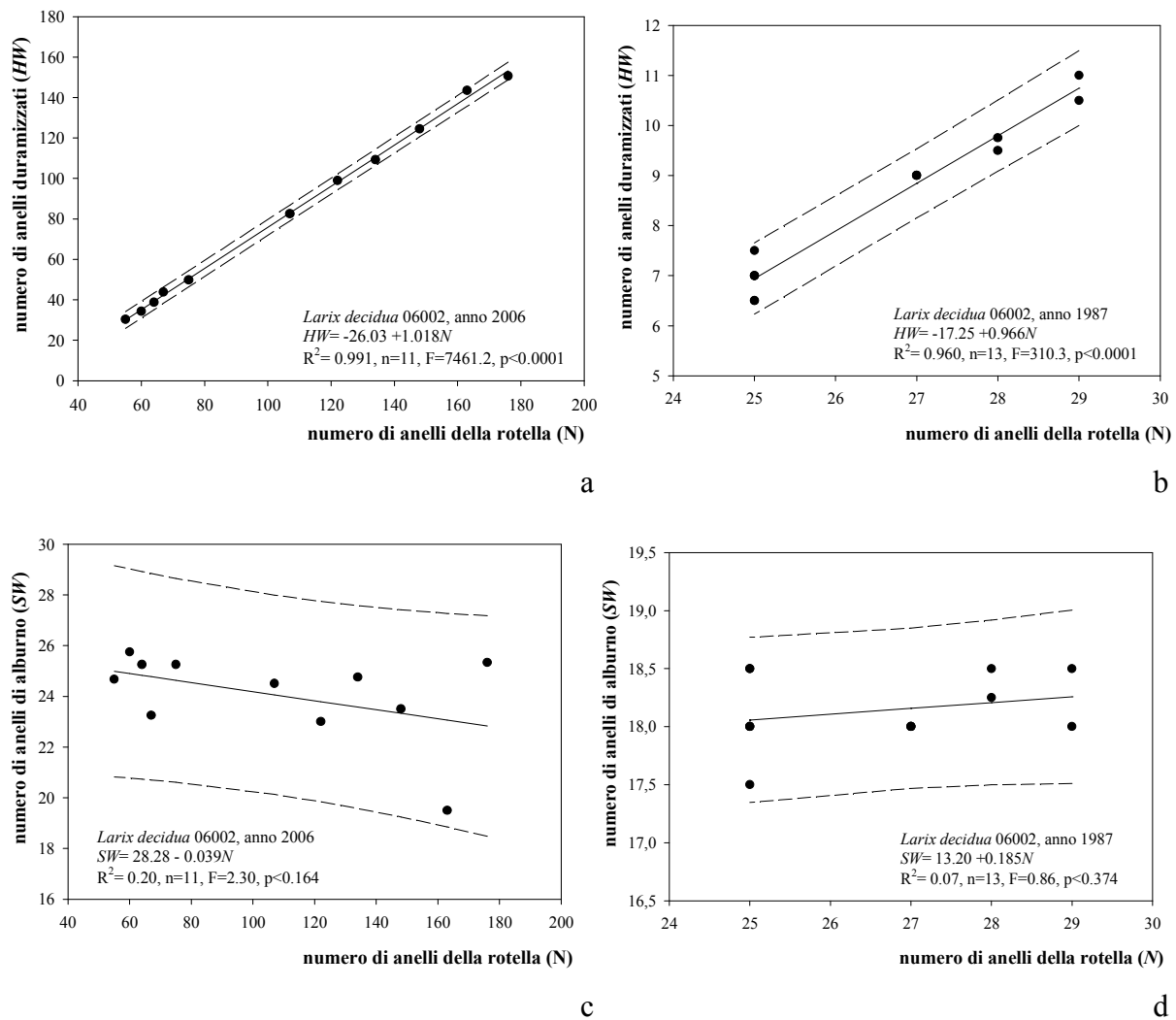
#### *Anelli di alburno e durame e loro spessore*

Il cimale del larice 06002 è disseccato nel periodo 1985-1987. Durante le operazioni di stima dell'alburno è quindi possibile riconoscere due periodi: fino ad un'altezza di 24.99 m (rotella 11) gli anelli di alburno ( $SW$ ) sono quelli presenti al momento dell'abbattimento (anno 2006), sopra questa altezza (cimale disseccato, interruzione di crescita) gli anelli di alburno debbono essere riferiti al 1987 (appendice III).

La relazione tra il numero di anelli totali della rotella ed il valor medio degli anelli duramizzati è perfettamente lineare e le rette di regressione individuate per i due periodi (figure 1a e 1b) si dimostrano estremamente significative.

Il numero medio per rotella di anelli di alburno si mantiene invece piuttosto costante lungo il fusto (figure 1c e 1d), osservazione confermata dalla non significatività delle regressioni ( $p=0.16$  per l'anno 2006 e  $p=0.37$  per l'anno 1987).

Il coefficiente di regressione delle rette  $HW$  vs  $N$  risulta, nel 2006 di 1.018 mentre nel 1987 di 0.966 (tabella 1). Questi valori non sono distinguibili dall'unità ed indicano che per ogni cerchia legnosa formata si ha la concomitante duramificazione di un vecchio anello di alburno. Formazione-duramificazione procedono quindi in maniera proporzionale con un rapporto 1:1.



**Figura 1.** Relazione tra il numero di anelli della rotella ( $N$ ) ed il numero di anelli di durame ( $HW$ ) e alburno ( $SW$ ) medi della stessa. Le relazioni sono state calcolate per l'anno 2006 (a, c punti della base del fusto) e 1987 (b, d punti relativi al cimale disseccato).  $R^2$ = coefficiente di determinazione della regressione;  $F$ =valore di Fisher,  $p$ = probabilità della regressione.

Il test ANCOVA, eseguito sui coefficienti angolari delle due rette, non si dimostra significativo ( $n=23, F=0.11, p=0.74$ ) seppure le intercette differiscono notevolmente ( $p=0.005$ ).

L'intercetta rappresenta, in questo caso, il numero di anelli di alburno presenti al momento della formazione del primo anello di durame: è possibile testare la differenza tra gli anelli di alburno mantenuti nel 1987 e quelli del 2006 mediante un test  $t$  di Student, che risulta significativo ( $DF=10.5, t=11, p<0.0001$ ).

Nell'anno 2006 lungo il fusto del larice venivano quindi mantenuti  $24 \pm 1.76$  anelli di alburno mentre nel 1987 se ne contava un numero minore  $18.1 \pm 0.299$ .

relazione	anno	n	$\alpha_{RMA}$	$\beta_{RMA}$	$R^2$	$\alpha_{RMA}, 95\% \text{ l.c.}$	$\beta_{RMA}, 95\% \text{ l.c.}$	$R^2, 95\% \text{ l.c.}$	F	p
HW vs N	1987	13	-17.254	0.967	0.966	-20.089 - -14.232	0.856 - 1.072	0.925 - 0.989	310.30	<0.0001
HW vs N	2006	11	-26.034	1.018	0.999	-28.599 - -23.823	0.995 - 1.048	0.998 - 1.000	7461.20	<0.0001
SW vs N	1987	13	13.207	0.186	0.072	10.970 - 23.808	-0.214 - 0.270	0.000 - 0.592	0.86	0.3740
SW vs N	2006	11	28.284	-0.040	0.203	21.827 - 30.750	-0.059 - 0.023	0.001 - 0.768	2.30	0.1640

a

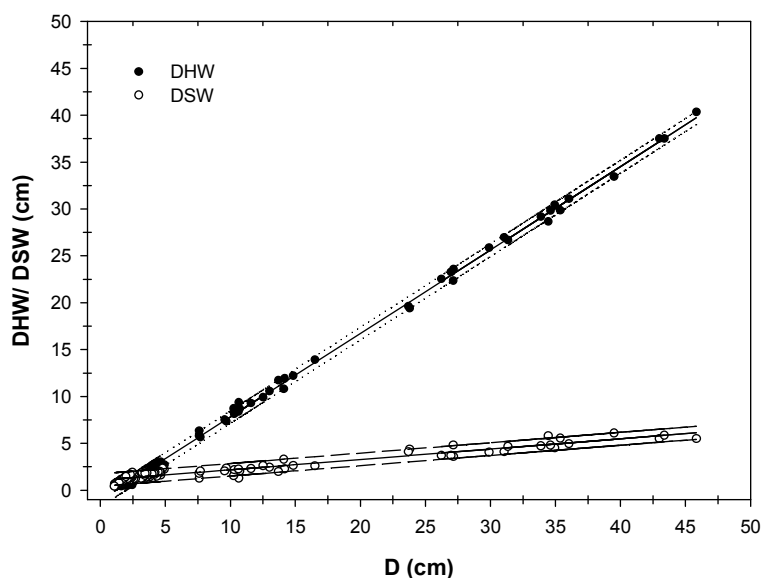
relazione	anno	n	$\alpha$	$\beta$	$R^2$
HW vs N	1987	13	-14.630	0.872	0.860
HW vs N	2006	11	-25.960	1.017	0.998
SW vs N	1987	13	16.810	0.049	0.070
SW vs N	2006	11	16.810	0.049	0.070

b

**Tabella 1.** Coefficienti di regressione delle rette *HW* e *SW* vs *N* per gli anni 1987 e 2006. **a)** regressione RMA a 10000 *bootstraps*, **b)** regressione lineare.

Considerando unitamente tutti i punti disponibili e calcolando lo spessore dell'alburno (*DSW*) e del durame (*DHW*) nei diversi raggi di ogni singola rotella si ottiene il grafico di figura 2.

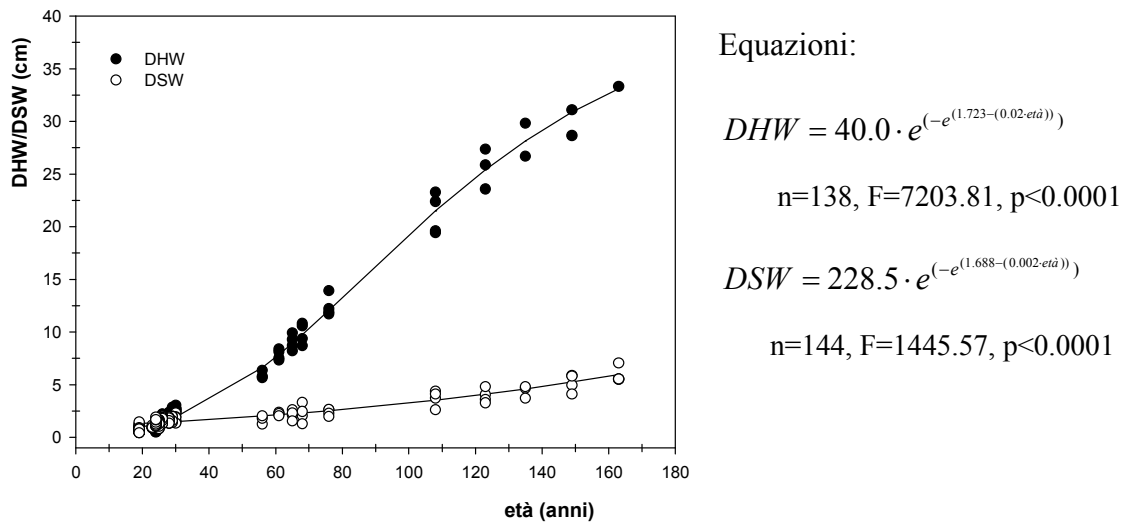
I coefficienti angolari delle due rette risultano complementari in quanto *DSW* è ricavato dalla differenza tra *D* e *DHW*. La pendenza di 0.88, calcolata per il durame, suggerisce che questo aumenta in maniera considerevole dall'apice verso la base del fusto mentre l'alburno, seppure in maniera minore (0.11) presenta lo stesso andamento.



**Figura 2.** Variazione del diametro del durame (*DHW*) e dell'alburno (*DSW*) nei confronti del diametro (*D*) nei raggi delle rotelle a diverse altezze dal suolo. Le equazioni delle rette sono:  $DHW = -1.079 + 0.889D$ ,  $n=144$ ,  $R^2 = 0.998$ ,  $F=112122$ ,  $p<0.0001$ ;  $DSW = 1.079 + 0.110D$ ,  $n=144$ ,  $R^2 = 0.923$ ,  $F=1719.01$ ,  $p<0.0001$ .

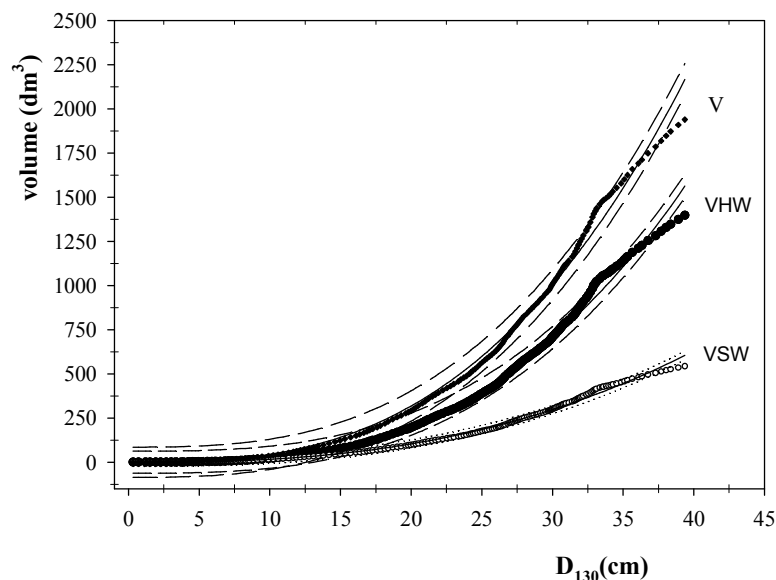


Quando si va ad osservare la relazione esistente tra l'età della rotella e lo spessore del durame e dell'alburno, a varie altezze del suolo, è possibile rilevare che la funzione che meglio interpola la nuvola di punti è una sigmoide, in particolare nella forma sviluppata da Gompertz (figura 3).



**Figura 3.** Funzione di Gompertz interpolata tra l'età della rotella e lo spessore di alburno (*DSW*) e durame (*DHW*). A lato della figura vengono riportate le relative equazioni.

Sulla base delle equazioni di figura 2 è possibile risalire alle variazioni dello spessore del durame avutosi per ogni rotella nel corso dell'ontogenesi e quindi ricostruire le curve volumetriche di durame ed alburno, riportate in figura 4 e tabella 2.



**Figura 4.** Curve stereometriche per il durame (*VHW*), l'alburno (*VSW*) ed il volume totale (*V*) del larice analizzato.

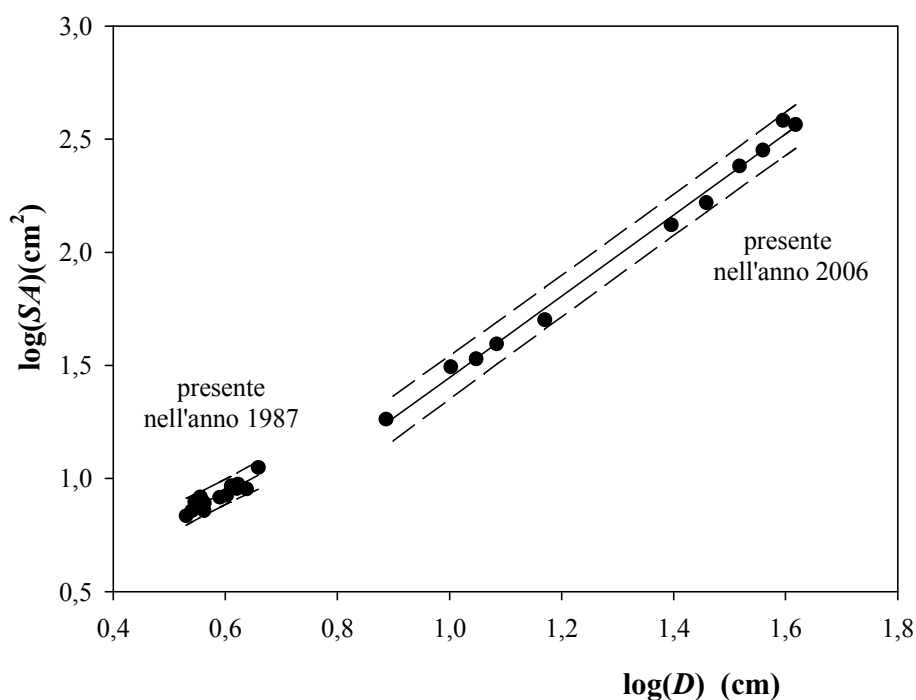
relazione	n	$\alpha_{RMA}$	$\beta_{RMA}$	$R^2$	$\alpha_{RMA}, 95\% \text{ l.c.}$	$\beta_{RMA}, 95\% \text{ l.c.}$	$R^2, 95\% \text{ l.c.}$	F	p
VHW	176	-1.766	3.114	0.981	-2.070 - -1.442	2.876 - 3.340	0.965 - 0.999	32326.80	<0.0001
VSW	176	-1.139	2.426	0.99	-1.308 - -0.987	2.313 - 2.551	0.984 - 0.997	39043.60	<0.0001
V	182	-1.087	2.746	0.987	-1.307 - -0.869	2.585 - 2.910	0.976 - 0.998	67207.20	<0.0001

**Tabella 2.** Coefficienti di regressione, calcolati con metodo RMA a 10000 *bootstraps*, delle curve stereometriche riportate in figura 4.

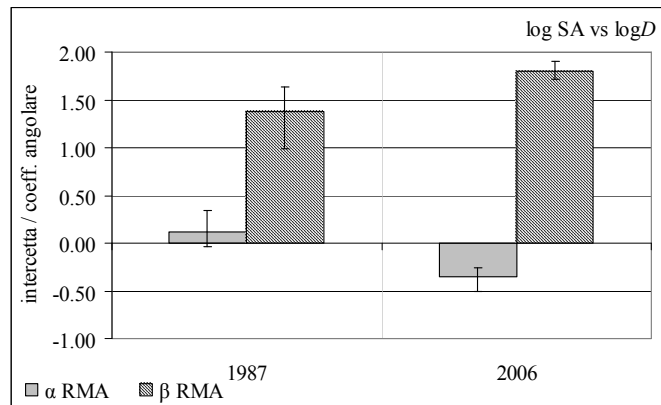
### Area dell'alburno

L'area della corona circolare di alburno ( $SA$ ) si presenta dipendente dal diametro del fusto tramite una funzione potenza che, linearizzata, viene riportata in figura 5.

I due periodi presentano coefficienti angolari statisticamente diversi se testati con metodo ANCOVA ( $n=25$ ,  $F=6.3$ ,  $p=0.02$ ): il 1987 possiede esponente allometrico pari ad 1.38 mentre il 2006 è più elevato (1,80). Questo significa che l'area dell'alburno, a parità di diametro, risulta maggiore nel 2006 (figura 6).

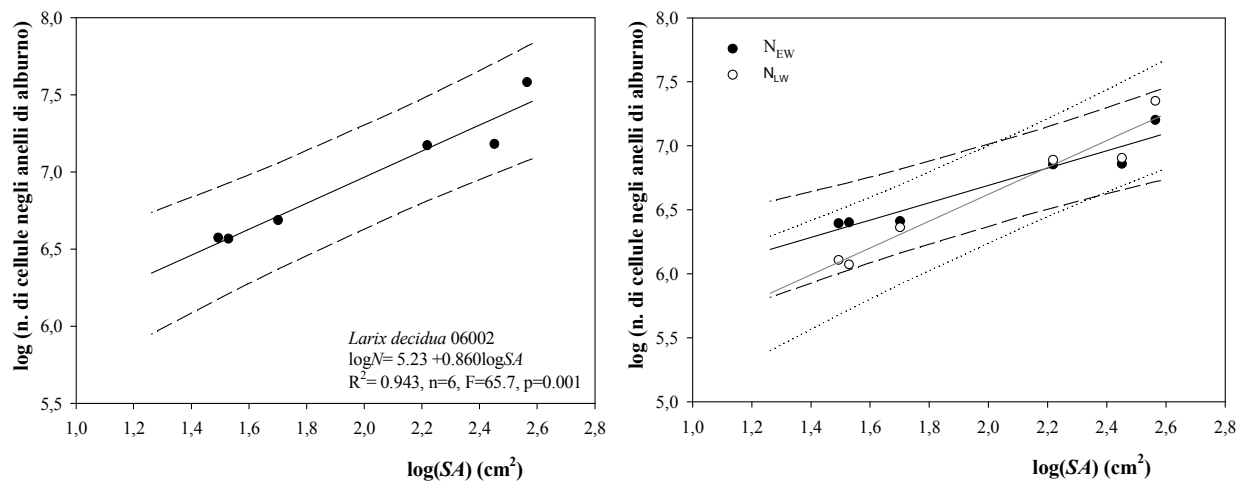


**Figura 5.** Variazione dell'area dell'alburno ( $SA$ ) in funzione del diametro del fusto ( $D$ ) in due periodi diversi. Anno 1987:  $\log SA = -0.113 + 1.38 \log D$ ,  $R^2 = 0.821$ ,  $n=14$ ,  $F=55.25$ ,  $p < 0.0001$ ; anno 2006:  $\log SA = -0.35 + 1.80 \log D$ ;  $R^2 = 0.994$ ,  $n=11$ ,  $F=1588$ ,  $p < 0.0001$ .



**Figura 6.** Valori del coefficiente angolare ( $\beta$ ), dell'intercetta ( $\alpha$ ) e relativi limiti di confidenza calcolati per la relazione  $SA$  vs  $D$  negli anni 1987 e 2006.

Se si analizza il numero di cellule stimate nella corona circolare di alborno a diverse altezze si nota che, nonostante il basso numero di punti utilizzati per la regressione (tabella 3), questa risulta ben definita e significativa ( $p=0.01$ ). Anche in questo caso la funzione di riferimento è una potenza che, linearizzata, assume la forma di figura 7.



**Figura 7. a)** Relazione tra l'area di alborno ( $SA$ ) ed il numero di cellule negli anelli ( $N_{cell}$ ). **b)** Numero di cellule primaticce ( $N_{EW}$ ) e tardive ( $N_{LW}$ ) vs area dell'alborno ( $SA$ ).

relazione	anno	n	$\alpha$ RMA	$\beta$ RMA	$R^2$	$\alpha$ RMA, 95% l.c.	$\beta$ RMA, 95% l.c.	$R^2$ , 95%l.c.	F	p
$SA$ vs $D$	1987	14	0.114	1.381	0.822	-0.039 - 0.346	0.983 - 1.637	0.636 - 0.939	55.25	<0.0001
$SA$ vs $D$	2006	11	-0.357	1.801	0.994	-0.502 - -0.256	1.715 - 1.903	0.988 - 0.999	1588.50	<0.0001
$N_{cell}$ vs $SA$	2006	6	5.230	0.869	0.943	4.898 - 5.607	0.642 - 1.030	0.837 - 1.000	65.71	0.0013
$N_{EW}$ vs $SA$	2006	6	5.280	0.705	0.921	4.842 - 5.662	0.489 - 0.916	0.823 - 1.000	46.61	0.0024
$N_{LW}$ vs $SA$	2006	6	4.472	1.075	0.952	4.117 - 4.917	0.822 - 1.239	0.833 - 1.000	79.24	0.0009

**Tabella 3.** Parametri delle potenze linearizzate tra l'area dell'alborno ( $SA$ ), il diametro della rotella ( $D$ ) ed il numero di cellule stimate totali ( $N_{cell}$ ), primaticce ( $N_{EW}$ ) e tardive ( $N_{LW}$ ).

Il coefficiente angolare della retta  $N_{cell}$  vs  $SA$  (tabella 3) risulta di 0.869 con un intervallo di confidenza di 0.642-1.030 quindi non dissimile dall'unità.

La migliore interpolazione dei punti si ottiene invece tra  $N_{LW}$  e  $SA$  con un  $R^2$  di 0.952.

### 1.3.3. Discussione

I risultati di questo studio indicano che esiste una relazione lineare molto forte tra il numero di anelli della rotella ed il numero di anelli di durame. In particolare per ogni nuovo anello legnoso si avrebbe la contemporanea duramificazione di una vecchia cerchia di alburno (coefficiente angolare non statisticamente dissimile da 1). Tuttavia condizioni di stress meccanici (Stokes e Berthier, 2000) alla base del tronco potrebbero condurre ad una maggior formazione di durame ed a una asimmetria nei raggi, come effettivamente si può notare nel larice esaminato. Nelle conifere il lato soggetto a compressione sarebbe infatti quello più duramizzato (Berthier *et al.*, 2001).

La formazione di durame ad un tasso annuale costante è stata rilevata anche in altre specie quali *Pinus pinaster* (Pinto *et al.*, 2004), *Picea abies* (Yang e Hazenberg, 1991; Sellin, 1994) e *Cryptomeria japonica* (Yang *et al.*, 1994). In quest'ultima specie il coefficiente angolare della retta tra il numero di anelli di durame ( $HW$ ) ed il numero di anelli della rotella ( $N$ ) è risultato pari a 0.55 ossia la metà di quello ivi registrato.

Sempre in *Pinus pinaster* Knapic e Pereira (2005) sono giunti ad un diverso risultato verificando che la miglior interpolatrice tra  $HW$  ed  $N$ , nei popolamenti da loro esaminati, era una funzione parabolica piuttosto che una retta.

Il tasso di formazione del durame potrebbe rivelarsi diverso, oltre che tra specie, anche nelle diverse fasi della vita della pianta ed in particolare soggetti giovani produrrebbero durame più lentamente rispetto ad individui di età più elevata (Pinto *et al.*, 2004).

Molto interessante risulta invece la costanza del numero di anelli di alburno ( $SW$ ) lungo il fusto che si mantiene attorno a  $24 \pm 1.76$  nel 2006 mentre nel 1987 se ne contavano un numero minore  $18.1 \pm 0.299$ .

$SW$  è stato trovato piuttosto costante anche in *Pinus sylvestris* (Fries, 1999) e pari a 44-46 anelli su piante di 70-80 anni di età e diametro a petto d'uomo di 25 cm.

In *Criptomeria japonica* (Yang *et al.*, 1994) il numero di anelli di alburno (20-21) restava all'incirca costante fino ai 10 m, cioè fino a metà dell'altezza delle piante esaminate, e poi mostrava una diminuzione.

Sellin (1994) ha proposto l'età come uno dei principali fattori che regolano il numero di anelli di alburno nell'abete rosso ed il numero di questi, ad una determinata età, risulterebbe indipendente

sia dalla fertilità della stazione (Pothier *et al.*, 1989) che dalla vitalità della pianta (Kaufmann e Watkins, 1990) e dalle condizioni della chioma (Sellin, 2008).

Elevate quantità di alborno sarebbero comunque tipiche di piante dominanti (Kaufmann e Watkins, 1990; Sellin, 1994).

Nel caso esaminato la formazione del durame inizierebbe ad una età di 24-25 anni, età non dissimile a quanto riportato per il pino marittimo (21 anni), specie eliofila e frugale come il larice (Knapic e Pereira, 2005).

Fino ai 25 anni si sarebbe quindi in presenza di un soggetto costituito esclusivamente di alborno ossia di un tessuto omogeneo e completamente conducente, confrontabile cioè con il modello di pianta ipotizzata da West *et al.* (1999a). Il larice a 25 anni presentava una altezza di 7.5 m ed un incremento longitudinale annuo di 28 cm trovandosi al massimo delle proprie capacità di accrescimento in altezza.

Il maggior numero di anelli di alborno registrati nel 2006 rispetto a quelli presenti nel 1987 potrebbe essere legata ai fenomeni di disseccamento così come in pini marittimi sono state rilevate brusche riduzioni di durame nel punto di disseccamento della chioma (Pinto *et al.*, 2004).

La forte linearità osservata tra lo spessore del durame (*DHW*) ed il diametro della rotella di riferimento (*D*) rappresenta una conferma di quanto riportato in *Pinus radiata* (Wilkes, 1991), *Picea abies* (Sellin, 1994) e *Pinus canariensis* (Climent *et al.*, 1993; 2002).

In specie quali il pino silvestre si è notato invece (Bjorklund, 1999) che il diametro del durame resta costante fino a circa il 20% dell'altezza ed in seguito comincia a rastremare. Lo stesso è stato individuato nel *Pinus pinaster* da Knapic e Pereira (2005): nelle parti basse del fusto si formerebbe infatti più durame a causa dello *stress* meccanico a cui sono sottoposti gli anelli.

Il durame aumenta comunque molto più velocemente dell'alborno in tutte le specie.

Lo spessore dell'alborno (*DSW*), nel larice esaminato, tende a diminuire verso l'apice del fusto come notato da Monserud e Marshall (1999) mentre la maggior parte degli Autori rileva una certa costanza nello spessore del tessuto (Wilkes, 1991; Stokes e Berthier, 2000) in particolar modo dopo i primi 3 m da terra, dove risulterebbe in quantità maggiore (Bjorklund, 1999; Pinto *et al.*, 2004; Knapic e Pereira, 2005).

In questo studio la relazione di *DHW* e *DSW* con l'età della rotella è paragonata alle relazioni che si trovano più comunemente in bibliografia, eseguite però tra l'età della pianta e lo spessore del durame misurato ad una altezza predefinita del fusto.

La forte dipendenza tra *DHW* ed età è stata registrata in numerosi casi (Climent *et al.*, 2002; 2003; Gjerdrum, 2003), qui si ottiene una funzione sigmoideale riportata anche in letteratura per

l'abete rosso (Sellin, 1994). Nel caso specifico *DHW* e *DSW* rimangono molto simili fino ad una età di 30 anni dopodichè il durame incomincia ad accrescersi con un ritmo piuttosto elevato e si può supporre il raggiungimento di un *plateau* dopo i 160 anni, ad età che non è stato possibile analizzare. Questo modello di crescita del durame risulterebbe più adatto a piante dominanti (Sellin, 1994) seppure l'alburno sembra aumentare ancora negli anni.

L'aumento dell'alburno alla base del tronco è stato riportato anche da Berthier *et al.* (2001) e potrebbe essere dovuto ad un decremento nella conduttività idraulica (Stokes e Berthier, 2000) dato che le cellule, in questa zona, hanno le pareti più spesse ed il lume ristretto (Gartner *et al.*, 1990).

L'area dell'alburno è un parametro descrittore della capacità di conduzione del fusto (Sellin, 1994) e risulta quindi di particolare importanza nella fisiologia vegetale.

La relazione potenza tra *SA* e *D*, proposta anche nel WBE, è stata documentata in numerosi altri casi (Turner *et al.*, 2000) come in *Picea abies* (Sellin, 1994) in cui il *D* descrive il 91% delle variazioni di *SA*.

È stato evidenziato che il valore dell'esponente allometrico varia nei diversi biomi cosicché si avrebbe  $SA \propto D^2$  nelle zone equatoriali,  $SA \propto D^{1.5}$  nelle zone temperate e  $SA \propto D$  in quelle boreali (*Cryptomeria japonica*, *Chamaecyparis obtusa*. Kumagai *et al.*, 2005). In questo caso non è assolutamente possibile pensare che la somiglianza tra l'esponente trovato per il 2006 e quello delle zone tropicali abbia un fondamento biologico.

Il modello WBE (West *et al.*, 1999) propone che l'area conducente ed il diametro del fusto siano legati tra loro attraverso una potenza di esponente 2.33 ma la definizione di area conducente utilizzata dagli Autori non è compatibile con quella di alburno (dato che considera esclusivamente l'area dei lumi cellulari) per cui i dati non sono paragonabili.

I due esponenti riportati non sono confrontabili tra loro facendo sospettare che la quantità media di alburno presente nel fusto non venga mantenuta nel corso del tempo. Va comunque osservato che per il 1987 si dispone di pochi punti estremamente localizzati nelle parti superiori del fusto il che potrebbe influire sui dati ed inoltre tutte le relazioni presentate in precedenza sono riferite ad un singolo individuo mentre in letteratura si fa riferimento al diametro rilevato a petto d'uomo ( $D_{130}$ ).

La proporzione tra l'alburno ed il durame rappresenta il bilancio tra due funzioni critiche del fusto cioè quelle del supporto meccanico, conferito dal durame, e del rifornimento di acqua alle foglie dovuto all'alburno stesso.

Tuttavia un aumento spropositato di quest'ultimo tessuto potrebbe inficiare i benefici ottenuti a causa dell'aumento della respirazione e del consumo delle riserve prodotte (Pertunnen *et al.*,

1996). Per questo motivo non è sufficiente studiare l'area del tessuto conduttore ma risulta importante valutarne l'intero volume, quantità che rappresenta la capacità di stoccaggio di acqua del fusto (Sellin, 1994).

L'analisi ontogenetica riportata in figura 4 è un tentativo di ricostruire la variazione dell'alburno e del durame nel tempo mantenendo però fisso il rapporto di produzione del durame secondo quanto calcolato all'anno di abbattimento. Pur con i suoi limiti questa analisi permette comunque di visualizzare la curva stereometrica, ben interpolabile con una funzione potenza.

Il volume dell'alburno ( $VSW$ ) è ottimamente predetto dal  $D_{130}$  ( $R^2=0.99$ ) in maniera migliore del durame, concordemente a quanto studiato da Pinto *et al.* (2004) in *Pinus pinaster*.

L'esponente allometrico (2.42) risulta minore di quello della massa totale della pianta (2.72) e della curva stereometrica del durame (3.31).

Questa quantità di alburno deve essere in grado di rifornire tutta la massa fogliare presente, alle varie età, nella pianta, ed il rapporto tra l'area (o la massa) fogliare e la superficie del tessuto conducente, conosciuto come rapporto di Huber (Eckmüllner e Sterba, 2000), si rivela di estrema importanza per la comprensione dei meccanismi fisiologici delle piante.

La determinazione dell'area fogliare è infatti fondamentale per stimare la fotosintesi della chioma e quindi la produzione di carboidrati: le prime applicazioni forestali risalgono a Kittredge (1944 in Monserud e Marshall, 1999) che usò, per la stima della biomassa fogliare ( $M_f$ ), relazioni con il diametro del fusto che hanno avuto numerose applicazioni anche negli anni seguenti. Tra le varie proposte di equazioni allometriche va ricordata quella di West *et al.* (1999) che suggeriscono una relazione del tipo  $M_f \propto D^2$ , molto prossima ai risultati ottenuti da Kajiimoto *et al.* (2006) in due diverse specie di larici siberiani.

In seguito si è osservato che l'area dell'alburno avrebbe potuto essere un predittore migliore (Eckmüllner e Sterba, 2000) dato che tale tessuto assolve il ruolo fondamentale di condurre nutrienti e acqua (Monserud e Marshall, 1999). L'area dell'alburno alla base della chioma risulterebbe inoltre molto più predittiva dell'alburno misurato a petto d'uomo (Monserud e Marshall, 1999).

La proposta di Shinozaki *et al.* (1964), che suggerisce una isometricità tra la quantità di tessuto fotosintetizzante fornito e di area conducente ( $M_f \propto SA$ ), è stata verificata in *Pinus ponderosa*, *Pseudotsuga menziesii* e *Pinus monticola* (Monserud e Marshall, 1999) dove l'esponente di scala tra l'area fogliare e l'area dell'alburno risultava prossimo ad 1 e può essere confermata indirettamente in questo studio. Infatti se si suppone che le foglie abbiano una superficie pressochè simile ed un numero di condotti di rifornimento costanti (West *et al.*, 1997; 1999a) ci si deve attendere che anche il numero di cellule registrate negli anelli di alburno a varie altezze

del suolo sia costante e legato isometricamente a  $SA$ . La funzione interpolatrice di questa relazione si dimostra essere una potenza con esponente allometrico non dissimile da 1. La migliore interpolazione dei punti si ottiene tra  $N_{LW}$  e  $SA$  probabilmente perchè l'ampiezza dell'anello è influenzata maggiormente dalla quantità di legno tardivo rispetto a quello primaticcio.

Considerando quindi che per il *WBE model* (West *et al.*, 1999)  $Mf \propto D^2$  e che per il *pipe model* (Shinozaki *et al.*, 1964)  $Mf \propto SA$  ne deriva, per proprietà transitiva che  $SA \propto D^2$ .

Si dovrebbe allora registrare un valore del  $VSW$  prossimo a 2 mentre qui è superiore.

Si può quindi supporre che occorra proporzionalmente più alborno per mantenere le foglie oppure che le foglie, nel corso dell'ontogenesi, diminuiscano in quantità.

In molti casi sono state infatti riportate delle deviazioni dalla costanza del rapporto tra area fogliare e area dell'alborno dovute probabilmente alla diversa capacità conducente degli anelli nell'alborno (Coyea e Margolis, 1992; Eckmüller e Sterba, 2000) compensata dall'aumento del tessuto stesso (Mencuccini *et al.*, 2005).

Il tentativo, che si osserva in piante di una certa dimensione o di elevate età, di aumentare il flusso idrico attraverso cambiamenti nel rapporto alborno/durame o area fogliare/alborno potrebbe essere un indizio che suggerisce perciò la presenza di limitazioni di tipo idraulico (Ryan e Yoder, 1997; Koch *et al.*, 2004) nei confronti della crescita dei vegetali.

### **1.3.5. Conclusioni**

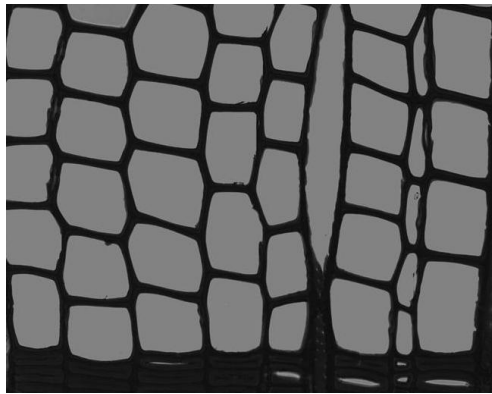
Lo studio del rapporto tra alborno e durame all'intero di un singolo individuo può fornire importanti informazioni circa la funzionalità del sistema pianta.

Il durame appare strettamente correlato al diametro sia nel numero di anelli che nello spessore mentre l'alborno parrebbe possedere un numero di anelli piuttosto costante lungo tutto il fusto.

Questo risulta interessante perchè rappresenta una conferma indiretta del fatto che i singoli coni annuali della pianta sarebbero tra loro indipendenti e che l'idealizzazione di una struttura di conduzione costituita da vasi paralleli che terminano con una unità fogliare è compatibile con la realtà. L'età di formazione del primo anello di alborno si manifesta, in questo individuo, a 25 anni. Fino a questa età è allora possibile considerare la pianta interamente costituita di alborno e quindi modellizzabile attraverso le equazioni allometriche del *WBE model*.



## CAPITOLO 2. ANALISI CELLULARI



*“La natura non fa nulla d'inutile”*  
(Aristotele, filosofo greco, 384-322 a. C.)



## 2.1. ANALISI DELL'ANATOMIA CELLULARE IN CONIFERE DI ALTA QUOTA.

### **Riassunto**

Con questo studio si è cercato di approfondire le conoscenze sulla struttura xilematica del fusto in conifere di alta quota.

In particolare è stata indagata la variazione delle dimensioni dei lumi cellulari in senso radiale, dal midollo alla corteccia, verificando la presenza di un *plateau* radiale.

I diametri idraulici massimi registrati sono compresi tra 40 e 60  $\mu\text{m}$ , il numero di anni necessario perché inizi la stabilizzazione della dimensione del lume è piuttosto variabile, se si considerano le rotelle collocate nelle parti inferiori del fusto (40-60 anni), mentre in tutti i soggetti decresce avvicinandosi all'apice.

Le serie sono ben interpolabili da un modello di tipo segmentato e possono essere messe in relazione con l'incremento annuo di altezza dei soggetti esaminati.

*Parole chiave:* diametro idraulico, serie radiali, *plateau*, modello segmentato, incremento longitudinale, conifere.

### **2.1.1. Introduzione**

Lo xilema rappresenta il tessuto deputato al trasporto idrico nelle piante, permettendo ad acqua e nutrienti, penetrati nell'organismo attraverso le radici, di giungere alle foglie (Tyree, 2003).

Questo rifornimento risulta fondamentale per sostituire le perdite idriche avvenute con la traspirazione e consentire le attività fotosintetiche (Rust e Ruloff, 2002; Martinez-Vilalta e Pinol, 2004; McElrone *et al.*, 2004; Fan *et al.*, 2008). L'intero processo costituisce quindi la base per il funzionamento dei meccanismi che portano allo sviluppo dimensionale della pianta durante la propria ontogenesi e la quantità d'acqua richiesta supera perciò di gran lunga quella di qualsiasi altro organismo terrestre (Holbrook e Zwieniecki, 2008).

Nel corso dell'evoluzione la necessità di ottenere un efficiente trasporto su lunga distanza ha plasmato le caratteristiche esterne delle diverse specie vegetali secondo l'abilità alla conduzione di cellule opportunamente modificate e sempre più specializzate a tal scopo (Wellman e Gray, 2000).

Nel fusto di un albero di notevoli dimensioni, sia nelle angiosperme che nelle gimnosperme, il tessuto xilematico si dimostra estremamente complesso e costituito da centinaia di milioni di cellule interconnesse le une alle altre (Sperry e Hacke, 2004) con una lunghezza totale che può superare alcune centinaia di chilometri (Holbrook e Zwieniecki, 2008).

È stato proposto (Magnani *et al.*, 1996, Mencuccini *et al.*, 1997; Sperry *et al.*, 2006) che tale rete, per risultare ottimale, debba essere in grado di minimizzare gli investimenti in carbonio e massimizzare la conduttanza idraulica, la quale sarebbe a sua volta proporzionale alla quantità di CO<sub>2</sub> catturata nell'atmosfera dagli stomi (Hubbard *et al.*, 2001).

Questo induce una particolare struttura dei condotti che alla base del fusto possiedono un lume di diametro mediamente maggiore di quelli posti nelle parti più distali (Rundel e Stecker, 1977; West *et al.*, 1999a; James *et al.*, 2003; Weitz *et al.*, 2006; Anfodillo *et al.*, 2006; Petit *et al.*, 2008), alimentando un maggior numero di vasi (McCulloh *et al.*, 2003).

Le cellule xilematiche si formano annualmente dalle cellule iniziali del cambio (Spicer e Gartner, 2001) e sono in grado di raggiungere determinate dimensioni attraverso la fase di distensione che risulta, a seconda degli ambienti, più o meno lunga (Rossi *et al.*, 2006b).

La regolazione ormonale, in particolar modo auxinica, si rivela comunque un fattore chiave sia nella produzione di cellule *per se* (Aloni *et al.*, 2006) sia nella dimensione del loro lume.

Alte concentrazioni auxiniche promuovono la divisione cellulare limitando la possibilità di distensione (Kalev e Aloni, 1998, 1999) e sono rinvenibili nelle gemme terminali del fusto: il loro effetto è particolarmente visibile nelle piante a spiccata dominanza apicale. Per questo motivo un allontanamento dagli apici vegetativi, con conseguente riduzione auxinica, consente alle cellule di aumentare la loro area e solo in questo modo si è in grado di spiegare la ben nota variazione nelle dimensioni del lume cellulare passando dal midollo alla corteccia in una serie radiale. Numerosi Autori hanno infatti riscontrato un aumento dell'area di vasi (Fonti e Garcia-Gonzales, 2004; Fonti *et al.*, 2007) e tracheidi (Spicer e Gartner, 2001; Jagel e Visscher, 2006) allontanandosi dal centro della rotella.

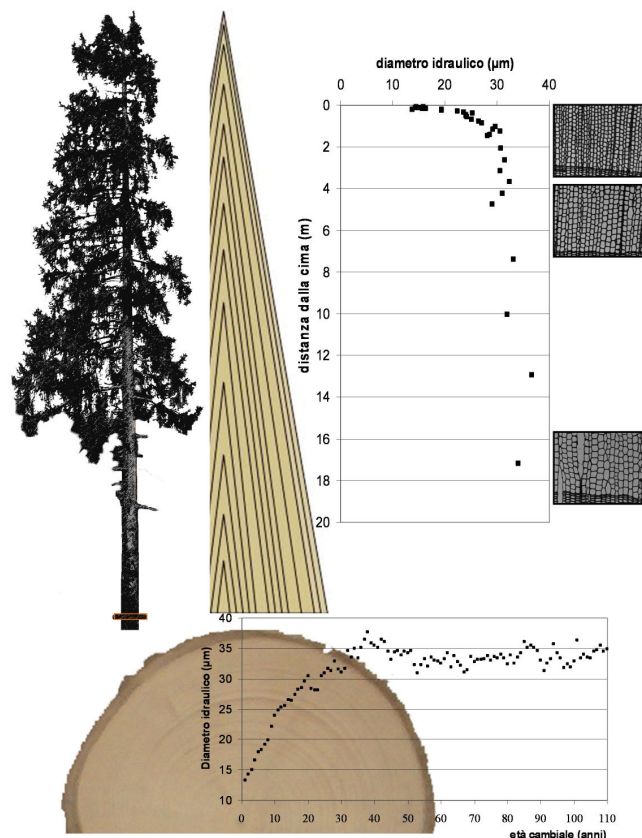
Nei lavori in cui siano state analizzate piante di età elevata emerge anche un'altra caratteristica ovvero, dopo un periodo di tempo piuttosto breve, viene raggiunta una soglia massima, un *plateau*, attorno al quale si dispongono i diametri medi cellulari degli anelli formati in anni seguenti (Spicer e Gartner, 2001).

La comparsa di un *plateau* radiale, anche in ottime condizioni ambientali, suggerisce la presenza di fattori genici che consentono la distensione della parete solo fino ad un certo limite ed effettivamente ogni specie vascolare si differenzia per una specifica elasticità della parete cellulare (AA.VV. in: Jagel e Visscher, 2006).

Mentre questo parametro è relativamente facile da misurare (Via *et al.*, 2003; Raiskila *et al.*, 2006) molto più complessa risulterebbe la registrazione, per ogni singola specie, delle dimensioni trasversali massime consentite dal patrimonio genetico che richiederebbe una enorme mole di campioni e di analisi (Wang e Aitken, 2001) nonché di condizioni stazionali confrontabili. Studi di questo tipo sono stati condotti da Wang e Aitken (2001) che hanno rintracciato delle diversità nelle caratteristiche xilematiche riferibili al controllo genetico, anche a livello di popolazione, in *Pinus contorta* var. *latifolia*.

Oltre a questo si è anche registrato un fenomeno indicato come “maturazione del cambio” (Spicer e Gartner, 2001) per il quale si osserva una variazione nella forma delle cellule iniziali del cambio che si stabilizzano solo dopo i primi 5-25 anni di crescita e determinano la formazione di un particolare xilema che va a formare il cosiddetto legno giovanile (Bao *et al.*, 2001; Via *et al.*, 2003; Yeh, 2005).

La struttura idraulica della pianta potrebbe quindi essere descritta dalla figura 1 e tale eterogeneità contribuisce anche a determinare alcune caratteristiche tecnologiche del legno quali la densità (Spicer e Gartner, 2001; Wang e Aitken, 2001).



**Figura 1.** Descrizione della struttura xilematica di una pianta vascolare.

Dato che le cellule sono influenzate dai parametri ambientali, quali temperatura (Panyuskina *et al.*, 2003; Fonti *et al.*, 2007) e disponibilità idrica (Corcuera *et al.*, 2004; Rossi *et al.*, 2008b) il *plateau* radiale può collocarsi su soglie diverse in piante della stessa specie. In particolare piante vegetanti in ambienti più limitanti formeranno cellule mediamente più piccole (Coomes e Allen, 2007; Coomes *et al.*, 2007).

La forma delle cellule, e quindi la loro area, viene inoltre determinata da specifici fitormoni: ad esempio è stato dimostrato che l'etilene contribuisce a rendere le cellule più tondeggianti (Kalev e Aloni, 1999).

La stabilizzazione delle dimensioni cellulari potrebbe far sorgere dei dubbi sulla possibilità, per la pianta, di formare dei condotti con un grado di rastremazione longitudinale uniforme che nel modello proposto da West *et al.* (1999a) sembrerebbe essere un artificio anatomico in grado di compensare gli aumenti di resistenza idraulica ed in definitiva regolare l'accrescimento longitudinale nel corso della vita della pianta.

Il raggiungimento dell'asintoto superiore potrebbe allora essere considerato come un momento critico nella vita della pianta in cui si osserva l'inizio di una condizione idraulica non ottimale.

Questo potrebbe a sua volta essere collegato alla possibilità di accrescimento longitudinale del fusto, destinata a ridursi.

Nelle conifere inoltre, rispetto alle latifoglie, il problema appare ancor più complesso se si pensa che le tracheidi devono svolgere sia un ruolo di sostegno che conduttivo e queste due funzioni mostrano un ruolo antagonistico (Jagel e Vissher, 2006).

Non si deve tuttavia ritenere l'aumento delle dimensioni cellulari un fattore sempre positivo: sono ben note infatti la maggior vulnerabilità alla cavitazione dei condotti di notevoli dimensioni, in particolare in quelle specie che vivono in climi rigidi (Pittermann e Sperry, 2003; 2006).

In soggetti che abbiano raggiunto la massima altezza consentita dalla stazione dovrebbe quindi essere più semplice studiare le variazioni nella dimensione dei condotti xilematici.

Lo scopo di queste analisi è quindi quello di verificare le variazioni delle dimensioni cellulari nel tempo, in particolare valutare l'inizio del *plateau* e la dimensione massima raggiunta dalle cellule a varie altezze del fusto nonché verificare se un modello segmentato sia più adatto all'interpolazione rispetto ad una funzione potenza.

Si è inoltre cercato di determinare un collegamento tra l'incremento longitudinale delle piante ed il raggiungimento dell'asintoto.

### 2.1.2. Materiali e metodi

Si rimanda al Cap. 1.1, in particolare alla Tabella 1, per ottenere una descrizione dettagliata delle piante esaminate, delle caratteristiche della stazione e dei metodi utilizzati per l'analisi.

#### *Analisi cellulari*

Una volta registrate le ampiezze anulari ed eseguite la sincronizzazione, la datazione e l'analisi del fusto (come descritto nel Cap. 1.2.), dalle rotelle sono state asportate delle listelle diametrali, comprendenti il midollo, dello spessore di circa 5-8 mm. Queste, a loro volta, sono state ridotte in due raggi e suddivise in spezzoni di dimensioni di circa 4x4x20 mm.

Ai campioni così preparati viene assegnato un codice di 11 cifre che sintetizza: anno di taglio della pianta (2 cifre), codice di riconoscimento della pianta (tre cifre), numero della rotella (due cifre), numero del raggio e numero del campione. I campioni vengono poi inclusi in biocassette plastiche di 2.5 x 3 x 0.5 cm e fatti bollire in acqua per 45-60 minuti allo scopo di eliminare le resine e le altre impurità.

Il passaggio successivo prevede l'utilizzo del processatore automatico Citadel 1000 (Shandon) per preparare il legno all'inclusione in paraffina. Il processo prevede i seguenti passaggi in immersione:

Solvente	Concentrazione (%)	durata (min)
alcool denaturato	70	120
alcool denaturato	70	120
alcool denaturato	90	90
alcool denaturato	90	90
alcool denaturato	95	90
alcool denaturato	100	90
alcool denaturato	100	90
D-limonene	100	90
D-limonene	100	90
D-limonene	100	90
paraffina a 65 C°		120
paraffina a 65 C°		120

Quindi, si è proceduto alla realizzazione delle sezioni da analizzare (Anderson e Bancroft, 2002) utilizzando un microtomo rotativo semiautomatico Leica RM 2145 e tagliando il legno ad uno spessore di 7-10  $\mu\text{m}$ . In seguito le sezioni sono state poste in stufa (65-70°C per 1 ora) e la paraffina residua rimossa tramite bagni in D-Limonene (Bioclear) e alcol denaturato puro.

La colorazione è stata effettuata per immersione (5 minuti) in una soluzione acquosa di safranina (1%) con successivo risciacquo in acqua (due immersioni di 5 minuti ciascuna), dopo l'asciugatura si è proceduto a fissare permanentemente i campioni con Eukitt® (Bioptica, Milano, Italia).

Caratteristica	<i>Picea abies</i> Karst.	<i>Pinus cembra</i> L.	<i>Larix decidua</i> L.
Codice	03122	06001	06002
Numero di rotelle	35	52	69
Rotelle utilizzate per analisi cellulari(*)	29	42	38
Numero di rotelle nella parte morta	26	34	58
Numero di cellule registrate	1.798.963	3.336.621	1.939.731
Numero di cellule con $d > d_{\text{max}}/2$	1.227.172	2.133.361	1.238.315
Numero di $Dh$ per pianta (**)	771	724	1315

**Tabella 1.** Caratteristiche del *dataset*. \*)per ogni rotella si ricavano 2 raggi da sottoporre ad analisi microscopica. In alcune rotelle di *Picea abies* l'analisi cellulare è stata eseguita solo su di un raggio; \*\*)il valore di diametro idraulico ( $Dh$ ) di ogni anno deriva dall'insieme delle cellule registrate nei due raggi;  $d$ =diametro della cellula;  $d_{\text{max}}$ = diametro massimo registrato.

Le immagini digitali sono state acquisite con una fotocamera installata su microscopio ottico (Nikon, Eclipse 80i) all'ingrandimento di 400x (abete rosso) o 200x (altri campioni) coprendo 3-5 fasce per anello.

L'ampiezza del lume cellulare è stata calcolata con il programma WinCell (Regent Instruments Inc, Sainte-Foy, QC, Canada).

Tutte le cellule registrate sono state considerate a sezione circolare (Sperry *et al.*, 1994) e per ogni anello di crescita si è elaborato un valore ponderato, il diametro idraulico ( $Dh$ ), che include nel calcolo solo le cellule con diametro maggiore della metà di quello massimo registrato (James *et al.*, 1993).

La formula di ponderazione utilizzata è:

$$Dh = \frac{\sum d^5}{\sum d^4}$$

Ove  $d$  rappresenta il diametro di una singola cellula.



In tabella 1 il numero di dati collezionati per i tre soggetti che sono stati analizzati completamente, a cui vanno ad aggiungersi le misure cellulari eseguite sulle altre piante.

### *Modelli ed analisi statistiche*

Per definire la forma delle serie radiali di  $Dh$  nel tempo, quindi in rapporto all'età cambiale) si sono interpolate le nuvole di punti con delle funzioni potenza generate dalla procedura PROC NLIN del *software* statistico SAS® 9.1.2 (SAS Institute, Cary, NC, USA, 2004).

Un risultato migliore si è ottenuto creando, con la stessa procedura, un modello segmentato (*segmented model*, Fadel, 2004; Soltani *et al.*, 2004) costituito da una parabola ed una retta parallela all'asse delle ascisse combinate tra loro in modo che il punto di massimo della parabola coincida con la derivata della retta. In questo modello non è possibile inserire nel primo tratto una potenza in quanto è una funzione non caratterizzata da punti di massimo o minimo.

Si considera allora una parabola di forma:

$$Dh = a + b \cdot et\grave{a} + c \cdot et\grave{a}^2$$

in cui  $a$ ,  $b$ ,  $c$  sono i parametri caratterizzanti l'equazione che vengono determinati dal programma a seguito di reiterazioni successive in modo che la derivata del punto di massimo:

$$x_0 = -\frac{b}{2c}$$

contribuisca a mantenere costante il valore della parabola, che si tramuta così in retta:

$$Dh_0 = a + b \cdot x_0 + c \cdot x_0^2$$

Con età inferiori a quella determinata ( $x_0$ ) si otterrà quindi una parabola, con età superiori un valore costante di diametro ( $Dh_0$ ) ossia il *plateau* della serie radiale.

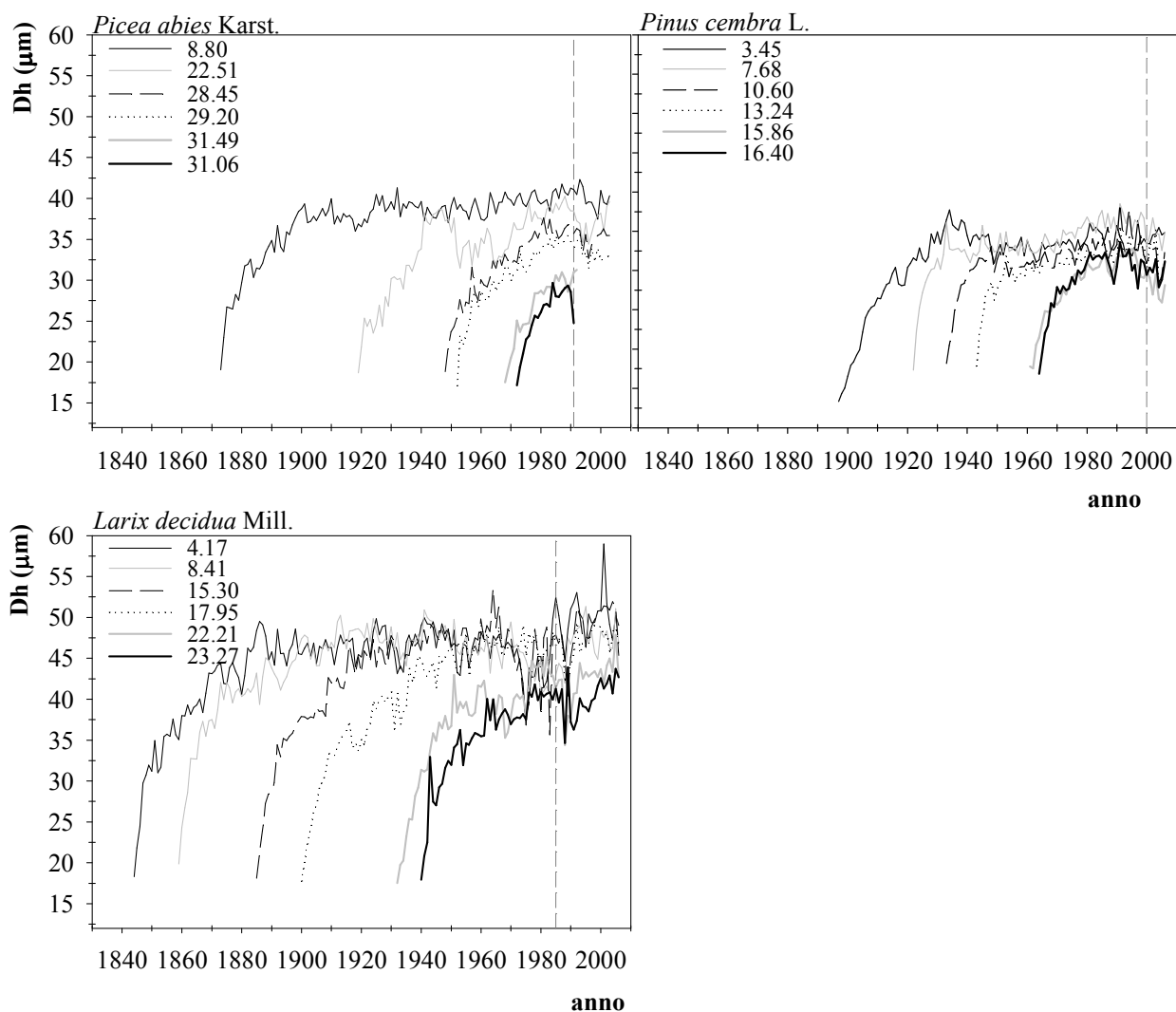
Per facilitare la comprensione dei risultati alcune funzioni potenza sono state linearizzate trasformando i dati mediante logaritmo di base 10. La significatività delle regressioni lineari è stata testata tramite test di Fischer incluso nella procedura PROC REG di SAS® 9.1.2 (SAS Institute, Cary, NC, USA, 2004).

Il test di omogeneità delle pendenze (ANCOVA), condotto per verificare la similarità dei coefficienti angolari di rette calcolate per diversi anni o periodi di vita della pianta, è stato eseguito con procedura PROC GLM disponibile nel programma statistico SAS 9.1.

### 2.1.3. Risultati

#### Serie radiali

Dalla base all'apice del fusto la dimensione media del diametro idraulico decresce tuttavia, in ogni individuo esaminato, la rotella posta più in basso presenta lume cellulare leggermente più ristretto rispetto a quelle superiori.



**Figura 2.** Serie radiali di diametro idraulico ( $Dh$ ) a diverse altezze del fusto nei tre soggetti analizzati. L'anno del disseccamento del cimale è indicato con linea tratteggiata.

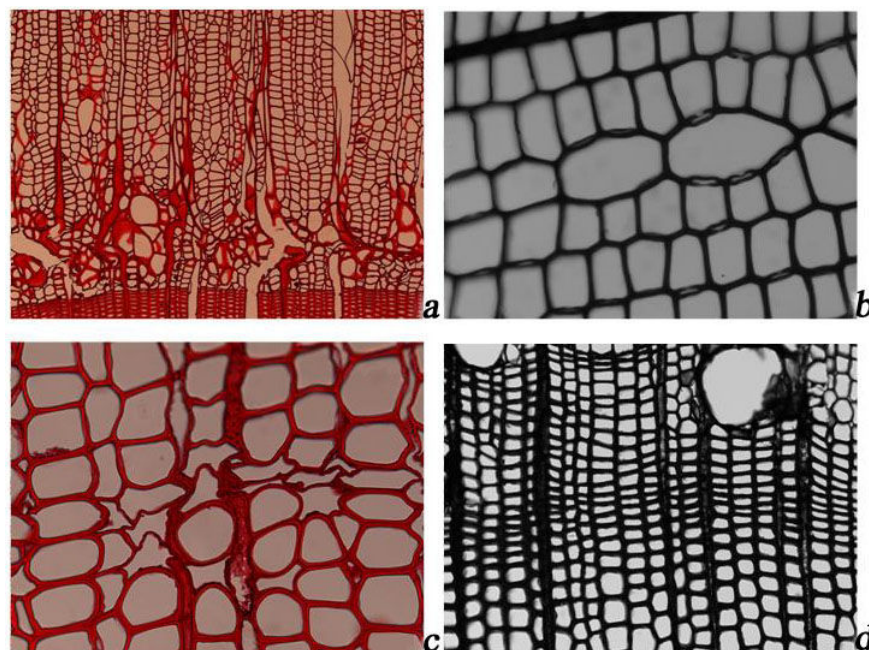
Il massimo valore di diametro idraulico si registra quindi ad 8.8 m nell'abete rosso, a 7.78 m nel pino cembro ed a 8.41 m nel larice. Queste altezze sono comprese tra il 25 ed il 35% dell'altezza totale della pianta (figura 2) dove è collocata la base della chioma. Nel periodo immediatamente precedente, o seguente, l'anno di morte del cimale è possibile osservare una diminuzione nella

dimensione media del lume cellulare. Questo fenomeno è particolarmente visibile nelle rotelle di base con l'eccezione della rotella del larice posta a 4.17 m, nella quale si registra un inaspettato aumento del diametro cellulare.

Le variazioni interannuali nella dimensione cellulare sono piuttosto consistenti: picchi particolarmente elevati si notano in presenza di anelli da gelo perchè le cellule tendono a divenire di forma più rotondeggiante e di dimensioni maggiori, ma anomalie nell'anatomia cellulare si osservano anche nell'anno di disseccamento del cimale o in anni con forti stress idrici (figura 3).

Il massimo valore di  $Dh$  registrato per l'abete rosso 03122 risulta di 42.31  $\mu\text{m}$  mentre il minimo di 13.82  $\mu\text{m}$ , nel pino cembro l'intervallo di variazione è compreso tra 12.46 e 38.41  $\mu\text{m}$  e nel larice tra 11.35 e 58.99  $\mu\text{m}$ . Quest'ultimo valore, osservabile anche in grafico (figura 2) è decisamente elevato ma comunque si osservano numerosi altri anni con  $Dh > 50 \mu\text{m}$ .

Il pino cembro risulta quindi la specie con le cellule mediamente più piccole anche se appare interessante osservare che i valori minimi di diametro sono piuttosto simili tra i tre soggetti.



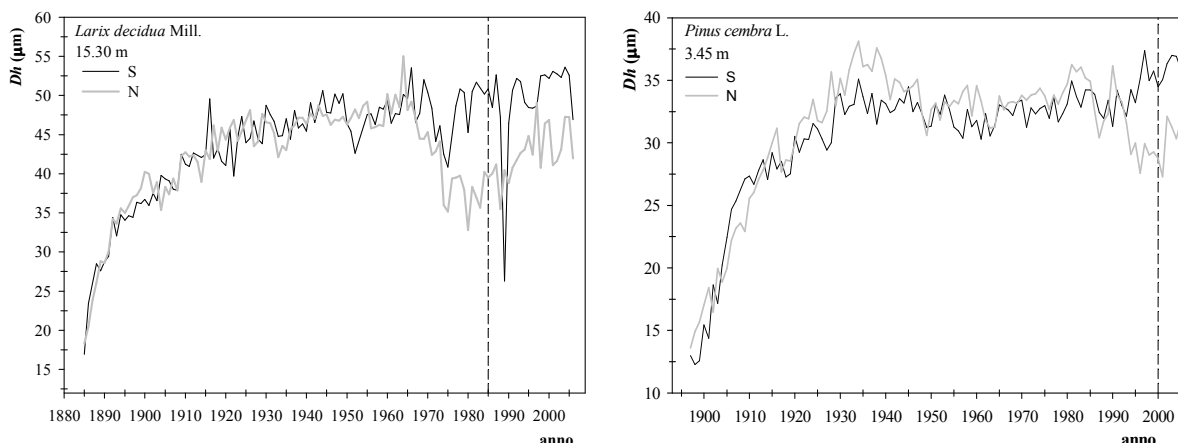
**Figura 3.** Anomalie nell'anatomia cellulare. **a)** anno da gelo (1953) nell'abete rosso; **b)** outliers normalmente eliminati dal calcolo del  $Dh$  nell'abete rosso (1986); **c)** disorganizzazione cellulare e forme rotondeggianti nell'anno del disseccamento cimale (1991) nell'abete rosso; **d)** riduzione del lume cellulare a causa della siccità nel pino cembro (2003) nel pino cembro.

Le serie di figura 2 rappresentano i valori di  $Dh$  calcolati ponderando la dimensione delle cellule sull'intera circonferenza. In realtà, se si considerano separatamente le cellule poste sul lato nord e sul lato sud del fusto è possibile osservare delle differenze, anche significative (figura 4).

Nei primi decenni di crescita la distensione del lume cellulare sembra procedere allo stesso modo tra le due esposizioni, ottenendo dei  $Dh$  piuttosto simili; in seguito le due serie non sono più perfettamente coincidenti. Ad esempio, per la rotella a 3.45 m del pino cembro non si osservano differenze significative tra le esposizioni nord e sud (test t di Student accoppiato DF=22,  $t=-0.06$ ,  $p=0.95$ ) fino all'anno 1920; nel quarantennio seguente (1920-1980) le cellule del lato nord del fusto presentano ampiezza maggiore di quelle del lato sud (test t di Student accoppiato con DF=58,  $t=-8.06$ ,  $p<0.001$ ) e subiscono dal 1990 una forte limitazione alla distensione.

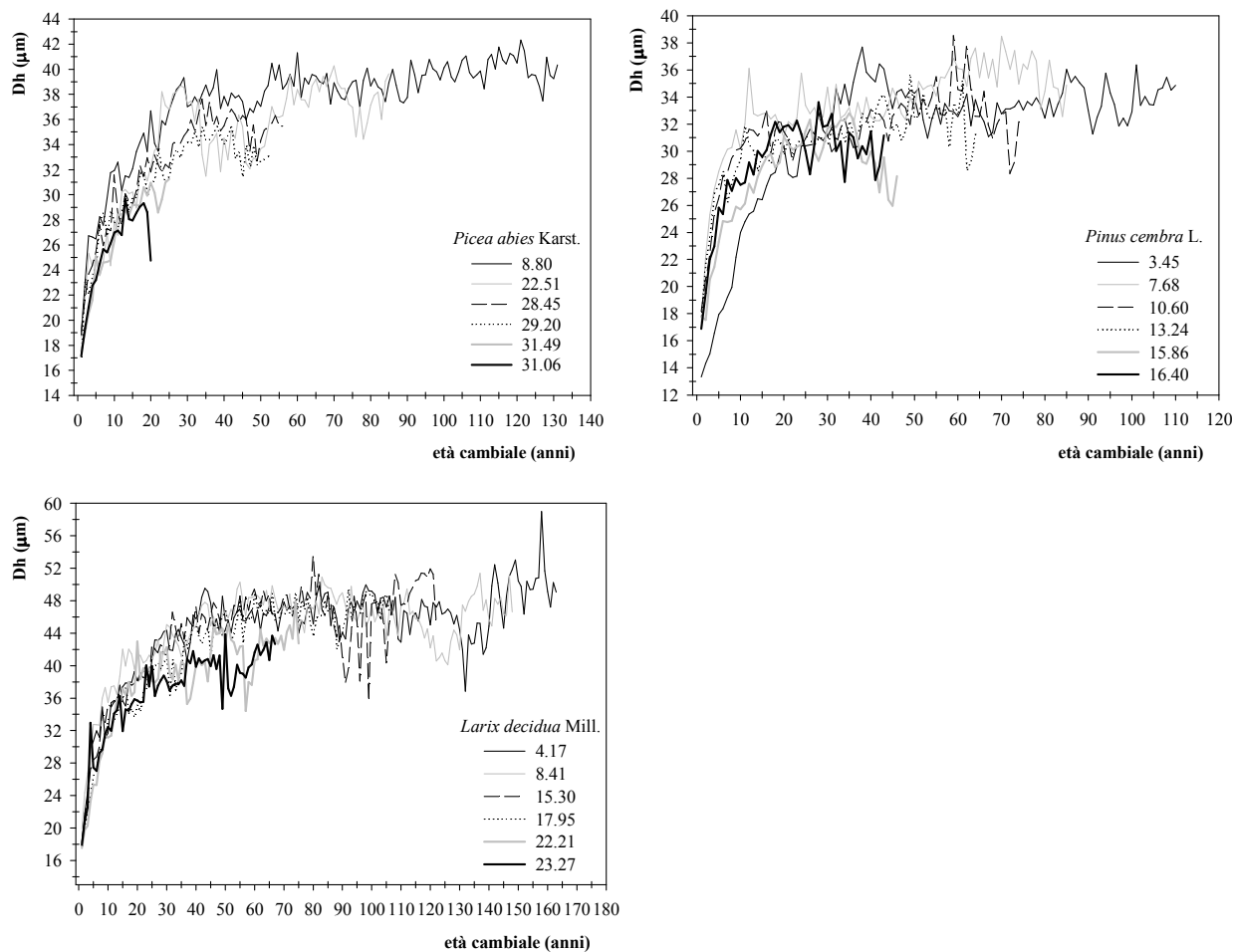
In questo soggetto il lato nord presenta, mediamente e per l'intera lunghezza del fusto, cellule di dimensioni maggiori anche se va considerata la presenza di legno di compressione sul lato sud, specialmente nel cimale, soggetto ai venti di tramontana.

Nel caso del larice le due serie sono comparabili fino al 1970 (15.30 m di altezza sul fusto), in seguito si assiste ad un restringimento repentino del lume cellulare dei vasi esposti a nord.



**Figura 4.** Variazione nella dimensione del  $Dh$  calcolato in due differenti posizioni nel fusto: lato esposto a nord (N), lato esposto a sud (S). Con linea tratteggiata si rappresenta l'anno di morte del cimale.

L'aumento delle dimensioni dei condotti xilematici non è costante nel tempo: si assiste infatti ad un primo periodo di crescita molto intenso seguito da una stabilizzazione delle dimensioni. Questo andamento è particolarmente chiaro quando si osservano i  $Dh$  considerati in rapporto all'età cambiale (figura 5).



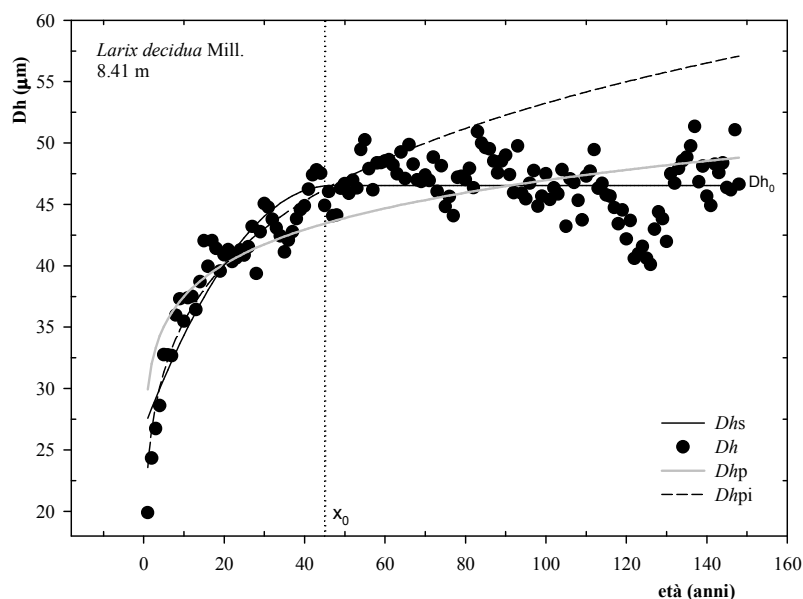
**Figura 5.** Serie radiali di diametro idraulico ( $D_h$ ) a diverse altezze del fusto nei tre soggetti analizzati.

### Modello segmentato

Una semplice funzione potenza appare quindi inadeguata per descrivere la nuvola di punti che appare meglio interpolata da un modello di tipo segmentato (figura 6).

Tale modello interpola in maniera migliore della potenza le serie radiali appartenenti alle rotelle poste nella parte inferiore del fusto mentre non riesce a catturare appieno l'ampliamento del lume cellulare delle serie situate a 1-2 m di distanza dalla cima.

Un vantaggio nell'utilizzo di una funzione combinata consiste nel poter individuare, con buona approssimazione, il numero di anni necessari a raggiungere una stabilizzazione del  $D_h$  ( $x_0$ ) ed il valore del diametro idraulico al *plateau*, ossia massimo ( $D_{h0}$ ).



**Figura 6.** Diverse possibilità di interpolazione di una serie radiale di  $Dh$  (larice, rotella a 8.41 m di altezza).  $Dh$ : valore osservato di diametro idraulico (punto);  $Dhs$ : valore di  $Dh$  stimato tramite modello segmentato (linea nera);  $Dhp$ : valore di  $Dh$  stimato tramite funzione potenza (linea grigia);  $Dhpi$ : valore di  $Dh$  stimato tramite potenza quando questa interpola i punti fino ad  $x_0$  (linea tratteggiata);  $x_0$ : anni impiegati per raggiungere il *plateau* radiale;  $Dh_0$ : valore di  $Dh$  medio del *plateau* radiale.

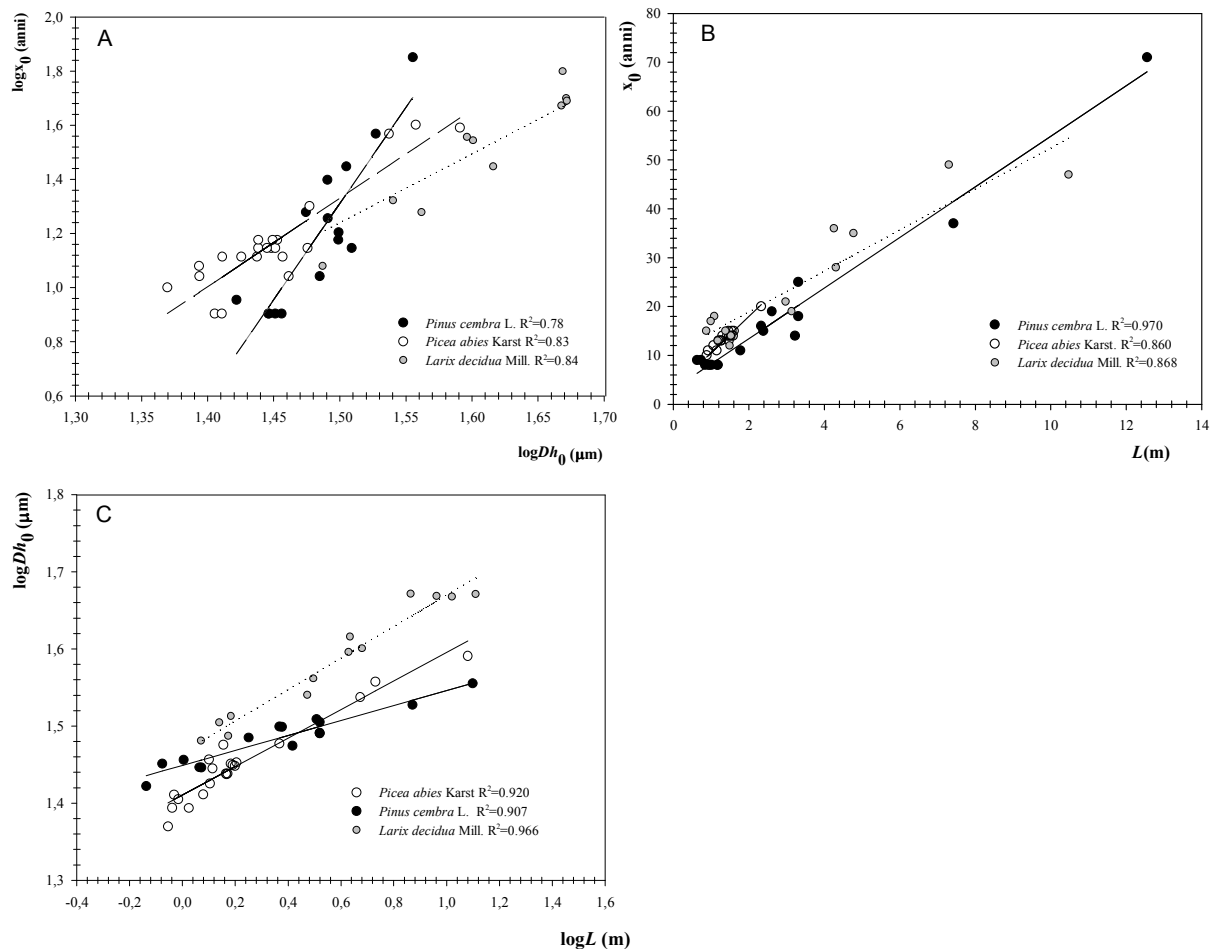
Dalla tabella 2 risulta evidente che il periodo di tempo necessario per ottenere lumi cellulari di una determinata grandezza aumenta allontanandosi dalla cima (figura 7b) anche perchè si ottengono  $Dh_0$  maggiori (figura 7 a).

<i>Pinus cembra</i> L.					<i>Picea abies</i> Karst					<i>Larix decidua</i> Mill.				
altezza (m)	anno inizio plateau	$Dh_0$ ( $\mu\text{m}$ )	$x_0$ (anni)	Età serie (anni)	altezza (m)	anno inizio plateau	$Dh_0$ ( $\mu\text{m}$ )	$x_0$ (anni)	Età serie (anni)	altezza (m)	anno inizio plateau	$Dh_0$ ( $\mu\text{m}$ )	$x_0$ (anni)	Età serie (anni)
3.45	1933	33.67	37	110	8.80	1911	38.98	39	131	4.17	1894	46.91	50	163
7.68	1992	35.90	71	85	28.45	1987	36.10	40	56	8.41	1906	46.52	47	148
10.6	1946	32.28	14	74	29.20	1988	34.46	37	52	15.30	1934	46.96	49	122
13.24	1958	31.57	16	64	31.49	1987	30.00	20	25	17.95	1963	46.62	63	106
15.86	1985	30.95	25	46	32.06	1985	28.07	14	20	22.21	1960	41.30	28	75
16.4	1981	30.97	18	43	32.12	1985	28.26	14	20	23.27	1975	39.88	35	67
16.94	1994	31.99	28	40	32.17	1985	27.37	13	19	23.80	1979	39.46	36	64
17.47	1991	29.81	19	30	32.22	1987	28.36	15	19	24.33	1966	36.45	19	60
18.02	1994	31.55	15	21	32.27	1987	28.14	15	19	24.99	1973	34.69	21	55
18.55	1993	30.54	11	18	32.32	1981	25.42	8	18	26.26	1971	30.69	12	29
19.17	1993	27.94	8	15	32.34	1987	27.43	14	18	26.52	1975	32.58	14	25
19.22	1994	27.93	8	14	32.39	1987	29.90	14	18	26.67	1978	31.95	15	21
19.39	1994	28.58	8	14	32.44	1982	25.75	8	17	26.87	1976	30.26	13	20
19.58	1995	28.26	8	13	32.49	1985	28.94	11	17	26.97	1982	28.99	18	18
19.76	1997	26.42	9	12	32.54	1989	27.44	15	17	27.06	1981	29.60	17	17
19.93	1998	24.44	9	11	32.64	1988	26.64	13	16	27.18	1980	25.43	15	20
					32.74	1989	28.62	13	15					
					32.79	1990	27.86	14	15					
					32.89	1990	25.77	13	14					
					32.94	1989	24.75	12	14					
					33.00	1988	24.77	11	14					
					33.03	1988	23.42	10	13					

**Tabella 2.** Parametri determinati dal modello segmentato per ogni rotella e per ogni individuo.  $Dh_0$ : diametro idraulico al *plateau*;  $x_0$ : numero di anni necessario per giungere al *plateau*.

Tutte le regressioni riportate in figura 7 risultano estremamente significative ( $p < 0.0001$ ), si osserva che all'aumento del diametro idraulico cresce il numero di anni necessari per raggiungere tale soglia (figura 7a): la relazione tra le due variabili è ben interpolata da una funzione potenza perciò si è preferito linearizzare i dati.

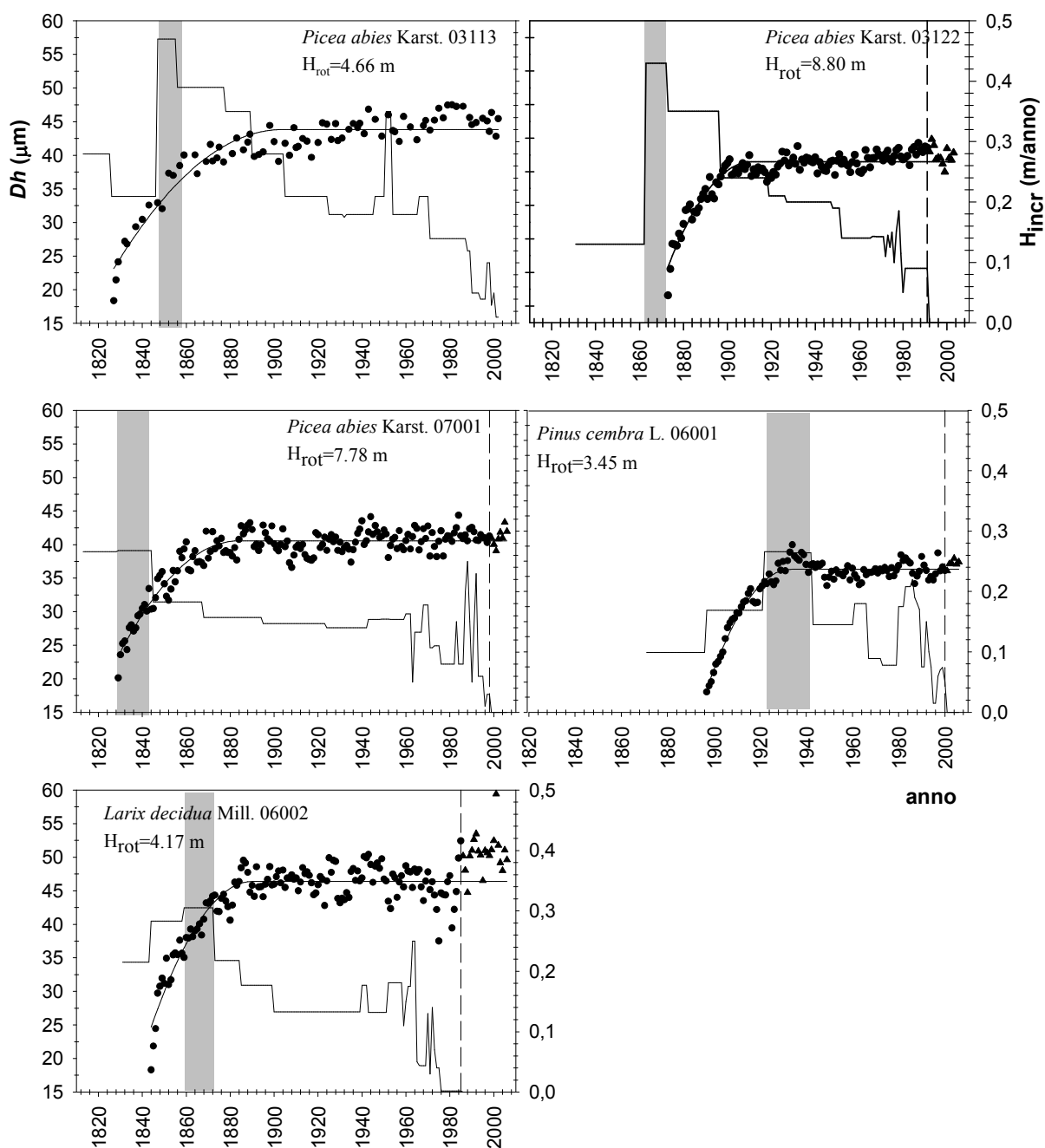
I coefficienti angolari delle rette sono pari a 2.54 per il larice, 7.10 per il pino cembro e 3.27 per l'abete rosso: l'analisi ANCOVA conferma la differenza tra le rette ( $F=14.15$ ;  $p < 0.0001$ ) ma la pendenza del larice e della picea è confrontabile ( $F=1.75$ ,  $p=0.19$ ).



**Figura 7.** a) Numero di anni ( $x_0$ ) impiegati per raggiungere un determinato valore di diametro idraulico all'asintoto ( $Dh_0$ ); b) Numero di anni impiegati per raggiungere il *plateau* in funzione della distanza dalla cima ( $L$ ); c) variazione longitudinale della dimensione del diametro idraulico al *plateau* ( $Dh_0$ ).

Nelle serie poste ad elevate altezze del fusto  $Dh_0$  viene raggiunto in un numero di anni inferiore (figura 7b): tutti i soggetti analizzati presentano coefficienti angolari simili (cembro: 5.18; larice: 4.19; picea: 7.43), in particolare il pino cembro ed il larice ( $F=0.96$ ,  $p=0.33$ ) ma la diversità dell'abete rosso rende l'analisi ANCOVA significativa ( $F=3.94$ ;  $p=0.024$ ).

Una particolarità di questi dati è che la nuvola di punti viene ben interpolata da una funzione lineare, senza la necessità di una trasformazione logaritmica.



**Figura 8.** Relazione tra la distribuzione dei  $D_h$  nella rotella di base ed il valore annuo di accrescimento longitudinale ( $H_{incr}$ ). L'area in grigio evidenzia il periodo di massima crescita in altezza, la linea nera il modello segmentato interpolante la nuvola di punti e la linea tratteggiata l'anno di morte del cimale.

L'ultima relazione analizzata (figura 7c), ancora una volta descritta da una funzione potenza, descrive il valore del diametro idraulico al plateau a diverse altezze del fusto. è chiaro che il  $D_{h0}$



aumenta a man mano che ci si allontana dalla cima della pianta con esponente di 0.18 per la picea, 0.20 per il larice e 0.09 per il pino cembro.

Il test del parallelismo delle pendenze suggerisce che, complessivamente, i coefficienti angolari delle rette non possono essere considerati simili ( $F=21.34$ ,  $p<0.0001$ ) ma questo è dovuto proprio al pino cembro in quanto larice ed abete rosso risultano perfettamente comparabili ( $F=3.82$ ,  $p=0.052$ ).

La relazione intercorrente tra l'accrescimento longitudinale annuo ( $H_{incr}$ ) e la comparsa del *plateau* radiale (scegliendo la rotella il più possibile prossima al suolo) è riportata in figura 8.

Si osserva che le massime potenzialità di crescita in altezza non sono mai estrinsecate in seguito al raggiungimento del  $Dh_0$ . Solo nel pino cembro inizio del *plateau* e massimo  $H_{incr}$  coincidono.

Le caratteristiche delle serie radiali esaminate vengono riportate in tabella 3.

specie	H	rotella (m)	H%	$x_0$ (anni)	$Dh_0$ ( $\mu m$ )
P.cembra	20.69	3.45	16.67	37.26	33.67
L.decidua	28.06	4.17	14.86	46.99	46.37
P.abies 03113	46.56	4.66	10.01	77.71	43.81
P.abies 03122	34.18	8.80	25.75	38.94	38.98
P.abies 07001	34.44	7.78	22.59	55.64	40.55

**Tabella 3.** Caratteristiche delle serie radiali di figura 8.

#### 2.1.4. Discussione

##### *Serie radiali*

La variazione del diametro cellulare, in senso radiale, è coerente con quanto trovato da altri Autori (Spicer e Gartner, 2001; James *et al.*, 2003) nel corso di simili analisi.

La rotella che presenta le massime dimensioni dei lumi cellulari sembra quasi sempre posta in prossimità della base della chioma: in realtà è molto probabile che questo effetto sia dovuto non tanto alla reale maggior dimensione delle cellule in questo punto ma piuttosto alla riduzione del lume cellulare osservabile nelle parti inferiori del fusto. Le sollecitazioni meccaniche inducono infatti cambiamenti nell'anatomia cellulare (Spicer e Gartner, 2001; Jagel e Vissher, 2006), in particolare promuovono la formazione di cellule più piccole con pareti più spesse che non sono particolarmente rappresentative in analisi di questo tipo: si tende pertanto a non considerare le rotelle poste troppo in basso (Anfodillo *et al.*, 2006).

I diametri idraulici registrati nei soggetti esaminati debbono essere considerati massimi per la stazione di riferimento in quanto l'età delle piante risulta piuttosto avanzata e l'incremento in altezza ormai estremamente ridotto.

Il massimo diametro idraulico registrato nell'abete rosso 03122 (42  $\mu\text{m}$ ) appare in linea con quanto riportato per gli abeti 07001 (44  $\mu\text{m}$ ) e 03113 (47  $\mu\text{m}$ ).

In letteratura dei valori di confronto si ottengono da Makinen *et al.* (2003) che su abeti rossi finlandesi di 25-28 m di altezza hanno registrato *Dh* massimi di 20-22  $\mu\text{m}$  e da Lundgren (2004) che in Svezia registrano lumi di 32-35  $\mu\text{m}$ .

Considerando specie diverse ma appartenenti allo stesso genere la capacità di distensione di *Picea abies* sembrerebbe confrontabile a quella di *Picea sitchensis* (35-45  $\mu\text{m}$ ) e superiore a *Picea rubens* e *Picea mariana* (25-30  $\mu\text{m}$ ) (Jagel e Visscher, 2006)

In *Picea brachytylas* il *Dh* si colloca su valori molto simili a quelli ivi registrati (Fan *et al.*, 2008).

Mayr *et al.* (2006) hanno verificato in rami di diverse specie di conifere valori di *Dh* comparabili con i valori minimi riportati in questo studio: *Picea abies* e *Pinus cembra* presentavano *Dh* di 12-13  $\mu\text{m}$  mentre *Larix decidua* valori maggiori (15-16  $\mu\text{m}$ ).

In questo caso però il larice è la specie che detiene sia i massimi (58  $\mu\text{m}$ ) che i minimi (11  $\mu\text{m}$ ) valori di diametro idraulico.

Il diametro idraulico, pur essendo un parametro piuttosto stabile (Sperry *et al.*, 1994) può essere influenzato da variazioni nell'anatomia cellulare, specialmente se queste si verificano nel legno primaticcio, e dal criterio adottato per la raccolta dei dati (Garcia-Gonzales e Fonti, 2008), perciò i lavori presenti in letteratura possono risultare non completamente comparabili.

Forti deviazioni della struttura cellulare possono derivare da anomale concentrazioni di fitormoni influenti sull'espressione genica: in particolare, per le conifere, l'auxina e le citochinine (Savidge, 1996). È noto che l'auxina promuove la formazione di cellule di diametro minore (Kalev e Aloni, 1998) e potrebbero esistere, nell'anello, dei canali preferenziali per questo ormone (Sachs, 1991).

Nell'anno del disseccamento del cimale si assiste alla comparsa di cellule rotondeggianti che possono essere riferite all'aumento della concentrazione di etilene, tipica dei tessuti senescenti (Kalev e Aloni, 1999) e che genera disfunzioni nella membrana plasmatica (Kacperska, 2004).

Quando si discute di *Dh* massimo bisogna tenere in considerazione che esso deriva da una media ponderata ed il suo valore, pur se stabile, viene determinato dalle foto raccolte su campioni di piccolissima dimensione se paragonati alla circonferenza totale di una pianta. Ipotizzando un soggetto di 35 cm di diametro, con una circonferenza di 109 cm, si potranno

sottoporre ad analisi microscopica al massimo 2 campioni legnosi larghi 0.5 cm (per non rendere troppo gravosa l'operazione) controllando così meno dell'1% della superficie totale. Questo significa che nelle parti inferiori del fusto, dove la variabilità intra-anulare è piuttosto elevata si avrà anche un minor campionamento rispetto alle parti superiori. Gli effetti delle variabili climatiche, tra l'altro, non sono uniformemente distribuiti attorno al fusto, in particolare quelli dovuti alle basse temperature. Wimmer e Grabner (2000) ritengono che le distorsioni nell'anatomia cellulare dovute al gelo affliggano maggiormente le cellule del legno tardivo piuttosto che quelle del legno primaticcio ma Schweingruber (1996) rileva in *Pinus cembra* e *Picea abies* dei danni da gelo del tutto comparabili con quelli riportati in fig. 3. La diversa esposizione del fusto può quindi celare una diversità a livello anatomico, come osservato in questo studio. Nelle zone in ombra (solitamente quelle esposte a settentrione) il diametro cellulare tende ad essere minore (Doley *et al.*, 1979) nonostante Makinen *et al.* (2003), in diversi soggetti di abete rosso, non abbiano rilevato differenze significative tra l'ampiezza delle cellule in varie esposizioni del fusto. Diversità nella dimensione del lume potrebbero essere ricondotte alle variazioni termiche dato che la temperatura rappresenta una variabile chiave per la xilogenesi (Rossi e Deslauriers, 2007). Diminuzioni della temperatura xilematica sono state registrate nella zona in ombra di conifere di ambiente subalpino (Mayr *et al.*, 2003) mentre la parte del fusto esposta al sole risulta maggiormente sottoposta ai deleteri cicli di gelo-disgelo comuni alle alte quote in periodo invernale

### *Modello segmentato*

Il modello segmentato proposto in questo lavoro si dimostra particolarmente adatto a descrivere la variazione della dimensione cellulare in senso radiale, anche se un miglioramento potrebbe essere ottenuto dalla combinazione di una funzione potenza (per il tratto iniziale) e di una retta (per la fase di *plateau*).

L'utilizzo di modelli segmentati su *dataset* cellulari è piuttosto raro in letteratura (Fan *et al.*, 2008) essendo più adatto a descrivere altre caratteristiche dei popolamenti (Cao e Dean, 2008).

Tutte le serie analizzate (specialmente quelle delle parti inferiori del fusto) mostrano una interruzione nell'incremento di dimensioni del *Dh* attestandosi su di un asintoto superiore, come verificato da altri Autori (Spicer e Gartner, 2001; Searson *et al.*, 2004; Cato *et al.*, 2006).

L'inizio del *plateau* viene registrato, per l'abete rosso, ad una età di 20-30 anni in diversi luoghi (Lundgren, 2004; Makinen *et al.*, 2007) ed il valore del  $Dh_0$  viene considerato pari a 30  $\mu\text{m}$  per soggetti di 24 m di altezza (Makinen *et al.*, 2007).

Nel caso esaminato è necessario un numero di anni decisamente maggiore per ottenere il *plateau* (almeno 40), anche se i valori di  $Dh_0$  sono leggermente superiori.

In altre specie, quali *Pseudotsuga menziesii*, l'asintoto viene raggiunto dopo appena 10 anni (Spicer e Gartner, 2001).

Un periodo di crescita intensa di 20-30 anni è riportato anche per Fagacee cinesi (Fan *et al.*, 2008) ma questi sono valori difficilmente confrontabili con i risultati qui proposti.

Molto più interessante risulta il fatto che il valore del  $Dh_0$  non si mantiene costante a varie altezze del fusto: ci si potrebbe infatti attendere una soglia massima identica per ogni livello considerato il fatto che le caratteristiche genetiche della pianta restano le medesime.

La riduzione diametrica deve quindi essere conseguenza di gradienti interni all'organismo ed in particolare di quello idrico: da lungo tempo è noto che le parti superiori del fusto sono soggette a maggior *stress* idrico (Domec e Gartner, 2002; Koch *et al.*, 2004) il quale può condurre al disseccamento delle parti distali (Danby e Hik, 2007).

I tempi necessari per arrivare alla stabilizzazione del  $Dh$  sono inferiori nel tratto terminale del fusto perchè il  $Dh_0$  è minore: le funzioni potenza interpolate solo nel primo tratto possiedono infatti esponenti piuttosto simili. Spicer e Gartner (2001) rilevano invece una netta differenza nella potenza interpolata nel primo tratto di curva radiale posta ad un livello superiore rispetto a quella a petto d'uomo: quest'ultima presenta un esponente minore.

La dimensione del diametro idraulico alle varie altezze risulta di estrema importanza per garantire un buon funzionamento del sistema sia per permettere la crescita dell'organismo.

Nelle conifere è stato dimostrato (Pittermann e Sperry, 2003) che la dimensione delle cellule rappresenta una caratteristica chiave per prevenire gli embolismi. Grandi diametri, infatti, pur aumentando la conduttanza rendono le piante più soggette a cavitazione e le dimensioni del lume cellulare risultano positivamente correlate al potenziale idrico che porta al 50% della perdita di conduttività (Mayr *et al.*, 2006). Dato che il pino cembro sembra avere delle cellule di diametro mediamente minore di picea e larice si deve supporre che questo faccia parte degli adattamenti specifici messi in atto per sopravvivere a quote elevate. La superiorità del pino cembro nella capacità di contrastare gli embolismi, rispetto all'abete rosso, è stata già verificata da Mayr *et al.* (2003) nelle Alpi austriache.

Il larice, d'altro canto, pur eleggendo gli stessi ambienti come sito di crescita adotta una strategia diversa per evitare i cicli gelo-disgelo essendo una conifera decidua (Mayr *et al.*, 2006): il diametro medio delle cellule può quindi risultare maggiore.

Il massimo incremento annuo di altezza viene estrinsecato prima del raggiungimento del *plateau*. Questo suggerisce l'idea che le fasi di vita giovanile e matura della pianta possano in qualche modo essere ricondotte alle variazioni nella struttura idraulica dell'organismo.

In selvicoltura il momento di transizione di un popolamento coetaneo tra la fase di palina e quella di perticaia viene identificato quando si assiste al culmine della curva dell'incremento di altezza (Cappelli, 1991). Alle nostre latitudini, in popolamenti di conifere, questo si verifica tra i 30 ed i 60 anni (Susmel, 1980), valori confrontabili con quanto riportato in questo studio; le altezze raggiunte al momento  $x_0$  erano tutte comprese tra il 52 ed il 75% dell'altezza raggiunta al momento del disseccamento del cimale.

Nella fase di *plateau* la pianta si trova nell'impossibilità fisica di allargare ulteriormente i condotti che trasportano l'acqua e questo potrebbe influire pesantemente sulla capacità di mantenere un adeguato turgore cellulare nelle parti superiori del fusto ed in particolare di compensare la resistenza idraulica al percorso, come proposto da West *et al.* (1999a).

In tali condizioni la pianta non sarebbe più in grado di garantire uno sviluppo ottimale con conseguente riduzione della crescita longitudinale (Anfodillo *et al.*, 2006). Si potrebbe perciò ipotizzare che dall'analisi delle serie radiali dei *Dh* si possano ottenere importanti (e piuttosto affidabili) informazioni su alcune caratteristiche degli individui, quali la transizione tra diverse fasi di vita, estendibili anche ai popolamenti.

### **2.1.5. Conclusioni**

I risultati di questo studio dimostrano che l'architettura idraulica delle piante è piuttosto stabile e ben definita nonostante la xilogenesi sia diversamente influenzata nelle varie esposizioni del fusto e la variabilità annuale risulti piuttosto intensa.

Le serie radiali di diametro idraulico risultano interpolabili in maniera soddisfacente da una funzione potenza solo nei primi decenni dopodichè si ottiene una decisa sovrastima. Un modello di tipo segmentato appare quindi più consono e fornisce informazioni aggiuntive rispetto alla prima funzione.

In particolare si possono ottenere il numero di anni necessari a raggiungere il *plateau* radiale ed il valore medio del lume cellulare al *plateau*: parametri, questi, in grado di fornire importanti informazioni circa il soggetto analizzato e le caratteristiche del sito di crescita.

La crescita della pianta risulta talmente collegata alla struttura del proprio sistema di trasporto che è anche possibile ipotizzare che le fasi di sviluppo normalmente utilizzate in selvicoltura per distinguere nella crescita i popolamenti coetanei possano essere intuite anche dall'osservazione delle serie radiali. Una simile proposta abbisogna ovviamente di indagini più approfondite e potrebbe portare ad interessanti risvolti pratici.

## CAPITOLO 3. RELAZIONI CLIMA-ACCRESIMENTO (DETERMINANTI AMBIENTALI)



*“Gli alberi ti insegnano a non opporsi alla vita, ma ad assecondarla”.*

(Mauro Corona, scrittore friulano, 1950-oggi)





### 3.1. QUAL'E' LA PARTE PIU' SENSIBILE AL CLIMA LUNGO IL FUSTO?

#### **Riassunto**

Uno dei capitoli più importanti della dendrocronologia si occupa della dipendenza tra i fattori climatici e la crescita anulare. La maggior parte delle ricerche in corso sulle relazioni clima-accrescimento sono basate su carote legnose prelevate a petto d'uomo tuttavia questa altezza è stata scelta per motivi di praticità e uniformità di prelievo mentre il punto con più alta sensibilità potrebbe trovarsi in altre parti del fusto.

L'influenza dei fattori climatici a diverse altezze del fusto è stata indagata in soggetti appartenenti a tre specie di conifere d'ambiente subalpino (*Picea abies* (L.) Karst., *Pinus cembra* L., *Larix decidua* Miller) campionati in Val di Fiemme (Trentino, Alpi Nord-Orientali).

Ad altezze diverse, in ogni fusto, sono state prelevate un numero variabile di rotelle in cui sono state misurate le ampiezze anulari in raggi orientati secondo i punti cardinali; le serie sono poi state mediate e detrendizzate mediante protocolli standard.

Le correlazioni con le variabili climatiche sono state eseguite sulle serie standardizzate.

Il periodo più influente sulla crescita è risultato quello estivo (maggio e agosto) ma si sono rilevate numerose altre risposte significative, legate in particolare alle condizioni ambientali della stagione vegetativa precedente.

I risultati hanno dimostrato l'esistenza di una elevata variabilità della risposta climatica a diverse altezze del fusto: la più alta sensibilità potrebbe però essere collocata tra il 20 e il 60% dell'altezza totale, nel terzo della chioma più vicino a terra.

Campionare ad una altezza di 1.30 m quindi, pur essendo molto pratico, non permette di ottenere carote particolarmente rappresentative dell'influenza del clima sull'albero.

Approfondimenti di questo argomento potrebbero favorire una miglior comprensione del problema ed in futuro facilitare l'analisi dei processi fisiologici delle piante permettendo di pianificare dei campionamenti specifici per studi di dettaglio.

*Parole chiave:* dendroecologia, relazioni clima-accrescimento, massimo segnale climatico.

#### **3.1.1. Introduzione**

La dendroecologia può vantare una storia scientifica piuttosto lunga (Schweingruber, 1996) nel corso della quale sono stati prodotti una enorme quantità di studi, moltiplicatisi in maniera

esponenziale negli ultimi decenni (Carrer e Urbinati, 2006). Questa proliferazione deriva sia da una migliorata abilità nelle applicazioni multidisciplinari (con conseguente maggior richiesta di lavoro) sia dall'acquisizione di nuove metodologie statistiche, più potenti e veloci (Boura e De Franceschi, 2008).

Gli attuali programmi matematico-statistici hanno contribuito significativamente alla consacrazione delle relazioni clima-accrescimento quali colonne portanti delle ricerche dendroecologiche e queste procedure matematiche risultano universalmente accettate e diffuse tra i cultori della materia (Mann *et al.*, 2002). Le relazioni clima-accrescimento si fondano infatti sull'evidenza che la crescita delle piante è influenzata da fattori esogeni, sia ambientali che biotici, che vanno a limitare i tassi dei normali processi fisiologici (Neuwirth *et al.*, 2004; Girardin e Tardif, 2005).

La particolarità delle specie tipiche di climi con stagionalità marcate è quella di produrre delle cerchie legnose di spessore variabile riflettenti le diverse strategie di allocazione adottate dall'individuo in seguito agli avvenimenti climatici e biotici del periodo considerato.

Questo comportamento permette di definire un rapporto causa-effetto tra le serie temporali di variabili climatiche e le cronologie di ampiezze anulari, già intuito da Leonardo da Vinci nel XVI secolo (Schweingruber, 1996), riconoscibile non solo in un singolo individuo ma a livello di area geografica più vasta (Carrer e Urbinati, 2006).

Le relazioni clima-accrescimento, nonostante i perfezionamenti matematici e statistici, vengono eseguite sulla base di serie anulari misurate in carotine legnose campionate con un metodo simile, se non identico, a quello utilizzato nelle primissime ricerche.

Lo strumento più utilizzato nei campionamenti dendrocronologici è infatti il succhiello di Pressler (La Marca, 1999; Grissino-Mayer, 2003; Boura e De Franceschi, 2008) universalmente adottato per le sue caratteristiche di maneggevolezza e facilità d'uso, che consente inoltre di produrre un elevato numero di carote, coprendo aree molto estese in un tempo relativamente rapido. Le migliori prestazioni sono ovviamente ottenute quando il succhiello viene conficcato nel fusto ad una altezza corrispondente al petto d'uomo (1.30 m) questo perchè, in tale posizione, il lavoratore può imprimere una buona forza all'attrezzo e godere di una sufficiente stabilità.

Per queste ragioni il campionamento a petto d'uomo è il metodo più diffuso nel mondo per raccogliere campioni da alberi vivi ma allo stesso tempo rappresenta una altezza convenzionale, scelta arbitrariamente (Sumida *et al.*, 1997), che potrebbe non rappresentare adeguatamente l'ampiezza anulare in altre parti del fusto (Bevilacqua *et al.*, 2005).

A differenti altezze dal suolo infatti si potrebbero riscontrare diversi gradi di sensibilità ai fattori ambientali (Fritts *et al.*, 1965; Schweingruber, 1996) ed un campionamento limitato alle parti più basse del fusto potrebbe condurre alla perdita di numerose informazioni (Grabner e Wimmer, 2006) rivelandosi non adeguato in studi di dettaglio o, nel caso peggiore, potrebbe portare ad errate interpretazioni dei risultati nelle analisi clima-accrescimento.

Questo perché l'allocazione dei fotosintati, e quindi lo spessore dell'anello, viene influenzata anche dalla vicinanza della parte campionata a zone metabolicamente attive quali la gemma apicale, indice indiretto della concentrazione di auxina (Fahn e Zamski, 1970 in Wimmer e Grabner, 2000), o la base della chioma viva (Weiner, 1984; Pont, 2004), nonché dalle condizioni di contorno come la competizione con gli alberi vicini (Misson *et al.*, 2003).

Alla luce di queste considerazioni sorgono spontanee alcune domande: lungo il fusto esiste un diverso grado di sensibilità al clima? Se sì è possibile individuare un modello longitudinale di risposta, comune a più individui? La fisiologia della crescita, nella pianta, potrebbe essere influenzata dalla diversa sensibilità a varie altezze dal suolo?

Questi quesiti non sono nuovi alla ricerca e le prime indagini sull'argomento furono svolte circa 40 anni fa (Fritts *et al.*, 1965) quando la dendroecologia era agli albori.

In seguito ad un breve periodo di entusiasmo scientifico questo tipo di studi perse la sua attrattiva ed è oggi piuttosto inusuale nel panorama bibliografico.

I risultati ottenuti da Fritts (1966) confermano la validità di un prelievo di materiale eseguito nelle sezioni basali dei fusti, le cronologie ottenute sarebbero infatti buoni estimatori delle variazioni passate di umidità e temperatura, variabili di fondamentale importanza nella regolazione dei processi di crescita delle piante.

I diversi gradi di sensibilità climatica evidenziabili in senso longitudinale potrebbero rivelarsi interessanti fonti di informazioni per la comprensione dei meccanismi che guidano la produzione di legno nel fusto e quindi della previsione di eventuali squilibri fisiologici a seguito di eventi eccezionali. Si potrebbe inoltre supporre la previsione dei profili del fusto in funzione di un'ottica commerciale.

La presente indagine si propone di valutare la risposta della pianta alle diverse variabili climatiche mediante relazioni clima-accrescimento eseguite in diverse parti del fusto.

Il primo obiettivo risulta quindi quello di determinare i fattori che più influiscono sulla crescita radiale delle specie esaminate, il secondo di verificare la sensibilità climatica in zone delimitate del tronco.

Infine ci si pone l'obiettivo di verificare il grado di rappresentatività del materiale campionato ad 1.30 m di altezza che pur essendo comunemente adottato nelle ricerche potrebbe rivelare risposte poco significative a determinate variabili climatiche.

### **3.1.2. Materiali e metodi**

Si rimanda al Cap. 1.1, in particolare alla Tabella 1, per ottenere una descrizione dettagliata delle piante esaminate, delle caratteristiche della stazione e dei metodi utilizzati per l'analisi.

I dischi legnosi sono stati orientati sul posto, segnando su di ognuno, con *spray* colorato, il raggio orientato a Nord dopodichè si è proceduto all'analisi dendrocronologica.

#### *Dati meteorologici*

Le serie mensili utilizzate per l'analisi, di precipitazione totale e delle anomalie di temperatura, sono derivate dalla griglia ALP-IMP con celle di 1°x1° (longitudine e latitudine) utilizzata per descrivere le caratteristiche climatiche di tutto il territorio alpino (Carrer e Urbinati, 2004; Auer *et al.*, 2007; Carrer *et al.*, 2007) e sono riferite al punto di coordinate 46° 11'.

Le serie pluviometrica è disponibile per il periodo 1800-2003, mentre quella termica è più estesa partendo dall'anno 1793 e terminando nel 2003.

I valori mensili di temperatura massima e minima, nonché quelli di nuvolosità sono stati registrati in stazioni meteorologiche locate in prossimità all'area di studio (Predazzo, Cavalese, Cadino di Fiemme, Paneveggio e Passo Rolle in Valle di Fiemme; Moena, Mazzin e Fontanazzo in Val di Fassa).

A causa del diverso periodo di funzionamento delle stazioni non si disponeva di un intervallo omogeneo di copertura temporale perciò si è ritenuto necessario eseguire una standardizzazione delle singole serie climatiche e mediarle costituendo una cronologia di riferimento per ogni variabile climatica. I valori massimi e minimi di temperatura sono disponibili per il periodo 1928-1998, la serie della nuvolosità copre gli anni compresi tra il 1927 ed il 1997.

Le serie mensili sono state ulteriormente elaborate e mediate per ottenere serie stagionali che hanno permesso di evidenziare in maniera migliore alcuni segnali climatici. In particolare si sono distinti un periodo vegetativo (Maggio-Agosto) e uno non vegetativo (Dicembre-Marzo).

## *Costruzione delle cronologie e relazioni clima-accrescimento*

Le rotelle sono state stagionate all'aria per alcuni mesi e levigate su di una faccia con carta vetrata di diverse gradazioni per permettere una buona visibilità degli anelli di accrescimento.

La misurazione dello spessore anulare è stata effettuata procedendo dalla zona midollare alla corteccia, con una risoluzione al centesimo di millimetro (dendrocronografo CCTRMD modello *Aniol*), solo in pochi casi non è stato possibile ottenere i 4 raggi orientati sui punti cardinali.

Le serie dendrocronologiche sono state archiviate attraverso il programma CATRAS (Aniol, 1987) con il quale si è eseguita anche una prima sincronizzazione manuale tra le serie afferenti alla stessa rotella e tra serie di diverse rotelle. In questo modo si è potuto pervenire ad una prima datazione validata in seguito con l'ausilio del *software* COFECHA (Holmes, 1983) che permette l'identificazione di eventuali errori di sincronizzazione.

Il programma controlla la presenza di errori, anelli falsi o mancanti e calcola i coefficienti di correlazione tra le serie individuali e le serie *master* costruite o disponibili (Nola *et al.*, 2006).

Le cronologie disponibili di zone limitrofe sono state: FIEMMEDI e ZIAMEDIA per l'abete rosso, MANGHMED per il cembro e FIAMENLD, TOVLDMED e SIEBENLD per il larice (Carrer e Urbinati, 2006).

Tale procedura restituisce la datazione finale di ogni singolo anello di accrescimento e rende in grado di collegare il valore di ampiezza anulare con le serie meteorologiche.

Per rimuovere *trend* negativo dell'ampiezza anulare, tipicamente dovuto all'incremento della circonferenza della pianta, è stato necessario standardizzare le serie (Carrer e Urbinati, 2004).

Generalmente questo processo è eseguito interpolando tutte le serie disponibili con una curva esponenziale negativa e subito dopo con una polinomiale cubica (Nola *et al.*, 2006; Oberuber *et al.*, 2008) ma in questo caso è stato ritenuto più appropriata una detrendizzazione con due curve polinomiali utilizzate in sequenza. La prima curva utilizzata presentava passo > 10 anni allo scopo di evidenziare le risposte a lungo termine (Briffa *et al.*, 1998; Carrer e Urbinati, 2006).

Per svolgere questa funzione è stato utilizzato il programma ARSTAN 41 (Cook e Holmes, 1997) che standardizza le serie dividendo ogni ampiezza anulare con il corrispondente valore stimato dalla curva interpolatrice. Le serie anulari sono state considerate detrendizzate quando, a seguito dell'applicazione della seconda polinomiale, l'autocorrelazione risultava minore di 0,1.

La media delle singole serie detrendizzate è stata eseguita con ARSTAN scegliendo una funzione del valore medio stimata con metodo robusto che dovrebbe incrementare il segnale comune e ridurre l'effetto di eventuali *outliers* (Cook *et al.*, 2003).

Le relazioni clima-accrescimento sono state testate applicando il *software* DENDROCLIM2002 (Biondi, 1997; Biondi e Waikul, 2004) che calcola le funzioni di correlazione definitive dalla media delle reiterazioni eseguite con metodo *bootstrap*

I coefficienti di correlazione standardizzati sono stati ottenuti dividendo i coefficienti medi per la relativa deviazione standard (Carrer *et al.*, 2007).

Le serie climatiche (valori mensili) e gli indici degli anelli (cronologie residue calcolate con ARSTAN) sono state correlate fra il giugno dell'anno precedente e l'ottobre dell'anno seguente allo scopo di evidenziare le influenze delle stagioni precedenti sulla crescita anulare attuale (Oberhuber *et al.*, 2006).

Infatti nelle specie che presentano accrescimento monopodiale, quali le conifere, l'attivazione del cambio ed il suo sviluppo sono regolati dall'auxina derivante dalle gemme apicali prodotte alla fine della stagione precedente (Savidge, 2001) perciò la crescita potrebbe essere più influenzata dal clima dell'anno passato che di quello in corso.

Per rendere confrontabili i risultati delle relazioni clima-accrescimento eseguite all'interno dello stesso disco legnoso nonché dello stesso individuo e tra individui diversi si è preferito limitare la finestra temporale di analisi agli anni 1945-1984 (40 anni), comune ad ogni scala di indagine.

### **3.1.3. Risultati**

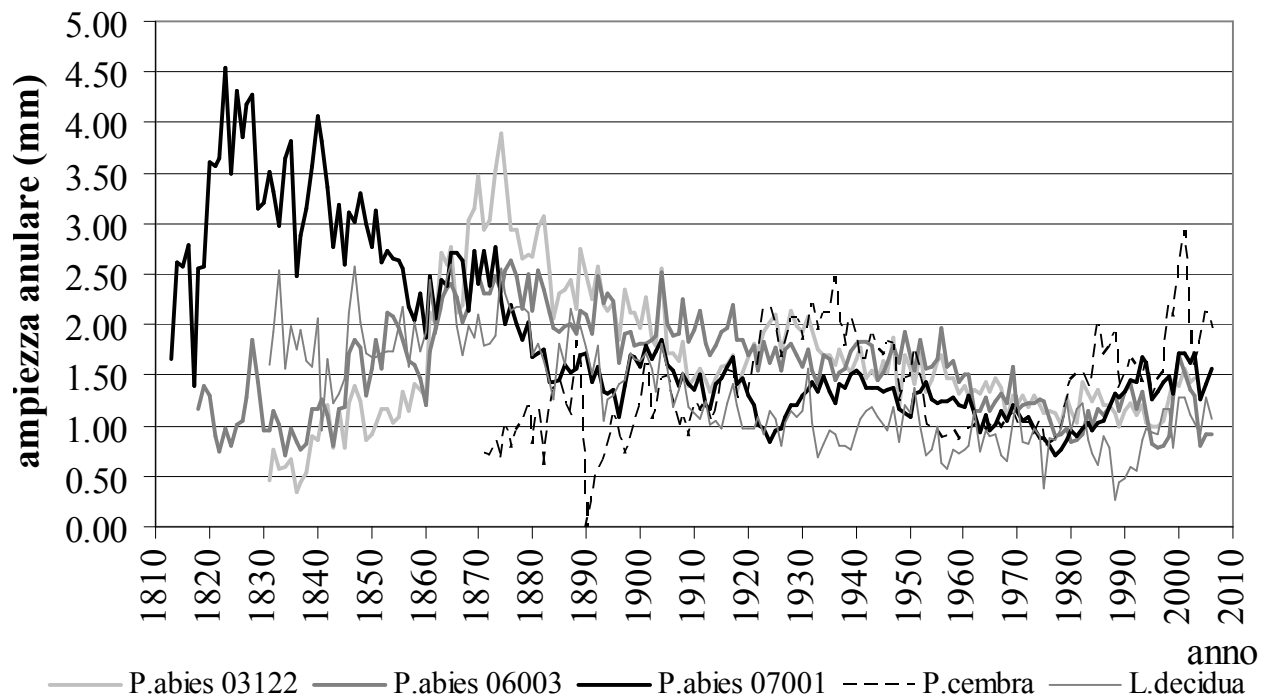
#### *Anni caratteristici*

Nonostante le differenze di specie le serie dendrologiche individuali sono ben sincronizzate tra loro e permettono di riconoscere alcuni anni caratteristici (figura 1).

Anni con accrescimenti ridotti risultano essere il 1837, 1860, 1933, il periodo 1975-76, 1985, 1989, il periodo 1995-1996. Anni con notevoli incrementi dell'ampiezza anulare sono il 1847, 1870, 1874, 1890, 1904, 1908, 1917, 1955, 1969, 1994, 2001.

#### *Relazioni clima-accrescimento e sensibilità a varie altezze del fusto*

I grafici riportati in figura 2 rappresentano i risultati medi delle relazioni clima-accrescimento eseguite tra le serie di ampiezza anulare e quelle delle variabili climatiche per ogni rotella del fusto (appendice IV).



**Figura 1.** Cronologie individuali di ampiezza anulare non detrendizzate.

Alte temperature del mese di maggio, giugno, luglio ed agosto (per il pino cembro) favoriscono la formazione di anelli larghi seppure il segnale non è evidente in tutti i soggetti esaminati.

Estate calde indurranno gli abeti rossi ed il larice a produrre anelli di notevole spessore ma preannunciano la formazione di cerchie piuttosto strette nell'anno successivo. Il fenomeno è ancora più evidente quando si esamina l'effetto delle temperature massime di luglio sulla crescita (appendice IV).

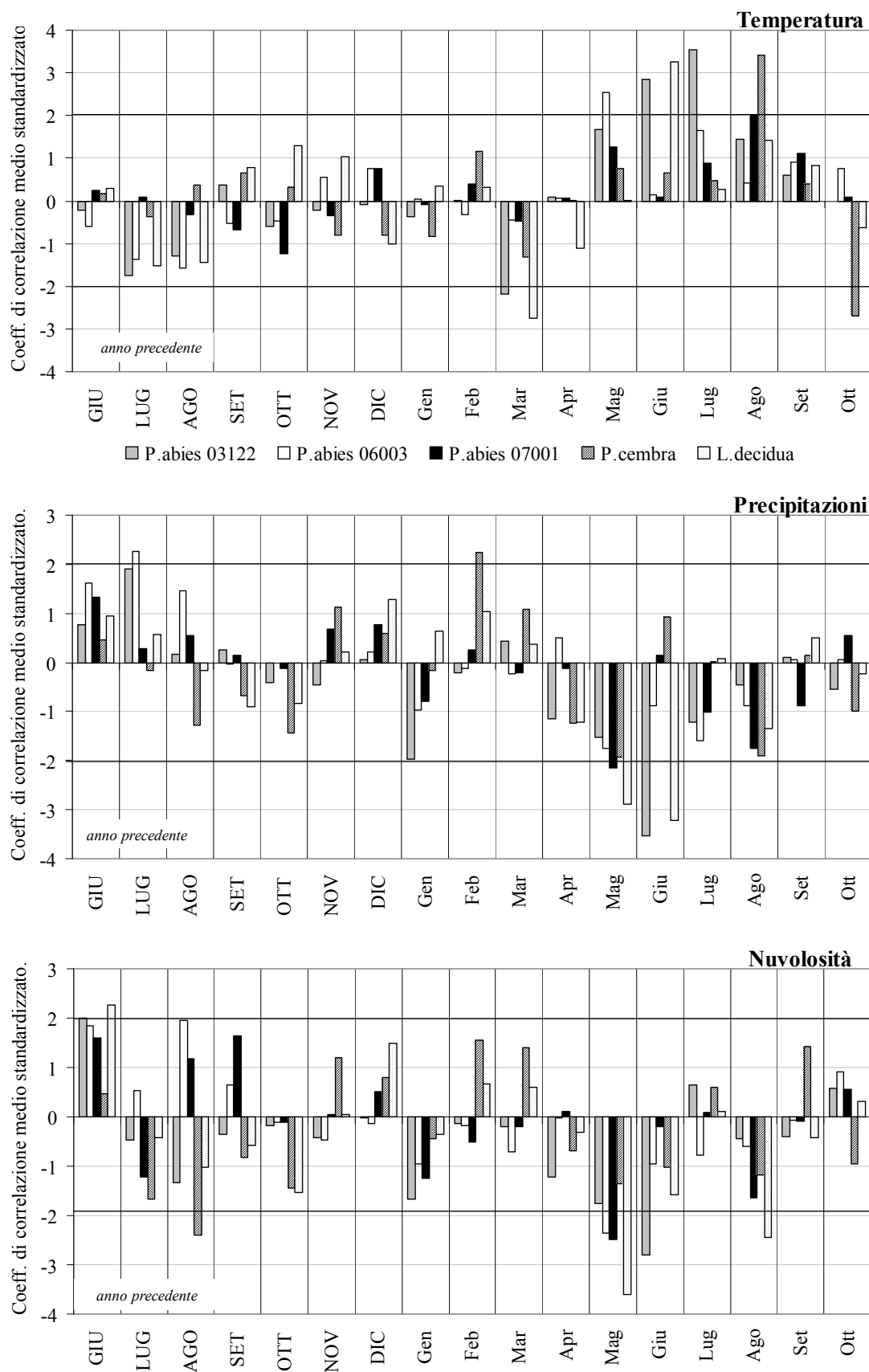
Nel pino cembro non si osserva questo fenomeno, alte temperature estive (luglio e agosto) hanno effetti benefici se coincidono con l'anno di formazione dell'anello e non influenzano la produzione dell'anno seguente. In questa specie e nel larice, invece, è molto chiaro l'effetto negativo delle alte temperature alla fine dell'inverno (marzo) che coincidono con anelli stretti.

Gli effetti di temperature massime e minime risultano piuttosto simili a quelli delle temperature medie di figura 2 e per questo i coefficienti di correlazione sono riportati solo in appendice IV.

Un maggio molto piovoso rappresenta un ostacolo alla crescita radiale in tutte le specie.

Per gli abeti rossi è inoltre importante che il periodo di formazione dell'anello sia relativamente asciutto (giugno e luglio) mentre nel pino cembro e nel larice il segnale negativo è posticipato ad agosto.

La pioggia mostra però un duplice volto infatti, pur rappresentando un fattore negativo nell'anno in corso, produce effetti benefici per la crescita dell'anno seguente.



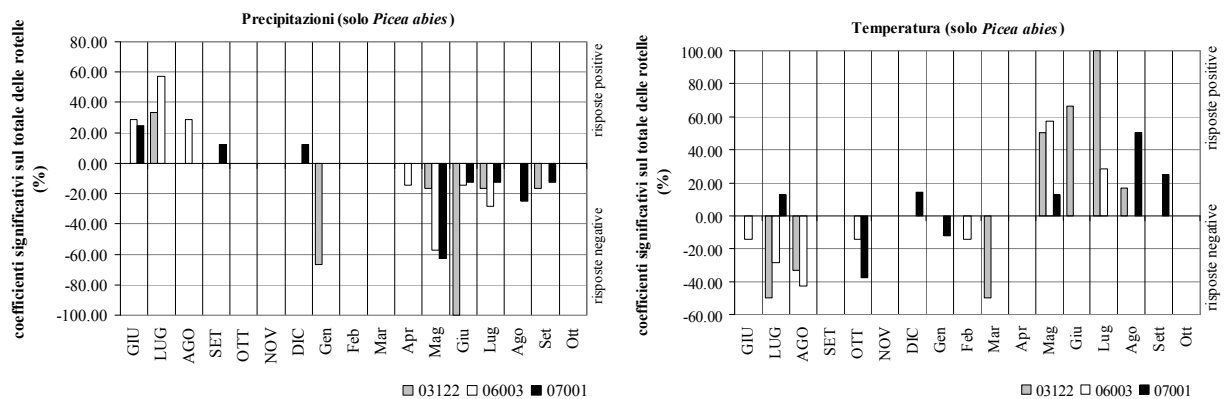
**Figura 2.** Relazioni clima-accrescimento mensili. I coefficienti di correlazione riportati (appendice IV) risultano dalla media dei valori ottenuti a varie altezze del fusto. Con i caratteri maiuscoli si indicano i mesi dell'anno precedente. La soglia di significatività al 95% è pari al valore di coefficiente 2. Il periodo su cui si è basato il calcolo è 1945-1984.



Le precipitazioni invernali non sembrano rilevanti per la maggior parte dei soggetti esaminati ad eccezione del pino cembro che ne viene positivamente influenzato. Il segnale registrato in febbraio è estremamente intenso e riconoscibile a tutte le altezze del fusto (fig.2, appendice IV). Tutti i soggetti analizzati mostrano intense riduzioni di ampiezza dell'anello in concomitanza di un alto numero di giorni nuvolosi nel mese di maggio. Gli abeti rossi sembrano risentire della nuvolosità anche in gennaio mentre il pino cembro ed il larice sono negativamente influenzati in agosto (sia dell'anno corrente che di quello precedente) e in ottobre (dell'anno precedente). Le correlazioni positive tra ampiezza anulare e nuvolosità sono meno chiare e sembrano più legate ai singoli individui. Tuttavia le picee beneficiano della riduzione dell'irradiazione all'inizio ed alla fine della stagione vegetativa precedente, in particolare nel mese di giugno e, in misura minore, in agosto e settembre. Per il pino cembro risulta invece favorevole un elevato numero di giorni coperti in febbraio e marzo.

I risultati ottenuti dall'esame delle principali variabili climatiche dimostrano che maggio rappresenta un mese chiave per la crescita delle piante a queste quote.

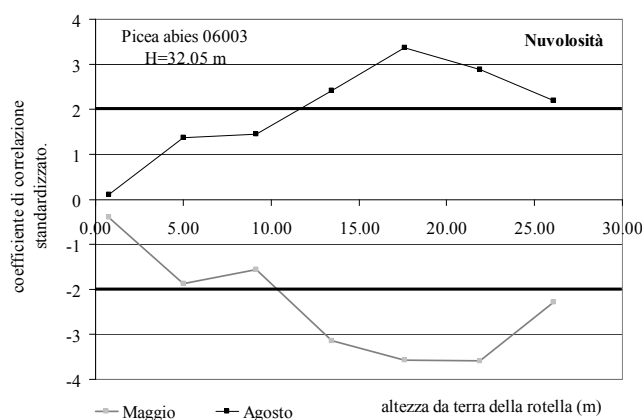
La forza del segnale climatico può essere rilevata osservando il numero di volte, nel fusto, in cui si ottiene un coefficiente di correlazione significativo al 95% in un determinato mese.



**Figura 3.** Relazioni clima-accrecimento nella specie *Picea abies* (L.) Karst. L'intensità del segnale climatico mensile è indicata dal numero di rotelle del fusto che superano la soglia di significatività al 95% (coeff.  $\geq 2$ ) sul totale delle analizzate, per ogni soggetto.

Nel caso della specie *Picea abies* (figura 3) l'individuo 03122 risulta il più sensitivo alle precipitazioni di giugno e alle temperature di luglio: in questi due casi la totalità delle rotelle esaminate lungo il fusto presenta una risposta significativa e quindi il segnale climatico deve ritenersi estremamente forte, al contrario le precipitazioni di luglio sono rappresentate in meno del 20% dei casi (ossia su 11 rotelle solo 2 hanno risposta significativa).

Le zone del fusto che presentano maggior sensibilità al clima si collocano, generalmente, a metà della chioma (figura 4) tuttavia l'andamento non appare particolarmente chiaro se i diversi mesi vengono esaminati singolarmente.



**Figura 4.** Risposta alla variabile climatica “nuvolosità” registrata a varie altezze del fusto per l’abete rosso 06003. Il segnale è relativo ai mesi di maggio e agosto dell’anno corrente, la soglia di significatività al 95%, con metodo *bootstrap*, viene superata con coefficienti di correlazione  $\geq 2$ .

Risulta quindi più conveniente raggruppare i dati climatici in periodi più ampi definiti come “stagione vegetativa” (maggio-agosto) e “stagione non vegetativa” (dicembre-marzo) e ricalcolare le relazioni clima-accrescimento (figura 5).

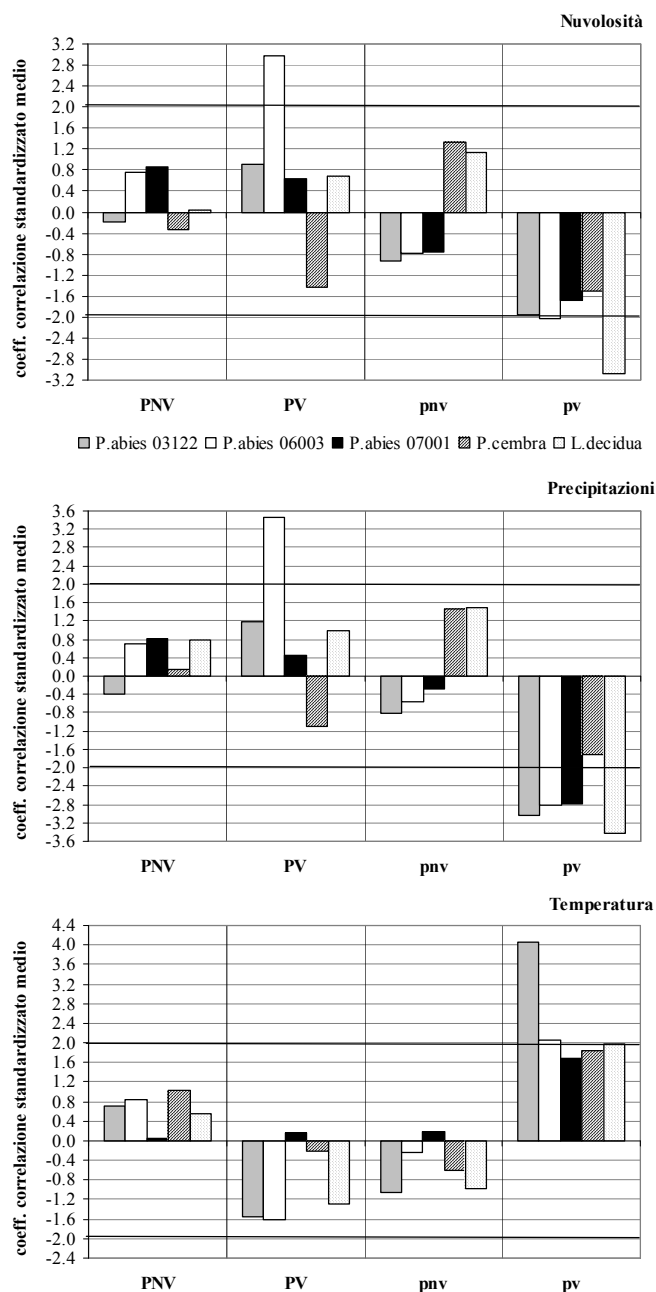
L’interpretabilità delle elaborazioni migliora decisamente, in particolare risulta chiarissimo il ruolo determinante delle variabili climatiche nel periodo di formazione dell’anello che presentano effetto positivo (temperatura) o negativo (precipitazioni e nuvolosità) sulla crescita.

Nel caso del larice si osserva un importante effetto induttivo delle precipitazioni e della nuvolosità sulla crescita radiale dell’anno seguente.

La pioggia, rispetto al cielo coperto, ha ovviamente un impatto maggiore sull’ampiezza anulare ma le due variabili climatiche presentano effetti identici.

Come accennato la localizzazione, lungo il fusto, del punto più sensibile alle variazioni climatiche viene facilitata trascurando l’analisi dei singoli mesi ma concentrandosi su periodi importanti per la crescita, in particolare sul periodo vegetativo.

Da questo tipo di raggruppamento si evince che, nei fusti esaminati, il massimo segnale (cioè il massimo valore del coefficiente di correlazione) viene registrato sopra la soglia dei 2 m da terra, ossia sopra la misura convenzionale di 1.30 m (figura 6a).



**Figura 5.**

Relazioni clima-accrescimento stagionali calcolate per diversi soggetti arborei.

Il valore del coefficiente di correlazione standardizzato risulta dalla media dei coefficienti calcolati per le singole rotelle.

Si indicano con:

PNV: periodo non vegetativo dell'anno precedente;

PV: periodo vegetativo dell'anno precedente;

pnv: periodo non vegetativo dell'anno in corso;

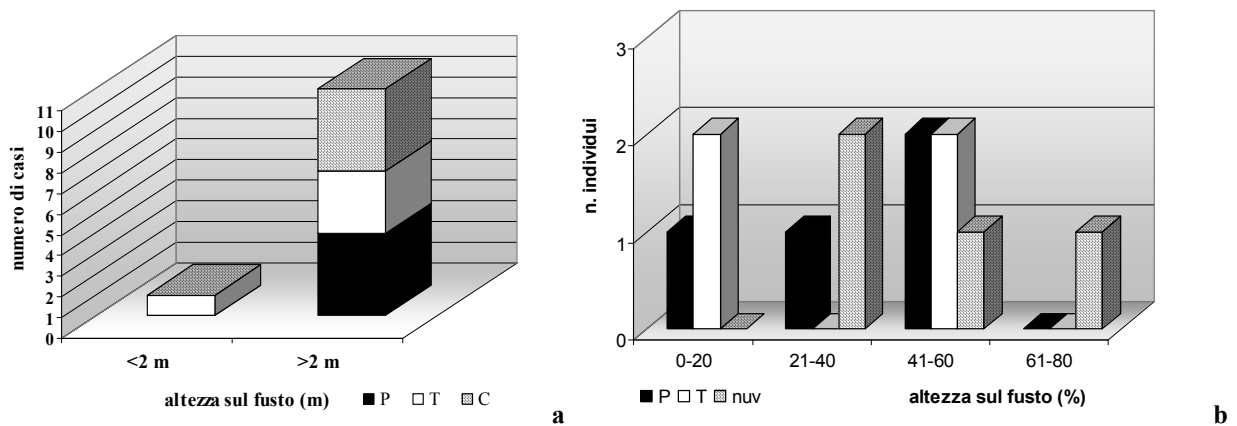
pv: periodo vegetativo dell'anno in corso.

Ove PNV e pnv: Dicembre-Marzo; PV e pv: Maggio-Agosto.

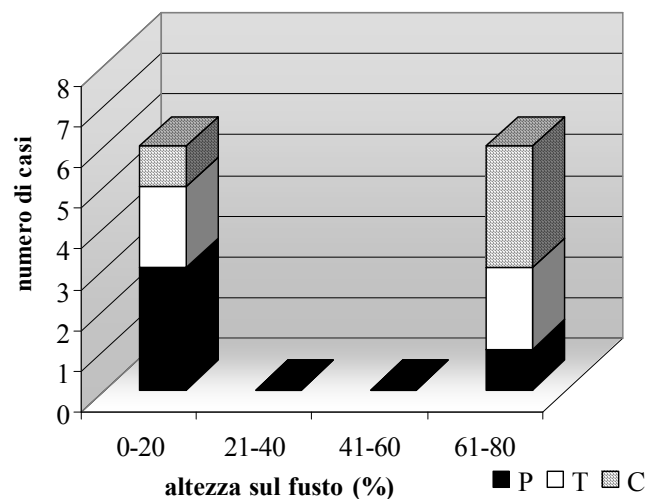
Periodo di riferimento 1945-1984.

Un'analisi più accurata (figura 6b) dimostra che il tratto di fusto compreso tra il 20 ed il 60% dell'altezza totale della pianta è il più sensibile all'ambiente esterno e di conseguenza il segnale minimo viene a collocarsi sotto il 20% e sopra il 60% del fusto (figura 7).

La parte inferiore del tronco sarebbe più sensibile alle precipitazioni mentre la parte superiore alla nuvolosità.



**Figura 6.** Localizzazione del massimo segnale climatico nel fusto dei soggetti analizzati. Per ogni pianta e per ogni variabile climatica (nel periodo vegetativo) si riporta solo il valore massimo, il “numero di casi” si riferisce perciò al numero di piante in cui si registra il segnale climatico massimo sopra la soglia dei 2 m (a) o in fasce di altezza più specifiche (b).



**Figura 7.** Localizzazione nel fusto della risposta meno significativa (nel periodo vegetativo).

Un esempio di variazione longitudinale del valore del coefficiente di correlazione (nel pino cembro) è riportato anche in figura 10.

Sulle rotelle è stata eseguita una ulteriore indagine per verificare se il punto del fusto più sensibile ad un dato fattore climatico presentasse massima risposta anche agli altri (tabella 1).

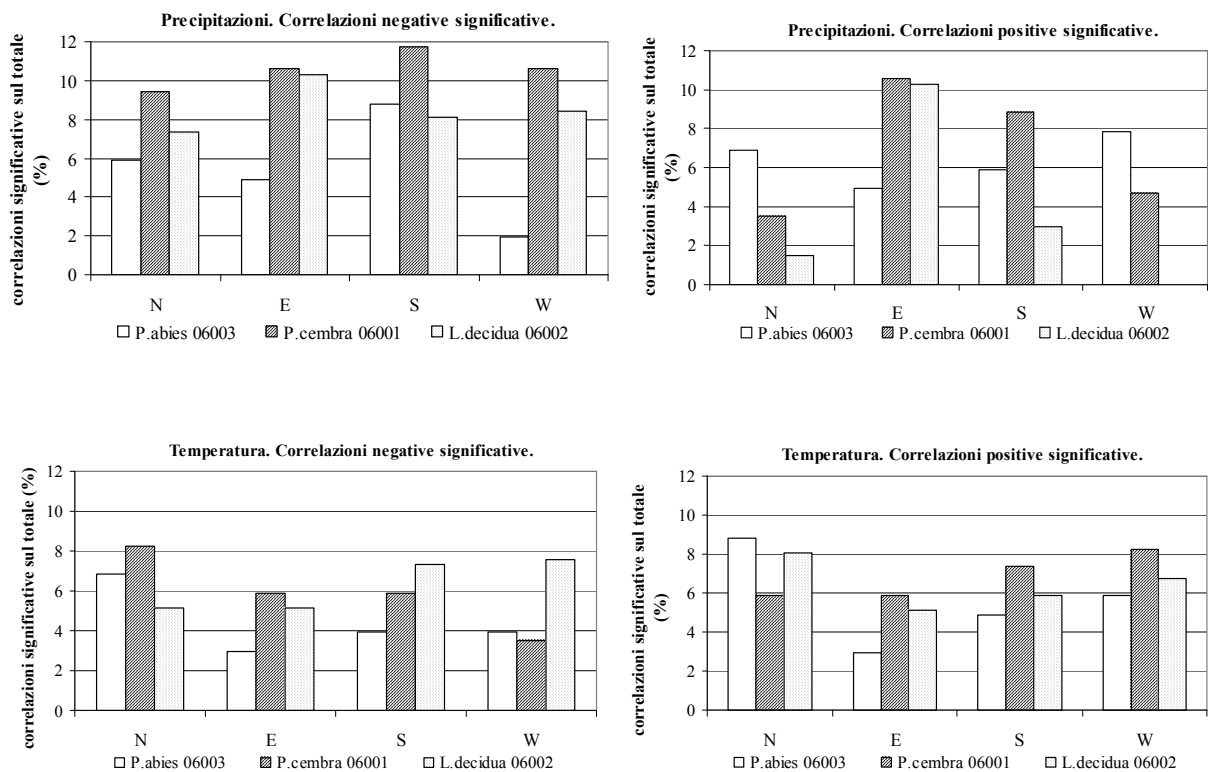
I risultati sono interessanti, anche se parzialmente scontati infatti se nella maggior parte delle piante analizzate i massimi segnali climatici si registrano nella stessa rotella si deve anche puntualizzare che le variabili climatiche sono spesso intercorrelate (un alto numero di giorni coperti sarà facilmente indice di una elevata piovosità e di basse temperature).

Soggetto	P	T	Nuv
P.abies 03122			
P.abies 06003			
P.abies 07001			
P.cembra			
L.decidua			

**Tabella 1.** Ricorrenza del massimo segnale climatico, registrato per ogni variabile, nella stessa rotella del fusto. I campi evidenziati in grigio rappresentano la presenza del massimo coefficiente di correlazione calcolato. P=precipitazione, T=temperatura, Nuv=nuvolosità.

### *Risposte climatiche in differenti esposizioni del fusto*

Per ogni rotella sono state eseguite delle relazioni clima-accrescimento sulle serie anulari orientate in base ai punti cardinali. In questo modo è possibile stabilire se ad una determinata altezza vi sia una diversa risposta ad un agente esterno determinata dall'esposizione del fusto.



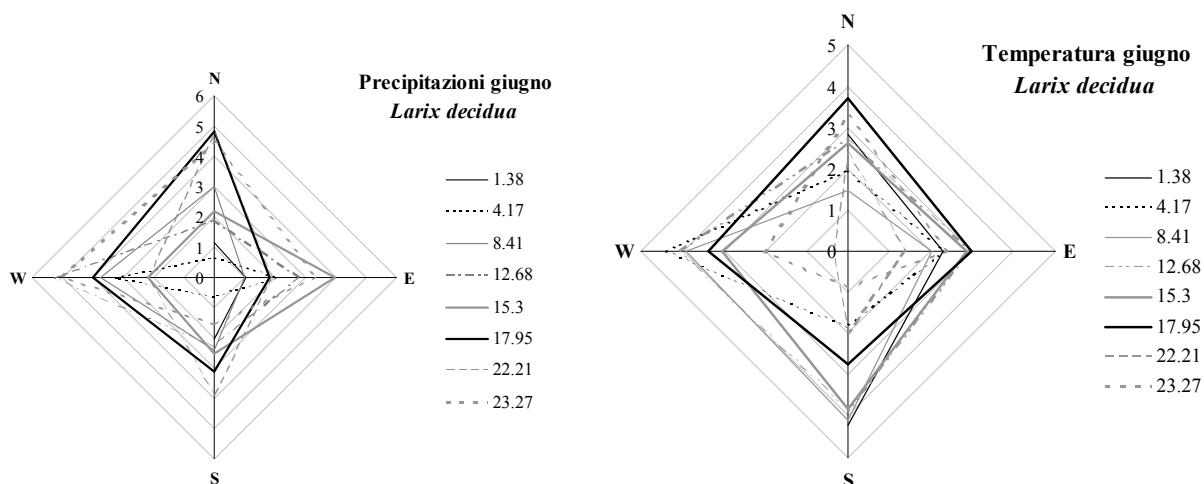
**Figura 8.** Sensibilità alle variazioni climatiche in diverse esposizioni del fusto. Per ogni grafico viene riportato il numero di risposte significative (positive o negative) rilevate nel fusto di una pianta lungo la stessa direzione rapportato al totale dei punti esaminati. Si indicano con N, E, S, W i punti cardinali.

In figura 8 si riportano il numero di correlazioni significative, sul totale, calcolate sulla base di precipitazioni e temperature mensili per i fusti di abete rosso 06003, larice ed pino cembro.

Nei grafici si osserva un certo grado di equilibrio tra le diverse esposizioni, segno di accrescimenti anulari piuttosto regolari e quindi di risposte simili in tutti i raggi. Questo è particolarmente vero per la variabile temperatura mentre le risposte positive e negative alle precipitazioni sembrano più concentrate, nel pino cembro, nel settore E-S mentre nel larice nel lato E.

Nell'abete rosso la direzione di accrescimento a meridione è la più penalizzata da piogge abbondanti mentre ne guadagna quella a ponente.

Considerato che la foresta da cui sono stati raccolti i campioni è esposta a N o N-E ne consegue che il lato S del fusto è in realtà quello orientato a monte (riceve meno luce).



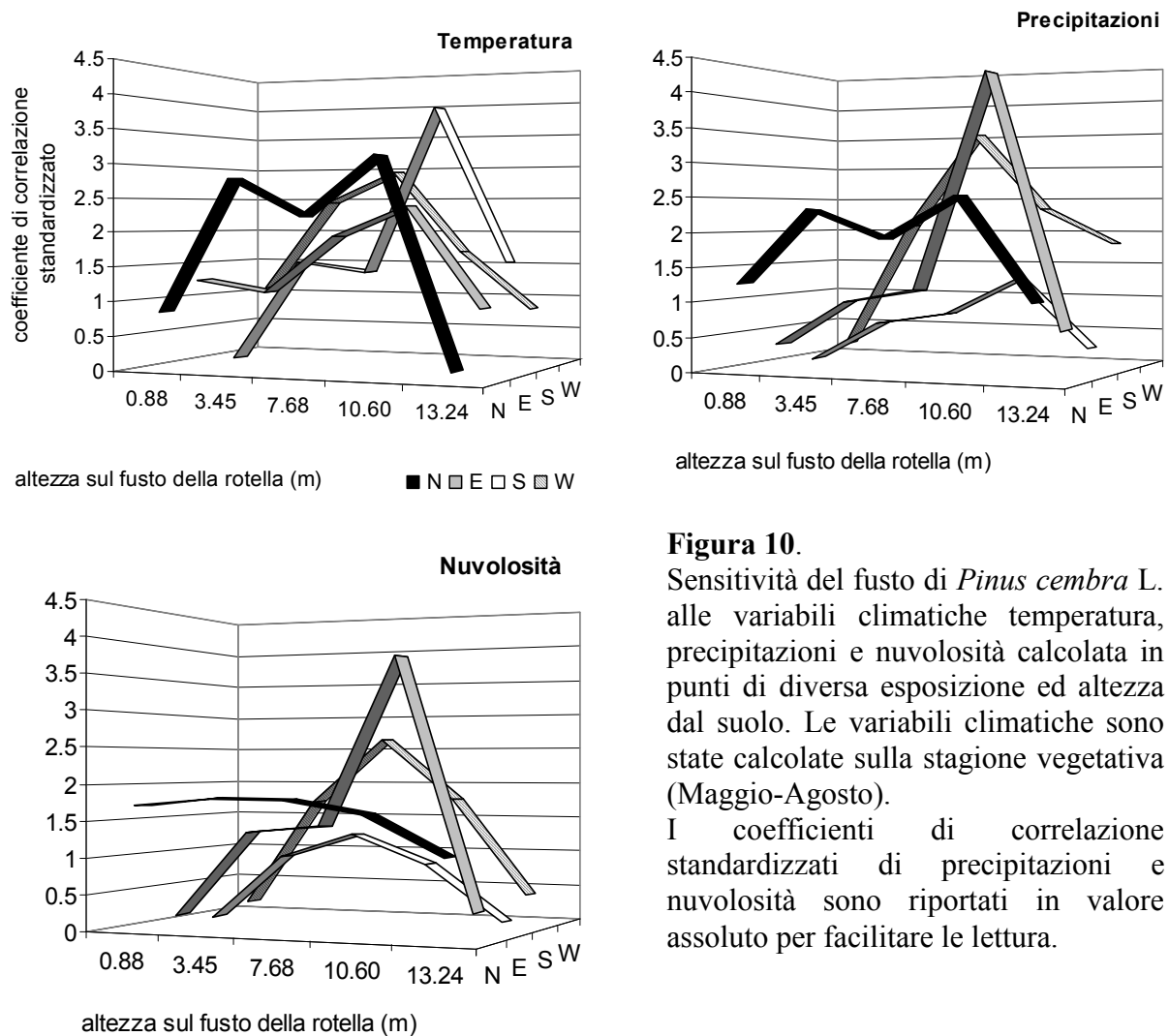
**Figura 9.** Esempio di sensitività al clima nelle varie parti del fusto di *Larix decidua*. I valori del coefficiente standardizzato di correlazione delle precipitazioni devono intendersi negativi.

In figura 9 è possibile osservare le diverse risposte alla temperatura e alle precipitazioni di giugno, nel larice, a diverse altezze dal suolo ed in punti del fusto a diversa esposizione. L'interpretazione risulta complessa ed i segnali significativi sembrano distribuirsi alternativamente tra parti del fusto diametralmente opposte (ad esempio se a 1.38 m da terra il segnale massimo alle precipitazioni è in direzione E nella rotella successiva si registra in esposizione W e in quella ancora seguente ad E).

In mesi veramente influenti sulla crescita (ad es. maggio) tende ad essere conservata una direzione cardinale in cui si osserva la massima risposta ma risulta impossibile stabilire una esposizione più "sensitiva" comune a tutte le piante.

Un ulteriore esempio è riportato in figura 10. In questo caso le relazioni clima-accrescimento sono state eseguite sulla base di dati meteorologici riferiti al periodo vegetativo.

In tutte le direzioni cardinali il massimo segnale viene registrato nella metà superiore del fusto tuttavia è impossibile determinare se esista una esposizione più influenzata dai fattori climatici: i valori dei coefficienti di correlazione risultano tutti piuttosto simili.



**Figura 10.** Sensitività del fusto di *Pinus cembra* L. alle variabili climatiche temperatura, precipitazioni e nuvolosità calcolata in punti di diversa esposizione ed altezza dal suolo. Le variabili climatiche sono state calcolate sulla stagione vegetativa (Maggio-Agosto). I coefficienti di correlazione standardizzati di precipitazioni e nuvolosità sono riportati in valore assoluto per facilitare la lettura.

### 3.1.4. Discussione

#### *Anni caratteristici*

Un anno caratteristico si distingue, in una serie dendrocronologica per un inusuale incremento o riduzione dello spessore dell'anello dovuto ad un evento climatico o biotico ben definito. Lo studio degli anni caratteristici può quindi rivelarsi utile per individuare particolari momenti di *stress* della pianta, che possono protrarsi anche per parecchi anni.

Gli anni caratteristici individuati in questo studio concordano con quelli reperibili in bibliografia.

Neuwirth *et al.* (2004) indagando soggetti di abete rosso in Svizzera e Germania hanno delineato come anni caratteristici di ridotta crescita il 1933 e 1948, mentre anni positivi risulterebbero il 1908, 1955, 1982, 1985, 1994. Gli anni 1933, 1908, 1955 sono stati evidenziati anche nel presente articolo mentre il 1985 al contrario, si dimostra negativo per la crescita.

Negli abeti rossi, ma specialmente nel larice, si nota una drastica riduzione dell'ampiezza anulare negli anni 1975-76. A questo proposito Misson *et al.* (2003) descrivono l'estate del 1976 come una delle più secche del secolo e notano, nelle stazioni più umide, che l'influenza dell'evento si protrae per un intero anno perciò può risultare una maggior riduzione di crescita nel 1977 piuttosto che nell'anno in cui è realmente avvenuta la siccità. In effetti negli abeti rossi esaminati la riduzione dell'ampiezza anulare si evidenzia fino al 1978 mentre il pino cembro ed il larice, in posizione decisamente più aperta, riprendono la crescita già dal 1977.

#### *Relazioni clima-accrescimento*

Gli studi dendroclimatici vengono normalmente eseguiti in ambienti estremi, quali le zone boreali, alpine o semidesertiche, dove un singolo fattore climatico può limitare fortemente la crescita ed il segnale ottenibile dalle elaborazioni dei dati risulta più evidente (Oberhuber *et al.*, 1998).

Alle nostre latitudini la *treeline* rappresenta senz'altro un'area di indagine particolarmente interessante e da favorire quando ci si accosta ad analisi di questo tipo (Kullman, 1997).

In questo studio, nonostante l'altitudine notevole, ci si trova però al limite superiore del bosco (*timberline*) e si dovranno quindi attendere delle risposte climatiche mediamente più basse di quelle ottenibili da individui di quote superiori.

La sensibilità al clima di una pianta è però collegata anche ad altre caratteristiche, in particolar modo all'età: piante vetuste registrano mediamente un maggior numero di segnali climatici e con intensità maggiore (Carrer e Urbinati, 2004; 2006). Si è visto, ad esempio, che in soggetti di larice l'intensità della risposta aumenta fino a raggiungere i 200 anni di età ed in seguito si mantiene piuttosto costante (Carrer e Urbinati, 2006).

Le piante esaminate possono comunque ritenersi idonee ad analisi dendroclimatiche per due motivi fondamentali: il primo è che l'età media è di poco inferiore ai 200 anni, il secondo che i soggetti campionati presentano altezza prossima a quella massima consentita dalla stazione.



In questo ultimo caso è ipotizzabile una particolare condizione idraulica (Ryan e Yoder, 1997) in grado di generare uno stato di *stress* nell'albero che diviene più suscettibile agli agenti climatici e quindi ne acuisce la risposta (Carrer e Urbinati, 2004).

I risultati delle relazioni clima-accrescimento, riportati in figura 2, concordano con quanto presentato in letteratura.

In tutte le specie esaminate viene infatti evidenziata l'importanza della temperatura come fattore fondamentale per il metabolismo (Savage, 2004) e per la crescita (Weiner e Thomas, 2001; King *et al.* 2005), in particolare si ottengono anelli più spessi in concomitanza di temperature superiori alla media nei mesi estivi.

Carrer e Urbinati (2004, 2006) individuano nella temperatura il fattore chiave per lo sviluppo anulare della specie *Larix decidua* Mill. ma ne rilevano l'effetto inverso a seconda che la disponibilità termica sia maggiore nel periodo appena precedente (anelli stretti) o concomitante (anelli larghi) alla stagione vegetativa.

Anche temperature superiori alla media nei mesi di ottobre e novembre dell'anno precedente sono positivamente correlate ad incrementi radiali sostenuti (Carrer e Urbinati, 2006).

Il larice di questo studio risponde esattamente allo stesso modo: alte temperature della stagione estiva in corso e dell'anno precedente favoriscono la formazione di cerchie più spesse mentre una media elevata nel mese di marzo induce la formazione di anelli più stretti.

Il pino cembro si associa al larice e, oltre a beneficiare delle alte temperature estive, subisce l'influenza negativa di un marzo troppo mite.

Numerosi Autori riportano l'importanza, per questa specie, di estati calde, in particolare di elevate temperature nel mese di luglio (Oberhuber, 2004; Carrer *et al.*, 2007). Il mese chiave sarebbe invece anticipato a giugno per piante di *timberline* di età >200 anni (Oberhuber *et al.*, 2008) ma nel presente studio il pino cembro sembra rispondere in maniera netta molto più tardi, ad agosto. Allo stesso modo non vi è congruenza tra i risultati ottenuti e le informazioni disponibili in bibliografia circa le temperature di ottobre che dovrebbero favorire una maggior produzione di legno (Oberhuber *et al.*, 2008) mentre in questo caso la deprimono.

Diverso è il caso del mese di marzo che trova pieno sostegno nel lavoro di Carrer *et al.* (2007).

Si potrebbe infatti pensare che alte temperature primaverili favoriscano lo scioglimento precoce delle nevi e quindi anticipino la crescita del fusto (Carrer *et al.*, 2007); tuttavia va tenuto in considerazione il fatto che la respirazione, in questi frangenti, potrebbe superare la fotosintesi, ancora limitata, favorendo così il consumo di sostanze di riserva ed inducendo la formazione di anelli stretti (Wieser e Bahn, 2004).

Al contrario le alte temperature tardo estive-autunnali dell'anno precedente sono positivamente correlate alla crescita del cembro, forse perché la pianta potrebbe essere in grado di prolungare la fotosintesi e stoccare una maggior quantità di carboidrati prontamente utilizzabili l'anno seguente (Wieser *et al.*, 2005; Carrer *et al.*, 2007).

Il pino cembro ed il larice presentano, nei confronti della temperatura, un comportamento piuttosto simile nonostante le enormi differenze fisiologiche (Anfodillo *et al.*, 1998; Badalotti *et al.*, 2000), va inoltre ricordato che i soggetti analizzati in questo studio si trovano inclusi in una pecceta, leggermente discosti quindi, dalla zona tipica del larici-cembreto che è rintracciabile a quote più elevate.

L'abete rosso, come le specie precedenti, beneficia delle alte temperature estive, come accertato da numerosi altri Autori (Kullman, 1997; Wimmer e Grabner, 2000; Neuwirth *et al.*, 2004), pur essendone negativamente influenzato nell'anno seguente.

Se appare certa l'importanza dei mesi di maggio e giugno (Neuwirth *et al.*, 2004) sulle Alpi svizzere, e di luglio a latitudini minori (Kullman, 1997), poco si può dire circa le alte temperature di novembre e dicembre dell'anno precedente che sono state trovate positivamente (Kullman, 1997) e negativamente (Wimmer e Grabner, 2000) correlate all'ampiezza anulare.

Nell'area orientale delle Alpi è tipica la depressione della produzione legnosa indotta da abbondanti precipitazioni estive (Carrer *et al.*, 2007), probabilmente da imputarsi alla sottrazione della radiazione operata dalle nuvole (Grace *et al.*, 2002). Per questo motivo precipitazioni e nuvolosità sono estremamente correlate, la seconda variabile inoltre non appare quasi mai in letteratura (Fritts, 1974) ed è perciò difficile operare dei confronti.

Un maggio nuvoloso/piovoso è limitante per tutte le specie, con l'avanzare della stagione si osserva la differenza tra l'abete rosso ed il larice e il cembro: per la prima specie è importante che i mesi di giugno e luglio siano asciutti mentre per le seconde è preferibile un agosto non troppo piovoso. Per il pino cembro però viene generalmente indicato come mese critico giugno (Carrer e Urbinati, 2004; Carrer *et al.*, 2007) mentre luglio e agosto lo sarebbero per l'abete rosso (Wimmer e Grabner, 1997; 2000).

Nella picea è stata inoltre individuata una correlazione negativa tra l'ampiezza anulare e le piogge di aprile (Wimmer e Grabner, 2000).

Elevate precipitazioni in gennaio e febbraio sembrerebbero predire anelli larghi nel pino cembro (Carrer *et al.*, 2007), in Svizzera l'influenza positiva si registrerebbe anche nel mese di marzo (Oberhuber, 2004) mentre in questo studio febbraio è il mese che favorisce la formazione di cerchie più spesse.

Si può ritenere che le precipitazioni invernali, di tipo nevoso, abbiano sul cembro effetti positivi indiretti quali la copertura del suolo (minor evapotraspirazione) e il rilascio dilazionato di acqua nei mesi successivi. Tuttavia si osserva una risposta positiva alla nuvolosità nel mese di marzo e negativa alle temperature. Un mese di marzo molto soleggiato con abbondante copertura nevosa al suolo potrebbe innescare fenomeni di albedo molto intensi (Fritts, 1974) oppure incentivare la ripresa dei processi fotosintetici in mancanza di acqua libera al suolo.

Nell'interpretazione delle relazioni clima-accrescimento va comunque ricordato che l'ampiezza anulare dipende dal tasso di divisione periclinale e dalla fase di distensione (Wimmer e Grabner, 2000) che avvengono nella prima metà della stagione vegetativa, perciò condizioni climatiche non favorevoli alla fine del periodo potrebbero non essere registrate e l'informazione ottenuta potrebbe risultare parziale.

#### *Risposte climatiche in diverse parti del fusto*

I ricercatori che si sono occupati di valutare le differenze dello spessore anulare alle varie altezze del fusto sono pochissimi e hanno operato molti decenni fa (Fritts *et al.*, 1965; Zahner e Donnelly, 1967).

Nonostante i pochi dati disponibili è ampiamente condiviso il concetto che il profilo longitudinale dell'anello non sia costante (Schweingruber, 1996; Cherubini *et al.*, 2002) e che le variazioni di ampiezza siano da imputarsi prevalentemente ai fattori climatici piuttosto che a effetti intrinseci all'organismo (Zahner e Donnelly, 1967).

Risulta invece assai arduo recuperare informazioni bibliografiche recenti concernenti le variazioni delle relazioni clima-accrescimento all'interno di un singolo individuo.

Le informazioni più prossime a quella cercata possono essere tratte dal lavoro di Fritts *et al.* (1965) dove è stata calcolata la sensibilità media, in una finestra temporale definita, di rotelle estratte dal fusto di *Pinus ponderosa* Laws.

Questo parametro, che indica il grado di reazione delle piante ai fattori ambientali (Schweingruber, 1996), è risultato minimo all'incirca a metà del fusto.

Se la sensibilità può essere legata alla risposta climatica ne consegue che il risultato ottenuto in questo studio è l'opposto. Infatti, durante la stagione vegetativa, il massimo segnale climatico viene registrato nella zona compresa tra il 40 ed il 60% dell'altezza e comunque sempre ad una altezza da terra superiore ai 2 m.

Il principio di uniformità di Hutton (Britannica Concise Encyclopaedia, 2008), ampiamente utilizzato in dendroclimatologia, implica che la risposta delle piante ai fattori ambientali sia costante nel corso del tempo. Quindi rotelle poste a diverse altezze del fusto dovrebbero mantenere il medesimo comportamento verso le sollecitazioni ambientali anche se si esaminano zone formate in tempi successivi, composte da tessuti di diversa età.

Informazioni indirette sulla sensibilità al clima delle parti superiori ed inferiori del fusto possono essere ottenute analizzando i risultati di studi dendroecologici condotti su individui giovani e maturi della stessa specie.

Carrer e Urbinati (2004) rilevano, in soggetti di diversa età di *Larix decidua*, una risposta non omogenea alle variabili ambientali: le piante di età elevata mostrerebbero una strategia allocativa delle risorse nutritive a loro peculiare associata a risposte generalmente superiori a quelle dei soggetti giovani. Lo stesso ritrovamento è avvenuto in *Picea glauca* (Szeicz e MacDonald, 1994) e *Sabina przewalskii* (Guirong *et al.*, 2008).

Sulla base di queste informazioni ci si dovrebbe aspettare di rintracciare il maggior coefficiente di correlazione climatico verso la base del fusto piuttosto che nella zona centrale.

Il fattore critico in analisi di questo tipo potrebbe perciò essere rappresentato dalla distanza dalla chioma del punto campionato e quindi dai percorsi allocativi delle risorse nutritive.

Zahner e Donnelly (1967) hanno sostenuto la superiorità del campionamento a petto d'uomo proprio perché, su piante mature, si ha un certo grado di sicurezza di operare su anelli formati a seguito della stabilizzazione della chioma, cosa che li rende relativamente indipendenti dalla stessa e che non è possibile garantire in punti superiori del fusto.

Ad altezze maggiori di 1.30 m i campioni raccolti potrebbero comprendere segnali diversi da quello climatico e da esso difficilmente separabili.

Va però notato che le piante che vegetano in ambienti limitanti risentono in maniera più intensa dei fattori climatici esterni rispetto a quelle in buone condizioni stazionali o di salute.

All'interno di un singolo fusto si riscontrano delle differenze nei parametri fisiologici che possono indurre, nelle diverse localizzazioni, gradi di *stress* non omogenei.

Lo *stress* di tipo idraulico (Ryan e Yoder, 1997; Bond, 2000; Koch *et al.*, 2004) gioca sicuramente un ruolo importante nella crescita delle varie parti del fusto in quanto è maggiore in quelle superiori. Tuttavia le precipitazioni sembrano avere una maggior risposta nella prima metà del tronco e solo la riduzione della radiazione (aumento di nuvolosità) interessa anche la metà superiore.

I segnali climatici registrati nelle quattro direzioni cardinali non presentano, come atteso, un comportamento interpretabile. Questo perché le piante si trovano in diverse condizioni microstazionali e l'effetto della competizione laterale non è confrontabile.

Si può comunque ricordare che i soggetti di *Pinus cembra* esposti a nord presentano mediamente coefficienti di correlazione, verso le temperature di ottobre dell'anno precedente meno significativi rispetto a quelli esposti ad ovest e sud (Oberhuber, 2004).

### 3.1.5. Conclusioni

I soggetti esaminati in questo studio si presentano estremamente sensibili ai fattori climatici, in particolare nella stagione vegetativa. Le precipitazioni, rispetto alla temperatura, sembrano rivestire un ruolo più importante e questo appare piuttosto contraddittorio dato che le piante vegetano in una stazione mesica, con suolo di buona potenza e non soggetto ad aridità.

La maggiore risposta climatica, valutata longitudinalmente nel fusto, è rintracciabile nella parte intermedia (20-60%), sempre in punti superiori alla soglia standard di 1.30 m.

Questo potrebbe suggerire la non adeguatezza di un tal tipo di campionamento quando si intenda intraprendere studi molto mirati e legati alla fisiologia dell'individuo o dove il clima diviene il fattore chiave analizzato dai ricercatori.

Non appare chiara, però, la spiegazione di un tal risultato: infatti, se si considera l'età cambiale della rotella i maggiori segnali dovrebbero comparire nelle parti più basse del tronco mentre se si ipotizza una maggior sensibilità nelle parti sottoposte a forti *stress* il segnale climatico più intenso dovrebbe essere atteso nelle parti superiori.

Questo tipo di ricerche, abbandonate dalla comunità scientifica da quasi un trentennio, dovrebbero quindi essere riprese ed approfondite con i nuovi metodi oggi a disposizione.

Si potrebbe così ottenere un *database* più ampio su cui individuare eventuali modelli di risposta che superino le inevitabili differenze dovute alle peculiarità individuali dei soggetti analizzati.

In mancanza di ulteriori informazioni resta quindi una valida alternativa campionare a petto d'uomo, soprattutto in Europa, dove prelevare carote a 10 o 20 m di altezza risulta impossibile senza abbattere la pianta, operazione dispendiosa in termini di tempo e denaro.

Nel momento del campionamento resta comunque importante aver presente che l'altezza di 1.30 m è solo una soglia convenzionale, che non rappresenta necessariamente il punto migliore: questo tipo di studi potrebbe allora favorire una presa di coscienza su questo aspetto delle analisi dendroclimatiche.



## 3.2. VARIABILI CLIMATICHE ED AMPIEZZA CELLULARE. UN CASO DI STUDIO IN CONIFERE ALPINE.

### **Riassunto**

In questi ultimi anni è aumentato l'interesse verso lo studio delle relazioni clima-accrescimento basate su serie di ampiezze cellulari invece che anulari. Questo parametro potrebbe fornire importanti risposte circa i fattori determinanti la xilogenesi e potrebbe inoltre aiutare la comprensione delle variazioni anatomiche nei condotti quando si vadano ad analizzare i meccanismi che regolano lo sviluppo longitudinale delle piante.

Lo studio è stato condotto su conifere di alta quota di ambiente dolomitico (*Larix decidua* Mill., *Pinus cembra* L., *Picea abies* Karst.) valutando l'effetto di temperatura (media, massima e minima), precipitazioni e nuvolosità nel quarantennio 1945-1984.

Le relazioni clima-accrescimento sono state eseguite su serie di diametri idraulici poste a diverse altezze del fusto. Elevate temperature della stagione vegetativa precedente sembrano indurre cellule di ampio lume particolarmente nel pino cembro mentre a tutte le specie è permessa una buona distensione cellulare con elevate precipitazioni nei mesi invernali.

Le maggiori risposte climatiche sembrerebbero collocarsi alla base o verso la metà del fusto, nel larice questo andamento è piuttosto evidente, specialmente nei confronti della temperatura.

Tuttavia, anche a causa dello scarso numero di campioni analizzati, non è possibile avere delle risposte chiare ed in generale le cellule sembrano registrare in maniera peggiore degli anelli il segnale climatico.

Questo studio si rivela comunque importante per approfondire le conoscenze sui fattori che regolano la xilogenesi ed i meccanismi di accrescimento longitudinale del fusto.

*Parole chiave:* relazioni clima-accrescimento, xilogenesi, diametro idraulico, sensibilità longitudinale.

### **3.2.1. Introduzione**

Lo studio dell'influenza dei diversi fattori climatici sulla crescita della pianta riveste da sempre una notevole importanza sia in ecologia che in selvicoltura.

Le prime relazioni clima-accrescimento sono state elaborate sulla base di serie di ampiezze anulari (Fritts, 1966) e questo parametro rimane a tutt'oggi il preferito per la facilità di raccolta

del materiale e per la buona affidabilità dei risultati ottenuti (Schweingruber, 1996; Fonti e Garcia-Gonzalez, 2004).

Altre ricerche sono state invece condotte sulla variazione della lunghezza del getto apicale, concentrandosi particolarmente su soggetti a portamento monopodiale di piccola e media grandezza (Chaar *et al.*, 1997; Cunningham *et al.*, 2006; Chuine *et al.*, 2006) a causa della scarsa accessibilità delle parti superiori di piante molto alte.

La messa a punto di strumentazioni tecnologiche sempre più precise ha permesso di identificare altri parametri utili allo scopo, concentrandosi sulle caratteristiche anatomiche del legno.

In particolare sono state indagate le relazioni tra i principali fattori ambientali e le serie di densità del legno (Rathgeber *et al.*, 2006; Kirdyanov *et al.*, 2008), di area e densità dei canali resiniferi (Wimmer e Grabner, 1997; 2000) e le serie di ampiezza cellulare, intesa come l'area della cellula (Fritts *et al.*, 1991; Fonti e Garcia-Gonzalez, 2004) o la lunghezza del diametro (Rathgeber *et al.*, 2006).

La xilogenesi, ossia l'insieme dei processi che portano alla formazione e alla lignificazione delle cellule (Yang, 2004), è estremamente influenzata dagli eventi climatici (Frankenstein *et al.*, 2006) pur derivando da fattori di regolazione interni all'individuo (Savidge, 1994; 1996; 2001; Ugglia *et al.*, 2001).

Tra le numerose variabili riportate in letteratura quella dimostratasi veramente significativa per l'innescamento delle attività cambiali è stata la temperatura (Gricar *et al.*, 2006; Rossi e Deslauriers, 2007; Rossi *et al.*, 2008a), elemento chiave anche nella *growth limitation hypothesis* di Korner (1998) che tenta di spiegare i meccanismi di formazione del limite superiore del bosco, sia altitudinalmente che longitudinalmente (Badalotti *et al.* 2000, Korner e Paulsen, 2004; Danby e Hik, 2007).

La formazione delle cellule è possibile grazie ad un meristema secondario, il cambio, che nelle conifere è di tipo non-stratificato e le cui cellule iniziali possono allungarsi *in situ* per numerosi anni (Dodd, 1948) attraversando periodi di dormienza e di attività (Priestley, 1930; Espinoza-Ruiz *et al.*, 2004; Gricar *et al.*, 2006).

Il tempo caratteristico per le fasi di divisione cellulare, distensione e maturazione delle tracheidi è piuttosto breve, variando da qualche giorno a poche settimane e questo fa sì che l'ampiezza temporale utile per riflettere le condizioni climatiche sia inferiore rispetto a quella a disposizione dell'anello legnoso (Panyushkina *et al.*, 2003; Rossi *et al.*, 2008a).

Dal momento che il parametro più utilizzato nelle relazioni clima-accrescimento è il diametro della cellula, o l'area, ne deriva che il periodo in cui il segnale climatico può essere registrato è



ancora più ridotto, andando a coincidere con il tempo di distensione (Garcia-Gonzalez e Eckstein, 2003; Fonti e Garcia-Gonzalez, 2004; Garcia-Gonzalez e Fonti, 2006).

In specie alpine di alta quota la distensione viene completata approssimativamente in 7-10 giorni (Rossi *et al.*, 2006b) su di un totale di 106-137 impiegati nell'intero processo xilogenetico (Rossi *et al.*, 2008a).

Risulta cruciale in questa fase la disponibilità idrica: l'acqua rappresenta infatti l'elemento fondamentale per il rigonfiamento delle cellule cambiali (Priestley, 1930) e soprattutto per l'aumento del turgore della cellula, la sua carenza potrebbe infatti portare alla formazione di cellule molto piccole (Doley, 1979; Yang, 2004; Eilmann *et al.*, 2006; Cuecuera *et al.*, 2006).

Tra i fattori interni che favoriscono la ripresa dell'attività cambiale vi è l'acido 3-indolacetico (precursore dell'auxina) che, dai giovani getti e dalle parti apicali, si diffonde basipetalmente nella pianta (Aloni, 2001) promuovendo la formazione del floema, dello xilema (Doley, 1968; Gricar *et al.*, 2005) e mantenendo tassi di divisione cellulari regolari (Uggla *et al.*, 1998).

La ripresa delle funzioni cambiali può essere estremamente veloce, percorrendo 6 cm/giorno (Lachaud, 1989 in Rossi *et al.*, 2008a) o addirittura 50-80 cm/giorno (Rossi *et al.*, 2008a) seppure nelle conifere siano presenti "riserve" di auxina nei tessuti dormienti (Sundberg e Little, 1990).

Risulta quindi chiaro che le parti basali del fusto potrebbero avere meno giorni a disposizione per la xilogenesi e quindi la risposta ad un determinato fattore climatico, registrata a diverse altezze del fusto, potrebbe mostrare un analogo gradiente di intensità.

La dimensione delle cellule, oltre a rappresentare l'espressione più diretta dell'attività cambiale, può influire pesantemente sull'intera fisiologia della pianta regolando i flussi idrici in ascesa verso le foglie (Zimmermann, 1974; Sperry *et al.*, 2006) e condizionando, mediante la regolazione della resistenza idraulica, la crescita in altezza dell'albero (West *et al.*, 1997; 1999a).

I fattori ambientali determinanti per la xilogenesi andrebbero quindi ad incidere sullo sviluppo in altezza della pianta e la ricerca di parti del fusto a diversa sensibilità potrebbe aiutare a capire le variazioni annuali della rastremazione dei condotti xilematici.

Le relazioni clima-accrescimento basate su serie di ampiezze cellulari sono condotte prevalentemente su specie a porosità anulare dove il segnale climatico è di più facile individuazione essendo certi di lavorare solo sul legno primaticcio. Nelle conifere infatti la transizione tra legno tardivo e legno primaticcio, meno marcata o indistinguibile, rende difficoltosa questa attività (Garcia-Gonzalez e Fonti, 2006; 2008).

Studi di questo tipo si rivelano importanti per il dettaglio delle informazioni che possono fornire e offrono la possibilità di arricchire le conoscenze acquisite mediante l'analisi degli anelli legnosi (Panyushkina *et al.*, 2003).

Ai fini di questo lavoro, quindi, risulta particolarmente interessante una indagine che vada a determinare quanta parte dell'informazione climatica sia inclusa nell'ampiezza delle cellule a varie altezze del fusto pur non dimenticando che i parametri rilevabili nell'anello (dall'ampiezza anulare alla lunghezza e densità delle cellule) rappresentano un sistema complesso e interdependente (Wimmer e Grabner, 2000) degno quindi di essere valutato nella sua completezza.

### **3.2.2. Materiali e metodi**

Questo studio è stato condotto su 3 piante: il larice 06002, l'abete rosso 03122 ed il pino cembro 06001 descritti nella tabella 1 del Cap. 1.1.

Si rimanda allo stesso per ottenere una descrizione dettagliata delle piante esaminate, delle caratteristiche della stazione e dei metodi utilizzati per l'analisi del fusto e la datazione della morte del cimale. Nel Cap. 2.1 sono invece reperibili le metodologie utilizzate per l'analisi cellulare ed il calcolo del diametro idraulico.

Le serie di ampiezze cellulari definitive, derivano dai diametri raccolti su due raggi opposti, e sono state inserite manualmente in CATRAS in modo da ottenere un formato compatibile con il *software* ARSTAN 41 (Cook e Holmes, 1997).

Con questo programma è stato possibile rimuovere il *trend* tipico delle serie di ampiezza anulare, che si sviluppano secondo una funzione potenza.

Analogamente alle cronologie anulari la standardizzazione si è ottenuta mediante l'applicazione di polinomiali cubiche (Fonti *et al.*, 2006) mentre altri Autori utilizzano funzioni esponenziale negativo o lineare (Panyushkina *et al.*, 2003).

Il procedimento adottato è risultato, dopo questa fase, identico a quello illustrato nel Cap. 3.1.

La finestra d'analisi considerata è stata il 1945-1984.

### 3.2.3 Risultati

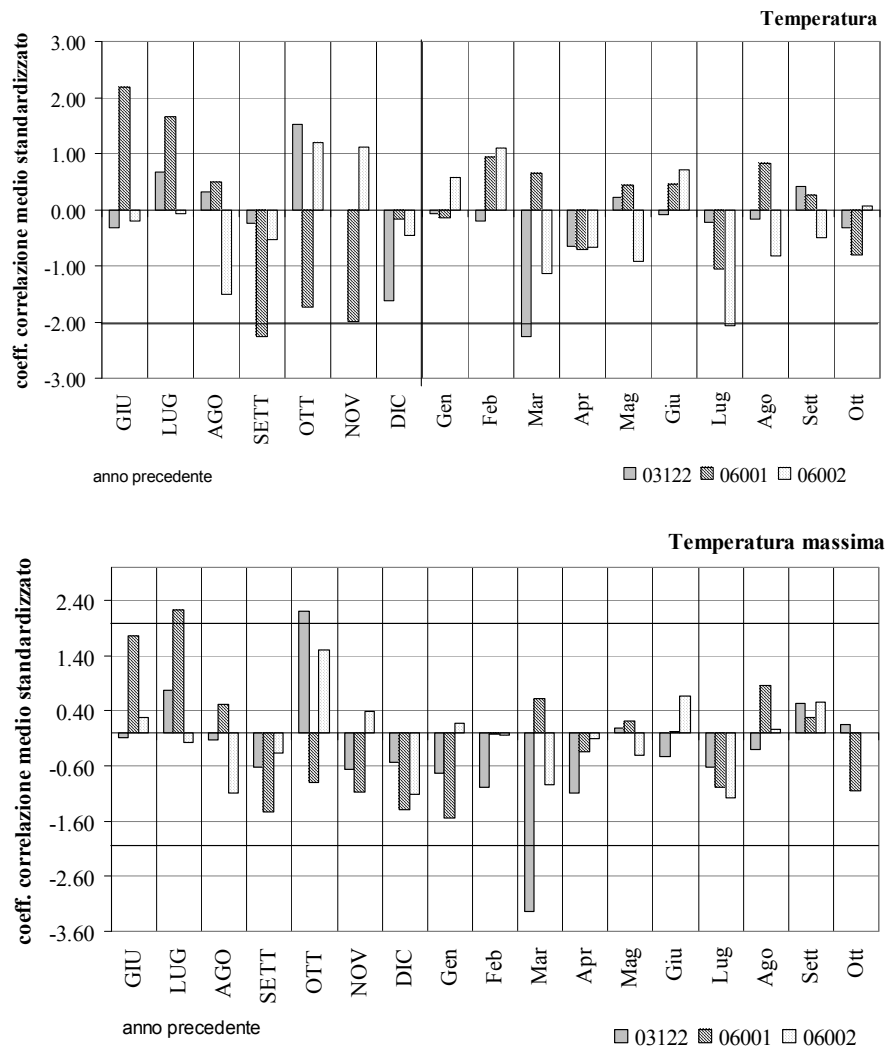
#### Relazioni clima-accrescimento

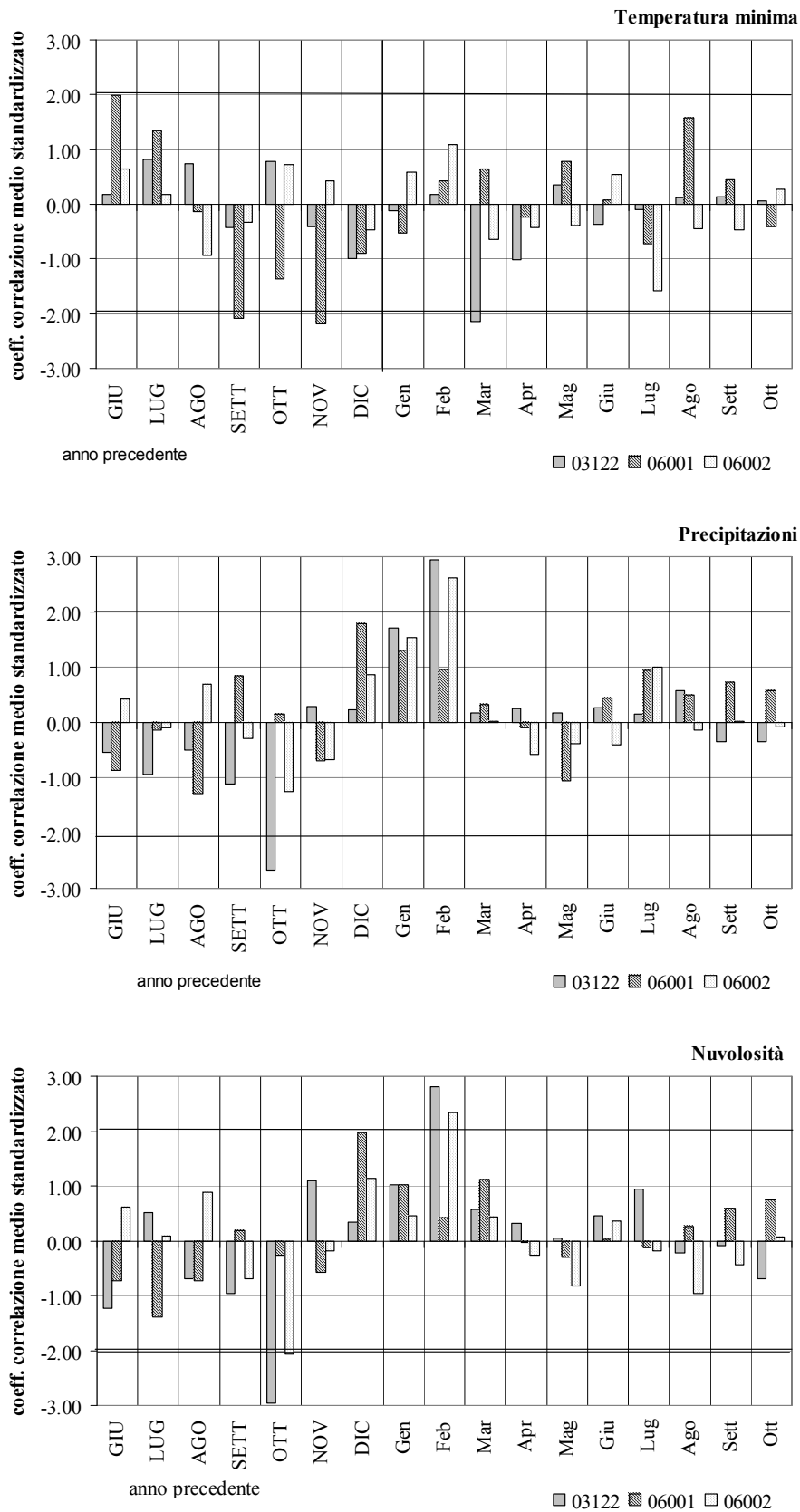
I risultati delle relazioni clima-accrescimento, eseguite nel periodo 1945-1984, per ogni mese (da giugno dell'anno precedente ad ottobre dell'anno in corso) sono riportati in figura 1 e si presentano piuttosto confusi, data la scarsa quantità di serie cellulari disponibili per le analisi.

Tuttavia è possibile riconoscere alcuni segnali meritevoli di menzione.

Il pino cembro è la specie dove l'effetto della temperatura risulta più chiaro. Un aumento delle medie dei mesi estivi dell'anno precedente (giugno e luglio) induce la formazione di tracheidi con lume più largo nella stagione successiva.

In questi due mesi appare favorevole sia il rialzo delle temperature massime che minime.



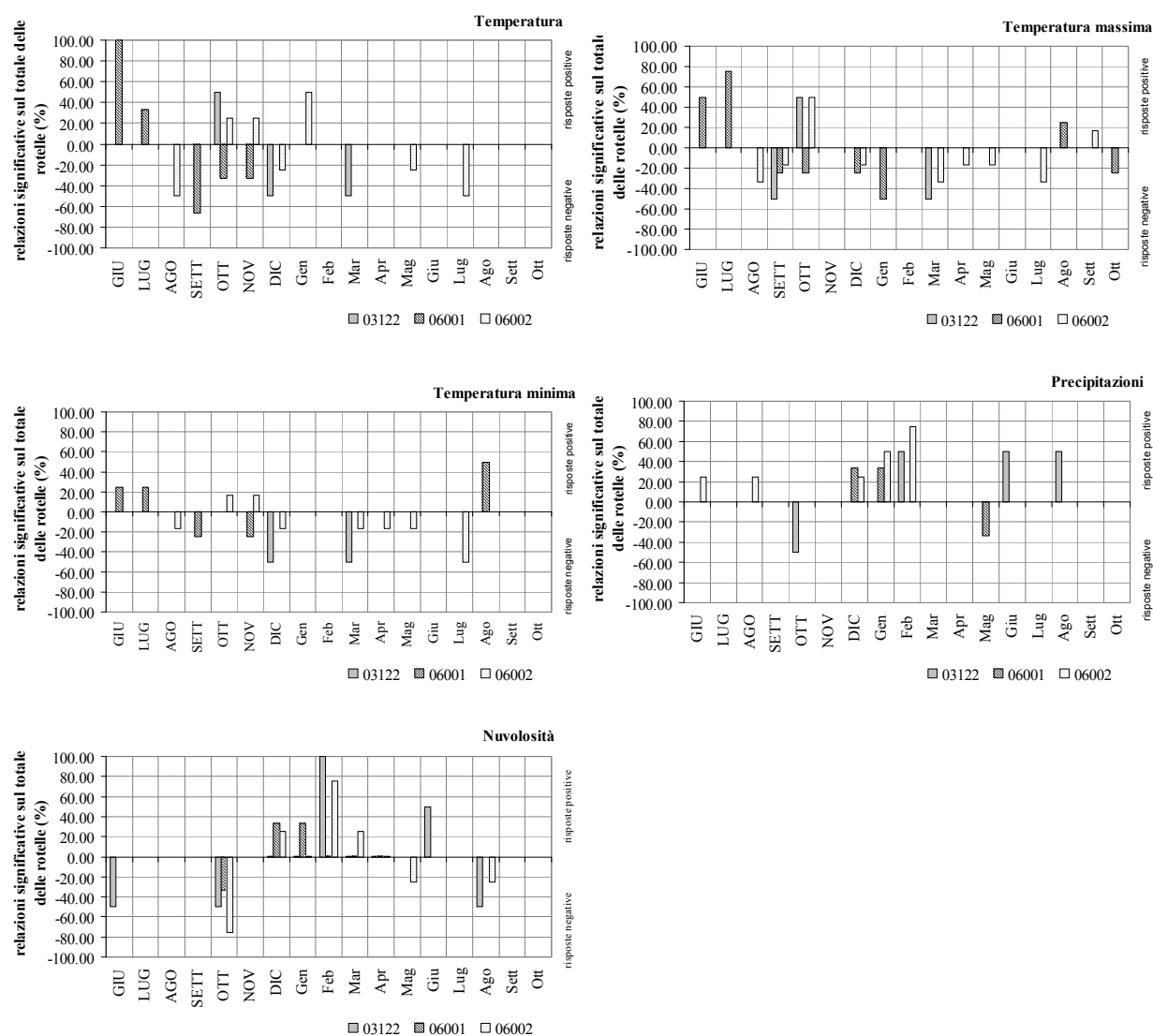


**Figura 1.** Relazioni clima-accrecimento tra le serie climatiche e le serie di diametro idraulico. Il coefficiente di correlazione standardizzato è ottenuto con replicazione *bootstrap*. La soglia di significatività 95% è superata con coefficienti >2.

La forza di tale segnale climatico è riportata in figura 2, dove è possibile osservare che tutte le serie analizzate rispondono significativamente al mese di giugno.

In autunno invece (settembre, ottobre e novembre), si osserva l'effetto opposto: temperature più elevate inducono sempre cellule più strette ma il rialzo delle temperature minime potrebbe risultare più deleterio per l'attività cambiale rispetto al rialzo delle massime.

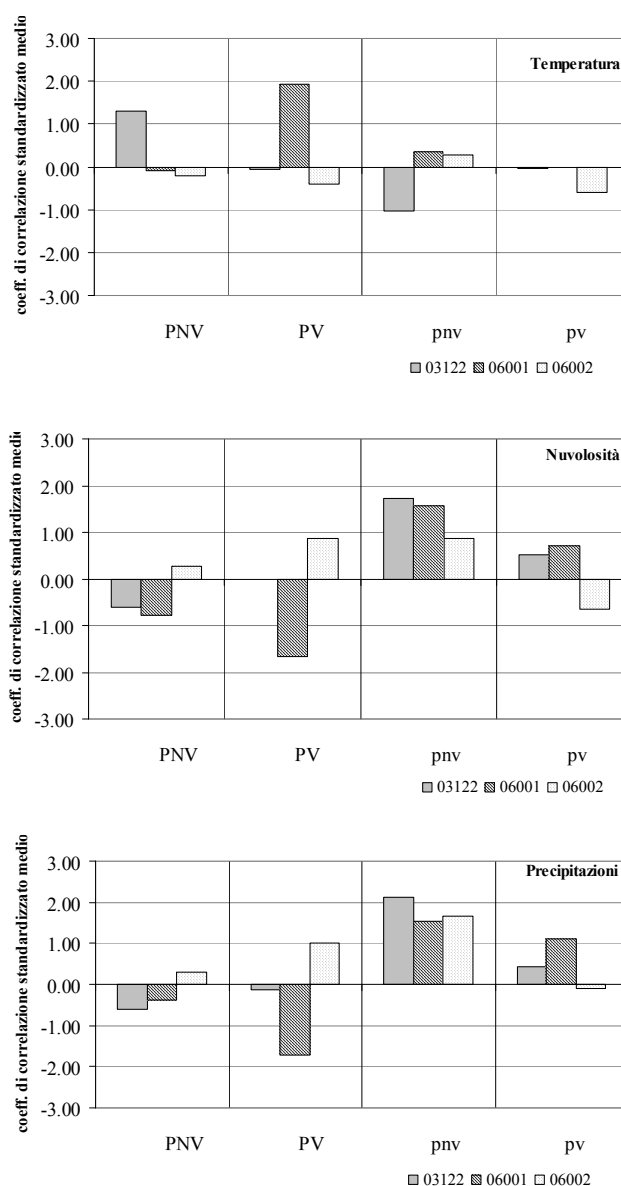
Nel corso della stagione non si osservano altri segnali particolari, sorprendentemente neppure nel periodo di distensione, solo elevate temperature minime di agosto parrebbero favorire questo processo.



**Figura 2.** Intensità del segnale climatico. Numero di correlazioni significative sul totale delle rotelle esaminate (*Picea abies*: 2, *Pinus cembra*: 4, *Larix decidua*: 6).

Rielaborando i dati disponibili sulla base di periodi temporali più ampi si ottiene che le uniche due risposte significative sono relative al periodo non vegetativo dell'anno e alla stagione estiva di quello precedente (figura 3).

Per la picea sembrerebbe deleterio un aumento di temperatura nel mese di marzo: tuttavia risulta assai difficile avvalorare questo risultato a causa del ridottissimo numero di rotelle analizzato (2).



**Figura 3.** Relazioni clima-accrescimento eseguite sulla base di serie climatiche raggruppate in periodo non vegetativo (Dicembre-Marzo) e periodo vegetativo (Maggio-Agosto). PNV: periodo non vegetativo dell'anno precedente; PV: periodo vegetativo dell'anno precedente; pnv: periodo non vegetativo dell'anno in corso; pv: periodo vegetativo dell'anno in corso.

La xilogenesi nel larice non si dimostra particolarmente influenzata dalla temperatura di un mese particolare (solo elevate temperature medie del mese di luglio dell'anno in corso sembrerebbero portare a cellule di dimensioni minori), come visibile in figura 1 e 3.

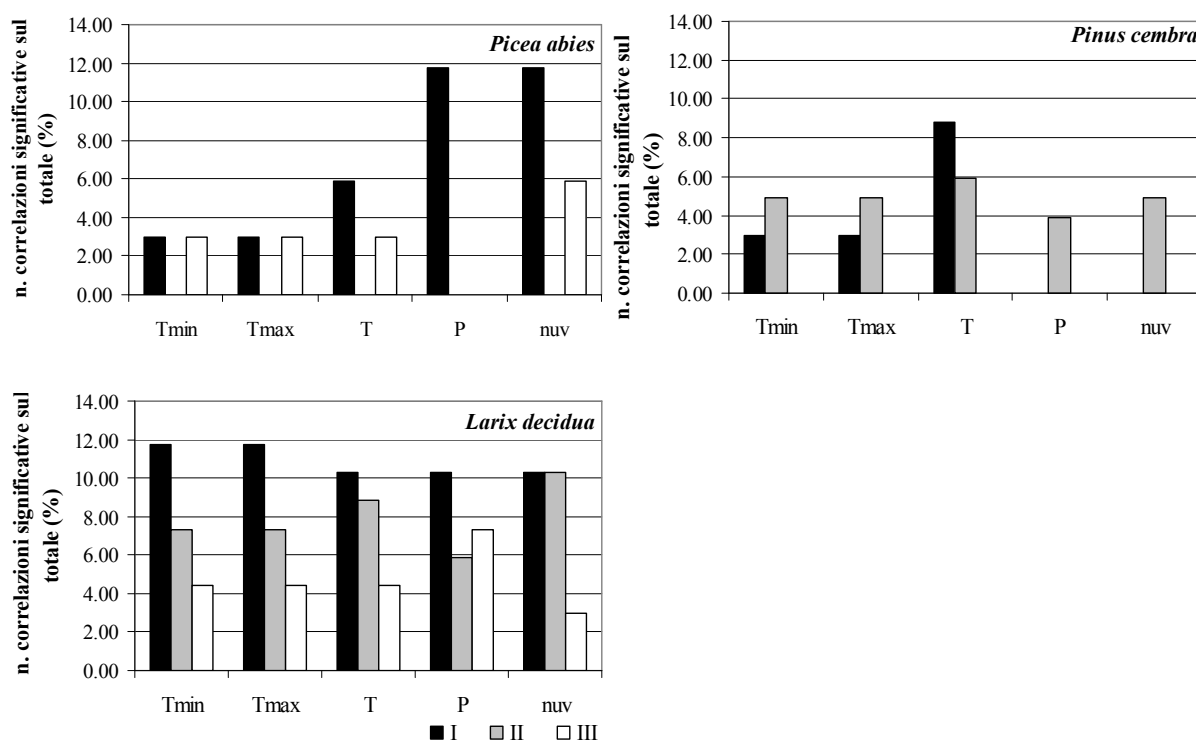
Una elevata nuvolosità (ed una pioggia abbondante) nel mese di ottobre dell'anno precedente deprime la produzione di tracheidi di diametro elevato sia nell'abete rosso che nel larice.

In questa ultima specie l'intensità del segnale è decisamente maggiore che nell'abete rosso dato che la maggior parte delle rotelle risponde in maniera significativa (figura 2).

In febbraio un cielo molto coperto e abbondanti precipitazioni sono positivamente correlate a cellule di grandi dimensioni in particolare nella specie *Picea abies* ma tutti i soggetti analizzati beneficiano di alta nuvolosità e neve nel periodo non vegetativo appena precedente alla ripresa della xilogenesi (figura 3). Questo intervallo di tempo è l'unico che presenta una risposta del medesimo segno in tutte le specie.

#### *Analisi della risposta climatica lungo il fusto*

Se si osservano le singole piante è possibile notare come la parte del fusto con il numero maggiore di correlazioni significative sia collocata, in media, alla base o nel secondo terzo (figura 4).



**Figura 4.** Intensità del segnale climatico a varie altezze del fusto. L'intensità è definita come il numero di correlazioni significative (>2) sul totale delle possibili (considerando due possibili risposte-positiva e negativa- per mese analizzato).

Tuttavia l'unica analisi valida resta quella relativa al larice dove, per ogni terzo di fusto, sono disponibili 2 rotelle. Nelle altre specie i risultati, anche se in accordo con quanto detto, sono solamente indicativi: nel pino cembro non si disponeva di rotelle che coprissero il periodo 1945-

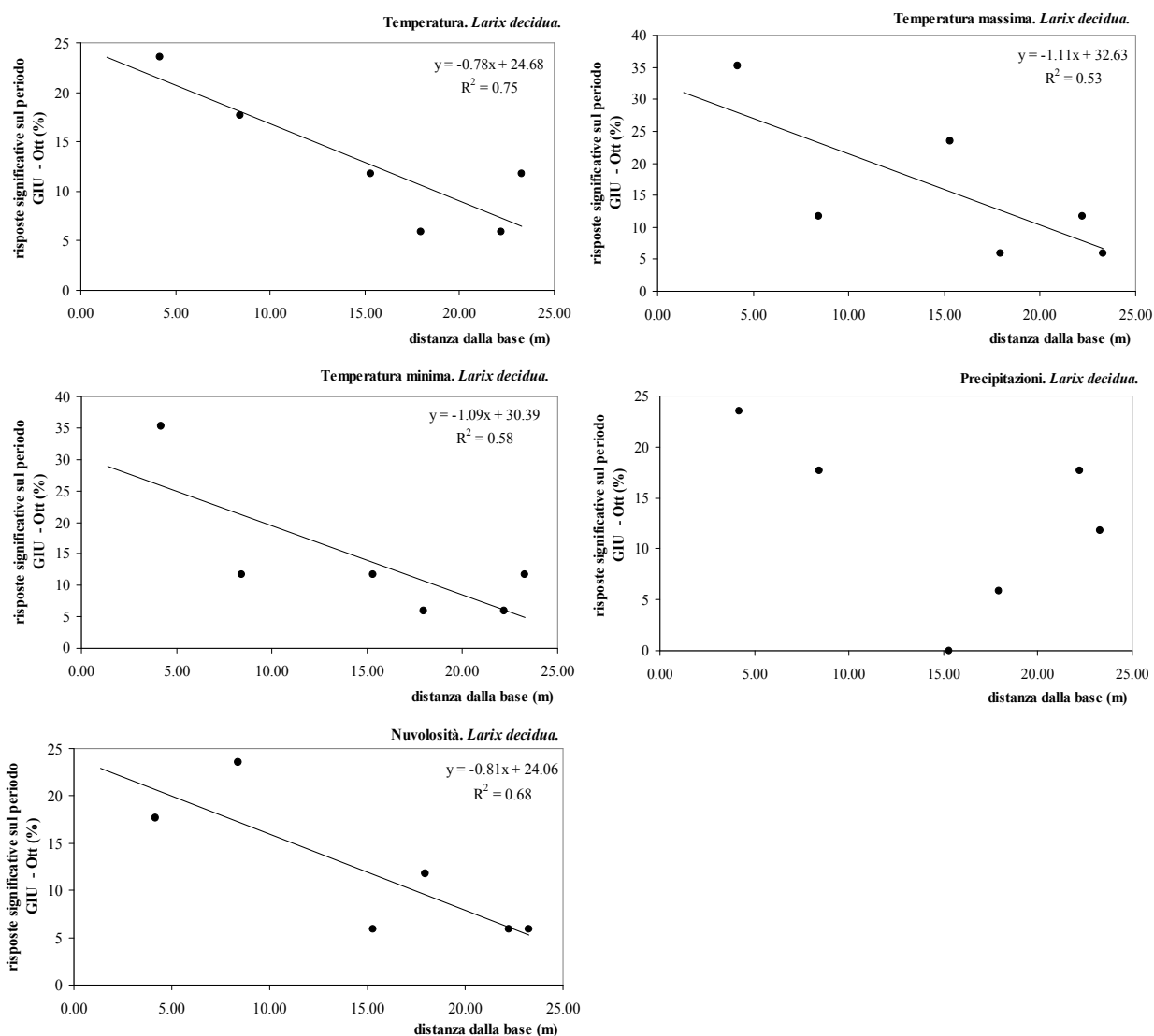
1984 sopra il 66.6% dell'altezza, nell'abete rosso non sono state rilevate serie complete del II tratto del tronco.

Scendendo più nel dettaglio è possibile valutare il numero di risposte significative occorrenti dal giugno dell'anno precedente all'ottobre dell'anno in corso a diverse altezze del fusto.

La situazione del larice è rappresentata in figura 5. Questo soggetto mostra chiaramente che le rotelle poste nelle parti inferiori del fusto presentano una sensibilità climatica mediamente più elevata (sia valutando le correlazioni positive che quelle negative) di quelle in una posizione superiore quando si vada a valutare l'effetto della temperatura e della nuvolosità.

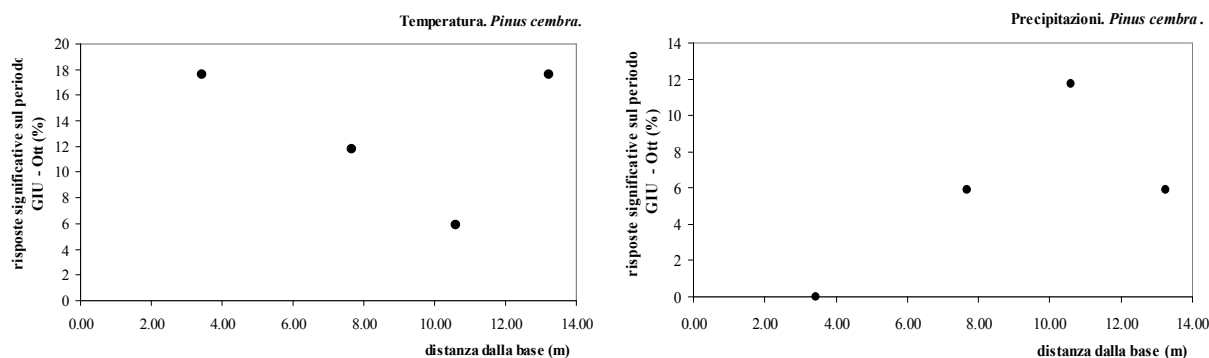
Le precipitazioni non dimostrano un *trend* longitudinale così preciso.

Nel caso del pino cembro (figura 6) sono stati proposti solo i grafici relativi a temperatura e precipitazioni in quanto sono sufficienti per illustrare le risposte opposte alle due variabili climatiche e soprattutto la mancanza di un andamento chiaro.



**Figura 5.** Intensità del segnale climatico a varie altezze del fusto in *Larix decidua*.





**Figura 6.** Intensità del segnale climatico a varie altezze del fusto in *Pinus cembra*.

### 3.2.4 Discussione

In Europa e nel Nord America le conifere di ambienti freddi producono cellule da maggio all'inizio di agosto con il massimo tasso di crescita attorno ai giorni del solstizio estivo (Rossi *et al.*, 2006b; 2008a) mentre l'intero processo (lignificazione compresa) può trascinarsi fino ad ottobre.

In *Larix decidua*, *Pinus cembra* e *Picea abies*, la xilogenesi è attiva in primavera quando la temperatura minima giornaliera dell'aria raggiunge 2-4°C e quella del fusto 4°C (Rossi e Deslauriers, 2007).

In stazioni di *treeline* dolomitiche, a circa 2000 m di quota, si è rilevato che l'attivazione del cambio avviene prima in soggetti adulti di *Pinus cembra* (50-80 anni) iniziando già a fine aprile-inizio maggio mentre in altre specie quali *Larix decidua* e *Picea abies* la dormienza si protrae per altre 2 settimane. Differenze nel momento di inizio della xilogenesi sono dovute anche all'età delle piante: soggetti di età elevata (200-300 anni) attivano il tessuto meristematico con due settimane di ritardo rispetto ai tempi citati per le rispettive specie (Rossi *et al.*, 2008a).

In una stazione come quella dell'Alpe Cermis, posta a quote meno elevate ed in condizioni più favorevoli, le piante potrebbero anticipare l'attivazione del cambio cosicché il cembro potrebbe iniziare la xilogenesi ad inizio aprile, seguito una quindicina di giorni dopo dal larice e dalla picea metà per larice e picea. Tuttavia ci si trova in presenza di soggetti bicentenari quindi l'inizio della loro xilogenesi, ritardata rispetto a individui più giovani, andrà a cadere a fine aprile per il pino cembro e a metà maggio per larice e picea.

L'attività cambiale, in queste zone, sembra terminare ad inizio agosto sia nelle piante adulte che nelle vecchie mentre la fase di distensione si collocherebbe tra metà maggio e metà giugno (Rossi *et al.*, 2008a).

Temperatura e fotoperiodo vengono indicati come fattori fondamentali alla xilogenesi (Rossi *et al.*, 2006b), infatti la temperatura agisce sulle attività metaboliche che devono essere mantenute

durante la produzione e la differenziazione cellulare (Gricar *et al.*, 2006) mentre il fotoperiodo rappresenta il segnale regolatore del tasso di crescita.

La scarsa o nulla risposta al segnale termico ottenuta in questo studio potrebbe quindi sembrare sorprendente, specialmente se si considera l'elevata dipendenza dell'ampiezza anulare dalla temperatura, rilevata nel capitolo precedente. Tuttavia lo spessore dell'anello è correlato al numero di cellule e quest'ultimo parametro dipende dalla precocità di divisione delle cellule fusiformi del cambio e dal tasso di crescita.

L'ampiezza del lume cellulare fornisce invece indicazioni sulla capacità di distensione della parete e nel breve periodo impiegato per completare questa fase (7-10 giorni per Rossi *et al.*, 2006b) potrebbero essere registrati dei segnali climatici non disponibili nelle serie temporali utilizzate, costituite da valori medi mensili.

Solo *Pinus cembra* dimostra una correlazione significativa del lume con la temperatura della stagione vegetativa precedente.

Segnali positivi alla temperatura di giugno sono stati riscontrati in larici siberiani (Panyushkina *et al.*, 2003) mentre il larice esaminato risponde negativamente alle temperature del mese di luglio.

Nel capitolo 3.1. era stata riscontrata una elevata dipendenza dello spessore anulare dalla termometria dei mesi estivi, si può ipotizzare che una maggior numero di cellule per fila (che indica anelli spessi) sottenda una minor dimensione del diametro delle stesse.

Il larice è una specie che raggiunge i minimi potenziali idrici ad agosto (fino a -2.23 MPa) (Badalotti *et al.*, 2000), periodo in cui l'attività cambiale è terminata o sta terminando.

Non è possibile quindi, collegare un eventuale *stress* idrico con la formazione di cellule piccole perchè i due processi sarebbero sfasati temporalmente.

Alte temperature autunnali sembrerebbero inoltre portare allo stesso risultato.

In molte specie di conifere è stato dimostrato (Oribe *et al.*, 2001) che un aumento della temperatura del fusto in questo periodo ed in primavera (Gricar *et al.*, 2006) potrebbe essere in grado di riattivare le divisioni cellulari nei meristemi cambiali mentre con l'avanzare della stagione (dicembre) non si produrrebbe alcuna risposta.

In *Larix leptolepis* però, la riattivazione sarebbe possibile solo in concomitanza dell'apertura delle gemme (Oribe e Kubo, 1977 in Gricar *et al.*, 2006) probabilmente per la necessità di una cospicua mobilitazione di carboidrati, come intuito parecchi anni fa (Pristley, 1930).

Makinen *et al.* (2003) individuano una stretta relazione tra la temperatura ed il tasso di divisione cellulare in soggetti di abete rosso, in particolare nel periodo estivo, qui non rintracciabile.

Molti lavori sulle relazioni clima-accrescimento sono incentrati su latifoglie a porosità anulare, nel castagno è stata ripetutamente verificata la dipendenza della dimensione cellulare dalla temperatura

(Fonti *et al.*, 2006) ed in particolare dall'effetto negativo di febbraio e di marzo (molto prima, quindi, della formazione della prima fila di cellule). Le correlazioni tornerebbero poi positive ad aprile e maggio, sarebbe allora plausibile un sistema di risposte "altalenante" nei vari mesi, come quello riscontrato in questa sede.

L'effetto negativo di febbraio sarebbe stato riscontrato anche nella quercia (Garcia-Gonzalez e Eckstein, 2003). L'abete rosso presenta una risposta analoga in marzo.

Anche questo risultato è piuttosto contraddittorio dato che è stato dimostrato che un raffreddamento del fusto, nell'abete rosso, porta ad una precoce produzione di legno tardivo (Gricar *et al.*, 2006) che, in definitiva, va a diminuire il valor medio del diametro idraulico.

Negli anelli da gelo, tipicamente visibili all'inizio della stagione xilematica, le cellule risultano di dimensioni decisamente maggiori e piuttosto irregolari (osservazione personale).

La risposta climatica ottenuta in mesi apparentemente non coinvolti nell'attività xilogenetica potrebbe essere spiegata se si considera il ruolo regolatore della concentrazione di auxina nelle diverse fasi dello sviluppo cellulare, come suggerito da Fonti *et al.* (2007).

A questo proposito si deve richiamare il concetto di "sensibilità all'auxina" (Trewavas e Cleland, 1983 in: Fonti *et al.*, 2007) per il quale anche se l'ormone è presente nel cambio quiescente non ha influenze fino a quando il cambio stesso non ha riacquisito la sua capacità di rispondere agli stimoli. Quindi la formazione di cellule di piccolo diametro con alte temperature di marzo e febbraio potrebbe essere spiegata supponendo che l'auxina venga attivata prima del tempo (Schrader *et al.*, 2003) inducendo una differenziazione precoce e rapida che non lascia il tempo necessario alla distensione, al contrario cellule di dimensioni maggiori sarebbero prodotte in presenza di basse concentrazioni auxiniche (Aloni, 1992; 2001).

L'importanza degli ormoni come elementi chiave della catena di trasduzione del segnale climatico esterno fino alla risposta della pianta è conosciuto da molti anni e riveste una importanza fondamentale nella fisiologia vegetale (Voisenek e Blom, 1996), specialmente se si considera il legame di questi con la temperatura (Galston e Davies, 1969).

Per continuare la loro attività le piante necessitano inoltre di periodi alternati di attività e dormienza richiedendo un periodo di esposizione al freddo che le renda in grado di recuperare la capacità di divisione cellulare al ritorno della buona stagione (Fonti *et al.*, 2007) quindi l'evidenziarsi di risposte significative nell'autunno dell'anno precedente potrebbe essere imputabile a variazioni dello stoccaggio di assimilati che vengono richiesti durante la dormienza e la ripresa vegetativa (Fonti e Garcia-Gonzalez, 2004).

Nel caso della dimensione cellulare i periodi cruciali di registrazione dovrebbero quindi essere indicati come quello autunnale (anno precedente) e quello primaverile, all'inizio dell'attività cambiale.

L'effetto della siccità sulla dimensione cellulare è stato abbondantemente indagato e appare ormai chiaro che carenze idriche limitano la distensione, ottenendo così vasi piuttosto stretti (Rundel e Stecker, 1977; Eilmann *et al.*, 2006; Cuecuera *et al.*, 2006; Rossi *et al.*, 2008b), vi sarebbero comunque delle differenze tra legno tardivo e primaticcio infatti il primo risulterebbe più influenzato da questa variabile sia nella riduzione del lume (Eilmann *et al.*, 2006) che nell'aumento del numero di cellule, seppure solo a seguito di *stress* di notevole entità (Rossi *et al.*, 2008b).

La situazione del presente lavoro è piuttosto differente in quanto il sito in esame non registra situazioni di aridità, tuttavia nel periodo non vegetativo, da dicembre a marzo, tutte le specie registrano una correlazione positiva con alte precipitazioni e cielo coperto. Febbraio, in particolare prelude a cellule di elevate dimensioni.

Abbondanti precipitazioni di tipo nevoso potrebbero assumere un significato fondamentale come riserve di acqua a lento rilascio. Lo scioglimento delle nevi a queste altitudini si verifica a fine aprile-maggio, in concomitanza della ripresa delle prime attività xilogenetiche.

Nell'autunno dell'anno precedente (ottobre) la risposta è decisamente negativa, specie nel larice; lo stesso è stato individuato nel castagno (Fonti e Garcia-Gonzalez, 2004) e nella quercia (Garcia-Gonzales e Eckstein, 2003) ma la grande differenza tra la fisiologia delle specie e tra le stazioni esaminate non permette confronti di rilievo. Gli stessi Autori non sono stati in grado di fornire una spiegazione plausibile al fenomeno.

Panyushkina *et al.* (2003) non registra, nel larice, particolari risposte dell'attività xilematica alle precipitazioni.

Nel momento in cui ci si accinge a confrontare i risultati di correlazioni clima-accrecimento calcolati a diverse altezze del fusto si dovrebbe essere consci del fatto che le caratteristiche anatomiche del legno subiscono delle variazioni piuttosto consistenti in senso longitudinale.

Cato *et al.* (2006) sottolineano l'importanza delle variazioni spaziali del legno, passando dal midollo alla corteccia e dalla base all'apice della pianta. Nelle conifere i primi 10 anelli dal midollo assumerebbero caratteri peculiari della microstruttura cellulare possedendo pareti più sottili e angoli microfibrillari maggiori. Le variazioni verticali riguarderebbero invece la "maturità" del legno e sarebbero più visibili alla base.

Il segnale registrato nel larice sembra indicare una maggior sensibilità al segnale climatico delle rotelle poste in prossimità del suolo. La maggior risposta, seppure non estremamente chiara, si collocherebbe nella prima metà del fusto e non verso le parti superiori.

Questo potrebbe trovare una doppia spiegazione: da una parte le zone inferiori del fusto risulterebbero più vecchie di quelle poste all'apice ed è stato dimostrato che in piante di età superiore ai 200 anni la fase di distensione inizia all'incirca 7-17 giorni più tardi che nelle piante di 50-80 anni di età (Rossi *et al.*, 2008a), dall'altra l'attività cambiale procede in senso basipeto cosicché il ritardo nell'inizio della distensione sarebbe proporzionale all'altezza della pianta.

La spiegazione che un periodo di tempo più limitato per la registrazione degli eventi climatici potrebbe indurre segnali di intensità maggiore non convince per lo stesso motivo esposto in precedenza: non è possibile una verifica di tal tipo perché le serie climatiche a disposizione sono di tipo mensile e quindi valide per periodi molto più lunghi.

Una terza spiegazione del fatto sembra invece la più appropriata. Le rotelle delle parti superiori del fusto presentano ancora una attiva crescita radiale della dimensione cellulare, così come verificato da (Becker *et al.*, 2003; James *et al.*, 2003). Questo significa che il periodo 1945-1984, nonostante la detrendizzazione, comprende cellule con caratteristiche diverse da quelle delle zone più basse, che possono distendersi ancora perché non hanno raggiunto il limite massimo della specie.

La finestra temporale esaminata, nelle parti del fusto più basse, cade invece in una zona di *plateau* dove la singola cellula non solo ha raggiunto le dimensioni di "maturità" consentite dalla stazione e dall'elasticità della parete ma viene anche più ispessita. Questo significa che le zone prossime al suolo potrebbero essere più sensitive al clima in quanto basterebbero lievi condizioni di temperatura o precipitazione non ottimali per non consentire il raggiungimento del limite di elasticità della parete e allo stesso tempo per ridurre la quantità di materiale accumulata.

I segnali climatici ottenuti in questo studio non sono particolarmente chiari.

Questo deriva principalmente dal basso numero di serie cellulari analizzate ma anche dalla specifica incapacità di queste di registrare un segnale comune, al contrario degli anelli legnosi (Fonti e Garcia-Gonzales, 2004), a causa del limitato numero di giorni impiegato per l'attività xilogenetica (Panyushkina *et al.*, 2003).

Altrettanto importante, in questo tipo di analisi, risulta il "tipo di cellula" utilizzata nelle correlazioni (Eckstein *et al.*, 2004). Il diametro idraulico, qui investigato, deriva da una media ponderata eseguita su cellule di diametro maggiore della metà del diametro della cellula di area massima. Tutto si basa su una singola tracheide e le cellule incluse nel conto sono quelle primaticce ma anche, spesso, quelle formate in un periodo intermedio della stagione.

In *Quercus robur* (Garcia-Gonzales e Ecksteiner, 2003) hanno dimostrato che la miglior risposta climatica si ottiene quando al calcolo del valor medio di diametro cellulare concorrono tutti i vasi del legno primaticcio: eliminando più del 20% delle cellule più piccole la correlazione col clima peggiora notevolmente.

Altri Autori (Garcia-Gonzales e Fonti, 2006) utilizzano addirittura solo la prima fila prodotta di cellule.

Il tipo di correzione apportata (come d'altronde, s'è fatto in questo lavoro) può influenzare fortemente il risultato finale che andrà a dipendere dal limite fissato o, se la soglia adottata è di tipo visivo, dalla sensibilità del rilevatore (Garcia-Gonzales e Fonti, 2006; 2008).

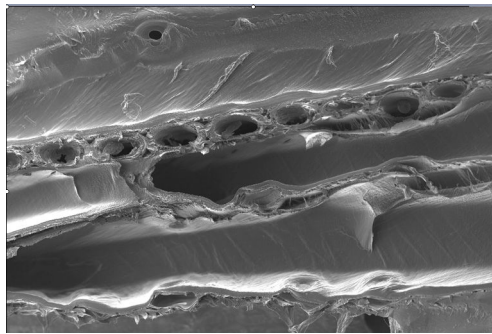
## **Conclusioni**

Gli anelli legnosi e i lumi cellulari mostrano una diversa sensibilità al clima, anche a causa della diversa ampiezza della finestra temporale a disposizione per la registrazione dei dati. Le relazioni clima-accrescimento ottenute dal secondo parametro sembrerebbero meno chiare e meno significative.

L'ampiezza cellulare sembrerebbe comunque dipendere di più dalle condizioni climatiche dei mesi precedenti la riattivazione del cambio piuttosto che da quelle in corso nel corso della xilogenesi.

Questo tipo di studi potrebbe risultare particolarmente interessante per quantificare il grado di influenza dei fattori climatici sulla rastremazione cellulare e verificare se i tessuti mantengono la stessa sensibilità con l'avanzare degli anni.

## CAPITOLO 4. ALLOMETRIE VEGETALI



*“Per quanto bella architettura facciano, gli uomini  
non riusciranno mai a fare una cosa bella come un albero”*

(Pier Luigi Nervi, ingegnere lombardo, 1891-1979)





#### 4.1. FORMA DEI CONDOTTI XILEMATICI E VARIAZIONI ONTOGENETICHE IN CONIFERE D'ALTA QUOTA CON CIMALE DISSECCATO.

##### **Riassunto**

Nella comprensione dei meccanismi che determinano l'altezza massima degli alberi, nonché di eventuali adattamenti posti in atto durante l'ontogenesi, potrebbe rivelarsi di grande utilità individuare la forma dei condotti xilematici, ovvero la dimensione del lume interno di un condotto ideale dalle radici alle foglie.

Variazioni nelle dimensioni longitudinali delle catene xilematiche potrebbero influenzare la resistenza idraulica, e conseguentemente la probabilità di cavitazione nonché la quantità complessiva di acqua presente all'interno del fusto. Il disseccamento delle parti distali del tronco potrebbe quindi rappresentare un effetto degli adattamenti ontogenetici, mancati o non messi in atto, del sistema di trasporto.

L'indagine, eseguita su tre soggetti appartenenti a diverse specie di conifere alpine (*Picea abies* Karst., *Pinus cembra* L., *Larix decidua* Miller), si pone come scopo quello di descrivere il profilo longitudinale della variazione del lume delle tracheidi (rastremazione) in diversi anni di crescita, valutato in rapporto al diametro del fusto e all'altezza della pianta. I risultati saranno posti in relazione alle predizioni del modello di West *et al.* (1999).

La funzione potenza risulta la migliore interpolatrice e gli esponenti allometrici calcolati concordano quasi sempre con quanto predetto dal *WBE model* (circa 0.20 per la relazione  $Dh$  vs  $L$  e 0.16 per la relazione  $Dh$  vs  $D$ ).

Le variazioni nel diametro del lume cellulare tuttavia, non possono essere spiegate appieno interpolando un'unica funzione potenza ma derivano, piuttosto, dalla combinazione di due curve. La potenza con esponente allometrico maggiore è collocata a livello del cimale.

Il rapporto tra le due curve potrebbe rivelarsi un fattore chiave in grado di spiegare la riduzione dell'accrescimento in altezza registrabile durante l'ontogenesi delle piante.

*Parole chiave:* rastremazione xilematica, ontogenesi, *WBE model*, conifere, cimale disseccato, serie longitudinali, serie radiali.

#### 4.1.1. Introduzione

L'anatomia e la funzione degli elementi xilematici nelle specie arboree ed arbustive sono ben noti (Zimmermann, 1974; Tyree e Ewers, 1991) tuttavia il ruolo complessivo dell'architettura idraulica sulla funzionalità degli alberi non è ancora compreso a fondo (Shinozaki *et al.*, 1964; Ryan e Yoder, 1997; West *et al.*, 1997, 1999a).

Un aspetto importante riguarda la definizione della forma interna, ossia la variazione del lume dei condotti legnosi sia in senso longitudinale che radiale al fusto, in quanto da essa dipende in modo critico la resistenza complessiva al trasporto (Becker *et al.*, 2000; Zaehle, 2005).

Appare ovvio che per poter studiare le variazioni della forma dei condotti nel corso dell'ontogenesi bisogna ricorrere a delle semplificazioni: il tessuto conduttivo si presenta complesso e le punteggiature determinano una certa ridondanza del sistema (Hacke *et al.*, 2004) andando a costituire una frazione costante della resistenza idraulica rispetto al lume cellulare (Sperry *et al.*, 2006).

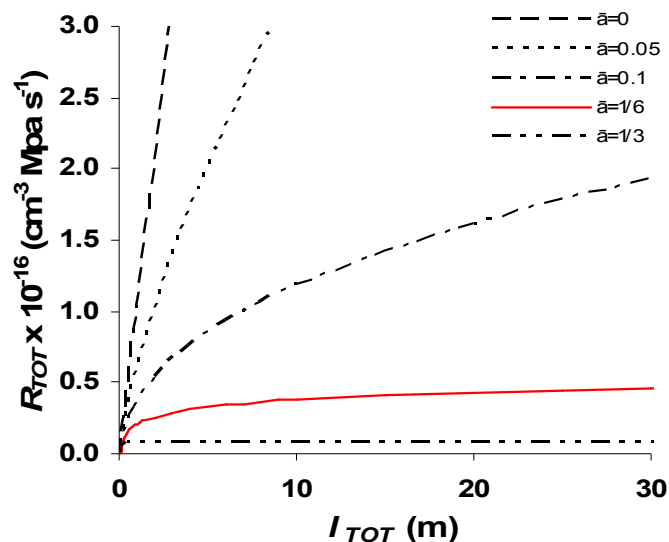
Adottando queste semplificazioni non risulta difficile ipotizzare che il flusso interno alle catene xilematiche sia sottoposto alle stesse leggi fisiche valide in qualsiasi condotto ossia alla legge di Hagen-Poiseuille.

La conduttanza (reciproco della resistenza) è, quindi, direttamente proporzionale alla quarta potenza del diametro del condotto ed inversamente proporzionale alla lunghezza dello stesso (Tyree e Ewers, 1991). A parità di diametro alla base della pianta i condotti di forma cilindrica (ossia dalla radice alla foglia dello stesso diametro interno) risulterebbero più efficienti nel trasporto dell'acqua (maggiore quantità complessiva) (Sperry *et al.*, 2008) ma anche più sensibili alla cavitazione e si avrebbe un aumento lineare di resistenza idraulica con la crescita (Becker *et al.*, 2000).

Al contrario una variazione nella dimensione delle cellule xilematiche lungo il profilo del fusto potrebbe sia "svincolare" la resistenza dalla lunghezza del percorso idrico che contribuire a ridurre, seppur non completamente, l'insorgenza di embolismi (Zimmermann, 1983, Sperry *et al.*, 2003) anche se la quantità complessiva di acqua trasportata risulterebbe inferiore, a parità di diametro, a quella dei condotti cilindrici (figura 1).

Tra i primi modelli teorici proposti per spiegare la struttura e l'allometria delle piante vascolari va annoverato quello proposto da Shinozaki *et al.* (1964), conosciuto col nome di *pipe model*.

Gli Autori predicono che una unità base di area fogliare verrebbe approvvigionata dalla colonna d'acqua trasportata all'interno di condotti continui, di sezione costante dalla base al picciolo fogliare, e decorrenti in parallelo nel fusto.



**Figura 1.** Valore di resistenza idraulica calcolato secondo la legge di Hagen-Poiseuille per condotti xilematici di diverso grado di rastremazione ( $\bar{\alpha}$ ) considerando un diametro apicale fisso di 10  $\mu\text{m}$  ed intervalli di lunghezza costanti di 1 m. Quando  $\bar{\alpha}=0$  il condotto è cilindrico, se  $\bar{\alpha}=1/6$  è rastremato secondo le previsioni del WBE model (Da Petit, 2008).

Innumerevoli indagini sperimentali hanno però evidenziato che il lume delle trachee o delle tracheidi diminuisce sia dalla base all'apice del fusto che nei rami, dal punto di inserzione all'apice (Bailey e Shepard, 1915; Zimmerman, 1983; McCulloh e Sperry, 2005; Weitz *et al.*, 2006; Anfodillo *et al.*, 2006; Coomes *et al.* 2007; Petit *et al.*, 2008) così come, ad una determinata altezza del fusto, il lume cellulare misurato nei vari anelli cresce dal midollo verso l'esterno (Ghouse e Iqbal, 1977; Ewers e Fischer, 1989; Noshiro e Suzuki, 2001; Coomes *et al.*, 2007; Mencuccini *et al.*, 2007; Sellin *et al.*, 2008) fino a raggiungere un valore limite considerato massimo per una determinata specie (James *et al.*, 2003; Becker *et al.*, 2003; Spicer e Gartner, 2001).

West *et al.* (1997, 1999) sono stati i primi ad intuire l'importanza di una struttura di conduzione rastremata ed a includerla in un modello teorico sviluppato per spiegare le relazioni intercorrenti tra le forze idrodinamiche, biomeccaniche e la geometria strutturale delle piante vascolari.

Il modello si sviluppa dal presupposto che la distribuzione delle risorse debba avvenire tramite una rete organizzata gerarchicamente (per livelli) mediante una struttura frattale (FBN, *fractal branching network*) ed utilizza innumerevoli parametri strutturali concatenati tra loro tramite equazioni di tipo allometrico.

Nel modello WBE la forma (rastremazione,  $\bar{\alpha}$ ) dei vasi risulta di fondamentale importanza in quanto necessaria a garantire una resistenza idraulica minima ed indipendente dalla lunghezza del percorso, dalla dimensione ed età della pianta. In questo modo sarebbe permesso agli alberi

di svilupparsi longitudinalmente fino a raggiungere il limite massimo di altezza conosciuto per le piante, di circa 100 m (West *et al.*, 1999).

I concetti di base del *pipe-model* vengono assimilati nel modello (fasci di vasi decorrenti in parallelo, senza biforcazioni) ma superati dall'introduzione del concetto di rastremazione. Quest'ultima va intesa come il rapporto, sempre di ugual valore, tra la dimensione dei vasi di due livelli contigui e considerata costante nel corso dell'ontogenesi.

La rastremazione dei condotti rappresenterebbe quindi la misura di compensazione più importante che la pianta possa mettere in atto durante la crescita, anche in concomitanza di altre segnalate in diversi studi, quali: l'aumento di produzione di radici fini (Magnani *et al.*, 2002) e l'aumento della quantità dell'alburno in rapporto all'area fogliare (McDowell *et al.*, 2002a).

Il valore ottimale di rastremazione previsto dal modello deriva da equazioni fondamentali che combinano la struttura frattale e le caratteristiche anatomiche della pianta.

A seguito di successive elaborazioni si ottengono le relazioni:

$$Dh \propto D^{\bar{a}/a} \quad (1)$$

$$Dh \propto L^{3\bar{a}/2} \quad (2)$$

Dove  $Dh$  rappresenta la dimensione della cellula,  $D$  il valore del diametro del fusto o del ramo,  $L$  la lunghezza del condotto normalmente sostituita con la distanza dalla cima.

Il parametro  $a$  (*area-preserving*, equazione 1) viene definito pari ad 1, come suggerito da Leonardo da Vinci mentre  $\bar{a}$  (coefficiente di rastremazione xilematica) assume una importanza maggiore in quanto da esso dipende la resistenza idraulica. Con  $\bar{a} > 1/6$  e per lunghezze del fusto molto maggiori della lunghezza del picciolo si dimostra matematicamente che la resistenza idraulica viene minimizzata e resa indipendente dalla lunghezza del percorso (West *et al.*, 1997, 1999; Becker *et al.*, 2000) (fig.1).

La rastremazione xilematica attesa dal modello risulta uguale o superiore a 0.167 conseguentemente gli esponenti allometrici delle equazioni 1 e 2 dovrebbero essere pari a 0.167 e 0.25.

Anfodillo *et al.* (2006) hanno però dimostrato che, nell'equazione 2, il valore dell'esponente dipende criticamente da una approssimazione sulla lunghezza dei vari livelli di ramificazione del modello WBE e va quindi corretto con un fattore 0.794 ottenendo 0.198 ( $\approx 0.20$ ) (Coomes *et al.*, 2007; Petit *et al.*, 2008).

Molti lavori citati in letteratura si sono concentrati nel descrivere le differenze di forma dei condotti, riferendosi quasi sempre ad uno stesso anno di crescita, tra individui della stessa specie o tra specie diverse (James *et al.*, 2003; Becker *et al.*, 2003; Anfodillo *et al.*, 2006; Coomes *et al.*, 2007, Mencuccini *et al.*, 2007; Petit *et al.*, 2008) e pochissimi Autori hanno tentato di

indagare le variazioni occorrenti durante l'ontogenesi di uno stesso soggetto (Weitz *et al.*, 2006).

Gli studi ontogenetici potrebbero rivelarsi fondamentali per comprendere se realmente gli alberi siano in grado di costruire nel tempo condotti di trasporto di forma sempre simile ed efficiente nei confronti della minimizzazione della resistenza idraulica e della quantità di liquido trasportato, come suggerito dal WBE *model*.

Weitz *et al.* (2006) hanno riscontrato il mantenimento di un valore simile di rastremazione durante lo sviluppo in un giovane individuo di frassino mentre Anfodillo *et al.* (2006), dall'esame di alberi di diversa specie ed età, hanno rilevato la presenza, in piante prossime al raggiungimento dell'altezza massima, di una condizione di sub-ottimalità che si registrerebbe a causa di un peggioramento nella rastremazione, come confermato da studi successivi (Mencuccini *et al.*, 2005; Mencuccini *et al.*, 2007; Petit *et al.*, 2008).

La limitazione dello sviluppo longitudinale, comunemente osservabile nella riduzione dell'incremento annuale in piante di notevole altezza potrebbe quindi essere imputata a tale variazione di forma dei condotti. Il conseguente aumento di resistenza idraulica potrebbe innescare fenomeni di *stress* idrico nelle parti distali del fusto (bassi potenziali idrici) (Ryan e Yoder, 1997; McDowell *et al.*, 2002b) e ivi portare ai valori ridotti di fotosintesi registrati nelle parti superiori delle più alte piante del pianeta (Bond, 2000; Koch *et al.*, 2004).

In condizioni particolarmente critiche gli alberi potrebbero manifestare disseccamenti del cimale o degli apici dei rami quale tentativo di accorciare il percorso idraulico dell'acqua limitando così l'aumento di resistenza innescato dal peggioramento della forma dei condotti.

Inoltre, diversamente da quanto proposto dal modello WBE, la forma complessiva del condotto potrebbe risultare dall'insieme di tratti longitudinali di diverso profilo, cosicché il valore di rastremazione calcolato su tutti i punti del fusto potrebbe essere poco indicativo ma andrebbe invece analizzata la forma assunta in localizzazioni più critiche quali, ad esempio, le parti più elevate del fusto. Nel corso dell'ontogenesi tali sezioni potrebbero anche evolvere in maniera diversa (ad es. aumento di rastremazione in una parte del fusto, diminuzione in un'altra) ma sempre in modo da garantire la funzionalità del condotto nel suo complesso.

Lo studio della forma dei condotti xilematici, e relative variazioni, nel periodo precedente al disseccamento del cimale in piante prossime alla loro altezza massima potrebbe quindi fornire interessanti spunti di ricerca per la comprensione dei meccanismi di limitazione dello sviluppo longitudinale attualmente oggetto di accesi dibattiti (Bond *et al.*, 2007).

La variazione delle dimensioni dei condotti, valutata in senso radiale, possiede invece un diverso significato (Domec e Gartner, 2002) in quanto non descrive la forma ma piuttosto la

proporzione del lume cellulare rispetto ad altre variabili perciò nell'ultimo caso si ottiene una visione complessiva delle modalità di crescita della pianta nel tempo mentre nel primo la forma dei condotti è dovuta a necessità contingenti.

Con questo studio ci si pone gli obiettivi di :

- 1) verificare l'esistenza ed il grado della rastremazione xilematica dei condotti in funzione della distanza dalla cima e del diametro del fusto e valutarne le differenze;
- 2) valutare la correttezza delle predizioni del modello WBE sugli esponenti allometrici;
- 3) osservare l'eventuale variazione della forma dei condotti durante l'ontogenesi ed in particolare negli anni precedenti il disseccamento del cimale dei soggetti analizzati;

#### **4.1.2. Materiali e metodi**

Si rimanda al Cap. 1.1, in particolare alla tabella 1, per ottenere una descrizione dettagliata delle piante esaminate, delle caratteristiche della stazione e dei metodi utilizzati per l'analisi dendrocronologica. Nel capitolo 2.1. è invece presente una dettagliata descrizione delle metodologie di laboratorio per l'ottenimento dei dati cellulari e la loro elaborazione statistica.

L'esperimento è stato condotto su 3 soggetti appartenenti a diverse specie di conifere: abete rosso (*Picea abies* Karst.), larice (*Larix decidua* Miller) e pino cembro (*Pinus cembra* L.).

Si indicano con  $\beta_D$  il coefficiente angolare della retta  $Dh$  vs  $D$  e  $\beta_L$  della retta  $Dh$  vs  $L$ .

Le intercette verranno definite  $a_D$  nel primo caso ed  $a_L$  nel secondo.

Nel caso delle serie radiali, per evitare errate interpretazioni non si parlerà di "rastremazione" ma piuttosto di "variazione dei condotti" indicando con i simboli  $(\bar{a}/a)_{RMA}$  il coefficiente angolare della retta  $Dh$  vs  $D$  (dati trasformati logaritmicamente) ed  $b_{0RMA}$  il coefficiente angolare della retta  $Dh - L$ .

Le interpolazioni sono state eseguite esclusivamente fino all'anno di morte del cimale per permettere il confronto tra rotelle della zona morta del fusto e quelle vive al momento dell'abbattimento.

#### **4.1.3. Risultati**

##### *Diametro idraulico (Dh) vs diametro (D)*

La sezione media delle tracheidi aumenta all'aumentare del diametro del fusto e la nuvola di punti che si genera graficando le coppie di valori disponibili per lo stesso anno di crescita viene

ottimamente interpolata da una funzione potenza. In tutti i soggetti analizzati il valore di  $R^2$  risulta piuttosto elevato (valori medi delle piante  $>0.89$ ) di conseguenza la retta ottenuta dalla trasformazione logaritmica dei dati grezzi presenta una significatività elevata (spesso  $p < 0.0001$ ) (appendice Va).

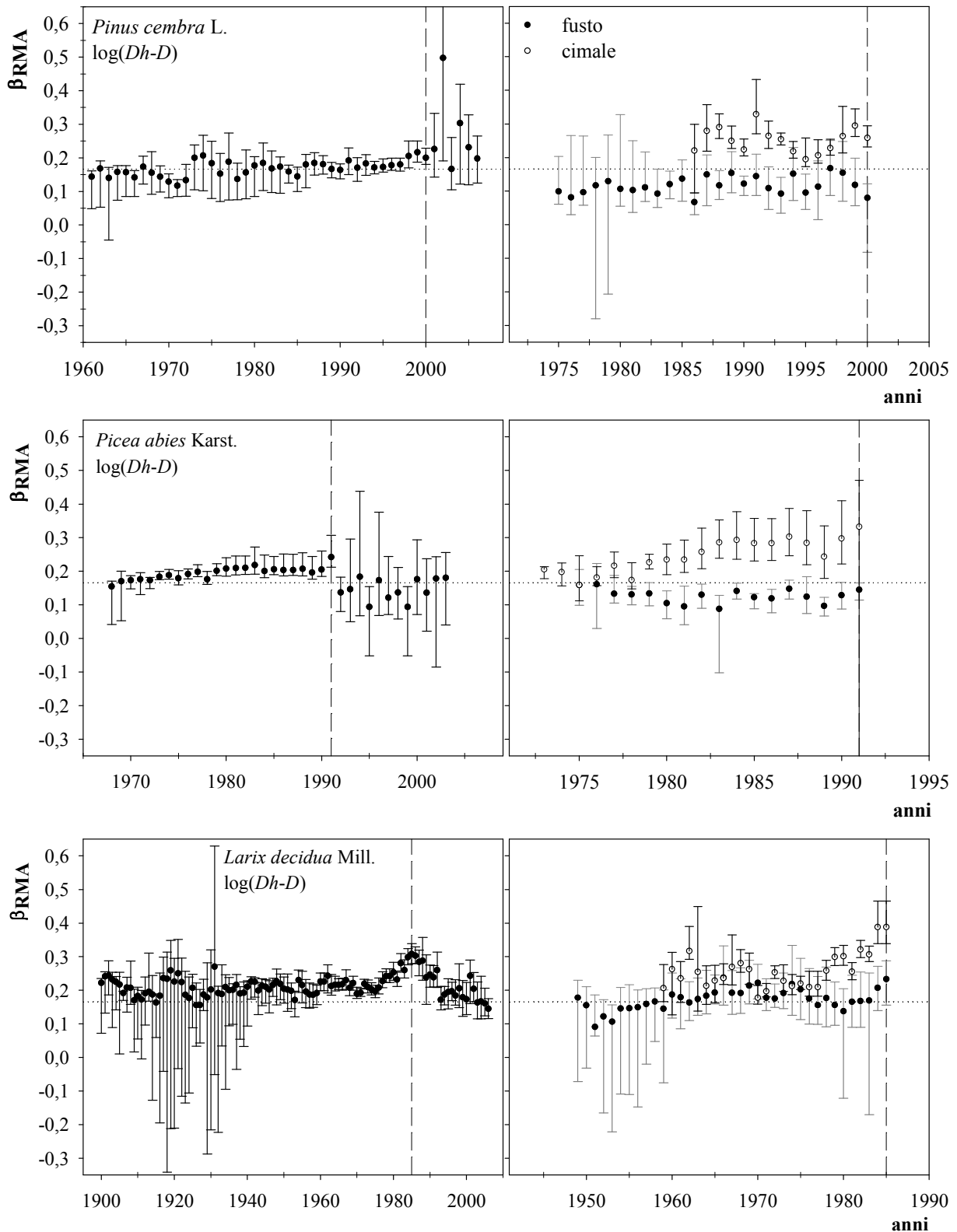
In tutti i soggetti è possibile verificare che l'intervallo in cui si colloca il valore di intercetta è piuttosto ristretto (tabella 2, figura 2b) variando da un minimo di 1.259 (abete rosso) ad un massimo di 1.470 (larice) che corrispondono a lumi cellulari di 18.5 e 29.1  $\mu\text{m}$  in presenza di diametri del fusto di 1 cm. Il larice si mantiene su valori più elevati delle altre due specie ma è anche l'individuo che manifesta una più alta variabilità tra anni di crescita (circa 10.5  $\mu\text{m}$ ), il pino cembro invece dimostra una maggior stabilità nella relazione (3.7  $\mu\text{m}$  di differenza nel periodo analizzato 1961-2000).

Il valore dell'intercetta incrementa, in larice e abete rosso, negli anni seguenti la morte del cimale mentre nel pino cembro pare mantenersi su valori stabili o leggermente inferiori ai precedenti. I limiti di confidenza risultano molto più ampi nonostante la numerosità campionaria sia, in alcuni casi, superiore a quella dei primi anni di crescita analizzati.

<b>Dh vs D</b>		<i>Picea abies</i>		<i>Pinus cembra</i>		<i>Larix decidua</i>	
		media	range	media	range	media	range
fusto intero	$\alpha_{\text{RMA}}$	1.327	1.259 - 1.370	1.337	1.303 - 1.377	1.390	1.278 - 1.470
	$\beta_{\text{RMA}}$	0.194	0.154 - 0.242	0.168	0.116 - 0.216	0.212	0.156 - 0.308
	$R^2$	0.935	0.763 - 0.994	0.894	0.715 - 0.975	0.930	0.438 - 0.998
fusto	$\alpha_{\text{RMA}}$	1.413	1.365 - 1.468	1.388	1.322 - 1.449	1.425	1.343 - 1.557
	$\beta_{\text{RMA}}$	0.127	0.087 - 0.161	0.116	0.067 - 0.168	0.173	0.090 - 0.237
	$R^2$	0.908	0.657 - 0.987	0.633	0.162 - 0.904	0.750	0.300 - 0.939
cimale	$\alpha_{\text{RMA}}$	1.301	1.202 - 1.356	1.336	1.314 - 1.36	1.365	1.289 - 1.415
	$\beta_{\text{RMA}}$	0.247	0.159 - 0.332	0.251	0.194 - 0.328	0.259	0.177 - 0.388
	$R^2$	0.732	0.023 - 0.993	0.934	0.832 - 0.982	0.938	0.817 - 0.993

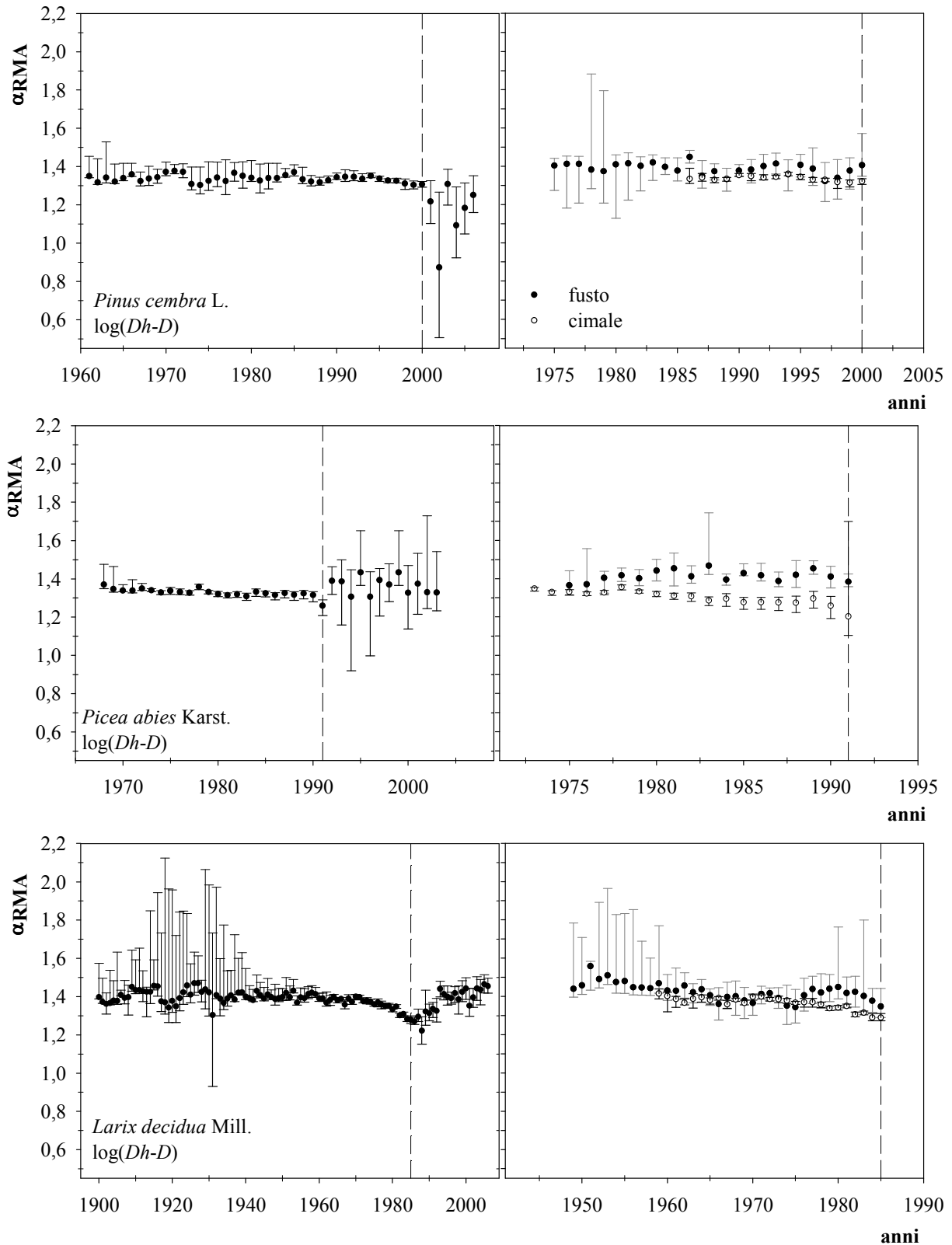
**Tabella 2.** Relazione diametro idraulico ( $Dh$ ) vs diametro del fusto ( $D$ ). Tabella riassuntiva dei parametri RMA delle rette, mediati sul periodo di riferimento (1968-1991 abete rosso; 1961-2000 pino cembro, 1900-1985 larice).

$\alpha_{\text{RMA}}$ : intercetta della retta,  $\beta_{\text{RMA}}$ : pendenza della retta,  $R^2$ : coefficiente di determinazione. *Range*: valore minimo e massimo registrato. I dati sono riferiti al periodo precedente la morte del cimale.



**Figura 2a.** Coefficiente angolare RMA ( $\beta_{RMA}$ ) della relazione diametro idraulico ( $Dh$ ) vs diametro ( $D$ ) calcolato su dati trasformati ( $\log_{10}$ ). Nei grafici di sinistra si riportano i  $\beta_{RMA}$  relativi all'intero fusto, in quelli di destra i punti disponibili sono stati suddivisi tra cimale (entro il 10% di distanza dalla cima, cerchi vuoti) e fusto (cerchi neri). I limiti di confidenza (95%) sono rappresentati dalle linee verticali. Le linee tratteggiate indicano l'anno di morte del cimale, le orizzontali il valore soglia proposto dal modello WBE.





**Figura 2b.** Intercetta RMA ( $\alpha_{RMA}$ ) della relazione diametro idraulico ( $Dh$ ) vs diametro ( $D$ ) calcolato su dati trasformati ( $\log_{10}$ ). Nei grafici di sinistra si riportano i  $\beta_{RMA}$  relativi all'intero fusto, in quelli di destra i punti disponibili sono stati suddivisi tra cimale (entro il 10% di distanza dalla cima, cerchi vuoti) e fusto (cerchi neri). I limiti di confidenza (95%) sono rappresentati dalle linee verticali. Le linee tratteggiate indicano l'anno di morte del cimale.

Nel corso degli anni il valore dell'intercetta tende a diminuire. Questo fenomeno, chiarissimo in *Larix decidua*, è invece quasi assente in *Pinus cembra*. Il larice presenta però una serie storica decisamente più lunga (dal 1900) rispetto alle altre due piante (figura 2b) che consente di apprezzare in modo migliore le variazioni di valore.

Particolarmente significativo risulta il periodo precedente la morte del cimale: in dieci anni la dimensione del lume cellulare passa da 23.6  $\mu\text{m}$  a 19.2  $\mu\text{m}$  (20% di riduzione), sempre riferendosi ad un fusto di diametro 1 cm. Altri importanti picchi negativi si osservano attorno al 1920 e al 1935 ma lo scarso numero di punti utilizzati per l'interpolazione e gli elevati limiti di confidenza suggeriscono che il fenomeno possa considerarsi trascurabile.

Distinguendo i punti afferenti al fusto propriamente detto da quelli del cimale e interpolando due distinte rette, nei modi indicati nel paragrafo 4.1.2., si ottengono valori di intercetta che differiscono significativamente nell'abete rosso mentre coincidono nel pino cembro. Il larice si trova in una condizione ibrida in quanto nel primo periodo (fino al 1975) non vi è differenza statistica nell'intercetta delle due rette mentre nel secondo si differenziano. Per l'abete rosso si possiedono dati solo dal 1975 ma l'osservazione dell'andamento delle intercette suggerirebbe un andamento simile a quello del larice.

In figura 2a e appendice Va vengono riportate le variazioni del coefficiente angolare delle rette diametro idraulico-diametro del fusto.

Analogamente a quanto visto in precedenza il larice ha il valore di coefficiente angolare medio più elevato (0.212) e l'intervallo di variazione maggiore (0.156-0.308). Considerando la totalità degli anelli studiati il  $\beta_{\text{RMA}}$  oscilla tra un minimo di 0.116 (pino cembro) ed un massimo di 0.308, si osservano quindi valori sia inferiori che superiori alla soglia di 1/6 (0.167) predetta dal modello WBE (West *et al.*, 1999).

In tutti gli alberi si evidenzia un aumento del valore dell'esponente allometrico all'avvicinarsi dell'anno di morte del cimale, ma con modalità differenti.

Il pino cembro mantiene un ritmo di incremento ridotto e costante nel tempo cosicché i limiti di confidenza si discostano dal valore soglia di 0.167 solo negli ultimi 2-3 anni (periodo 1998-2000) mentre nell'abete rosso questo avviene già dal 1975, cioè 15 anni prima del disseccamento apicale. Nel larice, analogamente a quanto visto per l'intercetta, l'aumento di rastremazione è deciso e, seppur concentrato nell'ultimo decennio, si presentava significativamente superiore al valore WBE già dai primi anni '60, circa 25 anni prima della morte del cimale.

Nel periodo successivo al disseccamento il valore del coefficiente angolare tende a riallinearsi immediatamente con il valor soglia 0.167 tranne nel larice dove, tra gli anni 1985 e 1992,  $\beta_{RMA}$  si mantiene decisamente elevato.

In quest'ultima pianta il coefficiente angolare della retta non risulta significativo in gran parte degli anni compresi tra il 1914 e il 1924, in questo periodo si osservano valori di  $\beta_{RMA}$  superiori alla media.

L'analisi ANCOVA, applicata alle coppie di  $\beta_{RMA}$  fusto-cimale afferenti allo stesso anno, indica chiaramente che nel pino cembro (1986-2000) vi è una differenza statistica in tutti gli anni considerati, eccetto nel 1998 ( $F=3.62$ ,  $p=0.068$ ). Le rette calcolate sui punti del cimale possiedono coefficienti angolari superiori a quelli del fusto (media di 0.251 verso 0.116) ed in certi casi la differenza risulta decisamente notevole come, ad esempio, nel 1993 ( $\beta_{RMA\text{fusto}}=0.092$ ,  $\beta_{RMA\text{cimale}}=0.254$   $F=43.6$ ,  $p<0.0001$ ).

In *Picea abies* si osservano due periodi in cui vi è omogeneità tra i coefficienti angolari (1975-1978 e 1988-1991), intervallati da uno in cui fusto e cimale presentano diversi gradi di rastremazione (seppure  $F$  risulta piuttosto modesto non superando il valore 11,  $p=0.002$ ).

Nel larice la rastremazione del fusto e del cimale negli 8 anni precedenti al disseccamento apicale (1978-1985) presentano esponenti allometrici statisticamente diversi, così come gli anni 1962, 1968, 1972.

Nel periodo 1978-1985 il valor medio di  $\beta_{RMA}$  del fusto è di 0.176 e del cimale 0.314.

Il fusto presenta, in tutti i soggetti, valori inferiori o non distinguibili statisticamente da 0.167, in nessun caso si è registrato un superamento di tale soglia. Diversa è la situazione nel cimale ove i  $\beta_{RMA}$  calcolati non solo sono superiori ma anche statisticamente discosti dal valore indicato dal modello WBE, almeno nei 20-25 anni precedenti la morte.

Nell'abete rosso e nel larice si osserva inoltre un chiaro aumento del valore di  $\beta_{RMA}$  nelle parti distali con l'avanzare degli anni.

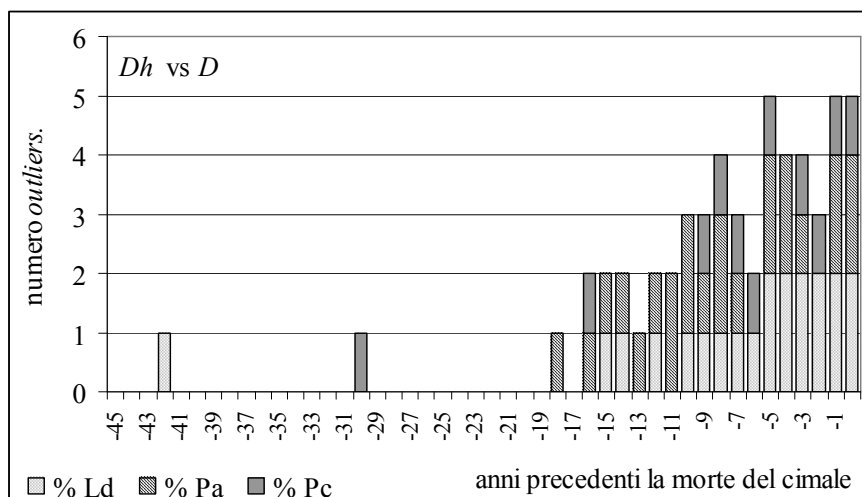
Nell'abete rosso il coefficiente di determinazione della retta ( $R^2$ ) diminuisce con il passare del tempo: le rette calcolate sui punti del fusto mostrano le peggiori interpolazioni, spesso non significative (appendice Va). Il cimale, al contrario, possiede  $R^2$  più alti ( $p<0.0001$ ) seppure nell'anno del disseccamento (1991) la nuvola di punti risulta priva di significatività ( $n=24$ ,  $F=0.51$ ,  $p=0.48$ ).

Nel pino cembro il periodo con la peggior interpolazione dei punti si concentra attorno agli anni 1975-1980 piuttosto che in quello del disseccamento. I valori di  $R^2$  del fusto risultano bassi e non significativi in molti anni, particolarmente nel 1995 e 1996 ( $n=9$ ,  $F=3.3$ ,  $p=0.112$ ) e nel

2000 ( $n=10$ ,  $F=1.5$ ,  $p=0.240$ ). Ove l'interpolazione non è valida statisticamente le tracheidi mantengono la stessa sezione lungo il fusto (es.  $32.4 \mu\text{m}$  nel 1995,  $31.1 \mu\text{m}$  nel 2000).

Nel larice si osserva una situazione analoga.

Applicando la statistica  $t$  di Student per la verifica degli *outliers* si dimostra che il numero dei punti con scarto troppo elevato dalla retta interpolatrice aumenta avvicinandosi all'anno di morte del cimale (figura 3). Si ricorda comunque che in questo periodo anche la numerosità campionaria è superiore e potrebbe esistere una relazione tra le due variabili.



**Figura 3.** Diametro idraulico ( $Dh$ ) vs diametro ( $D$ ). Numero di *outliers* rintracciati con statistica di Student.

Nel periodo 1979-1985 il diametro dei condotti nelle rotelle di base del larice (4.17 e 8.41 m) viene riconosciuto come limitante utilizzando il test di Student (lume troppo ridotto) tuttavia la maggior parte degli *outliers* viene identificato nelle parti più alte del fusto, anche nelle altre specie.

#### *Diametro idraulico ( $Dh$ ) vs distanza dalla cima ( $L$ )*

Il diametro delle cellule diminuisce avvicinandosi alla cima della pianta e, ancora una volta, la migliore interpolatrice risulta essere la funzione potenza; nei tre soggetti analizzati il coefficiente di determinazione medio è superiore al valore di 0.879.

L'intercetta delle rette, che rappresenta il diametro idraulico a 1 m dalla cima, oscilla tra un minimo di 1.341 ( $21.9 \mu\text{m}$ , pino cembro) e 1.452 ( $28.3 \mu\text{m}$ , larice), gli intervalli di variazione risultano più ristretti di quelli calcolati per le rette  $Dh$  vs  $D$ , eccezion fatta per il *Pinus cembra*

(1.341-1.428). In questa specie e nell'abete rosso si osservano intercette mediamente minori (25.2 e 24.7  $\mu\text{m}$ ) di quelle del larice (26.80  $\mu\text{m}$ ) (tab.2, appendice Vb).

Dh vs L		<i>Picea abies</i>		<i>Pinus cembra</i>		<i>Larix decidua</i>	
		media	range	media	range	media	range
fusto intero	$\alpha_{\text{RMA}}$	1.403	1.369 - 1.426	1.394	1.341 - 1.428	1.428	1.408 - 1.452
	$\beta_{\text{RMA}}$	0.173	0.155 - 0.203	0.158	0.101 - 0.216	0.245	0.156 - 0.362
	$R^2$	0.922	0.763 - 0.989	0.902	0.817 - 0.976	0.875	0.654 - 0.994
fusto	$\alpha_{\text{RMA}}$	1.477	1.437 - 1.512	1.438	1.399 - 1.475	1.485	1.410 - 1.597
	$\beta_{\text{RMA}}$	0.099	0.068 - 0.131	0.095	0.057 - 0.127	0.153	0.073 - 0.220
	$R^2$	0.881	0.581 - 0.964	0.634	0.244 - 0.952	0.663	0.268 - 0.911
cimale	$\alpha_{\text{RMA}}$	1.403	1.347 - 1.421	1.425	1.394 - 1.457	1.458	1.397 - 1.549
	$\beta_{\text{RMA}}$	0.211	0.148 - 0.318	0.250	0.188 - 0.304	0.197	0.118 - 0.257
	$R^2$	0.705	0.015 - 0.952	0.931	0.874 - 0.986	0.875	0.309 - 0.978

**Tabella 2.** Relazione diametro idraulico ( $Dh$ ) vs distanza dalla cima ( $L$ ). Tabella riassuntiva dei parametri delle rette RMA mediati sul periodo di riferimento (1968-1991 abete rosso; 1961-2000 pino cembro, 1900-1985 larice).

$\alpha_{\text{RMA}}$ : intercetta della retta,  $\beta_{\text{RMA}}$ : pendenza della retta,  $R^2$ : coefficiente di determinazione. *Range*: valore minimo e massimo registrato. I dati sono riferiti al periodo precedente la morte del cimale.

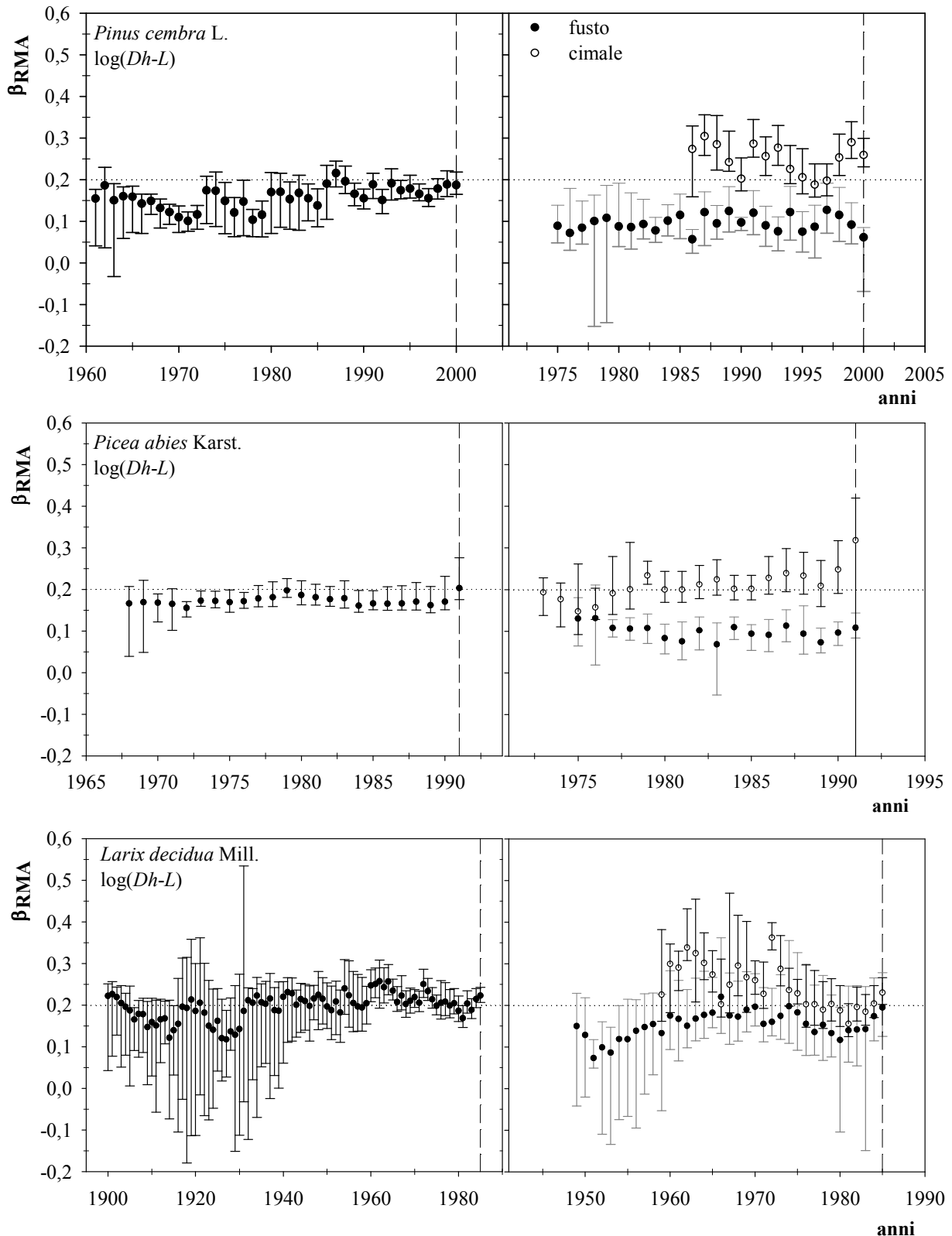
Nel corso degli anni l'intercetta si mantiene piuttosto costante, in tutti gli alberi analizzati, tuttavia, se si osserva l'andamento di fusto e cimale (figura 4b) è possibile individuare importanti differenze. I coefficienti allometrici delle funzioni interpolate sui punti distanti meno del 10% dell'altezza sono mediamente maggiori quelli del fusto.

Un'analisi più approfondita delinea però delle differenze tra le piante.

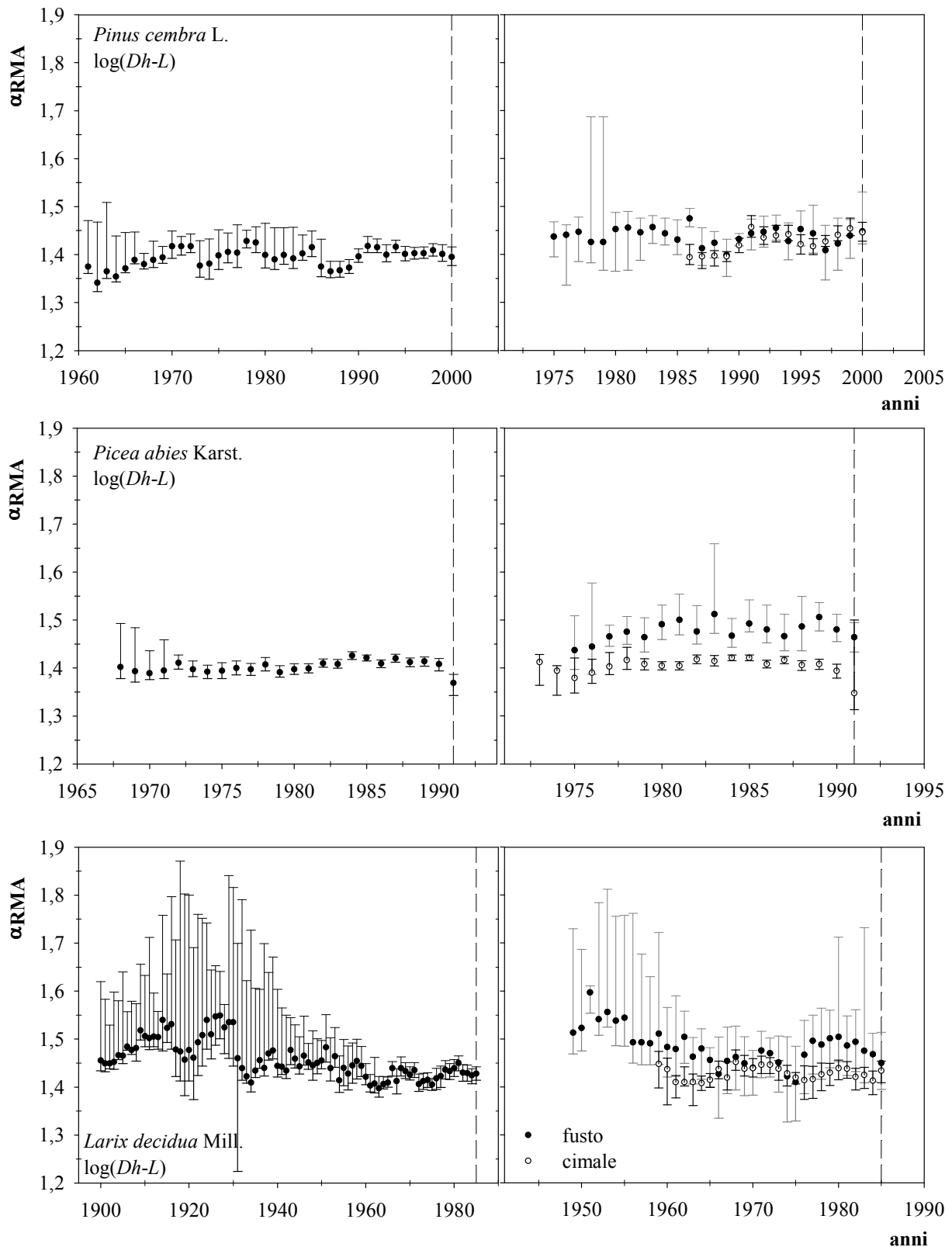
In *Pinus cembra* e *Larix decidua* i valori del fusto e del cimale sono indistinguibili mentre in *Picea abies* il diametro idraulico del fusto, calcolato ad 1 metro dalla cima, è decisamente superiore a quello del cimale e statisticamente differente da esso.

L'esponente allometrico della relazione  $Dh$  vs  $L$  si colloca tra un valore minimo di 0.101, registrato nel cembro, ed un massimo di 0.362 del larice, allineandosi quindi con il quanto previsto da Anfodillo *et al.* (2006) a seguito di correzione (0.20). Solo il larice si avvicina al valore 0.25 indicato come soglia nei primi lavori di West *et al.* (1997, 1999).

Il valore medio del periodo del coefficiente di rastremazione xilematica ( $\bar{\alpha}$ ) dovrebbe quindi risultare di 0.132 nel cembro, 0.145 nell'abete rosso e 0.206 nel larice, inferiore, nei primi due casi al valore di riferimento 0.167.



**Figura 4a.** Coefficiente angolare RMA ( $\beta_{RMA}$ ) della relazione diametro idraulico ( $Dh$ ) vs distanza dalla cima ( $L$ ) calcolato su dati trasformati ( $\log_{10}$ ). Nei grafici di sinistra si riportano i  $\beta_{RMA}$  relativi all'intero fusto, in quelli di destra i punti disponibili sono stati suddivisi tra cimale (entro il 10% di distanza dalla cima, cerchi vuoti) e fusto (cerchi neri). I limiti di confidenza (95%) sono rappresentati dalle linee verticali. Le linee tratteggiate indicano l'anno di morte del cimale, le orizzontali il valore soglia proposto dal modello WBE.



**Figura 4b.** Intercetta RMA ( $\alpha_{RMA}$ ) della relazione diametro idraulico ( $Dh$ ) vs distanza dalla cima ( $L$ ) calcolato su dati trasformati ( $\log_{10}$ ). Nei grafici di sinistra si riportano i  $\beta_{RMA}$  relativi all'intero fusto, in quelli di destra i punti disponibili sono stati suddivisi tra cimale (entro il 10% di distanza dalla cima, cerchi vuoti) e fusto (cerchi neri). I limiti di confidenza (95%) sono rappresentati dalle linee verticali. Le linee tratteggiate indicano l'anno di morte del cimale.

Nel corso dell'ontogenesi la rastremazione dei condotti dell'abete rosso appare piuttosto stabile (figura 4a); larice e cembro presentano invece lievi incrementi nel valore di  $\beta_{RMA}$  nei periodi prossimi all'anno di crisi.

L'analisi disgiunta dei punti posti nel cimale e nel fusto, seppur condotta in finestre temporali ristrette, permette di apprezzare i diversi comportamenti dei tre soggetti (appendice Vb, fig. 4a). In tutte le conifere il valore di  $\beta_{RMA}$  del fusto risulta inferiore a quello del cimale, nel pino cembro e nell'abete è particolarmente basso, in media inferiore a 0.10 (corrispondente ad  $\bar{a}$  di 0.07-0.08), nel larice tale valore è più sostenuto e mediamente di 0.153 (tab.2).

In questa pianta la rastremazione dei condotti risulta piuttosto omogenea lungo il fusto, solo nel periodo 1960-1965 e negli anni 1968, 1972, 1973 e 1975 l'analisi ANCOVA indica valori di coefficiente angolare significativamente diversi tra parti superiori e inferiori del tronco ( $0.01 < p < 0.02$ ). Tra il 1960 ed il 1965 i condotti apicali rastremano in maniera maggiore che nel periodo seguente.

Al contrario, nell'abete rosso, il coefficiente angolare del cimale tende ad aumentare di valore nel tempo cosicché risulta statisticamente diverso da quello del fusto nel periodo 1979-1988 ( $p < 0.05$ ). Nell'anno di disseccamento apicale, tuttavia, i due  $\beta_{RMA}$  sono uguali ( $F=0.66$ ,  $p=0.425$ ) a causa della totale mancanza di significatività dell'interpolazione dei punti del cimale. Nel pino cembro i  $\beta_{RMA}$  sono sempre statisticamente diversi, lungo tutto il periodo di riferimento (1986-2000).

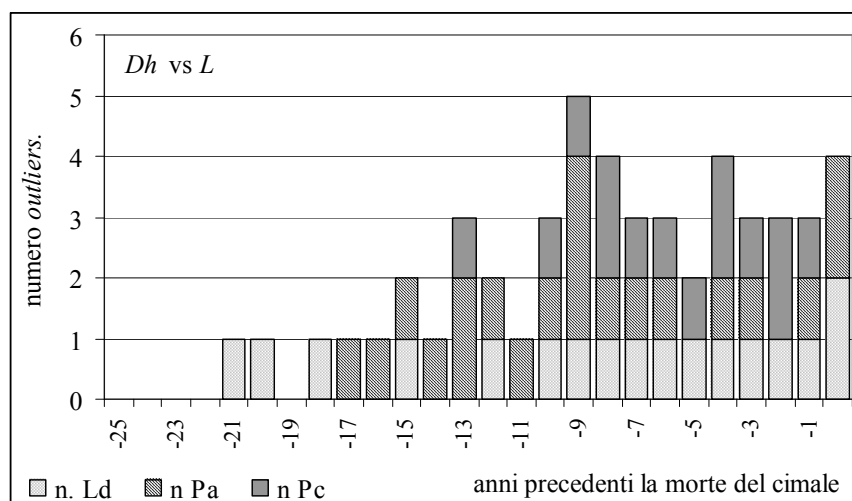
L'interpolazione dei punti dell'abete rosso risulta sempre molto buona ( $p < 0.0001$ ) quando si osserva il fusto nella sua interezza, la significatività totale è attribuita dal cimale che, escluso l'anno 1991, dimostra ottime interpolazioni. Nel fusto vi sono anni in cui il diametro delle tracheidi è costante a varie altezze (es. 1983) e quindi non esiste la possibilità di individuare una retta interpolatrice ( $n=5$ ,  $F=4.16$ ,  $p=0.13$ ).

In *Pinus cembra* è evidente la forma cilindrica delle tracheidi, almeno fino a 17 m di altezza da terra, solo nel decennio 1982-1985 e 1988-1992 anche le parti più basse del tronco si mostrano rastremate ( $p < 0.01$ ), nel cimale  $\beta_{RMA}$  è sempre altamente significativo ( $R^2 \approx 0.931$ ,  $p < 0.0001$ ).

Il periodo 1914-1938, nel larice, è caratterizzato da regressioni non significative ( $p > 0.05$ ) con  $R^2$  piuttosto bassi (fino a 0.309 nel 1929) e con ampi limiti di confidenza. L'impossibilità di calcolare, per tali anni, la rastremazione della parte più bassa del fusto impedisce di verificare la causa della mancanza di *fitting*, tuttavia i condotti nel fusto dimostrano, nel corso del tempo, una alternanza tra forma cilindrica (rette non significative) e rastremata.

Negli anni precedenti la morte del cimale  $\beta_{RMA}$  non è significativo,  $R^2$  raggiunge i minimi livelli (0.268 nel 1983) ed il lume medio del condotto è di circa 40-42  $\mu m$ .





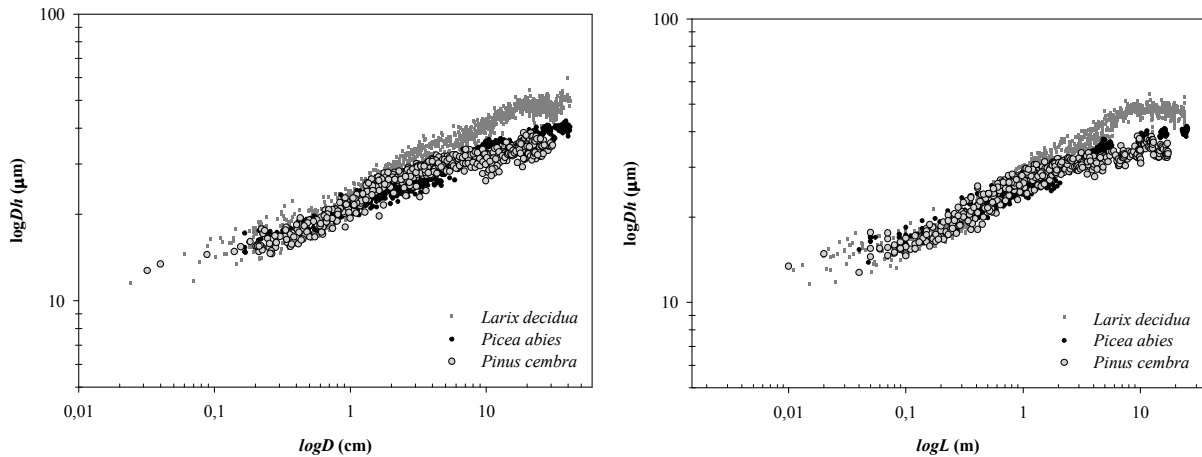
**Figura 5.** Diametro idraulico ( $Dh$ ) vs distanza dalla cima ( $L$ ). numero di *outliers* rintracciati con statistica di Student.

Analogamente a quanto visto nella relazione  $Dh$  vs  $D$ , in tutte le piante il numero di *outliers* individuati aumenta avvicinandosi all'anno di morte del cimale (figura 5). Nel pino cembro viene costantemente evidenziata la rotella posta a 3.45 m dal suolo a causa del lume ridotto delle tracheidi. Nelle altre due piante la maggior parte dei punti eliminati dalla statistica di Student sono collocati nelle parti superiori del tronco. Nel larice i  $Dh$  dell'ultima rotella (28.045 m dal suolo) sono sempre superiori a quelli attesi dalla regressione mentre la catena xilematica trova un restringimento nelle parti più basse (4.17 m). L'abete rosso presenta anch'esso significative riduzioni nel diametro idraulico delle rotelle più basse (8.8 m) ma anche in quelle del cimale (es. 32.39 m).

#### *La rastremazione in rapporto a $D$ ed $L$*

In figura 6 viene riportata la variazione del diametro idraulico in funzione del diametro del fusto e della distanza dalla cima mettendo tutti i dati dei diversi anelli insieme. Si nota immediatamente (tabella 5, Figura 7) che i tre soggetti, pur presentando valori molto simili tra loro, possiedono parametri delle rette di interpolazione statisticamente diversi (ANCOVA  $Dh$  vs  $D$ :  $n=3$ ,  $F=384.1$ ,  $p<0.0001$ ;  $Dh$  vs  $L$ :  $n=3$ ,  $F=287.1$ ,  $p<0.0001$ ).

Nella relazione  $Dh$  vs  $D$  il larice detiene un coefficiente angolare  $\beta_{RMA}$  piuttosto elevato (0.233) rispetto a quello delle altre due specie (0.171 cembro e 0.185 larice) che corrisponde ad un  $\bar{a}$  maggiore di 0.167. Con questo tipo di interpolazione si ottengono valori di esponente allometrico generalmente superiori a quelli presentati in tabella 1 ed appendice Va.



**Figura 6.** Variazione del diametro idraulico ( $Dh$ ) in funzione (a) del diametro del fusto ( $D$ ) e (b) della distanza dalla cima ( $L$ ) considerando tutte le coppie disponibili in un singolo individuo.

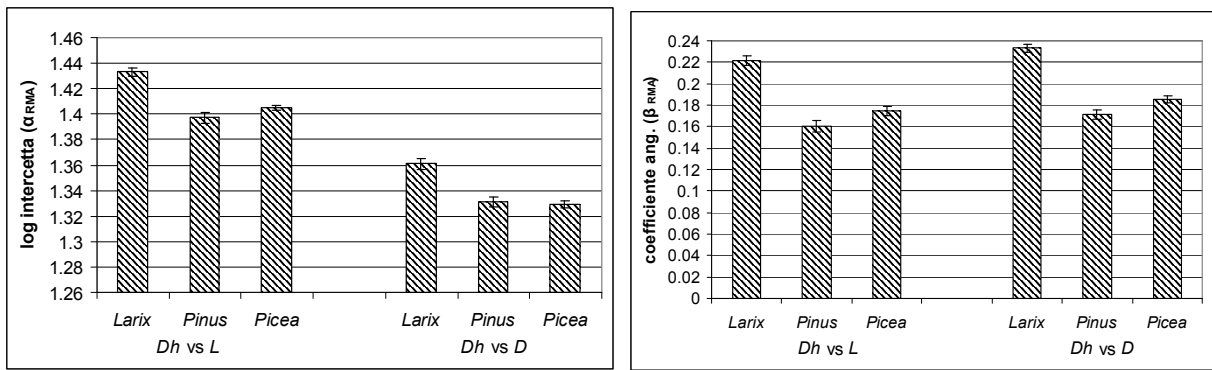
L'interpolazione dei punti è molto buona nel larice ( $F=23274.5$ ,  $p<0.0001$ ) anche a causa dell'elevata numerosità campionaria (1108) ma è possibile osservare, in corrispondenza dei diametri maggiori (fig. 6a) una insufficienza della dimensione dei  $Dh$  rispetto alla traiettoria seguita dalla retta. Questo appiattimento non è visibile nel pino cembro e nell'abete rosso che presentano un'ottima dispersione dei residui attorno al modello di regressione.

Diversa è la situazione in figura 6b: si nota chiaramente che in tutti gli individui la linearizzazione conseguita con il logaritmo di base 10 non è sufficiente ad eliminare l'andamento sigmoidale della nuvola di punti, particolarmente marcato nel larice. Si osservano infatti due tipi di criticità: nei punti più lontani dalla cima il lume cellulare tende ad essere limitante, ovvero di diametro inferiore a quello necessario per ottenere una buona interpolazione, nei punti più vicini all'apice, al contrario, il  $Dh$  tende a stabilizzarsi su valori simili e superiori a quelli attesi.

In generale però, il *fitting* risulta molto buono ( $p<0.0001$ ), con valori di  $\beta_{RMA}$  compresi tra 0.161 e 0.222 ( $0.135 < \bar{\alpha} < 0.186$ ). La soglia attesa di 0.20 viene superata solo dal larice, il pino cembro si mostra in una posizione di non ottimalità.

pianta	relazione	n	$\alpha_{RMA}$	$\beta_{RMA}$	$R^2$	$\alpha_{RMA}$ , 95% l.c.	$\beta_{RMA}$ , 95% l.c.	$R^2$ , 95%l.c.	F	p
Larix	$Dh$ vs $D$	1108	1.361	0.233	0.955	1.358 - 1.365	0.230 - 0.237	0.951 - 0.959	23274.50	<0.0001
Pinus	$Dh$ vs $D$	554	1.331	0.171	0.899	1.327 - 1.335	0.167 - 0.176	0.884 - 0.912	4897.60	<0.0001
Picea	$Dh$ vs $D$	562	1.329	0.185	0.959	1.326 - 1.332	0.182 - 0.189	0.952 - 0.964	12996.50	<0.0001
Larix	$Dh$ vs $L$	938	1.433	0.222	0.944	1.430 - 1.436	0.217 - 0.226	0.939 - 0.949	15694.50	<0.0001
Pinus	$Dh$ vs $L$	484	1.397	0.161	0.888	1.394 - 1.401	0.155 - 0.166	0.872 - 0.902	3815.93	<0.0001
Picea	$Dh$ vs $L$	510	1.405	0.174	0.939	1.403 - 1.407	0.170 - 0.179	0.931 - 0.946	7800.40	<0.0001

Tabella 3. Parametri delle rette ottenute su dati linearizzati.



**Figura 7.** Parametri delle rette RMA (10000 *bootstrap*)  $Dh$  vs  $L$  e  $Dh$  vs  $D$ .

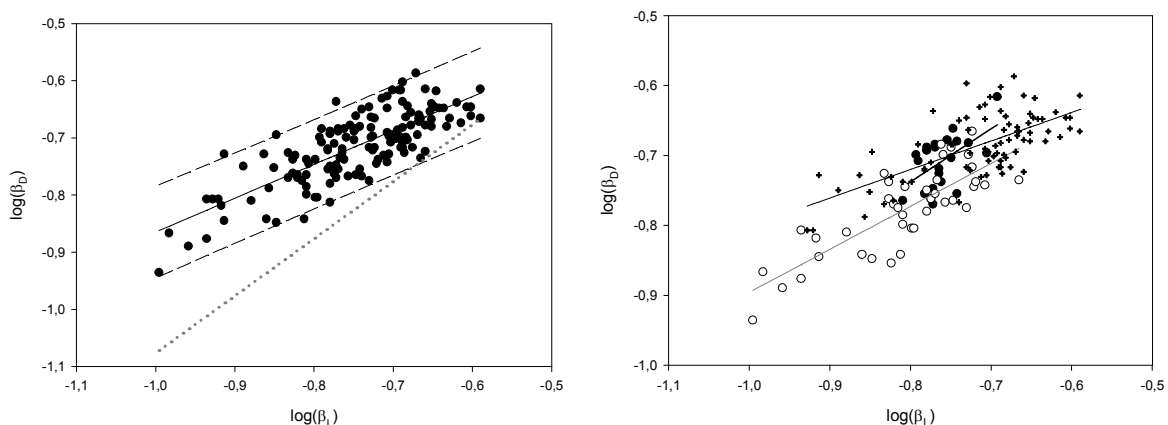
I valori calcolati sull'intera pianta non si discostano da quelli riportati in appendice Va e tab. 2.

Contrariamente alle attese i coefficienti angolari derivanti dalla relazione del diametro idraulico col diametro del fusto ( $\beta_D$ ) sono maggiori di quelli ottenuti con la distanza dalla cima ( $\beta_L$ ).

Dall'analisi delle equazioni 1. e 2. si deduce che il coefficiente angolare della retta  $\beta_D$  vs  $\beta_L$  dovrebbero essere pari a 0.839, mantenendo costante il coefficiente di rastremazione del fusto ( $2/3$ ) (inclusa la correzione sulla distanza, 0.794).

In figura 8a è possibile verificare, utilizzando l'intero *dataset*, l'esistenza di una relazione altamente significativa ( $n=143$ ,  $F=227.85$ ,  $p<0.0001$ ) tra le due pendenze, ma il valore di coefficiente angolare calcolato è pari a 0.592, quindi inferiore quello previsto.

Analizzando separatamente i diversi individui si ottengono risultati sempre significativi ma senza concordanza nel valore dei coefficienti angolari (fig. 8b).



**Figura 8.** Coefficiente angolare della retta  $Dh$  vs  $D$  ( $\beta_D$ ) in relazione al coefficiente angolare della retta  $Dh$  vs  $L$  ( $\beta_L$ ). **a)** Regressione sull'intero *dataset*. La retta punteggiata rappresenta la soglia di 0.839.  $\beta_D = -0.272 + 0.591\beta_L$ ,  $R^2=0.612$ . ; **b)** Regressioni sui singoli individui. Larice:

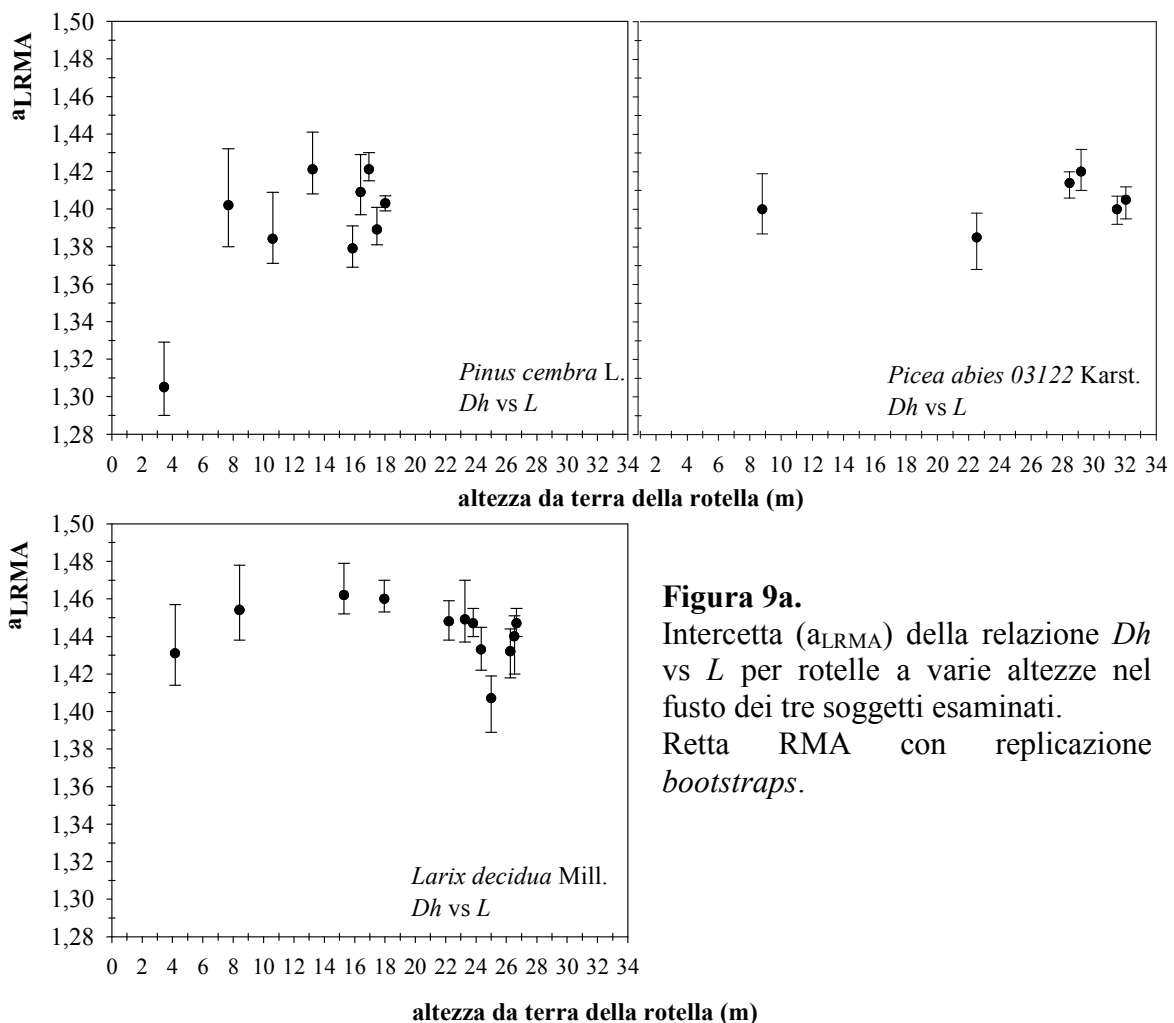
n=81,  $\beta_D = -0.394 + 0.407\beta_L$ ,  $R^2=0.450$ ; abete rosso: n=23,  $\beta_D = -0.129 + 0.761\beta_L$ ,  $R^2=0.294$ ; pino cembro: n=40,  $\beta_D = -0.281 + 0.614\beta_L$ ,  $R^2=0.649$ .

*Serie radiali di Dh*

L'intercetta della retta tra il diametro idraulico e la distanza dalla cima ( $a_{LRMA}$ ) assume, in tutti i casi esaminati, valore piuttosto simile a varie altezze dal suolo. Nel pino cembro il valor medio dell'intercetta (1.39) corrisponde ad un  $Dh$  di 24.5  $\mu\text{m}$  con un intervallo di variazione (1.30-1.42) non particolarmente ristretto (20-26  $\mu\text{m}$ ) (figura 9a, appendice Vc).

Il larice si mantiene su di un valore mediamente più elevato (1.44 ossia 27.7  $\mu\text{m}$ ) ma con un intervallo di variazione decisamente più ristretto (25.5-28.9  $\mu\text{m}$ ).

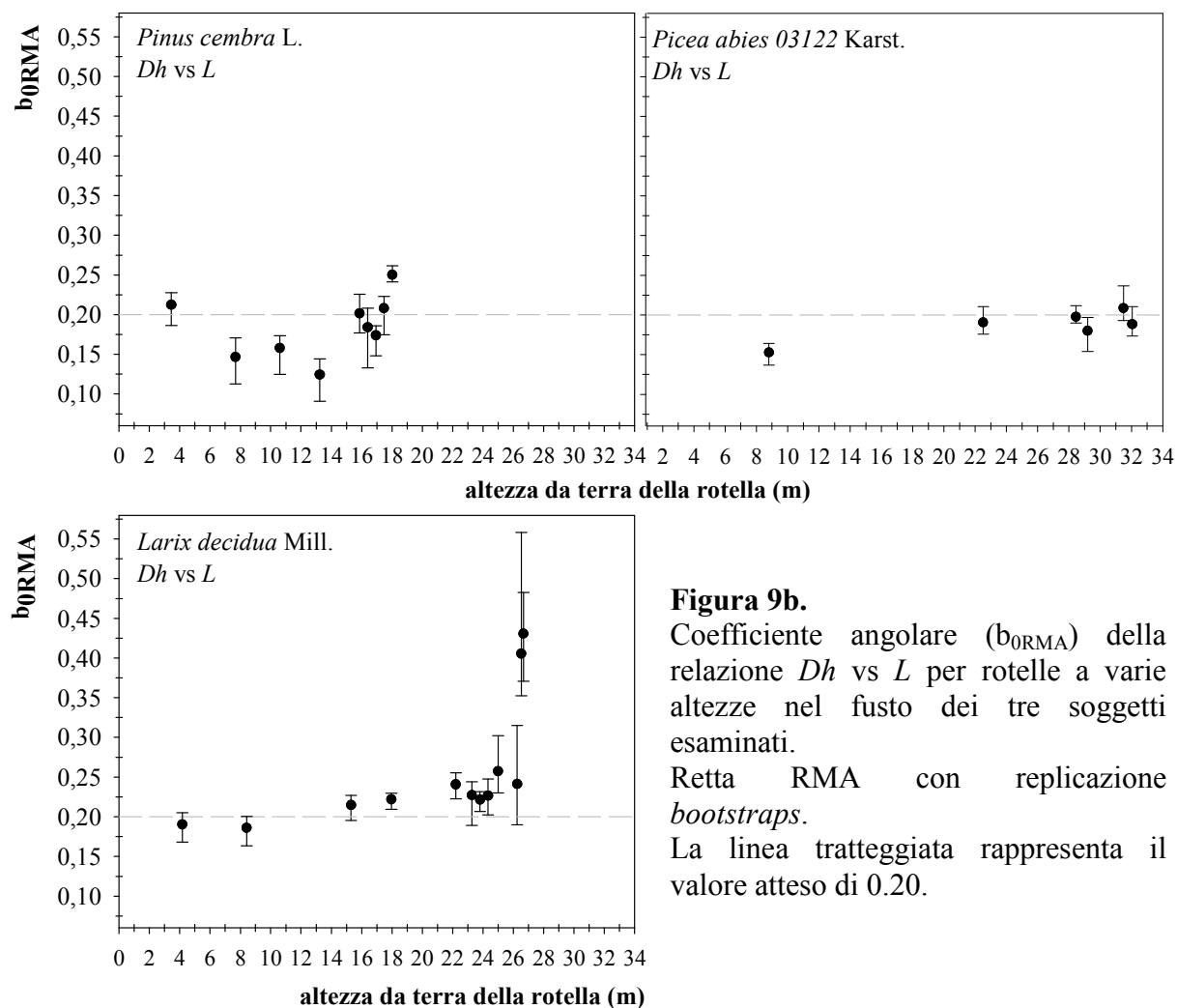
L'abete rosso 03122 presenta  $a_{LRMA}$  media di 1.40 (25.5  $\mu\text{m}$ ) che coincide con quello della rotella posta a 7.7 m di altezza nel soggetto 07001.



**Figura 9a.**  
Intercetta ( $a_{LRMA}$ ) della relazione  $Dh$  vs  $L$  per rotelle a varie altezze nel fusto dei tre soggetti esaminati.  
Retta RMA con replicazione *bootstraps*.

Il coefficiente angolare ( $b_{0RMA}$ ), al contrario, presenta variazioni decisamente più significative passando dalle rotelle poste alla base a quelle all'apice del fusto.

In tutti gli individui esaminati si assiste ad un aumento nel valore della pendenza della retta in rotelle poste nelle parti più distali (figura 9b) questo a causa della mancanza del *plateau* radiale nelle serie più corte (figura 10).



**Figura 9b.** Coefficiente angolare ( $b_{0RMA}$ ) della relazione *Dh vs L* per rotelle a varie altezze nel fusto dei tre soggetti esaminati. Retta RMA con replicazione *bootstraps*. La linea tratteggiata rappresenta il valore atteso di 0.20.

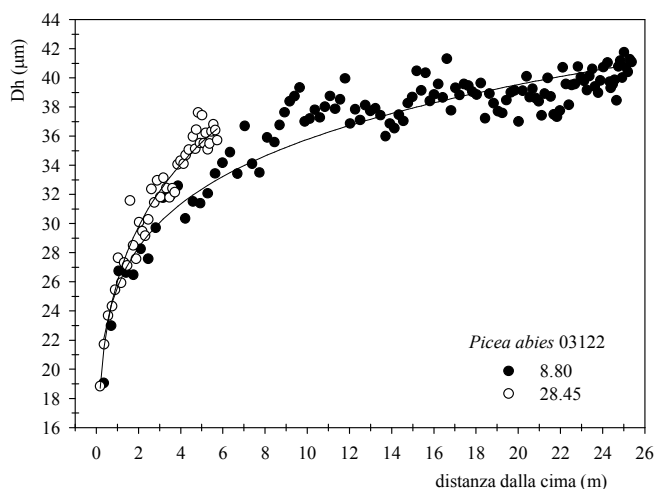
Allo stesso modo risulta interessante notare che le rotelle di età maggiore presentano un  $b_{0RMA}$  inferiore alla soglia di 0.20 (considerata la soglia minima di rastremazione longitudinale) ma la maggior parte di esse, specialmente nel larice, la superano. In quest'ultimo soggetto si giunge fino a valori di 0.43.

L'abete rosso 07001 possiede pendenza di 0.16 nell'unica rotella analizzata, valore in linea con quanto trovato per il soggetto 03122.

Quindi il valor medio del coefficiente angolare della relazione *Dh vs L* risulta di 0.18 per il pino cembro e per l'abete rosso, 0.25 per il larice.

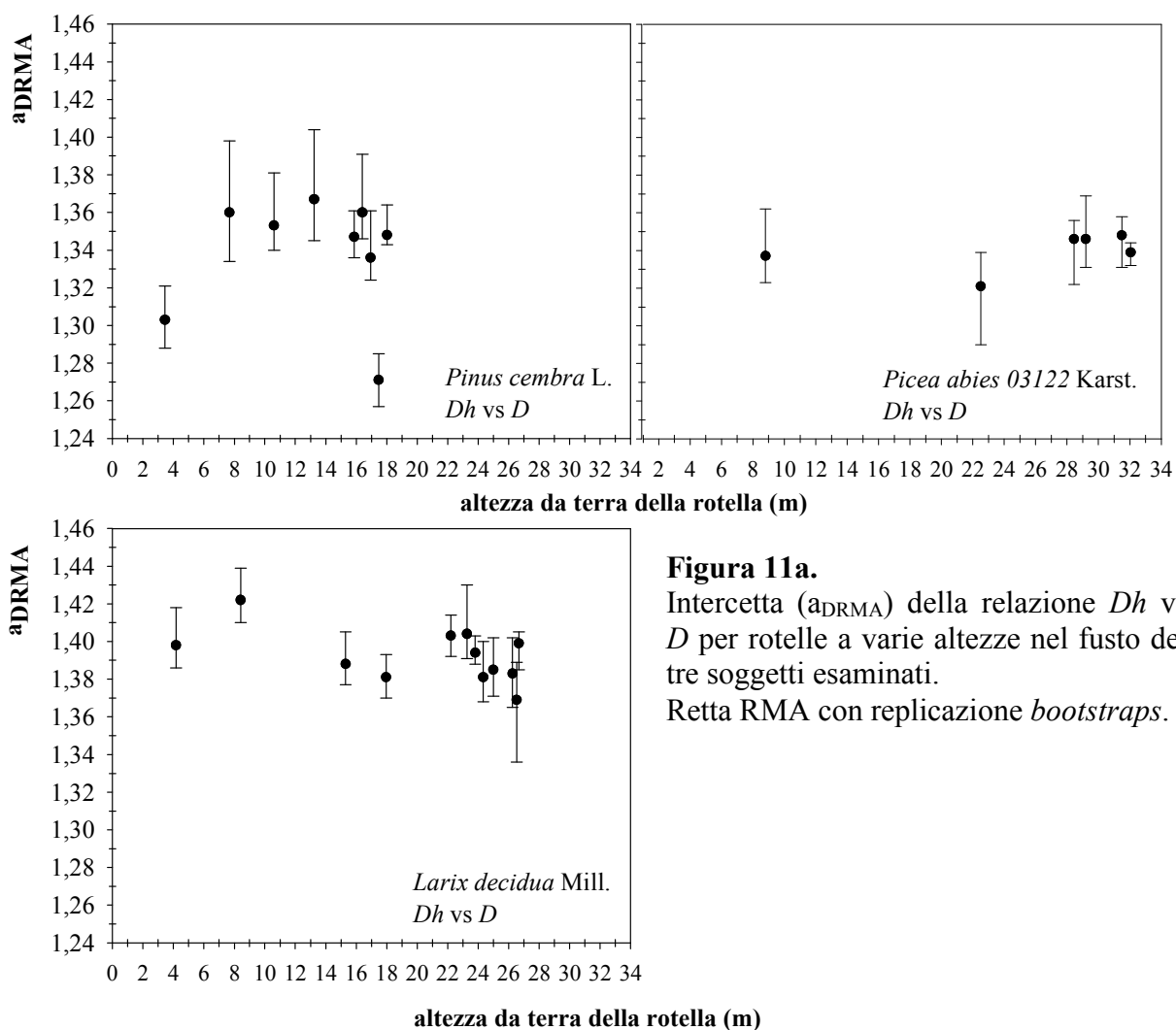
**Figura 10.**

Esempio di variazione nelle dimensioni del  $Dh$  nei confronti della distanza dalla cima a due altezze del fusto di *Picea abies*.



Il test del parallelismo delle pendenze conferma la già nota differenza statistica ( $<0.001$  in tutti i soggetti) tra i coefficienti angolari delle rotelle.

Nella retta  $Dh$  vs  $D$  l'intercetta calcolata per le varie rotelle è più dispersa attorno al valor medio.



**Figura 11a.**

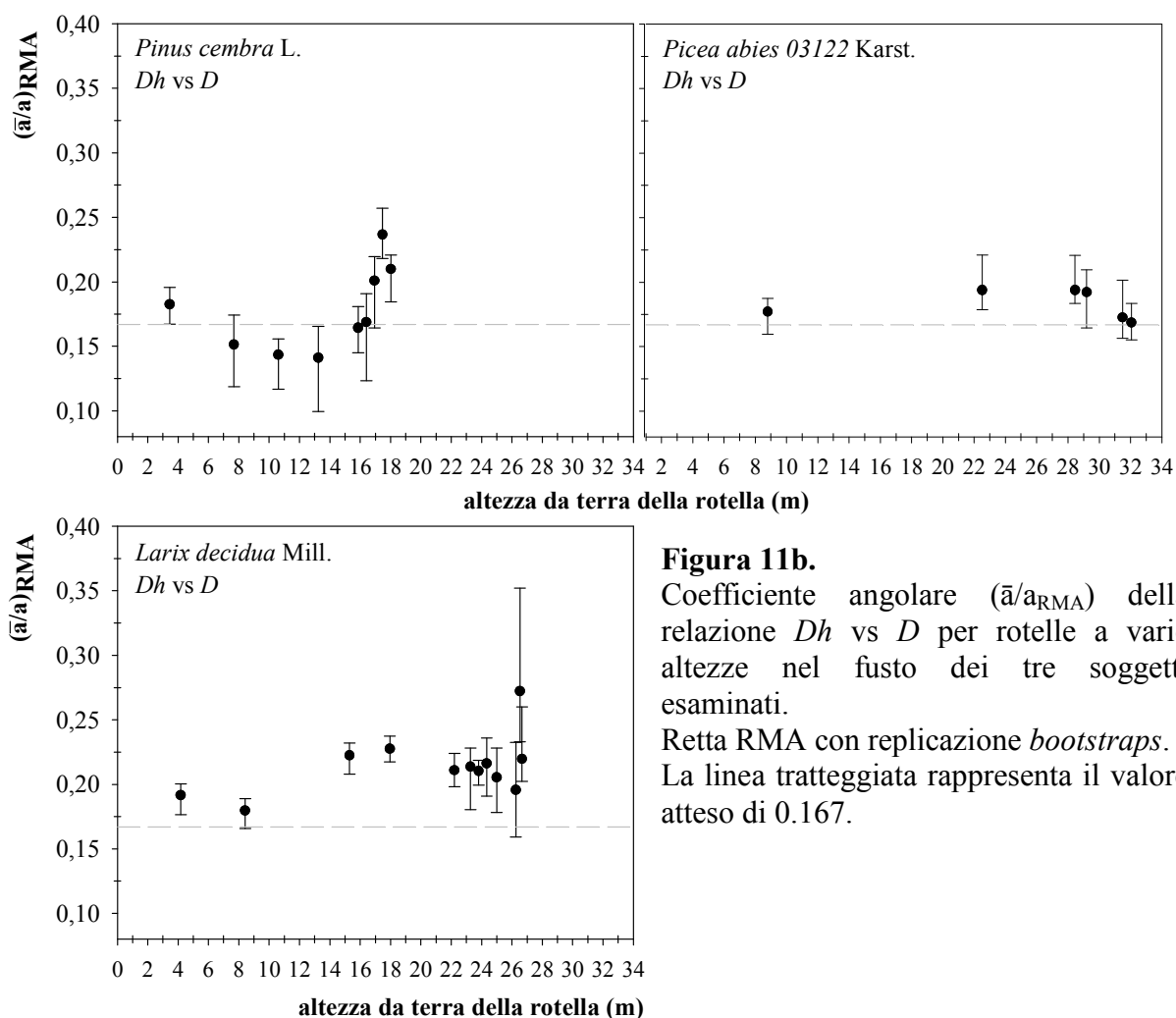
Intercetta ( $a_{DRMA}$ ) della relazione  $Dh$  vs  $D$  per rotelle a varie altezze nel fusto dei tre soggetti esaminati.

Retta RMA con replicazione *bootstraps*.

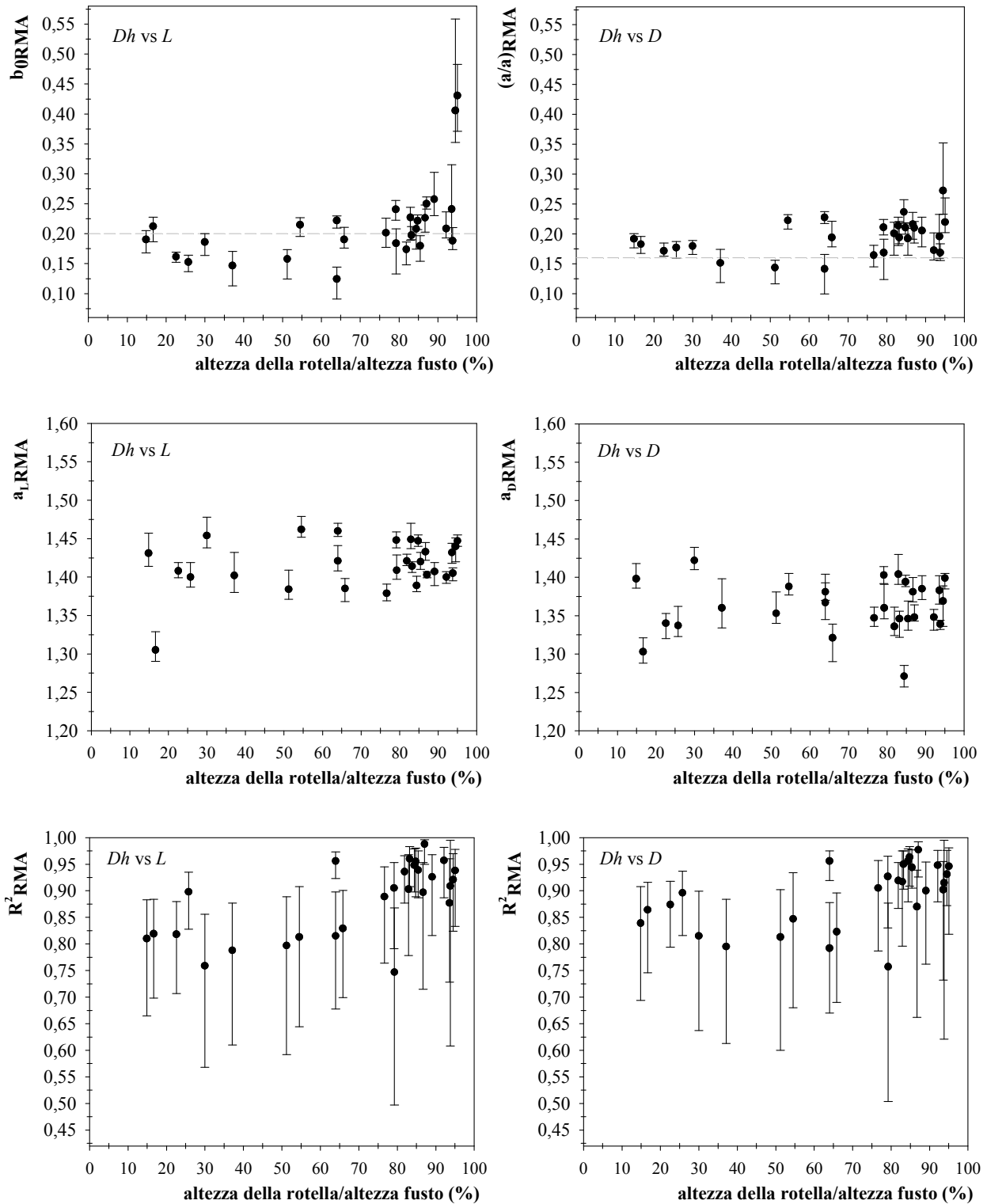
In particolare si osserva (figura 11a) che il larice possiede  $a_{DRMA}$  maggiore del pino cembro (1.39 vs 1.33) e dell'abete rosso (1.33). Larice e abete possiedono comunque intervalli di variazione piuttosto contenuti. Al contrario di quanto visto in precedenza il coefficiente angolare della relazione  $Dh$  vs  $D$  risulta quasi sempre superiore alla soglia minima suggerita per le variazioni longitudinali della forma dei condotti (West *et al.*, 1999) (figura 11b).

Nel larice, in particolar modo, tutte le rotelle possiedono un coefficiente angolare significativamente superiore a 0.167 (media 0.21). Non si osserva, a differenza del caso precedente, un chiaro aumento della pendenza della retta verso le parti superiori del fusto e non è possibile tracciare un andamento comune alle rotelle dei tre soggetti.

All'analisi ANCOVA le pendenze delle rette risultano non dissimili nel caso dell'abete ( $n=6$ ,  $F=1.41$ ,  $p=0.22$ ) mentre sono statisticamente differenti all'interno del fusto del larice ( $n=12$ ,  $F=6.90$ ,  $P<0.001$ ) e del pino cembro ( $n=9$ ,  $F=11.18$ ,  $p<0.0001$ ).



**Figura 11b.** Coefficiente angolare  $(\bar{a}/a)_{RMA}$  della relazione  $Dh$  vs  $D$  per rotelle a varie altezze nel fusto dei tre soggetti esaminati. Retta RMA con replicazione *bootstraps*. La linea tratteggiata rappresenta il valore atteso di 0.167.



**Figura 12.** Parametri delle serie radiali esaminate. Nella prima colonna (sinistra) sono riportati i parametri relativi alla relazione tra il diametro idraulico ( $Dh$ ) e la distanza dalla cima ( $L$ ), in particolare (dall'alto al basso): il coefficiente angolare della retta ( $b_{0RMA}$ ), l'intercetta ( $a_{LRMA}$ ), il coefficiente di determinazione ( $R^2$ ). Nella colonna di destra ci si riferisce alla relazione tra diametro idraulico ( $Dh$ ) e diametro del fusto ( $D$ ): coefficiente angolare della retta ( $(\bar{a}/a)_{RMA}$ ), intercetta  $a_{DRMA}$  e coefficiente di determinazione ( $R^2$ ).



La ricerca di un eventuale *trend* comune nella variazione del valore di intercetta e pendenza all'interno del fusto dei soggetti esaminati può essere effettuata valutando contemporaneamente tutte le rotelle in rapporto alla posizione relativa nel fusto (figura 12). Si osserva così che i coefficienti angolari delle rette sono più o meno simili (e prossimi alla soglia prevista) fino al 70% dell'altezza totale della pianta, dopodiché tendono ad aumentare.

Le intercette invece, sia per la retta  $Dh$  vs  $D$  che  $Dh$  vs  $L$ , si dimostrano piuttosto simili.

Le relazioni esaminate presentano buoni coefficienti di determinazione ( $R^2$ ), in tutti i casi superiori a 0.75 ma che migliorano sensibilmente nelle parti più elevate del fusto.

#### 4.1.4. Discussione

##### *Rastremazione e ontogenesi*

La riduzione del lume cellulare dalla base verso l'apice della pianta, e quindi passando da grandi a piccoli diametri del fusto, si ripete in ogni singolo anello di crescita e conferma quanto osservato in numerose ricerche (Zimmermann, 1983; Tyree e Ewers, 1991; James *et al.*, 2003; Anfodillo *et al.*, 2006; Petit *et al.*, 2008; Coomes *et al.*, 2008).

Pochissimi Autori hanno però indagato le variazioni di rastremazione xilematica occorrenti durante l'ontogenesi di un singolo individuo anche a causa del dispendio di tempo determinato dalla raccolta dati e quindi, nei pochi esempi rintracciabili in bibliografia, questa analisi viene condotta su pochi anelli di giovani soggetti. Weitz *et al.* (2006) hanno osservato un individuo di *Fraxinus americana* di 35 anni di età concludendo che le relazioni tra il diametro idraulico, la distanza dalla cima ed il diametro del fusto possono considerarsi ontogeneticamente stabili, così come proposto da West *et al.* (1999). Va però osservato che i ricercatori hanno indagato solamente quattro anni di crescita utilizzando per ogni regressione 6 valori di  $Dh$  e che nessuno, ad oggi, ha concentrato l'attenzione su piante di età elevata, giunte ormai al limite massimo dell'altezza, se non per verificare la rastremazione dell'ultimo anello di crescita (Anfodillo *et al.*, 2006).

I soggetti di questo studio presentano una età prossima ai 200 anni ed incrementi in altezza ridotti, nel periodo di tempo analizzato l'incremento longitudinale totale è stato di 2.55 m per l'abete rosso, 4.65 m per il pino cembro e 9.98 m per il larice.

Entro le finestre temporali esaminate, variabili da un minimo di 24 anni (picea) ad un massimo di 85 anni (larice), si manifesta una chiara stabilità nella rastremazione xilematica, indipendentemente dalla variabile a cui essa è collegata: la distanza dalla cima o la dimensione

del fusto. Le fluttuazioni esistono, ma nel quadro generale possono considerarsi piuttosto irrilevanti (eccezion fatta per il larice di fig. 2a). Le previsioni del modello WBE vengono solo parzialmente verificate: infatti, se è vero che nel periodo esaminato la rastremazione sembra mantenersi piuttosto costante, su valori non così dissimili da quelli attesi; a causa del tipo di campionamento adottato non è stato possibile calcolare il *tapering* negli anni in cui si è raggiunto il massimo incremento d'altezza e confrontarlo con quello di età più avanzate.

Il coefficiente di rastremazione ( $\bar{a}$ ) calcolato dalla relazione  $Dh$  vs  $L$  è inferiore al valore atteso di 0.167 nella maggior parte degli anni esaminati. Questo suggerirebbe una condizione di sub-ottimalità, come indicato da Anfodillo *et al.* (2006) concomitante con la riduzione degli incrementi di altezza.

I risultati delle indagini condotte dai succitati Autori possono essere confrontati con i valori riportati in appendice Vb e in figura 4b in quanto il materiale di base è stato prelevato in località limitrofe a quella del presente studio, anche se a quote inferiori.

Anfodillo *et al.* (2006) calcolano il valore di  $\beta_L$  per due soggetti di larice: il primo è una pianta giovane (47 anni) di altezza paragonabile al campione 06002 (27.1 m), il secondo è un individuo di notevole età e statura (302 anni, 39.9 m). I coefficienti angolari della relazione  $Dh$  vs  $L$  risultano, rispettivamente, 0.168 e 0.177 con ampi limiti di confidenza (0.138-0.211): la pianta più giovane, pur possedendo un  $\beta_L$  inferiore, dimostra un *fitting* migliore ( $R^2=0.96$ ) rispetto all'individuo più vecchio ( $R^2=0.86$ ). In quest'ultimo le zone del fusto più lontane dalla cima formano  $Dh$  piccoli che conferiscono alla nuvola di punti il tipico aspetto sigmoide, riscontrato anche in questo studio (fig.6b).

I valori di rastremazione bibliografici, relativi a soggetti che hanno già estrinsecato le loro massime potenzialità di accrescimento, sono per la gran parte sovrapponibili a quelli registrati nel larice nel periodo 1900-1985 (appendice Vb) e spesso di valore inferiore.

Nello stesso articolo sono stati calcolati  $\beta_D$  statisticamente diversi tra i due soggetti (0.158 vs 0.274) ma non dissimili dai risultati riportati in appendice Va. Gli esponenti allometrici della relazione  $Dh$  vs  $D$  risultano piuttosto sostenuti ed aderenti a quelli della seconda pianta, questo potrebbe indicare una somiglianza tra la forma del fusto del larice esaminato (età convenzionale 177 anni e altezza di 28.06 m) e quella della pianta di 302 anni.

L'abete rosso 03122 (174 anni e 34.18 m di altezza) può essere confrontato con un individuo della stessa specie dell'età di 198 anni alto 44.4 m. I coefficienti angolari della retta  $Dh$  vs  $L$  calcolati in questo studio (0.173, media del periodo 1968-1991) sono perfettamente compatibili con il valore 0.195 presentato da Anfodillo *et al.* (2006).

Il  $\beta_D$  di tabella 1 (0.194) non risulta statisticamente diverso da 0.228, seppure inferiore.

Coomes *et al.* (2007) in abeti rossi svedesi di altezza massima di 10 m hanno calcolato, per la relazione  $Dh$  vs  $L$ , un  $\beta_{RMA}$  pari a 0.16, derivante dalla media di valori non distinguibili statisticamente da 0.20, ed un  $\beta_{RMA}$  di 0.26 per la relazione  $Dh$  vs  $D$  (valore molto superiore a 0.167).

Non sono rintracciabili, in bibliografia, indagini condotte sull'anatomia xilematica di *Pinus cembra* L., si dispone solo di dati afferenti a piccoli (0.92-2.70 m) e giovani (25-40 anni) individui di *treeline* (Petit, 2008), che formano condotti con rastremazioni mediamente superiori a quelle calcolate per il campione 06001 sia per  $\beta_L$  (0.156-0.259) che per  $\beta_D$  (0.194-0.403).

Nei lavori scientifici esaminati, a dispetto delle differenze ambientali e genetiche degli individui, i campi di variazione dei coefficienti angolari si rivelano simili: è quindi lecito ipotizzare che le relazioni allometriche di questo tipo siano estremamente stabili e probabilmente indipendenti dalla specie (West *et al.*, 1999) e dal sito, come suggerito da Coomes *et al.* (2007) che hanno analizzato piante appartenenti a diversi gradienti altitudinali e di fertilità.

Questo lavoro conferma, quindi, le previsioni del modello WBE per quanto riguarda l'esponente allometrico della funzione  $Dh$  vs  $D$  ( $> 0.167$ ) mentre nel caso di  $Dh$  vs  $L$  si osservano valori inferiori, anche se non sempre statisticamente diversi da 0.20.

Coomes *et al.* (2007) suggeriscono che le conifere potrebbero presentare, a causa della spiccata dominanza apicale, valori ottimali di  $\beta_L < 0.20$  dato che l'esponente di scala necessario al buon funzionamento del sistema potrebbe variare con il tipo di ramificazione (Weitz *et al.*, 2006).

In quest'ultimo caso grande rilievo potrebbe avere la forma del fusto, e quindi l'incremento di altezza, che potrebbe modificare le previsioni di West *et al.* (1999) il cui modello considera piante sempre in massimo accrescimento che di fatto, mantengono un tasso di accrescimento senza alcuna limitazione, cosa che non avviene in realtà.

Lungo una serie radiale, le cellule continuano ad aumentare di dimensione fino a quando non raggiungono quella massima possibile (Spicer e Gartner, 2001; James *et al.*, 2003): a causa dell'evidente riduzione dell'incremento di altezza annuo (a quote elevate delle Alpi dopo i 100-110 anni) se ne deduce che nel corso degli anni, ampi  $Dh$  andrebbero a trovarsi in posizioni sempre più vicine all'apice.

Questo risulterebbe in una diminuzione della rastremazione dei condotti, considerando la relazione  $Dh$  vs  $L$ , e nella stabilità dell'esponente allometrico della relazione  $Dh$  vs  $D$  in quanto il diametro del fusto aumenterebbe concordemente al diametro idraulico.

La trasformazione logaritmica dei dati e l'interpolazione mediante una retta non appare particolarmente indicata per le conifere che sembrano meglio descritte da una funzione cubica

piuttosto che da una lineare (Coomes *et al.*, 2007). La “sigmoide” individuata in questo studio potrebbe derivare dal raggiungimento, alla base del fusto, del massimo diametro idraulico (Anfodillo *et al.*, 2006; Coomes *et al.*, 2007) o essere dovuta a costrizioni meccaniche o all’ispessimento delle pareti cellulari necessario per aumentarne la capacità di supporto (Spicer e Gartner, 2001). Anche il flusso di linfa, all’aumentare della dimensione della pianta, sembra mostrare un modello di tipo sigmoidale, piuttosto che esponenziale (Meinzer *et al.*, 2005) e potrebbe derivare dalla dimensione dei vasi nelle varie parti della pianta (Sperry *et al.*, 2008).

Valori di  $\beta_L$  inferiori a quelli di  $\beta_D$  sono stati osservati anche in esperimenti condotti su angiosperme (Petit *et al.*, 2008) e questo potrebbe far sorgere delle perplessità riguardo alle equazioni 1 e 2.

Infatti, secondo quanto previsto dal modello WBE, alla formazione del valore dell’esponente allometrico della relazione  $Dh$  vs  $L$  concorrono il coefficiente di rastremazione ( $\bar{a}$ ), il coefficiente di mantenimento dell’area trasversale ( $a$ ) ed il coefficiente di rastremazione del fusto ( $\alpha$ ). Per ottenere esponenti di valore pari o superiore a 0.25 (0.20 corretto) il coefficiente di rastremazione del fusto ( $\alpha$ ) dovrebbe rimanere inferiore a 1 (cioè  $2/3$ ).

Le piante esaminate presentano tutte  $\alpha > 1$  (Cap. 1.2) e questo potrebbe contribuire alla parziale spiegazione di valori di  $\beta_L$  così ridotti rispetto a  $\beta_D$ .

Va inoltre rilevato che, in analisi di questo tipo, è sempre molto difficoltoso giungere alla determinazione certa dell’altezza raggiunta dalla pianta nei singoli anni e questo potrebbe spiegare anche le discrepanze riportate in figura 8.

Gli esponenti allometrici, calcolati per i diversi anni di crescita in piante di specie diverse, risultano molto spesso non distinguibili statisticamente. Tuttavia, quando si vada a considerare i *dataset* completi (fig.6a,b), derivanti dall’insieme di tutti i punti registrati in un singolo soggetto, i coefficienti angolari ottenuti non sono più confrontabili. Ogni individuo, oltre che ogni specie, potrebbe quindi evidenziare un valore proprio di rastremazione xilematica, riassuntivo di tutte le variazioni avvenute nel corso dell’esistenza.

### *Forma dei condotti e disseccamento del cimale*

Dalle figure 2 e 4 appare evidente che la variazione del lume cellulare, a seguito di trasformazione logaritmica, non può essere descritta da un’unica retta, come ipotizzato da West *et al.* (1999). Questo risultato potrebbe avere forti implicazioni nella teoria della minimizzazione

della resistenza contribuendo a spiegare, almeno in parte, la limitazione dell'altezza nelle piante vascolari.

La rastremazione dei condotti nella parte afferente al cimale (10% dell'altezza) risulta maggiore di quella della parte inferiore sia nella relazione con il diametro del fusto che con la distanza dalla cima.

Nella maggior parte del fusto la dimensione dei vasi si rivela piuttosto costante con rastremazione quasi nulla o non significativa, come osservato da altri Autori sia in latifoglie (Becker *et al.*, 2003; James *et al.*, 2003, Petit *et al.*, 2008) che in conifere (Anfodillo *et al.*, 2006; Coomes *et al.*, 2007). Questo può essere imputato al graduale aumento di dimensione del lume cellulare che tende a raggiungere le dimensioni massime consentite dalle caratteristiche genetiche della specie compatibilmente con i fattori ambientali limitanti propri della stazione colonizzata.

L'aumento del lume cellulare potrebbe derivare dalla riduzione dell'effetto ormonale esercitato dall'auxina (Aloni, 2004; Lovisolo *et al.*, 2002) il cui centro di produzione verrebbe a trovarsi, nel corso della crescita, in posizione sempre più lontana dalla base oppure potrebbe riflettere gli effetti dell'età cambiale (Spicer e Gartner, 2001).

In piante a portamento monopodiale, quali le conifere, la dominanza apicale potrebbe avere una importanza fondamentale nel mantenere un determinato grado di rastremazione: è infatti stato dimostrato che in latifoglie a portamento simpodiale i rami laterali tendono ad aumentare le dimensioni dei condotti apicali (Petit *et al.*, 2008).

In soggetti di piccola mole, ove l'effetto dell'auxina è avvertito fin nelle parti più basse del fusto, è possibile aspettarsi profili più uniformi, così come ipotizzato da West *et al.* (1997, 1999) e riscontrato da Weitz *et al.* (2006), Anfodillo *et al.* (2006), mentre in individui di dimensioni più cospicue la forma del condotto xilematico potrebbe essere molto diversa.

Le finestre temporali indagate in questo studio si collocano nel periodo precedente il disseccamento del cimale, quando la pianta, già da numerosi anni, presentava alla base del fusto i massimi valori di  $Dh$  consentiti dalla stazione ed incrementi longitudinali annui in riduzione o minimi. In queste condizioni si può ipotizzare che un restringimento del lume cellulare nelle parti inferiori del tronco, dovuto ad anomalie di temperatura, precipitazione o altre variabili climatiche, possa influenzare pesantemente tutta la colonna xilematica e portare ad aumenti di resistenza non sostenibili da parte della pianta che si vedrebbe costretta ad abbandonare (ossia lasciar disseccare) gli organi più distali.

Il disseccamento delle parti più lontane della chioma è infatti un evento piuttosto comune e riportato spesso come la diretta conseguenza della cavitazione dei vasi a seguito di siccità

prolungate (Lu *et al.*, 1996; Rice *et al.*, 2004; Corcuera *et al.*, 2004): una pianta che abbia raggiunto la massima altezza potrebbe essere soggetta a forti stress idrici delle parti apicali (Koch *et al.*, 2004) se sprovvista di adeguati meccanismi di compensazione che mantengano la resistenza idraulica sotto i valori massimi, geneticamente tollerabili, di potenziale idrico.

Da una ipotesi di questo tipo ci si aspetterebbe, negli anni prossimi alla morte del cimale, una diminuzione nel valore di rastremazione dei condotti dovuta principalmente alla presenza di lumi cellulari troppo ridotti alla base della pianta.

Tuttavia dall'analisi degli *outliers*, condotta nei periodi in esame, si evince che la riduzione del  $Dh$  di base non è l'unico fattore limitante la rastremazione: concomitantemente si osserva il fenomeno opposto, ossia la presenza, nelle parti più distali, di tracheidi molto larghe.

I valori anomali di  $Dh$  compaiono a qualche lustro di distanza dal disseccamento del cimale e si intensificano negli anni immediatamente precedenti, nonostante le piante abbiano già raggiunto da tempo i massimi valori di diametro idraulico di base: si deve perciò supporre un cambiamento della forma dei condotti molto più radicale, limitato all'ultimo periodo di crescita.

Se si accetta l'ipotesi che il disseccamento della cima sia dovuto ad un aumento di resistenza idraulica, a sua volta dovuta al peggioramento della forma del condotto, è ragionevole ipotizzare tre diverse "azioni" che la pianta dovrebbe attuare durante l'ontogenesi per limitare i costi di trasporto.

- 1) Aumentare la rastremazione dei condotti, in modo che il rapporto tra  $Dh$  dei diversi livelli resti costante lungo il fusto. Questa possibilità potrebbe esistere solo nel caso di piante giovani che non abbiano raggiunto il *plateau* radiale del lume cellulare.
- 2) Nel caso di piante di notevoli dimensioni ed età, che non possano più allargare i condotti di base la minimizzazione della resistenza potrebbe essere ottenuta rastremando solo nella parte superiore del fusto. Una iper-rastremazione apicale potrebbe in realtà spiegare l'effetto opposto e non essere sostenibile nel lungo periodo ( $Dh$  apicali piccolissimi con altissime resistenze).
- 3) Mantenere un certo grado di rastremazione lungo il fusto ed aumentare il lume delle tracheidi apicali. Questa azione, pur abbattendo notevolmente i costi di trasporto produrrebbe enormi problemi di cavitazione.

Entrambe le ultime azioni prevedono un cambiamento nella dimensione dei  $Dh$  apicali, già prospettate da altri Autori (Petit *et al.*, 2008) ma contrarie agli assunti del WBE *model* (West *et al.*, 1999) che ipotizzano elementi apicali di dimensione costante rispetto al tempo e alle dimensioni dell'albero. Se si considerano invece le intercette delle serie radiali si osserva una omogeneità molto più spiccata.

Va poi ricordato che la rastremazione riduce la dipendenza della conduttanza idraulica dall'altezza, ma non è in grado di eliminarla totalmente (Sperry *et al.*, 2008).

La relazione tra il diametro idraulico ed il diametro del fusto (figura 3b) interpreta piuttosto bene la seconda ipotesi: la rastremazione dei condotti, al contrario delle attese (Anfodillo *et al.*, 2006) tende ad aumentare negli anni precedenti il disseccamento del cimale.

In particolare la rastremazione della parte basale resta costante nel tempo mentre si intensifica il grado di variazione del  $Dh$  negli ultimi metri di fusto, scostandosi sempre più, dal punto di vista statistico, dal valore soglia di 0.167.

Il *trend* osservato nel coefficiente angolare del fusto intero deriva, quindi, dalla sola rastremazione del cimale: i massimi valori di  $\beta_D$  raggiunti si attestano, per tutte le specie, attorno a 0.300. La rastremazione di fusto e cimale diviene significativamente diversa 8-14 anni prima della morte dell'apice e si può quindi supporre che precedentemente i due coefficienti angolari, seppur diversi, non lo fossero statisticamente.

Questo potrebbe suggerire che, a parità del grado di rastremazione, la minimizzazione della resistenza idraulica sia più efficientemente conseguita se deriva da un profilo perfettamente interpolato da una potenza piuttosto che da uno molto rastremato solo nel tratto apicale e quasi cilindrico nella parte rimanente.

La pianta, raggiungendo il minimo grado di rastremazione potrebbe quindi ottenere la condizione di minimizzazione del volume di fluido trasportato ossia la condizione che garantisce la massima efficienza in una rete distributiva (modello BMR, Banavar *et al.*, 1999; 2002)

La situazione risulta diversa se si considera la relazione tra il diametro idraulico e la distanza dalla cima: qui non è possibile avanzare le ipotesi viste in precedenza.

Se in *Pinus cembra* e *Picea abies* si osserva una chiara differenziazione della rastremazione tra fusto e cimale lo stesso non si può dire per il larice che, al contrario, sembra formare catene xilematiche più uniformi negli anni precedenti il disseccamento.

Nel cimale, contrariamente a quanto già visto, si osserva una diminuzione di rastremazione dovuta anche all'aumento delle dimensioni dei condotti all'apice; un maggior lume delle tracheidi apicali si evidenzia anche nell'anno 1991 nell'abete rosso. Da questo potrebbero innescarsi pericolosi fenomeni cavitativi che avrebbero come conseguenza la morte del cimale.

L'aumento del diametro delle cellule all'apice potrebbe però essere inatteso in quanto ridotti potenziali idrici nei rametti terminali dovrebbero causare un declino nel turgore cellulare e portare a distensioni ridotte (Koch *et al.*, 2004).

Il tratto terminale del fusto è infatti, una zona particolarmente sensibile della pianta, costretta a sopportare elevati stress idrici, in perenne equilibrio tra la necessità di un trasporto efficace ma protetto da embolismi (Sperry *et al.*, 2008) innescati anche in altri punti sensibili della pianta, quali le radici (Davis *et al.*, 2002) .

Tutte le conifere analizzate presentavano solo il cimale disseccato, con l'esclusione dei rami laterali, questo potrebbe indicare che la riduzione della conduttanza idraulica, nella singola pianta, non è uguale per tutti i percorsi ma si concentra, in questo gruppo vegetale, lungo l'asse centrale, a differenza di quanto riportato per le angiosperme (Davis *et al.*, 2002) dove i disseccamenti appaiono sparsi nella chioma.

La morte del cimale potrebbe agire come fattore di "salvataggio" per altre parti della chioma, migliorando lo stato idrico del fogliame rimanente (Tyree and Sperry, 1988; Rood *et al.*, 2000), riducendo la traspirazione e conservando così una sufficiente quantità d'acqua nel fusto (Davis *et al.*, 2002).

Le piante di questo studio sembrerebbero adottare un meccanismo simile per contrastare l'aumento di resistenza idraulica nelle parti superiori del fusto.

La forma sempre più cilindrica dei vasi potrebbe essere vista come un espediente, oltre che per ridurre la resistenza idraulica, per immagazzinare la maggior quantità di acqua possibile da distribuire alle foglie, sebbene solo il 10-30% della quantità assoluta di liquido derivante dalla capacità idraulica dello xilema venga giornalmente traspirato (Goldstein *et al.*, 1997).

Specie con elevate quantità di acqua immagazzinata nel fusto si sono dimostrate più efficienti nel trasporto della linfa a lunga distanza ed in grado, almeno per moderati stress, di mantenere un potenziale idrico diurno più stabile, con alti tassi fotosintetici (Stratton *et al.*, 2000).

#### **4.1.5. Conclusioni**

Questo studio rappresenta un tentativo di indagine sui rapporti causa-effetto che potrebbero legare i cambiamenti di forma della catena ideale di condotti xilematici, registrabili durante l'ontogenesi di conifere di alta quota, con i fenomeni di disseccamento apicale: la rastremazione è quindi intesa come un meccanismo di compensazione messo in atto dalle piante per ridurre l'aumento di resistenza idraulica.

In questo lavoro si dimostra chiaramente che, in alberi prossimi alla massima altezza, le catene xilematiche non variano mantenendo un rapporto costante dei diametri ai vari livelli ma piuttosto il profilo dei condotti presenta un punto di discontinuità tra le parti superiori ed inferiori del fusto. La rastremazione del cimale sembra rivestire una importanza strategica nel



garantire la regolazione della resistenza ed è soggetta ad ampie variazioni annuali, mentre quella del fusto si mantiene piuttosto costante nel tempo.

Per poter elaborare delle valutazioni circa lo stato di efficienza idraulica di una pianta è auspicabile considerare sia l'esponente allometrico derivante dalla relazione  $Dh$  vs  $L$  che quello della relazione  $Dh$  vs  $D$ : se considerati singolarmente possono indurre a ragionamenti fuorvianti a causa del diverso andamento temporale, inoltre la seconda relazione potrebbe rivelarsi più solida a causa della minor incertezza ottenuta nella misurazione del  $D$  rispetto ad  $L$ .

I cambiamenti nella forma dei condotti, pur presentando tratti simili tra le tre piante, risultano comunque non chiari e difficilmente collegabili al disseccamento del cimale.

La presente indagine ha il pregio di essere una analisi diacronica relativa alle variazioni di rastremazione verificatesi durante l'ontogenesi di singoli individui. Si evitano così gli errori di fondo associati alle indagini sincroniche che confrontano soggetti della stessa specie di diverse dimensioni ed età. Purtroppo, per motivi di campionamento, non è stato possibile indagare le fasi giovanili delle piante analizzate che avrebbero potuto fornire importanti informazioni sull'evoluzione ontogenetica della forma dei condotti xilematici. Si avanza infatti l'ipotesi che nel tempo l'uniformità del profilo venga persa a favore di una forma "spezzata".

L'interpretazione di questo tipo di dati risulta comunque sempre complessa, a causa degli innumerevoli fattori ambientali, biotici e genetici che agiscono sullo sviluppo dell'organismo e dei suoi organi costituenti, quali le cellule, rendendo difficile l'individuazione di modelli funzionali universali.



## 4.2. ANALISI DELLA RELAZIONE TRA IL NUMERO DI CONDOTTI ED IL DIAMETRO DEL FUSTO IN UN INDIVIDUO DI LARICE (*LARIX DECIDUA* MILL).

### Riassunto

In un soggetto di larice (*Larix decidua* Mill.) con cimale disseccato è stata analizzata la relazione tra il numero totale di cellule di una sezione trasversale del fusto ( $N_{\text{cell}}$ ) ed il relativo diametro ( $D$ ). La funzione potenza si è dimostrata un'ottima interpolatrice sia considerando le serie radiali a varie altezze del tronco, sia per le serie longitudinali relative ai diversi anni di crescita nel periodo 1943-2006.

In questo lavoro il valore dell'esponente allometrico risulta sempre inferiore a 2, cioè al valore previsto da West *et al.* (1999). Inoltre, dalle elaborazioni delle serie longitudinali, è possibile notare una diminuzione dello *scaling* in prossimità dell'anno di morte del cimale accompagnata da un concomitante aumento del valore di intercetta. Lo stesso modello si ripropone anche per le serie radiali. L'aumento della produzione di cellule osservato nelle parti superiori del fusto, potrebbe essere collegato al raggiungimento, da parte della pianta, della sua altezza massima.

*Parole chiave:* numero di cellule, diametro fusto, allometrie, WBE model

### 4.2.1. Introduzione

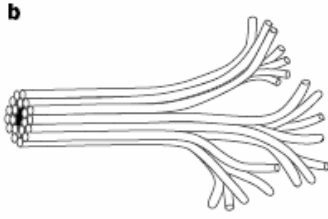
L'accrescimento, nelle piante, viene determinato in buona misura dalla capacità di trasportare la linfa dalle radici fino alle parti più distali dell'organismo, per rifornire ogni foglia.

Lo xilema, che rappresenta il tessuto deputato a tale funzione, risulta molto complesso (Comstock e Sperry, 2000) e per questo la sua struttura è stata semplificata tramite delle schematizzazioni (Shinozaki *et al.*, 1964).

Tra queste il modello WBE (West *et al.*, 1999; Enquist *et al.*, 2000) ipotizza che la struttura conducente di una pianta vascolare sia composta da una serie di tubi (cioè vasi) identici, di ugual lunghezza, che si snodano in parallelo senza interruzioni dalla base del tronco fino al picciolo fogliare.

I singoli condotti non si biforcano mai ma le diramazioni sono ugualmente possibili e vengono ottenute tramite divergenze di fasci di tubi dal principale (figura 1).

Questo tipo di idealizzazione si è resa necessaria dopo la prima formulazione del modello (West *et al.*, 1997) che era maggiormente basata sull'apparato circolatorio animale (arterie biforcate).



**Figura 1.** Rappresentazione della struttura dei condotti e delle ramificazioni secondo il modello WBE (da West *et al.*, 1999).

Lo schema strutturale adottato dal modello frattale implica che il numero di cellule iniziale, cioè quello registrabile alla base del fusto, debba forzatamente essere mantenuto anche ad altezze superiori come risultante della somma delle cellule di tutte le diramazioni appartenenti allo stesso livello gerarchico (Enquist *et al.*, 2000).

La numerosità cellulare gioca perciò un ruolo fondamentale nel lavoro di West *et al.* (1999) in quanto definisce il *branching ratio* (ossia il rapporto di diramazione) tramite la relazione:

$$n = \frac{n_{k+1}}{n_k} \quad (1)$$

In cui  $n_k$  ed  $n_{k+1}$  rappresentano, rispettivamente, il numero di condotti ad un livello K-esimo di diramazione ed in quello immediatamente successivo.

Il numero totale di vasi è considerato costante ad ogni livello di diramazione ed allo stesso modo il numero di condotti del picciolo ( $n_N$ ) è supposto invariante: risulta perciò possibile definire una seconda equazione, derivata dalla 1.

$$n_k = n_N n^{N-k} \quad (2)$$

Dove  $N$  rappresenta il numero di diramazioni, o livelli, dal tronco al picciolo.

Ricorrendo al primo principio generale del modello WBE, quello della saturazione della rete, o del *volume filling*, gli Autori sono stati in grado di elaborare una serie di leggi allometriche riguardanti diversi organi della pianta e dipendenti dalla numerosità cellulare.

In particolare si ricordano i rapporti di *scaling* tra il numero di unità terminali (rami o foglie) e il raggio del fusto ( $r$ ):

$$n_k^L = \frac{n_{k+1}}{n_k} = n^{N-k} = \left( \frac{r_k}{r_N} \right)^{2/a} \quad (3)$$

Dove il numero di foglie ( $n^L$ ) dipende dal rapporto di biforcazione, a sua volta legato al raggio del picciolo fogliare ( $r_N$ ).

Per il modello WBE il numero di condotti di un livello  $k$  può essere stimato da due diverse variabili predittive: la massa dell'albero o il raggio (diametro) del fusto/ramo.

Nel primo caso la relazione viene fatta derivare dalla constatazione che il tasso metabolico ( $B$ ) è strettamente correlato alla massa dell'individuo ( $M$ ) e, allo stesso tempo, il flusso di linfa ( $Q$ ) lo

è al tasso metabolico. Numerosi Autori hanno dimostrato che il rapporto tra  $M$  e  $B$  è interpretato da una potenza con esponente  $3/4$  (Brown *et al.*, 2000; Matteucci, 2006). Ad ogni livello il flusso di linfa viene determinato dal numero ( $n_N$ ) e dal raggio ( $r_N$ ) delle unità terminali nonché dalla velocità del liquido ( $v_N$ ) (Petit, 2008).

Kozlowski e Konarzewski (2004) suppongono inoltre che il numero di elementi terminali debba essere proporzionale alla massa del corpo. La relazione allometrica di riferimento risulta, quindi:

$$n_k \propto M^{3/4} \quad (4)$$

Nel secondo caso, già introdotto dall'equazione 3, il numero di condotti di un certo livello è legato al raggio del fusto in quel punto. Questo perché si suppone una conservazione dell'area trasversale (principio di Leonardo da Vinci) (Enquist, 2002) per cui il parametro  $a$  deve essere considerato pari a 1. In questo modo l'esponente di riferimento risulta pari a 2.

$$n_k \propto r^2 \quad (5)$$

La relazione 5 coincide perfettamente con quella proposta (West *et al.*, 1999) per predire il numero di foglie dato che la quantità di vasi che vanno a rifornire il picciolo fogliare può considerarsi invariante.

La veridicità delle proporzioni 4 e 5 non è ancora stata verificata con dati sperimentali (West *et al.* 1999; Enquist *et al.*, 2000; Du *et al.*, 2008) anche se discussa da Sperry *et al.* (2008).

Questi Autori sottolineano l'importanza del numero di condotti nel determinare la conduttanza totale dell'albero ed in definitiva questo parametro potrebbe andare ad interferire con l'effetto compensativo della rastremazione xilematica.

Anche Comstock e Sperry (2000) rilevano una decisa influenza del numero di condotti, presenti in parallelo nello xilema, sulla resistenza totale della pianta e l'incremento degli stessi potrebbe rappresentare una valida difesa nei confronti della cavitazione.

In letteratura numerosi lavori scientifici (Anfodillo *et al.*, 2006; Weitz *et al.*, 2006; Mencuccini *et al.*, 2007; Petit *et al.*, 2008) si sono occupati di valutare l'effetto della rastremazione xilematica sulla conduttanza ma Sperry *et al.* (2008) sottolineano, in questi scritti, una mancanza di interesse per questo fattore che potrebbe invece risultare critico.

Il presente lavoro si propone perciò gli obiettivi di:

- 1) verificare l'esistenza di una allometria tra il diametro del fusto ed il numero di cellule della relativa sezione trasversale;
- 2) verificare se l'esponente allometrico sperimentale risulta confrontabile con quello previsto dal modello WBE (calcolato sia in senso radiale che longitudinale);
- 3) valutare le variazioni temporali dei parametri delle relazioni.

#### 4.2.2. Materiali e metodi

L'analisi è stata condotta su di un individuo di larice (*Larix decidua* Mill.) di elevata età con cimale disseccato. Le caratteristiche del sito di raccolta, dei criteri di scelta ed i parametri dendrometrici della pianta esaminata sono riportati nel Cap. 1.1 (tabella 1).

La datazione dell'anno di morte del cimale, l'analisi del fusto (cfr. Cap. 1.1) e le indagini sull'anatomia cellulare sono state eseguite con procedura standard (cfr. Cap. 2.1).

Le foto sono state processate mediante *software* WINCELL (Regent Instruments Inc., Sainte-Foy, QC, Canada) che ha restituito, per ogni tracheide individuata, i parametri di larghezza ( $W_c$ ), lunghezza ( $L_c$ ) e area ( $A_c$ ) del lume cellulare.

Per ogni anello legnoso sono state processate non meno di 200-300 cellule.

La larghezza della cellula media ( $W$ ) è stata ottenuta tramite semplice media aritmetica di tutte le larghezze individuali delle tracheidi appartenenti ad uno stesso anno di crescita.

Per ogni anello, in ogni rotella, sono state scelte 3-5 file sottoposte alla conta (manuale) di tutte le tracheidi: tali valori sono stati mediati per ottenere una numerosità media annuale sulla fila ( $n_{cell/fila}$ ) (Takemoto *et al.*, 1993).

Considerando il fatto che le tracheidi del legno primaticcio e tardivo non presentano significative differenze di larghezza,  $W$ , (al contrario della lunghezza), è stato possibile approntare una formula per la stima del numero di cellule totali prodotte in un determinato anno:

$$n = \frac{g_{incr}}{WR_{incr}} n_{cell / fila} \quad (4)$$

Dove  $g_{incr}$  rappresenta l'incremento di area basimetrica in un determinato anno (area dell'anello) ed  $R_{incr}$  lo spessore anulare.

Il valore cumulato del numero di cellule ( $N_{cell}$ ) è stato ottenuto, partendo dal midollo, dalla sommatoria degli incrementi annuali ( $n$ ).

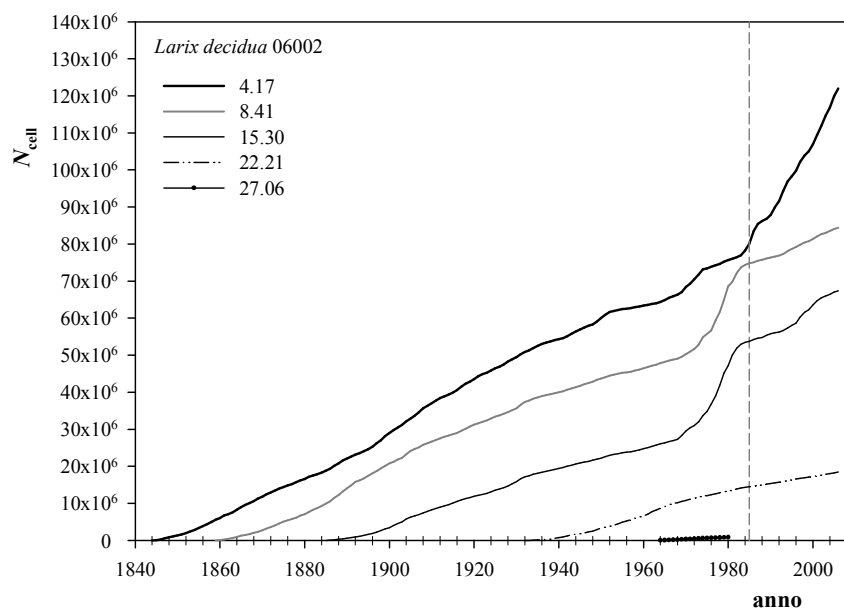
Per ogni fila è stato altresì possibile calcolare il numero di cellule primaticce ( $n_{EW}$ ) ed il numero di cellule tardive ( $n_{LW}$ ) ascrivendo alla seconda categoria le tracheidi che, ad una analisi visiva, presentassero lunghezza pari o inferiore alla metà di quella della prima cellula prodotta. Utilizzando la formula 4 e sostituendo il numero di cellule della fila con  $n_{EW}$  è stato possibile ottenere la stima del numero di cellule primaticce totali della sezione ( $N_{EW}$ ). Dal diametro del fusto è stata poi eliminata la parte tardiva per ottenere una dimensione costituita solo da cellule primaticce ( $D_{EW}$ ), più simile cioè, a quella ipotizzata dal modello WBE.

Le analisi statistiche sono le medesime del Cap. 1.2.

### 4.2.3. Risultati

#### *Variazioni longitudinali del $N_{cell}$ vs $D$*

Il numero di cellule stimato nelle sezioni trasversali ( $N_{cell}$ ) risulta sempre maggiore nelle parti inferiori del fusto rispetto a quelle superiori (figura 2), in alcune rotelle (es. 4.17 m, 15.30 m) si nota una brusca variazione positiva in prossimità dell'anno di morte del cimale.

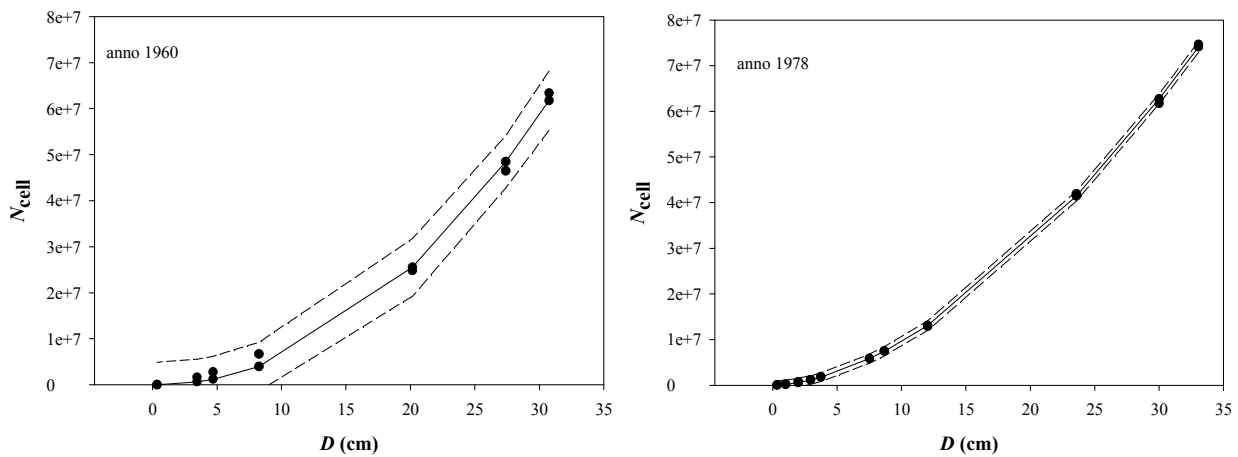


**Figura 2.** Aumento del numero di cellule, nel corso dell'ontogenesi, a diverse altezze del fusto. anno di disseccamento del cimale indicato con linea tratteggiata.

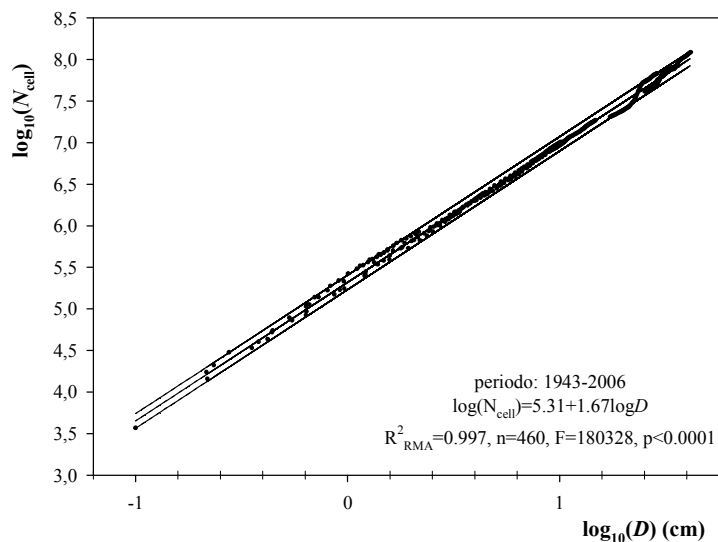
La variazione longitudinale del numero totale di cellule ( $N_{cell}$ ) con il diametro del fusto ( $D$ ) viene ben descritta da una funzione potenza (figura 3).

In ogni anno analizzato, nel periodo 1943-2006, la significatività dell'equazione interpolatrice si mantiene su valori estremamente alti ( $p < 0.0001$ ) ed il diametro ( $D$ ) spiega più del 90% della varianza totale della numerosità cellulare.

Questo accade anche quando si considerano, nel loro insieme, tutte le coppie  $N_{cell}$ - $D$  presenti nel periodo 1943-2006. La retta di regressione ottenuta (figura 4) risulta estremamente significativa ( $n=460$ ,  $R^2=0.997$ ,  $F=180328$ ,  $p<0.0001$ ), e viene definita da un  $\beta_{RMA}$  pari a 1.67 (1.66-1.68) (tabella 1) e  $\alpha_{RMA}$  di 5.31 confermando la differenza con il valore soglia di 2.



**Figura 3.** Relazione longitudinale tra il numero di cellule della sezione trasversale ( $N_{cell}$ ) ed il relativo diametro ( $D$ ) in diversi anni.



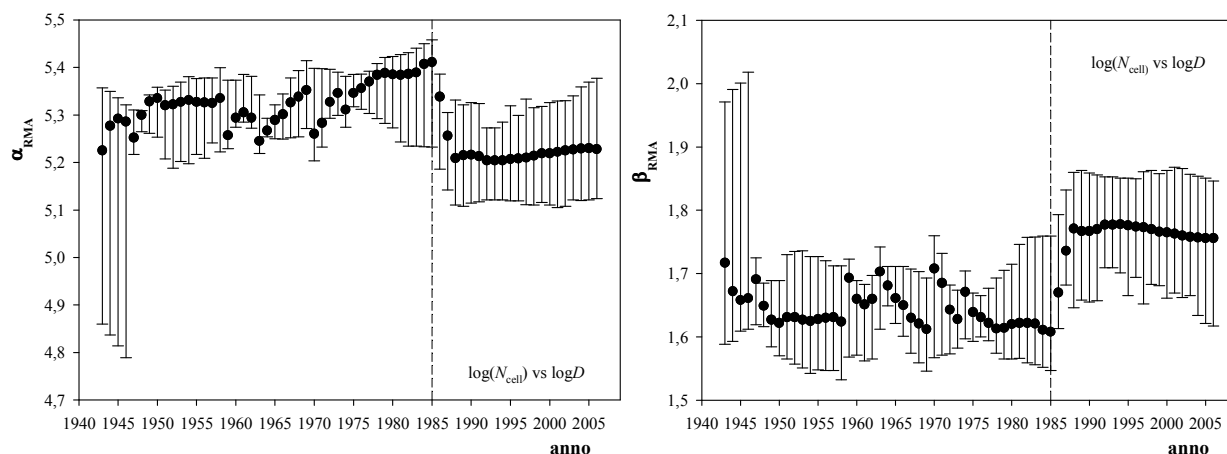
**Figura 4.** Relazione tra numero totale di cellule sulla sezione trasversale ( $N_{cell}$ ) ed il relativo diametro ( $D$ ) utilizzando tutte le coppie di valori nel periodo 1943-2006.

I valori di intercetta ( $\alpha_{RMA}$ ) delle rette, calcolati con metodo RMA su dati trasformati, risultano molto simili e compresi tra 5.20 e 5.41 (corrispondenti a 1599558.5 e 257632.1 cellule) (Appendice VI).

Gli esponenti allometrici ( $\beta_{RMA}$ ) variano in un intervallo tra 1.61 e 1.78 (Appendice VI) mantenendosi sempre inferiori al valore proposto dagli Autori del modello WBE (2) sebbene nel periodo 1944-46 possano considerarsi non statisticamente dissimili.

Nei quarant'anni precedenti la morte del cimale (1943-1985) si individua un aumento del valore di  $\alpha_{RMA}$ , l'ampia variazione dei limiti di confidenza nei primi anni analizzati è invece da attribuirsi alla scarsità dei punti su cui si è effettuata l'interpolazione (5-6).





**Figura 5.** Variazione dell'intercetta (a) e del coefficiente angolare (b) delle rette calcolate con metodo RMA nel periodo 1943-2006 (variazione longitudinale nel numero di cellule).

Negli anni seguenti il 1985 (morte del cimale) l'intercetta della retta si mantiene su valori estremamente simili e più bassi di quelli raggiunti in precedenza (figura 5a).

$\beta_{RMA}$  presenta invece delle variazioni esattamente opposte a quelle dell'intercetta (figura 5b) mostrando valori leggermente in diminuzione prima del 1985 e decisamente superiori nel periodo seguente la morte del cimale (1987-2006).

modello: $\log_{10}N_{cell} = \log_{10}(\alpha) + \beta \log_{10}D$							
periodo	n	$\alpha_{RMA}$	$\beta_{RMA}$	$R^2$	$\alpha_{RMA}, 95\% \text{ l.c.}$	$\beta_{RMA}, 95\% \text{ l.c.}$	$R^2, 95\% \text{ l.c.}$
1943-2006	460	5.316	1.668	0.997	5.306-5.325	1.659-1.678	0.997-0.998
1943-48	30	5.279	1.668	0.999	5.258-5.302	1.646-1.687	0.999-1.000
1965-70	50	5.302	1.652	0.998	5.280-5.324	1.630-1.676	0.998-0.999
1980-85	51	5.387	1.620	0.997	5.349-5.409	1.596-1.654	0.997-0.998
1987-91	30	5.228	1.758	0.998	5.185-5.258	1.733-1.793	0.997-0.999
2001-06	35	5.227	1.758	0.997	5.192-5.258	1.730-1.789	0.995-0.998

**Tabella 1** Variazione del numero di cellule della sezione trasversale ( $n_{cum}$ ) verso il diametro del fusto ( $D$ ) in diversi periodi: parametri stimati con regressione RMA su dati trasformati mediante logaritmo in base 10.  $\alpha_{RMA}$  = intercetta (=coefficiente allometrico);  $\beta_{RMA}$  = coefficiente angolare (=esponente allometrico); 95% l.c.=limite di confidenza al 95% calcolato con 10000 replicazione *bootstrap*.

Applicando il test ANCOVA è possibile verificare che negli anni considerati non vi è omogeneità delle pendenze ( $n=64$ ,  $F=2.17$ ,  $p<0.0001$ ) ma è possibile discriminare ben 5 sottoperiodi con  $\beta_{RMA}$  statisticamente omogeneo (opzione CONTRAST in PROC GLM).

I parametri delle rette riassuntive di ogni periodo vengono riportati in tabella 1. I coefficienti angolari delle varie rette risultano ovviamente diversi (ANCOVA:  $n=5$ ,  $F=13.40$ ,  $p<0.0001$ ).

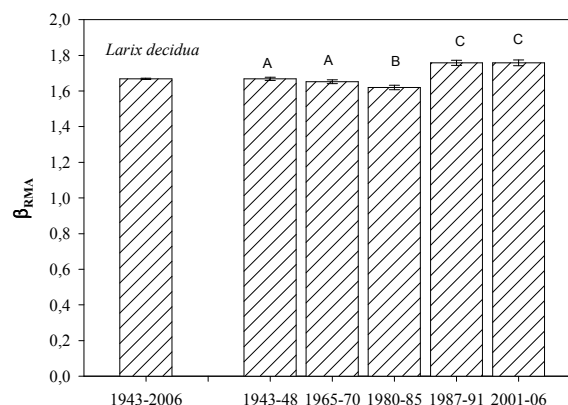
Il primo sottoperiodo, formato dalle coppie di punti degli anni 1943-48, non si differenzia statisticamente da quello 1965-1970 (ANCOVA:  $F=1.50$ ,  $p=0.222$ ) (tabella 2); allo stesso modo il gruppo di anni 1987-1991 e 2001-2006 si mostrano tra loro omogenei (ANCOVA:  $F=0$ ,  $p=0.992$ ).

periodo	DF	F	p
1943-48 vs 1965-70	1	1.50	0.223
1943-48 vs 1980-85	1	14.56	0.000
1943-48 vs 1987-91	1	11.25	0.001
1943-48 vs 2001-06	1	11.02	0.001
1965-70 vs 1980-85	1	6.53	0.011
1965-70 vs 1987-91	1	16.03	<0.0001
1965-70 vs 2001-06	1	15.73	0.000
1980-85 vs 1987-91	1	28.52	<0.0001
1980-85 vs 2001-06	1	28.01	<0.0001
1987-91 vs 2001-06	1	0.00	0.991

**Tabella 2.** Analisi ANCOVA eseguita per valutare l'omogeneità di  $\beta_{RMA}$  in diversi periodi. DF=gradi di libertà, F=valore del test di Fisher, p= probabilità.

Il valore di  $\beta_{RMA}$  risulta significativamente maggiore negli anni successivi alla morte del cimale (1.76) se confrontato con quello del periodo immediatamente precedente ( $F=28.52$ ,  $p<0.0001$ ).

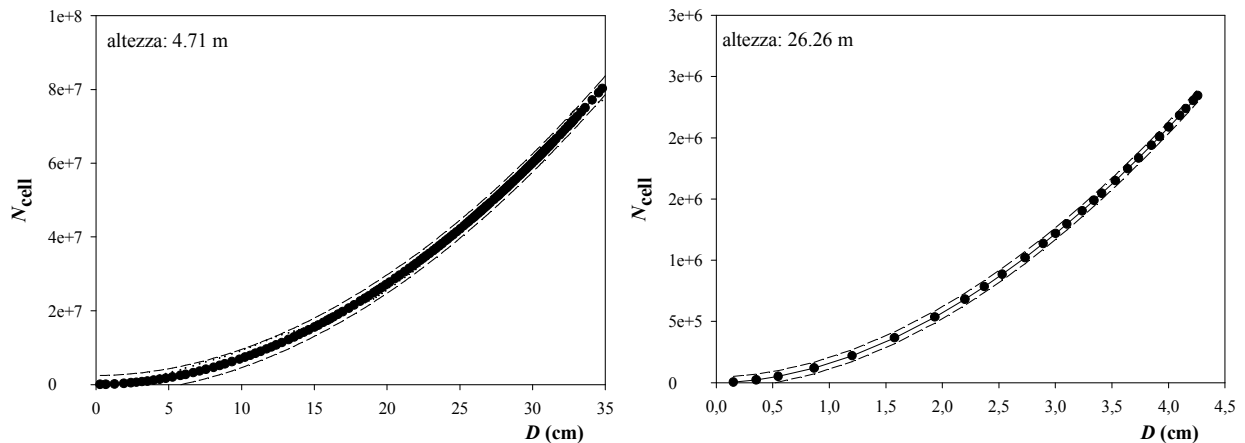
Il coefficiente angolare degli anni 1980-85 ha la particolarità di differire statisticamente da tutti gli altri sottoperiodi, presentando il valore minore (1.620) (figura 6) mentre vi è un incremento nel valore dell'intercetta (5.387).



**Figura 6** Test ANCOVA sul coefficiente angolare ( $\beta$ ) delle rette  $\log_{10}N_{cell} = \log_{10}\alpha + \beta \log_{10}D$ . Le rette contraddistinte da una lettera diversa presentano coefficiente angolare significativamente diverso con probabilità del 95%.

## Analisi delle serie radiali

Nel corso dello studio si è cercato di verificare se la relazione tra il numero di cellule della sezione ed il relativo diametro fosse valida considerando le serie radiali poste a diverse altezze del fusto fino all'anno di morte del cimale (1985). La funzione migliore per interpolare la nuvola di punti si è dimostrata, ancora una volta, la potenza (figura 7).



**Figura 7.** Relazione tra il numero di cellule della sezione trasversale ( $N_{\text{cell}}$ ) ed il relativo diametro ( $D$ ) in diversi anni in serie radiali poste a diverse altezze.

Nelle serie radiali esaminate il *range* di variazione di  $\alpha_{\text{RMA}}$  si colloca tra 5.11 e 5.59 (corrispondenti a 130017.0 e 388150.4 cellule) mentre  $\beta_{\text{RMA}}$  è compreso tra 1.66 e 2.01. Solo nella rotella posta a 27.915 m da terra il coefficiente angolare non risulta statisticamente distinguibile dal valore predetto dal modello WBE (limiti di confidenza 1.924-2.039), in tutti gli altri casi i valori sono decisamente inferiori (tabella 3).

L'intercetta ( $\alpha_{\text{RMA}}$ ), piuttosto dissimile tra le diverse rotelle, aumenta bruscamente ad altezze del fusto superiori a 26.70 m. Anche  $\beta_{\text{RMA}}$  presenta andamento simile mentre nelle parti inferiori del fusto una diminuzione nel valore dell'intercetta viene controbilanciato da un aumento del coefficiente angolare (figura 8a e 8b).

L'analisi dell'omogeneità delle pendenze conferma la diversità dei coefficienti angolari delle rotelle ( $n=11$ ,  $F=20.34$ ,  $p<0.0001$ ), in particolare si distinguono: la rotella a 8.41 m da terra che presenta  $\beta_{\text{RMA}}$  decisamente superiore a quella posta a 4.17 m ( $n=2$ ,  $F=51.00$ ,  $p<0.0001$ ) e a quella seguente (15.30m,  $n=2$ ,  $F=55.81$ ;  $p<0.0001$ ).

modello: $\log_{10}N_{\text{cell}} = \log_{10}(\alpha) + \beta\log_{10}D$							
altezza (m)	n	$\alpha_{\text{RMA}}$	$\beta_{\text{RMA}}$	$R^2$	$\alpha_{\text{RMA}}$ , 95% l.c.	$\beta_{\text{RMA}}$ , 95% l.c.	$R^2$ , 95% l.c.
4.17	142	5.260	1.694	0.997	5.238-5.279	1.680-1.709	0.995-0.998
8.41	126	5.114	1.780	0.995	5.039-5.152	1.751-1.837	0.993-0.997
15.3	101	5.239	1.686	0.995	5.218-5.258	1.663-1.710	0.991-0.998
22.21	54	5.281	1.692	1.000	5.271-5.296	1.676-1.703	0.999-1.000
23.8	43	5.276	1.716	0.999	5.256-5.300	1.683-1.742	0.999-1.000
24.33	39	5.308	1.664	0.998	5.277-5.346	1.607-1.706	0.997-0.999
26.26	27	5.269	1.722	0.999	5.244-5.284	1.693-1.771	0.997-1.000
26.67	21	5.265	1.751	0.999	5.254-5.300	1.660-1.778	0.997-0.999
27.06	17	5.377	1.769	0.996	5.363-5.407	1.604-1.817	0.993-0.998
27.5	16	5.386	1.927	0.998	5.373-5.402	1.770-1.965	0.996-0.999
27.915	12	5.589	2.013	0.999	5.560-5.608	1.924-2.039	0.997-1.000

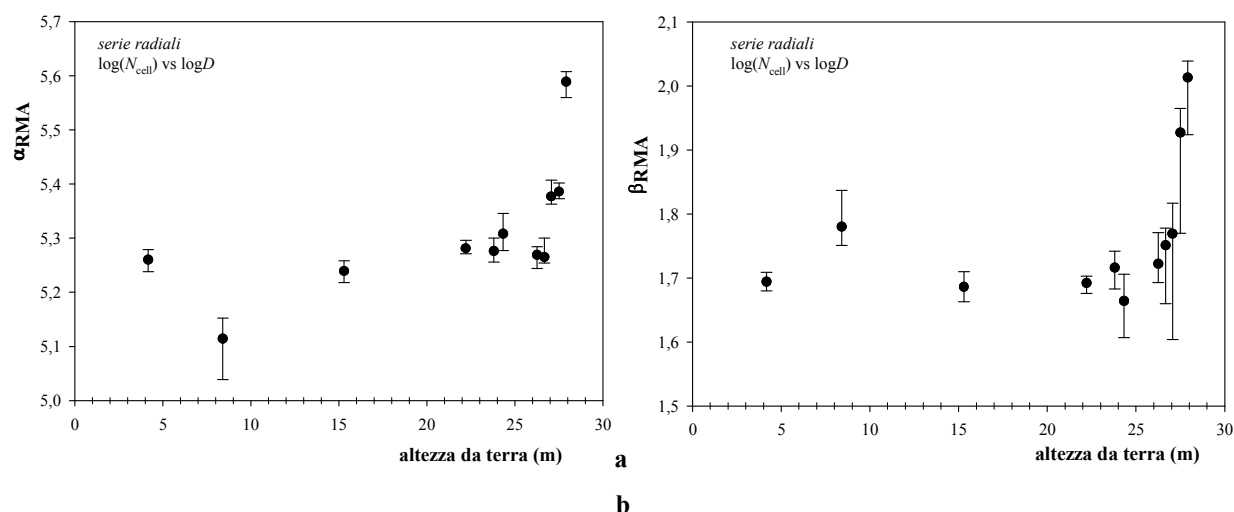
**Tabella 3.** Variazione del numero di cellule della sezione trasversale ( $N_{\text{cell}}$ ) verso il diametro del fusto ( $D$ ) in serie radiali a diverse altezze del fusto.  $\alpha_{\text{RMA}}$  = intercetta;  $\beta_{\text{RMA}}$  = coefficiente angolare; 95% l.c.=limite di confidenza al 95% calcolato con 10000 replicazioni *bootstrap*.

Nel tratto di fusto compreso tra i 15.30 e 26.26 m tutte le serie analizzate possedevano pendenze non distinguibili l'una dall'altra e non diverse da quella della rotella più bassa ( $n=2$ ,  $F=0.06$ ,  $p=0.806$ ).

Le due rotelle poste sul cimale (27.50 e 27.915 m) sono risultate omogenee tra loro ( $n=2$ ,  $F=2.93$ ,  $p=0.0876$ ) e statisticamente diverse dal gruppo comprendente le rotelle 4.17 e 15.30-26.26 m ( $n=2$ ,  $F=112.42$ ,  $p<0.0001$ ) presentando un valore di coefficiente angolare decisamente superiore (tabella 4).

Rotella	DF	F	p
4.17 vs 08.41	1	51.000	<.0001
4.17 vs 15.30	1	0.690	0.407
4.17 vs 22.21	1	0.000	0.989
4.17 vs 23.80	1	2.330	0.128
4.17 vs 24.33	1	3.410	0.065
4.17 vs 26.26	1	2.270	0.133
4.17 vs 26.67	1	4.140	0.042
4.17 vs 27.06	1	5.620	0.018
4.17 vs 27.50	1	69.430	<.0001
4.17 vs 27.915	1	53.290	<.0001
27.50 vs 27.915	1	2.930	0.088
4.17 vs 15.30-26.26	1	0.060	0.805
4.17, 15.30-26.26 vs 27.50, 27.90	1	112.420	<.0001

**Tabella 4.** Analisi ANCOVA eseguita per valutare l'omogeneità di  $\beta$  in rotelle poste a diversa altezza del fusto. Sono stati riportati solo i risultati più significativi. DF=gradi di libertà, F=valore del test di Fisher, p= probabilità.



**Figura 8.** Variazione dell'intercetta (a) e del coefficiente angolare (b) calcolate con metodo RMA in rotelle poste a diversa altezza dal suolo.

I risultati ottenuti sono confrontabili con quelli ritraibili dalla stima del numero di cellule primaticce ( $N_{EW}$ ) correlate ad un valore di diametro ( $D_{EW}$ ) più simile a quello ipotizzato dal modello WBE, ossia composto di sole cellule primaticce, privo di legno tardivo.

In tabella 5 si può constatare che i valori di coefficiente angolare sono più bassi di quelli attesi (2) ed inferiori anche a quelli di tabella 3.

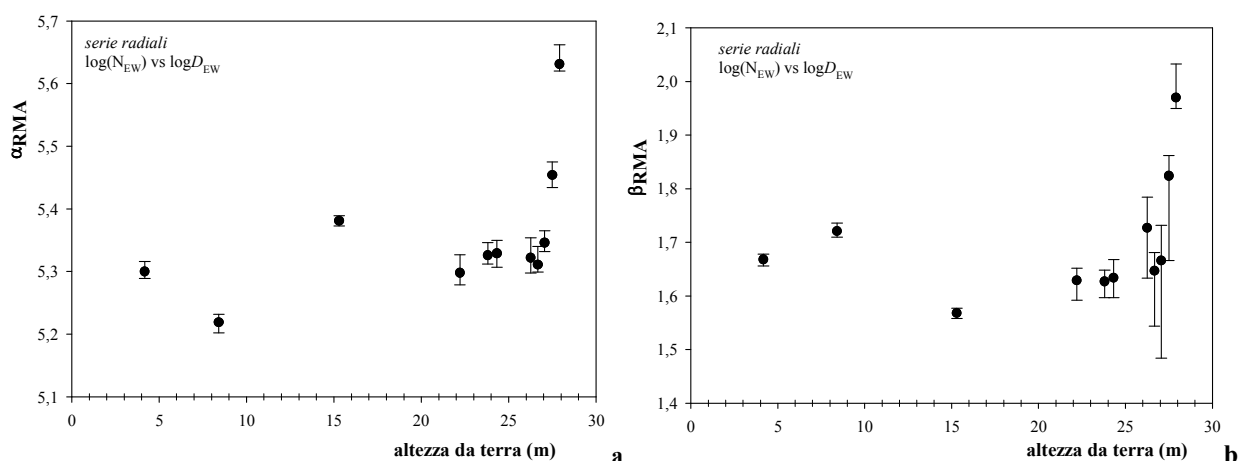
Le rette di regressione mostrano però un *fitting* migliore e presentano significatività più elevata ( $R^2 > 0.993$ ).

modello: $\log_{10}N_{EW} = \log_{10}(\alpha) + \beta \log_{10}D_{EW}$							
altezza (m)	n	$\alpha_{RMA}$	$\beta_{RMA}$	$R^2$	$\alpha_{RMA}, 95\% \text{ l.c.}$	$\beta_{RMA}, 95\% \text{ l.c.}$	$R^2, 95\% \text{ l.c.}$
4.17	142	5.300	1.668	1.000	5.289-5.316	1.656-1.678	1.000-1.000
8.41	126	5.219	1.721	1.000	5.202-5.232	1.710-1.736	0.999-1.000
15.3	101	5.381	1.568	1.000	5.373-5.389	1.558-1.577	0.999-1.000
22.21	54	5.298	1.629	0.999	5.279-5.327	1.592-1.652	0.999-1.000
23.8	43	5.326	1.627	1.000	5.312-5.346	1.597-1.648	0.999-1.000
24.33	39	5.329	1.634	0.999	5.307-5.350	1.597-1.668	0.998-0.999
26.26	27	5.322	1.727	0.998	5.298-5.354	1.633-1.784	0.997-1.000
26.67	21	5.311	1.647	0.998	5.299-5.340	1.544-1.681	0.998-1.000
27.06	17	5.346	1.666	0.995	5.332-5.365	1.484-1.732	0.993-1.000
27.5	16	5.454	1.824	0.998	5.434-5.475	1.666-1.862	0.996-0.999
27.915	12	5.631	1.970	1.000	5.620-5.662	1.950-2.033	0.999-1.000

**Tabella 5.** Variazione del numero di cellule primaticce della sezione trasversale ( $N_{EW}$ ) verso il diametro del fusto ( $D_{EW}$ ) considerando la sezione trasversale composta di solo legno primaverile in serie radiali a diverse altezze del fusto.  $\alpha_{RMA}$  = intercetta;  $\beta_{RMA}$  = coefficiente angolare; 95% l.c.=limite di confidenza al 95% calcolato con 10000 replicazioni *bootstrap*.

L'analisi ANCOVA restituisce risultati molto diversi da quelli di tabella 4: le serie radiali differiscono statisticamente l'una dall'altra con l'eccezione del gruppo omogeneo 22.21-26.26 e della coppia 26.67-27.06 ( $F=0.890$ ,  $p=0.443$ ) (figura 9).

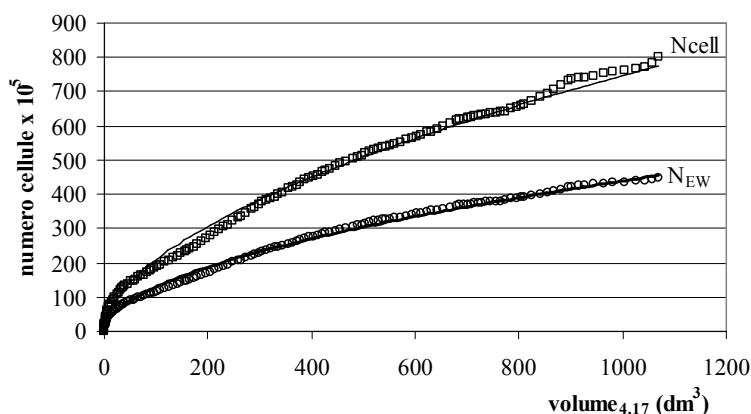
La rotella posta nel punto più alto del fusto (27.915) è statisticamente diversa dalla precedente ( $F=158.1$ ,  $p<0.0001$ ) al contrario di quanto visto in precedenza: si deve quindi supporre che vi sia stata una produzione maggiore di tracheidi, nell'ultimo decennio, rispetto a quella della rotella precedente.



**Figura 9.** Variazione dell'intercetta (a) e del coefficiente angolare (b) calcolate con metodo RMA in rotelle poste a diversa altezza dal suolo. Le rette sono riferite alle cellule primatiche.

Il numero di cellule della sezione trasversale può anche essere messo in relazione con il volume del tronco presente sopra all'area di riferimento (figura 10).

Il volume può infatti sostituire il valore di massa.



**Figura 10.** Relazione ontogenetica tra il volume della pianta ( $V_{417}$ , posto superiormente alla rotella 2) ed il numero di cellule della rotella a 4.17 m dal suolo. Si indicano con  $N_{cell}$ : numero di cellule totali,  $N_{EW}$ : solo tracheidi primatiche.

I parametri delle rette considerate sono riportati in tabella 6: si osserva che il valore del coefficiente angolare, considerando il volume dell'intera pianta ( $V$ ) o la sola porzione sopra i 4,17 m ( $V_{4.17}$ ), differisce notevolmente e si avvicina molto al valore previsto di 0.75 nella relazione tra il volume totale ed il numero di cellule primaticce ( $N_{cell}$ )

modello: $\log_{10}N = \log_{10}(\alpha) + \beta\log_{10}V$									
relazione	n	$\alpha_{RMA}$	$\beta_{RMA}$	$R^2$	$\alpha_{RMA}, 95\% \text{ l.c.}$		$\beta_{RMA}, 95\% \text{ l.c.}$		$R^2, 95\% \text{ l.c.}$
V vs $N_{cell}$	142	5.132	0.909	0.913	4.776	- 5.517	0.765	- 1.042	0.873 - 0.982
V vs $N_{EW}$	142	5.022	0.869	0.918	4.687	- 5.374	0.736	- 0.994	0.878 - 0.986
$V_{417}$ vs $N_{cell}$	142	6.212	0.554	0.994	6.172	- 6.268	0.531	- 0.571	0.993 - 0.996
$V_{417}$ vs $N_{EW}$	142	6.054	0.530	0.995	6.016	- 6.102	0.510	- 0.545	0.994 - 0.997

**Tabella.7** . Relazioni allometriche tra il volume della pianta ed il numero di cellule della sezione trasversale riferita alla rotella a 4.17 m dal suolo. Si indicano con:  $N_{cell}$ : numero di cellule totali della sezione;  $N_{EW}$ : numero di cellule primaticce;  $V$ : volume della pianta;  $V_{4.17}$ : volume della pianta senza considerare la parte del fusto inferiore a 4.17 m.

#### 4.2.4. Discussione e conclusioni

La funzione potenza si dimostra la migliore curva interpolatrice nelle analisi  $N_{cell}$ - $D$ : i coefficienti di significatività ed i valori di  $R^2$  sono molto elevati sia considerando le serie longitudinali (singoli anni di crescita), che le serie radiali.

Questo potrebbe essere una conferma della struttura frattale proposta nel WBE *model* (West *et al.*, 1997, 1999): è quindi ragionevole supporre che fasci di condotti, procedendo dalla base verso il cimale del fusto, si separino dalla traiettoria principale originando delle diramazioni e che quindi il loro numero complessivo resti costante su di uno stesso livello.

Gli ottimi risultati di interpolazione devono però essere valutati alla luce del fatto che il numero di cellule, stimato con la formula 4 del paragrafo 4.3.2., dipende fortemente dal valore di  $D$ . Infatti sia l'incremento di area basimetrica ( $g_{incr}$ ) sia l'ampiezza anulare ( $R_{incr}$ ) possono essere riportati al diametro cosicché la formula assume la forma:

$$n = \frac{D^2 \pi / 4 - D_{n-1}^2 \pi / 4}{W(D - D_{n-1}) / 2} n_{cell / fila} = \frac{\pi(D^2 - D_{n-1}^2)}{2W(D - D_{n-1})} n_{cell / fila}$$

e le uniche variabili completamente indipendenti tra loro, ricavate con metodi diversi, risultano essere la larghezza media della tracheide ( $W$ ) ed il numero di cellule sulla fila ( $n_{cell/fila}$ ).

La variazione, in senso longitudinale, del numero di cellule del fusto, presenta un esponente mediamente inferiore a quello previsto (2), compreso tra 1.61 ed 1.78.

Questo è un risultato atteso se si considera che il modello WBE è stato elaborato per angiosperme con rapporto di biforcazione pari a 2, corrispondenti all'architettura descritta da

Leeuwenberg e Schoute (Nygren e Pallardy, 2008) ma decisamente non adatto alle conifere che mantengono un fusto centrale di dimensioni maggiori rispetto ai rami laterali, disposti in verticilli. Le piante esaminate dovrebbero quindi avvicinare il loro  $\beta_{RMA}$  all'unità, ossia al valore in grado di descrivere un albero senza ramificazioni e quindi senza perdite di carico.

Sperry *et al.* (2008) suppongono inoltre che in una struttura complessa quale quella xilematica il rapporto tra il numero di condotti posti su due livelli successivi potrebbe essere libero di variare: ad esempio, se il fusto presentasse 10 tubi posti in parallelo anche nell'eventualità in cui questo si biforcasse si dovrebbe supporre per ogni ramo un numero di vasi pari o superiore ad 1, senza la necessità che questi si equivalgano. Quindi mentre il rapporto di diramazione viene generalmente considerato costante, e lo è (Borchet, 1981), il rapporto di diramazione dei condotti xilematici potrebbe essere diverso.

Nel periodo 1943-1985 il valore dell'esponente allometrico tende a diminuire mentre quello della costante allometrica aumenta. Nei capitoli precedenti (Cap. 1.2 e 2.1) è stato possibile osservare, nelle parti inferiori del fusto, un consistente incremento diametrico associato a cellule di maggiori dimensioni, che dovrebbe condurre, contrariamente a quanto osservato, a coefficienti allometrici più elevati. La diminuzione di  $\beta_{RMA}$  può essere spiegata solo se si ipotizza un aumento del numero delle cellule nelle parti superiori del fusto supposizione confermata analizzando le serie radiali.

In questo caso, infatti, spostandosi nel tronco dal basso verso l'alto è possibile evidenziare un tasso di produzione cellulare decisamente elevato per la rotella posta a 27.9 m da terra.

Piccoli incrementi di diametro sarebbero dovuti, nelle zone distali, ad un maggior numero di cellule (di diametro minore) come suggerito da Fan *et al.* (2008).

McCulloh *et al.* (2003) prevedono inoltre che il numero di condotti non debba necessariamente mantenersi costante nei vari livelli dato che la lunghezza delle tracheidi è decisamente inferiore a quella della pianta e tali elementi tubolari possono sovrapporsi in vario modo.

Alcuni Autori però (Fan *et al.*, 2008), quando descrivono aumenti del numero di condotti registrano in realtà valori di densità maggiori. I due concetti, numero di condotti e densità, devono essere tenuti separati, a causa del diverso significato (Wang e Aitken, 2001). Il ridotto lume delle tracheidi nelle parti superiori del fusto, se comparato a quello delle parti basali, porterà sempre ad ottenere densità maggiori, anche se il numero totale di cellule sulla sezione trasversale potrebbe essere minore.

In questo caso la maggior produzione di cellule (in senso relativo rispetto al diametro) è reale e si registra in maniera più intensa quando si considera il solo numero di cellule primaticce. È questo tipo di tracheidi, quindi, ad essere prodotta in maggiore quantità nel cimale.



L'esponente allometrico della potenza si rivela mediamente più basso quando si considera  $N_{WE}$  al posto di  $N_{cell}$  : questo potrebbe suggerire che anche le cellule del legno tardivo siano rastremate essendo in quantità maggiori alla base rispetto all'apice, come riferito in altre ricerche (Grabner e Wimmer, 2006).

Nella legge di Murray (McCulloh *et al.*, 2004) si ipotizza che una pianta, per ottenere una crescita efficiente dovrà possedere un buon rapporto tra il numero di vasi di due livelli successivi e la dimensione del loro lume: da questo punto di vista le conifere sarebbero migliori delle angiosperme (Sperry *et al.*, 2008). Gli stessi Autori suppongono inoltre che l'effetto della rastremazione dei condotti sulla conduttanza totale della pianta possa anche essere influenzato dal cambiamento del numero di cellule tra i vari livelli: la rastremazione influisce infatti a livello del trasporto nella singola fila di condotti mentre il numero di elementi disposti in parallelo va ad influenzare la conduttanza totale dell'albero.

Aumentare il numero dei condotti in prossimità dell'anno di disseccamento del cimale, nelle zone distali dove la resistenza è maggiore, potrebbe quindi essere visto come un tentativo per ottenere un maggior trasporto idrico (Sperry *et al.*, 2008). La grande importanza del numero di tracheidi sulla resistenza è stata infatti accertata da numerosi Autori (McCulloh *et al.*, 2003; Fan *et al.*, 2008).

Comstock e Sperry (2000) suggeriscono inoltre che in stato di forte tensioni xilematica, con elevato pericolo di cavitazione, la produzione di molti elementi potrebbe rappresentare una difesa dagli embolismi, permettendo una miglior compartimentazione della zona interessata dal danneggiamento.

In organi senescenti o danneggiati (come, in questo caso, un cimale in via di disseccamento) si ottengono produzioni di etilene mediamente maggiori di quelle normali e questo squilibrio ormonale porta molto spesso ad una proliferazione dei tessuti con un aumento del numero di cellule (Kalev e Aloni, 1999).

In conclusione si deve ricordare che West *et al.* (1999) nel momento della stesura del modello, non hanno potuto confrontare le loro previsioni con esponenti reali a causa della mancanza di dati empirici sulla numerosità cellulare in rapporto a diversi valori di  $D$ . Dopo quasi un decennio le cose, in questo settore della ricerca, non sembrano migliorate e Du *et al.* (2008) lamentano la mancanza di *dataset* riguardanti il numero di tracheidi per unità fogliare.

Approfondire le conoscenze su questo tema potrebbe invece risultare molto utile nella discussione apertasi per determinare i meccanismi che limitano l'altezza massima degli alberi. Un aumento del numero di cellule, infatti, potrebbe essere uno dei cambiamenti anatomici visibili in una pianta in condizioni di sub-ottimalità idraulica.



## CONCLUSIONI



*“Finchè l’uomo non sarà in grado di riprodurre un solo filo d’erba,  
la Natura potrà ridere della sua cosiddetta conoscenza scientifica”.*

(Thomas Edison, inventore americano, 1847-1931)



A conclusione del presente lavoro vanno anzitutto poste delle considerazioni di tipo generale, la prima delle quali riguarda l'importanza di eseguire approfondite analisi di tipo ontogenetico.

Questo genere di ricerca, praticamente assente in bibliografia (Weitz *et al.*, 2006), consentirebbe infatti di ottenere delle informazioni estremamente precise sulle variazioni di numerosi parametri in concomitanza con la crescita dell'albero.

Le indagini ontogenetiche su singoli individui presentano lo svantaggio di richiedere una grande mole di lavoro per ogni campione ma hanno l'innegabile pregio di ridurre al minimo gli errori dovuti all'utilizzo di dati provenienti da individui diversi, grazie all'estrema omogeneità dell'oggetto esaminato (stessa genetica, stesso sito di crescita, stessa storia selvicolturale).

Lo studio delle serie storiche aiuta anche a comprendere il grado di variabilità intra-individuale delle caratteristiche anatomiche e morfologiche dato che le piante devono adeguare le proprie funzioni vitali alle variazioni di dimensione ed allo stesso tempo essere in grado di adattarsi ai disturbi esterni nel tentativo di mantenere una struttura sempre ottimale.

Le indagini presentate in questo lavoro rivelano inoltre l'estrema complessità del "sistema pianta" che non può essere valutato solo attraverso un singolo parametro ma piuttosto dall'insieme delle caratteristiche anatomo-morfologiche e delle modificazioni avvenute durante la crescita.

Ovviamente questo fatto implica delle difficoltà interpretative perchè la strategia di un singolo albero, adottata in risposta ad un elemento limitante, può essere facilmente descrivibile ma risulta molto più arduo individuare un minimo comun denominatore nelle modificazioni strutturali e fisiologiche di numerosi soggetti.

Una seconda considerazione di carattere generale riguarda la constatazione che il processo xilogenetico risulta estremamente preciso e costante lungo il fusto della pianta. Il *dataset* cellulare, infatti, è stato ottenuto analizzando una porzione anulare pari o inferiore ad 1-2% dell'area complessiva della corona circolare, eppure i risultati ottenuti dimostrano variazioni sempre piuttosto contenute.

L'obiettivo specifico di questo lavoro è stato quello di individuare le modificazioni strutturali e fisiologiche attuate dalla pianta nel corso della propria ontogenesi, soffermando l'attenzione su individui vegetanti ad alta quota, che avessero ormai terminato lo sviluppo verticale.

In queste piante il massimo incremento longitudinale annuo si registra infatti tra i 50 ed i 60 anni mentre a 200 anni di età si verifica ancora un attivo incremento volumetrico.

In accordo con questa osservazione si può quindi supporre che la limitazione in altezza delle piante debba essere dipendente dalle dimensioni raggiunte piuttosto che dall'età cambiale dei tessuti (Ryan e Yoder, 1997; Mencuccini *et al.*, 2005; Petit *et al.*, 2008).

Durante l'ontogenesi delle piante esaminate si osservano, infatti, alcune variazioni nei parametri morfo-anatomici.

Il profilo del fusto, in particolare quello del cimale, tende a divenire più cilindrico nel tempo e gli anelli legnosi di questi soggetti presentano una forma inconsueta essendo più stretti all'apice del fusto piuttosto che alla base. Il rapporto tra l'altezza ed il diametro *sensu* West *et al.*, (1999) non viene invece verificato, in quanto le conifere si mantengono su valori di forma più prossimi a quelli del modello di similarità geometrica piuttosto che elastica (Niklas, 1994b).

Nel larice, l'albero più studiato, si registra anche un aumento nel numero medio di anelli di alburno (circa 18 nell'anno di riferimento 1987 e 24 nel 2006) e nell'area di questo tessuto, particolarmente alla base del fusto. Allo stesso tempo si verifica un incremento nel numero delle tracheidi nelle zone più distali del tronco.

Tutti questi indizi sembrano suggerire uno stato di *stress* idrico nelle parti distali della pianta, ed il tentativo, da parte della stessa, di aumentare la quantità di linfa convogliata verso l'alto.

Il disseccamento del cimale rappresenterebbe quindi la fase terminale di un processo iniziato in maniera graduale, come ipotizzato nel momento in cui sono stati scelti i soggetti da sottoporre ad analisi.

Lo *stress* idrico deve essere perciò imputato ad un aumento di resistenza idraulica nel tessuto vascolare e l'albero deve essere in grado di mettere in atto dei meccanismi compensativi in grado di attenuarne gli effetti negativi.

L'accrescimento in altezza della pianta sembra quindi maggiormente sottoposto a limiti di tipo idraulico, come proposto da altri Autori (Niklas e Spatz, 2004; Niklas, 2007).

L'indagine dell'anatomia cellulare ha confermato le conoscenze già acquisite in questo settore della ricerca registrando un aumento del diametro delle tracheidi in senso radiale (Ghouse e Iqbal, 1977; James *et al.*, 2003; Becker *et al.*, 2003; Spicer e Gartner, 2001; Mencuccini *et al.*, 2007) e longitudinale (Zimmerman, 1983; Weitz *et al.*, 2006; Anfodillo *et al.*, 2006; Coomes *et al.* 2007; Petit *et al.*, 2008) nel fusto ma ha permesso di aggiungere degli elementi innovativi, in particolar modo per quanto riguarda la rastremazione xilematica.

Il lume interno del condotto xilematico non sembra, infatti, aumentare dall'apice verso la base del fusto seguendo un rapporto di variazione costante: nelle parti più distali, infatti, la variazione risulterebbe più veloce se comparata a quella delle parti inferiori del tronco.

Il massimo incremento longitudinale annuo si registra sempre in un periodo precedente alla stabilizzazione della dimensione diametrica in senso radiale e questo può suggerire che una forma dei condotti cilindrica alla base e sempre più rastremata all'apice potrebbe risultare poco efficiente per il trasporto della linfa e portare ad elevati gradi di resistenza idraulica: l'effetto compensativo della rastremazione xilematica sulla resistenza, come proposto da West *et al.* (1999) perderebbe quindi di efficienza nel tempo.

Il modello WBE va infatti apprezzato per la modellizzazione della struttura xilematica e la comprensione della sua funzione (compensazione della resistenza) ma non è in grado di spiegare la riduzione di accrescimento longitudinale che si osserva in tutte le piante (Petit, 2008).

La resistenza idraulica potrebbe quindi essere legata non tanto al grado di rastremazione *per se*, ma piuttosto alla forma longitudinale del condotto.

Infatti un condotto cilindrico con la parte finale estremamente rastremata potrebbe, dal punto di vista puramente matematico, possedere un esponente allometrico complessivo uguale o superiore a quello di un condotto uniformemente rastremato lungo tutta la sua lunghezza.

Considerando esclusivamente il grado di rastremazione si potrebbe essere indotti nell'errore di ritenere più efficiente la prima situazione rispetto alla seconda mentre proprio nel primo condotto si genera una resistenza maggiore ed il pericolo di cavitazione è più elevato.

Questo meccanismo spiega quindi l'aumento di rastremazione xilematica osservato nel periodo precedente il disseccamento del cimale, che deve quindi essere considerato un estremo tentativo di contrastare l'aumento della resistenza totale (meccanismo di compensazione).

Questa situazione di sub-ottimalità comincia a generarsi quando le cellule raggiungono un *plateau* dimensionale nelle serie radiali e può essere criticizzata da particolari eventi climatici che vanno ad influire sulla xilogenesi.

I risultati ottenuti dalle indagini eseguite in questi tre anni possono quindi essere riassunti in una ipotesi finale che tenta di dare una spiegazione del funzionamento dei meccanismi che limitano la crescita longitudinale degli alberi.

Anzitutto deve essere premesso che la dimensione dei condotti xilematici, e quindi la loro rastremazione, deve essere imputata a fattori genici e ambientali che interferiscono nei processi bio-chimici precursori della xilogenesi.

La rastremazione dei condotti assume allora un ruolo fondamentale (in accordo con il modello WBE) compensando gli aumenti di resistenza idraulica, tuttavia, nel corso dell'ontogenesi, la pianta non è in grado di mantenere una rastremazione ottimale e nel momento in cui raggiunge la massima altezza la forma del condotto diviene sempre più spezzata, divenendo meno efficiente. La pianta entra, quindi, in una fase di sub-ottimalità (Anfodillo *et al.*, 2006) che non è

contemplata dal modello WBE ma che può essere descritta in maniera migliore attraverso il modello HLH (Ryan e Yoder, 1997).

La resistenza idraulica riprende ad aumentare con l'incremento della lunghezza del percorso ed eventi climatici eccezionali possono influire in maniera molto più determinante in questa fase della vita rispetto al periodo precedente, portando ad impennate nella resistenza con conseguenti disseccamenti nelle parti distali.

Accorciare il percorso significa ridurre in maniera drastica la resistenza idraulica che, si ricorda, è concentrata per la maggior parte nei primi 2-3 m di distanza dall'apice, e può essere un espediente per consentire una ripresa dell'accrescimento longitudinale.

Questi cicli di crescita-morte-ricrescita potrebbero essere protratti per un tempo indefinito e l'altezza massima di una pianta potrebbe quindi essere vista come uno stato di equilibrio molto simile alla capacità portante dei popolamenti.

Nel futuro dovrebbero essere incoraggiati lavori in grado di valutare i cambiamenti longitudinali nella dimensione del lume cellulare in specie diverse o, nella stessa specie, in differenti stazioni.

Nello stesso soggetto dovrebbe inoltre essere possibile confrontare la rastremazione xilematica del periodo giovanile con quello di maturità adottando specifiche tecniche di campionamento.

L'analisi dell'architettura idraulica delle piante si intreccia inoltre con alcune aree di studio fondamentali della selvicoltura quali l'analisi della rastremazione del fusto e, su di una scala più ampia, della distribuzione temporale della produzione dei popolamenti, entrambi elementi di primaria importanza ai fini commerciali.

Inoltre potrebbe rendere in grado di determinare le differenti strategie di specie a rapida e lenta crescita o di collegare il concetto di fertilità della stazione ai meccanismi fisiologici che consentono lo sviluppo verticale costituendo così, dopo lungo tempo, un solido anello di giunzione tra fisioecologia e selvicoltura in questo settore.



## BIBLIOGRAFIA



*“Gli alberi sono liriche che la terra scrive sul cielo.  
Noi li abbattiamo e li trasformiamo in carta per  
potervi registrare, invece, la nostra vuotaggine.”*  
(Kahlil Gibran, artista e filosofo libanese, 1883-1931)



- Aderenti, G.** 2004. *Rastremazione degli elementi xilematici in un individuo di Picea abies (L.) Karst di grande altezza*. Laurea specialistica in Scienze Forestali ed Ambientali, Università degli Studi di Padova, Padova.
- Aloni, R.** 1992. The Control of Vascular Differentiation. *International Journal of Plant Sciences*, **153**: S90-S92.
- Aloni, R.** 2001. Foliar and axial aspects of vascular differentiation: Hypotheses and evidence. *Journal of Plant Growth Regulation*, **20**: 22-34.
- Aloni, R.** 2004. Foliar and Axial Aspects of Vascular Differentiation: Hypotheses and Evidence. *Journal of Plant Growth regulation*, **20**: 22-34.
- Aloni, R., Aloni, E., Langhans, M. and Ullrich, C.I.** 2006. Role of cytokinin and auxin in shaping root architecture: Regulating vascular differentiation, lateral root initiation, root apical dominance and root gravitropism. *Annals of Botany*, **97**: 883-893.
- Aloni, R. and Zimmermann, M.H.** 1984. Length, Width, and Pattern of Regenerative Vessels along Strips of Vascular Tissue. *Botanical Gazette*, **145**: 50-54.
- Anderson, G. and Bancroft, J.** 2002. Tissue processing and microtomy including frozen. In: *Bancroft J., Gamble JD. Theory and practice of histological techniques*. (Ed C. Livingstone), pp. 87-107, London.
- Anfodillo, T.** 2005. Invecchiamento e senescenza negli alberi: nuove evidenze e nuove domande. *Forest@*, **2**: 316-318.
- Anfodillo, T.** 2007. Cambiamenti climatici e dinamica di popolazione al limite superiore del bosco: importanza delle ricerche di lungo termine. *Forest@*, **4**: 3-5.
- Anfodillo, T., Carraro, V., Carrer, M., Fior, C. and Rossi, S.** 2006. Convergent tapering of xylem conduits in different woody species. *New Phytologist*, **169**: 279-290.
- Anfodillo, T., Rento, S., Carraro, V., Furlanetto, L., Urbinati, C. and Carrer, M.** 1998. Tree water relations and climatic variations at the alpine timberline: seasonal changes of sap flux and xylem water potential in *Larix decidua* Miller, *Picea abies* (L.) Karst, and *Pinus cembra* L. *Annales Des Sciences Forestieres*, **55**: 159-172.
- Angeles, G., Bond, B., Boyer, J.S., Brodribb, T., Brooks, J.R., Burns, M.J., Cavender-Bares, J., Clearwater, M., Cochard, H., Comstock, J., Davis, S.D., Domec, J.C., Donovan, L., Ewers, F., Gartner, B., Hacke, U., Hinckley, T., Holbrook, N.M., Jones, H.G., Kavanagh, K., Law, B., Lopez-Portillo, J., Lovisolo, C., Martin, T., Martinez-Vilalta, J., Mayr, S., Meinzer, F.C., Melcher, P., Mencuccini, M., Mulkey, S., Nardini, A., Neufeld, H.S., Passioura, J., Pockman, W.T., Pratt, R.B., Rambal, S., Richter, H., Sack, L., Salleo, S., Schubert, A., Schulte, P., Sparks, J.P., Sperry, J., Teskey, R. and Tyree, M.** 2004. The Cohesion-Tension theory. *New Phytologist*, **163**: 451-452.
- Aniol, R.W.** 1987. A new device for computer measurement of tree-ring widths. *Dendrochronologia*, **4**: 135-141.
- Arbaugh, M.J. and Peterson, D.L.** 1993. Stemwood production patterns in Ponderosa pine: effects of stand dynamics and other factors. *Research Paper PSW-RP-217. Pacific Southwest Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture* 11.
- Attocchi, G.** 2008. *Dinamica dell'incremento corrente in conifere di età superiore al secolo di ambiente subalpino*. Tesi di laurea in tecnologie forestali ed ambientali, Università degli Studi di Padova, Padova, 66 pp.
- Auer, I., Bohm, R., Jurkovic, A., Lipa, W., Orlik, A., Potzmann, R., Schoner, W., Ungersbock, M., Matulla, C., Briffa, K., Jones, P., Efthymiadis, D., Brunetti, M., Nanni, T., Maugeri, M., Mercalli, L., Mestre, O., Moisselin, J.M., Begert, M., Muller-Westermeier, G., Kveton, V., Bochnicek, O., Stastny, P., Lapin, M., Szalai, S., Szentimrey, T., Cegnar, T., Dolinar, M., Gajic-Capka, M., Zaninovic, K., Majstorovic, Z. and Nieplova, E.** 2007. HISTALP - historical instrumental climatological surface time series of the Greater Alpine Region. *International Journal of Climatology*, **27**: 17-46.
- Aumann, C.A. and Ford, E.D.** 2006. Simulation of effects of wood microstructure on water transport. *Tree Physiology*, **26**: 285-301.
- Badalotti, A., Anfodillo, T. and Grace, J.** 2000. Evidence of osmoregulation in *Larix decidua* at Alpine treeline and comparative responses to water availability of two co-occurring evergreen species. *Annals of Forest Science*, **57**: 623-633.

- Bailey, I.W. and Shepard, H.B.** 1915. Sanio's Laws for the Variation in Size of Coniferous Tracheids. *Botanical Gazette*, **60**: 66-71.
- Bamber, R.K.** 1976. Heartwood, its function and formation. *Wood Science and Technology*, **10**: 1-8.
- Banavar, J.R., Damuth, J., Maritan, A. and Rinaldo, A.** 2002. Ontogenetic growth - Modelling universality and scaling. *Nature*, **420**: 626-626.
- Banavar, J.R., Maritan, A. and Rinaldo, A.** 1999. Size and form in efficient transportation networks. *Nature*, **399**: 130-132.
- Bao, F.C., Jiang, Z.H., Jiang, X.M., Lu, X.X., Luo, X.Q. and Zhang, S.Y.** 2001. Differences in wood properties between juvenile wood and mature wood in 10 species grown in China. *Wood Science and Technology*, **35**: 363-375.
- Becker, P. and Gribben, R.J.** 2001. Estimation of conduit taper for the hydraulic resistance model of West et al. *Tree Physiology*, **21**: 697-700.
- Becker, P., Gribben, R.J. and Lim, C.M.** 2000. Tapered conduits can buffer hydraulic conductance from path-length effects. *Tree Physiology*, **20**: 965-967.
- Becker, P., Gribben, R.J. and Schulte, P.J.** 2003. Incorporation of transfer resistance between tracheary elements into hydraulic resistance models for tapered conduits. *Tree Physiology*, **23**: 1009-1019.
- Becker, P., Tyree, M.T. and Tsuda, M.** 1999. Hydraulic conductances of angiosperms versus conifers: similar transport sufficiency at the whole-plant level. *Tree Physiology*, **19**: 445-452.
- Berthier, S., Kokutse, A.D., Stokes, A. and Fourcaud, T.** 2001. Irregular heartwood formation in Maritime pine (*Pinus pinaster* Ait): Consequences for biomechanical and hydraulic tree functioning. *Annals of Botany*, **87**: 19-25.
- Bevilacqua, E., Puttock, D., Blake, T. and Burgess, D.** 2005. Long-term differential stem growth responses in mature eastern white pine following release from competition. *Canadian Journal of Forest Research-Revue Canadienne De Recherche Forestiere*, **35**: 511-520.
- Binkley, D., Stape, J.L. and Ryan, M.G.** 2004. Thinking about efficiency of resource use in forests. *Forest Ecology and Management*, **193**: 5-16.
- Binkley, D., Stape, J.L., Ryan, M.G., Barnard, H.R. and Fownes, J.** 2002. Age-related decline in forest ecosystem growth: An individual-tree, stand-structure hypothesis. *Ecosystems*, **5**: 58-67.
- Biondi, F.** 1997. Evolutionary and moving response functions in dendroclimatology. *Dendrochronologia*, **15**: 139-150.
- Biondi, F. and Weikul, K.** 2004. DENDROCLIM2002: AC++ program for statistical calibration of climate signals in tree-ring chronologies\$. *Computers & Geosciences*, **30**: 303-311.
- Bjorklund, L.** 1999. Identifying heartwood-rich stands or stems of *Pinus sylvestris* by using inventory data. *Silva Fennica*, **33**: 119-129.
- Bohonak, A.J.** 2004. RMA Software for Reduced Major Axis Regression. In: [HTTP://WWW.BIO.SDSU.EDU/PUB/ANDY/RMA.HTML](http://www.bio.sdsu.edu/pub/andy/rma.html) (Ed S.D.S. University).
- Bokma, F.** 2004. Evidence against universal metabolic allometry. *Functional Ecology*, **18**: 184-187.
- Bond, B.J.** 2000. Age-related changes in photosynthesis of woody plants. *Trends in Plant Science*, **5**: 349-353.
- Bond, B.J., Czarnomski, N.M., Cooper, C., Day, M.E. and Greenwood, M.S.** 2007. Developmental decline in height growth in Douglas-fir. *Tree Physiology*, **27**: 441-453.
- Borchert, R.a.S.N.** 1981. Bifurcation ratios and the adaptative geometry of trees. *Botanical Gazette, Chicago*, **142**: 394-401.
- Boura, A. and De Franceschi, D.** 2008. An easy technique to collect wood and bark samples for anatomical studies. *Adansonia*, **30**: 7-15.
- Briand, C.H., Posluszny, U. and Larson, D.W.** 1993. Influence of Age and Growth-Rate on Radial Anatomy of Annual Rings of Thuja-Occidentalis L (Eastern White Cedar). *International Journal of Plant Sciences*, **154**: 406-411.
- Briffa, K.R., Jones, P.D., Schweingruber, F.H. and Osborn, T.J.** 1998. Influence of volcanic eruptions on Northern Hemisphere summer temperature over the past 600 years. *Nature*, **393**: 450-455.
- Britannica, C.E.** 2008. Uniformitarianism. In: Encyclopædia Britannica, Premium Service. (Ed <http://www.britannica.com/>), (accesso 20 novembre 2008).
- Brown, J.H., Gillooly, J.F., Allen, A.P., Savage, V.M. and West, G.B.** 2004. Toward a metabolic theory of ecology. *Ecology*, **85**: 1771-1789.

- Brown, J.H., West, G.B. and Enquist, B.J.** 2000. Scaling in biology: Patterns and Processes, Causes and Consequences. In: *Scaling in biology* (Eds J.H. Brown and G.H. West), *Santa Fe institute studies in the science of complex*, pp. 1-24. Oxford University Press, Oxford.
- Buckley, T.N.** 2005. The control of stomata by water balance. *New Phytologist*, **168**: 275-291.
- Cao, T.J., Valsta, L., Harkonen, S., Saranpaa, P. and Makela, A.** 2008. Effects of thinning and fertilization on wood properties and economic returns for Norway spruce. *Forest Ecology and Management*, **256**: 1280-1289.
- Cappelli, M.** 1991. *Elementi di selvicoltura generale*. Edagricole, Bologna.
- Carrer, M., Nola, P., Eduard, J.L., Motta, R. and Urbinati, C.** 2007. Regional variability of climate-growth relationships in *Pinus cembra* high elevation forests in the Alps. *Journal of Ecology*, **95**: 1072-1083.
- Carrer, M. and Urbinati, C.** 2004. Age-dependent tree-ring growth responses to climate in *Larix decidua* and *Pinus cembra*. *Ecology*, **85**: 730-740.
- Carrer, M. and Urbinati, C.** 2006. Long-term change in the sensitivity of tree-ring growth to climate forcing in *Larix decidua*. *New Phytologist*, **170**: 861-871.
- Cato, S., McMillan, L., Donaldson, L., Richardson, T., Echt, C. and Gardner, R.** 2006. Wood formation from the base to the crown in *Pinus radiata*: Gradients of tracheid wall thickness, wood density, radial growth rate and gene expression. *Plant Molecular Biology*, **60**: 565-581.
- Chaar, H., Colin, F. and Collet, C.** 1997. Effects of environmental factors on the shoot development of *Quercus petraea* seedlings - A methodological approach. *Forest Ecology and Management*, **97**: 119-131.
- Cherubini, P., Fontana, G., Rigling, D., Dobbertin, M., Brang, P. and Innes, J.L.** 2002. Tree-Life History Prior to Death: Two Fungal Root Pathogens Affect Tree-Ring Growth Differently. *The Journal of Ecology*, **90**: 839-850.
- Chuine, I., Rehfeldt, G.E. and Aitken, S.N.** 2006. Height growth determinants and adaptation to temperature in pines: a case study of *Pinus contorta* and *Pinus monticola*. *Canadian Journal of Forest Research-Revue Canadienne De Recherche Forestiere*, **36**: 1059-1066.
- Climent, J., Chambel, M.R., Gil, L. and Pardos, J.A.** 2003. Vertical heartwood variation patterns and prediction of heartwood volume in *Pinus canariensis* Sm. *Forest Ecology and Management*, **174**: 203-211.
- Climent, J., Chambel, M.R., Perez, E., Gil, L. and Pardos, J.** 2002. Relationship between heartwood radius and early radial growth, tree age, and climate in *Pinus canariensis*. *canadian journal of forest research*, **32**: 103-111.
- Climent, J., Gil, L. and Pardos, J.** 1993. Heartwood and Sapwood Development and Its Relationship to Growth and Environment in *Pinus-Canariensis* Chr Sm Ex Dc. *Forest Ecology and Management*, **59**: 165-174.
- Comstock, J.P. and Sperry, J.S.** 2000. Theoretical considerations of optimal conduit length for water transport in vascular plants. *New Phytologist*, **148**: 195-218.
- Cook, E.R. and Holmes, R.L.** 1997. ARSTAN: chronology development. In: *The International Tree-Ring Data Bank Program Library, Version 21 User's Manual* (Ed H.D.G.-. Mayer). University of Arizona. Laboratory of Tree-Ring Research. Tucson. Arizona.
- Cook, E.R., Krusic, P.J. and Jones, P.J.** 2003. Dendroclimatic signals in long tree-ring chronologies from the Himalayas of Nepal. *International Journal of Climatology*, **23**: 707-732.
- Coomes, D.A. and Allen, R.B.** 2007. Effects of size, competition and altitude on tree growth. *Journal of Ecology*, **95**: 1084-1097.
- Coomes, D.A., Heathcote, S., Godfrey, E.R., Shepherd, J.J. and Sack, L.** 2008. Scaling of xylem vessels and veins within the leaves of oak species. *Biology Letters*, **4**: 302-306.
- Coomes, D.A., Jenkins, K.L. and Cole, L.E.S.** 2007. Scaling of tree vascular transport systems along gradients of nutrient supply and altitude. *Biology Letters*, **3**: 86-89.
- Corcuera, L., Camarero, J.J. and Gil-Pelegrin, E.** 2004. Effects of a severe drought on growth and wood anatomical properties of *Quercus faginea*. *Iawa Journal*, **25**: 185-204.
- Corcuera, L., Camarero, J.J., Siso, S. and Gil-Pelegrin, E.** 2006. Radial-growth and wood-anatomical changes in overaged *Quercus pyrenaica* coppice stands: functional responses in a new Mediterranean landscape. *Trees-Structure and Function*, **20**: 91-98.
- Courbet, F.** 1999. A three-segmented model for the vertical distribution of annual ring area - Application to *Cedrus atlantica* Manetti. *Forest Ecology and Management*, **119**: 177-194.

- Coyea, M.R. and Margolis, H.A.** 1992. Factors Affecting the Relationship between Sapwood Area and Leaf-Area of Balsam Fir. *Canadian Journal of Forest Research-Revue Canadienne De Recherche Forestiere*, **22**: 1684-1693.
- Cruziat, P., Cochard, H. and Ameglio, T.** 2002. Hydraulic architecture of trees: main concepts and results. *Annals of Forest Science*, **59**: 723-752.
- Cunningham, C., Zimmermann, N.E., Stoeckli, V. and Bugmann, H.** 2006. Growth of Norway spruce (*Picea abies* L.) saplings in subalpine forests in Switzerland: Does spring climate matter? *Forest Ecology and Management*, **228**: 19-32.
- Curtis, R.** 1967. Height-diameter and height-diameter-age equations for second-growth Douglas-fir. *Forest Science* **13**: 365-375.
- Da Corte, F.** 1981. *Ricerche dendrometriche su alcune formazioni di alta quota nel comune di Cortina d'Ampezzo (BL)*. Laurea in Scienze Forestali, Università degli Studi di Padova, Padova.
- Da Silva, J.K.L., Garcia, G.J.M. and Barbosa, L.A.** 2006. Allometric scaling of life. *Physics of life reviews*, **3**: 229-261.
- Damuth, J.** 2001. Scaling of growth: Plants and animals are not so different. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **98**: 2113-2114.
- Danby, R.K. and Hik, D.S.** 2007. Responses of white spruce (*Picea glauca*) to experimental warming at a subarctic alpine treeline. *Global Change Biology*, **13**: 437-451.
- Davis, S.D., Ewers, F.W., Sperry, J.S., Portwood, K.A., Crocker, M.C. and Adams, G.C.** 2002. Shoot dieback during prolonged drought in *Ceanothus* (Rhamnaceae) chaparral of California: a possible case of hydraulic failure. *Am. J. Bot.*, **89**: 820-828.
- Davison, A.C. and Hinkley, D.V.** 1997. *Bootstrap methods and their applications*. Cambridge University Press, New York.
- Day, M.E., Greenwood, M.S. and Diaz-Sala, C.** 2002. Age- and size-related trends in woody plant shoot development: regulatory pathways and evidence for genetic control. *Tree Physiology*, **22**: 507-513.
- Day, M.E., Greenwood, M.S. and White, A.S.** 2001. Age-related changes in foliar morphology and physiology in red spruce and their influence on declining photosynthetic rates and productivity with tree age. *Tree Physiology*, **21**: 1195-1204.
- Deckmyn, G., Evans, S.P. and Randle, T.J.** 2006. Refined pipe theory for mechanistic modeling of wood development. *Tree Physiology*, **26**: 703-717.
- Del Favero R. (a cura di)** 2000. *Biodiversità ed indicatori nei tipi forestali del Veneto*. Regione del Veneto, Mestre-Venezia, 335 pp.
- Delzon, S., Sartore, M., Burlett, R., Dewar, R. and Loustau, D.** 2004. Hydraulic responses to height growth in maritime pine trees. *Plant Cell and Environment*, **27**: 1077-1087.
- Dennis, B., Brown, B.E., Stage, A.R., Burkhart, H.E. and Clark, S.** 1985. Problems of Modeling Growth and Yield of Renewable Resources. *The American Statistician*, **39**: 374-383.
- Dodd, J.D.** 1948. On the Shapes of Cells in the Cambial Zone of *Pinus silvestris* L. *American Journal of Botany*, **35**: 666-682.
- Doley, D.** 1979. Effects of shade on xylem development in seedlings of *Eucalyptus grandis* Hill Ex. Maiden. *New Phytologist*, **82**: 545-555.
- Doley, D. and Leyton, L.** 1968. Effects of growing regulating substances and water potential on the development of secondary xylem in *Fraxinus*. *New Phytologist*, **67**: 579-594.
- Domec, J.C. and Gartner, B.L.** 2001. Cavitation and water storage capacity in bole xylem segments of mature and young Douglas-fir trees. *Trees-Structure and Function*, **15**: 204-214.
- Domec, J.C. and Gartner, B.L.** 2002. Age- and position-related changes in hydraulic versus mechanical dysfunction of xylem: inferring the design criteria for Douglas-fir wood structure. *Tree Physiology*, **22**: 91-104.
- Du, N., Fan, J.T., Chen, S. and Liu, Y.** 2008. A hydraulic-photosynthetic model based on extended HLH and its application to Coast redwood (*Sequoia sempervirens*). *Journal of Theoretical Biology*, **253**: 393-400.
- Eckmullner, O. and Sterba, H.** 2000. Crown condition, needle mass, and sapwood area relationships of Norway spruce (*Picea abies*). *Canadian Journal of Forest Research-Revue Canadienne De Recherche Forestiere*, **30**: 1646-1654.
- Eckstein, D.** 2004. Change in Past Environments: Secrets of the Tree Hydrosystem. *New Phytologist*, **163**: 1-4.

- Economo, E.P., Kerkhoff, A.J. and Enquist, B.J.** 2005. Allometric growth, life-history invariants and population energetics. *Ecology Letters*, **8**: 353-360.
- Edwards, D.** 2003. Xylem in early tracheophytes. *Plant, Cell & Environment*, **26**: 57-72.
- Eilmann, B., Weber, P., Rigling, A. and Eckstein, D.** 2006. Growth reactions of *Pinus sylvestris* L. and *Quercus pubescens* Willd. to drought years at a xeric site in Valais, Switzerland. *Dendrochronologia*, **23**: 121-132.
- Enquist, B.J.** 2002. Universal scaling in tree and vascular plant allometry: Toward a general quantitative theory linking plant form and function from cells to ecosystems. *Tree Physiology*, **22**: 1045-1064.
- Enquist, B.J.** 2003. Cope's Rule and the evolution of long-distance transport in vascular plants: allometric scaling, biomass partitioning and optimization. *Plant Cell and Environment*, **26**: 151-161.
- Enquist, B.J., Brown, J.H. and West, G.B.** 1998. Allometric scaling of plant energetics and population density. *Nature*, **395**: 163-165.
- Enquist, B.J. and Niklas, K.J.** 2001. Invariant scaling relations across tree-dominated communities. *Nature*, **410**: 655-660.
- Enquist, B.J., Tiffney, B.H. and Niklas, K.J.** 2007. Metabolic scaling and the evolutionary dynamics of plant size, form, and diversity: Toward a synthesis of ecology, evolution, and paleontology. *International Journal of Plant Sciences*, **168**: 729-749.
- Enquist, B.J., West, G.B. and Brown, J.H.** 2000. Quarter-power allometric scaling in vascular plants: functional basis and ecological consequences. In: *Scaling in biology* (Eds J.H. Brown and G.H. West), *Santa Fe institute studies in the science of complex*, pp. 167-198. Oxford University Press, Oxford.
- Espinosa-Ruiz, A., Saxena, S., Schmidt, J., Mellerowicz, E., Miskolczi, P., Bako, L. and Bhalerao, R.P.** 2004. Differential stage-specific regulation of cyclin-dependent kinases during cambial dormancy in hybrid aspen. *Plant Journal*, **38**: 603-615.
- Etienne, R.S., Apol, M.E.F. and Olff, H.** 2006. Demystifying the West, Brown & Enquist model of the allometry of metabolism. *Functional Ecology*, **20**: 394-399.
- Ewers, F.W. and Fisher, J.B.** 1989. Variation in Vessel Length and Diameter in Stems of Six Tropical and Subtropical Lianas. *American Journal of Botany*, **76**: 1452-1459.
- Fadel, J.G.** 2004. Technical Note: Estimating parameters of nonlinear segmented models. *Journal of Dairy Science*, **87**: 169-173.
- Falster, D.S. and Westoby, M.** 2003. Plant height and evolutionary games. *Trends in Ecology & Evolution*, **18**: 337-343.
- Fan, Z.-X., Cao, K.-F. and Becker, P.** 2008. Axial and radial variations in xylem anatomy of angiosperm and conifer trees in Yunnan, China. *New Phytologist*, **X**: submitted.
- Farrell-Gray, C.C. and Gotelli, N.J.** 2005. Allometric exponents support a 3/4-power scaling law. *Ecology*, **86**: 2083-2087.
- Fisher, J.B., Goldstein, G., Jones, T.J. and Cordell, S.** 2007. Wood vessel diameter is related to elevation and genotype in the Hawaiian tree *Metrosideros polymorpha* (Myrtaceae). *Am. J. Bot.*, **94**: 709-715.
- Fonti, P. and Garcia-Gonzalez, I.** 2004. Suitability of chestnut earlywood vessel chronologies for ecological studies. *New Phytologist*, **163**: 77-86.
- Fonti, P., Solomonoff, N. and Garcia-Gonzalez, I.** 2007. Earlywood vessels of *Castanea sativa* record temperature before their formation. *New Phytologist*, **173**: 562-570.
- Frankenstein, C., Schmitt, U. and Koch, G.** 2006. Topochemical studies on modified lignin distribution in the xylem of poplar (*Populus* spp.) after wounding. *Annals of Botany*, **97**: 195-204.
- Fries, A.** 1999. Heartwood and sapwood variation in mature provenance trials of *Pinus sylvestris*. *Silvae Genetica*, **48**: 7-14.
- Fritts, H.C.** 1966. Growth-Rings of Trees: Their Correlation with Climate. *Science*, **154**: 973-979.
- Fritts, H.C.** 1974. Relationships of Ring Widths in Arid-Site Conifers to Variations in Monthly Temperature and Precipitation. *Ecological Monographs*, **44**: 411-440.
- Fritts, H.C., Smith, D.G., Budelsky, C.A. and cardis, J.W.** 1965. The variability of ring characteristics within trees as shown by a reanalysis of four ponderosa pine. *Tree-Ring Buletin*, **27**: 3-18.
- Fritts, H.C., Vaganov, E., Sviderskaya, I. and Shashkin, A.** 1991. Variation and tree-ring structure in conifers: empirical and mechanistic models of tree-ring width, number of cells, cell size, cell-wall thickness and wood density. *Climate Reseach*, **1**: 97-116.

- Fuchs, E.E. and Livingston, N.J.** 1996. Hydraulic control of stomatal conductance in Douglas fir [*Pseudotsuga menziesii* (Mirb) Franco] and alder [*Alnus rubra* (Bong)] seedlings. *Plant Cell and Environment*, **19**: 1091-1098.
- Galston, A.W. and Davies, P.J.** 1969. Hormonal Regulation in Higher Plants. *Science*, **163**: 1288-1297.
- Garcia-Gonzalez, I. and Eckstein, D.** 2003. Climatic signal of earlywood vessels of oak on a maritime site. **23**: 497-504.
- Garcia-Gonzalez, I. and Fonti, P.** 2006. Selecting earlywood vessels to maximize their environmental signal. *Tree Physiology*, **26**: 1289-1296.
- Garcia-Gonzalez, I. and Fonti, P.** 2008. Ensuring a representative sample of earlywood vessels for dendroecological studies: an example from two ring-porous species. *Trees-Structure and Function*, **22**: 237-244.
- Gartner, B.L., Bullock, S.H., Mooney, H.A., Brown, V.B. and Whitbeck, J.L.** 1990. Water Transport Properties of Vine and Tree Stems in a Tropical Deciduous Forest. *American Journal of Botany*, **77**: 742-749.
- Gerrish, G.** 1990. Relating Carbon Allocation Patterns to Tree Senescence in *Metrosideros* Forests. *Ecology*, **71**: 1176-1184.
- Ghouse, A.K.M. and Iqbal, M.** 1977. Variation Trends in the Cambial Structure of *Prosopis spicigera* L. in Relation to the Girth of the Tree Axis. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, **104**: 197-201.
- Giannini, R. and Susmel, L.** 2006. Foreste, boschi, arboricoltura da legno. *Forest@*, **3**: 464-487.
- Girardin, M.P. and Tardif, J.** 2005. Sensitivity of tree growth to the atmospheric vertical profile in the Boreal Plains of Manitoba, Canada. *Canadian Journal of Forest Research-Revue Canadienne De Recherche Forestiere*, **35**: 48-64.
- Givnish, T.J.** 1995. Plant Allometry - the Scaling of Form and Process - Niklas, K.J. *Science*, **268**: 313-314.
- Gjerdrum, P.** 2003. Heartwood in relation to age and growth rate in *Pinus sylvestris* L. in Scandinavia. *Forestry*, **76**: 413-424.
- Glazier, D.S.** 2005. Beyond the '3/4-power law': variation in the intra- and interspecific scaling of metabolic rate in animals. *Biological Reviews*, **80**: 611-662.
- Goldstein, G., Andrade, J.L., Meinzer, F.C., Holbrook, N.M., Cavellier, J., Jackson, P. and Celis, A.** 1998. Stem water storage and diurnal patterns of water use in tropical forest canopy trees. *Plant Cell and Environment*, **21**: 397-406.
- Golser, M. and Hasenauer, H.** 1997. Predicting juvenile tree height growth in uneven-aged mixed species stands in Austria. *Forest Ecology and Management*, **97**: 133-146.
- Gower, S.T., McMurtrie, R.E. and Murty, D.** 1996. Aboveground net primary production decline with stand age: Potential causes. *Trends in Ecology & Evolution*, **11**: 378-382.
- Grabner, M. and Wimmer, R.** 2006. Variation of different tree-ring parameters in samples from each terminal shoot of a Norway spruce tree. *Dendrochronologia*, **23**: 111-120.
- Grace, J., Berninger, F. and Nagy, L.** 2002. Impacts of climate change on the tree line. *Annals of Botany*, **90**: 537-544.
- Greenwood, M.S.** 1995. Juvenility and Maturation in Conifers - Current Concepts. *Tree Physiology*, **15**: 433-438.
- Gričar, J. and Čufar, K.** 2008. Seasonal dynamics of phloem and xylem formation in silver fir and Norway spruce as affected by drought. *Russian Journal of Plant Physiology*, **55**: 538-543.
- Gricar, J., Cufar, K., Oven, P. and Schmitt, U.** 2005. Differentiation of terminal latewood tracheids in silver fir during autumn. *Annals of Botany*, **95**: 959-965.
- Gricar, J., Zupancic, M., Cufar, K., Koch, G., Schmitt, U. and Oven, P.** 2006. Effect of local heating and cooling on cambial activity and cell differentiation in the stem of Norway spruce (*Picea abies*). *Annals of Botany*, **97**: 943-951.
- Grissino-Mayer, H.D.** 2003. A manual and tutorial for the proper use of an increment borer. *Tree-Ring Research*, **59**: 63-79.
- Guirong, Y., Yongbo, L., Xiaochun, W. and Keping, M.** 2008. Age-dependent tree-ring growth responses to climate in Qilian juniper (*Sabina przewalskii* Kom.). *Trees*, **22**: 197-204.
- Hacke, U.G. and Sperry, J.S.** 2001. Functional and ecological xylem anatomy. *Perspectives in Plant Ecology Evolution and Systematics*, **4**: 97-115.
- Hacke, U.G., Sperry, J.S. and Pittermann, J.** 2004. Analysis of circular bordered pit function - II. Gymnosperm tracheids with torus-margo pit membranes. *American Journal of Botany*, **91**: 386-400.



- Hacke, U.G., Sperry, J.S., Wheeler, J.K. and Castro, L.** 2006. Scaling of angiosperm xylem structure with safety and efficiency. *Tree Physiology*, **26**: 689-701.
- Hara, T., Kimura, M. and Kikuzawa, K.** 1991. Growth Patterns of Tree Height and Stem Diameter in Populations of *Abies Veitchii*, *A. Mariesii* and *Betula Ermanii*. *The Journal of Ecology*, **79**: 1085-1098.
- Harris, J.M.** 1954. Heartwood formation in *Pinus radiata* (D. Don.). *New Phytologist*, **53**: 517-524.
- Henry, H.A.L. and Aarssen, L.W.** 1999. The interpretation of stem diameter-height allometry in trees: biomechanical constraints, neighbour effects, or biased regressions? *Ecology Letters*, **2**: 89-97.
- Holbrook, N.M. and Zwieniecki, M.A.** 2008. Transporting water to the tops of trees. *Physics Today*, **61**: 76-77.
- Holmes, R.L.** 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin*, **43**: 69-75.
- Hubbard, R.M., Ryan, M.G., Stiller, V. and Sperry, J.S.** 2001. Stomatal conductance and photosynthesis vary linearly with plant hydraulic conductance in ponderosa pine. *Plant Cell and Environment*, **24**: 113-121.
- Ikonen, V.P., Kellomaki, S., Vaisanen, H. and Peltola, H.** 2006. Modelling the distribution of diameter growth along the stem in Scots pine. *Trees-Structure and Function*, **20**: 391-402.
- Inoue, A.** 2004. Relationships of stem surface area to other stem dimensions for Japanese cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don) and Japanese cypress (*Chamaecyparis obtusa* Endl.) trees. *Journal of Forest Research*, **9**: 45-50.
- Inoue, A.** 2006. A model for the relationship between form-factors for stem volume and those for stem surface area in coniferous species. *Journal of Forest Research*, **11**: 289-294.
- Ishii, H., Reynolds, J.H., Ford, E.D. and Shaw, D.C.** 2000. Height growth and vertical development of an old-growth *Pseudotsuga-Tsuga* forest in southwestern Washington State, USA. *Canadian Journal of Forest Research-Revue Canadienne De Recherche Forestiere*, **30**: 17-24.
- Jagels, R. and Visscher, G.E.** 2006. Asynchronous increase in hydraulic conductive capacity and mechanical support in conifers with relatively uniform xylem structure. *American Journal of Botany*, **93**: 179-187.
- Jagels, R., Visscher, G.E., Lucas, J. and Goodell, B.** 2003. Palaeo-adaptive properties of the xylem of *Metasequoia*: Mechanical/hydraulic compromises. *Annals of Botany*, **92**: 79-88.
- James, S.A., Meinzer, F.C., Goldstein, G., Woodruff, D., Jones, T., Restom, T., Mejia, M., Clearwater, M. and Campanello, P.** 2003. Axial and radial water transport and internal water storage in tropical forest canopy trees. *Oecologia*, **134**: 37-45.
- Jones, M. and Harper, J.L.** 1987. The Influence of Neighbours on the Growth of Trees: II. The Fate of Buds on Long and Short Shoots in *Betula pendula*. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, **232**: 19-33.
- Kacperska, A.** 2004. Sensor types in signal transduction pathways in plant cells responding to abiotic stressors: do they depend on stress intensity? *Physiologia Plantarum*, **122**: 159-168.
- Kajimoto, T., Matsuura, Y., Osawa, A., Abaimov, A.P., Zyryanova, O.A., Isaev, A.P., Yefremov, D.P., Mori, S. and Koike, T.** 2006. Size-mass allometry and biomass allocation of two larch species growing on the continuous permafrost region in Siberia. *Forest Ecology and Management*, **222**: 314-325.
- Kalev, N. and Aloni, R.** 1998. Role of auxin and gibberellin in regenerative differentiation of tracheids in *Pinus pinea* seedlings. *New Phytologist*, **138**: 461-468.
- Kalev, N. and Aloni, R.** 1999. Role of ethylene and auxin in regenerative differentiation and orientation of tracheids in *Pinus pinea* seedlings. *New Phytologist*, **142**: 307-313.
- Kantola, A. and Makela, A.** 2006. Development of biomass proportions in Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.). *Trees-Structure and Function*, **20**: 111-121.
- Kantola, A., Makinen, H. and Makela, A.** 2007. Stem form and branchiness of Norway spruce as a sawn timber--Predicted by a process based model. *Forest Ecology and Management*, **241**: 209-222.
- Karam, G.N.** 2005. Biomechanical model of the xylem vessels in vascular plants. *Annals of Botany*, **95**: 1179-1186.
- Karlsson, K.** 2005. *Growth Allocation and Stand Structure in Norway spruce Stands. Expected taper and diameter distribution in stands subjected to different thinning regimes.* PhD thesis, Swedish University of Agricultural Sciences.

- Kaufmann, M.R. and Watkins, R.K.** 1990. Characteristics of high- and low-vigor lodgepole pine trees in old-growth stands. *Tree Physiology*, **7**: 239-246.
- Kellomaki, S., Ikonen, V.P., Peltola, H. and Kolstrom, T.** 1999. Modelling the structural growth of Scots pine with implications for wood quality. *Ecological Modelling*, **122**: 117-134.
- Kelly, P.E., Cook, E.R. and Larson, D.W.** 1992. Constrained Growth, Cambial Mortality, and Dendrochronology of Ancient Thuja occidentalis on Cliffs of the Niagara Escarpment: An Eastern Version of Bristlecone Pine? *International Journal of Plant Sciences*, **153**: 117-127.
- Kenrick, P. and Crane, P.R.** 1997. The origin and early evolution of plants on land. *Nature*, **389**: 33-39.
- Kenzo, T., Ichie, T., Watanabe, Y., Yoneda, R., Ninomiya, I. and Koike, T.** 2006. Changes in photosynthesis and leaf characteristics with tree height in five dipterocarp species in a tropical rain forest. *Tree Physiology*, **26**: 865-873.
- Kikuzawa, K.** 1999. Theoretical relationships between mean plant size, size distribution and self thinning under one-sided competition. *Annals of Botany*, **83**: 11-18.
- King, D.A.** 1986. Tree Form, Height Growth, and Susceptibility to Wind Damage in Acer Saccharum. *Ecology*, **67**: 980-990.
- King, D.A.** 1990. The adaptive significance of tree height. *American Naturalist*, **135**: 809-828.
- King, D.A.** 1991. Tree Allometry, Leaf Size and Adult Tree Size in Old-Growth Forests of Western Oregon. *Tree Physiology*, **9**: 369-381.
- King, D.A., Davies, S.J., Supardi, M.N.N. and Tan, S.** 2005. Tree growth is related to light interception and wood density in two mixed dipterocarp forests of Malaysia. *Functional Ecology*, **19**: 445-453.
- Knapic, S. and Pereira, H.** 2005. Within-tree variation of heartwood and ring width in maritime pine (Pinus pinaster Ait.). *Forest Ecology and Management*, **210**: 81-89.
- Knowe, S.A.** 1994. Effect of Competition Control Treatments on Height Age and Height Diameter Relationships in Young Douglas-Fir Plantations. *Forest Ecology and Management*, **67**: 101-111.
- Koch, G.W., Sillett, S.C., Jennings, G.M. and Davis, S.D.** 2004. The limits to tree height. *Nature London*, **428**: 851-854.
- Korner, C.** 1998. A re-assessment of high elevation treeline positions and their explanation. *Oecologia*, **115**: 445-459.
- Korner, C.** 2003. Carbon limitation in trees. *Journal of Ecology*, **91**: 4-17.
- Korner, C. and Paulsen, J.** 2004. A world-wide study of high altitude treeline temperatures. *Journal of Biogeography*, **31**: 713-732.
- Kozłowski, J. and Konarzewski, M.** 2004. Is West, Brown and Enquist's model of allometric scaling mathematically correct and biologically relevant? *Functional Ecology*, **18**: 283-289.
- Kullman, L.** 1997. Tree-limit stress and disturbance - A 25-year survey of geocological change in the scandes mountains of Sweden. *Geografiska Annaler Series a-Physical Geography*, **79A**: 139-165.
- Kumagai, T., Nagasawa, H., Mabuchi, T., Ohsaki, S., Kubota, K., Kogi, K., Utsumi, Y., Koga, S. and Otsuki, K.** 2005. Sources of error in estimating stand transpiration using allometric relationships between stem diameter and sapwood area for Cryptomeria japonica and Chamaecyparis obtusa. *Forest Ecology and Management*, **206**: 191-195.
- La Marca, O.** 1999. *Elementi di dendrometria*. Patron Editore, Bologna, 512 pp.
- Lanner, R.M. and Connor, K.F.** 2001. Does bristlecone pine senesce? *Experimental Gerontology*, **36**: 675-685.
- Lappi, J.** 2006. Smooth height/age curves from stem analysis with linear programming. *Silva Fennica*, **40**: 291-301.
- Lee, W.K., Seo, J.H., Son, Y.M., Lee, K.H. and von Gadow, K.** 2003. Modeling stem profiles for Pinus densiflora in Korea. *Forest Ecology and Management*, **172**: 69-77.
- Leverenz, J.W.** 1996. Shade-shoot structure, photosynthetic performance in the field, and photosynthetic capacity of evergreen conifers. *Tree Physiology*, **16**: 109-114.
- Li, H.T., Han, X.G. and Wu, J.G.** 2005. Lack of evidence for 3/4 scaling of metabolism in terrestrial plants. *Journal of Integrative Plant Biology*, **47**: 1173-1183.
- Lovisolo, C., Schubert, A. and Sorce, C.** 2002. Are xylem radial development and hydraulic conductivity in downwardly-growing grapevine shoots influenced by perturbed auxin metabolism? *New Phytologist*, **156**: 65-74.

- Lu, P., Biron, P., Granier, A. and Cochard, H.** 1996. Water relations of adult Norway spruce (*Picea abies* (L) Karst) under soil drought in the Vosges mountains: Whole-tree hydraulic conductance, xylem embolism and water loss regulation. *Annales Des Sciences Forestieres*, **53**: 113-121.
- Lundgren, C.** 2004. Cell wall thickness and tangential and radial cell diameter of fertilized and irrigated Norway spruce. *Silva Fennica*, **38**: 95-106.
- Magnani, F., Bensada, A., Cinnirella, S., Ripullone, F. and Borghetti, M.** 2008. Hydraulic limitations and water-use efficiency in *Pinus pinaster* along a chronosequence. *Canadian Journal of Forest Research-Revue Canadienne De Recherche Forestiere*, **38**: 73-81.
- Magnani, F., Grace, J. and Borghetti, M.** 1996. Limitazioni all'allocazione del carbonio nelle conifere. *L'Italia Forestale e Montana*, **5**: 304-315.
- Magnani, F., Grace, J. and Borghetti, M.** 2002. Adjustment of tree structure in response to the environment under hydraulic constraints. *Functional Ecology*, **16**: 385-393.
- Magnani, F., Mencuccini, M. and Grace, J.** 2000. Age-related decline in stand productivity: the role of structural acclimation under hydraulic constraints. *Plant Cell and Environment*, **23**: 251-263.
- Magnani, F., Mencuccini, M. and Grace, J.** 2004. Age-related decline in stand productivity: the role of structural acclimation under hydraulic constraints. *Plant, Cell and Environment*, **23**: 251-268.
- Makela, A.** 2002. Derivation of stem taper from the pipe theory in a carbon balance framework. *Tree Physiology*, **22**: 891-905.
- Makinen, H. and Hein, S.** 2006. Effect of wide spacing on increment and branch properties of young Norway spruce. *European Journal of Forest Research*, **125**: 239-248.
- Makinen, H., Jaakkola, T., Piispanen, R. and Saranpaa, P.** 2007. Predicting wood and tracheid properties of Norway spruce. *Forest Ecology and Management*, **241**: 175-188.
- Makinen, H., Nojd, P. and Saranpaa, P.** 2003. Seasonal changes in stem radius and production of new tracheids in Norway spruce. *Tree Physiology*, **23**: 959-968.
- Mandelbrot, B.B.** 1998. Is nature fractal? *Science*, **279**: 783-786.
- Mann, M.E., Hughes, M.K., Cook, E.R. and Esper, J.** 2002. Tree-Ring Chronologies and Climate Variability. *Science*, **296**: 848-849.
- Marshall, J.D. and Monserud, R.A.** 2003. Foliage height influences specific leaf area of three conifer species. *Canadian Journal of Forest Research-Revue Canadienne De Recherche Forestiere*, **33**: 164-170.
- Martinez-Vilalta, J. and Pinol, J.** 2004. A plumber's-eye view of xylem water transport in woody plants. *Journal of Biological Education*, **38**: 137-141.
- Mason, E.G.** 2000. A brief review of the impact of stand density on variables affecting radiata pine stand value. *University of Canterbury*.
- Matteucci, G.** 2006. Esiste un fattore di scala universale per la respirazione delle piante? *Forest@*, **3**: 12-14.
- Mayr, S., Hacke, U., Schmid, P., Schwienbacher, F. and Gruber, A.** 2006. Frost drought in conifers at the alpine timberline: Xylem dysfunction and adaptations. *Ecology*, **87**: 3175-3185.
- Mayr, S., Schwienbacher, F. and Bauer, H.** 2003. Winter at the alpine timberline. Why does embolism occur in Norway spruce but not in stone pine? *Plant Physiology*, **131**: 780-792.
- McCarthy, M.C. and Enquist, B.J.** 2007. Consistency between an allometric approach and optimal partitioning theory in global patterns of plant biomass allocation. *Functional Ecology*, **21**: 713-720.
- McCulloh, K.A. and Sperry, J.S.** 2005. Patterns in hydraulic architecture and their implications for transport efficiency. *Tree Physiology*, **25**: 257-267.
- McCulloh, K.A., Sperry, J.S. and Adler, F.R.** 2003. Water transport in plants obeys Murray's law. *Nature*, **421**: 939-942.
- McCulloh, K.A., Sperry, J.S. and Adler, F.R.** 2004. Murray's law and the hydraulic vs mechanical functioning of wood. *Functional Ecology*, **18**: 931-938.
- McDowell, N., Barnard, H., Bond, B.J., Hinckley, T., Hubbard, R.M., Ishii, H., Kostner, B., Magnani, F., Marshall, J.D., Meinzer, F.C., Phillips, N., Ryan, M.G. and Whitehead, D.** 2002. (a) The relationship between tree height and leaf area: sapwood area ratio. *Oecologia*, **132**: 12-20.
- McDowell, N.G., Phillips, N., Lunch, C., Bond, B.J. and Ryan, M.G.** 2002. (b) An investigation of hydraulic limitation and compensation in large, old Douglas-fir trees. *Tree Physiol*, **22**: 763-774.
- McElrone, A.J., Pockman, W.T., Martinez-Vilalta, J. and Jackson, R.B.** 2004. Variation in xylem structure and function in stems and roots of trees to 20 m depth. *New Phytologist*, **163**: 507-517.
- McMahon, T.** 1973. Size and shape in biology. *Science*, **179**: 1201-1204.

- McMahon, T. and Kronauer, R.E.** 1976. Trees structures: deducing the principles of mechanical design. *Journal of Theoretical Biology*, **59**: 443-466.
- McMahon, T.A. and Kronauer, R.E.** 1976. Tree structures: Deducing the principle of mechanical design. *Journal of Theoretical Biology*, **59**: 443-466.
- Medhurst, J.L. and Beadle, C.L.** 2002. Sapwood hydraulic conductivity and leaf area - sapwood area relationships following thinning of a Eucalyptus nitens plantation. *Plant Cell and Environment*, **25**: 1011-1019.
- Meerts, P.** 2002. Mineral nutrient concentrations in sapwood and heartwood: a literature review. *Annals of Forest Science*, **59**: 713-722.
- Meinzer, F.C., Bond, B.J., Warren, J.M. and Woodruff, D.R.** 2005. Does water transport scale universally with tree size? *Functional Ecology*, **19**: 558-565.
- Mella, K.** 2001. *Dinamica di accrescimento di Picea abies Karst. in due popolamenti della Val di Fiemme: uno studio dendroecologico*. Tesi di laurea in Scienze Forestali ed Ambientali, Università degli Studi di Padova, Padova.
- Mellert, K.H., Prietzel, J., Straussberger, R. and Rehfuss, K.E.** 2004. Long-term nutritional trends of conifer stands in Europe: results from the RECOGNITION project. *European Journal of Forest Research*, **123**: 305-319.
- Mellert, K.H., Prietzel, J., Straussberger, R., Rehfuss, K.E., Kahle, H.P., Perez, P. and Spiecker, H.** 2008. Relationships between long-term trends of air temperature, precipitation, nitrogen nutrition and growth of coniferous stands in Central Europe and Finland. *European Journal of Forest Research*, **127**: 507-524.
- Mencuccini, M.** 2002. Hydraulic constraints in the functional scaling of trees. *Tree Physiology*, **22**: 553-565.
- Mencuccini, M.** 2003. The ecological significance of long-distance water transport: short-term regulation, long-term acclimation and the hydraulic costs of stature across plant life forms. *Plant Cell and Environment*, **26**: 163-182.
- Mencuccini, M. and Grace, J.** 1995. Climate Influences the Leaf-Area Sapwood Area Ratio in Scots Pine. *Tree Physiology*, **15**: 1-10.
- Mencuccini, M. and Grace, J.** 1996. Hydraulic conductance, light interception and needle nutrient concentration in Scots pine stands and their relations with net primary productivity. *Tree Physiology*, **16**: 459-468.
- Mencuccini, M., Grace, J. and Fioravanti, M.** 1997. Biomechanical and hydraulic determinants of tree structure in Scots pine: Anatomical characteristics. *Tree Physiology*, **17**: 105-113.
- Mencuccini, M. and Holtta, T.** 2007. Sanio's laws revisited. Size-dependent changes in the xylem architecture of trees. *Ecology Letters*, **10**: 1084-1093.
- Mencuccini, M., Holtta, T., Petit, G. and Magnani, F.** 2007. Sanio's laws revisited. Size-dependent changes in the xylem architecture of trees. *Ecology Letters*, **10**: 1084-1093.
- Mencuccini, M., Martinez-Vilalta, J., Vanderklein, D., Hamid, H.A., Korakaki, E., Lee, S. and Michiels, B.** 2005. Size-mediated ageing reduces vigour in trees. *Ecology Letters*, **8**: 1183-1190.
- Meng, S.X., Lieffers, V.J., Reid, D.E.B., Rudnicki, M., Silins, U. and Jin, M.** 2006. Reducing stem bending increases the height growth of tall pines. *Journal of Experimental Botany*, **57**: 3175-3182.
- Midgley, J.J.** 2003. Is bigger better in plants? The hydraulic costs of increasing size in trees. *Trends in Ecology & Evolution*, **18**: 5-6.
- Misson, L., Nicault, A. and Guiout, J.** 2003. Effects of different thinning intensities on drought response in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.). *Forest Ecology and Management*, **183**: 47-60.
- Monserud, R.A. and Marshall, J.D.** 1999. Allometric crown relations in three northern Idaho conifer species. *Canadian Journal of Forest Research-Revue Canadienne De Recherche Forestiere*, **29**: 521-535.
- Monteuuis, O., Doubeau, S. and Verdeil, J.L.** 2008. DNA methylation in different origin clonal offspring from a mature Sequoiadendron giganteum genotype. *Trees-Structure and Function*, **22**: 779-784.
- Morgan, J. and Cannell, M.G.R.** 1994. Shape of tree stems:a re-examination of the uniform stress hypothesis. *Tree Physiology*, **14**: 49-62.
- Murray, C.D.** 1927. A relationship between circumference and weight in trees and its bearing on branching angles. . *The Journal of General Physiology*, **10**: 725-729.

- Murty, D., McMurtrie, R.E. and Ryan, M.G.** 1996. Declining forest productivity in aging forest stands: A modeling analysis of alternative hypotheses. *Tree Physiology*, **16**: 187-200.
- Nathan, R., Schurr, F.M., Spiegel, O., Steinitz, O., Trakhtenbrot, A. and Tsoar, A.** 2008. Mechanisms of long-distance seed dispersal. *Trends in Ecology & Evolution*, **23**: 638-647.
- Neuwirth, B., Esper, J., Schweingruber, F.H. and Winiger, M.** 2004. Site ecological differences to the climatic forcing of spruce pointer years from the Löttschental, Switzerland. *Dendrochronologia*, **21**: 69-78.
- Niinemets, U.** 2002. Stomatal conductance alone does not explain the decline in foliar photosynthetic rates with increasing tree age and size in *Picea abies* and *Pinus sylvestris*. *Tree Physiology*, **22**: 515-535.
- Niklas, K.J.** 1993. The Allometry of Plant Reproductive Biomass and Stem Diameter. *American Journal of Botany*, **80**: 461-467.
- Niklas, K.J.** 1994. (a) *Plant Allometry: The Scaling of Form and Process*. University of Chicago Press, Chicago and London, 365 pp.
- Niklas, K.J.** 1994. (b) The Allometry of Safety-Factors for Plant Height. *American Journal of Botany*, **81**: 345-351.
- Niklas, K.J.** 1994. (c) Interspecific Allometries of Critical Buckling Height and Actual Plant Height. *American Journal of Botany*, **81**: 1275-1279.
- Niklas, K.J.** 1999. Changes in the Factor of Safety within the Superstructure of a Dicot Tree. *American Journal of Botany*, **86**: 688-696.
- Niklas, K.J.** 2006. Scaling the paths of resistance. *New Phytologist*, **169**: 219-222.
- Niklas, K.J.** 2007. Maximum plant height and the biophysical factors that limit it. *Tree Physiology*, **27**: 433-440.
- Niklas, K.J. and Enquist, B.J.** 2001. Invariant scaling relationships for interspecific plant biomass production rates and body size. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **98**: 2922-2927.
- Niklas, K.J. and Spatz, H.C.** 2000. Wind-induced stresses in cherry trees: evidence against the hypothesis of constant stress levels. *Trees-Structure and Function*, **14**: 230-237.
- Niklas, K.J. and Spatz, H.C.** 2004. Growth and hydraulic (not mechanical) constraints govern the scaling of tree height and mass. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **101**: 15661-15663.
- Niklas, K.J. and Speck, T.** 2001. Evolutionary trends in safety factors against wind-induced stem failure. *American Journal of Botany*, **88**: 1266-1278.
- Nishizono, T., Iehara, T., Kuboyama, H. and Fukuda, M.** 2005. A forest biomass yield table based on an empirical model. *Journal of Forest Research*, **10**: 211-220.
- Nojd, P. and Reams, G.A.** 1996. Growth variation of Scots pine across a pollution gradient on the Kola Peninsula, Russia. *Environmental Pollution*, **93**: 313-325.
- Nola, P., Morales, M., Motta, R. and Villalba, R.** 2006. The role of larch budmoth (*Zeiraphera diniana* Gn.) on forest succession in a larch (*Larix decidua* Mill.) and Swiss stone pine (*Pinus cembra* L.) stand in the Susa Valley (Piedmont, Italy). *Trees-Structure and Function*, **20**: 371-382.
- Norberg, R.A.** 1988. Theory of growth geometry of plants and self-thinning of plant populations: geometric similarity, elastic similarity, and different growth modes of plant parts. *American Naturalist*, **131**: 220-256.
- Noshiro, S. and Baas, P.** 2000. Latitudinal trends in wood anatomy within species and genera: Case study in *Cornus* SL (Cornaceae). *American Journal of Botany*, **87**: 1495-1506.
- Nygren, P. and Pallardy, S.G.** 2008. Applying a universal scaling model to vascular allometry in a single-stemmed, monopodially branching deciduous tree (Attim's model). *Tree Physiology*, **28**: 1-10.
- Oberhuber, W.** 2004. Influence of climate on radial growth of *Pinus cembra* within the alpine timberline ecotone. *Tree Physiology*, **24**: 291-301.
- Oberhuber, W., Kofler, W., Pfeifer, K., Seeber, A., Gruber, A. and Wieser, G.** 2008. Long-term changes in tree-ring-climate relationships at Mt. Patscherkofel (Tyrol, Austria) since the mid-1980s. *Trees-Structure and Function*, **22**: 31-40.
- Oberhuber, W., Stumbock, M. and Kofler, W.** 1998. Climate tree-growth relationships of Scots pine stands (*Pinus sylvestris* L.) exposed to soil dryness. *Trees-Structure and Function*, **13**: 19-27.
- Onate, M. and Munne-Bosch, S.** 2008. Meristem aging is not responsible for age-related changes in growth and abscisic acid levels in the Mediterranean shrub, *Cistus clusii*. *Plant Biology*, **10**: 148-155.

- Oribe, Y., Funada, R., Shibagaki, M. and Kubo, T.** 2001. Cambial reactivation in locally heated stems of the evergreen conifer *Abies sachalinensis* (Schmidt) Master *Planta*, **212**: 684-691.
- Orwig, D.A. and Abrams, M.D.** 1997. Variation in radial growth responses to drought among species, site, and canopy strata. *Trees-Structure and Function*, **11**: 474-484.
- Panyushkina, I.P., Hughes, M.K., Vaganov, E.A. and Munro, M.A.R.** 2003. Summer temperature in northeastern Siberia since 1642 reconstructed from tracheid dimensions and cell numbers of *Larix cajanderi*. *Canadian Journal of Forest Research-Revue Canadienne De Recherche Forestiere*, **33**: 1905-1914.
- Paques, L.E.** 2001. Genetic control of heartwood content in larch. *Silvae Genetica*, **50**: 69-75.
- Perttunen, J., Sievanen, R., Nikinmaa, E., Salminen, H., Saarenmaa, H. and Vakeva, J.** 1996. LIGNUM: A tree model based on simple structural units. *Annals of Botany*, **77**: 87-98.
- Petit, G.** 2008. *Analysis of the tapering of xylem conduits as a compensation mechanism for hydraulic limitations to tree growth*. PhD Thesis, University of Padova-Facoltà di Agraria, Padova.
- Petit, G., Anfodillo, T. and Mencuccini, M.** 2008. Tapering of xylem conduits and hydraulic limitations in sycamore (*Acer pseudoplatanus*) trees. *New Phytologist*, **177**: 653-664.
- Phillips, N.G., Buckley, T.N. and Tissue, D.T.** 2008. Capacity of Old Trees to Respond to Environmental Change. *Journal of Integrative Plant Biology*, **50**: 1355-1364.
- Pinto, I., Pereira, H. and Usenius, A.** 2004. Heartwood and sapwood development within maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) stems. *Trees-Structure and Function*, **18**: 284-294.
- Pittermann, J. and Sperry, J.** 2003. Tracheid diameter is the key trait determining the extent of freezing-induced embolism in conifers. *Tree Physiology*, **23**: 907-914.
- Pittermann, J. and Sperry, J.S.** 2006. Analysis of freeze-thaw embolism in conifers. The interaction between cavitation pressure and tracheid size. *Plant Physiology*, **140**: 374-382.
- Pittermann, J., Sperry, J.S., Wheeler, J.K., Hacke, U.G. and Sikkema, E.H.** 2006. Mechanical reinforcement of tracheids compromises the hydraulic efficiency of conifer xylem. *Plant Cell and Environment*, **29**: 1618-1628.
- Piussi, P.** 1994. *Selvicoltura generale*. UTET, Torino, 421 pp.
- Pont, D.** 2004. Analyses of basic crown-stem growth relationships in Radiata pine. *4th International Workshop on Functional-Structural Plant Models, 7-11 June 2004 –Montpellier, France*.
- Pothier, D., Margolis, H.A., Poliquin, J. and Waring, R.H.** 1989. Relation between the Permeability and the Anatomy of Jack Pine Sapwood with Stand Development. *Canadian Journal of Forest Research-Revue Canadienne De Recherche Forestiere*, **19**: 1564-1570.
- Price, C.A. and Enquist, B.J.** 2006. Scaling of mass and morphology in plants with minimal branching: an extension of the WBE model. *Functional Ecology*, **20**: 11-20.
- Priestley, J.H.** 1930. Studies in the physiology of cambial activity. III The seasonal activity of the cambium. *New Phytologist*, **29**: 316-354.
- Provincia Autonoma di Trento** 2006. Piano generale di utilizzazione delle acque pubbliche. Parte prima: quadro conoscitivo di base.
- Pukkala, T., Miina, J. and Kellomaki, S.** 1998. Response to different thinning intensities in young *Pinus sylvestris*. *Scandinavian Journal of Forest Research*, **13**: 141-150.
- Raiskila, S., Saranpaa, P., Fagerstedt, K., Laakso, T., Loija, M., Mahlberg, R., Paajanen, L. and Ritschkoff, A.C.** 2006. Growth rate and wood properties of Norway spruce cutting clones on different sites. *Silva Fennica*, **40**: 247-256.
- Rathgeber, C.B.K., Decoux, V. and Leban, J.M.** 2006. Linking intra-tree-ring wood density variations and tracheid anatomical characteristics in Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco). *Annals of Forest Science*, **63**: 699-706.
- Regione del Veneto** 1985. *Il pino cembro nel Veneto*. Dipartimento Foreste. (Autori: R. Del Favero-G. De Mas- C. Lasen-P. Paiero), Mestre-Venezia, 86 pp.
- Rennolls, K.** 1994. Pipe-model theory of stem-profile development. *Forest Ecology and Management*, **69**: 41-55.
- Rice, K.J., Matzner, S.L., Byer, W. and Brown, J.R.** 2004. Patterns of tree dieback in Queensland, Australia: the importance of drought stress and the role of resistance to cavitation. *Oecologia*, **139**: 190-198.
- Rood, S.B., Patino, S., Coombs, K. and Tyree, M.T.** 2000. Branch sacrifice: cavitation-associated drought adaptation of riparian cottonwoods. *Trees-Structure and Function*, **14**: 248-257.

- Rossi, S. and Deslauriers, A.** 2007. Scale temporali d'azione di temperatura e fotoperiodo sulla xilogenesi al limite superiore del bosco. *Forest@*, **4**: 6-10.
- Rossi, S., Deslauriers, A. and Anfodillo, T.** 2006. (a) Assessment of cambial activity and xylogenesis by microsampling tree species: An example at the alpine timberline. *Iawa Journal*, **27**: 383-394.
- Rossi, S., Deslauriers, A., Anfodillo, T., Morin, H., Saracino, A., Motta, R. and Borghetti, M.** 2006. (b) Conifers in cold environments synchronize maximum growth rate of tree-ring formation with day length. *New Phytologist*, **170**: 301-310.
- Rossi, S., Deslauriers, A., Anfodillo, T. and Carrer, M.** 2008. (a) Age-dependent xylogenesis in timberline conifers. *New Phytologist*, **177**: 199-208.
- Rossi, S., Simard, S., Rathgeber, C., Deslauriers, A. and De Zan, C.** 2008. (b) Effects of a 20-day-long dry period on cambial and apical meristem growth in *Abies balsamea* seedlings. *Trees - Structure and Function*.
- Roth-Nebelsick, A., Grimm, G., Mosbrugger, V., Hass, H. and Kerp, H.** 2000. Morphometric analysis of Rhynia and Asteroxylon: testing functional aspects of early land plant evolution. *Paleobiology*, **26**: 405-418.
- Rundel, P.W. and R.E., S.** 1977. Morphological adaptations of tracheid structure to water stress gradients in the crown of *Sequoiadendron giganteum* *Oecologia*, **27**: 135-139.
- Rundel, P.W. and Stecker, R.E.** 1977. Morphological adaptations of tracheid structure to water stress gradients in the crown of *Sequoiadendron giganteum* *Oecologia*, **27**: 135-139.
- Russo, S.E., Wiser, S.K. and Coomes, D.A.** 2007. Growth-size scaling relationships of woody plant species differ from predictions of the Metabolic Ecology Model. *Ecology Letters*, **10**: 889-901.
- Rust, S. and Roloff, A.** 2002. Reduced photosynthesis in old oak (*Quercus robur*): the impact of crown and hydraulic architecture. *Tree Physiology*, **22**: 597-601.
- Ryan, M.G., Binkley, D., Fownes, J.H., Giardina, P. and Senock, R.** 2005. An experimental test of the causes of forest growth decline with stand age. *Ecological Monographs*, **74**: 393-414.
- Ryan, M.G. and Waring, R.H.** 1992. Maintenance Respiration and Stand Development in a Sub-Alpine Lodgepole Pine Forest. *Ecology*, **73**: 2100-2108.
- Ryan, M.G. and Yoder, B.J.** 1997. Hydraulic limits to tree height and tree growth: what keeps trees from growing beyond a certain height? *BioScience*, **47**: 235-242.
- Sachs, T.** 1991. Cell Polarity and Tissue Patterning in Plants. *Development*, **Suppl.1**: 83-93.
- Sala, A.** 2006. Hydraulic compensation in northern Rocky Mountain conifers: does successional position and life history matter? *Oecologia*, **149**: 1-11.
- Salminen, H. and Jalkanen, R.** 2005. Modelling the effect of temperature on height increment of Scots pine at high latitudes. *Silva Fennica*, **39**: 497-508.
- Salminen, H. and Jalkanen, R.** 2007. Intra-annual height increment of *Pinus sylvestris* at high latitudes in Finland. *Tree Physiology*, **27**: 1347-1353.
- Savage, V.M., Gillooly, J.F., Brown, J.H., West, G.B. and Charnov, E.L.** 2004. Effects of body size and temperature on population growth. *American Naturalist*, **163**: E429-E441.
- Savage, V.M., Gillooly, J.F., Woodruff, W.H., West, G.B., Allen, A.P., Enquist, B.J. and Brown, J.H.** 2004. The predominance of quarter-power scaling in biology. *Functional Ecology*, **18**: 257-282.
- Savidge, R.A.** 1994. The Tracheid-Differentiation Factor of Conifer Needles. *International Journal of Plant Sciences*, **155**: 272-290.
- Savidge, R.A.** 1996. Xylogenesis, genetic and environmental regulation - A review. *Iawa Journal*, **17**: 269-310.
- Savidge, R.A.** 2001. Intrinsic regulation of cambial growth. *Journal of Plant Growth Regulation*, **20**: 52-77.
- Schafer, K.V.R., Oren, R. and Tenhunen, J.D.** 2000. The effect of tree height on crown level stomatal conductance. *Plant Cell and Environment*, **23**: 365-375.
- Schrader, J., Baba, K., May, S.T., Palme, K., Bennett, M., Bhalerao, R.P. and Sandberg, G.** 2003. Polar auxin transport in the wood-forming tissues of hybrid aspen is under simultaneous control of developmental and environmental signals. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **100**: 10096-10101.
- Schweingruber, F.H.** 1996. *Tree Rings and Environment Dendroecology*. WSL FNP Haupt, Bern (Switzerland), 609 p pp.
- Schwinning, S. and Weiner, J.** 1998. Mechanisms determining the degree of size asymmetry in competition among plants. *Oecologia*, **113**: 447-455.

- Searson, M.J., Thomas, D.S., Montagu, K.D. and Conroy, J.P.** 2004. Wood density and anatomy of water-limited eucalypts. *Tree Physiology*, **24**: 1295-1302.
- Sellin, A.** 1994. Sapwood-heartwood proportion related to tree diameter, age, and growth rate in *Picea abies*. *Canadian Journal of Forest Research-Revue Canadienne De Recherche Forestiere*, **24**: 1022-1028.
- Sellin, A. and Kupper, P.** 2006. Spatial variation in sapwood area to leaf area ratio and specific leaf area within a crown of silver birch. *Trees-Structure and Function*, **20**: 311-319.
- Sellin, A., Rohejarv, A. and Rahi, M.** 2008. Distribution of vessel size, vessel density and xylem conducting efficiency within a crown of silver birch (*Betula pendula*). *Trees-Structure and Function*, **22**: 205-216.
- Shelburne, V.B. and Hedden, R.L.** 1996. Effect of stem height, dominance class, and site quality on sapwood permeability in loblolly pine, (*Pinus taeda* L.). *Forest Ecology and Management*, **83**: 163-169.
- Shi, P.L., Korner, C. and Hoch, G.** 2006. End of season carbon supply status of woody species near the treeline in western China. *Basic and Applied Ecology*, **7**: 370-377.
- Shinozaki, K., Yoda, K., Hozumi, K. and Kira, T.** 1964. A quantitative analysis of plant form—the pipe model theory. I. Basic analyses. *Japanese Journal of Ecology*, **14**.
- Smith, F.W. and Long, J.N.** 2001. Age-related decline in forest growth: an emergent property. *Forest Ecology and Management*, **144**: 175-181.
- Sokal, R.r. and Rohlf, F.J.** 1981. *Biometry*. Freeman W.H., New York.
- Soltani, A., Galeshi, S., Attarbashi, M.R. and Taheri, A.H.** 2004. Comparison of two methods for estimating parameters of harvest index increase during seed growth. *Field Crops Research*, **89**: 369-378.
- Speakman, J.R.** 2005. Body size, energy metabolism and lifespan. *Journal of Experimental Biology*, **208**: 1717-1730.
- Sperry, J.S. and Hacke, U.G.** 2004. Analysis of circular bordered pit function - I. Angiosperm vessels with homogenous pit membranes. *American Journal of Botany*, **91**: 369-385.
- Sperry, J.S., Hacke, U.G., Oren, R. and Comstock, J.P.** 2002. Water deficits and hydraulic limits to leaf water supply. *Plant Cell and Environment*, **25**: 251-263.
- Sperry, J.S., Hacke, U.G. and Pittermann, J.** 2006. Size and function in conifer tracheids and angiosperm vessels. *American Journal of Botany*, **93**: 1490-1500.
- Sperry, J.S., Hacke, U.G. and Wheeler, J.K.** 2005. Comparative analysis of end wall resistivity in xylem conduits. *Plant Cell and Environment*, **28**: 456-465.
- Sperry, J.S., Meinzer, F.C. and McCulloh, K.A.** 2008. Safety and efficiency conflicts in hydraulic architecture: scaling from tissues to trees. *Plant Cell and Environment*, **31**: 632-645.
- Sperry, J.S., Nichols, K.L., Sullivan, J.E.M. and Eastlack, S.E.** 1994. Xylem Embolism in Ring-Porous, Diffuse-Porous, and Coniferous Trees of Northern Utah and Interior Alaska. *Ecology*, **75**: 1736-1752.
- Sperry, J.S., Stiller, V. and Hacke, U.G.** 2003. Xylem hydraulics and the soil-plant-atmosphere continuum: Opportunities and unresolved issues. *Agronomy Journal*, **95**: 1362-1370.
- Spicer, R. and Gartner, B.L.** 2001. The effects of cambial age and position within the stem on specific conductivity in Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) sapwood. *Trees*, **15**: 222-229.
- Spiecker, H.** 1995. Growth Dynamics in a Changing Environment - Long-Term Observations. *Plant and Soil*, **169**: 555-561.
- Sterck, F.J. and Bongers, F.** 1998. Ontogenetic Changes in Size, Allometry, and Mechanical Design of Tropical Rain Forest Trees. *American Journal of Botany*, **85**: 266-272.
- Stokes, A. and Berthier, S.** 2000. Irregular heartwood formation in *Pinus pinaster* Ait. is related to eccentric, radial, stem growth. *Forest Ecology and Management*, **135**: 115-121.
- Stratton, L., Goldstein, G. and Meinzer, F.C.** 2000. Stem water storage capacity and efficiency of water transport: their functional significance in a Hawaiian dry forest. *Plant Cell and Environment*, **23**: 99-106.
- Sumida, A., Ito, H. and Isagi, Y.** 1997. Trade-Off Between Height Growth and Stem Diameter Growth for an Evergreen Oak, *Quercus glauca*, in a Mixed Hardwood Forest. *Functional Ecology*, **11**: 300-309.
- Sundberg, B. and Little, C.H.A.** 1990. Tracheid Production in Response to Changes in the Internal Level of Indole-3-Acetic Acid in 1-Year-Old Shoots of Scots Pine. *Plant Physiol.*, **94**: 1721-1727.
- Susmel, L.** 1980. *Normalizzazione delle foreste alpine*. Liviana editrice, Padova, 437 pp.



- Suzuki, M. and Hiura, T.** 2000. Allometric differences between current-year shoots and large branches of deciduous broad-leaved tree species. *Tree Physiology*, **20**: 203-209.
- Svaluto, S.** 1977. *Ricerca auxometrica su alcuni vecchi popolamenti di picea della Val di Fiemme*. Tesi di Laurea in Scienze Forestali., Università degli Studi di Padova, Padova.
- Szeicz, J.M. and Macdonald, G.M.** 1994. Age-Dependent Tree-Ring Growth-Responses of Sub-Arctic White Spruce to Climate. *Canadian Journal of Forest Research-Revue Canadienne De Recherche Forestiere*, **24**: 120-132.
- Takao, G. and Minowa, T.** 1993. A stand growth model of coniferous plantation in the light of the reduction in respiration per unit stem volume. *Bulletin of the Tokyo University Forests*, **89**: 113-153.
- Takemoto, Y. and Greenwood, M.S.** 1993. Maturation in larch: age-related changes in xylem development in the long-shoot foliage and the main stem. **13**: 253-262.
- Tasissa, G. and Burkhart, H.E.** 1997. Modeling thinning effects on ring width distribution in loblolly pine (*Pinus taeda*). *Canadian Journal of Forest Research-Revue Canadienne De Recherche Forestiere*, **27**: 1291-1301.
- Thomas, H., Thomas, H.M. and Ougham, H.** 2000. Annuality, perennality and cell death. *Journal of Experimental Botany*, **51**: 1781-1788.
- Thomas, S.C. and Bazzaz, F.A.** 1999. Asymptotic Height as a Predictor of Photosynthetic characteristics in Malaysian Rain Forest Trees. *Ecology*, **80**: 1607-1622.
- Turner, D.P., Acker, S.A., Means, J.E. and Garman, S.L.** 2000. Assessing alternative allometric algorithms for estimating leaf area of Douglas-fir trees and stands. *Forest Ecology and Management*, **126**: 61-76.
- Tyree, M.T.** 2003. The ascent of water. *Nature*, **423**: 923-923.
- Tyree, M.T. and Ewers, F.W.** 1991. The Hydraulic Architecture of Trees and Other Woody-Plants. *New Phytologist*, **119**: 345-360.
- Tyree, M.T. and Sperry, J.S.** 1988. Do Woody Plants Operate Near the Point of Catastrophic Xylem Dysfunction Caused by Dynamic Water Stress? : Answers from a Model. *Plant Physiol.*, **88**: 574-580.
- Uggla, C., Magel, E., Moritz, T. and Sundberg, B.** 2001. Function and Dynamics of Auxin and Carbohydrates during Earlywood/Latewood Transition in Scots Pine. *Plant Physiol.*, **125**: 2029-2039.
- Uggla, C., Mellerowicz, E.J. and Sundberg, B.** 1998. Indole-3-acetic acid controls cambial growth in Scots pine by positional signaling. *Plant Physiology*, **117**: 113-121.
- Umeki, K.** 2001. Growth characteristics of six tree species on Hokkaido Island, northern Japan. *Ecological Research*, **16**: 435-450.
- Urbinati, C. and Carrer, M.** 2001. L'analisi degli anelli legnosi come strumento per il monitoraggio climatico. In: *Monitoraggio ambientale: metodologie e applicazioni, Atti del XXXVIII corso*, pp. 143-157, Centro Studi per l'Ambiente Alpino. San Vito di Cadore, 3-6 settembre 2001.
- Utsumi, Y., Sano, Y., Funada, R., Ohtani, J. and Fujikawa, S.** 2003. Seasonal and perennial changes in the distribution of water in the sapwood of conifers in a sub-frigid zone. *Plant Physiology*, **131**: 1826-1833.
- Uzoh, F.C.C. and Oliver, W.W.** 2006. Individual tree height increment model for managed even-aged stands of ponderosa pine throughout the western United States using linear mixed effects models. *Forest Ecology and Management*, **221**: 147-154.
- Vacchiano, G., Motta, R., Long, J.N. and Shaw, J.D.** 2008. A density management diagram for Scots pine (*Pinus sylvestris* L.): A tool for assessing the forest's protective effect. *Forest Ecology and Management*, **255**: 2542-2554.
- Vanninen, P.** 2004. Allocation of Above - ground Growth in *Pinus sylvestris*-Impacts of tree size and competition. *Silva Fennica*, **38**: 155-166.
- Via, B.K., Shupe, T.F., Groom, L.H., Stine, M. and So, C.L.** 2003. Multivariate modelling of density, strength and stiffness from near infrared spectra for mature, juvenile and pith wood of longleaf pine (*Pinus palustris*). *Journal of near Infrared Spectroscopy*, **11**: 365-378.
- Voesenek, L.A.C.J. and Blom, C.W.P.M.** 1996. Plants and Hormones: An Ecophysiological View on Timing and Plasticity. *The Journal of Ecology*, **84**: 111-119.
- Wang, G.** 1998. Is height of dominant trees at a reference diameter an adequate measure of site quality? *Forest Ecology and Management*, **112**: 49-54.
- Wang, G.G., Marshall, P.L. and Klinka, K.** 1994. Height growth pattern of white spruce in relation to site quality. *Forest Ecology and Management*, **68**: 137-147.

- Wang, T.L. and Aitken, S.N.** 2001. Variation in xylem anatomy of selected populations of lodgepole pine. *Canadian Journal of Forest Research-Revue Canadienne De Recherche Forestiere*, **31**: 2049-2057.
- Wang, X., Fang, J., Tang, Z. and Zhu, B.** 2006. Climatic control of primary forest structure and DBH-height allometry in Northeast China. *Forest Ecology and Management*, **234**: 264-274.
- Wareing, P.F. and Seth, K.** 1967. Ageing and senescence in the whole plant. *Symposia of the Society for Experimental Biology*, **21**: 543-558.
- Weiner, J.** 1984. Neighbourhood Interference Amongst Pinus Rigida Individuals. *The Journal of Ecology*, **72**: 183-195.
- Weiner, J. and Thomas, S.C.** 2001. The nature of tree growth and the "age-related decline in forest productivity". *Oikos*, **94**: 374-376.
- Weitz, J.S., Ogle, K. and Horn, H.S.** 2006. Ontogenetically stable hydraulic design in woody plants. *Functional Ecology*, **20**: 191-199.
- Wellman, C.H. and Gray, J.** 2000. The microfossil record of early land plants. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences*, **355**: 717-731.
- West, G.B., Brown, J.H. and Enquist, B.J.** 1997. A general model for the origin of allometric scaling laws in biology. *Science*, **276**: 122-126.
- West, G.B., Brown, J.H. and Enquist, B.J.** 1999. (a) A general model for the structure and allometry of plant vascular systems. *Nature*, **400**: 664-667.
- West, G.B., Brown, J.H. and Enquist, B.J.** 1999. (b) The fourth dimension of life: Fractal geometry and allometric scaling of organisms. *Science*, **284**: 1677-1679.
- Whitfield, J.** 2001. All creatures great and small. *Nature*, **413**: 342-344.
- Whittaker, R.H. and Woodwell, G.M.** 1968. Dimension and Production Relations of Trees and Shrubs in the Brookhaven Forest, New York. *The Journal of Ecology*, **56**: 1-25.
- Wieser, G. and Bahn, M.** 2004. Seasonal and spatial variation of woody tissue respiration in a Pinus cembra tree at the alpine timberline in the central Austrian Alps. *Trees-Structure and Function*, **18**: 576-580.
- Wieser, G., Gigele, T. and Pausch, H.** 2005. The carbon budget of an adult Pinus cembra tree at the alpine timberline in the Central Austrian Alps. *European Journal of Forest Research*, **124**: 1-8.
- Wilkes, J.** 1991. Heartwood Development and Its Relationship to Growth in Pinus-Radiata. *Wood Science and Technology*, **25**: 85-90.
- Wimmer, R. and Grabner, M.** 1997. Effects of climate on vertical resin duct density and radial growth of Norway spruce [Picea abies (L) Karst]. *Trees-Structure and Function*, **11**: 271-276.
- Wimmer, R. and Grabner, M.** 2000. A comparison of tree-ring features in Picea abies as correlated with climate. *Iawa Journal*, **21**: 403-416.
- Wipfler, P., Seifert, T., Heerdt, C., Werner, H. and Pretzsch, H.** 2005. Growth of adult Norway spruce (Picea abies [L.] Karst.) and European beech (Fagus sylvatica L.) under free-air ozone fumigation. *Plant Biology*, **7**: 611-618.
- Woolhouse, H.W.** 1967. The nature of senescence in plants. *Symposia of the Society for Experimental Biology*, **21**: 179-214.
- Woolhouse, H.W.** (Ed), 1972. *Ageing Processes in Higher Plants*, Oxford University Press edn, London.
- Wright, S.J., Trakhtenbrot, A., Bohrer, G., Detto, M., Katul, G.G., Horvitz, N., Muller-Landau, H.C., Jones, F.A. and Nathan, R.** 2008. Understanding strategies for seed dispersal by wind under contrasting atmospheric conditions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **105**: 19084-19089.
- Yang, K.C., Chen, Y.S., Chiu, C. and Hazenberg, G.** 1994. Formation and Vertical-Distribution of Sapwood and Heartwood in Cryptomeria-Japonica D Don. *Trees-Structure and Function*, **9**: 35-40.
- Yang, K.C. and Hazenberg, G.** 1991. Sapwood and Heartwood Width Relationship to Tree Age in Pinus-Banksiana. *Canadian Journal of Forest Research-Revue Canadienne De Recherche Forestiere*, **21**: 521-525.
- Yang, S.H.** 2004. *Transcript profiling of differentiating xylem of loblolly pine (Pinus taeda L.)*. PhD dissertation, Texas A&M University.
- Yashima, H.F. and Bianconi, S.** 2004. Modello integro-differenziale di un sistema ecologico e la sua stabilità: caso di pino cembro e nocciolaia nella loro interdipendenza. *Annali di Matematica*, **183**: 131-163.

- Yeh, T.-F.** 2005. *Chemical and structural characterizations of juvenile wood, mature wood, and compression wood of loblolly pine (Pinus taeda)*. . PhD dissertation, North Carolina State University, 196 pp.
- Yoder, B.J., Ryan, M.G., Waring, R.H., Schoettle, A.W. and Kaufmann, M.R.** 1994. Evidence of Reduced Photosynthetic Rates in Old Trees. *Forest Science*, **40**: 513-527.
- Zahle, S.** 2005. Effect of height on tree hydraulic conductance incompletely compensated by xylem tapering. *Functional Ecology*, **19**: 359-364.
- Zahner, R. and Donnelly, J.R.** 1967. Refining Correlations of Water Deficits and Radial Growth in Young Red Pine. *Ecology*, **48**: 525-530.
- Zeide, B.** 1993. Analysis of Growth Equations. *Forest Science*, **39**: 594-616.
- Zens, M.S. and Webb, C.O.** 2002. Sizing up the shape of life. *Science*, **295**: 1475-1476.
- Zhang, L.J.** 1997. Cross-validation of non-linear growth functions for modelling tree height-diameter relationships. *Annals of Botany*, **79**: 251-257.
- Zianis, D. and Mencuccini, M.** 2004. On simplifying allometric analyses of forest biomass. *Forest Ecology and Management*, **187**: 311-332.
- Zianis, D., Muukkonen, P., Makipaa, R. and Mencuccini, M.** 2005. Biomass and stem volume equations for tree species in europe. *Silva Fennica*, **4**.
- Zimmermann, M.H.** 1974. Long Distance Transport. *Plant Physiol.*, **54**: 472-479.
- Zimmermann, M.H.** 1983. Xylem structure and the ascent of sap. *Springer-Verlag. Berlin*.
- Zimmermann, U., Haase, A., Langbein, D. and Meinzer, F.** 1993. Mechanisms of Long-Distance Water Transport in Plants - a Reexamination of Some Paradigms in the Light of New Evidence. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences*, **341**: 19-31.
- Zimmermann, U., Schneider, H., Wegner, L.H. and Haase, A.** 2004. Water ascent in tall trees: does evolution of land plants rely on a highly metastable state? *New Phytologist*, **162**: 575-615.
- Zucchini, W., Schmidt, M. and Gadow, K.** 2001. A model for the diameter-height distribution in an uneven-aged beech forest and a method to assess the fit of such models. *Silva Fennica*, **35**: 169-183.



## APPENDICE



APPENDICE I. Parametri dendrometrici delle piante esaminate.

APPENDICE IIa. Confronto tra l'incremento radiale pre- e post- morte del cimale.

APPENDICE IIb. Relazione tra  $L$  e  $D$ .

APPENDICE IIc. Serie radiali.

APPENDICE III. Alburno e durame.

APPENDICE IV. Correlazioni clima-accrescimento.

APPENDICE Va. Relazione tra  $Dh$  e  $D$ .

APPENDICE Vb. Relazione tra  $Dh$  e  $L$ .

APPENDICE Vc. Serie radiali di diametro idraulico.

APPENDICE VI. Numero di cellule del larice.



## APPENDICE I. Parametri dendrometrici delle piante esaminate.

Si indicano con:  $D_{130}$ : diametro a 130 cm (cm);  $H_{incr}$ : incremento d'altezza annuo (m/anno);  $H$ : altezza (m);  $V_{incr}$ : incremento volumetrico annuo ( $dm^3/anno$ );  $V$ : volume della pianta ( $dm^3$ ).

anno	età (anni)	specie e codice	$D_{130}$ (cm)	$H_{incr}$ (m/anno)	$H$ (m)	$V_{incr}$ ( $dm^3/anno$ )	$V$ ( $dm^3$ )
1813	1	abete 03113		0.28	1.28	0.004	0.004
1814	2	abete 03113	0.42	0.28	1.56	0.011	0.014
1815	3	abete 03113	0.84	0.28	1.84	0.045	0.059
1816	4	abete 03113	1.25	0.28	2.13	0.078	0.137
1817	5	abete 03113	1.65	0.28	2.41	0.115	0.252
1818	6	abete 03113	2.05	0.28	2.69	0.175	0.427
1819	7	abete 03113	2.45	0.28	2.97	0.273	0.700
1820	8	abete 03113	2.84	0.28	3.25	0.421	1.121
1821	9	abete 03113	3.22	0.28	3.53	0.414	1.535
1822	10	abete 03113	3.60	0.28	3.82	0.228	1.763
1823	11	abete 03113	3.97	0.28	4.10	0.306	2.069
1824	12	abete 03113	4.33	0.28	4.38	0.518	2.587
1825	13	abete 03113	4.69	0.28	4.66	0.820	3.407
1826	14	abete 03113	4.69	0.21	4.87	0.929	4.336
1827	15	abete 03113	5.11	0.21	5.07	1.054	5.390
1828	16	abete 03113	5.52	0.21	5.28	1.272	6.662
1829	17	abete 03113	5.89	0.21	5.48	1.313	7.974
1830	18	abete 03113	6.17	0.21	5.69	1.036	9.010
1831	19	abete 03113	6.47	0.21	5.89	1.363	10.373
1832	20	abete 03113	6.69	0.21	6.10	1.138	11.511
1833	21	abete 03113	6.95	0.21	6.31	1.415	12.926
1834	22	abete 03113	7.21	0.21	6.51	1.433	14.359
1835	23	abete 03113	7.43	0.21	6.72	1.428	15.787
1836	24	abete 03113	7.68	0.21	6.92	1.627	17.413
1837	25	abete 03113	7.97	0.21	7.13	1.821	19.234
1838	26	abete 03113	8.25	0.21	7.33	1.883	21.117
1839	27	abete 03113	8.54	0.21	7.54	2.081	23.198
1840	28	abete 03113	8.95	0.21	7.75	2.919	26.117
1841	29	abete 03113	9.34	0.21	7.95	3.063	29.180
1842	30	abete 03113	9.80	0.21	8.16	3.575	32.755
1843	31	abete 03113	10.07	0.21	8.36	2.506	35.261
1844	32	abete 03113	10.42	0.21	8.57	3.106	38.367
1845	33	abete 03113	10.84	0.21	8.77	3.987	42.354
1846	34	abete 03113	11.39	0.21	8.98	5.198	47.553
1847	35	abete 03113	12.05	0.47	9.45	6.739	54.292
1848	36	abete 03113	12.67	0.47	9.92	7.335	61.626
1849	37	abete 03113	13.23	0.47	10.40	7.282	68.908
1850	38	abete 03113	13.72	0.47	10.87	6.802	75.710
1851	39	abete 03113	14.20	0.47	11.34	7.902	83.612
1852	40	abete 03113	14.66	0.47	11.81	7.996	91.608
1853	41	abete 03113	15.12	0.47	12.29	9.011	100.618
1854	42	abete 03113	15.55	0.47	12.76	9.687	110.305
1855	43	abete 03113	15.99	0.47	13.23	10.121	120.426
1856	44	abete 03113	16.46	0.39	13.62	11.956	132.382
1857	45	abete 03113	16.88	0.39	14.00	10.463	142.845
1858	46	abete 03113	17.34	0.39	14.39	12.866	155.710
1859	47	abete 03113	17.81	0.39	14.78	12.812	168.522
1860	48	abete 03113	18.16	0.39	15.16	11.079	179.602
1861	49	abete 03113	18.53	0.39	15.55	12.918	192.520
1862	50	abete 03113	18.89	0.39	15.93	13.223	205.743
1863	51	abete 03113	19.33	0.39	16.32	16.613	222.356
1864	52	abete 03113	19.78	0.39	16.71	17.438	239.794
1865	53	abete 03113	20.28	0.39	17.09	19.850	259.644
1866	54	abete 03113	20.76	0.39	17.48	19.192	278.836
1867	55	abete 03113	21.22	0.39	17.87	19.665	298.501
1868	56	abete 03113	21.67	0.39	18.25	20.353	318.853
1869	57	abete 03113	22.13	0.39	18.64	21.502	340.355

1870	58	abete 03113	22.62	0.39	19.03	22.247	362.602
1871	59	abete 03113	23.11	0.39	19.42	24.006	386.608
1872	60	abete 03113	23.50	0.39	19.80	19.877	406.484
1873	61	abete 03113	23.93	0.39	20.19	24.807	431.291
1874	62	abete 03113	24.35	0.39	20.58	24.450	455.741
1875	63	abete 03113	24.84	0.39	20.97	26.415	482.156
1876	64	abete 03113	25.34	0.39	21.35	28.082	510.238
1877	65	abete 03113	25.87	0.39	21.74	29.723	539.961
1878	66	abete 03113	26.32	0.35	22.09	29.435	569.396
1879	67	abete 03113	26.75	0.35	22.44	29.406	598.801
1880	68	abete 03113	27.20	0.35	22.79	29.273	628.075
1881	69	abete 03113	27.72	0.35	23.14	27.980	656.054
1882	70	abete 03113	28.28	0.35	23.49	35.973	692.028
1883	71	abete 03113	28.79	0.35	23.84	34.170	726.198
1884	72	abete 03113	29.21	0.35	24.19	31.079	757.276
1885	73	abete 03113	29.66	0.35	24.54	28.510	785.786
1886	74	abete 03113	30.09	0.35	24.89	34.390	820.176
1887	75	abete 03113	30.48	0.35	25.24	31.316	851.492
1888	76	abete 03113	30.86	0.35	25.59	32.795	884.287
1889	77	abete 03113	31.29	0.35	25.94	37.108	921.395
1890	78	abete 03113	31.74	0.28	26.22	38.402	959.797
1891	79	abete 03113	32.12	0.28	26.51	32.301	992.098
1892	80	abete 03113	32.53	0.28	26.79	37.742	1029.840
1893	81	abete 03113	32.91	0.28	27.07	33.864	1063.704
1894	82	abete 03113	33.29	0.28	27.35	35.544	1099.248
1895	83	abete 03113	33.67	0.28	27.64	36.772	1136.020
1896	84	abete 03113	33.95	0.28	27.92	29.954	1165.974
1897	85	abete 03113	34.21	0.28	28.20	30.957	1196.931
1898	86	abete 03113	34.51	0.28	28.48	34.449	1231.380
1899	87	abete 03113	34.85	0.28	28.77	36.057	1267.437
1900	88	abete 03113	35.15	0.28	29.05	32.645	1300.082
1901	89	abete 03113	35.44	0.28	29.33	35.046	1335.128
1902	90	abete 03113	35.74	0.28	29.61	35.414	1370.542
1903	91	abete 03113	36.06	0.28	29.90	35.012	1405.554
1904	92	abete 03113	36.46	0.28	30.18	45.145	1450.699
1905	93	abete 03113	36.81	0.21	30.39	36.629	1487.328
1906	94	abete 03113	37.09	0.21	30.60	31.478	1518.806
1907	95	abete 03113	37.41	0.21	30.81	36.052	1554.858
1908	96	abete 03113	37.77	0.21	31.02	39.841	1594.699
1909	97	abete 03113	38.04	0.21	31.23	31.631	1626.330
1910	98	abete 03113	38.35	0.21	31.44	37.791	1664.121
1911	99	abete 03113	38.71	0.21	31.65	42.881	1707.002
1912	100	abete 03113	39.02	0.21	31.86	35.376	1742.378
1913	101	abete 03113	39.26	0.21	32.07	32.659	1775.037
1914	102	abete 03113	39.61	0.21	32.29	44.729	1819.767
1915	103	abete 03113	40.03	0.21	32.50	44.158	1863.925
1916	104	abete 03113	40.45	0.21	32.71	50.476	1914.401
1917	105	abete 03113	40.82	0.21	32.92	46.875	1961.276
1918	106	abete 03113	41.22	0.21	33.13	46.819	2008.095
1919	107	abete 03113	41.58	0.21	33.34	43.686	2051.781
1920	108	abete 03113	41.93	0.21	33.55	46.160	2097.941
1921	109	abete 03113	42.40	0.21	33.76	55.069	2153.010
1922	110	abete 03113	42.87	0.21	33.97	49.026	2202.036
1923	111	abete 03113	43.43	0.21	34.18	61.996	2264.032
1924	112	abete 03113	44.02	0.21	34.39	64.360	2328.392
1925	113	abete 03113	44.55	0.18	34.57	63.723	2392.116
1926	114	abete 03113	45.04	0.18	34.74	59.679	2451.794
1927	115	abete 03113	45.51	0.18	34.92	53.713	2505.508
1928	116	abete 03113	46.06	0.18	35.09	59.423	2564.930
1929	117	abete 03113	46.55	0.18	35.27	49.478	2614.408
1930	118	abete 03113	47.06	0.18	35.44	57.347	2671.756
1931	119	abete 03113	47.48	0.18	35.62	50.204	2721.959
1932	120	abete 03113	47.86	0.18	35.79	42.620	2764.582
1933	121	abete 03113	48.20	0.18	35.97	46.460	2811.046
1934	122	abete 03113	48.58	0.18	36.14	55.280	2866.331
1935	123	abete 03113	48.89	0.18	36.32	45.550	2911.878
1936	124	abete 03113	49.16	0.18	36.49	39.890	2951.771
1937	125	abete 03113	49.49	0.18	36.67	53.810	3005.576
1938	126	abete 03113	49.83	0.18	36.84	49.930	3055.505
1939	127	abete 03113	50.15	0.18	37.02	44.340	3099.846
1940	128	abete 03113	50.48	0.18	37.20	52.190	3152.036
1941	129	abete 03113	50.83	0.18	37.37	53.970	3206.002
1942	130	abete 03113	51.16	0.18	37.55	45.920	3251.923
1943	131	abete 03113	51.54	0.18	37.73	59.610	3311.534
1944	132	abete 03113	51.89	0.18	37.90	56.860	3368.390
1945	133	abete 03113	52.28	0.18	38.08	52.980	3421.372
1946	134	abete 03113	52.70	0.21	38.29	51.930	3473.302
1947	135	abete 03113	53.17	0.21	38.50	64.250	3537.549
1948	136	abete 03113	53.59	0.21	38.71	61.270	3598.816
1949	137	abete 03113	54.12	0.21	38.92	70.890	3669.711



1950	138	abete 03113	54.60	0.21	39.13	58.460	3728.169
1951	139	abete 03113	55.11	0.35	39.48	62.680	3790.847
1952	140	abete 03113	55.61	0.35	39.84	69.740	3860.585
1953	141	abete 03113	56.14	0.35	40.19	77.550	3938.130
1954	142	abete 03113	56.58	0.18	40.37	70.310	4008.445
1955	143	abete 03113	57.01	0.18	40.54	75.110	4083.560
1956	144	abete 03113	57.43	0.18	40.72	71.230	4154.786
1957	145	abete 03113	57.81	0.18	40.89	65.330	4220.115
1958	146	abete 03113	58.17	0.18	41.07	60.920	4281.038
1959	147	abete 03113	58.54	0.18	41.24	69.090	4350.130
1960	148	abete 03113	58.85	0.18	41.42	60.730	4410.865
1961	149	abete 03113	59.16	0.18	41.59	62.300	4473.167
1962	150	abete 03113	59.49	0.18	41.77	63.600	4536.768
1963	151	abete 03113	59.78	0.18	41.94	60.440	4597.205
1964	152	abete 03113	60.09	0.18	42.12	57.750	4654.960
1965	153	abete 03113	60.42	0.18	42.29	59.530	4714.493
1966	154	abete 03113	60.80	0.21	42.50	66.090	4780.586
1967	155	abete 03113	61.18	0.21	42.71	69.520	4850.107
1968	156	abete 03113	61.50	0.21	42.93	54.330	4904.437
1969	157	abete 03113	61.82	0.21	43.14	63.170	4967.607
1970	158	abete 03113	62.15	0.21	43.35	62.690	5030.298
1971	159	abete 03113	62.45	0.14	43.49	61.800	5092.099
1972	160	abete 03113	62.71	0.14	43.62	63.700	5155.799
1973	161	abete 03113	62.96	0.14	43.76	61.120	5216.922
1974	162	abete 03113	63.27	0.14	43.90	71.490	5288.411
1975	163	abete 03113	63.57	0.14	44.04	69.040	5357.450
1976	164	abete 03113	63.85	0.14	44.17	57.660	5415.107
1977	165	abete 03113	64.17	0.14	44.31	62.130	5477.236
1978	166	abete 03113	64.48	0.14	44.45	67.150	5544.384
1979	167	abete 03113	64.89	0.14	44.58	78.160	5622.545
1980	168	abete 03113	65.28	0.14	44.72	75.370	5697.914
1981	169	abete 03113	65.60	0.14	44.86	63.030	5760.949
1982	170	abete 03113	66.04	0.14	44.99	80.630	5841.576
1983	171	abete 03113	66.51	0.14	45.13	82.460	5924.037
1984	172	abete 03113	66.97	0.14	45.27	73.340	5997.379
1985	173	abete 03113	67.45	0.14	45.41	69.650	6067.025
1986	174	abete 03113	67.93	0.14	45.54	75.052	6142.077
1987	175	abete 03113	68.32	0.14	45.68	75.756	6217.833
1988	176	abete 03113	68.63	0.12	45.80	73.984	6291.816
1989	177	abete 03113	68.99	0.12	45.92	73.498	6365.314
1990	178	abete 03113	69.33	0.05	45.97	74.759	6440.073
1991	179	abete 03113	69.70	0.05	46.02	71.855	6511.928
1992	180	abete 03113	70.01	0.05	46.07	61.092	6573.019
1993	181	abete 03113	70.16	0.05	46.12	44.962	6617.982
1994	182	abete 03113	70.56	0.04	46.16	73.569	6691.550
1995	183	abete 03113	70.84	0.04	46.21	49.236	6740.786
1996	184	abete 03113	71.16	0.04	46.25	58.868	6799.654
1997	185	abete 03113	71.56	0.10	46.36	67.967	6867.621
1998	186	abete 03113	71.95	0.10	46.45	72.545	6940.166
1999	187	abete 03113	72.38	0.03	46.49	77.497	7017.663
2000	188	abete 03113	72.80	0.05	46.54	72.395	7090.058
2001	189	abete 03113	73.31	0.01	46.55	69.578	7159.636
2002	190	abete 03113	73.63	0.01	46.56	57.102	7216.738
1831	1	abete 03122		0.13	0.48	0.000	0.000
1832	2	abete 03122		0.13	0.61	0.000	0.000
1833	3	abete 03122		0.13	0.74	0.002	0.002
1834	4	abete 03122		0.13	0.88	0.003	0.005
1835	5	abete 03122		0.13	1.01	0.005	0.010
1836	6	abete 03122		0.13	1.14	0.008	0.018
1837	7	abete 03122		0.13	1.27	0.006	0.024
1838	8	abete 03122	0.14	0.13	1.40	0.008	0.032
1839	9	abete 03122	0.29	0.13	1.53	0.012	0.045
1840	10	abete 03122	0.44	0.13	1.66	0.024	0.068
1841	11	abete 03122	0.60	0.13	1.79	0.029	0.097
1842	12	abete 03122	0.77	0.13	1.93	0.044	0.141
1843	13	abete 03122	0.94	0.13	2.06	0.061	0.203
1844	14	abete 03122	1.11	0.13	2.19	0.052	0.254
1845	15	abete 03122	1.30	0.13	2.32	0.083	0.337
1846	16	abete 03122	1.49	0.13	2.45	0.071	0.408
1847	17	abete 03122	1.68	0.13	2.58	0.115	0.523
1848	18	abete 03122	1.88	0.13	2.71	0.150	0.674
1849	19	abete 03122	2.09	0.13	2.84	0.159	0.833
1850	20	abete 03122	2.30	0.13	2.98	0.132	0.964
1851	21	abete 03122	2.52	0.13	3.11	0.154	1.118
1852	22	abete 03122	2.75	0.13	3.24	0.184	1.302
1853	23	abete 03122	2.98	0.13	3.37	0.226	1.528
1854	24	abete 03122	3.21	0.13	3.50	0.248	1.777
1855	25	abete 03122	3.46	0.13	3.63	0.250	2.027
1856	26	abete 03122	3.71	0.13	3.76	0.282	2.309
1857	27	abete 03122	3.96	0.13	3.89	0.361	2.670

1858	28	abete 03122	4.22	0.13	4.03	0.349	3.019
1859	29	abete 03122	4.49	0.13	4.16	0.451	3.470
1860	30	abete 03122	4.76	0.13	4.29	0.475	3.944
1861	31	abete 03122	5.04	0.13	4.42	0.490	4.434
1862	32	abete 03122	5.32	0.13	4.55	0.809	5.243
1863	33	abete 03122	5.61	0.43	4.98	1.182	6.425
1864	34	abete 03122	6.06	0.43	5.40	0.965	7.390
1865	35	abete 03122	6.56	0.43	5.83	1.510	8.900
1866	36	abete 03122	6.94	0.43	6.25	1.919	10.820
1867	37	abete 03122	7.40	0.43	6.68	1.691	12.511
1868	38	abete 03122	8.03	0.43	7.10	2.056	14.567
1869	39	abete 03122	8.64	0.43	7.53	3.130	17.697
1870	40	abete 03122	9.32	0.43	7.95	3.627	21.324
1871	41	abete 03122	9.89	0.43	8.38	4.529	25.853
1872	42	abete 03122	10.45	0.43	8.80	4.360	30.213
1873	43	abete 03122	11.14	0.35	9.15	4.917	35.131
1874	44	abete 03122	11.87	0.35	9.50	5.844	40.974
1875	45	abete 03122	12.46	0.35	9.86	7.310	48.284
1876	46	abete 03122	12.93	0.35	10.21	7.061	55.346
1877	47	abete 03122	13.46	0.35	10.56	6.613	61.958
1878	48	abete 03122	13.98	0.35	10.91	7.414	69.372
1879	49	abete 03122	14.53	0.35	11.26	7.278	76.650
1880	50	abete 03122	15.07	0.35	11.62	8.211	84.861
1881	51	abete 03122	15.69	0.35	11.97	8.761	93.622
1882	52	abete 03122	16.36	0.35	12.32	10.308	103.930
1883	53	abete 03122	16.86	0.35	12.67	11.230	115.160
1884	54	abete 03122	17.23	0.35	13.02	9.777	124.936
1885	55	abete 03122	17.65	0.35	13.38	8.455	133.391
1886	56	abete 03122	18.10	0.35	13.73	10.086	143.477
1887	57	abete 03122	18.56	0.35	14.08	10.651	154.128
1888	58	abete 03122	18.97	0.35	14.43	11.790	165.918
1889	59	abete 03122	19.54	0.35	14.78	10.930	176.848
1890	60	abete 03122	20.08	0.35	15.14	14.215	191.062
1891	61	abete 03122	20.54	0.35	15.49	13.558	204.621
1892	62	abete 03122	21.09	0.35	15.84	12.846	217.467
1893	63	abete 03122	21.56	0.35	16.19	15.217	232.684
1894	64	abete 03122	22.00	0.35	16.54	13.774	246.459
1895	65	abete 03122	22.43	0.35	16.90	13.967	260.426
1896	66	abete 03122	22.80	0.35	17.25	14.967	275.393
1897	67	abete 03122	23.19	0.24	17.49	12.735	288.128
1898	68	abete 03122	23.55	0.24	17.73	13.494	301.622
1899	69	abete 03122	23.93	0.24	17.97	14.058	315.680
1900	70	abete 03122	24.26	0.24	18.20	14.899	330.579
1901	71	abete 03122	24.60	0.24	18.44	14.128	344.707
1902	72	abete 03122	24.90	0.24	18.68	16.432	361.139
1903	73	abete 03122	25.22	0.24	18.92	14.435	375.574
1904	74	abete 03122	25.68	0.24	19.16	14.722	390.296
1905	75	abete 03122	25.98	0.24	19.40	21.467	411.763
1906	76	abete 03122	26.30	0.24	19.64	15.385	427.148
1907	77	abete 03122	26.61	0.24	19.88	15.694	442.842
1908	78	abete 03122	27.00	0.24	20.12	15.154	457.997
1909	79	abete 03122	27.29	0.24	20.36	17.505	475.502
1910	80	abete 03122	27.56	0.24	20.59	13.349	488.851
1911	81	abete 03122	27.88	0.24	20.83	14.241	503.092
1912	82	abete 03122	28.16	0.24	21.07	15.681	518.773
1913	83	abete 03122	28.40	0.24	21.31	15.139	533.912
1914	84	abete 03122	28.69	0.24	21.55	14.262	548.174
1915	85	abete 03122	29.00	0.24	21.79	15.523	563.696
1916	86	abete 03122	29.35	0.24	22.03	17.583	581.279
1917	87	abete 03122	29.70	0.24	22.27	17.712	598.991
1918	88	abete 03122	30.00	0.24	22.51	19.648	618.639
1919	89	abete 03122	30.32	0.21	22.72	15.510	634.149
1920	90	abete 03122	30.64	0.21	22.93	16.955	651.104
1921	91	abete 03122	30.98	0.21	23.14	17.501	668.605
1922	92	abete 03122	31.28	0.21	23.36	20.263	688.868
1923	93	abete 03122	31.64	0.21	23.57	20.927	709.795
1924	94	abete 03122	32.05	0.21	23.78	23.267	733.062
1925	95	abete 03122	32.42	0.21	23.99	25.219	758.281
1926	96	abete 03122	32.81	0.21	24.21	26.060	784.341
1927	97	abete 03122	33.28	0.20	24.41	22.179	806.520
1928	98	abete 03122	33.74	0.20	24.61	26.697	833.217
1929	99	abete 03122	34.22	0.20	24.81	29.324	862.541
1930	100	abete 03122	34.66	0.20	25.01	27.283	889.824
1931	101	abete 03122	35.08	0.20	25.22	26.564	916.387
1932	102	abete 03122	35.50	0.20	25.42	29.743	946.131
1933	103	abete 03122	35.85	0.20	25.62	26.912	973.043
1934	104	abete 03122	36.22	0.20	25.82	23.637	996.680
1935	105	abete 03122	36.59	0.20	26.02	24.109	1020.790
1936	106	abete 03122	36.95	0.20	26.23	25.669	1046.458
1937	107	abete 03122	37.30	0.20	26.43	24.021	1070.479

1938	108	abete 03122	37.62	0.20	26.63	26.165	1096.644
1939	109	abete 03122	37.91	0.20	26.83	25.411	1122.054
1940	110	abete 03122	38.21	0.20	27.03	23.858	1145.912
1941	111	abete 03122	38.58	0.20	27.23	25.771	1171.683
1942	112	abete 03122	38.91	0.20	27.44	29.332	1201.015
1943	113	abete 03122	39.30	0.20	27.64	25.302	1226.317
1944	114	abete 03122	39.61	0.20	27.84	26.997	1253.314
1945	115	abete 03122	39.98	0.20	28.04	25.334	1278.648
1946	116	abete 03122	40.31	0.20	28.24	29.085	1307.732
1947	117	abete 03122	40.67	0.20	28.45	26.780	1334.512
1948	118	abete 03122	40.92	0.19	28.63	33.051	1367.563
1949	119	abete 03122	41.27	0.19	28.82	20.432	1387.995
1950	120	abete 03122	41.57	0.19	29.01	30.535	1418.530
1951	121	abete 03122	41.84	0.19	29.20	28.385	1446.915
1952	122	abete 03122	42.20	0.14	29.34	25.459	1472.374
1953	123	abete 03122	42.50	0.14	29.48	29.869	1502.243
1954	124	abete 03122	42.78	0.14	29.63	24.651	1526.894
1955	125	abete 03122	43.09	0.14	29.77	25.241	1552.135
1956	126	abete 03122	43.41	0.14	29.91	31.120	1583.255
1957	127	abete 03122	43.72	0.14	30.05	31.408	1614.663
1958	128	abete 03122	44.03	0.14	30.20	29.941	1644.604
1959	129	abete 03122	44.34	0.14	30.34	30.751	1675.355
1960	130	abete 03122	44.62	0.14	30.48	29.066	1704.421
1961	131	abete 03122	44.94	0.14	30.63	30.326	1734.747
1962	132	abete 03122	45.26	0.14	30.77	29.983	1764.731
1963	133	abete 03122	45.51	0.14	30.91	32.364	1797.094
1964	134	abete 03122	45.82	0.14	31.06	30.719	1827.814
1965	135	abete 03122	46.10	0.14	31.20	34.621	1862.434
1966	136	abete 03122	46.45	0.14	31.34	33.135	1895.569
1967	137	abete 03122	46.78	0.14	31.49	36.120	1931.689
1968	138	abete 03122	47.03	0.14	31.63	34.229	1965.918
1969	139	abete 03122	47.34	0.14	31.77	5.159	1971.078
1970	140	abete 03122	47.61	0.14	31.92	28.903	1999.981
1971	141	abete 03122	47.91	0.14	32.06	28.214	2028.195
1972	142	abete 03122	48.19	0.11	32.17	29.479	2057.674
1973	143	abete 03122	48.46	0.15	32.31	28.897	2086.571
1974	144	abete 03122	48.72	0.13	32.44	30.745	2117.316
1975	145	abete 03122	48.93	0.15	32.59	28.609	2145.926
1976	146	abete 03122	49.15	0.10	32.69	25.867	2171.792
1977	147	abete 03122	49.41	0.15	32.84	28.502	2200.295
1978	148	abete 03122	49.66	0.19	33.03	26.416	2226.710
1979	149	abete 03122	49.95	0.12	33.14	23.916	2250.627
1980	150	abete 03122	50.25	0.05	33.19	31.087	2281.714
1981	151	abete 03122	50.53	0.09	33.28	28.979	2310.693
1982	152	abete 03122	50.95	0.09	33.37	26.558	2337.250
1983	153	abete 03122	51.34	0.09	33.46	37.614	2374.864
1984	154	abete 03122	51.71	0.09	33.55	35.991	2410.855
1985	155	abete 03122	52.16	0.09	33.64	34.556	2445.411
1986	156	abete 03122	52.51	0.09	33.73	37.372	2482.783
1987	157	abete 03122	52.86	0.09	33.82	32.941	2515.724
1988	158	abete 03122	53.19	0.09	33.91	33.942	2549.667
1989	159	abete 03122	53.48	0.09	34.00	31.640	2581.307
1990	160	abete 03122	53.78	0.09	34.09	27.422	2608.729
1991	161	abete 03122	54.08	0.09	34.18	32.949	2641.678
1992	162	abete 03122	54.34	0.00	34.18	35.671	2677.349
1993	163	abete 03122	54.64	0.00	34.18	31.953	2709.302
1994	164	abete 03122	55.00	0.00	34.18	35.408	2744.710
1995	165	abete 03122	55.39	0.00	34.18	33.852	2778.562
1996	166	abete 03122	55.74	0.00	34.18	33.011	2811.574
1997	167	abete 03122	56.08	0.00	34.18	34.295	2845.868
1998	168	abete 03122	56.44	0.00	34.18	35.601	2881.469
1999	169	abete 03122	56.86	0.00	34.18	42.473	2923.942
2000	170	abete 03122	57.29	0.00	34.18	50.531	2974.473
2001	171	abete 03122	57.86	0.00	34.18	49.994	3024.467
2002	172	abete 03122	58.34	0.00	34.18	57.626	3082.092
2003	173	abete 03122	58.75	0.00	34.18	52.700	3134.792
1818	1	abete 06003		0.15	0.90	0.016	0.016
1819	2	abete 06003		0.15	1.05	0.003	0.019
1820	3	abete 06003		0.15	1.21	0.026	0.045
1821	4	abete 06003	0.23	0.15	1.36	0.027	0.071
1822	5	abete 06003	0.45	0.15	1.51	0.029	0.100
1823	6	abete 06003	0.67	0.15	1.66	0.046	0.146
1824	7	abete 06003	0.90	0.15	1.81	0.047	0.193
1825	8	abete 06003	1.12	0.15	1.96	0.068	0.261
1826	9	abete 06003	1.34	0.15	2.11	0.084	0.345
1827	10	abete 06003	1.56	0.15	2.27	0.118	0.463
1828	11	abete 06003	1.77	0.15	2.42	0.200	0.663
1829	12	abete 06003	1.99	0.15	2.57	0.191	0.854
1830	13	abete 06003	2.21	0.15	2.72	0.157	1.011
1831	14	abete 06003	2.42	0.15	2.87	0.173	1.184

1832	15	abete 06003	2.63	0.15	3.02	0.224	1.408
1833	16	abete 06003	2.85	0.15	3.17	0.224	1.632
1834	17	abete 06003	3.06	0.15	3.32	0.187	1.819
1835	18	abete 06003	3.27	0.15	3.48	0.257	2.076
1836	19	abete 06003	3.48	0.15	3.63	0.248	2.324
1837	20	abete 06003	3.69	0.15	3.78	0.250	2.574
1838	21	abete 06003	3.89	0.15	3.93	0.282	2.856
1839	22	abete 06003	4.10	0.15	4.08	0.393	3.249
1840	23	abete 06003	4.30	0.15	4.23	0.427	3.676
1841	24	abete 06003	4.51	0.15	4.38	0.494	4.170
1842	25	abete 06003	4.71	0.15	4.54	0.479	4.648
1843	26	abete 06003	4.91	0.15	4.69	0.406	5.054
1844	27	abete 06003	5.11	0.15	4.84	0.565	5.619
1845	28	abete 06003	5.31	0.15	4.99	0.755	6.374
1846	29	abete 06003	5.52	0.30	5.29	0.633	7.007
1847	30	abete 06003	5.86	0.30	5.59	1.115	8.122
1848	31	abete 06003	6.14	0.30	5.88	1.092	9.214
1849	32	abete 06003	6.39	0.30	6.18	0.966	10.180
1850	33	abete 06003	6.68	0.30	6.48	1.231	11.412
1851	34	abete 06003	6.99	0.30	6.78	1.528	12.940
1852	35	abete 06003	7.25	0.30	7.08	1.417	14.357
1853	36	abete 06003	7.64	0.30	7.38	2.158	16.515
1854	37	abete 06003	7.99	0.30	7.67	2.280	18.794
1855	38	abete 06003	8.33	0.30	7.97	2.379	21.173
1856	39	abete 06003	8.63	0.30	8.27	2.423	23.596
1857	40	abete 06003	8.91	0.30	8.57	2.351	25.947
1858	41	abete 06003	9.16	0.30	8.87	2.468	28.415
1859	42	abete 06003	9.40	0.30	9.17	2.446	30.860
1860	43	abete 06003	9.62	0.29	9.45	2.002	32.862
1861	44	abete 06003	9.95	0.29	9.74	3.082	35.944
1862	45	abete 06003	10.25	0.29	10.02	3.584	39.528
1863	46	abete 06003	10.63	0.29	10.31	4.341	43.868
1864	47	abete 06003	11.03	0.29	10.60	4.873	48.741
1865	48	abete 06003	11.43	0.29	10.88	5.391	54.132
1866	49	abete 06003	11.88	0.29	11.17	5.692	59.824
1867	50	abete 06003	12.28	0.29	11.45	5.395	65.219
1868	51	abete 06003	12.66	0.29	11.74	5.717	70.936
1869	52	abete 06003	13.18	0.29	12.03	7.638	78.573
1870	53	abete 06003	13.65	0.29	12.31	7.853	86.426
1871	54	abete 06003	14.14	0.29	12.60	7.779	94.205
1872	55	abete 06003	14.66	0.29	12.89	8.265	102.471
1873	56	abete 06003	15.23	0.29	13.17	9.383	111.853
1874	57	abete 06003	15.68	0.29	13.46	9.122	120.976
1875	58	abete 06003	16.20	0.28	13.74	9.865	130.841
1876	59	abete 06003	16.68	0.28	14.01	10.560	141.400
1877	60	abete 06003	17.12	0.28	14.29	10.700	152.100
1878	61	abete 06003	17.54	0.28	14.57	9.969	162.069
1879	62	abete 06003	18.03	0.28	14.84	12.215	174.285
1880	63	abete 06003	18.45	0.28	15.12	11.126	185.411
1881	64	abete 06003	18.98	0.28	15.40	13.813	199.224
1882	65	abete 06003	19.52	0.28	15.68	13.587	212.811
1883	66	abete 06003	19.94	0.28	15.95	12.105	224.917
1884	67	abete 06003	20.36	0.28	16.23	11.720	236.636
1885	68	abete 06003	20.81	0.28	16.51	12.199	248.836
1886	69	abete 06003	21.20	0.28	16.79	12.590	261.426
1887	70	abete 06003	21.59	0.28	17.06	13.407	274.833
1888	71	abete 06003	21.98	0.28	17.34	13.155	287.988
1889	72	abete 06003	22.47	0.28	17.62	15.185	303.173
1890	73	abete 06003	22.93	0.22	17.84	15.775	318.948
1891	74	abete 06003	23.34	0.22	18.07	14.237	333.185
1892	75	abete 06003	23.92	0.22	18.29	19.543	352.728
1893	76	abete 06003	24.37	0.22	18.51	16.930	369.658
1894	77	abete 06003	24.81	0.22	18.74	17.767	387.425
1895	78	abete 06003	25.23	0.22	18.96	17.861	405.286
1896	79	abete 06003	25.53	0.22	19.18	13.953	419.239
1897	80	abete 06003	25.88	0.22	19.41	16.072	435.311
1898	81	abete 06003	26.25	0.22	19.63	17.315	452.625
1899	82	abete 06003	26.61	0.22	19.85	17.078	469.704
1900	83	abete 06003	26.99	0.22	20.08	17.328	487.032
1901	84	abete 06003	27.28	0.22	20.30	17.473	504.505
1902	85	abete 06003	27.62	0.22	20.52	18.418	522.923
1903	86	abete 06003	28.01	0.22	20.75	19.496	542.419
1904	87	abete 06003	28.53	0.22	20.97	27.003	569.422
1905	88	abete 06003	28.90	0.22	21.20	22.037	591.459
1906	89	abete 06003	29.28	0.22	21.42	21.303	612.762
1907	90	abete 06003	29.64	0.22	21.64	21.822	634.584
1908	91	abete 06003	30.10	0.22	21.87	26.111	660.695
1909	92	abete 06003	30.47	0.15	22.01	21.723	682.419
1910	93	abete 06003	30.87	0.15	22.16	23.560	705.978
1911	94	abete 06003	31.33	0.15	22.30	26.195	732.173

1912	95	abete 06003	31.71	0.15	22.45	23.422	755.594
1913	96	abete 06003	32.03	0.15	22.59	20.873	776.467
1914	97	abete 06003	32.36	0.15	22.74	22.847	799.314
1915	98	abete 06003	32.79	0.15	22.88	26.629	825.943
1916	99	abete 06003	33.17	0.15	23.03	27.283	853.227
1917	100	abete 06003	33.66	0.15	23.17	31.372	884.599
1918	101	abete 06003	34.11	0.15	23.32	27.871	912.470
1919	102	abete 06003	34.56	0.15	23.46	28.311	940.782
1920	103	abete 06003	34.94	0.15	23.61	25.627	966.409
1921	104	abete 06003	35.34	0.15	23.75	28.288	994.697
1922	105	abete 06003	35.64	0.15	23.90	24.239	1018.936
1923	106	abete 06003	36.02	0.15	24.04	28.611	1047.547
1924	107	abete 06003	36.39	0.15	24.19	26.850	1074.398
1925	108	abete 06003	36.75	0.15	24.33	29.110	1103.508
1926	109	abete 06003	37.02	0.15	24.48	25.202	1128.710
1927	110	abete 06003	37.36	0.15	24.62	29.422	1158.132
1928	111	abete 06003	37.73	0.15	24.77	31.129	1189.261
1929	112	abete 06003	38.07	0.15	24.91	29.834	1219.094
1930	113	abete 06003	38.44	0.15	25.06	28.359	1247.453
1931	114	abete 06003	38.83	0.15	25.20	32.178	1279.631
1932	115	abete 06003	39.15	0.15	25.35	27.499	1307.131
1933	116	abete 06003	39.42	0.15	25.49	25.293	1332.424
1934	117	abete 06003	39.80	0.15	25.64	30.889	1363.313
1935	118	abete 06003	40.11	0.15	25.78	30.945	1394.258
1936	119	abete 06003	40.35	0.15	25.93	27.010	1421.268
1937	120	abete 06003	40.63	0.15	26.07	28.858	1450.126
1938	121	abete 06003	40.94	0.15	26.22	28.973	1479.100
1939	122	abete 06003	41.21	0.15	26.37	30.566	1509.666
1940	123	abete 06003	41.53	0.15	26.52	33.112	1542.778
1941	124	abete 06003	41.85	0.15	26.66	35.088	1577.866
1942	125	abete 06003	42.21	0.15	26.81	36.384	1614.251
1943	126	abete 06003	42.60	0.15	26.96	36.629	1650.879
1944	127	abete 06003	42.90	0.15	27.10	30.858	1681.737
1945	128	abete 06003	43.19	0.20	27.30	32.253	1713.990
1946	129	abete 06003	43.50	0.20	27.50	32.933	1746.923
1947	130	abete 06003	43.83	0.20	27.70	35.703	1782.626
1948	131	abete 06003	44.10	0.20	27.90	30.475	1813.101
1949	132	abete 06003	44.50	0.20	28.09	39.831	1852.932
1950	133	abete 06003	44.83	0.14	28.24	35.056	1887.988
1951	134	abete 06003	45.14	0.14	28.38	32.985	1920.973
1952	135	abete 06003	45.51	0.14	28.53	36.822	1957.795
1953	136	abete 06003	45.84	0.14	28.67	35.953	1993.748
1954	137	abete 06003	46.20	0.14	28.81	37.899	2031.647
1955	138	abete 06003	46.56	0.02	28.83	39.386	2071.033
1956	139	abete 06003	46.86	0.02	28.85	40.556	2111.590
1957	140	abete 06003	47.20	0.02	28.87	37.803	2149.392
1958	141	abete 06003	47.41	0.02	28.89	39.963	2189.356
1959	142	abete 06003	47.68	0.02	28.91	37.341	2226.697
1960	143	abete 06003	47.96	0.02	28.93	38.072	2264.769
1961	144	abete 06003	48.23	0.02	28.95	37.613	2302.383
1962	145	abete 06003	48.49	0.02	28.97	31.562	2333.945
1963	146	abete 06003	48.75	0.02	28.98	31.531	2365.475
1964	147	abete 06003	48.96	0.02	29.00	32.893	2398.368
1965	148	abete 06003	49.14	0.02	29.02	30.912	2429.281
1966	149	abete 06003	49.37	0.02	29.04	34.150	2463.431
1967	150	abete 06003	49.59	0.02	29.06	35.690	2499.121
1968	151	abete 06003	49.83	0.02	29.08	32.814	2531.935
1969	152	abete 06003	50.23	0.02	29.10	42.713	2574.648
1970	153	abete 06003	50.45	0.02	29.12	33.192	2607.840
1971	154	abete 06003	50.65	0.02	29.14	34.109	2641.948
1972	155	abete 06003	50.86	0.02	29.16	34.217	2676.166
1973	156	abete 06003	51.01	0.02	29.17	32.747	2708.913
1974	157	abete 06003	51.18	0.02	29.19	31.735	2740.648
1975	158	abete 06003	51.34	0.02	29.21	29.421	2770.069
1976	159	abete 06003	51.47	0.02	29.23	28.626	2798.695
1977	160	abete 06003	51.60	0.02	29.25	25.344	2824.039
1978	161	abete 06003	51.74	0.02	29.27	26.671	2850.710
1979	162	abete 06003	51.92	0.02	29.29	31.292	2882.002
1980	163	abete 06003	52.11	0.02	29.31	27.498	2909.500
1981	164	abete 06003	52.27	0.02	29.33	26.308	2935.808
1982	165	abete 06003	52.46	0.02	29.35	29.903	2965.710
1983	166	abete 06003	52.64	0.02	29.36	34.402	3000.112
1984	167	abete 06003	52.82	0.02	29.38	31.193	3031.305
1985	168	abete 06003	53.06	0.25	29.63	37.928	3069.234
1986	169	abete 06003	53.29	0.50	30.13	33.298	3102.532
1987	170	abete 06003	53.52	0.30	30.43	33.946	3136.478
1988	171	abete 06003	53.72	0.20	30.63	37.084	3173.562
1989	172	abete 06003	53.92	0.43	31.06	32.734	3206.296
1990	173	abete 06003	54.11	0.10	31.16	38.726	3245.022
1991	174	abete 06003	54.36	0.25	31.41	42.799	3287.821

1992	175	abete 06003	54.58	0.15	31.56	36.061	3323.881
1993	176	abete 06003	55.03	0.05	31.61	46.451	3370.332
1994	177	abete 06003	55.43	0.22	31.83	39.922	3410.254
1995	178	abete 06003	55.68	0.16	31.99	29.558	3439.812
1996	179	abete 06003	55.95	0.03	32.02	28.535	3468.347
1997	180	abete 06003	56.28	0.03	32.05	9.976	3478.323
1998	181	abete 06003	56.59	0.00	32.05	34.605	3512.928
1999	182	abete 06003	57.12	0.00	32.05	51.420	3564.348
2000	183	abete 06003	57.82	0.00	32.05	70.552	3634.900
2001	184	abete 06003	58.39	0.00	32.05	65.194	3700.094
2002	185	abete 06003	58.84	0.00	32.05	58.375	3758.469
2003	186	abete 06003	59.18	0.00	32.05	55.426	3813.895
2004	187	abete 06003	59.40	0.00	32.05	35.029	3848.924
2005	188	abete 06003	59.68	0.00	32.05	40.479	3889.402
2006	189	abete 06003	59.91	0.00	32.05	38.976	3928.378
1813	1	abete 07001	3.61	0.27	3.80	0.205	0.205
1814	2	abete 07001	4.14	0.27	4.06	0.014	0.218
1815	3	abete 07001	4.72	0.27	4.33	0.354	0.573
1816	4	abete 07001	5.34	0.27	4.59	0.585	1.157
1817	5	abete 07001	5.99	0.27	4.86	0.392	1.549
1818	6	abete 07001	6.68	0.27	5.12	0.851	2.401
1819	7	abete 07001	7.41	0.27	5.39	1.072	3.473
1820	8	abete 07001	8.17	0.27	5.66	1.829	5.302
1821	9	abete 07001	8.97	0.27	5.92	2.235	7.537
1822	10	abete 07001	9.81	0.27	6.19	2.740	10.277
1823	11	abete 07001	10.69	0.27	6.45	4.030	14.307
1824	12	abete 07001	11.61	0.27	6.72	3.698	18.004
1825	13	abete 07001	12.56	0.27	6.98	5.150	23.155
1826	14	abete 07001	13.55	0.27	7.25	5.276	28.430
1827	15	abete 07001	14.58	0.27	7.51	6.382	34.812
1828	16	abete 07001	15.65	0.27	7.78	7.312	42.125
1829	17	abete 07001	16.76	0.27	8.05	6.653	48.778
1830	18	abete 07001	17.61	0.27	8.32	7.504	56.282
1831	19	abete 07001	18.52	0.27	8.58	8.837	65.119
1832	20	abete 07001	19.23	0.27	8.85	8.409	73.528
1833	21	abete 07001	19.87	0.27	9.12	8.070	81.598
1834	22	abete 07001	20.56	0.27	9.39	10.167	91.766
1835	23	abete 07001	21.34	0.27	9.66	11.741	103.507
1836	24	abete 07001	21.81	0.27	9.93	8.012	111.519
1837	25	abete 07001	22.29	0.27	10.19	9.419	120.937
1838	26	abete 07001	22.85	0.27	10.46	11.026	131.964
1839	27	abete 07001	23.62	0.27	10.73	13.935	145.899
1840	28	abete 07001	24.45	0.27	11.00	16.589	162.488
1841	29	abete 07001	25.27	0.27	11.27	16.847	179.335
1842	30	abete 07001	25.99	0.27	11.53	15.668	195.004
1843	31	abete 07001	26.53	0.27	11.80	13.360	208.363
1844	32	abete 07001	27.30	0.27	12.07	16.577	224.941
1845	33	abete 07001	28.13	0.18	12.25	17.417	242.358
1846	34	abete 07001	28.98	0.18	12.44	20.444	262.801
1847	35	abete 07001	29.72	0.18	12.62	21.316	284.117
1848	36	abete 07001	30.67	0.18	12.80	23.435	307.552
1849	37	abete 07001	31.51	0.18	12.99	21.869	329.421
1850	38	abete 07001	32.24	0.18	13.17	18.820	348.241
1851	39	abete 07001	33.11	0.18	13.35	22.537	370.778
1852	40	abete 07001	33.84	0.18	13.54	19.386	390.164
1853	41	abete 07001	34.65	0.18	13.72	21.427	411.591
1854	42	abete 07001	35.40	0.18	13.91	21.548	433.139
1855	43	abete 07001	36.05	0.18	14.09	20.357	453.496
1856	44	abete 07001	36.68	0.18	14.27	20.710	474.206
1857	45	abete 07001	37.19	0.18	14.46	17.937	492.143
1858	46	abete 07001	37.63	0.18	14.64	16.891	509.034
1859	47	abete 07001	38.04	0.18	14.82	18.103	527.137
1860	48	abete 07001	38.36	0.18	15.01	15.150	542.287
1861	49	abete 07001	38.75	0.18	15.19	20.237	562.524
1862	50	abete 07001	39.05	0.18	15.37	17.473	579.997
1863	51	abete 07001	39.47	0.18	15.56	21.166	601.163
1864	52	abete 07001	39.86	0.18	15.74	21.979	623.141
1865	53	abete 07001	40.32	0.18	15.92	25.821	648.962
1866	54	abete 07001	40.68	0.18	16.11	25.660	674.622
1867	55	abete 07001	41.12	0.18	16.29	26.553	701.175
1868	56	abete 07001	41.44	0.16	16.45	21.773	722.949
1869	57	abete 07001	41.89	0.16	16.61	27.770	750.719
1870	58	abete 07001	42.29	0.16	16.76	26.036	776.754
1871	59	abete 07001	42.77	0.16	16.92	28.836	805.590
1872	60	abete 07001	43.22	0.16	17.08	28.282	833.872
1873	61	abete 07001	43.69	0.16	17.23	31.525	865.397
1874	62	abete 07001	44.12	0.16	17.39	27.929	893.326
1875	63	abete 07001	44.49	0.16	17.55	23.363	916.688
1876	64	abete 07001	44.86	0.16	17.71	25.845	942.534
1877	65	abete 07001	45.26	0.16	17.86	25.387	967.920

1878	66	abete 07001	45.61	0.16	18.02	22.840	990.761
1879	67	abete 07001	45.89	0.16	18.18	23.490	1014.251
1880	68	abete 07001	46.15	0.16	18.34	20.830	1035.081
1881	69	abete 07001	46.44	0.16	18.49	22.719	1057.800
1882	70	abete 07001	46.74	0.16	18.65	23.477	1081.276
1883	71	abete 07001	46.92	0.16	18.81	17.818	1099.094
1884	72	abete 07001	47.12	0.16	18.97	18.351	1117.445
1885	73	abete 07001	47.34	0.16	19.12	19.546	1136.991
1886	74	abete 07001	47.52	0.16	19.28	20.066	1157.057
1887	75	abete 07001	47.70	0.16	19.44	20.259	1177.316
1888	76	abete 07001	47.87	0.16	19.60	20.620	1197.936
1889	77	abete 07001	48.04	0.16	19.75	21.943	1219.879
1890	78	abete 07001	48.22	0.16	19.91	22.553	1242.432
1891	79	abete 07001	48.36	0.16	20.07	19.340	1261.772
1892	80	abete 07001	48.52	0.16	20.23	22.250	1284.021
1893	81	abete 07001	48.68	0.16	20.38	18.935	1302.956
1894	82	abete 07001	48.82	0.16	20.54	18.812	1321.768
1895	83	abete 07001	48.96	0.15	20.69	18.316	1340.084
1896	84	abete 07001	49.10	0.15	20.83	15.039	1355.123
1897	85	abete 07001	49.23	0.15	20.98	17.461	1372.584
1898	86	abete 07001	49.36	0.15	21.13	19.089	1391.673
1899	87	abete 07001	49.52	0.15	21.28	20.880	1412.553
1900	88	abete 07001	49.67	0.15	21.42	19.570	1432.123
1901	89	abete 07001	49.83	0.15	21.57	21.705	1453.828
1902	90	abete 07001	49.98	0.15	21.72	19.767	1473.594
1903	91	abete 07001	50.12	0.15	21.87	20.359	1493.953
1904	92	abete 07001	50.27	0.15	22.01	24.296	1518.249
1905	93	abete 07001	50.42	0.15	22.16	21.710	1539.959
1906	94	abete 07001	50.59	0.15	22.31	21.969	1561.928
1907	95	abete 07001	50.73	0.15	22.45	20.630	1582.558
1908	96	abete 07001	50.93	0.15	22.60	24.044	1606.602
1909	97	abete 07001	51.05	0.15	22.75	21.336	1627.938
1910	98	abete 07001	51.19	0.15	22.90	20.903	1648.840
1911	99	abete 07001	51.34	0.15	23.04	22.934	1671.774
1912	100	abete 07001	51.45	0.15	23.19	19.911	1691.685
1913	101	abete 07001	51.59	0.15	23.34	20.218	1711.903
1914	102	abete 07001	51.71	0.15	23.49	22.115	1734.017
1915	103	abete 07001	51.86	0.15	23.63	24.718	1758.735
1916	104	abete 07001	52.02	0.15	23.78	26.935	1785.671
1917	105	abete 07001	52.20	0.15	23.93	29.566	1815.237
1918	106	abete 07001	52.37	0.15	24.07	25.929	1841.166
1919	107	abete 07001	52.54	0.15	24.22	27.290	1868.456
1920	108	abete 07001	52.70	0.15	24.37	24.652	1893.108
1921	109	abete 07001	52.88	0.15	24.52	24.314	1917.422
1922	110	abete 07001	53.00	0.15	24.66	19.633	1937.055
1923	111	abete 07001	53.11	0.15	24.81	18.335	1955.390
1924	112	abete 07001	53.23	0.14	24.95	16.916	1972.306
1925	113	abete 07001	53.36	0.14	25.09	16.952	1989.258
1926	114	abete 07001	53.48	0.14	25.23	17.477	2006.736
1927	115	abete 07001	53.60	0.14	25.37	18.865	2025.601
1928	116	abete 07001	53.74	0.14	25.51	21.561	2047.162
1929	117	abete 07001	53.88	0.14	25.65	20.704	2067.866
1930	118	abete 07001	54.01	0.14	25.79	23.049	2090.916
1931	119	abete 07001	54.17	0.14	25.93	26.650	2117.565
1932	120	abete 07001	54.34	0.14	26.07	26.806	2144.371
1933	121	abete 07001	54.47	0.14	26.21	24.245	2168.617
1934	122	abete 07001	54.62	0.14	26.35	27.149	2195.765
1935	123	abete 07001	54.76	0.14	26.49	26.076	2221.841
1936	124	abete 07001	54.90	0.14	26.63	24.870	2246.711
1937	125	abete 07001	55.05	0.14	26.77	26.518	2273.229
1938	126	abete 07001	55.20	0.14	26.91	27.217	2300.446
1939	127	abete 07001	55.36	0.14	27.05	30.461	2330.908
1940	128	abete 07001	55.50	0.14	27.19	31.498	2362.406
1941	129	abete 07001	55.67	0.14	27.33	31.770	2394.176
1942	130	abete 07001	55.83	0.14	27.47	30.725	2424.901
1943	131	abete 07001	55.97	0.15	27.62	30.107	2455.008
1944	132	abete 07001	56.10	0.15	27.78	25.413	2480.421
1945	133	abete 07001	56.24	0.15	27.93	26.663	2507.084
1946	134	abete 07001	56.35	0.15	28.09	24.751	2531.835
1947	135	abete 07001	56.47	0.15	28.24	26.497	2558.332
1948	136	abete 07001	56.55	0.15	28.40	21.768	2580.101
1949	137	abete 07001	56.67	0.15	28.55	23.825	2603.925
1950	138	abete 07001	56.79	0.15	28.70	23.037	2626.963
1951	139	abete 07001	56.92	0.15	28.86	25.784	2652.747
1952	140	abete 07001	57.05	0.15	29.01	26.978	2679.725
1953	141	abete 07001	57.16	0.15	29.17	29.168	2708.893
1954	142	abete 07001	57.27	0.15	29.32	25.794	2734.686
1955	143	abete 07001	57.40	0.15	29.47	27.068	2761.754
1956	144	abete 07001	57.50	0.15	29.63	25.853	2787.607
1957	145	abete 07001	57.61	0.15	29.78	26.792	2814.400

1958	146	abete 07001	57.72	0.15	29.94	29.215	2843.615
1959	147	abete 07001	57.83	0.15	30.09	27.630	2871.245
1960	148	abete 07001	57.92	0.16	30.25	26.841	2898.086
1961	149	abete 07001	58.01	0.16	30.42	28.742	2926.828
1962	150	abete 07001	58.12	0.16	30.58	26.132	2952.961
1963	151	abete 07001	58.21	0.05	30.63	21.351	2974.312
1964	152	abete 07001	58.29	0.13	30.76	24.595	2998.907
1965	153	abete 07001	58.39	0.13	30.90	23.241	3022.148
1966	154	abete 07001	58.50	0.13	31.03	23.316	3045.464
1967	155	abete 07001	58.63	0.13	31.16	27.784	3073.248
1968	156	abete 07001	58.72	0.18	31.34	24.908	3098.156
1969	157	abete 07001	58.82	0.18	31.52	29.736	3127.892
1970	158	abete 07001	58.94	0.18	31.70	28.476	3156.368
1971	159	abete 07001	59.03	0.11	31.80	26.189	3182.557
1972	160	abete 07001	59.16	0.11	31.91	28.496	3211.053
1973	161	abete 07001	59.26	0.11	32.02	25.461	3236.515
1974	162	abete 07001	59.37	0.11	32.12	23.099	3259.614
1975	163	abete 07001	59.44	0.11	32.23	22.544	3282.157
1976	164	abete 07001	59.54	0.08	32.31	21.244	3303.401
1977	165	abete 07001	59.60	0.08	32.38	18.230	3321.631
1978	166	abete 07001	59.68	0.08	32.46	19.247	3340.878
1979	167	abete 07001	59.77	0.08	32.54	21.695	3362.573
1980	168	abete 07001	59.86	0.08	32.62	23.944	3386.517
1981	169	abete 07001	59.95	0.08	32.69	21.983	3408.500
1982	170	abete 07001	60.05	0.08	32.77	25.518	3434.018
1983	171	abete 07001	60.17	0.15	32.92	28.231	3462.249
1984	172	abete 07001	60.31	0.08	33.00	28.045	3490.294
1985	173	abete 07001	60.46	0.08	33.09	30.875	3521.169
1986	174	abete 07001	60.58	0.08	33.17	31.423	3552.592
1987	175	abete 07001	60.76	0.20	33.37	36.595	3589.186
1988	176	abete 07001	60.94	0.25	33.62	42.114	3631.301
1989	177	abete 07001	61.14	0.15	33.77	41.548	3672.849
1990	178	abete 07001	61.38	0.05	33.82	46.606	3719.455
1991	179	abete 07001	61.72	0.14	33.96	52.387	3771.842
1992	180	abete 07001	62.05	0.23	34.19	52.113	3823.956
1993	181	abete 07001	62.51	0.06	34.25	63.376	3887.331
1994	182	abete 07001	62.97	0.06	34.31	63.378	3950.709
1995	183	abete 07001	63.27	0.06	34.37	47.567	3998.276
1996	184	abete 07001	63.51	0.01	34.38	50.007	4048.283
1997	185	abete 07001	63.80	0.03	34.41	54.888	4103.171
1998	186	abete 07001	64.07	0.03	34.44	56.345	4159.516
1999	187	abete 07001	64.33	0.00	34.44	49.320	4208.836
2000	188	abete 07001	64.62	0.00	34.44	65.408	4274.244
2001	189	abete 07001	64.94	0.00	34.44	66.738	4340.982
2002	190	abete 07001	65.22	0.00	34.44	62.484	4403.466
2003	191	abete 07001	65.49	0.00	34.44	68.243	4471.709
2004	192	abete 07001	65.73	0.00	34.44	51.532	4523.241
2005	193	abete 07001	66.00	0.00	34.44	57.679	4580.921
2006	194	abete 07001	66.34	0.00	34.44	64.775	4645.696
1871	1	cembro 06001		0.10	0.98	0.006	0.006
1872	2	cembro 06001		0.10	1.07	0.001	0.006
1873	3	cembro 06001		0.10	1.17	0.010	0.017
1874	4	cembro 06001		0.10	1.27	0.012	0.028
1875	5	cembro 06001	0.19	0.10	1.37	0.024	0.052
1876	6	cembro 06001	0.39	0.10	1.47	0.025	0.077
1877	7	cembro 06001	0.58	0.10	1.57	0.038	0.116
1878	8	cembro 06001	0.77	0.10	1.67	0.050	0.166
1879	9	cembro 06001	0.96	0.10	1.77	0.072	0.238
1880	10	cembro 06001	1.15	0.10	1.87	0.060	0.298
1881	11	cembro 06001	1.34	0.10	1.96	0.095	0.393
1882	12	cembro 06001	1.53	0.10	2.06	0.058	0.451
1883	13	cembro 06001	1.71	0.10	2.16	0.123	0.574
1884	14	cembro 06001	1.90	0.10	2.26	0.158	0.732
1885	15	cembro 06001	2.08	0.10	2.36	0.194	0.926
1886	16	cembro 06001	2.27	0.10	2.46	0.188	1.114
1887	17	cembro 06001	2.45	0.10	2.56	0.189	1.303
1888	18	cembro 06001	2.63	0.10	2.66	0.341	1.644
1889	19	cembro 06001	2.81	0.10	2.76	0.337	1.980
1890	20	cembro 06001	3.00	0.10	2.85	0.043	2.023
1891	21	cembro 06001	3.17	0.10	2.95	0.096	2.119
1892	22	cembro 06001	3.35	0.10	3.05	0.168	2.286
1893	23	cembro 06001	3.53	0.10	3.15	0.197	2.483
1894	24	cembro 06001	3.71	0.10	3.25	0.231	2.714
1895	25	cembro 06001	3.88	0.10	3.35	0.329	3.043
1896	26	cembro 06001	4.06	0.10	3.45	0.343	3.386
1897	27	cembro 06001	4.23	0.17	3.62	0.212	3.598
1898	28	cembro 06001	4.46	0.17	3.79	0.402	4.000
1899	29	cembro 06001	4.68	0.17	3.96	0.412	4.411
1900	30	cembro 06001	4.92	0.17	4.12	0.496	4.907
1901	31	cembro 06001	5.26	0.17	4.29	0.751	5.658



1902	32	cembro 06001	5.45	0.17	4.46	0.481	6.140
1903	33	cembro 06001	5.68	0.17	4.63	0.586	6.726
1904	34	cembro 06001	5.98	0.17	4.80	0.816	7.541
1905	35	cembro 06001	6.26	0.17	4.97	0.859	8.400
1906	36	cembro 06001	6.49	0.17	5.14	0.748	9.148
1907	37	cembro 06001	6.68	0.17	5.31	0.644	9.792
1908	38	cembro 06001	6.92	0.17	5.48	0.807	10.599
1909	39	cembro 06001	7.12	0.17	5.65	0.714	11.313
1910	40	cembro 06001	7.38	0.17	5.82	0.984	12.297
1911	41	cembro 06001	7.61	0.17	5.98	0.942	13.239
1912	42	cembro 06001	7.84	0.17	6.15	1.050	14.289
1913	43	cembro 06001	8.04	0.17	6.32	0.934	15.223
1914	44	cembro 06001	8.22	0.17	6.49	1.024	16.247
1915	45	cembro 06001	8.42	0.17	6.66	1.346	17.593
1916	46	cembro 06001	8.64	0.17	6.83	1.531	19.125
1917	47	cembro 06001	8.88	0.17	7.00	1.648	20.773
1918	48	cembro 06001	9.09	0.17	7.17	1.507	22.280
1919	49	cembro 06001	9.29	0.17	7.34	1.607	23.887
1920	50	cembro 06001	9.47	0.17	7.51	1.711	25.598
1921	51	cembro 06001	9.74	0.17	7.68	2.390	27.989
1922	52	cembro 06001	9.95	0.27	7.94	1.653	29.641
1923	53	cembro 06001	10.31	0.27	8.21	3.209	32.850
1924	54	cembro 06001	10.67	0.27	8.47	3.399	36.249
1925	55	cembro 06001	10.99	0.27	8.74	3.229	39.478
1926	56	cembro 06001	11.25	0.27	9.01	2.945	42.423
1927	57	cembro 06001	11.53	0.27	9.27	3.339	45.762
1928	58	cembro 06001	11.86	0.27	9.54	4.174	49.936
1929	59	cembro 06001	12.23	0.27	9.80	4.560	54.496
1930	60	cembro 06001	12.55	0.27	10.07	4.298	58.794
1931	61	cembro 06001	12.90	0.27	10.34	4.951	63.745
1932	62	cembro 06001	13.33	0.27	10.60	5.806	69.552
1933	63	cembro 06001	13.70	0.26	10.87	5.338	74.890
1934	64	cembro 06001	14.10	0.26	11.13	6.022	80.913
1935	65	cembro 06001	14.51	0.26	11.39	6.501	87.414
1936	66	cembro 06001	14.95	0.26	11.66	7.670	95.084
1937	67	cembro 06001	15.28	0.26	11.92	6.283	101.367
1938	68	cembro 06001	15.54	0.26	12.18	5.580	106.947
1939	69	cembro 06001	15.90	0.26	12.45	6.911	113.858
1940	70	cembro 06001	16.22	0.26	12.71	6.727	120.586
1941	71	cembro 06001	16.49	0.26	12.97	6.275	126.861
1942	72	cembro 06001	16.76	0.26	13.24	6.472	133.333
1943	73	cembro 06001	17.10	0.15	13.38	7.415	140.747
1944	74	cembro 06001	17.41	0.15	13.53	6.980	147.727
1945	75	cembro 06001	17.72	0.15	13.67	7.560	155.287
1946	76	cembro 06001	18.08	0.15	13.82	8.405	163.691
1947	77	cembro 06001	18.44	0.15	13.97	9.009	172.700
1948	78	cembro 06001	18.68	0.15	14.11	6.117	178.817
1949	79	cembro 06001	18.94	0.15	14.26	7.258	186.076
1950	80	cembro 06001	19.18	0.15	14.40	7.457	193.533
1951	81	cembro 06001	19.46	0.15	14.55	9.127	202.660
1952	82	cembro 06001	19.72	0.15	14.69	8.219	210.879
1953	83	cembro 06001	19.91	0.15	14.84	5.931	216.810
1954	84	cembro 06001	20.08	0.15	14.98	5.565	222.375
1955	85	cembro 06001	20.22	0.15	15.13	5.231	227.606
1956	86	cembro 06001	20.36	0.15	15.27	5.117	232.723
1957	87	cembro 06001	20.51	0.15	15.42	5.361	238.084
1958	88	cembro 06001	20.67	0.15	15.57	5.800	243.884
1959	89	cembro 06001	20.81	0.15	15.71	4.984	248.868
1960	90	cembro 06001	20.95	0.15	15.86	5.717	254.585
1961	91	cembro 06001	21.09	0.18	16.04	5.465	260.050
1962	92	cembro 06001	21.23	0.18	16.22	6.016	266.066
1963	93	cembro 06001	21.36	0.18	16.40	5.895	271.962
1964	94	cembro 06001	21.47	0.18	16.58	5.325	277.287
1965	95	cembro 06001	21.59	0.18	16.76	5.691	282.978
1966	96	cembro 06001	21.71	0.18	16.94	6.096	289.074
1967	97	cembro 06001	21.84	0.09	17.03	6.408	295.482
1968	98	cembro 06001	21.99	0.09	17.11	7.011	302.493
1969	99	cembro 06001	22.16	0.09	17.20	7.434	309.927
1970	100	cembro 06001	22.32	0.09	17.29	6.969	316.896
1971	101	cembro 06001	22.46	0.09	17.38	7.297	324.193
1972	102	cembro 06001	22.62	0.09	17.47	7.377	331.569
1973	103	cembro 06001	22.78	0.08	17.55	6.731	338.301
1974	104	cembro 06001	22.94	0.08	17.63	7.318	345.618
1975	105	cembro 06001	23.06	0.08	17.71	5.716	351.334
1976	106	cembro 06001	23.20	0.08	17.78	6.058	357.392
1977	107	cembro 06001	23.32	0.08	17.86	6.210	363.602
1978	108	cembro 06001	23.45	0.08	17.94	6.741	370.343
1979	109	cembro 06001	23.62	0.08	18.02	8.977	379.320
1980	110	cembro 06001	23.82	0.18	18.19	10.663	389.983
1981	111	cembro 06001	24.02	0.18	18.37	11.392	401.375

1982	112	cembro 06001	24.29	0.18	18.55	12.842	414.218
1983	113	cembro 06001	24.51	0.21	18.75	11.755	425.972
1984	114	cembro 06001	24.76	0.21	18.96	12.740	438.712
1985	115	cembro 06001	25.16	0.21	19.17	18.230	456.943
1986	116	cembro 06001	25.58	0.22	19.39	15.712	472.655
1987	117	cembro 06001	26.05	0.19	19.58	16.901	489.556
1988	118	cembro 06001	26.60	0.18	19.76	18.906	508.461
1989	119	cembro 06001	26.92	0.17	19.93	13.579	522.040
1990	120	cembro 06001	27.25	0.08	20.00	15.285	537.325
1991	121	cembro 06001	27.64	0.08	20.08	17.397	554.721
1992	122	cembro 06001	28.03	0.15	20.23	17.024	571.745
1993	123	cembro 06001	28.43	0.10	20.33	16.119	587.864
1994	124	cembro 06001	28.86	0.08	20.40	18.788	606.652
1995	125	cembro 06001	29.17	0.02	20.42	14.521	621.173
1996	126	cembro 06001	29.45	0.02	20.43	16.825	637.998
1997	127	cembro 06001	29.84	0.06	20.49	19.099	657.096
1998	128	cembro 06001	30.35	0.07	20.56	26.377	683.474
1999	129	cembro 06001	30.91	0.07	20.64	25.690	709.163
2000	130	cembro 06001	31.59	0.05	20.69	31.806	740.970
2001	131	cembro 06001	32.38	0.00	20.69	38.158	779.127
2002	132	cembro 06001	32.96	0.00	20.69	24.314	803.441
2003	133	cembro 06001	33.54	0.00	20.69	21.406	824.847
2004	134	cembro 06001	34.20	0.00	20.69	27.230	852.076
2005	135	cembro 06001	34.89	0.00	20.69	31.191	883.267
2006	136	cembro 06001	35.43	0.00	20.69	29.087	912.354
1831	1	larice 06002		0.22	1.60	0.056	0.055
1832	2	larice 06002		0.22	1.81	0.007	0.063
1833	3	larice 06002		0.22	2.02	0.131	0.194
1834	4	larice 06002		0.22	2.24	0.126	0.319
1835	5	larice 06002		0.22	2.45	0.208	0.528
1836	6	larice 06002		0.22	2.67	0.238	0.766
1837	7	larice 06002		0.22	2.88	0.324	1.089
1838	8	larice 06002		0.22	3.10	0.336	1.425
1839	9	larice 06002		0.22	3.31	0.379	1.804
1840	10	larice 06002		0.22	3.53	0.556	2.360
1841	11	larice 06002		0.22	3.74	0.336	2.696
1842	12	larice 06002		0.22	3.96	0.578	3.274
1843	13	larice 06002		0.22	4.17	0.536	3.810
1844	14	larice 06002	4.80	0.28	4.45	0.378	4.188
1845	15	larice 06002	4.99	0.28	4.74	0.526	4.714
1846	16	larice 06002	5.22	0.28	5.02	0.809	5.523
1847	17	larice 06002	5.60	0.28	5.30	1.289	6.812
1848	18	larice 06002	5.93	0.28	5.58	1.209	8.021
1849	19	larice 06002	6.24	0.28	5.87	1.193	9.213
1850	20	larice 06002	6.53	0.28	6.15	1.280	10.493
1851	21	larice 06002	6.82	0.28	6.43	1.390	11.883
1852	22	larice 06002	7.09	0.28	6.71	1.522	13.405
1853	23	larice 06002	7.35	0.28	7.00	1.659	15.064
1854	24	larice 06002	7.62	0.28	7.28	1.835	16.899
1855	25	larice 06002	7.94	0.28	7.56	2.270	19.170
1856	26	larice 06002	8.28	0.28	7.84	2.697	21.866
1857	27	larice 06002	8.54	0.28	8.13	2.225	24.091
1858	28	larice 06002	8.83	0.28	8.41	2.963	27.054
1859	29	larice 06002	9.11	0.31	8.72	2.385	29.439
1860	30	larice 06002	9.42	0.31	9.02	3.101	32.540
1861	31	larice 06002	9.88	0.31	9.33	4.349	36.889
1862	32	larice 06002	10.22	0.31	9.63	3.630	40.519
1863	33	larice 06002	10.56	0.31	9.94	3.947	44.466
1864	34	larice 06002	10.90	0.31	10.24	4.959	49.424
1865	35	larice 06002	11.31	0.31	10.55	5.772	55.196
1866	36	larice 06002	11.63	0.31	10.85	4.785	59.981
1867	37	larice 06002	11.86	0.31	11.16	4.340	64.321
1868	38	larice 06002	12.12	0.31	11.46	5.172	69.493
1869	39	larice 06002	12.40	0.31	11.77	5.268	74.762
1870	40	larice 06002	12.73	0.31	12.07	6.320	81.081
1871	41	larice 06002	13.05	0.31	12.38	5.782	86.863
1872	42	larice 06002	13.38	0.31	12.68	6.010	92.873
1873	43	larice 06002	13.75	0.22	12.90	6.975	99.848
1874	44	larice 06002	14.15	0.22	13.12	9.071	108.918
1875	45	larice 06002	14.57	0.22	13.34	8.683	117.601
1876	46	larice 06002	14.93	0.22	13.55	7.916	125.517
1877	47	larice 06002	15.28	0.22	13.77	8.271	133.788
1878	48	larice 06002	15.67	0.22	13.99	9.093	142.881
1879	49	larice 06002	16.05	0.22	14.21	9.597	152.479
1880	50	larice 06002	16.32	0.22	14.43	7.556	160.035
1881	51	larice 06002	16.60	0.22	14.65	8.687	168.721
1882	52	larice 06002	16.84	0.22	14.86	8.115	176.836
1883	53	larice 06002	17.03	0.22	15.08	6.982	183.817
1884	54	larice 06002	17.23	0.22	15.30	6.781	190.598
1885	55	larice 06002	17.56	0.18	15.48	9.848	200.446

1886	56	larice 06002	17.77	0.18	15.65	8.866	209.312
1887	57	larice 06002	18.09	0.18	15.83	12.513	221.825
1888	58	larice 06002	18.32	0.18	16.01	11.140	232.965
1889	59	larice 06002	18.64	0.18	16.18	12.674	245.639
1890	60	larice 06002	18.96	0.18	16.36	11.714	257.353
1891	61	larice 06002	19.23	0.18	16.54	9.988	267.341
1892	62	larice 06002	19.56	0.18	16.71	11.867	279.208
1893	63	larice 06002	19.74	0.18	16.89	6.829	286.037
1894	64	larice 06002	19.92	0.18	17.07	7.987	294.024
1895	65	larice 06002	20.10	0.18	17.24	8.649	302.673
1896	66	larice 06002	20.27	0.18	17.42	9.749	312.422
1897	67	larice 06002	20.47	0.18	17.60	10.328	322.750
1898	68	larice 06002	20.72	0.18	17.77	12.642	335.392
1899	69	larice 06002	20.93	0.18	17.95	12.481	347.873
1900	70	larice 06002	21.15	0.13	18.08	13.141	361.014
1901	71	larice 06002	21.41	0.13	18.22	13.150	374.164
1902	72	larice 06002	21.64	0.13	18.35	11.622	385.786
1903	73	larice 06002	21.86	0.13	18.48	9.819	395.605
1904	74	larice 06002	22.17	0.13	18.62	14.970	410.575
1905	75	larice 06002	22.47	0.13	18.75	13.105	423.681
1906	76	larice 06002	22.72	0.13	18.88	10.504	434.185
1907	77	larice 06002	22.95	0.13	19.02	11.854	446.039
1908	78	larice 06002	23.27	0.13	19.15	14.331	460.369
1909	79	larice 06002	23.45	0.13	19.28	10.875	471.244
1910	80	larice 06002	23.65	0.13	19.41	10.568	481.812
1911	81	larice 06002	23.85	0.13	19.55	10.299	492.111
1912	82	larice 06002	24.04	0.13	19.68	11.681	503.792
1913	83	larice 06002	24.17	0.13	19.81	9.005	512.797
1914	84	larice 06002	24.31	0.13	19.95	9.964	522.760
1915	85	larice 06002	24.45	0.13	20.08	9.089	531.849
1916	86	larice 06002	24.61	0.13	20.21	11.779	543.629
1917	87	larice 06002	24.80	0.13	20.35	14.096	557.725
1918	88	larice 06002	24.97	0.13	20.48	12.752	570.476
1919	89	larice 06002	25.13	0.13	20.61	10.418	580.895
1920	90	larice 06002	25.28	0.13	20.75	10.335	591.230
1921	91	larice 06002	25.45	0.13	20.88	10.488	601.718
1922	92	larice 06002	25.64	0.13	21.01	11.419	613.137
1923	93	larice 06002	25.78	0.13	21.15	9.674	622.811
1924	94	larice 06002	25.93	0.13	21.28	11.909	634.721
1925	95	larice 06002	26.07	0.13	21.41	11.221	645.942
1926	96	larice 06002	26.15	0.13	21.54	7.978	653.919
1927	97	larice 06002	26.24	0.13	21.68	10.091	664.010
1928	98	larice 06002	26.37	0.13	21.81	12.139	676.149
1929	99	larice 06002	26.46	0.13	21.94	11.489	687.638
1930	100	larice 06002	26.56	0.13	22.08	12.367	700.005
1931	101	larice 06002	26.74	0.13	22.21	18.447	718.452
1932	102	larice 06002	26.86	0.13	22.34	12.524	730.976
1933	103	larice 06002	26.93	0.13	22.48	8.036	739.012
1934	104	larice 06002	27.02	0.13	22.61	9.336	748.348
1935	105	larice 06002	27.14	0.13	22.74	11.131	759.479
1936	106	larice 06002	27.26	0.13	22.87	10.476	769.955
1937	107	larice 06002	27.36	0.13	23.01	9.273	779.228
1938	108	larice 06002	27.46	0.13	23.14	9.245	788.473
1939	109	larice 06002	27.55	0.13	23.27	8.342	796.814
1940	110	larice 06002	27.63	0.18	23.45	9.619	806.433
1941	111	larice 06002	27.74	0.18	23.62	11.755	818.188
1942	112	larice 06002	27.90	0.18	23.80	13.402	831.589
1943	113	larice 06002	28.11	0.13	23.93	15.117	846.707
1944	114	larice 06002	28.28	0.13	24.07	13.862	860.569
1945	115	larice 06002	28.44	0.13	24.20	13.052	873.621
1946	116	larice 06002	28.58	0.13	24.33	11.705	885.326
1947	117	larice 06002	28.77	0.13	24.46	14.790	900.116
1948	118	larice 06002	28.87	0.13	24.59	10.180	910.296
1949	119	larice 06002	29.04	0.13	24.73	14.810	925.105
1950	120	larice 06002	29.22	0.13	24.86	14.325	939.431
1951	121	larice 06002	29.41	0.13	24.99	17.737	957.168
1952	122	larice 06002	29.58	0.18	25.17	13.954	971.122
1953	123	larice 06002	29.66	0.18	25.35	8.092	979.214
1954	124	larice 06002	29.74	0.18	25.53	8.940	988.154
1955	125	larice 06002	29.81	0.18	25.72	10.719	998.873
1956	126	larice 06002	29.86	0.18	25.90	6.182	1005.055
1957	127	larice 06002	29.90	0.18	26.08	5.778	1010.833
1958	128	larice 06002	29.97	0.18	26.26	9.186	1020.019
1959	129	larice 06002	30.04	0.11	26.37	8.117	1028.136
1960	130	larice 06002	30.13	0.15	26.52	9.886	1038.022
1961	131	larice 06002	30.21	0.18	26.70	9.810	1047.831
1962	132	larice 06002	30.33	0.18	26.87	14.073	1061.904
1963	133	larice 06002	30.40	0.25	27.12	9.403	1071.307
1964	134	larice 06002	30.50	0.25	27.37	12.244	1083.551
1965	135	larice 06002	30.59	0.05	27.42	11.703	1095.254

1966	136	larice 06002	30.67	0.04	27.46	12.330	1107.584
1967	137	larice 06002	30.77	0.04	27.51	10.322	1117.906
1968	138	larice 06002	30.87	0.04	27.55	9.393	1127.299
1969	139	larice 06002	31.06	0.04	27.60	16.808	1144.107
1970	140	larice 06002	31.32	0.13	27.73	23.654	1167.762
1971	141	larice 06002	31.44	0.03	27.76	15.152	1182.914
1972	142	larice 06002	31.53	0.14	27.90	14.945	1197.859
1973	143	larice 06002	31.64	0.07	27.97	17.517	1215.376
1974	144	larice 06002	31.73	0.04	28.01	17.471	1232.847
1975	145	larice 06002	31.78	0.04	28.05	5.639	1238.486
1976	146	larice 06002	31.87	0.00	28.05	15.419	1253.905
1977	147	larice 06002	31.96	0.00	28.05	15.178	1269.083
1978	148	larice 06002	32.09	0.00	28.05	18.864	1287.947
1979	149	larice 06002	32.30	0.00	28.05	26.178	1314.125
1980	150	larice 06002	32.43	0.00	28.05	21.347	1335.472
1981	151	larice 06002	32.57	0.00	28.05	27.075	1362.547
1982	152	larice 06002	32.72	0.00	28.06	28.964	1391.511
1983	153	larice 06002	32.80	0.00	28.06	19.931	1411.442
1984	154	larice 06002	32.90	0.00	28.06	16.616	1428.058
1985	155	larice 06002	32.99	0.00	28.06	13.976	1442.035
1986	156	larice 06002	33.21	0.00	28.06	22.626	1464.661
1987	157	larice 06002	33.40	0.00	28.06	18.711	1483.371
1988	158	larice 06002	33.48	0.00	28.06	6.057	1489.429
1989	159	larice 06002	33.66	0.00	28.06	10.551	1499.980
1990	160	larice 06002	33.84	0.00	28.06	11.295	1511.274
1991	161	larice 06002	34.00	0.00	28.06	13.519	1524.794
1992	162	larice 06002	34.14	0.00	28.06	12.944	1537.738
1993	163	larice 06002	34.41	0.00	28.06	21.261	1558.999
1994	164	larice 06002	34.73	0.00	28.06	24.487	1583.486
1995	165	larice 06002	34.97	0.00	28.06	23.795	1607.281
1996	166	larice 06002	35.19	0.00	28.06	23.992	1631.273
1997	167	larice 06002	35.52	0.00	28.06	33.291	1664.564
1998	168	larice 06002	35.94	0.00	28.06	32.090	1696.654
1999	169	larice 06002	36.20	0.00	28.06	21.072	1717.726
2000	170	larice 06002	36.62	0.00	28.06	36.543	1754.269
2001	171	larice 06002	37.16	0.00	28.06	37.552	1791.821
2002	172	larice 06002	37.56	0.00	28.06	32.650	1824.471
2003	173	larice 06002	37.91	0.00	28.06	28.893	1853.365
2004	174	larice 06002	38.23	0.00	28.06	24.941	1878.306
2005	175	larice 06002	38.77	0.00	28.06	36.772	1915.078
2006	176	larice 06002	39.24	0.00	28.06	30.529	1945.607

## APPENDICE IIa. Confronto tra incremento radiale pre-post morte del cimale.

Risultati del test di Student appaiato confrontando le medie dei 6 anelli precedenti e seguenti la morte del cimale.

pianta	codice	anno di morte	altezza rotella (m)	media pre-(mm)	std pre-(mm)	media post-(mm)	std post-(mm)	DF	t	p
pino cembro	06001	2000	0.88	2.09	0.58	3.35	0.50	5	-4.54	0.006
pino cembro	06001	2000	3.45	1.97	0.47	2.43	0.46	5	-1.41	0.219
pino cembro	06001	2000	7.68	1.52	0.31	2.29	0.58	5	-2.84	0.036
pino cembro	06001	2000	10.60	1.49	0.29	2.29	0.58	5	-3.76	0.013
pino cembro	06001	2000	13.24	1.58	0.32	1.52	0.71	5	0.25	0.813
pino cembro	06001	2000	15.86	1.50	0.41	0.78	0.23	5	4.23	0.008
pino cembro	06001	2000	16.40	1.75	0.34	0.87	0.22	5	8.38	<0.0001
pino cembro	06001	2000	16.94	1.72	0.29	0.77	0.17	5	11.63	<0.0001
abete rosso	03122	1991	0.35	1.95	0.35	1.89	0.31	5	0.45	0.669
abete rosso	03122	1991	4.55	0.92	0.09	0.94	0.10	5	-0.26	0.807
abete rosso	03122	1991	8.80	0.97	0.10	1.06	0.11	5	-1.34	0.239
abete rosso	03122	1991	17.25	0.87	0.11	0.97	0.06	5	-1.67	0.156
abete rosso	03122	1991	22.51	1.05	0.09	0.98	0.08	5	0.99	0.367
abete rosso	03122	1991	24.21	1.14	0.09	1.21	0.10	5	-0.95	0.385
abete rosso	03122	1991	28.45	1.25	0.08	0.76	0.36	5	2.87	0.035
abete rosso	03122	1991	29.20	1.22	0.14	0.72	0.36	5	2.84	0.036
larice	06002	1985	1.38	0.70	0.22	0.84	0.25	5	-0.81	0.453
larice	06002	1985	4.17	1.62	0.52	0.80	0.58	5	1.95	0.108
larice	06002	1985	8.41	1.25	0.26	0.71	0.30	5	2.52	0.053
larice	06002	1985	12.68	1.38	0.39	0.66	0.30	5	2.69	0.043
larice	06002	1985	15.3	1.20	0.27	0.59	0.19	5	3.52	0.0169
larice	06002	1985	17.95	1.09	0.21	0.52	0.17	5	3.9	0.0114
larice	06002	1985	22.21	0.65	0.15	0.36	0.15	5	3.18	0.0246
larice	06002	1985	23.27	0.72	0.18	0.38	0.15	5	3.41	0.0191
larice	06002	1985	23.8	0.62	0.13	0.31	0.13	5	3.96	0.0107
larice	06002	1985	24.33	0.63	0.18	0.29	0.12	5	3.33	0.0208
larice	06002	1985	24.99	0.55	0.17	0.26	0.11	5	3.14	0.0256
abete rosso	07001	1998	3.53	1.59	0.35	1.48	0.17	5	0.68	0.528
abete rosso	07001	1998	7.78	1.32	0.15	1.66	0.25	5	-2.57	0.05
abete rosso	07001	1998	12.07	1.46	0.24	1.50	0.26	5	-0.48	0.651
abete rosso	07001	1998	16.29	1.43	0.14	1.63	0.32	5	-1.35	0.2346
abete rosso	07001	1998	20.54	1.35	0.11	1.42	0.17	5	-1.02	0.3546
abete rosso	07001	1998	24.81	1.63	0.15	1.77	0.25	5	-0.89	0.4137
abete rosso	07001	1998	27.47	1.45	0.15	1.46	0.18	5	-0.07	0.9439
abete rosso	07001	1998	30.09	1.70	0.15	1.73	0.56	5	-0.15	0.887
abete rosso	07001	1998	30.58	1.57	0.18	2.01	0.45	5	-1.77	0.137

## APPENDICE IIb. Relazione tra $L$ e $D$ .

Legenda:  $n$ : numero di punti disponibili per anno,  $\alpha_{\text{RMA}}$ : intercetta,  $\beta_{\text{RMA}}$ : coefficiente angolare;  $\alpha_{\text{RMA}}$  95%l.c.,  $\beta_{\text{RMA}}$  95%l.c.: limiti di confidenza al 95% con *bootstrap* a 10000 replicazioni,  $F$ : valore di Fisher calcolato,  $p$ : probabilità relativa (95%).

modello: $\log_{10}L = \log_{10}(\alpha) + \beta\log_{10}D$					<i>Picea abies</i> 03122			cimale	
anno	n	$\alpha_{\text{RMA}}$	$\beta_{\text{RMA}}$	$R^2$	$\alpha_{\text{RMA}}$ , 95% l.c.	$\beta_{\text{RMA}}$ , 95% l.c.	$R^2$ , 95%l.c.	F	p
1973	7	-0.332	1.063	0.955	-0.410 - -0.101	0.895 - 1.523	0.688 - 0.998	105.26	0.0002
1974	10	-0.361	1.118	0.956	-0.415 - -0.236	0.985 - 1.475	0.820 - 0.996	173.75	<0.0001
1975	12	-0.329	1.077	0.926	-0.370 - -0.281	0.827 - 1.317	0.856 - 0.987	125.14	<0.0001
1976	14	-0.389	1.176	0.961	-0.417 - -0.359	0.982 - 1.321	0.928 - 0.990	292.00	<0.0001
1977	17	-0.399	1.135	0.941	-0.435 - -0.365	0.893 - 1.330	0.900 - 0.988	237.31	<0.0001
1978	21	-0.288	0.885	0.912	-0.328 - -0.258	0.684 - 1.088	0.865 - 0.983	197.06	<0.0001
1979	24	-0.318	0.965	0.929	-0.360 - -0.287	0.807 - 1.154	0.882 - 0.990	286.42	<0.0001
1980	25	-0.413	1.121	0.955	-0.452 - -0.370	0.948 - 1.242	0.926 - 0.988	488.35	<0.0001
1981	26	-0.467	1.169	0.971	-0.509 - -0.434	1.077 - 1.297	0.947 - 0.992	810.56	<0.0001
1982	26	-0.521	1.214	0.970	-0.573 - -0.480	1.114 - 1.350	0.952 - 0.988	765.97	<0.0001
1983	26	-0.571	1.274	0.969	-0.629 - -0.523	1.164 - 1.412	0.955 - 0.985	749.21	<0.0001
1984	26	-0.611	1.306	0.965	-0.678 - -0.555	1.188 - 1.449	0.952 - 0.981	663.32	<0.0001
1985	26	-0.607	1.288	0.965	-0.674 - -0.549	1.175 - 1.425	0.949 - 0.980	660.22	<0.0001
1986	26	-0.582	1.244	0.963	-0.649 - -0.525	1.136 - 1.372	0.946 - 0.980	633.39	<0.0001
1987	26	-0.568	1.214	0.963	-0.638 - -0.509	1.107 - 1.340	0.943 - 0.981	625.54	<0.0001
1988	26	-0.546	1.178	0.959	-0.620 - -0.481	1.067 - 1.305	0.937 - 0.979	559.40	<0.0001
1989	26	-0.531	1.154	0.958	-0.608 - -0.467	1.049 - 1.283	0.935 - 0.979	553.48	<0.0001
1990	26	-0.506	1.117	0.961	-0.576 - -0.446	1.020 - 1.230	0.936 - 0.979	584.91	<0.0001
1991	26	-0.473	1.072	0.957	-0.539 - -0.416	0.981 - 1.176	0.928 - 0.977	534.08	<0.0001

modello: $\log_{10}L = \log_{10}(a) + \beta \log_{10}D$					<i>Picea abies</i> 03122			fusto	
anno	n	$\alpha_{RMA}$	$\beta_{RMA}$	R <sup>2</sup>	$\alpha_{RMA}$ , 95% l.c.	$\beta_{RMA}$ , 95% l.c.	R <sup>2</sup> , 95% l.c.	F	p
1931	5	-0.552	1.260	0.994	-0.894 - -0.115	0.965 - 1.525	0.879 - 1.000	467.73	0.0002
1932	5	-0.562	1.266	0.993	-0.903 - -0.096	0.952 - 1.529	0.879 - 1.000	437.30	0.0002
1933	5	-0.572	1.272	0.993	-0.894 - -0.078	0.940 - 1.517	0.877 - 1.000	401.48	0.0003
1934	5	-0.576	1.274	0.992	-0.899 - -0.060	0.928 - 1.520	0.876 - 1.000	373.83	0.0003
1935	5	-0.577	1.274	0.992	-0.907 - -0.047	0.919 - 1.523	0.875 - 1.000	350.24	0.0003
1936	5	-0.574	1.271	0.991	-0.931 - -0.027	0.906 - 1.544	0.874 - 1.000	326.40	0.0004
1937	5	-0.584	1.277	0.990	-0.945 - -0.014	0.898 - 1.552	0.875 - 1.000	305.11	0.0004
1938	5	-0.588	1.279	0.990	-0.954 - -0.029	0.919 - 1.557	0.874 - 1.000	288.87	0.0004
1939	5	-0.592	1.281	0.989	-0.961 - -0.007	0.885 - 1.561	0.873 - 1.000	272.63	0.0005
1940	6	-0.561	1.259	0.994	-0.727 - -0.489	1.188 - 1.398	0.943 - 1.000	636.45	<0.0001
1941	6	-0.573	1.266	0.993	-0.746 - -0.499	1.195 - 1.410	0.954 - 1.000	591.49	<0.0001
1942	6	-0.567	1.262	0.993	-0.748 - -0.491	1.188 - 1.406	0.953 - 1.000	552.54	<0.0001
1943	6	-0.564	1.259	0.992	-0.756 - -0.480	1.180 - 1.412	0.934 - 1.000	500.99	<0.0001
1944	6	-0.564	1.259	0.991	-0.754 - -0.471	1.172 - 1.413	0.947 - 1.000	464.82	<0.0001
1945	6	-0.568	1.261	0.991	-0.784 - -0.465	1.176 - 1.433	0.944 - 1.000	426.48	<0.0001
1946	6	-0.572	1.263	0.990	-0.781 - -0.455	1.177 - 1.435	0.930 - 1.000	403.07	<0.0001
1947	6	-0.587	1.272	0.989	-0.828 - -0.472	1.179 - 1.457	0.939 - 1.000	366.06	<0.0001
1948	6	-0.579	1.267	0.989	-0.817 - -0.426	1.160 - 1.457	0.926 - 1.000	350.43	<0.0001
1949	6	-0.586	1.271	0.988	-0.830 - -0.436	1.169 - 1.464	0.925 - 1.000	331.67	<0.0001
1950	6	-0.587	1.271	0.988	-0.834 - -0.415	1.149 - 1.468	0.929 - 1.000	320.14	<0.0001
1951	6	-0.605	1.281	0.986	-0.869 - -0.422	1.158 - 1.488	0.927 - 1.000	307.43	<0.0001
1952	6	-0.610	1.284	0.985	-0.897 - -0.406	1.141 - 1.501	0.924 - 1.000	284.45	<0.0001
1953	6	-0.610	1.284	0.985	-0.897 - -0.406	1.141 - 1.501	0.924 - 1.000	268.66	<0.0001
1954	6	-0.620	1.290	0.985	-0.899 - -0.409	1.149 - 1.504	0.921 - 1.000	254.68	<0.0001
1955	6	-0.638	1.301	0.984	-0.936 - -0.434	1.156 - 1.528	0.918 - 1.000	240.96	<0.0001
1956	6	-0.657	1.312	0.983	-0.966 - -0.406	1.145 - 1.542	0.914 - 1.000	226.45	<0.0001
1957	6	-0.669	1.319	0.982	-0.984 - -0.428	1.152 - 1.556	0.913 - 1.000	214.73	<0.0001
1958	6	-0.679	1.324	0.981	-0.994 - -0.396	1.138 - 1.566	0.910 - 1.000	204.31	<0.0001
1959	6	-0.686	1.328	0.980	-1.018 - -0.390	1.134 - 1.577	0.908 - 1.000	194.38	<0.0001
1960	6	-0.694	1.332	0.979	-1.031 - -0.387	1.131 - 1.584	0.905 - 1.000	187.54	<0.0001
1961	6	-0.698	1.334	0.978	-1.043 - -0.379	1.126 - 1.590	0.879 - 1.000	178.53	<0.0001
1962	6	-0.704	1.336	0.977	-1.055 - -0.402	1.138 - 1.601	0.908 - 1.000	170.08	<0.0001
1963	6	-0.710	1.339	0.976	-1.071 - -0.375	1.122 - 1.608	0.906 - 1.000	164.57	<0.0001
1964	6	-0.714	1.341	0.976	-1.084 - -0.373	1.120 - 1.615	0.895 - 1.000	159.35	<0.0001
1965	6	-0.721	1.344	0.975	-1.102 - -0.370	1.106 - 1.625	0.893 - 1.000	154.25	<0.0001
1966	6	-0.731	1.348	0.972	-1.134 - -0.359	1.109 - 1.641	0.887 - 1.000	147.32	<0.0001
1967	6	-0.730	1.347	0.972	-1.140 - -0.349	1.103 - 1.644	0.885 - 1.000	141.38	<0.0001
1968	6	-0.611	1.268	0.985	-1.013 - -0.507	1.174 - 1.559	0.936 - 0.999	136.76	0.0003
1969	7	-0.610	1.266	0.984	-1.017 - -0.499	1.170 - 1.562	0.934 - 0.999	328.86	<0.0001
1970	7	-0.610	1.266	0.984	-1.017 - -0.499	1.170 - 1.562	0.934 - 0.999	314.96	<0.0001
1971	7	-0.617	1.270	0.984	-1.025 - -0.508	1.174 - 1.562	0.935 - 0.999	302.40	<0.0001
1972	7	-0.623	1.273	0.983	-1.044 - -0.509	1.176 - 1.577	0.932 - 0.999	293.61	<0.0001
1973	7	-0.628	1.276	0.983	-1.052 - -0.508	1.174 - 1.577	0.928 - 0.999	280.98	<0.0001
1974	7	-0.635	1.280	0.982	-1.067 - -0.511	1.176 - 1.587	0.926 - 0.999	272.45	<0.0001
1975	8	-0.571	1.237	0.986	-0.863 - -0.470	1.146 - 1.441	0.958 - 0.998	430.03	<0.0001
1976	8	-0.582	1.244	0.986	-0.859 - -0.479	1.151 - 1.435	0.957 - 0.998	420.36	<0.0001
1977	8	-0.585	1.246	0.986	-0.893 - -0.480	1.152 - 1.457	0.955 - 0.999	410.79	<0.0001
1978	8	-0.575	1.241	0.985	-0.856 - -0.470	1.147 - 1.440	0.954 - 0.998	394.42	<0.0001
1979	8	-0.590	1.249	0.985	-0.845 - -0.482	1.153 - 1.430	0.950 - 0.998	383.12	<0.0001
1980	8	-0.610	1.261	0.984	-0.886 - -0.501	1.163 - 1.460	0.951 - 0.999	374.31	<0.0001
1981	8	-0.619	1.265	0.984	-0.913 - -0.508	1.167 - 1.481	0.946 - 0.998	363.74	<0.0001
1982	8	-0.634	1.274	0.983	-0.932 - -0.516	1.171 - 1.485	0.944 - 0.999	347.67	<0.0001
1983	8	-0.644	1.278	0.982	-0.918 - -0.522	1.173 - 1.480	0.945 - 0.999	334.59	<0.0001
1984	8	-0.652	1.283	0.982	-1.020 - -0.530	1.177 - 1.535	0.943 - 0.999	325.47	<0.0001
1985	8	-0.663	1.288	0.981	-0.952 - -0.539	1.181 - 1.503	0.937 - 0.999	314.28	<0.0001
1986	8	-0.672	1.293	0.981	-0.952 - -0.544	1.183 - 1.501	0.936 - 0.999	304.75	<0.0001
1987	8	-0.681	1.297	0.980	-0.983 - -0.549	1.186 - 1.517	0.932 - 0.998	296.69	<0.0001
1988	8	-0.688	1.300	0.980	-0.996 - -0.551	1.186 - 1.525	0.929 - 0.998	287.17	<0.0001
1989	8	-0.692	1.303	0.979	-1.007 - -0.551	1.185 - 1.532	0.927 - 0.998	279.21	<0.0001
1990	8	-0.700	1.306	0.978	-1.019 - -0.556	1.187 - 1.538	0.928 - 0.999	272.67	<0.0001
1991	8	-0.707	1.309	0.978	-1.030 - -0.557	1.186 - 1.545	0.928 - 0.998	266.47	<0.0001

modello: $\log_{10}L = \log_{10}(\alpha) + \beta \log_{10}D$					Picea abies 03122			fusto intero	
anno	n	$\alpha_{RMA}$	$\beta_{RMA}$	$R^2$	$\alpha_{RMA}$ , 95% l.c.	$\beta_{RMA}$ , 95% l.c.	$R^2$ , 95% l.c.	F	p
1919	5	-0.230	1.037	0.996	-0.741 - -0.199	0.992 - 1.442	0.938 - 1.000	679.22	0.0001
1920	5	-0.333	1.115	0.996	-0.748 - -0.218	1.036 - 1.446	0.937 - 1.000	808.21	<0.0001
1921	5	-0.389	1.157	0.997	-0.758 - -0.211	1.038 - 1.452	0.904 - 1.000	864.81	<0.0001
1922	5	-0.402	1.167	0.996	-0.745 - -0.253	1.040 - 1.436	0.903 - 1.000	798.36	<0.0001
1923	5	-0.434	1.189	0.996	-0.777 - -0.211	1.037 - 1.462	0.901 - 1.000	793.30	<0.0001
1924	5	-0.464	1.209	0.996	-0.791 - -0.205	1.032 - 1.469	0.899 - 1.000	787.73	<0.0001
1925	5	-0.510	1.241	0.996	-0.812 - -0.205	1.032 - 1.481	0.897 - 1.000	811.92	<0.0001
1926	5	-0.514	1.243	0.996	-0.823 - -0.183	1.016 - 1.488	0.895 - 1.000	725.10	0.0001
1927	6	-0.230	1.020	0.989	-0.665 - -0.160	0.957 - 1.359	0.970 - 1.000	350.32	<0.0001
1928	6	-0.329	1.097	0.992	-0.659 - -0.268	1.033 - 1.346	0.968 - 1.000	481.38	<0.0001
1929	6	-0.373	1.129	0.993	-0.668 - -0.316	1.068 - 1.357	0.975 - 1.000	560.45	<0.0001
1930	6	-0.409	1.156	0.994	-0.656 - -0.353	1.088 - 1.337	0.974 - 1.000	660.72	<0.0001
1931	6	-0.443	1.180	0.995	-0.673 - -0.384	1.091 - 1.356	0.973 - 1.000	791.45	<0.0001
1932	6	-0.475	1.202	0.995	-0.671 - -0.415	1.118 - 1.359	0.971 - 1.000	882.40	<0.0001
1933	6	-0.499	1.219	0.996	-0.679 - -0.449	1.150 - 1.360	0.958 - 1.000	907.55	<0.0001
1934	6	-0.512	1.228	0.995	-0.672 - -0.451	1.150 - 1.356	0.956 - 1.000	884.16	<0.0001
1935	6	-0.517	1.231	0.995	-0.681 - -0.463	1.170 - 1.359	0.954 - 1.000	837.89	<0.0001
1936	6	-0.518	1.231	0.995	-0.678 - -0.455	1.153 - 1.361	0.952 - 1.000	791.04	<0.0001
1937	6	-0.535	1.242	0.995	-0.695 - -0.476	1.173 - 1.372	0.949 - 1.000	759.37	<0.0001
1938	6	-0.540	1.245	0.994	-0.705 - -0.474	1.173 - 1.378	0.948 - 1.000	714.57	<0.0001
1939	6	-0.545	1.249	0.994	-0.707 - -0.479	1.183 - 1.381	0.959 - 1.000	673.35	<0.0001
1940	6	-0.561	1.259	0.994	-0.715 - -0.489	1.188 - 1.388	0.943 - 1.000	636.45	<0.0001
1941	6	-0.573	1.266	0.993	-0.732 - -0.501	1.195 - 1.399	0.954 - 1.000	591.49	<0.0001
1942	6	-0.564	1.259	0.992	-0.745 - -0.463	1.178 - 1.412	0.934 - 1.000	552.54	<0.0001
1943	6	-0.564	1.259	0.992	-0.745 - -0.463	1.178 - 1.412	0.934 - 1.000	500.99	<0.0001
1944	6	-0.564	1.259	0.991	-0.755 - -0.455	1.172 - 1.419	0.931 - 1.000	464.82	<0.0001
1945	6	-0.568	1.261	0.991	-0.783 - -0.465	1.176 - 1.429	0.927 - 1.000	426.48	<0.0001
1946	6	-0.572	1.263	0.990	-0.792 - -0.455	1.181 - 1.439	0.941 - 1.000	403.07	<0.0001
1947	6	-0.587	1.272	0.989	-0.818 - -0.450	1.179 - 1.455	0.939 - 1.000	366.06	<0.0001
1948	7	-0.269	1.040	0.993	-0.702 - -0.228	0.993 - 1.370	0.975 - 0.999	680.84	<0.0001
1949	7	-0.347	1.097	0.993	-0.714 - -0.307	1.048 - 1.378	0.972 - 0.999	730.34	<0.0001
1950	7	-0.388	1.128	0.993	-0.717 - -0.348	1.078 - 1.381	0.974 - 0.999	762.25	<0.0001
1951	7	-0.405	1.140	0.993	-0.722 - -0.361	1.087 - 1.384	0.973 - 0.999	726.23	<0.0001
1952	8	-0.410	1.140	0.997	-0.656 - -0.386	1.107 - 1.325	0.983 - 1.000	2099.94	<0.0001
1953	8	-0.427	1.153	0.997	-0.673 - -0.404	1.115 - 1.334	0.982 - 1.000	1779.92	<0.0001
1954	8	-0.441	1.162	0.996	-0.687 - -0.404	1.116 - 1.343	0.981 - 0.999	1403.21	<0.0001
1955	8	-0.475	1.185	0.996	-0.707 - -0.436	1.136 - 1.354	0.980 - 0.999	1345.15	<0.0001
1956	8	-0.515	1.211	0.995	-0.720 - -0.471	1.160 - 1.363	0.979 - 0.999	1298.06	<0.0001
1957	8	-0.523	1.216	0.995	-0.737 - -0.473	1.160 - 1.372	0.979 - 0.999	1144.05	<0.0001
1958	8	-0.528	1.218	0.994	-0.747 - -0.475	1.161 - 1.378	0.977 - 0.999	1045.90	<0.0001
1959	8	-0.522	1.213	0.994	-0.763 - -0.464	1.152 - 1.384	0.974 - 0.999	920.51	<0.0001
1960	8	-0.522	1.213	0.994	-0.768 - -0.464	1.151 - 1.395	0.974 - 0.999	849.88	<0.0001
1961	8	-0.520	1.210	0.992	-0.772 - -0.452	1.141 - 1.394	0.974 - 0.999	758.44	<0.0001
1962	8	-0.516	1.207	0.991	-0.776 - -0.444	1.136 - 1.394	0.974 - 0.998	693.77	<0.0001
1963	8	-0.521	1.210	0.991	-0.789 - -0.447	1.138 - 1.400	0.973 - 0.999	661.20	<0.0001
1964	8	-0.525	1.212	0.991	-0.792 - -0.448	1.136 - 1.401	0.971 - 0.999	642.07	<0.0001
1965	8	-0.524	1.210	0.990	-0.814 - -0.445	1.133 - 1.410	0.970 - 0.998	605.26	<0.0001
1966	8	-0.530	1.214	0.990	-0.836 - -0.450	1.135 - 1.430	0.969 - 0.998	578.78	<0.0001
1967	8	-0.532	1.214	0.989	-0.805 - -0.449	1.134 - 1.405	0.967 - 0.998	551.88	<0.0001
1968	9	-0.206	0.970	0.983	-0.660 - -0.134	0.906 - 1.308	0.976 - 0.997	403.46	<0.0001
1969	9	-0.300	1.042	0.986	-0.680 - -0.233	0.974 - 1.321	0.979 - 0.997	504.63	<0.0001
1970	9	-0.326	1.062	0.986	-0.671 - -0.255	0.991 - 1.318	0.978 - 0.997	500.46	<0.0001
1971	9	-0.375	1.099	0.988	-0.686 - -0.308	1.029 - 1.328	0.978 - 0.997	585.41	<0.0001
1972	11	-0.404	1.120	0.991	-0.536 - -0.301	1.031 - 1.221	0.986 - 0.999	943.14	<0.0001
1973	14	-0.337	1.071	0.990	-0.433 - -0.259	0.998 - 1.146	0.983 - 0.997	1184.32	<0.0001
1974	17	-0.371	1.098	0.991	-0.439 - -0.316	1.041 - 1.157	0.983 - 0.998	1737.93	<0.0001
1975	20	-0.337	1.069	0.991	-0.391 - -0.290	1.013 - 1.123	0.984 - 0.997	2039.79	<0.0001
1976	22	-0.402	1.119	0.994	-0.441 - -0.367	1.073 - 1.161	0.990 - 0.997	3444.02	<0.0001
1977	25	-0.404	1.118	0.991	-0.451 - -0.359	1.059 - 1.173	0.981 - 0.997	2465.61	<0.0001
1978	29	-0.269	0.997	0.975	-0.332 - -0.214	0.915 - 1.072	0.957 - 0.990	1072.69	<0.0001
1979	32	-0.312	1.036	0.981	-0.366 - -0.269	0.967 - 1.102	0.964 - 0.992	1566.78	<0.0001
1980	33	-0.415	1.122	0.989	-0.455 - -0.377	1.067 - 1.170	0.981 - 0.995	2895.81	<0.0001
1981	34	-0.468	1.161	0.994	-0.499 - -0.442	1.122 - 1.201	0.988 - 0.997	5045.39	<0.0001
1982	34	-0.517	1.194	0.995	-0.545 - -0.491	1.155 - 1.232	0.989 - 0.997	5909.94	<0.0001
1983	34	-0.554	1.220	0.995	-0.580 - -0.529	1.183 - 1.259	0.991 - 0.997	6492.89	<0.0001
1984	34	-0.586	1.240	0.995	-0.613 - -0.560	1.202 - 1.280	0.991 - 0.997	6560.46	<0.0001
1985	34	-0.585	1.236	0.995	-0.611 - -0.558	1.198 - 1.277	0.992 - 0.997	6977.67	<0.0001
1986	34	-0.575	1.224	0.996	-0.603 - -0.546	1.181 - 1.267	0.993 - 0.998	7079.97	<0.0001
1987	34	-0.575	1.224	0.996	-0.603 - -0.546	1.181 - 1.267	0.993 - 0.998	7116.58	<0.0001
1988	34	-0.569	1.218	0.995	-0.600 - -0.537	1.170 - 1.262	0.992 - 0.998	6575.84	<0.0001
1989	34	-0.566	1.215	0.995	-0.598 - -0.533	1.166 - 1.260	0.992 - 0.998	6421.28	<0.0001
1990	34	-0.563	1.211	0.995	-0.596 - -0.528	1.160 - 1.257	0.991 - 0.998	6203.16	<0.0001
1991	34	-0.553	1.202	0.994	-0.589 - -0.516	1.148 - 1.249	0.990 - 0.997	5465.62	<0.0001



modello: $\log_{10}L = \log_{10}(\alpha) + \beta \log_{10}D$					<i>Pinus cembra</i> 06001			fusto intero	
anno	n	$\alpha_{RMA}$	$\beta_{RMA}$	$R^2$	$\alpha_{RMA}, 95\% \text{ l.c.}$	$\beta_{RMA}, 95\% \text{ l.c.}$	$R^2, 95\% \text{ l.c.}$	F	p
1943	5	-0.448	1.236	0.999	-0.627 - -0.381	1.168 - 1.389	0.991 - 1.000	5640.00	<0.0001
1944	5	-0.497	1.275	0.999	-0.659 - -0.405	1.185 - 1.410	0.992 - 1.000	3189.86	<0.0001
1945	5	-0.494	1.265	0.999	-0.703 - -0.439	1.210 - 1.442	0.992 - 1.000	3443.52	<0.0001
1946	5	-0.513	1.275	0.999	-0.734 - -0.471	1.234 - 1.461	0.990 - 1.000	3146.03	<0.0001
1947	5	-0.516	1.271	0.999	-0.768 - -0.493	1.226 - 1.482	0.991 - 1.000	2639.89	<0.0001
1948	5	-0.508	1.262	0.999	-0.778 - -0.479	1.211 - 1.487	0.989 - 1.000	2183.55	<0.0001
1949	5	-0.506	1.257	0.998	-0.803 - -0.469	1.197 - 1.504	0.990 - 1.000	1695.85	<0.0001
1950	5	-0.524	1.268	0.998	-0.833 - -0.479	1.201 - 1.524	0.990 - 1.000	1458.99	<0.0001
1951	5	-0.556	1.291	0.998	-0.868 - -0.505	1.219 - 1.551	0.990 - 1.000	1347.64	<0.0001
1952	5	-0.553	1.285	0.997	-0.894 - -0.494	1.203 - 1.564	0.991 - 1.000	990.89	<0.0001
1953	5	-0.530	1.264	0.996	-0.893 - -0.460	1.172 - 1.564	0.991 - 1.000	772.72	<0.0001
1954	5	-0.522	1.258	0.995	-0.896 - -0.443	1.156 - 1.565	0.991 - 1.000	655.34	0.0001
1955	5	-0.511	1.250	0.995	-0.894 - -0.423	1.139 - 1.564	0.992 - 1.000	561.38	0.0002
1956	5	-0.497	1.238	0.993	-0.890 - -0.399	1.118 - 1.559	0.992 - 1.000	465.55	0.0002
1957	5	-0.481	1.226	0.992	-0.894 - -0.372	1.095 - 1.560	0.990 - 1.000	386.03	0.0003
1958	5	-0.467	1.214	0.991	-0.893 - -0.357	1.076 - 1.559	0.987 - 1.000	324.86	0.0004
1959	5	-0.464	1.213	0.990	-0.890 - -0.338	1.067 - 1.556	0.986 - 1.000	302.49	0.0004
1960	5	-0.460	1.211	0.989	-0.892 - -0.325	1.057 - 1.559	0.985 - 1.000	271.33	0.0005
1961	6	-0.163	0.951	0.992	-0.740 - -0.125	0.896 - 1.438	0.985 - 1.000	487.62	<0.0001
1962	6	-0.134	0.930	0.987	-0.754 - -0.089	0.857 - 1.450	0.982 - 1.000	306.92	<0.0001
1963	6	-0.165	0.961	0.987	-0.770 - -0.122	0.879 - 1.464	0.981 - 1.000	298.89	<0.0001
1964	7	-0.202	0.999	0.994	-0.497 - -0.134	0.922 - 1.248	0.981 - 1.000	780.83	<0.0001
1965	7	-0.206	1.005	0.993	-0.496 - -0.143	0.924 - 1.248	0.979 - 0.999	679.44	<0.0001
1966	7	-0.217	1.017	0.992	-0.501 - -0.160	0.938 - 1.255	0.979 - 0.999	660.79	<0.0001
1967	8	-0.374	1.167	0.982	-0.497 - -0.194	0.979 - 1.256	0.969 - 0.999	335.35	<0.0001
1968	8	-0.399	1.180	0.982	-0.533 - -0.225	1.006 - 1.281	0.966 - 0.999	328.31	<0.0001
1969	8	-0.407	1.179	0.985	-0.533 - -0.254	1.022 - 1.278	0.971 - 0.999	387.55	<0.0001
1970	8	-0.416	1.183	0.986	-0.539 - -0.275	1.039 - 1.281	0.973 - 0.999	424.72	<0.0001
1971	8	-0.405	1.168	0.989	-0.518 - -0.288	1.046 - 1.261	0.976 - 0.999	527.69	<0.0001
1972	8	-0.398	1.159	0.990	-0.502 - -0.297	1.049 - 1.246	0.978 - 0.999	619.26	<0.0001
1973	9	-0.398	1.156	0.996	-0.451 - -0.326	1.087 - 1.210	0.986 - 0.999	1803.10	<0.0001
1974	9	-0.452	1.203	0.995	-0.493 - -0.354	1.102 - 1.242	0.987 - 0.999	1390.39	<0.0001
1975	9	-0.492	1.237	0.991	-0.568 - -0.367	1.111 - 1.302	0.983 - 0.998	810.82	<0.0001
1976	9	-0.529	1.267	0.987	-0.637 - -0.378	1.118 - 1.360	0.974 - 0.998	529.96	<0.0001
1977	9	-0.551	1.282	0.984	-0.683 - -0.395	1.129 - 1.393	0.968 - 0.998	432.48	<0.0001
1978	9	-0.601	1.321	0.978	-0.772 - -0.422	1.148 - 1.466	0.954 - 0.998	313.99	<0.0001
1979	9	-0.648	1.354	0.976	-0.839 - -0.459	1.176 - 1.517	0.945 - 0.998	279.71	<0.0001
1980	10	-0.352	1.067	0.955	-0.740 - -0.221	0.941 - 1.427	0.924 - 0.996	171.82	<0.0001
1981	10	-0.390	1.110	0.960	-0.712 - -0.254	0.970 - 1.402	0.931 - 0.995	191.35	<0.0001
1982	10	-0.402	1.126	0.963	-0.693 - -0.263	0.988 - 1.385	0.936 - 0.995	211.34	<0.0001
1983	11	-0.325	1.056	0.976	-0.621 - -0.257	0.967 - 1.324	0.950 - 0.995	375.17	<0.0001
1984	11	-0.317	1.053	0.971	-0.601 - -0.235	0.943 - 1.310	0.948 - 0.993	307.83	<0.0001
1985	11	-0.341	1.077	0.973	-0.601 - -0.253	0.960 - 1.307	0.952 - 0.993	321.07	<0.0001
1986	14	-0.198	0.943	0.981	-0.310 - -0.148	0.863 - 1.050	0.961 - 0.994	609.22	<0.0001
1987	18	-0.185	0.935	0.982	-0.242 - -0.139	0.860 - 0.997	0.969 - 0.993	866.86	<0.0001
1988	22	-0.253	0.998	0.989	-0.288 - -0.221	0.939 - 1.042	0.981 - 0.995	1768.47	<0.0001
1989	25	-0.258	0.999	0.988	-0.290 - -0.228	0.941 - 1.042	0.981 - 0.994	1961.76	<0.0001
1990	28	-0.304	1.032	0.977	-0.365 - -0.256	0.953 - 1.113	0.958 - 0.992	1108.16	<0.0001
1991	28	-0.369	1.085	0.981	-0.425 - -0.326	1.017 - 1.150	0.964 - 0.993	1366.16	<0.0001
1992	30	-0.360	1.062	0.983	-0.408 - -0.321	0.996 - 1.123	0.969 - 0.993	1614.46	<0.0001
1993	33	-0.344	1.031	0.981	-0.393 - -0.305	0.961 - 1.096	0.968 - 0.991	1572.37	<0.0001
1994	35	-0.371	1.049	0.981	-0.416 - -0.331	0.978 - 1.108	0.970 - 0.990	1729.65	<0.0001
1995	37	-0.360	1.014	0.972	-0.423 - -0.297	0.905 - 1.105	0.959 - 0.991	1194.59	<0.0001
1996	37	-0.457	1.119	0.976	-0.524 - -0.395	1.020 - 1.211	0.965 - 0.989	1450.03	<0.0001
1997	38	-0.498	1.157	0.979	-0.557 - -0.438	1.067 - 1.234	0.966 - 0.991	1685.80	<0.0001
1998	41	-0.489	1.120	0.980	-0.547 - -0.445	1.053 - 1.196	0.968 - 0.989	1871.91	<0.0001
1999	45	-0.483	1.107	0.985	-0.521 - -0.453	1.057 - 1.158	0.977 - 0.991	2777.66	<0.0001
2000	52	-0.471	1.078	0.984	-0.504 - -0.443	1.028 - 1.125	0.977 - 0.991	3106.10	<0.0001

modello: $\log_{10}L = \log_{10}(\alpha) + \beta \log_{10}D$					<i>Pinus cembra</i> 06001			fusto	
anno	n	$\alpha_{RMA}$	$\beta_{RMA}$	R <sup>2</sup>	$\alpha_{RMA}$ , 95% l.c.	$\beta_{RMA}$ , 95% l.c.	R <sup>2</sup> , 95%l.c.	F	p
1953	5	-0.528	1.263	0.996	-0.885 - -0.460	1.172 - 1.554	0.991 - 1.000	772.72	0.0001
1954	5	-0.520	1.256	0.995	-0.885 - -0.443	1.156 - 1.556	0.991 - 1.000	655.34	0.0001
1955	5	-0.510	1.248	0.995	-0.886 - -0.423	1.139 - 1.553	0.992 - 1.000	561.38	0.0002
1956	5	-0.496	1.237	0.994	-0.878 - -0.399	1.118 - 1.549	0.992 - 1.000	465.55	0.0002
1957	5	-0.479	1.224	0.992	-0.880 - -0.379	1.097 - 1.550	0.990 - 1.000	386.03	0.0003
1958	5	-0.465	1.213	0.991	-0.881 - -0.348	1.074 - 1.548	0.988 - 1.000	324.86	0.0004
1959	5	-0.462	1.211	0.990	-0.879 - -0.338	1.067 - 1.546	0.987 - 1.000	302.49	0.0004
1960	5	-0.459	1.209	0.989	-0.879 - -0.325	1.057 - 1.548	0.985 - 1.000	271.33	0.0005
1961	5	-0.453	1.207	0.989	-0.881 - -0.314	1.051 - 1.548	0.984 - 1.000	262.57	0.0005
1962	5	-0.451	1.206	0.987	-0.878 - -0.313	1.045 - 1.549	0.982 - 1.000	233.90	0.0006
1963	5	-0.451	1.208	0.986	-0.874 - -0.291	1.035 - 1.547	0.979 - 1.000	209.86	0.0007
1964	5	-0.447	1.207	0.984	-0.875 - -0.277	1.026 - 1.547	0.976 - 1.000	190.32	0.0008
1965	5	-0.443	1.205	0.983	-0.875 - -0.263	1.016 - 1.550	0.974 - 1.000	172.42	0.0010
1966	5	-0.443	1.207	0.982	-0.891 - -0.254	1.011 - 1.561	0.971 - 1.000	160.54	0.0011
1967	5	-0.469	1.226	0.981	-0.922 - -0.272	1.025 - 1.583	0.970 - 1.000	157.44	0.0011
1968	5	-0.495	1.245	0.981	-0.957 - -0.290	1.037 - 1.607	0.969 - 1.000	152.36	0.0011
1969	5	-0.520	1.262	0.980	-0.986 - -0.305	1.048 - 1.626	0.967 - 1.000	142.22	0.0012
1970	5	-0.540	1.276	0.979	-1.012 - -0.317	1.056 - 1.644	0.966 - 1.000	141.85	0.0013
1971	5	-0.563	1.293	0.978	-1.050 - -0.348	1.070 - 1.671	0.963 - 1.000	133.92	0.0014
1972	5	-0.588	1.310	0.978	-1.085 - -0.346	1.076 - 1.700	0.962 - 1.000	130.90	0.0014
1973	5	-0.601	1.319	0.977	-1.105 - -0.353	1.081 - 1.710	0.960 - 1.000	127.45	0.0015
1974	5	-0.627	1.337	0.977	-1.135 - -0.373	1.096 - 1.734	0.959 - 1.000	126.38	0.0015
1975	6	-0.404	1.156	0.984	-1.108 - -0.297	1.018 - 1.708	0.966 - 1.000	239.18	0.0001
1976	6	-0.422	1.168	0.983	-1.121 - -0.311	1.027 - 1.718	0.966 - 1.000	237.30	0.0001
1977	6	-0.439	1.181	0.983	-1.145 - -0.323	1.036 - 1.734	0.966 - 1.000	232.58	0.0001
1978	6	-0.471	1.205	0.983	-1.180 - -0.351	1.067 - 1.758	0.966 - 1.000	237.53	0.0001
1979	6	-0.515	1.237	0.984	-1.232 - -0.387	1.086 - 1.794	0.965 - 1.000	238.67	0.0001
1980	6	-0.538	1.255	0.983	-1.277 - -0.400	1.097 - 1.827	0.965 - 1.000	226.59	0.0001
1981	7	-0.511	1.232	0.988	-0.916 - -0.406	1.104 - 1.548	0.971 - 1.000	395.48	<0.0001
1982	7	-0.507	1.228	0.986	-0.948 - -0.394	1.091 - 1.571	0.968 - 1.000	341.25	<0.0001
1983	7	-0.499	1.222	0.984	-0.970 - -0.374	1.076 - 1.587	0.966 - 1.000	301.50	<0.0001
1984	8	-0.492	1.217	0.988	-0.632 - -0.380	1.079 - 1.333	0.969 - 0.999	482.82	<0.0001
1985	8	-0.500	1.221	0.987	-0.647 - -0.383	1.084 - 1.338	0.968 - 0.999	450.61	<0.0001
1986	8	-0.496	1.217	0.986	-0.801 - -0.364	1.067 - 1.445	0.968 - 0.999	433.33	<0.0001
1987	9	-0.542	1.252	0.986	-0.663 - -0.412	1.118 - 1.351	0.972 - 0.997	479.68	<0.0001
1988	9	-0.548	1.254	0.986	-0.666 - -0.423	1.127 - 1.347	0.972 - 0.997	503.43	<0.0001
1989	9	-0.546	1.252	0.987	-0.656 - -0.412	1.114 - 1.340	0.972 - 0.997	518.46	<0.0001
1990	9	-0.584	1.276	0.987	-0.702 - -0.451	1.143 - 1.370	0.972 - 0.997	522.31	<0.0001
1991	10	-0.525	1.222	0.980	-0.697 - -0.384	1.076 - 1.364	0.965 - 0.995	390.97	<0.0001
1992	10	-0.536	1.229	0.981	-0.704 - -0.398	1.091 - 1.364	0.968 - 0.995	420.46	<0.0001
1993	10	-0.557	1.242	0.982	-0.721 - -0.416	1.098 - 1.374	0.969 - 0.995	439.93	<0.0001
1994	10	-0.592	1.264	0.983	-0.754 - -0.449	1.124 - 1.392	0.970 - 0.996	469.86	<0.0001
1995	10	-0.630	1.288	0.984	-0.790 - -0.492	1.155 - 1.415	0.970 - 0.996	191.25	<0.0001
1996	10	-0.676	1.317	0.985	-0.835 - -0.535	1.180 - 1.442	0.973 - 0.996	523.93	<0.0001
1997	10	-0.703	1.333	0.986	-0.858 - -0.567	1.203 - 1.454	0.973 - 0.996	563.43	<0.0001
1998	10	-0.747	1.358	0.986	-0.905 - -0.606	1.226 - 1.480	0.972 - 0.996	575.42	<0.0001
1999	11	-0.688	1.305	0.982	-0.897 - -0.549	1.172 - 1.467	0.964 - 0.995	479.70	<0.0001
2000	11	-0.710	1.313	0.980	-0.937 - -0.560	1.171 - 1.487	0.958 - 0.995	431.33	<0.0001

modello: $\log_{10}L = \log_{10}(\alpha) + \beta\log_{10}D$					<i>Pinus cembra</i> 06001			cimale	
anno	n	$\alpha_{RMA}$	$\beta_{RMA}$	R <sup>2</sup>	$\alpha_{RMA}$ , 95% l.c.	$\beta_{RMA}$ , 95% l.c.	R <sup>2</sup> , 95%l.c.	F	p
1986	6	-0.206	0.781	0.976	-0.251 - -0.138	0.674 - 0.950	0.922 - 1.000	162.54	0.0002
1987	9	-0.172	0.903	0.924	-0.206 - -0.088	0.741 - 1.195	0.567 - 0.995	84.62	<0.0001
1988	13	-0.239	1.018	0.955	-0.266 - -0.212	0.898 - 1.170	0.855 - 0.989	231.10	<0.0001
1989	16	-0.251	0.962	0.956	-0.282 - -0.225	0.841 - 1.047	0.888 - 0.988	302.37	<0.0001
1990	19	-0.299	1.016	0.911	-0.352 - -0.260	0.836 - 1.255	0.851 - 0.985	174.87	<0.0001
1991	18	-0.362	1.062	0.889	-0.426 - -0.315	0.869 - 1.305	0.797 - 0.979	127.87	<0.0001
1992	20	-0.345	0.944	0.937	-0.394 - -0.310	0.826 - 1.099	0.854 - 0.981	269.06	<0.0001
1993	23	-0.335	0.915	0.958	-0.375 - -0.302	0.818 - 1.024	0.923 - 0.982	469.36	<0.0001
1994	25	-0.364	0.950	0.958	-0.406 - -0.324	0.832 - 1.059	0.934 - 0.983	530.47	<0.0001
1995	27	-0.364	0.947	0.955	-0.416 - -0.310	0.790 - 1.087	0.945 - 0.986	483.96	<0.0001
1996	27	-0.454	1.084	0.945	-0.519 - -0.391	0.905 - 1.263	0.930 - 0.982	429.10	<0.0001
1997	28	-0.493	1.142	0.943	-0.559 - -0.422	0.959 - 1.303	0.922 - 0.976	431.90	<0.0001
1998	31	-0.482	1.055	0.956	-0.544 - -0.439	0.969 - 1.205	0.929 - 0.984	632.45	<0.0001
1999	34	-0.478	1.040	0.970	-0.512 - -0.449	0.984 - 1.106	0.948 - 0.986	1047.49	<0.0001
2000	41	-0.473	1.017	0.973	-0.500 - -0.448	0.959 - 1.075	0.960 - 0.985	1422.33	<0.0001

modello: $\log_{10}L = \log_{10}(\alpha) + \beta\log_{10}D$					<i>Larix decidua</i>			fusto intero	
anno	n	$\alpha_{RMA}$	$\beta_{RMA}$	R <sup>2</sup>	$\alpha_{RMA}$ , 95% l.c.	$\beta_{RMA}$ , 95% l.c.	R <sup>2</sup> , 95%l.c.	F	p
1900	6	-0.265	1.020	0.988	-1.213 - -0.218	0.957 - 1.792	0.895 - 1.000	309.41	<0.0001
1901	6	-0.353	1.092	0.986	-1.256 - -0.312	1.016 - 1.820	0.891 - 1.000	274.39	<0.0001
1902	6	-0.415	1.141	0.985	-1.293 - -0.374	1.055 - 1.844	0.893 - 1.000	252.81	<0.0001
1903	6	-0.440	1.160	0.983	-1.303 - -0.390	1.066 - 1.849	0.892 - 1.000	223.64	<0.0001
1904	6	-0.472	1.182	0.981	-1.339 - -0.408	1.075 - 1.871	0.893 - 1.000	195.16	0.0002
1905	6	-0.493	1.196	0.979	-1.382 - -0.421	1.088 - 1.897	0.891 - 1.000	176.14	0.0002
1906	6	-0.489	1.193	0.977	-1.384 - -0.408	1.077 - 1.896	0.889 - 1.000	159.81	0.0002
1907	6	-0.500	1.201	0.975	-1.396 - -0.405	1.070 - 1.902	0.895 - 1.000	147.76	0.0003
1908	6	-0.507	1.205	0.973	-1.421 - -0.407	1.074 - 1.914	0.889 - 1.000	136.42	0.0002
1909	6	-0.501	1.199	0.969	-1.445 - -0.383	1.057 - 1.930	0.888 - 1.000	120.31	0.0003
1910	6	-0.498	1.196	0.967	-1.449 - -0.377	1.049 - 1.930	0.887 - 1.000	111.14	0.0005
1911	6	-0.489	1.189	0.964	-1.449 - -0.353	1.027 - 1.928	0.884 - 1.000	102.16	0.0005
1912	6	-0.504	1.200	0.963	-1.465 - -0.359	1.039 - 1.937	0.884 - 1.000	99.16	0.0006
1913	6	-0.516	1.211	0.962	-1.483 - -0.365	1.047 - 1.949	0.881 - 1.000	96.56	0.0006
1914	6	-0.523	1.216	0.960	-1.490 - -0.364	1.039 - 1.952	0.878 - 1.000	93.28	0.0006
1915	6	-0.530	1.222	0.959	-1.488 - -0.364	1.047 - 1.949	0.872 - 1.000	90.73	0.0006
1916	6	-0.551	1.238	0.958	-1.507 - -0.378	1.059 - 1.961	0.867 - 1.000	90.13	0.0007
1917	6	-0.581	1.259	0.958	-1.529 - -0.403	1.082 - 1.974	0.866 - 1.000	90.57	0.0007
1918	6	-0.594	1.268	0.958	-1.542 - -0.408	1.089 - 1.980	0.856 - 1.000	90.47	0.0007
1919	6	-0.597	1.271	0.957	-1.547 - -0.407	1.084 - 1.982	0.854 - 1.000	89.32	0.0007
1920	6	-0.599	1.273	0.956	-1.543 - -0.404	1.083 - 1.979	0.860 - 1.000	88.00	0.0007
1921	6	-0.605	1.277	0.956	-1.541 - -0.404	1.080 - 1.975	0.850 - 1.000	88.96	0.0007
1922	6	-0.621	1.290	0.957	-1.544 - -0.419	1.099 - 1.975	0.857 - 1.000	90.22	0.0007
1923	6	-0.632	1.298	0.957	-1.550 - -0.428	1.110 - 1.978	0.847 - 1.000	90.90	0.0007
1924	6	-0.656	1.315	0.957	-1.575 - -0.445	1.121 - 1.995	0.853 - 1.000	91.21	0.0007
1925	6	-0.681	1.334	0.957	-1.597 - -0.468	1.139 - 2.009	0.842 - 1.000	93.33	0.0006
1926	6	-0.701	1.350	0.958	-1.602 - -0.487	1.153 - 2.012	0.849 - 1.000	96.13	0.0006
1927	6	-0.743	1.381	0.960	-1.616 - -0.527	1.183 - 2.022	0.845 - 1.000	103.63	0.0005
1928	6	-0.784	1.411	0.961	-1.631 - -0.568	1.213 - 2.031	0.841 - 1.000	110.88	0.0005
1929	6	-0.824	1.440	0.961	-1.659 - -0.607	1.247 - 2.050	0.834 - 1.000	114.53	0.0004
1930	6	-0.866	1.470	0.961	-1.699 - -0.648	1.276 - 2.077	0.821 - 1.000	117.60	0.0004

1931	6	-0.911	1.500	0.960	-1.752 - -0.685	1.304 - 2.116	0.823 - 1.000	117.21	0.0004
1932	7	-0.155	0.923	0.982	-1.433 - -0.100	0.869 - 1.885	0.914 - 0.998	251.51	<0.0001
1933	7	-0.167	0.935	0.977	-1.417 - -0.113	0.870 - 1.872	0.919 - 0.998	193.11	<0.0001
1934	7	-0.199	0.962	0.973	-1.427 - -0.144	0.888 - 1.879	0.908 - 0.998	170.21	<0.0001
1935	7	-0.233	0.989	0.971	-1.414 - -0.176	0.906 - 1.877	0.913 - 0.998	156.92	<0.0001
1936	7	-0.266	1.016	0.970	-1.468 - -0.203	0.925 - 1.912	0.907 - 0.998	148.96	<0.0001
1937	7	-0.283	1.030	0.968	-1.472 - -0.214	0.934 - 1.918	0.903 - 0.997	140.03	<0.0001
1938	7	-0.295	1.041	0.966	-1.458 - -0.219	0.937 - 1.906	0.905 - 0.998	131.31	<0.0001
1939	7	-0.320	1.061	0.965	-1.436 - -0.237	0.955 - 1.885	0.904 - 0.998	128.71	<0.0001
1940	8	-0.209	0.975	0.986	-1.138 - -0.165	0.918 - 1.673	0.942 - 0.998	388.81	<0.0001
1941	8	-0.231	0.995	0.983	-1.168 - -0.186	0.927 - 1.696	0.938 - 0.998	311.58	<0.0001
1942	8	-0.246	1.009	0.980	-1.179 - -0.195	0.929 - 1.704	0.939 - 0.997	270.26	<0.0001
1943	9	-0.243	1.005	0.991	-0.513 - -0.216	0.952 - 1.235	0.954 - 0.999	672.56	<0.0001
1944	9	-0.248	1.009	0.988	-0.535 - -0.215	0.947 - 1.251	0.953 - 0.998	527.57	<0.0001
1945	9	-0.259	1.019	0.986	-0.842 - -0.225	0.950 - 1.428	0.952 - 0.998	467.27	<0.0001
1946	9	-0.281	1.037	0.986	-0.842 - -0.246	0.963 - 1.426	0.952 - 0.998	450.63	<0.0001
1947	10	-0.259	1.017	0.991	-0.416 - -0.228	0.965 - 1.142	0.965 - 0.999	844.23	<0.0001
1948	10	-0.264	1.023	0.990	-0.400 - -0.231	0.961 - 1.142	0.965 - 0.998	696.32	<0.0001
1949	10	-0.281	1.036	0.988	-0.445 - -0.240	0.967 - 1.170	0.965 - 0.998	597.88	<0.0001
1950	10	-0.310	1.059	0.988	-0.472 - -0.270	0.986 - 1.186	0.964 - 0.998	591.58	<0.0001
1951	10	-0.353	1.091	0.988	-0.500 - -0.307	1.017 - 1.210	0.963 - 0.998	584.49	<0.0001
1952	11	-0.211	0.973	0.982	-0.402 - -0.138	0.896 - 1.142	0.971 - 0.996	468.49	<0.0001
1953	11	-0.188	0.962	0.978	-0.389 - -0.102	0.869 - 1.134	0.966 - 0.995	369.18	<0.0001
1954	11	-0.203	0.980	0.979	-0.381 - -0.124	0.886 - 1.132	0.965 - 0.995	398.65	<0.0001
1955	11	-0.212	0.991	0.978	-0.395 - -0.125	0.895 - 1.144	0.962 - 0.994	367.88	<0.0001
1956	11	-0.195	0.982	0.975	-0.381 - -0.103	0.880 - 1.139	0.959 - 0.993	332.48	<0.0001
1957	11	-0.183	0.978	0.975	-0.375 - -0.091	0.873 - 1.133	0.957 - 0.993	322.46	<0.0001
1958	11	-0.189	0.986	0.976	-0.377 - -0.101	0.882 - 1.135	0.957 - 0.993	334.85	<0.0001
1959	13	-0.151	0.952	0.991	-0.259 - -0.109	0.898 - 1.046	0.973 - 0.997	1180.61	<0.0001
1960	15	-0.096	0.904	0.989	-0.173 - -0.051	0.850 - 0.979	0.981 - 0.996	1148.59	<0.0001
1961	18	-0.024	0.842	0.982	-0.097 - 0.031	0.779 - 0.916	0.971 - 0.994	831.98	<0.0001
1962	18	-0.098	0.912	0.987	-0.150 - -0.053	0.850 - 0.969	0.980 - 0.995	1152.21	<0.0001
1963	25	-0.020	0.846	0.982	-0.061 - 0.016	0.788 - 0.893	0.971 - 0.990	1195.30	<0.0001
1964	30	-0.013	0.842	0.984	-0.043 - 0.012	0.787 - 0.886	0.977 - 0.991	1702.66	<0.0001
1965	35	-0.154	0.981	0.979	-0.202 - -0.114	0.914 - 1.053	0.959 - 0.994	1518.51	<0.0001
1966	36	-0.243	1.058	0.984	-0.283 - -0.202	0.994 - 1.119	0.971 - 0.994	2035.38	<0.0001
1967	36	-0.240	1.036	0.989	-0.271 - -0.209	0.985 - 1.081	0.981 - 0.994	2912.27	<0.0001
1968	36	-0.266	1.052	0.991	-0.294 - -0.239	1.005 - 1.093	0.985 - 0.995	3474.11	<0.0001
1969	36	-0.301	1.070	0.993	-0.323 - -0.278	1.029 - 1.106	0.988 - 0.996	4406.01	<0.0001
1970	40	-0.170	0.900	0.951	-0.242 - -0.115	0.805 - 1.007	0.926 - 0.984	729.70	<0.0001
1971	43	-0.216	0.954	0.973	-0.264 - -0.175	0.882 - 1.020	0.959 - 0.988	1453.34	<0.0001
1972	44	-0.162	0.902	0.973	-0.205 - -0.131	0.833 - 0.970	0.963 - 0.982	1441.85	<0.0001
1973	54	-0.145	0.870	0.979	-0.172 - -0.120	0.819 - 0.914	0.971 - 0.986	2344.77	<0.0001
1974	61	-0.194	0.938	0.987	-0.215 - -0.174	0.898 - 0.971	0.982 - 0.991	4307.01	<0.0001
1975	61	-0.229	0.989	0.989	-0.248 - -0.212	0.954 - 1.018	0.984 - 0.993	5226.57	<0.0001
1976	69	-0.231	0.978	0.932	-0.283 - -0.189	0.866 - 1.115	0.884 - 0.980	917.83	<0.0001
1977	69	-0.294	1.054	0.963	-0.335 - -0.259	0.971 - 1.149	0.934 - 0.989	1758.48	<0.0001
1978	69	-0.384	1.174	0.962	-0.431 - -0.342	1.086 - 1.279	0.928 - 0.991	1678.39	<0.0001
1979	69	-0.449	1.241	0.956	-0.504 - -0.399	1.147 - 1.350	0.922 - 0.986	1445.32	<0.0001
1980	69	-0.508	1.303	0.944	-0.571 - -0.449	1.196 - 1.432	0.905 - 0.980	1136.83	<0.0001
1981	69	-0.541	1.323	0.946	-0.604 - -0.479	1.219 - 1.452	0.910 - 0.979	1171.31	<0.0001
1982	69	-0.563	1.334	0.950	-0.625 - -0.503	1.234 - 1.454	0.917 - 0.980	1266.13	<0.0001
1983	69	-0.582	1.343	0.955	-0.642 - -0.525	1.249 - 1.455	0.928 - 0.981	1438.19	<0.0001
1984	66	-0.612	1.363	0.957	-0.672 - -0.553	1.271 - 1.476	0.933 - 0.980	1419.79	<0.0001
1985	58	-0.633	1.367	0.960	-0.694 - -0.569	1.276 - 1.475	0.938 - 0.981	1359.62	<0.0001

modello: $\log_{10}L = \log_{10}(\alpha) + \beta \log_{10}D$					<i>Larix decidua</i>			fusto	
anno	n	$\alpha_{RMA}$	$\beta_{RMA}$	R <sup>2</sup>	$\alpha_{RMA}$ , 95% l.c.	$\beta_{RMA}$ , 95% l.c.	R <sup>2</sup> , 95%l.c.	F	p
1900	5	-0.6482	1.355	0.959	-2.060 - -0.410	1.106 - 2.462	0.912 - 1.000	70.55	0.0035
1901	5	-0.7062	1.398	0.960	-1.931 - -0.458	1.144 - 2.353	0.908 - 1.000	72.81	0.0034
1902	5	-0.7567	1.434	0.961	-1.933 - -0.495	1.162 - 2.348	0.905 - 1.000	74.91	0.0033
1903	5	-0.8012	1.468	0.964	-1.892 - -0.537	1.198 - 2.304	0.905 - 1.000	80.12	0.0029
1904	5	-0.8669	1.514	0.966	-2.128 - -0.598	1.256 - 2.485	0.907 - 1.000	84.40	0.0027
1905	5	-0.9114	1.545	0.967	-1.996 - -0.635	1.283 - 2.377	0.900 - 1.000	87.75	0.0026
1906	5	-0.924	1.553	0.968	-1.986 - -0.644	1.290 - 2.364	0.918 - 1.000	89.57	0.0025
1907	5	-0.9557	1.574	0.969	-2.160 - -0.672	1.313 - 2.490	0.917 - 1.000	93.03	0.0024
1908	5	-0.9809	1.590	0.969	-2.169 - -0.690	1.324 - 2.489	0.921 - 1.000	93.52	0.0023
1909	5	-1.01	1.610	0.969	-2.188 - -0.713	1.342 - 2.499	0.907 - 1.000	93.42	0.0024
1910	5	-1.029	1.623	0.970	-2.193 - -0.730	1.355 - 2.498	0.917 - 1.000	95.62	0.0023
1911	5	-1.045	1.633	0.970	-2.195 - -0.745	1.367 - 2.495	0.917 - 1.000	98.33	0.0022
1912	5	-1.068	1.648	0.970	-2.222 - -0.811	1.407 - 2.510	0.915 - 1.000	98.32	0.0022
1913	5	-1.085	1.660	0.970	-2.076 - -0.772	1.387 - 2.399	0.913 - 1.000	96.75	0.0022
1914	5	-1.101	1.671	0.970	-2.277 - -0.786	1.397 - 2.546	0.908 - 1.000	96.83	0.0022
1915	6	-0.5563	1.252	0.958	-1.764 - -0.364	1.047 - 2.167	0.936 - 0.999	90.73	0.0007
1916	6	-0.5798	1.269	0.958	-1.791 - -0.388	1.063 - 2.186	0.935 - 0.999	90.13	0.0007
1917	6	-0.612	1.292	0.958	-1.826 - -0.402	1.082 - 2.209	0.935 - 0.999	90.57	0.0007
1918	6	-0.6269	1.303	0.958	-1.818 - -0.421	1.089 - 2.203	0.935 - 0.999	90.45	0.0007
1919	6	-0.6312	1.306	0.957	-1.843 - -0.406	1.084 - 2.214	0.932 - 0.999	89.32	0.0007
1920	6	-0.6349	1.309	0.957	-1.856 - -0.404	1.083 - 2.219	0.931 - 0.999	88.00	0.0007
1921	6	-0.6415	1.314	0.957	-1.856 - -0.404	1.086 - 2.216	0.930 - 0.999	87.96	0.0007
1922	6	-0.6605	1.328	0.958	-1.856 - -0.419	1.099 - 2.216	0.935 - 0.999	90.22	0.0007
1923	6	-0.6728	1.338	0.958	-1.868 - -0.442	1.113 - 2.221	0.936 - 0.999	90.90	0.0007
1924	6	-0.6996	1.358	0.958	-1.903 - -0.461	1.129 - 2.244	0.934 - 0.999	91.21	0.0007
1925	6	-0.7278	1.378	0.959	-1.934 - -0.468	1.140 - 2.264	0.930 - 0.999	93.23	0.0006
1926	6	-0.7504	1.396	0.960	-1.946 - -0.487	1.156 - 2.272	0.937 - 0.999	96.13	0.0006
1927	6	-0.797	1.431	0.963	-1.969 - -0.532	1.193 - 2.291	0.939 - 0.999	103.63	0.0005
1928	6	-0.8432	1.465	0.965	-1.993 - -0.575	1.217 - 2.303	0.938 - 0.999	110.88	0.0005
1929	6	-0.8875	1.497	0.966	-2.058 - -0.615	1.248 - 2.351	0.936 - 1.000	114.53	0.0004
1930	6	-0.9343	1.531	0.967	-2.094 - -0.660	1.291 - 2.378	0.937 - 1.000	117.60	0.0003
1931	6	-0.9844	1.565	0.967	-2.160 - -0.701	1.321 - 2.415	0.940 - 1.000	117.21	0.0003
1932	6	-1.01	1.582	0.967	-2.246 - -0.721	1.334 - 2.483	0.935 - 1.000	116.24	0.0003
1933	6	-1.011	1.584	0.966	-2.217 - -0.717	1.332 - 2.452	0.933 - 1.000	113.87	0.0003
1934	6	-1.023	1.593	0.966	-2.299 - -0.724	1.338 - 2.520	0.932 - 1.000	112.42	0.0003
1935	6	-1.043	1.607	0.966	-2.277 - -0.744	1.351 - 2.499	0.931 - 1.000	114.11	0.0003
1936	6	-1.062	1.620	0.967	-2.290 - -0.763	1.364 - 2.506	0.932 - 1.000	116.56	0.0003
1937	6	-1.073	1.629	0.967	-2.315 - -0.773	1.371 - 2.520	0.931 - 1.000	117.43	0.0003
1938	6	-1.09	1.642	0.968	-2.288 - -0.789	1.384 - 2.497	0.933 - 1.000	119.50	0.0003
1939	6	-1.102	1.651	0.968	-2.337 - -0.799	1.390 - 2.535	0.933 - 1.000	121.70	0.0003
1940	6	-1.122	1.666	0.969	-2.334 - -0.818	1.408 - 2.535	0.932 - 0.999	124.21	0.0003
1941	6	-1.143	1.682	0.969	-2.373 - -0.835	1.422 - 2.563	0.928 - 1.000	124.91	0.0003
1942	6	-1.156	1.691	0.969	-2.340 - -0.851	1.439 - 2.530	0.927 - 1.000	125.20	0.0003
1943	6	-1.173	1.701	0.970	-2.417 - -0.856	1.441 - 2.585	0.927 - 1.000	127.25	0.0003
1944	6	-1.189	1.712	0.970	-2.390 - -0.880	1.458 - 2.553	0.929 - 1.000	129.78	0.0003
1945	6	-1.198	1.718	0.970	-2.407 - -0.888	1.465 - 2.576	0.929 - 1.000	130.26	<0.0001
1946	6	-1.197	1.716	0.970	-2.405 - -0.876	1.453 - 2.573	0.926 - 1.000	128.91	<0.0001
1947	6	-1.21	1.724	0.971	-2.377 - -0.901	1.473 - 2.550	0.932 - 1.000	132.83	<0.0001
1948	6	-1.212	1.726	0.971	-2.369 - -0.898	1.474 - 2.543	0.932 - 1.000	132.63	<0.0001
1949	7	-0.5492	1.245	0.961	-1.670 - -0.376	1.081 - 2.050	0.942 - 0.999	121.61	<0.0001
1950	7	-0.5789	1.266	0.962	-1.671 - -0.401	1.101 - 2.050	0.944 - 0.999	125.60	<0.0001

1951	7	-0.5789	1.266	0.962	-1.671 - -0.401	1.101 - 2.050	0.944 - 0.999	129.10	<0.0001
1952	7	-0.6161	1.293	0.962	-1.684 - -0.425	1.121 - 2.062	0.944 - 0.998	125.92	<0.0001
1953	7	-0.6115	1.293	0.961	-1.677 - -0.423	1.119 - 2.058	0.943 - 0.999	123.48	<0.0001
1954	7	-0.6034	1.289	0.959	-1.698 - -0.405	1.109 - 2.076	0.942 - 0.998	118.38	<0.0001
1955	7	-0.6185	1.301	0.960	-1.683 - -0.410	1.118 - 2.061	0.942 - 0.999	119.31	<0.0001
1956	8	-0.3766	1.128	0.961	-1.363 - -0.221	0.977 - 1.841	0.937 - 0.993	147.14	<0.0001
1957	8	-0.367	1.124	0.959	-1.336 - -0.205	0.970 - 1.826	0.935 - 0.992	142.10	<0.0001
1958	8	-0.3623	1.123	0.958	-1.337 - -0.192	0.963 - 1.828	0.933 - 0.992	136.07	<0.0001
1959	8	-0.38	1.137	0.958	-1.364 - -0.209	0.977 - 1.840	0.934 - 0.992	138.47	<0.0001
1960	9	-0.3407	1.110	0.969	-0.764 - -0.210	0.973 - 1.426	0.940 - 0.992	221.10	<0.0001
1961	9	-0.3397	1.111	0.968	-0.837 - -0.205	0.970 - 1.481	0.939 - 0.992	213.11	<0.0001
1962	9	-0.3607	1.127	0.968	-0.849 - -0.217	0.982 - 1.489	0.939 - 0.992	210.91	<0.0001
1963	10	-0.2855	1.076	0.971	-0.530 - -0.168	0.946 - 1.260	0.944 - 0.992	271.72	<0.0001
1964	10	-0.2807	1.076	0.971	-0.511 - -0.157	0.943 - 1.249	0.942 - 0.992	263.63	<0.0001
1965	10	-0.3166	1.100	0.972	-0.553 - -0.193	0.970 - 1.277	0.945 - 0.992	273.75	<0.0001
1966	10	-0.3482	1.122	0.972	-0.614 - -0.219	0.987 - 1.318	0.945 - 0.992	277.53	<0.0001
1967	10	-0.3717	1.138	0.973	-0.629 - -0.242	1.002 - 1.324	0.947 - 0.993	283.94	<0.0001
1968	10	-0.3925	1.152	0.973	-0.619 - -0.257	1.012 - 1.321	0.948 - 0.993	291.66	<0.0001
1969	10	-0.4224	1.171	0.974	-0.650 - -0.286	1.032 - 1.341	0.949 - 0.993	299.30	<0.0001
1970	10	-0.4289	1.175	0.974	-0.688 - -0.292	1.036 - 1.361	0.947 - 0.994	295.21	<0.0001
1971	10	-0.4478	1.186	0.974	-0.686 - -0.302	1.039 - 1.364	0.946 - 0.993	298.01	<0.0001
1972	11	-0.3745	1.133	0.974	-0.564 - -0.244	0.998 - 1.278	0.952 - 0.992	334.33	<0.0001
1973	11	-0.3895	1.142	0.974	-0.589 - -0.256	1.008 - 1.292	0.951 - 0.992	333.90	<0.0001
1974	11	-0.4028	1.150	0.973	-0.597 - -0.267	1.012 - 1.297	0.950 - 0.993	329.48	<0.0001
1975	11	-0.4095	1.155	0.973	-0.605 - -0.270	1.015 - 1.304	0.951 - 0.992	326.75	<0.0001
1976	11	-0.4384	1.173	0.973	-0.639 - -0.295	1.028 - 1.324	0.950 - 0.993	330.17	<0.0001
1977	11	-0.4671	1.191	0.974	-0.657 - -0.321	1.045 - 1.339	0.951 - 0.993	331.98	<0.0001
1978	11	-0.4913	1.205	0.974	-0.693 - -0.343	1.058 - 1.360	0.949 - 0.993	332.20	<0.0001
1979	11	-0.5155	1.218	0.974	-0.725 - -0.366	1.072 - 1.375	0.950 - 0.993	334.05	<0.0001
1980	11	-0.5295	1.225	0.974	-0.742 - -0.377	1.077 - 1.386	0.948 - 0.993	331.83	<0.0001
1981	11	-0.5419	1.230	0.973	-0.740 - -0.388	1.081 - 1.385	0.949 - 0.993	327.89	<0.0001
1982	11	-0.555	1.235	0.973	-0.759 - -0.400	1.087 - 1.393	0.947 - 0.994	324.70	<0.0001
1983	11	-0.5649	1.239	0.973	-0.774 - -0.406	1.086 - 1.398	0.945 - 0.994	319.99	<0.0001
1984	11	-0.5758	1.245	0.973	-0.789 - -0.419	1.096 - 1.407	0.943 - 0.994	318.71	<0.0001
1985	11	-0.5838	1.248	0.972	-0.795 - -0.423	1.096 - 1.412	0.944 - 0.994	317.46	<0.0001

modello: $\log_{10}L = \log_{10}(\alpha) + \beta \log_{10}D$					<i>Larix decidua</i>			cimale	
anno	n	$\alpha_{RMA}$	$\beta_{RMA}$	R <sup>2</sup>	$\alpha_{RMA}$ , 95% l.c.	$\beta_{RMA}$ , 95% l.c.	R <sup>2</sup> , 95%l.c.	F	p
1959	5	-0.146	0.915	0.992	-0.191 - -0.026	0.666 - 1.016	0.987 - 1.000	390.71	0.0003
1960	6	-0.106	0.837	0.982	-0.301 - -0.067	0.542 - 0.950	0.839 - 1.000	214.00	0.0001
1961	9	-0.068	0.722	0.950	-0.221 - -0.025	0.465 - 0.833	0.813 - 0.995	131.97	<0.0001
1962	9	-0.096	0.832	0.953	-0.167 - -0.062	0.544 - 0.959	0.665 - 0.996	142.64	<0.0001
1963	15	-0.051	0.708	0.906	-0.099 - -0.010	0.530 - 0.794	0.796 - 0.965	125.29	<0.0001
1964	20	-0.037	0.709	0.952	-0.064 - -0.011	0.605 - 0.786	0.921 - 0.976	357.84	<0.0001
1965	25	-0.133	1.054	0.920	-0.163 - -0.101	0.838 - 1.246	0.877 - 0.980	264.67	<0.0001
1966	26	-0.224	1.183	0.950	-0.255 - -0.192	0.980 - 1.304	0.912 - 0.978	454.84	<0.0001
1967	26	-0.234	1.079	0.956	-0.261 - -0.205	0.927 - 1.181	0.928 - 0.979	518.55	<0.0001
1968	26	-0.264	1.075	0.960	-0.292 - -0.233	0.940 - 1.166	0.938 - 0.979	574.75	<0.0001
1969	26	-0.297	1.055	0.969	-0.322 - -0.269	0.949 - 1.127	0.950 - 0.984	761.78	<0.0001
1970	30	-0.183	0.694	0.922	-0.227 - -0.152	0.606 - 0.849	0.876 - 0.969	329.48	<0.0001
1971	33	-0.230	0.856	0.950	-0.265 - -0.198	0.730 - 0.963	0.926 - 0.979	588.03	<0.0001
1972	33	-0.171	0.720	0.977	-0.189 - -0.156	0.687 - 0.762	0.955 - 0.990	1346.72	<0.0001
1973	43	-0.179	0.763	0.982	-0.194 - -0.165	0.721 - 0.803	0.973 - 0.991	2234.69	<0.0001
1974	50	-0.212	0.884	0.980	-0.227 - -0.197	0.836 - 0.929	0.970 - 0.990	2299.14	<0.0001
1975	50	-0.235	0.954	0.978	-0.251 - -0.218	0.909 - 0.996	0.967 - 0.987	2107.25	<0.0001
1976	58	-0.241	0.958	0.881	-0.265 - -0.217	0.789 - 1.170	0.815 - 0.969	415.08	<0.0001
1977	58	-0.291	1.058	0.931	-0.316 - -0.270	0.925 - 1.216	0.888 - 0.981	755.23	<0.0001
1978	58	-0.363	1.248	0.929	-0.398 - -0.334	1.094 - 1.417	0.886 - 0.980	730.28	<0.0001
1979	58	-0.428	1.361	0.920	-0.471 - -0.389	1.192 - 1.533	0.876 - 0.971	640.66	<0.0001
1980	58	-0.489	1.471	0.901	-0.541 - -0.440	1.278 - 1.669	0.852 - 0.958	507.19	<0.0001
1981	58	-0.527	1.503	0.903	-0.581 - -0.476	1.318 - 1.690	0.858 - 0.955	524.14	<0.0001
1982	58	-0.554	1.514	0.911	-0.608 - -0.501	1.328 - 1.694	0.870 - 0.960	574.66	<0.0001
1983	58	-0.577	1.525	0.923	-0.627 - -0.526	1.358 - 1.689	0.889 - 0.964	673.99	<0.0001
1984	55	-0.610	1.561	0.927	-0.663 - -0.557	1.395 - 1.723	0.897 - 0.961	668.94	<0.0001
1985	47	-0.627	1.578	0.927	-0.679 - -0.572	1.411 - 1.741	0.897 - 0.960	570.54	<0.0001

modello: $\log_{10}L = \log_{10}(\alpha) + \beta \log_{10}D$					<i>Picea abies</i> 06003			fusto intero	
anno	n	$\alpha_{RMA}$	$\beta_{RMA}$	R <sup>2</sup>	$\alpha_{RMA}$ , 95% l.c.	$\beta_{RMA}$ , 95% l.c.	R <sup>2</sup> , 95%l.c.	F	p
1890	5	-0.208	1.021	0.998	-0.548 - -0.189	0.985 - 1.298	0.997 - 1.000	1465.20	<0.0001
1891	5	-0.226	1.036	0.998	-0.543 - -0.209	0.993 - 1.292	0.996 - 1.000	1204.59	<0.0001
1892	5	-0.281	1.077	0.998	-0.549 - -0.263	1.035 - 1.291	0.997 - 1.000	1504.92	<0.0001
1893	5	-0.337	1.121	0.999	-0.554 - -0.318	1.084 - 1.291	0.998 - 1.000	2434.93	<0.0001
1894	5	-0.399	1.168	0.999	-0.560 - -0.382	1.141 - 1.293	0.998 - 1.000	5266.36	<0.0001
1895	5	-0.446	1.203	1.000	-0.567 - -0.431	1.182 - 1.295	0.999 - 1.000	10599.40	<0.0001
1896	5	-0.436	1.195	1.000	-0.559 - -0.418	1.170 - 1.290	0.999 - 1.000	7436.58	<0.0001
1897	5	-0.456	1.209	1.000	-0.555 - -0.438	1.186 - 1.285	0.999 - 1.000	9577.97	<0.0001
1898	5	-0.462	1.212	1.000	-0.571 - -0.440	1.185 - 1.294	0.999 - 1.000	7180.69	<0.0001
1899	5	-0.455	1.204	0.999	-0.561 - -0.426	1.171 - 1.286	0.999 - 1.000	4563.60	<0.0001
1900	5	-0.454	1.203	0.999	-0.565 - -0.420	1.166 - 1.286	0.998 - 1.000	3617.18	<0.0001
1901	5	-0.461	1.207	0.999	-0.580 - -0.421	1.163 - 1.301	0.998 - 1.000	2538.33	<0.0001
1902	5	-0.466	1.209	0.998	-0.611 - -0.418	1.160 - 1.321	0.997 - 1.000	1959.85	<0.0001
1903	5	-0.464	1.206	0.998	-0.630 - -0.407	1.151 - 1.335	0.996 - 1.000	1453.30	<0.0001
1904	5	-0.483	1.216	0.998	-0.668 - -0.421	1.157 - 1.359	0.995 - 1.000	1266.45	<0.0001
1905	5	-0.486	1.217	0.997	-0.692 - -0.416	1.152 - 1.373	0.994 - 1.000	1056.30	<0.0001
1906	5	-0.490	1.218	0.997	-0.709 - -0.414	1.149 - 1.383	0.994 - 1.000	945.13	<0.0001
1907	5	-0.497	1.221	0.997	-0.724 - -0.417	1.150 - 1.392	0.993 - 1.000	891.08	<0.0001
1908	5	-0.513	1.231	0.997	-0.739 - -0.432	1.153 - 1.401	0.993 - 1.000	908.48	<0.0001
1909	6	-0.332	1.087	0.998	-0.708 - -0.312	1.060 - 1.371	0.995 - 1.000	2124.15	<0.0001
1910	6	-0.377	1.119	0.998	-0.729 - -0.358	1.086 - 1.380	0.995 - 1.000	1842.73	<0.0001

1911	6	-0.452	1.172	0.998	-0.752	- -0.436	1.141 - 1.393	0.994 - 1.000	2388.67	<0.0001
1912	6	-0.464	1.179	0.998	-0.774	- -0.444	1.143 - 1.404	0.994 - 1.000	2074.58	<0.0001
1913	6	-0.502	1.205	0.998	-0.796	- -0.479	1.169 - 1.421	0.993 - 1.000	2228.75	<0.0001
1914	6	-0.526	1.220	0.998	-0.824	- -0.498	1.181 - 1.436	0.992 - 1.000	2027.44	<0.0001
1915	6	-0.538	1.226	0.998	-0.844	- -0.507	1.184 - 1.447	0.991 - 1.000	1751.70	<0.0001
1916	6	-0.561	1.239	0.998	-0.875	- -0.527	1.195 - 1.464	0.990 - 1.000	1700.44	<0.0001
1917	6	-0.592	1.258	0.998	-0.901	- -0.557	1.217 - 1.477	0.988 - 1.000	1734.31	<0.0001
1918	6	-0.589	1.253	0.997	-0.909	- -0.549	1.205 - 1.478	0.987 - 1.000	1492.36	<0.0001
1919	6	-0.596	1.255	0.997	-0.909	- -0.554	1.205 - 1.479	0.986 - 1.000	1422.23	<0.0001
1920	6	-0.603	1.258	0.997	-0.919	- -0.558	1.207 - 1.478	0.987 - 1.000	1374.76	<0.0001
1921	6	-0.608	1.260	0.997	-0.918	- -0.561	1.207 - 1.478	0.987 - 1.000	1328.55	<0.0001
1922	6	-0.609	1.259	0.997	-0.930	- -0.558	1.207 - 1.483	0.987 - 1.000	1222.01	<0.0001
1923	6	-0.626	1.268	0.997	-0.940	- -0.572	1.213 - 1.484	0.987 - 1.000	1211.68	<0.0001
1924	6	-0.621	1.263	0.996	-0.939	- -0.563	1.204 - 1.482	0.986 - 1.000	1071.95	<0.0001
1925	6	-0.628	1.265	0.996	-0.955	- -0.564	1.204 - 1.494	0.987 - 1.000	982.91	<0.0001
1926	6	-0.635	1.270	0.996	-0.964	- -0.573	1.208 - 1.499	0.987 - 1.000	949.85	<0.0001
1927	6	-0.647	1.275	0.996	-0.981	- -0.578	1.211 - 1.503	0.986 - 1.000	918.25	<0.0001
1928	6	-0.654	1.278	0.995	-0.997	- -0.584	1.212 - 1.516	0.986 - 1.000	855.30	<0.0001
1929	6	-0.660	1.280	0.995	-1.014	- -0.581	1.209 - 1.520	0.985 - 1.000	780.41	<0.0001
1930	6	-0.655	1.275	0.994	-1.015	- -0.576	1.202 - 1.517	0.983 - 1.000	707.78	<0.0001
1931	6	-0.657	1.274	0.994	-1.027	- -0.573	1.198 - 1.522	0.982 - 1.000	650.99	<0.0001
1932	6	-0.663	1.278	0.994	-1.031	- -0.577	1.200 - 1.524	0.981 - 1.000	638.73	<0.0001
1933	6	-0.670	1.282	0.994	-1.035	- -0.583	1.204 - 1.529	0.980 - 1.000	637.08	<0.0001
1934	6	-0.686	1.291	0.994	-1.037	- -0.592	1.214 - 1.531	0.975 - 1.000	656.48	<0.0001
1935	6	-0.700	1.299	0.994	-1.050	- -0.604	1.221 - 1.539	0.978 - 1.000	657.12	<0.0001
1936	6	-0.709	1.304	0.994	-1.065	- -0.613	1.225 - 1.547	0.978 - 1.000	644.56	<0.0001
1937	6	-0.719	1.310	0.994	-1.076	- -0.619	1.230 - 1.550	0.977 - 1.000	638.96	<0.0001
1938	7	-0.402	1.085	0.996	-0.962	- -0.372	1.052 - 1.471	0.988 - 1.000	1204.87	<0.0001
1939	7	-0.502	1.155	0.997	-0.976	- -0.477	1.119 - 1.480	0.988 - 1.000	1446.64	<0.0001
1940	7	-0.553	1.190	0.997	-0.984	- -0.527	1.153 - 1.483	0.987 - 1.000	1514.22	<0.0001
1941	7	-0.583	1.209	0.997	-1.002	- -0.551	1.168 - 1.494	0.987 - 1.000	1432.93	<0.0001
1942	7	-0.602	1.221	0.996	-1.019	- -0.566	1.177 - 1.505	0.987 - 1.000	1370.23	<0.0001
1943	7	-0.614	1.228	0.996	-1.039	- -0.574	1.183 - 1.512	0.986 - 1.000	1309.51	<0.0001
1944	7	-0.603	1.220	0.996	-1.023	- -0.559	1.172 - 1.503	0.986 - 1.000	1115.96	<0.0001
1945	8	-0.266	0.978	0.982	-0.847	- -0.171	0.908 - 1.393	0.975 - 0.999	318.76	<0.0001
1946	8	-0.303	1.008	0.982	-0.863	- -0.203	0.930 - 1.397	0.976 - 0.999	320.45	<0.0001
1947	8	-0.363	1.053	0.986	-0.880	- -0.271	0.975 - 1.408	0.982 - 0.998	422.40	<0.0001
1948	8	-0.406	1.085	0.989	-0.874	- -0.325	1.012 - 1.402	0.985 - 0.998	558.29	<0.0001
1949	8	-0.444	1.112	0.992	-0.870	- -0.373	1.046 - 1.398	0.987 - 0.998	702.82	<0.0001
1950	9	-0.424	1.095	0.997	-0.709	- -0.400	1.062 - 1.281	0.990 - 0.999	2113.98	<0.0001
1951	9	-0.442	1.108	0.996	-0.628	- -0.415	1.068 - 1.241	0.990 - 0.999	1877.90	<0.0001
1952	9	-0.479	1.132	0.996	-0.783	- -0.446	1.090 - 1.336	0.991 - 0.999	1875.46	<0.0001
1953	9	-0.445	1.106	0.992	-0.781	- -0.370	1.039 - 1.330	0.988 - 0.998	885.28	<0.0001
1954	9	-0.445	1.106	0.992	-0.781	- -0.370	1.039 - 1.330	0.988 - 0.998	824.24	<0.0001
1955	10	-0.891	1.441	0.977	-1.067	- -0.490	1.127 - 1.542	0.964 - 0.999	343.09	<0.0001
1956	10	-0.970	1.480	0.979	-1.153	- -0.625	1.212 - 1.597	0.967 - 0.999	365.95	<0.0001
1957	10	-1.003	1.493	0.981	-1.188	- -0.693	1.256 - 1.612	0.972 - 0.999	419.10	<0.0001
1958	10	-1.055	1.521	0.982	-1.248	- -0.749	1.290 - 1.644	0.973 - 0.999	429.41	<0.0001
1959	10	-1.054	1.513	0.986	-1.218	- -0.788	1.315 - 1.619	0.979 - 0.999	578.57	<0.0001
1960	10	-1.081	1.525	0.989	-1.233	- -0.828	1.341 - 1.622	0.983 - 0.999	712.24	<0.0001



1961	10	-1.104	1.534	0.992	-1.229	-0.866	1.363	-1.616	0.987	-0.999	963.80	<0.0001
1962	10	-1.105	1.529	0.993	-1.217	-0.892	1.377	-1.603	0.989	-0.999	1188.84	<0.0001
1963	10	-1.157	1.561	0.991	-1.291	-0.922	1.395	-1.650	0.986	-0.999	927.65	<0.0001
1964	10	-1.218	1.598	0.989	-1.379	-0.951	1.411	-1.703	0.982	-0.999	743.28	<0.0001
1965	10	-1.268	1.629	0.987	-1.452	-0.968	1.420	-1.752	0.979	-0.999	607.00	<0.0001
1966	10	-1.312	1.654	0.985	-1.512	-0.995	1.434	-1.786	0.975	-0.999	531.47	<0.0001
1967	10	-1.373	1.691	0.982	-1.609	-1.027	1.452	-1.848	0.970	-0.999	437.26	<0.0001
1968	10	-1.413	1.713	0.981	-1.656	-1.057	1.470	-1.874	0.968	-0.999	415.64	<0.0001
1969	10	-1.469	1.745	0.980	-1.730	-1.097	1.490	-1.919	0.966	-0.999	392.48	<0.0001
1970	10	-1.468	1.741	0.983	-1.703	-1.121	1.504	-1.897	0.971	-0.999	467.03	<0.0001
1971	10	-1.480	1.744	0.985	-1.700	-1.150	1.520	-1.891	0.974	-0.999	531.62	<0.0001
1972	10	-1.512	1.761	0.985	-1.739	-1.176	1.535	-1.911	0.974	-0.999	525.15	<0.0001
1973	10	-1.570	1.795	0.983	-1.815	-1.213	1.555	-1.959	0.971	-0.999	474.24	<0.0001
1974	10	-1.621	1.825	0.983	-1.873	-1.250	1.576	-1.992	0.970	-0.999	461.14	<0.0001
1975	10	-1.678	1.858	0.982	-1.938	-1.293	1.600	-2.034	0.968	-0.999	443.71	<0.0001
1976	10	-1.708	1.875	0.982	-1.975	-1.323	1.618	-2.053	0.969	-0.999	445.92	<0.0001
1977	10	-1.712	1.875	0.984	-1.959	-1.343	1.630	-2.041	0.972	-0.999	498.16	<0.0001
1978	10	-1.707	1.869	0.987	-1.939	-1.366	1.641	-2.022	0.976	-0.999	588.44	<0.0001
1979	10	-1.702	1.862	0.988	-1.913	-1.384	1.651	-2.002	0.979	-0.999	678.25	<0.0001
1980	10	-1.697	1.856	0.989	-1.898	-1.394	1.656	-1.988	0.981	-0.999	745.32	<0.0001
1981	10	-1.701	1.856	0.990	-1.892	-1.413	1.665	-1.983	0.982	-0.999	820.43	<0.0001
1982	10	-1.757	1.886	0.989	-1.972	-1.465	1.693	-2.026	0.981	-0.999	848.93	<0.0001
1983	10	-1.757	1.886	0.989	-1.972	-1.465	1.693	-2.026	0.981	-0.999	736.06	<0.0001
1984	10	-1.783	1.900	0.988	-2.019	-1.488	1.706	-2.055	0.979	-0.999	679.28	<0.0001
1985	11	-0.665	1.134	0.870	-1.730	-0.352	0.921	-1.869	0.817	-0.999	60.28	<0.0001
1986	12	-0.332	0.932	0.867	-1.371	-0.125	0.772	-1.647	0.797	-0.998	65.31	<0.0001
1987	14	-0.223	0.865	0.918	-0.557	-0.114	0.754	-1.098	0.845	-0.980	133.96	<0.0001
1988	16	-0.289	0.916	0.952	-0.442	-0.217	0.821	-1.020	0.900	-0.986	276.62	<0.0001
1989	17	-0.221	0.884	0.950	-0.358	-0.159	0.781	-0.983	0.904	-0.985	283.06	<0.0001
1990	20	-0.351	0.977	0.969	-0.444	-0.265	0.882	-1.051	0.945	-0.988	554.18	<0.0001
1991	22	-0.279	0.919	0.969	-0.366	-0.221	0.832	-0.999	0.951	-0.986	634.20	<0.0001
1992	26	-0.177	0.820	0.948	-0.284	-0.107	0.728	-0.922	0.927	-0.971	440.61	<0.0001
1993	29	-0.271	0.890	0.960	-0.350	-0.206	0.810	-0.961	0.940	-0.976	644.25	<0.0001
1994	30	-0.215	0.859	0.965	-0.276	-0.174	0.778	-0.923	0.950	-0.979	761.46	<0.0001
1995	37	-0.182	0.837	0.972	-0.222	-0.149	0.767	-0.888	0.961	-0.982	1197.16	<0.0001
1996	46	-0.460	1.110	0.955	-0.528	-0.390	1.026	-1.194	0.926	-0.980	931.30	<0.0001
1997	46	-0.591	1.206	0.956	-0.660	-0.520	1.129	-1.290	0.927	-0.977	953.99	<0.0001

modello: $\log_{10}L = \log_{10}(\alpha) + \beta \log_{10}D$					<i>Picea abies</i> 06003			fusto				
anno	n	$\alpha_{RMA}$	$\beta_{RMA}$	$R^2$	$\alpha_{RMA}, 95\% \text{ l.c.}$	$\beta_{RMA}, 95\% \text{ l.c.}$	$R^2, 95\% \text{ l.c.}$	F	p			
1898	5	-1.120	1.495	0.994	-1.472	-1.030	1.428	-1.713	0.987	-0.999	7180.69	<0.0001
1899	5	-0.455	1.204	0.999	-0.573	-0.426	1.171	-1.293	0.999	-1.000	4563.60	<0.0001
1900	5	-0.454	1.203	0.999	-0.565	-0.420	1.166	-1.286	0.998	-1.000	3617.18	<0.0001
1901	5	-0.461	1.207	0.999	-0.586	-0.421	1.163	-1.303	0.998	-1.000	2538.33	<0.0001
1902	5	-0.466	1.209	0.998	-0.611	-0.418	1.160	-1.321	0.997	-1.000	1959.85	<0.0001
1903	5	-0.464	1.206	0.998	-0.630	-0.407	1.150	-1.335	0.996	-1.000	1453.30	<0.0001
1904	5	-0.483	1.216	0.998	-0.672	-0.421	1.157	-1.360	0.995	-1.000	1266.45	<0.0001
1905	5	-0.486	1.217	0.997	-0.688	-0.416	1.152	-1.371	0.994	-1.000	1056.30	<0.0001
1906	5	-0.490	1.218	0.997	-0.709	-0.414	1.150	-1.383	0.994	-1.000	945.13	<0.0001
1907	5	-0.497	1.221	0.997	-0.720	-0.417	1.150	-1.390	0.993	-1.000	891.08	<0.0001
1908	5	-0.513	1.231	0.997	-0.743	-0.436	1.160	-1.403	0.993	-1.000	908.48	<0.0001
1909	5	-0.544	1.250	0.997	-0.774	-0.465	1.175	-1.422	0.993	-1.000	964.72	<0.0001
1910	5	-0.574	1.269	0.997	-0.812	-0.498	1.198	-1.446	0.993	-1.000	1014.45	<0.0001

1911	5	-0.605	1.288	0.997	-0.856	-0.530	1.218	-1.474	0.991	-1.000	976.53	<0.0001
1912	5	-0.617	1.294	0.997	-0.881	-0.540	1.222	-1.489	0.990	-1.000	923.59	<0.0001
1913	5	-0.639	1.307	0.997	-0.914	-0.561	1.236	-1.510	0.989	-1.000	888.89	<0.0001
1914	5	-0.663	1.322	0.996	-0.951	-0.586	1.252	-1.534	0.987	-1.000	831.85	<0.0001
1915	5	-0.682	1.331	0.996	-0.993	-0.585	1.260	-1.560	0.985	-1.000	742.37	<0.0001
1916	5	-0.698	1.340	0.996	-1.033	-0.598	1.264	-1.583	0.984	-1.000	672.03	<0.0001
1917	5	-0.718	1.350	0.995	-1.075	-0.599	1.272	-1.608	0.982	-1.000	613.24	<0.0001
1918	5	-0.726	1.352	0.995	-1.094	-0.593	1.265	-1.618	0.981	-1.000	583.83	<0.0001
1919	5	-0.733	1.353	0.995	-1.109	-0.591	1.261	-1.624	0.979	-1.000	563.82	<0.0001
1920	5	-0.739	1.355	0.995	-1.118	-0.586	1.256	-1.627	0.978	-1.000	557.77	<0.0001
1921	5	-0.744	1.356	0.995	-1.131	-0.593	1.258	-1.632	0.977	-1.000	579.46	<0.0001
1922	5	-0.752	1.360	0.995	-1.139	-0.603	1.264	-1.635	0.977	-1.000	553.83	<0.0001
1923	5	-0.767	1.368	0.995	-1.160	-0.606	1.264	-1.646	0.975	-1.000	546.97	<0.0001
1924	5	-0.774	1.370	0.994	-1.172	-0.605	1.261	-1.651	0.973	-1.000	539.30	<0.0001
1925	6	-0.628	1.265	0.996	-0.940	-0.562	1.201	-1.480	0.987	-1.000	982.91	<0.0001
1926	6	-0.635	1.270	0.996	-0.964	-0.569	1.207	-1.494	0.987	-1.000	949.85	<0.0001
1927	6	-0.647	1.275	0.996	-0.981	-0.578	1.211	-1.503	0.986	-1.000	918.25	<0.0001
1928	6	-0.654	1.278	0.995	-0.996	-0.584	1.212	-1.509	0.984	-1.000	855.30	<0.0001
1929	6	-0.660	1.280	0.995	-1.016	-0.585	1.209	-1.526	0.982	-1.000	780.41	<0.0001
1930	6	-0.655	1.275	0.994	-1.018	-0.571	1.201	-1.526	0.983	-1.000	707.78	<0.0001
1931	6	-0.657	1.274	0.994	-1.031	-0.573	1.198	-1.531	0.979	-1.000	650.99	<0.0001
1932	6	-0.663	1.278	0.994	-1.060	-0.577	1.200	-1.547	0.981	-1.000	638.73	<0.0001
1933	6	-0.670	1.282	0.994	-1.033	-0.578	1.203	-1.524	0.980	-1.000	637.08	<0.0001
1934	6	-0.686	1.291	0.994	-1.036	-0.594	1.214	-1.531	0.979	-1.000	656.48	<0.0001
1935	6	-0.700	1.299	0.994	-1.053	-0.604	1.221	-1.539	0.978	-1.000	657.12	<0.0001
1936	6	-0.709	1.304	0.994	-1.062	-0.610	1.225	-1.546	0.971	-1.000	644.56	<0.0001
1937	6	-0.719	1.310	0.994	-1.074	-0.623	1.231	-1.550	0.977	-1.000	638.96	<0.0001
1938	6	-0.731	1.317	0.994	-1.075	-0.632	1.238	-1.549	0.977	-1.000	651.09	<0.0001
1939	6	-0.749	1.328	0.994	-1.082	-0.653	1.250	-1.552	0.976	-1.000	667.60	<0.0001
1940	6	-0.767	1.338	0.994	-1.096	-0.667	1.261	-1.562	0.971	-1.000	666.82	<0.0001
1941	6	-0.789	1.351	0.994	-1.136	-0.689	1.273	-1.581	0.970	-1.000	668.10	<0.0001
1942	6	-0.800	1.357	0.994	-1.139	-0.699	1.275	-1.584	0.969	-1.000	660.61	<0.0001
1943	6	-0.808	1.359	0.994	-1.163	-0.705	1.280	-1.599	0.972	-1.000	623.52	<0.0001
1944	6	-0.808	1.359	0.994	-1.163	-0.705	1.280	-1.599	0.972	-1.000	614.36	<0.0001
1945	6	-0.802	1.355	0.993	-1.153	-0.694	1.270	-1.595	0.968	-1.000	594.05	<0.0001
1946	6	-0.802	1.355	0.993	-1.154	-0.693	1.270	-1.594	0.970	-1.000	588.82	<0.0001
1947	6	-0.803	1.355	0.993	-1.168	-0.691	1.270	-1.599	0.969	-1.000	578.03	<0.0001
1948	6	-0.802	1.354	0.993	-1.164	-0.696	1.274	-1.596	0.968	-1.000	562.98	<0.0001
1949	6	-0.804	1.355	0.993	-1.176	-0.686	1.266	-1.606	0.966	-1.000	540.07	<0.0001
1950	6	-0.809	1.357	0.993	-1.181	-0.692	1.273	-1.608	0.964	-1.000	538.57	<0.0001
1951	6	-0.814	1.360	0.993	-1.190	-0.670	1.273	-1.613	0.957	-1.000	533.16	<0.0001
1952	6	-0.823	1.364	0.993	-1.199	-0.702	1.277	-1.617	0.962	-1.000	537.57	<0.0001
1953	6	-0.837	1.372	0.993	-1.185	-0.692	1.279	-1.605	0.953	-1.000	530.81	<0.0001
1954	6	-0.842	1.374	0.992	-1.197	-0.691	1.279	-1.610	0.958	-1.000	519.30	<0.0001
1955	6	-0.871	1.389	0.992	-1.265	-0.763	1.309	-1.653	0.958	-1.000	517.22	<0.0001
1956	6	-0.916	1.415	0.993	-1.274	-0.772	1.305	-1.656	0.955	-1.000	530.56	<0.0001
1957	6	-0.951	1.435	0.992	-1.309	-0.815	1.331	-1.675	0.955	-1.000	527.58	<0.0001
1958	6	-1.000	1.462	0.993	-1.356	-0.865	1.361	-1.698	0.954	-1.000	542.70	<0.0001
1959	6	-1.031	1.479	0.993	-1.391	-0.897	1.379	-1.721	0.953	-1.000	540.74	<0.0001
1960	6	-1.063	1.496	0.993	-1.458	-0.932	1.398	-1.758	0.960	-1.000	542.78	<0.0001

1961	6	-1.092	1.512	0.993	-1.485 - -0.962	1.415 - 1.772	0.953 - 1.000	551.03	<0.0001
1962	6	-1.117	1.526	0.993	-1.514 - -0.990	1.432 - 1.787	0.952 - 1.000	543.07	<0.0001
1963	6	-1.145	1.541	0.993	-1.509 - -1.023	1.452 - 1.782	0.952 - 1.000	535.30	<0.0001
1964	6	-1.176	1.558	0.993	-1.575 - -1.055	1.471 - 1.821	0.950 - 1.000	532.25	<0.0001
1965	6	-1.201	1.571	0.993	-1.602 - -1.079	1.482 - 1.835	0.951 - 1.000	536.83	<0.0001
1966	7	-1.052	1.473	0.995	-1.385 - -0.973	1.412 - 1.692	0.975 - 1.000	1008.16	<0.0001
1967	7	-1.078	1.487	0.995	-1.413 - -0.997	1.425 - 1.708	0.975 - 1.000	1008.29	<0.0001
1968	7	-1.103	1.501	0.995	-1.444 - -1.022	1.439 - 1.725	0.975 - 1.000	1021.56	<0.0001
1969	7	-1.140	1.521	0.995	-1.478 - -1.062	1.461 - 1.741	0.973 - 1.000	1053.07	<0.0001
1970	7	-1.166	1.535	0.995	-1.493 - -1.086	1.474 - 1.750	0.977 - 1.000	1057.71	<0.0001
1971	7	-1.193	1.550	0.995	-1.524 - -1.115	1.490 - 1.766	0.973 - 1.000	1077.22	<0.0001
1972	7	-1.218	1.564	0.995	-1.553 - -1.139	1.502 - 1.781	0.979 - 1.000	1075.44	<0.0001
1973	7	-1.249	1.581	0.996	-1.581 - -1.170	1.519 - 1.796	0.974 - 1.000	1109.38	<0.0001
1974	7	-1.280	1.598	0.996	-1.601 - -1.202	1.539 - 1.809	0.974 - 1.000	1150.80	<0.0001
1975	7	-1.313	1.617	0.996	-1.635 - -1.232	1.556 - 1.825	0.974 - 1.000	1208.00	<0.0001
1976	7	-1.340	1.632	0.996	-1.660 - -1.263	1.573 - 1.839	0.974 - 1.000	1231.89	<0.0001
1977	7	-1.360	1.643	0.996	-1.681 - -1.280	1.582 - 1.852	0.973 - 1.000	1212.00	<0.0001
1978	7	-1.386	1.657	0.996	-1.711 - -1.301	1.593 - 1.869	0.973 - 1.000	1213.41	<0.0001
1979	7	-1.408	1.668	0.996	-1.739 - -1.324	1.606 - 1.884	0.973 - 1.000	1183.85	<0.0001
1980	7	-1.419	1.674	0.996	-1.755 - -1.334	1.610 - 1.892	0.973 - 1.000	1162.39	<0.0001
1981	7	-1.441	1.686	0.996	-1.772 - -1.354	1.622 - 1.901	0.975 - 1.000	1197.98	<0.0001
1982	7	-1.463	1.697	0.996	-1.784 - -1.379	1.635 - 1.903	0.974 - 1.000	1222.83	<0.0001
1983	7	-1.498	1.717	0.996	-1.820 - -1.416	1.656 - 1.926	0.975 - 1.000	1278.73	<0.0001
1984	7	-1.520	1.729	0.996	-1.831 - -1.439	1.668 - 1.931	0.974 - 1.000	1318.31	<0.0001
1985	7	-1.466	1.696	0.996	-1.805 - -1.377	1.631 - 1.915	0.974 - 1.000	1149.25	<0.0001
1986	7	-1.338	1.622	0.994	-1.717 - -1.235	1.550 - 1.866	0.973 - 1.000	880.80	<0.0001
1987	8	-1.221	1.552	0.996	-1.562 - -1.140	1.490 - 1.767	0.988 - 0.999	1338.40	<0.0001
1988	8	-1.208	1.545	0.995	-1.546 - -1.126	1.482 - 1.756	0.989 - 0.999	1302.14	<0.0001
1989	8	-1.120	1.495	0.994	-1.480 - -1.029	1.425 - 1.718	0.987 - 0.999	1079.25	<0.0001
1990	8	-1.137	1.505	0.995	-1.506 - -1.043	1.434 - 1.734	0.988 - 0.999	1101.76	<0.0001
1991	9	-1.036	1.443	0.994	-1.295 - -0.937	1.367 - 1.605	0.988 - 0.999	1181.46	<0.0001
1992	9	-1.025	1.436	0.994	-1.297 - -0.918	1.356 - 1.602	0.988 - 0.998	1090.51	<0.0001
1993	9	-1.035	1.441	0.994	-1.304 - -0.926	1.357 - 1.606	0.987 - 0.998	1075.91	<0.0001
1994	9	-0.994	1.416	0.993	-1.251 - -0.885	1.333 - 1.574	0.986 - 0.998	973.59	<0.0001
1995	9	-0.964	1.398	0.992	-1.243 - -0.846	1.309 - 1.570	0.985 - 0.998	903.01	<0.0001
1996	9	-0.967	1.399	0.992	-1.235 - -0.852	1.314 - 1.562	0.985 - 0.998	900.18	<0.0001
1997	9	-0.966	1.397	0.992	-1.238 - -0.850	1.310 - 1.563	0.985 - 0.998	895.60	<0.0001

modello: $\log_{10}L = \log_{10}(\alpha) + \beta \log_{10}D$					<i>Picea abies</i> 06003			cimale		
anno	n	$\alpha_{\text{RMA}}$	$\beta_{\text{RMA}}$	$R^2$	$\alpha_{\text{RMA}}$ , 95% l.c.	$\beta_{\text{RMA}}$ , 95% l.c.	$R^2$ , 95%l.c.	F	p	
1986	5	-0.163	0.483	0.896	-1.842 - -0.118	0.315 - 2.134	0.709 - 1.000	25.87	0.0147	
1987	6	-0.171	0.518	0.926	-0.240 - -0.078	0.366 - 0.826	0.859 - 0.999	49.85	0.0021	
1988	8	-0.251	0.669	0.932	-0.318 - -0.162	0.508 - 0.961	0.881 - 0.989	82.77	<0.0001	
1989	9	-0.136	0.596	0.954	-0.164 - -0.079	0.491 - 0.784	0.898 - 0.995	146.77	<0.0001	
1990	12	-0.330	0.884	0.919	-0.417 - -0.209	0.655 - 1.125	0.882 - 0.985	114.05	<0.0001	
1991	13	-0.243	0.748	0.956	-0.306 - -0.203	0.664 - 0.912	0.923 - 0.989	237.11	<0.0001	
1992	17	-0.190	0.625	0.943	-0.244 - -0.148	0.557 - 0.718	0.886 - 0.981	248.88	<0.0001	
1993	20	-0.283	0.767	0.927	-0.346 - -0.223	0.650 - 0.875	0.874 - 0.973	228.45	<0.0001	
1994	21	-0.199	0.679	0.966	-0.227 - -0.172	0.633 - 0.717	0.924 - 0.988	532.61	<0.0001	
1995	28	-0.188	0.709	0.969	-0.214 - -0.163	0.654 - 0.765	0.949 - 0.985	804.10	<0.0001	
1996	37	-0.447	1.226	0.898	-0.507 - -0.385	1.057 - 1.414	0.860 - 0.949	308.44	<0.0001	
1997	37	-0.611	1.409	0.898	-0.675 - -0.538	1.226 - 1.642	0.862 - 0.942	308.32	<0.0001	

modello: $\log_{10}L = \log_{10}(\alpha) + \beta \log_{10}D$					<i>Picea abies</i> 07001			fusto intero	
anno	n	$\alpha_{RMA}$	$\beta_{RMA}$	R <sup>2</sup>	$\alpha_{RMA}$ , 95% l.c.	$\beta_{RMA}$ , 95% l.c.	R <sup>2</sup> , 95%l.c.	F	p
1895	5	-0.334	0.947	0.998	-0.611 - -0.317	0.919 - 1.143	0.985 - 1.000	1971.47	<0.0001
1896	5	-0.326	0.944	0.998	-0.594 - -0.308	0.909 - 1.140	0.985 - 1.000	1435.01	<0.0001
1897	5	-0.374	0.980	0.998	-0.598 - -0.360	0.946 - 1.139	0.985 - 1.000	1827.56	<0.0001
1898	5	-0.469	1.047	0.999	-0.612 - -0.458	1.025 - 1.151	0.985 - 1.000	4167.05	<0.0001
1899	5	-0.522	1.085	1.000	-0.620 - -0.510	1.072 - 1.158	0.985 - 1.000	6206.95	<0.0001
1900	5	-0.565	1.116	1.000	-0.622 - -0.510	1.075 - 1.160	0.985 - 1.000	6138.32	<0.0001
1901	5	-0.624	1.156	0.999	-0.644 - -0.509	1.077 - 1.183	0.985 - 1.000	3478.33	<0.0001
1902	5	-0.672	1.190	0.998	-0.704 - -0.505	1.076 - 1.228	0.985 - 1.000	1917.31	<0.0001
1903	5	-0.735	1.233	0.997	-0.789 - -0.503	1.076 - 1.293	0.984 - 1.000	930.45	<0.0001
1904	5	-0.774	1.260	0.996	-0.847 - -0.505	1.078 - 1.334	0.990 - 1.000	688.36	<0.0001
1905	5	-0.792	1.272	0.995	-0.877 - -0.513	1.084 - 1.358	0.983 - 1.000	573.41	<0.0001
1906	5	-0.806	1.282	0.994	-0.902 - -0.549	1.104 - 1.367	0.982 - 1.000	509.50	<0.0001
1907	5	-0.809	1.284	0.994	-0.910 - -0.512	1.085 - 1.374	0.981 - 1.000	486.02	<0.0001
1908	5	-0.811	1.286	0.994	-0.916 - -0.513	1.087 - 1.384	0.980 - 1.000	474.33	<0.0001
1909	5	-0.816	1.289	0.994	-0.925 - -0.557	1.116 - 1.390	0.980 - 1.000	464.25	0.0002
1910	5	-0.821	1.293	0.993	-0.937 - -0.514	1.090 - 1.399	0.987 - 1.000	438.15	0.0002
1911	5	-0.835	1.303	0.993	-0.958 - -0.515	1.091 - 1.410	0.978 - 1.000	416.29	0.0000
1912	5	-0.825	1.297	0.993	-0.942 - -0.514	1.091 - 1.400	0.978 - 1.000	453.20	0.0002
1913	5	-0.815	1.291	0.994	-0.931 - -0.557	1.123 - 1.392	0.987 - 1.000	459.04	0.0002
1914	5	-0.832	1.302	0.993	-0.961 - -0.515	1.094 - 1.414	0.976 - 1.000	406.02	0.0003
1915	5	-0.840	1.308	0.993	-0.970 - -0.516	1.096 - 1.418	0.976 - 1.000	412.20	0.0003
1916	5	-0.851	1.314	0.993	-0.980 - -0.566	1.132 - 1.423	0.975 - 1.000	424.25	0.0003
1917	5	-0.865	1.323	0.993	-0.995 - -0.526	1.103 - 1.431	0.974 - 1.000	426.33	0.0002
1918	5	-0.865	1.324	0.993	-0.991 - -0.529	1.105 - 1.426	0.973 - 1.000	445.87	0.0002
1919	5	-0.868	1.326	0.993	-0.992 - -0.535	1.110 - 1.426	0.971 - 1.000	457.25	0.0002
1920	5	-0.868	1.325	0.994	-0.992 - -0.538	1.113 - 1.426	0.982 - 1.000	459.62	0.0002
1921	5	-0.859	1.320	0.994	-0.983 - -0.536	1.112 - 1.419	0.969 - 1.000	478.45	0.0002
1922	5	-0.851	1.316	0.994	-0.974 - -0.530	1.109 - 1.414	0.969 - 1.000	489.02	0.0002
1923	5	-0.847	1.314	0.994	-0.970 - -0.573	1.145 - 1.413	0.969 - 1.000	485.14	0.0002
1924	5	-0.838	1.310	0.994	-0.963 - -0.517	1.104 - 1.408	0.968 - 1.000	484.61	0.0002
1925	6	-0.046	0.771	0.979	-0.945 - 0.011	0.717 - 1.391	0.965 - 1.000	182.06	0.0002
1926	6	-0.153	0.847	0.981	-0.939 - -0.101	0.787 - 1.389	0.969 - 1.000	204.32	0.0001
1927	6	-0.232	0.903	0.983	-0.937 - -0.182	0.841 - 1.388	0.970 - 1.000	229.49	0.0001
1928	6	-0.287	0.942	0.984	-0.939 - -0.237	0.877 - 1.390	0.972 - 1.000	248.50	<0.0001
1929	6	-0.333	0.975	0.985	-0.942 - -0.280	0.910 - 1.392	0.974 - 1.000	269.74	<0.0001
1930	6	-0.374	1.003	0.987	-0.943 - -0.317	0.936 - 1.393	0.976 - 1.000	293.13	<0.0001
1931	6	-0.391	1.016	0.987	-0.944 - -0.331	0.947 - 1.394	0.976 - 1.000	295.04	<0.0001
1932	6	-0.428	1.042	0.988	-0.955 - -0.367	0.973 - 1.401	0.978 - 1.000	320.61	<0.0001
1933	6	-0.456	1.061	0.988	-0.965 - -0.393	0.992 - 1.406	0.978 - 1.000	337.25	<0.0001
1934	6	-0.496	1.088	0.989	-0.979 - -0.433	1.021 - 1.418	0.980 - 1.000	374.22	<0.0001
1935	6	-0.516	1.102	0.990	-0.984 - -0.445	1.031 - 1.420	0.980 - 1.000	391.70	<0.0001
1936	6	-0.521	1.107	0.990	-0.988 - -0.448	1.034 - 1.423	0.980 - 1.000	384.59	<0.0001
1937	6	-0.552	1.128	0.991	-1.003 - -0.485	1.065 - 1.432	0.980 - 1.000	418.97	<0.0001
1938	6	-0.571	1.141	0.991	-1.012 - -0.499	1.074 - 1.439	0.979 - 1.000	432.20	<0.0001
1939	6	-0.592	1.154	0.991	-1.037 - -0.516	1.086 - 1.455	0.978 - 1.000	431.95	<0.0001
1940	6	-0.636	1.183	0.991	-1.074 - -0.556	1.114 - 1.476	0.977 - 1.000	439.41	<0.0001

1941	6	-0.636	1.183	0.991	-1.074 - -0.556	1.114 - 1.476	0.977 - 1.000	452.39	<0.0001
1942	6	-0.641	1.187	0.991	-1.086 - -0.558	1.116 - 1.484	0.976 - 1.000	434.15	<0.0001
1943	7	-0.350	0.987	0.993	-0.982 - -0.308	0.946 - 1.409	0.983 - 1.000	722.43	<0.0001
1944	7	-0.456	1.062	0.995	-0.991 - -0.423	1.021 - 1.417	0.982 - 1.000	1001.32	<0.0001
1945	7	-0.486	1.084	0.995	-0.995 - -0.453	1.038 - 1.420	0.982 - 1.000	1013.84	<0.0001
1946	7	-0.510	1.101	0.995	-0.991 - -0.476	1.058 - 1.417	0.982 - 1.000	997.13	<0.0001
1947	7	-0.524	1.112	0.995	-0.993 - -0.485	1.064 - 1.421	0.983 - 1.000	929.56	<0.0001
1948	7	-0.528	1.115	0.994	-1.004 - -0.482	1.062 - 1.426	0.982 - 1.000	849.27	<0.0001
1949	7	-0.514	1.108	0.993	-0.996 - -0.462	1.050 - 1.424	0.982 - 1.000	718.87	<0.0001
1950	7	-0.510	1.106	0.992	-1.003 - -0.453	1.044 - 1.427	0.982 - 1.000	660.35	<0.0001
1951	7	-0.528	1.119	0.992	-1.007 - -0.467	1.058 - 1.430	0.982 - 1.000	657.95	<0.0001
1952	7	-0.546	1.132	0.993	-1.014 - -0.482	1.067 - 1.438	0.982 - 1.000	665.33	<0.0001
1953	7	-0.561	1.142	0.992	-1.024 - -0.493	1.077 - 1.442	0.982 - 1.000	630.02	<0.0001
1954	7	-0.571	1.149	0.992	-1.027 - -0.499	1.082 - 1.443	0.982 - 1.000	594.69	<0.0001
1955	7	-0.570	1.150	0.991	-1.037 - -0.490	1.078 - 1.451	0.981 - 1.000	535.85	<0.0001
1956	7	-0.582	1.158	0.991	-1.043 - -0.499	1.085 - 1.455	0.981 - 1.000	522.21	<0.0001
1957	7	-0.592	1.165	0.990	-1.043 - -0.502	1.089 - 1.452	0.981 - 1.000	506.88	<0.0001
1958	7	-0.599	1.171	0.990	-1.053 - -0.508	1.094 - 1.462	0.980 - 1.000	487.39	<0.0001
1959	7	-0.603	1.175	0.989	-1.049 - -0.507	1.094 - 1.458	0.979 - 0.999	464.93	<0.0001
1960	8	-0.361	1.009	0.993	-0.886 - -0.319	0.967 - 1.361	0.982 - 0.999	849.41	<0.0001
1961	8	-0.440	1.064	0.994	-0.886 - -0.401	1.020 - 1.357	0.983 - 0.999	968.97	<0.0001
1962	8	-0.434	1.062	0.992	-0.868 - -0.386	1.010 - 1.350	0.983 - 0.999	774.58	<0.0001
1963	9	-0.566	1.152	0.998	-0.766 - -0.506	1.101 - 1.279	0.988 - 1.000	3611.96	<0.0001
1964	10	-0.490	1.096	0.997	-0.628 - -0.441	1.053 - 1.191	0.993 - 0.999	2409.19	<0.0001
1965	10	-0.481	1.091	0.995	-0.618 - -0.421	1.039 - 1.187	0.992 - 0.999	1727.73	<0.0001
1966	10	-0.505	1.108	0.995	-0.642 - -0.444	1.056 - 1.204	0.991 - 0.999	1681.22	<0.0001
1967	10	-0.509	1.112	0.995	-0.655 - -0.446	1.056 - 1.212	0.990 - 0.999	1502.14	<0.0001
1968	11	-0.321	0.973	0.979	-0.576 - -0.206	0.887 - 1.161	0.972 - 0.997	421.33	<0.0001
1969	11	-0.363	1.010	0.984	-0.576 - -0.264	0.927 - 1.161	0.978 - 0.997	563.10	<0.0001
1970	11	-0.402	1.041	0.987	-0.586 - -0.314	0.964 - 1.171	0.982 - 0.997	710.35	<0.0001
1971	12	-0.455	1.077	0.995	-0.563 - -0.406	1.031 - 1.154	0.988 - 0.998	1920.00	<0.0001
1972	12	-0.503	1.110	0.995	-0.603 - -0.453	1.063 - 1.182	0.990 - 0.998	1999.80	<0.0001
1973	12	-0.547	1.140	0.996	-0.634 - -0.498	1.091 - 1.201	0.991 - 0.999	2232.49	<0.0001
1974	12	-0.571	1.156	0.996	-0.655 - -0.528	1.110 - 1.216	0.992 - 0.999	2363.90	<0.0001
1975	12	-0.595	1.172	0.996	-0.676 - -0.553	1.126 - 1.230	0.992 - 0.999	2482.63	<0.0001
1976	13	-0.465	1.065	0.987	-0.666 - -0.383	0.992 - 1.222	0.984 - 0.998	848.58	<0.0001
1977	13	-0.567	1.143	0.993	-0.705 - -0.506	1.083 - 1.247	0.991 - 0.998	1643.43	<0.0001
1978	13	-0.619	1.180	0.994	-0.748 - -0.566	1.127 - 1.274	0.991 - 0.998	1970.89	<0.0001
1979	13	-0.644	1.196	0.994	-0.786 - -0.584	1.137 - 1.297	0.990 - 0.998	1688.38	<0.0001
1980	13	-0.661	1.205	0.992	-0.821 - -0.584	1.136 - 1.320	0.987 - 0.997	1296.55	<0.0001
1981	13	-0.655	1.199	0.989	-0.843 - -0.561	1.117 - 1.333	0.982 - 0.997	956.18	<0.0001
1982	13	-0.667	1.206	0.987	-0.863 - -0.560	1.117 - 1.346	0.980 - 0.997	815.77	<0.0001
1983	14	-0.462	1.049	0.970	-0.809 - -0.344	0.941 - 1.310	0.961 - 0.996	385.91	<0.0001
1984	15	-0.518	1.091	0.987	-0.773 - -0.462	1.026 - 1.283	0.980 - 0.995	959.11	<0.0001
1985	15	-0.612	1.162	0.991	-0.783 - -0.560	1.103 - 1.289	0.985 - 0.996	1369.08	<0.0001
1986	15	-0.628	1.173	0.989	-0.810 - -0.563	1.105 - 1.307	0.984 - 0.996	1217.43	<0.0001
1987	16	-0.426	1.021	0.966	-0.702 - -0.304	0.902 - 1.233	0.954 - 0.991	403.57	<0.0001
1988	18	-0.305	0.938	0.969	-0.491 - -0.234	0.852 - 1.088	0.954 - 0.984	507.06	<0.0001
1989	19	-0.328	0.959	0.978	-0.452 - -0.279	0.885 - 1.060	0.965 - 0.989	745.61	<0.0001
1990	20	-0.451	1.049	0.989	-0.521 - -0.415	0.994 - 1.106	0.979 - 0.995	1669.56	<0.0001
1991	21	-0.381	0.990	0.981	-0.489 - -0.321	0.912 - 1.082	0.972 - 0.990	967.25	<0.0001
1992	25	-0.262	0.900	0.973	-0.340 - -0.213	0.823 - 0.975	0.962 - 0.984	825.02	<0.0001
1993	37	-0.352	0.962	0.964	-0.420 - -0.301	0.901 - 1.021	0.920 - 0.988	940.73	<0.0001
1994	42	-0.410	1.010	0.987	-0.438 - -0.380	0.964 - 1.045	0.979 - 0.994	3138.56	<0.0001
1995	47	-0.363	0.951	0.983	-0.395 - -0.335	0.897 - 0.996	0.977 - 0.989	2559.26	<0.0001
1996	52	-0.517	1.113	0.981	-0.557 - -0.479	1.056 - 1.169	0.968 - 0.992	2592.00	<0.0001
1997	53	-0.587	1.158	0.982	-0.622 - -0.549	1.114 - 1.199	0.969 - 0.989	2711.80	<0.0001
1998	53	-0.613	1.170	0.979	-0.649 - -0.574	1.125 - 1.210	0.964 - 0.987	2371.76	<0.0001

modello: $\log_{10}L = \log_{10}(\alpha) + \beta \log_{10}D$					<i>Picea abies</i> 07001			fusto	
anno	n	$\alpha_{RMA}$	$\beta_{RMA}$	R <sup>2</sup>	$\alpha_{RMA}$ , 95% l.c.	$\beta_{RMA}$ , 95% l.c.	R <sup>2</sup> , 95%l.c.	F	p
1910	5	-0.821	1.293	0.993	-0.937 - -0.514	1.090 - 1.399	0.979 - 1.000	438.15	0.0002
1911	5	-0.835	1.303	0.993	-0.958 - -0.559	1.121 - 1.410	0.978 - 1.000	416.29	0.0003
1912	5	-0.825	1.297	0.993	-0.942 - -0.504	1.088 - 1.400	0.978 - 1.000	453.20	0.0002
1913	5	-0.815	1.291	0.994	-0.931 - -0.512	1.091 - 1.392	0.977 - 1.000	459.04	0.0002
1914	5	-0.832	1.302	0.993	-0.961 - -0.515	1.094 - 1.414	0.976 - 1.000	406.02	0.0003
1915	5	-0.840	1.308	0.993	-0.970 - -0.561	1.129 - 1.418	0.976 - 1.000	412.20	0.0003
1916	5	-0.851	1.314	0.993	-0.980 - -0.520	1.099 - 1.423	0.975 - 1.000	424.25	0.0003
1917	5	-0.865	1.323	0.993	-0.995 - -0.526	1.103 - 1.431	0.974 - 1.000	426.33	0.0002
1918	5	-0.865	1.324	0.993	-0.991 - -0.529	1.105 - 1.426	0.973 - 1.000	445.87	0.0002
1919	5	-0.868	1.326	0.993	-0.992 - -0.535	1.110 - 1.426	0.971 - 1.000	457.25	0.0002
1920	5	-0.868	1.325	0.994	-0.994 - -0.538	1.113 - 1.426	0.970 - 1.000	459.62	0.0002
1921	5	-0.859	1.320	0.994	-0.981 - -0.536	1.112 - 1.419	0.969 - 1.000	478.45	0.0002
1922	5	-0.851	1.316	0.994	-0.974 - -0.530	1.109 - 1.414	0.969 - 1.000	489.02	0.0002
1923	5	-0.847	1.314	0.994	-0.972 - -0.524	1.107 - 1.413	0.969 - 1.000	485.14	0.0002
1924	5	-0.838	1.310	0.994	-0.962 - -0.517	1.104 - 1.408	0.981 - 1.000	484.61	0.0002
1925	5	-0.835	1.308	0.994	-0.962 - -0.510	1.100 - 1.408	0.981 - 1.000	475.95	0.0002
1926	5	-0.829	1.305	0.994	-0.956 - -0.503	1.097 - 1.405	0.967 - 1.000	470.85	0.0002
1927	5	-0.825	1.304	0.994	-0.953 - -0.498	1.095 - 1.404	0.967 - 1.000	467.62	0.0002
1928	5	-0.825	1.304	0.994	-0.956 - -0.495	1.094 - 1.405	0.966 - 1.000	460.33	0.0002
1929	5	-0.826	1.305	0.993	-0.958 - -0.538	1.129 - 1.407	0.966 - 1.000	452.37	0.0002
1930	5	-0.827	1.306	0.993	-0.960 - -0.487	1.091 - 1.408	0.966 - 1.000	453.84	0.0002
1931	5	-0.828	1.308	0.994	-0.959 - -0.485	1.091 - 1.408	0.966 - 1.000	461.22	0.0002
1932	5	-0.834	1.311	0.993	-0.967 - -0.483	1.090 - 1.412	0.966 - 1.000	450.49	0.0002
1933	5	-0.840	1.316	0.993	-0.977 - -0.480	1.089 - 1.419	0.965 - 1.000	435.71	0.0002
1934	5	-0.850	1.322	0.993	-0.990 - -0.529	1.127 - 1.427	0.965 - 1.000	420.12	0.0003
1935	5	-0.852	1.324	0.993	-0.994 - -0.530	1.128 - 1.429	0.965 - 1.000	417.33	0.0003
1936	5	-0.855	1.326	0.993	-0.998 - -0.480	1.091 - 1.432	0.964 - 1.000	408.89	0.0003
1937	5	-0.862	1.331	0.992	-1.010 - -0.479	1.091 - 1.440	0.963 - 1.000	393.90	0.0003
1938	5	-0.870	1.336	0.992	-1.021 - -0.479	1.091 - 1.446	0.962 - 1.000	382.32	0.0003
1939	5	-0.885	1.345	0.992	-1.043 - -0.532	1.132 - 1.460	0.961 - 1.000	361.06	0.0003
1940	5	-0.900	1.355	0.991	-1.064 - -0.486	1.097 - 1.474	0.961 - 1.000	345.25	0.0003
1941	5	-0.911	1.361	0.991	-1.082 - -0.490	1.099 - 1.483	0.960 - 1.000	333.60	0.0004
1942	5	-0.921	1.367	0.991	-1.102 - -0.494	1.102 - 1.496	0.959 - 1.000	325.48	0.0004
1943	6	-0.640	1.187	0.990	-1.104 - -0.551	1.112 - 1.497	0.976 - 1.000	403.61	<0.0001
1944	6	-0.641	1.189	0.989	-1.122 - -0.547	1.111 - 1.509	0.973 - 1.000	387.64	<0.0001
1945	6	-0.641	1.189	0.989	-1.122 - -0.547	1.111 - 1.509	0.973 - 1.000	371.71	<0.0001
1946	6	-0.653	1.197	0.990	-1.130 - -0.558	1.120 - 1.515	0.973 - 1.000	377.04	<0.0001
1947	6	-0.668	1.208	0.990	-1.139 - -0.573	1.133 - 1.522	0.974 - 1.000	389.01	<0.0001
1948	6	-0.676	1.214	0.990	-1.146 - -0.580	1.139 - 1.526	0.974 - 1.000	392.35	<0.0001
1949	6	-0.680	1.218	0.990	-1.151 - -0.584	1.142 - 1.530	0.974 - 1.000	389.87	<0.0001
1950	6	-0.682	1.220	0.990	-1.151 - -0.580	1.143 - 1.531	0.974 - 1.000	389.02	<0.0001
1951	6	-0.698	1.231	0.990	-1.158 - -0.581	1.144 - 1.535	0.973 - 1.000	407.39	<0.0001
1952	6	-0.711	1.240	0.991	-1.164 - -0.615	1.158 - 1.540	0.975 - 1.000	417.52	<0.0001
1953	6	-0.734	1.256	0.991	-1.182 - -0.636	1.172 - 1.549	0.972 - 1.000	431.75	<0.0001
1954	6	-0.750	1.267	0.991	-1.193 - -0.644	1.188 - 1.558	0.972 - 1.000	439.73	<0.0001
1955	6	-0.764	1.276	0.991	-1.202 - -0.661	1.198 - 1.565	0.972 - 1.000	446.23	<0.0001
1956	6	-0.778	1.286	0.991	-1.212 - -0.680	1.211 - 1.571	0.973 - 1.000	455.92	<0.0001
1957	6	-0.792	1.295	0.991	-1.219 - -0.677	1.213 - 1.576	0.975 - 1.000	466.47	<0.0001
1958	6	-0.804	1.303	0.992	-1.231 - -0.674	1.216 - 1.584	0.972 - 1.000	468.77	<0.0001
1959	6	-0.811	1.309	0.991	-1.248 - -0.674	1.222 - 1.595	0.975 - 1.000	451.58	<0.0001
1960	6	-0.818	1.314	0.991	-1.262 - -0.671	1.223 - 1.605	0.971 - 1.000	442.51	<0.0001

1961	6	-0.825	1.319	0.991	-1.268	-0.676	1.223	-1.610	0.975	-1.000	441.98	<0.0001
1962	7	-0.629	1.194	0.989	-1.078	-0.527	1.111	-1.482	0.979	-0.999	466.26	<0.0001
1963	7	-0.657	1.211	0.990	-1.083	-0.561	1.133	-1.481	0.977	-0.999	481.97	<0.0001
1964	7	-0.673	1.222	0.990	-1.101	-0.571	1.141	-1.494	0.978	-0.999	782.08	<0.0001
1965	7	-0.679	1.226	0.990	-1.103	-0.579	1.148	-1.495	0.977	-0.999	480.78	<0.0001
1966	7	-0.694	1.237	0.990	-1.120	-0.597	1.160	-1.505	0.978	-0.999	497.17	<0.0001
1967	7	-0.710	1.247	0.990	-1.105	-0.609	1.169	-1.495	0.978	-0.999	516.98	<0.0001
1968	7	-0.713	1.251	0.991	-1.082	-0.615	1.176	-1.482	0.978	-0.999	523.25	<0.0001
1969	7	-0.720	1.257	0.991	-1.073	-0.619	1.179	-1.480	0.978	-0.999	524.52	<0.0001
1970	7	-0.728	1.262	0.991	-1.087	-0.626	1.187	-1.489	0.978	-0.999	522.13	<0.0001
1971	7	-0.746	1.274	0.991	-1.088	-0.644	1.198	-1.494	0.977	-0.999	527.30	<0.0001
1972	7	-0.763	1.284	0.990	-1.105	-0.658	1.206	-1.507	0.977	-0.999	517.50	<0.0001
1973	7	-0.777	1.294	0.991	-1.119	-0.671	1.213	-1.515	0.976	-0.999	522.32	<0.0001
1974	7	-0.790	1.302	0.991	-1.133	-0.683	1.223	-1.521	0.977	-0.999	523.74	<0.0001
1975	7	-0.805	1.311	0.991	-1.135	-0.694	1.232	-1.522	0.976	-1.000	533.46	<0.0001
1976	7	-0.822	1.322	0.991	-1.151	-0.711	1.245	-1.536	0.976	-0.999	548.28	<0.0001
1977	7	-0.838	1.332	0.991	-1.163	-0.725	1.249	-1.544	0.975	-1.000	569.34	<0.0001
1978	7	-0.859	1.346	0.992	-1.177	-0.747	1.262	-1.551	0.976	-1.000	595.21	<0.0001
1979	7	-0.887	1.363	0.992	-1.198	-0.780	1.289	-1.566	0.976	-1.000	634.01	<0.0001
1980	7	-0.918	1.383	0.993	-1.210	-0.811	1.307	-1.573	0.974	-1.000	666.94	<0.0001
1981	7	-0.949	1.402	0.993	-1.246	-0.841	1.326	-1.595	0.974	-1.000	696.04	<0.0001
1982	7	-0.977	1.419	0.993	-1.271	-0.870	1.344	-1.611	0.973	-1.000	706.51	<0.0001
1983	7	-0.988	1.426	0.993	-1.289	-0.875	1.345	-1.623	0.973	-1.000	679.75	<0.0001
1984	7	-1.005	1.436	0.993	-1.310	-0.886	1.354	-1.635	0.972	-1.000	664.67	<0.0001
1985	7	-1.025	1.448	0.992	-1.331	-0.903	1.364	-1.649	0.973	-1.000	650.30	<0.0001
1986	7	-1.046	1.460	0.992	-1.357	-0.915	1.371	-1.664	0.971	-1.000	632.64	<0.0001
1987	7	-1.042	1.459	0.992	-1.362	-0.897	1.363	-1.667	0.971	-1.000	608.03	<0.0001
1988	8	-0.943	1.398	0.994	-1.193	-0.868	1.339	-1.556	0.984	-0.999	1068.13	<0.0001
1989	8	-0.942	1.397	0.994	-1.205	-0.862	1.336	-1.564	0.984	-0.999	984.25	<0.0001
1990	8	-0.962	1.408	0.994	-1.223	-0.881	1.345	-1.573	0.983	-0.999	967.44	<0.0001
1991	8	-0.967	1.410	0.994	-1.234	-0.886	1.350	-1.580	0.983	-0.999	948.21	<0.0001
1992	10	-0.855	1.340	0.994	-1.006	-0.771	1.275	-1.438	0.987	-0.998	1303.34	<0.0001
1993	10	-0.880	1.353	0.994	-1.025	-0.794	1.287	-1.447	0.987	-0.998	1308.84	<0.0001
1994	10	-0.898	1.362	0.994	-1.052	-0.810	1.295	-1.461	0.987	-0.998	1293.02	<0.0001
1995	10	-0.913	1.370	0.994	-1.055	-0.823	1.303	-1.462	0.987	-0.998	1297.02	<0.0001
1996	10	-0.948	1.390	0.994	-1.090	-0.861	1.324	-1.481	0.987	-0.999	1358.46	<0.0001
1997	10	-0.973	1.403	0.994	-1.110	-0.886	1.339	-1.494	0.987	-0.999	1375.02	<0.0001
1998	10	-1.002	1.419	0.994	-1.143	-0.915	1.353	-1.510	0.987	-0.999	1392.65	<0.0001

modello: $\log_{10}L = \log_{10}(\alpha) + \beta \log_{10}D$					<i>Picea abies</i> 07001			cimale	
anno	n	$\alpha_{RMA}$	$\beta_{RMA}$	R <sup>2</sup>	$\alpha_{RMA}$ , 95% l.c.	$\beta_{RMA}$ , 95% l.c.	R <sup>2</sup> , 95%l.c.	F	p
1971	5	-0.436	1.022	0.987	-0.474 - -0.245	0.668 - 1.124	0.959 - 1.000	229.78	0.0006
1972	5	-0.471	1.043	0.984	-0.505 - -0.259	0.691 - 1.175	0.964 - 1.000	180.10	0.0009
1973	5	-0.507	1.068	0.982	-0.543 - -0.293	0.738 - 1.216	0.967 - 1.000	165.84	0.0010
1974	5	-0.513	1.056	0.986	-0.556 - -0.323	0.762 - 1.192	0.973 - 1.000	204.99	0.0007
1975	5	-0.522	1.055	0.988	-0.570 - -0.331	0.793 - 1.175	0.976 - 1.000	240.02	0.0006
1976	6	-0.430	0.902	0.996	-0.566 - -0.392	0.862 - 1.125	0.983 - 1.000	933.45	<0.0001
1977	6	-0.507	0.998	0.997	-0.589 - -0.393	0.854 - 1.123	0.980 - 1.000	1381.46	<0.0001
1978	6	-0.542	1.031	0.997	-0.580 - -0.395	0.845 - 1.081	0.981 - 1.000	1401.74	<0.0001
1979	6	-0.542	1.016	0.997	-0.579 - -0.398	0.842 - 1.073	0.981 - 1.000	1293.55	<0.0001
1980	6	-0.525	0.983	0.997	-0.579 - -0.399	0.837 - 1.053	0.978 - 1.000	1196.89	<0.0001
1981	6	-0.485	0.933	0.996	-0.553 - -0.376	0.814 - 1.015	0.976 - 1.000	1041.41	<0.0001
1982	6	-0.469	0.912	0.993	-0.582 - -0.366	0.797 - 1.045	0.963 - 1.000	532.72	<0.0001
1983	7	-0.371	0.806	0.995	-0.574 - -0.350	0.778 - 1.036	0.960 - 1.000	1016.93	<0.0001
1984	8	-0.476	0.938	0.998	-0.496 - -0.428	0.884 - 0.960	0.974 - 1.000	2740.60	<0.0001
1985	8	-0.544	1.014	0.996	-0.572 - -0.463	0.918 - 1.053	0.969 - 1.000	1523.73	<0.0001
1986	8	-0.536	1.001	0.996	-0.577 - -0.476	0.935 - 1.051	0.971 - 0.999	1398.74	<0.0001
1987	9	-0.341	0.790	0.984	-0.467 - -0.289	0.731 - 0.946	0.974 - 0.999	422.55	<0.0001
1988	10	-0.265	0.739	0.990	-0.314 - -0.230	0.684 - 0.801	0.981 - 0.998	817.90	<0.0001
1989	11	-0.289	0.789	0.994	-0.315 - -0.255	0.735 - 0.819	0.989 - 0.999	1572.62	<0.0001
1990	12	-0.430	0.954	0.992	-0.459 - -0.354	0.843 - 0.994	0.982 - 0.998	1188.79	<0.0001
1991	13	-0.347	0.836	0.992	-0.388 - -0.313	0.788 - 0.898	0.986 - 0.998	1378.26	<0.0001
1992	15	-0.247	0.713	0.987	-0.275 - -0.223	0.664 - 0.762	0.973 - 0.997	990.50	<0.0001
1993	27	-0.368	0.884	0.905	-0.430 - -0.324	0.814 - 0.959	0.741 - 0.985	237.85	<0.0001
1994	32	-0.416	0.957	0.971	-0.440 - -0.389	0.903 - 1.012	0.939 - 0.990	1020.90	<0.0001
1995	37	-0.385	0.850	0.975	-0.408 - -0.366	0.810 - 0.900	0.953 - 0.987	1337.98	<0.0001
1996	42	-0.506	1.151	0.954	-0.540 - -0.468	1.034 - 1.281	0.931 - 0.981	823.94	<0.0001
1997	43	-0.580	1.209	0.949	-0.612 - -0.543	1.110 - 1.338	0.922 - 0.971	764.30	<0.0001
1998	43	-0.612	1.220	0.934	-0.646 - -0.572	1.123 - 1.375	0.895 - 0.961	580.54	<0.0001

modello: $\log_{10}L = \log_{10}(\alpha) + \beta \log_{10}D$					<i>Picea abies</i> 03113			fusto intero	
anno	n	$\alpha_{RMA}$	$\beta_{RMA}$	R <sup>2</sup>	$\alpha_{RMA}$ , 95% l.c.	$\beta_{RMA}$ , 95% l.c.	R <sup>2</sup> , 95%l.c.	F	p
1867	5	-0.149	0.980	0.992	-0.913 - -0.116	0.911 - 1.602	0.987 - 1.000	352.54	0.0003
1868	5	-0.212	1.033	0.990	-0.970 - -0.178	0.948 - 1.641	0.985 - 1.000	289.67	0.0004
1869	5	-0.298	1.104	0.990	-1.001 - -0.243	1.007 - 1.661	0.984 - 1.000	284.97	0.0005
1870	5	-0.347	1.143	0.989	-1.031 - -0.274	1.035 - 1.683	0.983 - 1.000	266.64	0.0005
1871	5	-0.403	1.187	0.989	-1.077 - -0.313	1.070 - 1.713	0.983 - 1.000	263.70	0.0005
1872	5	-0.390	1.177	0.986	-1.111 - -0.281	1.045 - 1.733	0.979 - 1.000	206.59	0.0007
1873	5	-0.418	1.198	0.984	-1.165 - -0.290	1.052 - 1.769	0.976 - 1.000	180.28	0.0009
1874	5	-0.432	1.209	0.981	-1.208 - -0.287	1.050 - 1.798	0.972 - 1.000	158.96	0.0011
1875	5	-0.479	1.244	0.982	-1.223 - -0.321	1.081 - 1.804	0.974 - 1.000	165.52	0.0010
1876	5	-0.522	1.276	0.982	-1.248 - -0.351	1.106 - 1.818	0.974 - 1.000	167.74	0.0010
1877	5	-0.568	1.308	0.983	-1.264 - -0.385	1.133 - 1.824	0.975 - 1.000	170.55	0.0010
1878	6	-0.226	1.035	0.991	-1.121 - -0.191	0.977 - 1.716	0.977 - 1.000	427.41	<0.0001
1879	6	-0.225	1.034	0.985	-1.184 - -0.180	0.954 - 1.761	0.977 - 1.000	267.82	<0.0001
1880	6	-0.259	1.062	0.983	-1.230 - -0.200	0.968 - 1.790	0.976 - 1.000	227.07	0.0001



1881	6	-0.231	1.042	0.978	-1.234	- -0.156	0.936 - 1.789	0.971 - 1.000	180.98	0.0002
1882	6	-0.263	1.066	0.977	-1.273	- -0.173	0.952 - 1.809	0.969 - 1.000	169.49	0.0002
1883	6	-0.295	1.089	0.976	-1.292	- -0.190	0.965 - 1.820	0.969 - 1.000	161.53	0.0002
1884	6	-0.328	1.115	0.975	-1.331	- -0.215	0.984 - 1.844	0.968 - 1.000	157.07	0.0002
1885	6	-0.331	1.118	0.974	-1.327	- -0.200	0.981 - 1.838	0.966 - 1.000	146.96	0.0003
1886	6	-0.381	1.155	0.974	-1.373	- -0.237	1.011 - 1.869	0.965 - 1.000	149.16	0.0003
1887	6	-0.384	1.157	0.972	-1.380	- -0.232	1.007 - 1.870	0.962 - 1.000	136.03	0.0003
1888	6	-0.419	1.183	0.972	-1.402	- -0.258	1.028 - 1.879	0.963 - 1.000	139.08	0.0003
1889	6	-0.470	1.219	0.974	-1.425	- -0.295	1.061 - 1.896	0.964 - 1.000	147.06	0.0003
1890	7	-0.333	1.112	0.995	-1.071	- -0.311	1.068 - 1.643	0.969 - 1.000	945.43	<0.0001
1891	7	-0.279	1.072	0.990	-1.088	- -0.242	1.014 - 1.648	0.970 - 0.999	506.37	<0.0001
1892	7	-0.353	1.125	0.990	-1.129	- -0.307	1.060 - 1.676	0.972 - 0.999	493.29	<0.0001
1893	7	-0.410	1.167	0.990	-1.156	- -0.355	1.097 - 1.691	0.973 - 0.999	197.95	<0.0001
1894	7	-0.467	1.207	0.990	-1.170	- -0.404	1.134 - 1.698	0.974 - 0.999	520.34	<0.0001
1895	7	-0.520	1.245	0.991	-1.186	- -0.450	1.168 - 1.710	0.975 - 1.000	552.62	<0.0001
1896	7	-0.519	1.244	0.990	-1.188	- -0.440	1.162 - 1.708	0.976 - 0.999	494.15	<0.0001
1897	7	-0.569	1.279	0.989	-1.238	- -0.473	1.185 - 1.742	0.976 - 1.000	490.91	<0.0001
1898	7	-0.569	1.279	0.989	-1.238	- -0.473	1.185 - 1.742	0.976 - 1.000	456.02	<0.0001
1899	7	-0.586	1.291	0.989	-1.255	- -0.484	1.195 - 1.752	0.978 - 1.000	437.91	<0.0001
1900	7	-0.605	1.304	0.989	-1.258	- -0.497	1.206 - 1.756	0.977 - 0.999	433.42	<0.0001
1901	7	-0.641	1.329	0.989	-1.271	- -0.531	1.230 - 1.758	0.976 - 0.999	449.37	<0.0001
1902	7	-0.668	1.347	0.989	-1.284	- -0.554	1.247 - 1.765	0.977 - 1.000	452.19	<0.0001
1903	7	-0.675	1.352	0.989	-1.296	- -0.556	1.249 - 1.776	0.977 - 0.999	437.63	<0.0001
1904	7	-0.708	1.373	0.989	-1.333	- -0.583	1.267 - 1.799	0.976 - 0.999	436.60	<0.0001
1905	8	-0.292	1.072	0.990	-1.040	- -0.248	1.026 - 1.601	0.982 - 0.999	602.66	<0.0001
1906	8	-0.191	1.000	0.981	-1.040	- -0.129	0.937 - 1.599	0.973 - 0.998	305.31	<0.0001
1907	8	-0.208	1.013	0.977	-1.079	- -0.137	0.941 - 1.623	0.968 - 0.998	254.44	<0.0001
1908	8	-0.237	1.033	0.975	-1.095	- -0.157	0.953 - 1.631	0.966 - 0.998	230.05	<0.0001
1909	8	-0.300	1.078	0.976	-1.128	- -0.215	0.992 - 1.653	0.969 - 0.998	244.11	<0.0001
1910	8	-0.373	1.129	0.978	-1.171	- -0.282	1.042 - 1.679	0.972 - 0.998	269.76	<0.0001
1911	8	-0.419	1.161	0.979	-1.174	- -0.321	1.067 - 1.678	0.973 - 0.998	274.09	<0.0001
1912	8	-0.427	1.166	0.977	-1.216	- -0.324	1.073 - 1.705	0.971 - 0.998	258.81	<0.0001
1913	8	-0.464	1.192	0.979	-1.216	- -0.357	1.094 - 1.704	0.973 - 0.998	274.05	<0.0001
1914	8	-0.487	1.207	0.978	-1.218	- -0.371	1.106 - 1.706	0.972 - 0.998	262.33	<0.0001
1915	8	-0.498	1.213	0.977	-1.252	- -0.373	1.106 - 1.725	0.970 - 0.998	250.50	<0.0001
1916	8	-0.530	1.234	0.977	-1.277	- -0.404	1.128 - 1.734	0.970 - 0.998	253.30	<0.0001
1917	8	-0.545	1.243	0.976	-1.255	- -0.411	1.131 - 1.719	0.970 - 0.998	247.65	<0.0001
1918	8	-0.573	1.261	0.977	-1.271	- -0.436	1.149 - 1.724	0.970 - 0.998	255.66	<0.0001
1919	8	-0.587	1.270	0.977	-1.276	- -0.448	1.158 - 1.728	0.970 - 0.998	254.96	<0.0001
1920	8	-0.607	1.282	0.977	-1.290	- -0.461	1.165 - 1.734	0.971 - 0.998	257.59	<0.0001
1921	8	-0.619	1.288	0.977	-1.290	- -0.472	1.172 - 1.734	0.970 - 0.998	259.50	<0.0001
1922	8	-0.627	1.293	0.978	-1.283	- -0.475	1.175 - 1.726	0.971 - 0.998	268.08	<0.0001
1923	8	-0.660	1.312	0.980	-1.296	- -0.515	1.199 - 1.728	0.973 - 0.998	292.84	<0.0001
1924	8	-0.682	1.325	0.981	-1.282	- -0.534	1.211 - 1.717	0.974 - 0.998	305.38	<0.0001
1925	9	-0.266	1.036	0.988	-1.136	- -0.216	0.992 - 1.622	0.978 - 0.998	601.58	<0.0001
1926	9	-0.284	1.047	0.985	-1.156	- -0.226	0.992 - 1.631	0.978 - 0.997	467.29	<0.0001
1927	9	-0.259	1.031	0.981	-1.155	- -0.191	0.969 - 1.626	0.975 - 0.997	360.77	<0.0001
1928	9	-0.353	1.093	0.984	-1.158	- -0.285	1.030 - 1.628	0.977 - 0.997	433.08	<0.0001
1929	9	-0.372	1.106	0.984	-1.151	- -0.299	1.038 - 1.622	0.977 - 0.997	420.82	<0.0001
1930	9	-0.405	1.128	0.984	-1.170	- -0.329	1.057 - 1.631	0.977 - 0.997	424.66	<0.0001
1931	9	-0.437	1.149	0.985	-1.170	- -0.359	1.075 - 1.628	0.976 - 0.997	444.64	<0.0001
1932	9	-0.451	1.158	0.985	-1.169	- -0.369	1.083 - 1.625	0.976 - 0.997	445.53	<0.0001
1933	9	-0.475	1.174	0.985	-1.169	- -0.391	1.100 - 1.627	0.977 - 0.997	455.87	<0.0001
1934	9	-0.508	1.195	0.985	-1.187	- -0.422	1.119 - 1.637	0.977 - 0.997	469.42	<0.0001
1935	9	-0.521	1.203	0.985	-1.181	- -0.432	1.126 - 1.634	0.977 - 0.997	471.51	<0.0001

1936	9	-0.522	1.204	0.985	-1.192 - -0.429	1.126 - 1.639	0.977 - 0.997	454.74	<0.0001
1937	9	-0.556	1.225	0.986	-1.188 - -0.462	1.147 - 1.635	0.978 - 0.997	488.65	<0.0001
1938	9	-0.572	1.235	0.986	-1.193 - -0.475	1.155 - 1.636	0.977 - 0.997	489.19	<0.0001
1939	9	-0.585	1.244	0.986	-1.206 - -0.490	1.164 - 1.644	0.978 - 0.997	501.84	<0.0001
1940	10	-0.287	1.039	0.988	-1.060 - -0.228	0.993 - 1.542	0.981 - 0.997	685.52	<0.0001
1941	10	-0.311	1.056	0.986	-1.044 - -0.240	0.999 - 1.532	0.981 - 0.997	553.49	<0.0001
1942	10	-0.268	1.028	0.980	-1.055 - -0.180	0.961 - 1.535	0.976 - 0.996	394.10	<0.0001
1943	10	-0.307	1.054	0.980	-1.038 - -0.214	0.982 - 1.521	0.976 - 0.996	397.18	<0.0001
1944	10	-0.370	1.096	0.983	-1.077 - -0.278	1.022 - 1.548	0.978 - 0.996	459.23	<0.0001
1945	10	-0.419	1.129	0.985	-1.048 - -0.333	1.059 - 1.532	0.979 - 0.996	533.73	<0.0001
1946	11	-0.261	1.021	0.988	-0.795 - -0.199	0.970 - 1.372	0.980 - 0.996	764.67	<0.0001
1947	11	-0.297	1.045	0.986	-0.836 - -0.214	0.980 - 1.399	0.979 - 0.996	620.43	<0.0001
1948	11	-0.335	1.072	0.987	-0.844 - -0.255	1.008 - 1.402	0.980 - 0.996	664.24	<0.0001
1949	11	-0.387	1.107	0.989	-0.817 - -0.317	1.045 - 1.383	0.980 - 0.996	788.64	<0.0001
1950	11	-0.393	1.111	0.989	-0.847 - -0.324	1.050 - 1.401	0.980 - 0.996	783.64	<0.0001
1951	12	-0.240	1.008	0.986	-0.620 - -0.164	0.947 - 1.264	0.980 - 0.995	724.65	<0.0001
1952	12	-0.276	1.037	0.987	-0.627 - -0.198	0.973 - 1.267	0.979 - 0.995	756.36	<0.0001
1953	12	-0.279	1.041	0.986	-0.619 - -0.199	0.974 - 1.263	0.977 - 0.995	712.51	<0.0001
1954	13	-0.344	1.085	0.994	-0.478 - -0.269	1.025 - 1.171	0.982 - 0.998	1827.74	<0.0001
1955	13	-0.361	1.093	0.994	-0.510 - -0.326	1.053 - 1.191	0.984 - 0.998	1942.90	<0.0001
1956	13	-0.421	1.132	0.995	-0.534 - -0.380	1.091 - 1.206	0.985 - 0.998	2136.53	<0.0001
1957	13	-0.454	1.153	0.995	-0.547 - -0.407	1.109 - 1.215	0.986 - 0.998	2113.30	<0.0001
1958	13	-0.447	1.148	0.994	-0.549 - -0.399	1.102 - 1.217	0.985 - 0.998	1927.36	<0.0001
1959	13	-0.457	1.153	0.994	-0.565 - -0.417	1.109 - 1.225	0.985 - 0.998	1910.20	<0.0001
1960	14	-0.381	1.098	0.994	-0.526 - -0.331	1.054 - 1.201	0.989 - 0.998	2066.91	<0.0001
1961	14	-0.404	1.114	0.993	-0.548 - -0.342	1.061 - 1.215	0.989 - 0.998	1735.84	<0.0001
1962	14	-0.412	1.119	0.993	-0.553 - -0.347	1.064 - 1.217	0.988 - 0.997	1626.01	<0.0001
1963	14	-0.451	1.145	0.994	-0.570 - -0.394	1.096 - 1.227	0.988 - 0.998	1968.50	<0.0001
1964	14	-0.453	1.147	0.994	-0.571 - -0.394	1.096 - 1.227	0.988 - 0.998	1875.35	<0.0001
1965	14	-0.467	1.156	0.994	-0.584 - -0.408	1.105 - 1.234	0.988 - 0.998	1870.64	<0.0001
1966	15	-0.243	0.996	0.977	-0.546 - -0.131	0.915 - 1.213	0.973 - 0.997	563.25	<0.0001
1967	15	-0.265	1.014	0.976	-0.547 - -0.141	0.922 - 1.213	0.971 - 0.997	528.54	<0.0001
1968	15	-0.253	1.010	0.974	-0.533 - -0.116	0.912 - 1.205	0.968 - 0.996	488.54	<0.0001
1969	15	-0.271	1.025	0.975	-0.536 - -0.134	0.923 - 1.206	0.968 - 0.996	507.51	<0.0001
1970	15	-0.334	1.070	0.985	-0.536 - -0.232	0.991 - 1.207	0.980 - 0.996	870.48	<0.0001
1971	16	-0.369	1.092	0.995	-0.505 - -0.315	1.049 - 1.184	0.986 - 0.998	2599.40	<0.0001
1972	16	-0.341	1.070	0.993	-0.518 - -0.294	1.026 - 1.191	0.989 - 0.997	1910.92	<0.0001
1973	16	-0.330	1.061	0.989	-0.525 - -0.256	1.001 - 1.197	0.986 - 0.996	1284.12	<0.0001
1974	16	-0.362	1.083	0.990	-0.547 - -0.287	1.022 - 1.210	0.986 - 0.996	1365.97	<0.0001
1975	16	-0.398	1.106	0.991	-0.562 - -0.327	1.047 - 1.217	0.988 - 0.996	1576.63	<0.0001
1976	16	-0.407	1.112	0.991	-0.562 - -0.336	1.053 - 1.217	0.988 - 0.996	1603.02	<0.0001
1977	16	-0.432	1.129	0.993	-0.571 - -0.369	1.074 - 1.222	0.988 - 0.997	1862.45	<0.0001
1978	16	-0.455	1.144	0.993	-0.579 - -0.394	1.091 - 1.227	0.989 - 0.997	2025.55	<0.0001
1979	16	-0.476	1.156	0.994	-0.590 - -0.419	1.106 - 1.234	0.990 - 0.997	2199.67	<0.0001
1980	16	-0.495	1.168	0.994	-0.608 - -0.441	1.119 - 1.243	0.990 - 0.997	2329.87	<0.0001
1981	16	-0.489	1.164	0.993	-0.606 - -0.431	1.113 - 1.243	0.989 - 0.997	2116.99	<0.0001
1982	16	-0.501	1.170	0.993	-0.621 - -0.441	1.118 - 1.250	0.989 - 0.997	2047.91	<0.0001
1983	16	-0.510	1.175	0.993	-0.633 - -0.449	1.123 - 1.255	0.989 - 0.997	2029.29	<0.0001
1984	16	-0.512	1.175	0.993	-0.633 - -0.450	1.123 - 1.255	0.989 - 0.997	2003.96	<0.0001
1985	16	-0.513	1.176	0.993	-0.630 - -0.452	1.124 - 1.254	0.989 - 0.997	1982.37	<0.0001
1986	16	-0.524	1.183	0.993	-0.642 - -0.461	1.130 - 1.260	0.989 - 0.997	1982.02	<0.0001
1987	16	-0.533	1.187	0.993	-0.645 - -0.470	1.135 - 1.261	0.989 - 0.997	1985.02	<0.0001
1988	17	-0.360	1.066	0.991	-0.613 - -0.301	1.018 - 1.239	0.989 - 0.997	1609.45	<0.0001
1989	17	-0.384	1.082	0.989	-0.629 - -0.314	1.026 - 1.248	0.987 - 0.996	1396.21	<0.0001
1990	18	-0.541	1.187	0.996	-0.616 - -0.450	1.120 - 1.238	0.992 - 0.999	4202.99	<0.0001

1991	18	-0.533	1.178	0.998	-0.636	-0.517	1.157	-1.250	0.993	-0.999	7140.61	<0.0001
1992	18	-0.526	1.171	0.996	-0.652	-0.477	1.132	-1.259	0.992	-0.999	4264.79	<0.0001
1993	18	-0.544	1.181	0.996	-0.672	-0.485	1.136	-1.269	0.992	-0.999	3654.77	<0.0001
1994	19	-0.568	1.194	0.998	-0.664	-0.537	1.169	-1.263	0.994	-0.999	7508.82	<0.0001
1995	19	-0.488	1.136	0.991	-0.674	-0.396	1.070	-1.267	0.989	-0.998	1964.08	<0.0001
1996	19	-0.496	1.140	0.990	-0.688	-0.396	1.070	-1.275	0.987	-0.998	1738.81	<0.0001
1997	20	-0.337	1.030	0.981	-0.633	-0.236	0.958	-1.235	0.974	-0.996	928.94	<0.0001
1998	21	-0.378	1.059	0.990	-0.550	-0.325	1.017	-1.177	0.985	-0.995	1954.49	<0.0001
1999	22	-0.514	1.153	0.994	-0.600	-0.442	1.099	-1.210	0.991	-0.998	3298.77	<0.0001
2000	23	-0.456	1.108	0.995	-0.530	-0.421	1.076	-1.163	0.992	-0.997	4354.77	<0.0001
2001	24	-0.595	1.209	0.989	-0.723	-0.497	1.130	-1.302	0.983	-0.998	1936.12	<0.0001
2002	24	-0.648	1.242	0.992	-0.757	-0.559	1.174	-1.318	0.987	-0.999	2751.57	<0.0001

modello: $\log_{10}L = \log_{10}(\alpha) + \beta \log_{10}D$					<i>Picea abies</i> 03113				fusto			
anno	n	$\alpha_{RMA}$	$\beta_{RMA}$	$R^2$	$\alpha_{RMA}$ , 95% l.c.		$\beta_{RMA}$ , 95% l.c.		$R^2$ , 95% l.c.	F	p	
1872	5	-0.390	1.177	0.986	-1.111	-0.281	1.045	-1.733	0.979	-1.000	206.59	0.0007
1873	5	-0.418	1.198	0.984	-1.165	-0.290	1.052	-1.769	0.976	-1.000	180.28	0.0009
1874	5	-0.432	1.209	0.981	-1.208	-0.287	1.050	-1.798	0.972	-1.000	158.96	0.0011
1875	5	-0.479	1.244	0.982	-1.223	-0.321	1.082	-1.804	0.974	-1.000	165.52	0.0010
1876	5	-0.522	1.276	0.982	-1.241	-0.351	1.106	-1.813	0.974	-1.000	167.74	0.0010
1877	5	-0.568	1.308	0.983	-1.264	-0.385	1.133	-1.824	0.975	-1.000	170.55	0.0010
1878	5	-0.629	1.352	0.983	-1.288	-0.434	1.171	-1.837	0.976	-1.000	175.67	0.0009
1879	5	-0.683	1.390	0.983	-1.316	-0.476	1.203	-1.853	0.975	-1.000	176.15	0.0009
1880	5	-0.723	1.417	0.983	-1.322	-0.506	1.226	-1.853	0.974	-1.000	176.93	0.0009
1881	5	-0.722	1.415	0.983	-1.305	-0.499	1.221	-1.840	0.972	-1.000	172.58	0.0010
1882	5	-0.753	1.434	0.983	-1.364	-0.521	1.235	-1.878	0.971	-1.000	170.64	0.0010
1883	5	-0.787	1.455	0.983	-1.389	-0.549	1.255	-1.895	0.970	-1.000	175.35	0.0009
1884	6	-0.328	1.115	0.975	-1.331	-0.210	0.984	-1.844	0.968	-1.000	157.07	0.0002
1885	6	-0.331	1.118	0.974	-1.327	-0.206	0.981	-1.838	0.965	-1.000	146.96	0.0003
1886	6	-0.381	1.155	0.974	-1.365	-0.239	1.011	-1.866	0.966	-1.000	149.16	0.0003
1887	6	-0.384	1.157	0.972	-1.380	-0.228	1.006	-1.870	0.962	-1.000	136.53	0.0000
1888	6	-0.419	1.183	0.972	-1.417	-0.256	1.028	-1.895	0.962	-1.000	139.08	0.0003
1889	6	-0.470	1.219	0.974	-1.425	-0.295	1.061	-1.896	0.964	-1.000	147.06	0.0003
1890	6	-0.532	1.262	0.976	-1.438	-0.352	1.103	-1.900	0.966	-1.000	162.07	0.0002
1891	6	-0.571	1.289	0.977	-1.442	-0.397	1.132	-1.896	0.968	-1.000	171.30	0.0002
1892	6	-0.621	1.322	0.978	-1.473	-0.432	1.161	-1.913	0.968	-1.000	178.53	0.0002
1893	6	-0.658	1.347	0.979	-1.490	-0.472	1.191	-1.922	0.970	-1.000	188.19	0.0002
1894	6	-0.696	1.373	0.981	-1.477	-0.516	1.219	-1.914	0.970	-1.000	203.79	0.0001
1895	6	-0.732	1.396	0.982	-1.511	-0.535	1.242	-1.927	0.971	-1.000	223.05	0.0001
1896	6	-0.745	1.406	0.983	-1.486	-0.554	1.251	-1.916	0.971	-1.000	226.96	0.0001
1897	6	-0.773	1.425	0.983	-1.536	-0.572	1.261	-1.946	0.971	-1.000	235.57	0.0001
1898	6	-0.807	1.448	0.984	-1.505	-0.615	1.296	-1.922	0.972	-1.000	247.76	<0.0001
1899	6	-0.830	1.462	0.985	-1.505	-0.638	1.312	-1.919	0.972	-1.000	254.31	<0.0001
1900	7	-0.605	1.304	0.989	-1.263	-0.493	1.204	-1.756	0.976	-1.000	433.42	<0.0001
1901	7	-0.641	1.329	0.989	-1.274	-0.530	1.230	-1.758	0.976	-1.000	449.37	<0.0001
1902	7	-0.668	1.347	0.989	-1.294	-0.553	1.246	-1.776	0.976	-1.000	452.19	<0.0001
1903	7	-0.675	1.352	0.989	-1.304	-0.556	1.249	-1.781	0.977	-0.999	437.63	<0.0001
1904	7	-0.708	1.373	0.989	-1.329	-0.584	1.268	-1.799	0.976	-0.999	436.60	<0.0001
1905	7	-0.735	1.390	0.989	-1.352	-0.610	1.286	-1.810	0.976	-0.999	451.21	<0.0001
1906	7	-0.752	1.401	0.989	-1.366	-0.626	1.297	-1.816	0.976	-0.999	455.64	<0.0001
1907	7	-0.781	1.420	0.990	-1.363	-0.654	1.315	-1.809	0.977	-0.999	471.19	<0.0001
1908	7	-0.814	1.440	0.990	-1.402	-0.687	1.337	-1.837	0.978	-1.000	494.24	<0.0001
1909	7	-0.836	1.454	0.990	-1.414	-0.711	1.354	-1.841	0.978	-1.000	518.81	<0.0001
1910	7	-0.865	1.473	0.991	-1.433	-0.743	1.375	-1.851	0.978	-0.999	541.52	<0.0001

1911	7	-0.898	1.493	0.991	-1.412	-0.778	1.398	-1.835	0.978	-0.999	566.29	<0.0001
1912	7	-0.909	1.499	0.991	-1.420	-0.783	1.402	-1.837	0.977	-0.999	560.76	<0.0001
1913	7	-0.918	1.504	0.991	-1.416	-0.795	1.408	-1.834	0.978	-0.999	543.15	<0.0001
1914	7	-0.948	1.523	0.991	-1.430	-0.828	1.430	-1.841	0.977	-0.999	572.15	<0.0001
1915	7	-0.967	1.533	0.992	-1.427	-0.847	1.442	-1.836	0.976	-0.999	597.70	<0.0001
1916	7	-0.993	1.548	0.992	-1.430	-0.876	1.458	-1.833	0.975	-0.999	611.78	<0.0001
1917	7	-1.010	1.557	0.992	-1.444	-0.890	1.466	-1.840	0.975	-0.999	642.89	<0.0001
1918	7	-1.027	1.566	0.993	-1.434	-0.910	1.479	-1.833	0.975	-0.999	665.27	<0.0001
1919	7	-1.037	1.571	0.992	-1.436	-0.923	1.486	-1.830	0.974	-0.999	659.84	<0.0001
1920	7	-1.049	1.577	0.992	-1.452	-0.935	1.491	-1.838	0.971	-0.999	628.62	<0.0001
1921	8	-0.619	1.288	0.977	-1.292	-0.471	1.172	-1.735	0.970	-0.998	259.50	<0.0001
1922	8	-0.627	1.293	0.978	-1.283	-0.478	1.177	-1.726	0.971	-0.998	268.08	<0.0001
1923	8	-0.660	1.312	0.980	-1.297	-0.510	1.196	-1.732	0.973	-0.998	292.84	<0.0001
1924	8	-0.682	1.325	0.981	-1.283	-0.535	1.212	-1.722	0.974	-0.998	305.38	<0.0001
1925	8	-0.712	1.342	0.982	-1.302	-0.567	1.230	-1.730	0.975	-0.998	328.17	<0.0001
1926	8	-0.735	1.355	0.983	-1.297	-0.592	1.247	-1.720	0.975	-0.998	340.29	<0.0001
1927	8	-0.738	1.356	0.983	-1.292	-0.590	1.243	-1.714	0.975	-0.998	339.34	<0.0001
1928	8	-0.752	1.362	0.983	-1.305	-0.603	1.252	-1.716	0.975	-0.998	346.20	<0.0001
1929	8	-0.754	1.362	0.983	-1.309	-0.607	1.252	-1.719	0.974	-0.998	345.32	<0.0001
1930	8	-0.769	1.371	0.983	-1.304	-0.619	1.258	-1.712	0.973	-0.998	350.41	<0.0001
1931	8	-0.774	1.373	0.983	-1.318	-0.625	1.261	-1.722	0.973	-0.999	346.81	<0.0001
1932	8	-0.773	1.371	0.983	-1.284	-0.620	1.260	-1.701	0.972	-0.999	344.21	<0.0001
1933	8	-0.808	1.392	0.984	-1.349	-0.659	1.282	-1.737	0.971	-0.999	353.39	<0.0001
1934	8	-0.808	1.392	0.984	-1.349	-0.659	1.282	-1.737	0.971	-0.999	370.11	<0.0001
1935	8	-0.812	1.394	0.984	-1.308	-0.664	1.286	-1.711	0.971	-0.999	375.79	<0.0001
1936	8	-0.815	1.395	0.984	-1.325	-0.669	1.289	-1.720	0.971	-0.998	377.29	<0.0001
1937	8	-0.830	1.403	0.985	-1.302	-0.685	1.299	-1.708	0.970	-0.998	386.52	<0.0001
1938	8	-0.841	1.409	0.985	-1.306	-0.691	1.302	-1.710	0.970	-0.999	386.33	<0.0001
1939	8	-0.844	1.411	0.985	-1.326	-0.698	1.308	-1.718	0.970	-0.999	392.67	<0.0001
1940	8	-0.859	1.419	0.985	-1.319	-0.706	1.313	-1.718	0.968	-0.999	391.83	<0.0001
1941	8	-0.873	1.427	0.985	-1.334	-0.720	1.321	-1.724	0.967	-0.999	392.11	<0.0001
1942	8	-0.874	1.428	0.985	-1.342	-0.721	1.321	-1.728	0.968	-0.999	390.06	<0.0001
1943	8	-0.886	1.433	0.985	-1.375	-0.734	1.330	-1.747	0.967	-0.998	388.23	<0.0001
1944	8	-0.895	1.438	0.985	-1.377	-0.739	1.331	-1.749	0.967	-0.999	385.73	<0.0001
1945	8	-0.899	1.440	0.984	-1.411	-0.743	1.334	-1.769	0.965	-0.998	376.86	<0.0001
1946	9	-0.668	1.292	0.986	-1.273	-0.562	1.211	-1.677	0.975	-0.997	502.96	<0.0001
1947	9	-0.687	1.304	0.987	-1.243	-0.581	1.224	-1.656	0.975	-0.997	521.67	<0.0001
1948	9	-0.693	1.307	0.987	-1.269	-0.585	1.226	-1.670	0.974	-0.997	511.52	<0.0001
1949	9	-0.700	1.311	0.986	-1.242	-0.589	1.228	-1.652	0.974	-0.997	504.32	<0.0001
1950	9	-0.694	1.307	0.986	-1.260	-0.582	1.225	-1.660	0.972	-0.997	490.12	<0.0001
1951	9	-0.675	1.296	0.986	-1.253	-0.560	1.211	-1.659	0.971	-0.997	476.60	<0.0001
1952	9	-0.668	1.293	0.986	-1.240	-0.555	1.210	-1.649	0.970	-0.997	475.97	<0.0001
1953	9	-0.665	1.292	0.985	-1.221	-0.552	1.210	-1.637	0.967	-0.997	467.97	<0.0001
1954	9	-0.684	1.303	0.986	-1.176	-0.572	1.221	-1.608	0.966	-0.997	481.50	<0.0001
1955	9	-0.703	1.313	0.986	-1.299	-0.590	1.232	-1.684	0.968	-0.997	490.07	<0.0001
1956	9	-0.719	1.322	0.986	-1.308	-0.605	1.242	-1.688	0.966	-0.997	499.49	<0.0001
1957	9	-0.734	1.330	0.986	-1.314	-0.619	1.249	-1.689	0.966	-0.997	509.59	<0.0001
1958	9	-0.737	1.332	0.986	-1.188	-0.622	1.251	-1.613	0.965	-0.997	500.55	<0.0001
1959	10	-0.590	1.239	0.987	-1.050	-0.484	1.161	-1.523	0.975	-0.996	592.79	<0.0001
1960	10	-0.603	1.246	0.987	-1.023	-0.493	1.167	-1.508	0.975	-0.996	604.10	<0.0001
1961	10	-0.617	1.254	0.987	-1.060	-0.509	1.175	-1.530	0.975	-0.997	616.15	<0.0001
1962	10	-0.625	1.259	0.987	-1.056	-0.518	1.183	-1.523	0.975	-0.996	609.94	<0.0001
1963	10	-0.636	1.266	0.987	-1.048	-0.528	1.189	-1.520	0.974	-0.997	614.80	<0.0001
1964	10	-0.640	1.268	0.987	-1.078	-0.532	1.190	-1.541	0.974	-0.996	607.96	<0.0001
1965	10	-0.648	1.273	0.987	-1.060	-0.536	1.192	-1.526	0.975	-0.996	612.45	<0.0001

1966	11	-0.575	1.227	0.989	-0.888 - -0.488	1.160 - 1.420	0.978 - 0.996	799.13	<0.0001
1967	11	-0.579	1.229	0.989	-0.884 - -0.489	1.161 - 1.419	0.977 - 0.996	788.51	<0.0001
1968	11	-0.569	1.224	0.988	-0.889 - -0.474	1.154 - 1.419	0.976 - 0.996	759.41	<0.0001
1969	11	-0.572	1.226	0.988	-0.888 - -0.480	1.156 - 1.423	0.977 - 0.996	760.76	<0.0001
1970	11	-0.573	1.227	0.988	-0.877 - -0.478	1.156 - 1.414	0.977 - 0.996	765.82	<0.0001
1971	11	-0.588	1.235	0.989	-0.887 - -0.496	1.167 - 1.420	0.977 - 0.996	790.14	<0.0001
1972	12	-0.556	1.215	0.991	-0.762 - -0.480	1.152 - 1.341	0.981 - 0.997	1064.02	<0.0001
1973	12	-0.567	1.221	0.991	-0.773 - -0.491	1.160 - 1.347	0.981 - 0.997	1078.39	<0.0001
1974	12	-0.584	1.230	0.991	-0.785 - -0.508	1.170 - 1.354	0.982 - 0.997	1103.99	<0.0001
1975	12	-0.599	1.239	0.991	-0.794 - -0.521	1.178 - 1.360	0.982 - 0.997	1123.96	<0.0001
1976	12	-0.601	1.240	0.991	-0.800 - -0.521	1.178 - 1.363	0.982 - 0.997	1097.17	<0.0001
1977	12	-0.607	1.243	0.991	-0.809 - -0.529	1.183 - 1.367	0.981 - 0.997	118.84	<0.0001
1978	12	-0.618	1.249	0.991	-0.808 - -0.540	1.189 - 1.366	0.982 - 0.997	1142.67	<0.0001
1979	12	-0.631	1.256	0.991	-0.820 - -0.555	1.198 - 1.370	0.982 - 0.997	1161.08	<0.0001
1980	13	-0.614	1.245	0.993	-0.740 - -0.546	1.189 - 1.322	0.985 - 0.998	1541.50	<0.0001
1981	13	-0.618	1.246	0.993	-0.748 - -0.550	1.192 - 1.329	0.985 - 0.998	1514.86	<0.0001
1982	13	-0.633	1.254	0.993	-0.762 - -0.562	1.198 - 1.335	0.985 - 0.998	1527.03	<0.0001
1983	13	-0.641	1.258	0.993	-0.772 - -0.570	1.203 - 1.341	0.985 - 0.998	1513.51	<0.0001
1984	13	-0.642	1.258	0.993	-0.778 - -0.571	1.203 - 1.345	0.985 - 0.998	1499.79	<0.0001
1985	13	-0.642	1.258	0.993	-0.775 - -0.569	1.201 - 1.342	0.985 - 0.998	1482.55	<0.0001
1986	13	-0.652	1.263	0.993	-0.783 - -0.579	1.206 - 1.347	0.985 - 0.998	1488.51	<0.0001
1987	13	-0.658	1.266	0.993	-0.790 - -0.585	1.210 - 1.348	0.985 - 0.998	1476.92	<0.0001
1988	13	-0.668	1.271	0.993	-0.798 - -0.593	1.214 - 1.354	0.985 - 0.998	1461.26	<0.0001
1989	14	-0.619	1.240	0.991	-0.760 - -0.528	1.174 - 1.331	0.985 - 0.997	1370.00	<0.0001
1990	14	-0.638	1.250	0.992	-0.779 - -0.549	1.186 - 1.341	0.986 - 0.997	1402.17	<0.0001
1991	14	-0.656	1.259	0.992	-0.789 - -0.564	1.193 - 1.345	0.986 - 0.997	1425.20	<0.0001
1992	14	-0.670	1.266	0.992	-0.809 - -0.580	1.201 - 1.355	0.986 - 0.997	1435.31	<0.0001
1993	14	-0.687	1.276	0.992	-0.826 - -0.597	1.212 - 1.366	0.986 - 0.997	1426.28	<0.0001
1994	14	-0.703	1.284	0.992	-0.841 - -0.612	1.220 - 1.372	0.986 - 0.997	1443.13	<0.0001
1995	14	-0.711	1.288	0.992	-0.849 - -0.620	1.223 - 1.376	0.986 - 0.997	1462.17	<0.0001
1996	14	-0.725	1.295	0.992	-0.865 - -0.635	1.231 - 1.385	0.987 - 0.997	1500.94	<0.0001
1997	14	-0.729	1.297	0.992	-0.869 - -0.639	1.234 - 1.387	0.986 - 0.997	1472.35	<0.0001
1998	14	-0.736	1.300	0.992	-0.872 - -0.643	1.233 - 1.387	0.986 - 0.997	1443.74	<0.0001
1999	14	-0.751	1.308	0.992	-0.887 - -0.656	1.241 - 1.394	0.986 - 0.997	1449.81	<0.0001
2000	14	-0.760	1.312	0.992	-0.905 - -0.665	1.245 - 1.405	0.986 - 0.997	1425.40	<0.0001
2001	14	-0.770	1.316	0.992	-0.909 - -0.674	1.248 - 1.407	0.986 - 0.997	1421.37	<0.0001
2002	14	-0.779	1.320	0.992	-0.922 - -0.683	1.253 - 1.412	0.986 - 0.997	1419.41	<0.0001

modello: $\log_{10}L = \log_{10}(\alpha) + \beta \log_{10}D$					<i>Picea abies</i> 03113			cimale	
anno	n	$\alpha_{RMA}$	$\beta_{RMA}$	$R^2$	$\alpha_{RMA}, 95\% \text{ l.c.}$	$\beta_{RMA}, 95\% \text{ l.c.}$	$R^2, 95\% \text{ l.c.}$	F	p
1994	5	-0.557	1.159	0.998	-0.643 - -0.510	1.102 - 1.265	0.987 - 1.000	1235.36	<0.0001
1995	5	-0.464	1.018	0.985	-0.648 - -0.392	0.799 - 1.265	0.975 - 1.000	194.93	0.0008
1996	5	-0.459	1.008	0.981	-0.656 - -0.381	0.749 - 1.263	0.967 - 1.000	156.59	0.0011
1997	6	-0.326	0.848	0.975	-0.512 - -0.261	0.641 - 1.100	0.953 - 1.000	156.39	0.0002
1998	7	-0.366	0.924	0.991	-0.421 - -0.328	0.803 - 0.982	0.968 - 1.000	544.63	<0.0001
1999	8	-0.503	1.126	0.979	-0.575 - -0.407	0.969 - 1.308	0.945 - 0.999	280.01	<0.0001
2000	9	-0.454	1.016	0.995	-0.487 - -0.424	0.962 - 1.053	0.980 - 1.000	1536.54	<0.0001
2001	10	-0.580	1.255	0.956	-0.691 - -0.481	1.057 - 1.531	0.922 - 1.000	174.18	<0.0001
2002	10	-0.640	1.298	0.967	-0.734 - -0.538	1.117 - 1.597	0.943 - 0.999	233.94	<0.0001

## APPENDICE IIc. Serie radiali.

Serie radiali parametri della regressione tra la distanza dalla cima ( $L$ ) ed il diametro del fusto ( $D$ ). si indicano con:  $a_{0RMA}$ : intercetta della retta;  $\alpha_{0RMA}$ : coefficiente angolare della retta.

pianta	altezza	H%	n	$a_{0RMA}$	$\alpha_{0RMA}$	$R^2$	$a_{0RMA}$ , 95% l.c.	$\alpha_{0RMA}$ , 95% l.c.	$R^2$ , 95%l.c.
03113	1.00	2.15	190	-0.081	0.961	0.995	-0.102 - -0.062	0.948 - 0.975	0.993 - 0.996
03113	4.66	10.01	177	-0.374	1.148	0.994	-0.409 - -0.336	1.123 - 1.171	0.992 - 0.995
03113	8.98	19.29	156	-0.187	1.017	0.997	-0.223 - -0.167	1.004 - 1.041	0.996 - 0.998
03113	13.23	28.41	147	-0.173	0.977	0.990	-0.272 - -0.116	0.940 - 1.043	0.988 - 0.995
03113	17.48	37.54	136	-0.258	1.016	0.996	-0.321 - -0.216	0.988 - 1.058	0.995 - 0.998
03113	21.74	46.69	125	-0.217	0.969	0.996	-0.248 - -0.200	0.957 - 0.990	0.995 - 0.998
03113	25.94	55.71	113	-0.345	1.029	0.997	-0.384 - -0.317	1.009 - 1.057	0.996 - 0.999
03113	30.18	64.82	98	-0.241	0.950	0.995	-0.289 - -0.206	0.924 - 0.987	0.993 - 0.997
03113	34.39	73.86	78	-0.281	0.960	0.997	-0.317 - -0.259	0.943 - 0.991	0.995 - 0.998
03113	37.02	79.51	63	-0.243	0.929	0.998	-0.266 - -0.220	0.908 - 0.949	0.996 - 0.999
03113	38.08	81.79	57	-0.227	0.907	0.998	-0.243 - -0.215	0.896 - 0.922	0.997 - 0.999
03113	39.13	84.04	52	-0.203	0.874	0.994	-0.257 - -0.181	0.854 - 0.925	0.991 - 0.997
03113	40.19	86.32	49	-0.381	1.021	0.996	-0.400 - -0.360	1.000 - 1.042	0.993 - 0.998
03113	41.24	88.57	43	-0.315	0.979	0.996	-0.326 - -0.288	0.948 - 0.993	0.993 - 0.998
03113	42.29	90.83	37	-0.147	0.743	0.991	-0.181 - -0.114	0.706 - 0.780	0.982 - 0.997
03113	43.35	93.11	32	-0.298	0.892	0.988	-0.345 - -0.243	0.815 - 0.957	0.984 - 0.997
03122	0.35	1.02	161	-0.018	0.891	0.997	-0.039 - -0.003	0.881 - 0.905	0.996 - 0.998
03122	4.55	13.31	129	-0.173	1.028	0.998	-0.202 - -0.154	1.015 - 1.048	0.997 - 0.999
03122	8.80	25.75	119	-0.412	1.162	0.998	-0.448 - -0.374	1.135 - 1.187	0.997 - 0.999
03122	17.25	50.47	95	-0.474	1.167	0.999	-0.493 - -0.459	1.155 - 1.181	0.998 - 0.999
03122	22.51	65.86	73	-0.337	1.019	0.997	-0.383 - -0.301	0.988 - 1.058	0.996 - 0.999
03122	24.21	70.83	65	-0.306	0.987	0.996	-0.365 - -0.266	0.950 - 1.041	0.994 - 0.999
03122	28.45	83.24	44	-0.344	0.981	0.994	-0.406 - -0.315	0.949 - 1.051	0.991 - 0.997
03122	29.20	85.43	40	-0.406	1.069	0.998	-0.418 - -0.394	1.054 - 1.085	0.996 - 0.999
03122	31.49	92.13	24	-0.252	0.828	0.997	-0.274 - -0.235	0.804 - 0.867	0.994 - 0.999
03122	32.06	93.80	20	-0.349	0.896	0.997	-0.358 - -0.330	0.862 - 0.911	0.992 - 0.999
06003	0.75	2.34	176	-0.104	0.942	0.988	-0.131 - -0.064	0.915 - 0.962	0.984 - 0.991
06003	5.00	15.60	148	-0.085	0.916	0.996	-0.106 - -0.054	0.893 - 0.930	0.994 - 0.997
06003	9.17	28.61	134	-0.055	0.857	0.994	-0.104 - -0.014	0.828 - 0.892	0.992 - 0.996
06003	13.46	42.00	119	-0.230	0.940	0.991	-0.264 - -0.169	0.896 - 0.965	0.988 - 0.993
06003	17.62	54.98	104	-0.236	0.903	0.994	-0.253 - -0.212	0.884 - 0.917	0.990 - 0.996
06003	21.87	68.24	85	-0.375	0.950	0.989	-0.390 - -0.349	0.928 - 0.967	0.979 - 0.993
06003	26.09	81.40	56	-0.427	0.895	0.957	-0.456 - -0.356	0.824 - 0.926	0.903 - 0.978
06003	27.11	84.59	49	-0.288	0.683	0.915	-0.339 - -0.243	0.617 - 0.748	0.788 - 0.958
06003	28.10	87.68	44	-0.541	0.796	0.774	-0.679 - -0.455	0.659 - 0.969	0.614 - 0.874
06003	28.82	89.92	39	-1.331	1.447	0.908	-1.483 - -1.268	1.290 - 1.659	0.848 - 0.948
07001	3.53	10.25	186	-0.338	0.991	0.968	-0.445 - -0.280	0.954 - 1.058	0.956 - 0.977
07001	7.78	22.59	170	-0.424	1.062	0.975	-0.541 - -0.362	1.020 - 1.140	0.969 - 0.981
07001	12.07	35.05	154	-0.399	1.026	0.973	-0.532 - -0.325	0.975 - 1.119	0.967 - 0.979
07001	16.29	47.30	131	-0.583	1.147	0.994	-0.653 - -0.528	1.106 - 1.200	0.992 - 0.998
07001	20.54	59.64	104	-0.541	1.076	0.972	-0.722 - -0.453	1.010 - 1.215	0.967 - 0.987
07001	24.81	72.04	74	-0.032	0.839	0.671	-0.186 - 0.108	0.715 - 0.977	0.485 - 0.824
07001	27.47	79.76	56	-0.398	0.961	0.997	-0.428 - -0.367	0.932 - 0.990	0.996 - 0.998
07001	30.09	87.37	39	-0.418	0.900	0.993	-0.464 - -0.394	0.874 - 0.950	0.988 - 0.996
07001	30.58	88.79	36	-0.531	1.045	0.991	-0.572 - -0.461	0.961 - 1.090	0.987 - 0.996
07001	31.16	90.48	31	-0.311	0.788	0.982	-0.403 - -0.284	0.751 - 0.904	0.974 - 0.990
07001	31.70	92.04	28	-0.522	0.962	0.997	-0.539 - -0.515	0.946 - 0.990	0.992 - 0.999
07001	32.23	93.58	23	-0.280	1.002	0.293	-0.445 - -0.017	0.674 - 1.226	0.004 - 0.780

06001	0.88	4.25	130	-0.206	1.023	0.987	-0.280	-0.152	0.976	-1.086	0.982	-0.993
06001	3.45	16.67	104	-0.008	0.861	0.988	-0.083	-0.035	0.823	-0.925	0.985	-0.995
06001	7.68	37.12	79	-0.283	1.034	0.999	-0.297	-0.272	1.023	-1.046	0.998	-0.999
06001	10.60	51.23	68	-0.192	0.909	0.998	-0.225	-0.174	0.891	-0.939	0.997	-0.999
06001	13.24	63.99	58	-0.435	1.136	0.986	-0.459	-0.380	1.078	-1.168	0.975	-0.992
06001	15.86	76.66	40	-0.159	0.816	0.995	-0.178	-0.141	0.791	-0.839	0.991	-0.997
06001	16.40	79.27	37	-0.263	0.917	0.995	-0.277	-0.253	0.898	-0.941	0.990	-0.997
06001	16.94	81.88	34	-0.491	1.155	0.990	-0.510	-0.454	1.096	-1.195	0.984	-0.995
06001	17.47	84.44	28	-0.570	1.138	0.977	-0.694	-0.514	1.072	1.306	0.964	-0.989
06001	18.02	87.10	21	-0.220	0.840	0.987	-0.234	-0.165	0.749	0.873	0.964	-0.995
06002	1.38	4.92	155	-0.228	1.095	0.996	-0.257	-0.198	1.073	-1.117	0.994	-0.997
06002	4.17	14.86	142	-0.177	1.006	0.994	-0.239	-0.128	0.970	-1.054	0.992	-0.997
06002	8.41	29.97	127	-0.173	0.966	0.988	-0.251	-0.134	0.936	-1.026	0.984	-0.991
06002	12.68	45.19	113	-0.352	1.044	0.978	-0.485	-0.266	0.974	-1.151	0.971	-0.990
06002	15.30	54.53	101	-0.346	1.036	0.988	-0.397	-0.322	1.014	-1.079	0.982	-0.992
06002	17.95	63.97	86	-0.354	1.025	0.995	-0.389	-0.323	0.996	-1.058	0.993	-0.997
06002	22.21	79.15	54	-0.185	0.877	0.996	-0.214	-0.172	0.862	-0.910	0.993	-0.998
06002	23.27	82.93	46	-0.198	0.940	0.989	-0.219	-0.185	0.921	-0.972	0.976	-0.994
06002	23.80	84.82	43	-0.239	0.951	0.992	-0.254	-0.226	0.931	-0.974	0.982	-0.996
06002	24.33	86.71	39	-0.229	0.955	0.983	-0.246	-0.200	0.914	-0.986	0.958	-0.992
06002	24.99	89.06	34	-0.084	0.798	0.978	-0.109	-0.029	0.706	-0.840	0.957	-0.988
06002	26.20	93.37	27	-0.152	0.729	0.979	-0.173	-0.092	0.603	-0.767	0.955	-0.991
06002	26.26	93.59	27	-0.205	0.812	0.982	-0.230	-0.139	0.673	-0.857	0.962	-0.993
06002	26.32	93.80	26	-0.135	0.668	0.989	-0.145	-0.106	0.605	-0.685	0.955	-0.997
06002	26.37	93.98	26	-0.158	0.707	0.985	-0.175	-0.112	0.606	-0.741	0.955	-0.995
06002	26.42	94.16	25	-0.074	0.547	0.986	-0.093	-0.060	0.520	-0.587	0.930	-0.995
06002	26.47	94.33	25	-0.115	0.584	0.986	-0.129	-0.088	0.525	-0.611	0.936	-0.995
06002	26.52	94.51	25	-0.174	0.671	0.985	-0.201	-0.148	0.617	-0.731	0.930	-0.995
06002	26.57	94.69	23	-0.058	0.466	0.956	-0.096	-0.041	0.432	-0.560	0.901	-0.981
06002	26.62	94.87	23	-0.080	0.485	0.955	-0.122	-0.063	0.450	-0.588	0.898	-0.981
06002	26.67	95.05	21	-0.112	0.504	0.955	-0.160	-0.093	0.467	-0.621	0.899	-0.982

### APPENDICE III. Alburno e durame.

altezza: altezza della rotella sul fusto (m)

N\_tot: numero di anelli totali del raggio esaminato; n\_HW: numero di anelli duramizzati nel raggio; n\_SW: numero di anelli di alburno nel raggio; D: diametro della rotella (cm); SA: area dell'alburno (cm<sup>2</sup>); N\_cell: numero di cellule calcolate negli anelli di alburno;

N\_EW: numero di cellule primaticce calcolate per gli anelli di alburno

anno	altezza	N	HW	SW	D	SA	Ncell	N <sub>EW</sub>
2006	1.38	176	154	22	39.371	360.76	.	.
2006	1.38	176	145	31	39.371	419.88	.	.
2006	1.38	176	153	23	39.371	366.25	.	.
2006	4.17	163	144	19	41.462	352.22	36524402	15397488
2006	4.17	163	146	17	41.462	344.7	35205106	14640648
2006	4.17	163	145	18	41.462	349.756	35800637	14925467
2006	4.17	163	139	24	41.462	421.2	45511002	18558298
2006	8.41	148	123	25	36.26	292.88	14574752	7253222
2006	8.41	148	120	28	36.26	328.412	22679883	9584534
2006	8.41	148	133	15	36.26	205.606	7739944	4110089
2006	8.41	148	122	26	36.26	303.64	15810655	7884048
2006	12.68	134	113	21	32.944	203.759	.	.
2006	12.68	134	110	24	32.944	227.73	.	.
2006	12.68	134	110	24	32.944	227.73	.	.
2006	12.68	134	104	30	32.944	302.516	.	.
2006	15.3	122	98	24	28.734	172.24	15437757	7461118
2006	15.3	122	98	24	28.734	172.24	15437757	7461118
2006	15.3	122	102	20	28.734	145.735	13171578	6134987
2006	15.3	122	98	24	28.734	172.24	15437757	7461118
2006	17.95	107	82	25	24.878	135.033	.	.
2006	17.95	107	82	25	24.878	135.033	.	.
2006	17.95	107	85	22	24.878	114.55	.	.
2006	17.95	107	81	26	24.878	143.746	.	.
2006	22.21	75	49	26	14.801	51.906	5071978	342414.8
2006	22.21	75	48	27	14.801	54.62	5257851	3602200
2006	22.21	75	50	25	14.801	49.563	4861990	3358892
2006	22.21	75	52	23	14.801	44.98	4299448	2974171
2006	23.27	67	43	24	12.14	40.383	.	.
2006	23.27	67	43	24	12.14	40.383	.	.
2006	23.27	67	42	25	12.14	42.613	.	.
2006	23.27	67	47	20	12.14	33.942	.	.
2006	23.8	64	38	26	11.158	35.116	3784835	2578660
2006	23.8	64	38	26	11.158	35.116	3784835	2578660
2006	23.8	64	39	25	11.158	33.449	3667854	2493583
2006	23.8	64	40	24	11.158	31.472	3532095	2401854
2006	24.33	60	32	28	10.058	35.228	4240017	2773044
2006	24.33	60	34	26	10.058	31.4	3794281	2497717
2006	24.33	60	35	25	10.058	29.764	3587292	2373524
2006	24.33	60	36	24	10.058	28.126	3388447	2242084
2006	24.99	55	36	19	7.708	13.175	.	.
2006	24.99	55	28	27	7.708	20.007	.	.
2006	24.99	55	27	28	7.708	21.611	.	.
1987	26.2	29	10	19	4.56	11.684	.	.
1987	26.2	29	11	18	4.56	10.697	.	.
1987	26.2	29	10	19	4.56	11.684	.	.
1987	26.2	29	11	18	4.56	10.697	.	.
1987	26.26	29	11	18	4.348	8.984	1429433	942627
1987	26.26	29	11	18	4.348	8.984	1429433	942627
1987	26.26	29	11	18	4.348	8.984	1429433	942627
1987	26.26	29	11	18	4.348	8.984	1429433	942627
1987	26.32	28	10	18	4.174	8.559	.	.
1987	26.32	28	9	19	4.174	9.491	.	.
1987	26.32	28	10	18	4.174	8.559	.	.
1987	26.32	28	9	19	4.174	9.491	.	.
1987	26.37	28	10	18	4.194	9.24	.	.
1987	26.37	28	9	19	4.194	10.01	.	.
1987	26.37	28	10	18	4.194	9.24	.	.
1987	26.37	28	10	18	4.194	9.24	.	.
1987	26.42	27	9	18	3.892	8.25	.	.
1987	26.42	27	9	18	3.892	8.25	.	.
1987	26.42	27	9	18	3.892	8.25	.	.
1987	26.42	27	9	18	3.892	8.25	.	.
1987	26.47	27	9	18	4.08	9.28	.	.
1987	26.47	27	9	18	4.08	9.28	.	.
1987	26.52	27	9	18	4.002	8.42	.	.
1987	26.52	27	9	18	4.002	8.42	.	.
1987	26.52	27	9	18	4.002	8.42	.	.
1987	26.57	25	8	17	3.651	7.55	.	.
1987	26.57	25	8	17	3.651	7.55	.	.
1987	26.57	25	9	16	3.651	7.13	.	.
1987	26.57	25	10	15	3.651	6.63	.	.



1987	26.62	25	7	18	3.656	8.066	.	.
1987	26.62	25	7	18	3.656	8.066	.	.
1987	26.62	25	8	17	3.656	7.5	.	.
1987	26.62	25	8	17	3.656	7.5	.	.
1987	26.67	25	6	19	3.515	8.51	.	.
1987	26.67	25	7	18	3.515	7.9	.	.
1987	26.67	25	7	18	3.515	7.9	.	.
1987	26.67	25	8	17	3.515	7.31	.	.
1987	26.72	25	6	19	3.39	7.37	.	.
1987	26.72	25	7	18	3.39	6.79	.	.
1987	26.72	25	7	18	3.39	6.79	.	.
1987	26.72	25	8	17	3.39	6.39	.	.
1987	26.77	25	6	19	3.47	7.77	.	.
1987	26.77	25	7	18	3.47	7.19	.	.
1987	26.77	25	8	17	3.47	6.65	.	.
1987	26.82	25	6	19	3.582	8.41	.	.
1987	26.82	25	6	19	3.582	8.41	.	.
1987	26.82	25	7	18	3.582	7.79	.	.
1987	26.82	25	7	18	3.582	7.79	.	.
1987	26.87	25	6	19	3.593	8.57	.	.
1987	26.87	25	6	19	3.593	8.57	.	.
1987	26.87	25	7	18	3.593	7.99	.	.
1987	26.87	25	7	18	3.593	7.99	.	.
1987	26.92	24	5	19	2.891	.	.	.
1987	26.92	24	7	17	2.891	.	.	.
1987	26.92	24	6	18	2.891	.	.	.
1987	26.92	24	7	17	2.891	.	.	.
1987	26.97	24	5	19	2.762	.	.	.
1987	26.97	24	7	17	2.762	.	.	.
1987	26.97	24	6	18	2.762	.	.	.
1987	26.97	24	7	17	2.762	.	.	.
1987	27.02	24	6	18	2.74	.	.	.
1987	27.02	24	7	17	2.74	.	.	.
1987	27.02	24	6	18	2.74	.	.	.
1987	27.02	24	6	18	2.74	.	.	.
1987	27.06	24	6	18	2.611	.	.	.
1987	27.06	24	7	17	2.611	.	.	.
1987	27.06	24	6	18	2.611	.	.	.
1987	27.06	24	6	18	2.611	.	.	.
1987	27.12	24	8	16	2.58	.	.	.
1987	27.12	24	8	16	2.58	.	.	.
1987	27.12	24	8	16	2.58	.	.	.
1987	27.18	23	5	18	2.454	.	.	.
1987	27.18	23	6	17	2.454	.	.	.
1987	27.18	23	6	17	2.454	.	.	.
1987	27.18	23	6	17	2.454	.	.	.
1987	27.23	23	5	18	2.273	.	.	.
1987	27.23	23	6	17	2.273	.	.	.
1987	27.23	23	7	16	2.273	.	.	.
1987	27.23	23	7	16	2.273	.	.	.
1987	27.28	23	5	18	2.215	.	.	.
1987	27.28	23	6	17	2.215	.	.	.
1987	27.28	23	6	17	2.215	.	.	.
1987	27.28	23	7	16	2.215	.	.	.
1987	27.33	23	5	18	2.388	.	.	.
1987	27.33	23	6	17	2.388	.	.	.
1987	27.33	23	7	16	2.388	.	.	.
1987	27.33	23	7	16	2.388	.	.	.
1987	27.37	23	4	19	2.469	.	.	.
1987	27.37	23	5	18	2.469	.	.	.
1987	27.37	23	5	18	2.469	.	.	.
1987	27.37	23	5	18	2.469	.	.	.
1987	27.45	18	4	14	1.658	.	.	.
1987	27.45	18	3	15	1.658	.	.	.
1987	27.45	18	3	15	1.658	.	.	.
1987	27.45	18	5	13	1.658	.	.	.
1987	27.5	18	4	14	1.576	1.732	490238.1	322456.9
1987	27.5	18	4	14	1.576	1.732	490238.1	322456.9
1987	27.5	18	4	14	1.576	1.732	490238.1	322456.9
1987	27.5	18	4	14	1.576	1.732	490238.1	322456.9
1987	27.545	18	4	14	1.546	1.684	.	.
1987	27.545	18	4	14	1.546	1.684	.	.
1987	27.545	18	4	14	1.546	1.684	.	.
1987	27.545	18	4	14	1.546	1.684	.	.
1987	27.595	18	6	12	1.296	0.975	.	.
1987	27.595	18	6	12	1.296	0.975	.	.
1987	27.595	18	6	12	1.296	0.975	.	.
1987	27.595	18	6	12	1.296	0.975	.	.

## APPENDICE IV. Correlazioni clima-accrescimento.

Coefficienti di correlazione standardizzati per ogni rotella del fusto

### Precipitazioni

specie	<i>Picea abies</i> Karst.						
rotella	0312201	0312202	0312203	0312204	0312205	0312206	
H (m)	34.180	34.180	34.180	34.180	34.180	34.180	
Hrot (m)	0.350	4.550	8.800	17.250	22.510	24.210	media
GIU	0.300	0.705	-0.007	0.892	1.150	1.607	0.774
LUG	4.973	0.812	0.382	1.879	1.209	2.136	1.898
AGO	1.057	-0.330	-0.349	-0.055	-0.312	0.992	0.167
SET	1.583	-0.606	-0.223	0.200	-0.120	0.679	0.252
OTT	0.441	-1.298	-0.616	-0.177	-0.448	-0.325	-0.404
NOV	-0.276	-0.109	-0.077	0.063	-0.995	-1.307	-0.450
DIC	0.494	-0.001	0.390	-0.119	-0.052	-0.314	0.066
Gen	-1.033	-2.327	-1.749	-2.231	-2.053	-2.495	-1.981
Feb	-0.826	0.950	0.065	-0.683	-0.291	-0.507	-0.215
Mar	-0.681	0.245	0.551	0.628	0.976	0.936	0.443
Apr	-0.316	-0.528	-1.384	-1.224	-1.594	-1.805	-1.142
Mag	-0.508	-2.089	-0.960	-1.990	-1.549	-1.993	-1.515
Giu	-2.254	-3.333	-5.865	-4.256	-3.085	-2.336	-3.522
Lug	-1.875	0.092	-1.279	-2.266	-1.073	-0.932	-1.222
Ago	-1.174	-0.245	-0.417	-0.564	0.125	-0.437	-0.452
Set	-3.601	1.646	0.862	0.520	0.753	0.416	0.099
Ott	-1.302	-0.256	-0.224	-0.298	-0.755	-0.389	-0.537

specie	<i>Picea abies</i> Karst.							
rotella	0600300	0600301	0600302	0600303	0600304	0600305	0600306	
H (m)	32.051	32.051	32.051	32.051	32.051	32.051	32.051	
Hrot (m)	0.751	4.996	9.166	13.463	17.623	21.872	26.085	average
GIU	1.697	2.656	1.871	2.217	1.280	0.730	0.926	1.625
LUG	0.291	1.874	1.534	4.057	3.089	2.798	2.257	2.271
AGO	0.283	0.524	1.772	1.756	2.555	2.206	1.080	1.454
SET	0.252	-0.071	0.081	0.196	-0.576	-0.400	0.286	-0.033
OTT	-0.456	0.351	0.983	0.550	-0.172	-1.145	-0.248	-0.020
NOV	0.681	-0.728	-0.203	-0.434	-0.062	0.518	0.496	0.038
DIC	-0.858	1.590	1.491	1.270	0.423	-0.905	-1.509	0.215
Gen	-0.120	-1.669	-1.978	-1.023	-0.666	-0.079	-1.287	-0.975
Feb	0.927	-0.678	-0.081	0.529	-0.327	-0.075	-1.151	-0.122
Mar	0.243	-0.815	0.429	-0.110	-0.746	-0.200	-0.460	-0.237
Apr	-2.142	0.504	-0.308	0.658	1.862	2.080	0.939	0.513
Mag	-0.239	-2.290	-1.974	-2.562	-2.187	-2.215	-0.722	-1.741
Giu	0.489	-1.501	-2.100	-0.974	-1.081	-0.462	-0.485	-0.873
Lug	-0.992	-2.227	-2.817	-1.688	-1.251	-1.142	-0.975	-1.585
Ago	-0.982	-1.699	-0.688	-0.646	-1.028	-0.861	-0.248	-0.879
Set	-1.530	0.751	0.562	-0.179	-0.266	0.542	0.542	0.060
Ott	-0.526	-0.096	-0.856	-0.366	0.774	0.764	0.764	0.065

specie	<i>Picea abies</i> Karst.								
rotella	0700100	0700101	0700102	0700103	0700104	0700105	0700106	0700107	
H (m)	34.440	34.440	34.440	34.440	34.440	34.440	34.440	34.440	
Hrot (m)	0.850	3.530	7.780	12.070	16.290	20.540	24.810	27.470	average
GIU	2.063	1.072	1.856	0.934	2.348	0.517	0.623	1.228	1.330
LUG	1.368	1.352	0.811	0.120	-0.456	-1.171	-0.776	0.950	0.275
AGO	-0.077	-0.396	0.596	0.624	0.648	1.127	1.456	0.432	0.551
SET	0.351	-0.985	0.396	0.002	-0.309	-0.144	-0.162	2.014	0.145
OTT	0.485	1.065	0.579	-0.087	-0.949	-1.297	-1.199	0.366	-0.129
NOV	1.039	-0.715	0.580	1.193	1.197	0.615	0.556	1.034	0.687
DIC	0.415	1.020	2.362	0.503	1.354	0.309	0.220	-0.090	0.761
Gen	-0.348	-1.029	-1.267	-0.853	-1.330	-0.510	-0.695	-0.236	-0.783
Feb	0.551	0.751	0.059	-0.509	0.453	0.761	0.872	-0.872	0.258
Mar	-1.836	-0.648	-1.003	-1.259	-0.584	1.633	1.936	0.032	-0.216
Apr	0.943	-0.288	-0.341	0.159	-0.569	-0.548	-0.468	0.162	-0.119
Mag	-3.632	-2.517	-2.135	-1.039	-2.957	-1.084	-1.327	-2.571	-2.158
Giu	-2.857	0.184	0.603	-1.537	0.919	1.386	1.746	0.643	0.136
Lug	-3.111	-0.964	-1.319	-1.555	-0.727	-0.154	-0.188	-0.125	-1.018
Ago	-1.933	-2.348	0.008	-3.333	-1.804	-1.832	-1.672	-1.016	-1.741
Set	-1.247	0.999	0.150	-2.524	-0.295	-0.944	-1.600	-1.600	-0.882
Ott	-0.957	-0.661	0.358	-0.358	1.031	1.226	1.880	1.880	0.550

specie	<i>Pinus cembra</i> L.					
rotella	0600101	0600102	0600103	0600104	0600105	
H (m)	20.690	20.690	20.690	20.690	20.690	
Hrot (m)	0.876	3.448	7.676	10.603	13.238	average
GIU	2.235	0.413	0.166	-0.043	-0.492	0.456
LUG	0.512	0.251	0.042	-0.378	-1.269	-0.169
AGO	-0.972	-1.734	-1.449	-1.839	-0.370	-1.273
SET	-1.186	-0.073	-0.219	-1.678	-0.284	-0.688
OTT	-1.154	-2.174	-0.936	-2.242	-0.637	-1.428
NOV	0.613	1.263	0.725	1.691	1.371	1.133
DIC	0.309	0.062	1.197	0.118	1.330	0.603
Gen	-0.402	-0.431	-0.552	-0.142	0.683	-0.169
Feb	2.242	1.794	2.309	2.014	2.804	2.232
Mar	0.856	0.587	0.230	1.758	1.938	1.074
Apr	-1.396	-0.822	-1.321	-0.966	-1.699	-1.241
Mag	-2.338	-2.539	-1.498	-2.367	-0.897	-1.928
Giu	1.222	1.696	0.739	-0.042	0.983	0.920
Lug	1.261	0.100	-0.591	-1.135	0.386	0.004
Ago	-0.737	-1.699	-1.872	-2.539	-2.652	-1.900
Set	1.008	0.442	-0.145	-0.147	-0.471	0.137
Ott	0.357	-0.818	-1.170	-1.715	-1.617	-0.993

specie	<i>Larix decidua</i> Mill.								
rotella	0600201	0600202	0600203	0600204	0600205	0600206	0600207	0600208	
H (m)	28.060	28.060	28.060	28.060	28.060	28.060	28.060	28.060	
Hrot (m)	1.380	4.170	8.410	12.680	15.300	17.950	22.210	23.270	average
GIU	1.301	1.507	0.783	1.382	1.365	0.770	-0.163	0.734	0.960
LUG	0.868	0.224	0.593	0.480	0.486	0.775	0.838	0.334	0.575
AGO	-0.486	-1.625	0.073	-0.273	-0.271	-0.263	0.656	0.874	-0.164
SET	-0.967	-1.905	-1.178	-1.123	-1.025	0.118	-0.769	-0.362	-0.901
OTT	-0.803	-1.766	-0.878	-1.104	-0.390	-0.609	-0.598	-0.475	-0.828
NOV	0.409	0.462	0.348	0.510	0.056	0.484	0.163	-0.718	0.214
DIC	1.110	0.895	2.064	1.584	1.400	0.827	1.203	1.100	1.273
Gen	0.470	0.106	0.358	0.857	0.828	0.310	1.543	0.651	0.640
Feb	0.642	1.080	1.249	0.753	0.815	1.268	1.485	1.087	1.048
Mar	0.885	0.167	0.198	0.413	0.839	0.465	0.164	-0.117	0.377
Apr	-1.753	-0.676	-1.047	-1.719	-1.650	-1.291	-0.338	-1.288	-1.220
Mag	-3.606	-4.242	-4.367	-4.397	-2.453	-1.824	-0.979	-1.298	-2.896
Giu	-1.953	-2.018	-2.655	-2.884	-3.479	-5.024	-3.601	-4.203	-3.227
Lug	-0.520	-0.040	-0.330	0.074	-0.275	0.187	0.395	1.064	0.070
Ago	-1.191	-1.672	-2.794	-2.074	-0.841	-0.385	-1.764	-0.103	-1.353
Set	0.764	0.246	0.671	0.799	0.778	0.111	-0.203	0.818	0.498
Ott	-0.071	0.004	-0.222	-0.352	-0.494	0.032	-0.471	-0.337	-0.239

## Temperatura

specie	<i>Picea abies</i> Karst.						
rotella	0312201	0312202	0312203	0312204	0312205	0312206	
H (m)	34.180	34.180	34.180	34.180	34.180	34.180	
Hrot (m)	0.350	4.550	8.800	17.250	22.510	24.210	<i>average</i>
GIU	0.824	-0.782	-0.121	-0.097	-0.528	-0.670	-0.229
LUG	-2.457	-0.682	-0.859	-2.119	-1.780	-2.674	-1.762
AGO	-2.525	-0.656	-0.608	-0.598	-0.866	-2.436	-1.282
SET	-0.294	0.124	1.073	0.741	0.530	0.120	0.382
OTT	0.546	-0.468	-0.287	-0.692	-1.513	-1.228	-0.607
NOV	0.750	-0.339	-0.235	-0.047	-0.668	-0.743	-0.214
DIC	0.258	-0.163	-0.987	0.167	-0.104	0.293	-0.089
Gen	-0.033	-0.042	-0.303	-0.461	-0.747	-0.708	-0.382
Feb	0.649	0.743	0.526	-0.436	-0.794	-0.585	0.017
Mar	-0.401	-1.307	-3.777	-1.924	-3.047	-2.706	-2.194
Apr	0.688	-0.469	0.316	0.150	-0.109	-0.035	0.090
Mag	0.978	2.122	0.862	2.142	1.888	2.017	1.668
Giu	0.612	3.668	4.200	4.072	2.791	1.830	2.862
Lug	2.796	3.310	3.066	5.123	3.971	3.031	3.550
Ago	2.632	0.138	1.262	1.939	1.029	1.595	1.432
Sett	1.348	-0.757	0.223	1.049	0.352	1.429	0.607
Ott	0.965	-0.378	0.474	-0.062	-0.774	-0.315	-0.015

specie	<i>Picea abies</i> Karst.							
rotella	0600300	0600301	0600302	0600303	0600304	0600305	0600306	
H (m)	32.051	32.051	32.051	32.051	32.051	32.051	32.051	
Hrot (m)	0.751	4.996	9.166	13.463	17.623	21.872	26.085	<i>average</i>
GIU	-2.597	-0.543	-0.255	-0.464	0.220	-0.168	-0.388	-0.600
LUG	-2.675	-2.264	-1.298	-1.661	-1.074	-0.352	-0.279	-1.372
AGO	-0.349	-1.201	-2.122	-3.201	-2.433	-1.964	0.210	-1.580
SET	0.456	-0.061	-0.285	-0.909	-1.118	-1.635	-0.150	-0.529
OTT	0.136	-0.580	0.344	0.399	-0.432	-1.059	-2.128	-0.474
NOV	-0.729	0.914	0.745	1.190	1.141	0.796	-0.203	0.551
DIC	-0.196	3.497	1.866	0.995	0.582	-0.770	-0.663	0.759
Gen	-0.996	0.645	-0.018	0.527	0.702	-0.299	-0.218	0.049
Feb	-0.214	0.452	0.726	0.554	-0.328	-0.685	-2.818	-0.330
Mar	-0.053	-0.563	-0.339	-0.123	-1.143	-0.450	-0.400	-0.439
Apr	0.806	-0.189	-0.351	-0.741	-0.414	-0.112	1.504	0.072
Mag	-0.321	1.658	1.528	2.844	3.472	4.938	3.724	2.549
Giu	-0.940	1.412	1.373	1.037	-0.721	-0.296	-0.886	0.140
Lug	0.021	1.822	2.488	1.641	1.563	1.911	2.067	1.645
Ago	-0.068	1.237	0.282	-0.004	0.166	0.867	0.527	0.430
Sett	0.781	0.766	0.811	1.080	0.881	1.014	1.014	0.907
Ott	1.058	-0.010	0.533	1.007	1.667	0.543	0.543	0.763

specie	<i>Picea abies</i> Karst.								
rotella	0700100	0700101	0700102	0700103	0700104	0700105	0700106	0700107	
H (m)	34.440	34.440	34.440	34.440	34.440	34.440	34.440	34.440	
Hrot (m)	0.850	3.530	7.780	12.070	16.290	20.540	24.810	27.470	<i>average</i>
GIU	-0.644	-0.263	0.759	0.777	-0.312	0.655	0.857	0.111	0.243
LUG	-1.152	-1.721	0.034	-0.104	0.841	0.935	2.239	-0.278	0.099
AGO	-0.911	-0.383	-0.959	-0.630	-0.397	0.891	0.458	-0.608	-0.317
SET	-0.708	-0.413	-0.982	-0.021	-1.212	-0.291	-0.153	-1.594	-0.672
OTT	0.461	0.381	-1.611	-0.680	-1.477	-2.303	-2.308	-2.459	-1.250
NOV	0.263	-1.507	-0.087	0.900	0.022	-0.260	-0.565	-1.426	-0.333
DIC	0.541	1.896	1.462	1.093	0.575	0.576	-0.239	0.222	0.766
Gen	-0.415	0.516	0.400	1.764	0.108	-0.695	-0.407	-2.053	-0.098
Feb	0.668	1.020	0.225	1.602	0.256	0.026	-0.543	-0.046	0.401
Mar	-1.015	-0.943	-0.183	-0.933	-1.086	0.176	-0.421	0.693	-0.464
Apr	-0.444	-0.877	-0.469	-0.150	-0.254	1.572	0.721	0.322	0.053
Mag	1.010	0.503	1.683	0.430	2.094	1.550	1.187	1.585	1.255
Giu	1.140	-0.096	-0.018	-0.181	-0.253	-0.298	-0.257	0.759	0.100
Lug	1.236	1.334	1.341	1.932	0.764	0.671	0.183	-0.390	0.884
Ago	1.409	2.004	2.003	2.950	1.676	1.804	1.617	2.600	2.008
Sett	0.536	0.482	0.917	0.628	0.894	1.045	2.158	2.158	1.102
Ott	1.143	-0.188	0.349	0.986	-0.390	-0.588	-0.291	-0.291	0.091

specie	<i>Pinus cembra</i> L.					
rotella	0600101	0600102	0600103	0600104	0600105	
H (m)	20.690	20.690	20.690	20.690	20.690	
Hrot (m)	0.876	3.448	7.676	10.603	13.238	average
GIU	-0.473	0.254	0.524	-0.154	0.619	0.154
LUG	-1.053	0.307	0.136	-0.827	-0.469	-0.381
AGO	0.091	0.613	0.497	0.593	0.085	0.376
SET	0.541	-0.156	0.444	1.218	1.216	0.653
OTT	-0.652	-0.924	0.142	0.836	2.241	0.328
NOV	-0.292	-1.192	-1.609	-0.342	-0.555	-0.798
DIC	-1.023	-1.205	-0.813	-1.191	0.237	-0.799
Gen	-0.846	-1.242	-1.348	-0.863	0.162	-0.827
Feb	0.553	0.515	2.022	0.194	2.571	1.171
Mar	-1.406	-1.641	-0.989	-2.611	0.089	-1.312
Apr	-0.243	0.049	0.741	-0.370	-0.117	0.012
Mag	2.358	1.650	0.515	0.702	-1.469	0.751
Giu	0.334	1.209	0.945	1.013	-0.228	0.655
Lug	0.174	0.706	0.909	1.632	-1.056	0.473
Ago	1.504	4.545	4.243	4.873	1.867	3.406
Sett	-0.396	0.752	0.770	0.221	0.691	0.408
Ott	-2.133	-3.552	-1.588	-4.376	-1.880	-2.706

specie	<i>Larix decidua</i> Mill.								
rotella	0600201	0600202	0600203	0600204	0600205	0600206	0600207	0600208	
H (m)	28.060	28.060	28.060	28.060	28.060	28.060	28.060	28.060	
Hrot (m)	1.380	4.170	8.410	12.680	15.300	17.950	22.210	23.270	average
GIU	0.018	-0.463	1.182	0.477	0.194	0.109	0.605	0.148	0.284
LUG	-1.920	-2.052	-1.140	-1.816	-1.140	-1.065	-1.538	-1.581	-1.532
AGO	-1.033	-0.111	-0.918	-0.955	-0.988	-1.699	-2.825	-2.965	-1.437
SET	1.402	0.720	1.601	0.711	1.198	0.693	-0.325	0.181	0.773
OTT	1.203	1.110	1.063	0.848	0.998	2.072	1.551	1.485	1.291
NOV	0.785	0.505	1.785	1.159	1.454	0.945	0.911	0.728	1.034
DIC	-1.737	-1.682	-0.299	-0.911	-1.490	-0.906	-0.432	-0.707	-1.021
Gen	-0.212	-0.735	0.856	0.527	0.227	0.149	1.098	0.807	0.340
Feb	-0.681	0.922	0.616	0.198	-0.327	0.070	1.009	0.671	0.310
Mar	-2.994	-1.771	-2.324	-3.099	-3.265	-3.371	-2.726	-2.368	-2.740
Apr	-1.065	-0.761	-1.261	-0.900	-0.916	-1.164	-1.390	-1.362	-1.102
Mag	0.604	0.419	0.033	0.198	0.071	-0.179	-0.752	-0.385	0.001
Giu	3.659	4.184	2.720	3.400	3.896	4.300	1.481	2.440	3.260
Lug	1.050	0.404	0.700	0.286	0.506	-0.303	-0.355	-0.137	0.269
Ago	2.593	2.083	1.965	1.955	1.267	0.981	1.041	-0.541	1.418
Sett	1.672	0.824	-0.057	0.572	0.901	1.553	0.797	0.396	0.832
Ott	-1.918	-1.679	-1.738	-1.962	-1.109	0.302	1.366	1.687	-0.631

## Temperatura massima

specie	<i>Picea abies</i> Karst.						
rotella	0312201	0312202	0312203	0312204	0312205	0312206	
H (m)	34.180	34.180	34.180	34.180	34.180	34.180	
Hrot (m)	0.350	4.550	8.800	17.250	22.510	24.210	average
GIU	0.686	-1.233	-0.252	-0.164	-1.200	-1.128	-0.548
LUG	-2.958	-0.758	-0.642	-1.790	-2.072	-3.244	-1.911
AGO	-1.426	-0.444	-0.678	-0.076	-0.577	-2.246	-0.908
SETT	-0.043	0.009	1.006	0.892	0.285	-0.052	0.349
OTT	0.596	0.262	0.052	-0.195	-0.942	-0.632	-0.143
NOV	1.164	-0.179	-0.110	0.976	0.251	0.429	0.422
DIC	0.300	0.824	-0.278	1.188	0.597	0.814	0.574
Gen	0.391	0.752	0.777	1.009	0.271	0.782	0.664
Feb	1.315	0.611	0.573	0.758	0.074	0.362	0.615
Mar	-0.291	-0.869	-2.764	-1.218	-1.680	-1.509	-1.388
Apr	1.277	0.177	0.849	0.797	0.685	1.002	0.798
Mag	0.639	1.588	0.621	1.622	1.599	1.810	1.313
Giu	0.915	3.236	5.149	3.817	2.686	1.877	2.947
Lug	3.201	2.477	3.296	4.277	3.194	2.287	3.122
Ago	2.771	-0.054	1.029	1.659	0.816	1.340	1.260
Sett	1.592	-0.936	0.142	0.801	-0.058	1.265	0.468
Ott	1.148	-1.369	-0.373	-0.865	-0.709	-0.618	-0.464

specie	<i>Picea abies</i> Karst.							
rotella	0600300	0600301	0600302	0600303	0600304	0600305	0600306	
H (m)	32.051	32.051	32.051	32.051	32.051	32.051	32.051	
Hrot (m)	0.751	4.996	9.166	13.463	17.623	21.872	26.085	<i>average</i>
GIU	-2.261	-0.732	-0.403	-0.698	0.198	0.197	-0.064	<i>-0.538</i>
LUG	-2.620	-2.285	-1.399	-2.291	-0.632	-0.677	-0.387	<i>-1.470</i>
AGO	-0.236	-0.852	-1.798	-2.424	-1.433	-1.404	0.109	<i>-1.148</i>
SETT	0.336	0.439	-0.115	-0.417	-0.807	-0.851	-0.390	<i>-0.258</i>
OTT	0.673	0.001	0.202	1.099	0.515	0.481	-1.673	<i>0.185</i>
NOV	-1.072	3.010	2.043	2.721	0.628	0.576	-0.854	<i>1.008</i>
DIC	-0.014	3.285	1.507	0.608	-0.259	-0.203	-0.453	<i>0.639</i>
Gen	-0.358	1.666	1.126	1.432	0.994	0.989	1.123	<i>0.996</i>
Feb	-0.036	1.737	1.091	0.712	0.001	0.001	-1.030	<i>0.354</i>
Mar	-0.366	-0.843	-0.937	-0.509	0.045	0.049	0.588	<i>-0.282</i>
Apr	1.648	0.307	0.318	-0.223	0.273	0.290	2.008	<i>0.660</i>
Mag	-0.282	1.414	1.004	1.919	3.242	3.939	3.861	<i>2.157</i>
Giu	-1.040	1.001	1.019	0.635	-0.077	-0.071	-0.376	<i>1.156</i>
Lug	0.119	1.570	2.225	1.272	1.617	1.689	2.071	<i>1.509</i>
Ago	-0.545	1.662	0.232	0.248	1.333	1.218	0.673	<i>0.689</i>
Sett	0.244	1.086	0.975	1.679	1.882	0.648	0.648	<i>1.023</i>
Ott	0.474	-0.238	0.131	0.422	0.389	-0.298	-0.298	<i>0.083</i>

specie	<i>Picea abies</i> Karst.								
rotella	0700100	0700101	0700102	0700103	0700104	0700105	0700106	0700107	
H (m)	34.440	34.440	34.440	34.440	34.440	34.440	34.440	34.440	
Hrot (m)	0.850	3.530	7.780	12.070	16.290	20.540	24.810	27.470	<i>average</i>
GIU	-1.222	-1.079	-0.359	0.097	-1.690	-1.372	-0.214	-0.542	<i>-0.798</i>
LUG	-1.228	-2.153	-0.383	-0.360	0.082	1.704	1.571	-0.370	<i>-0.142</i>
AGO	-0.838	-0.328	-1.003	-0.427	-0.765	-1.372	-0.178	-0.431	<i>-0.668</i>
SETT	-0.699	0.129	-1.022	0.427	-1.499	1.703	-0.719	-1.698	<i>-0.422</i>
OTT	0.241	-0.456	-1.968	0.032	-0.248	-1.372	-0.426	-1.698	<i>-0.737</i>
NOV	-0.273	-0.077	-0.460	-0.017	-0.815	1.703	-0.838	-2.051	<i>-0.354</i>
DIC	0.008	1.605	0.636	1.226	0.027	-1.372	-0.925	-0.856	<i>0.044</i>
Gen	-0.543	0.687	0.924	2.598	0.842	-1.372	0.379	-0.971	<i>0.318</i>
Feb	0.538	1.566	0.958	2.375	1.077	1.712	-0.532	0.610	<i>1.038</i>
Mar	-1.620	-1.166	-0.047	-0.986	-1.187	-1.037	-0.459	0.799	<i>-0.713</i>
Apr	-0.421	0.034	0.005	0.237	0.405	1.712	0.485	0.195	<i>0.331</i>
Mag	1.173	0.716	2.697	0.764	3.503	-1.037	1.186	1.997	<i>1.375</i>
Giu	0.723	0.157	0.041	0.069	-0.709	1.712	-0.467	0.477	<i>0.251</i>
Lug	1.521	1.290	1.672	2.998	0.777	-1.037	0.352	-0.435	<i>0.892</i>
Ago	1.491	2.378	1.959	3.068	2.027	1.712	2.230	2.544	<i>2.176</i>
Sett	0.529	-0.178	0.501	0.850	0.733	-1.037	1.882	1.882	<i>0.645</i>
Ott	1.260	0.010	0.465	1.279	-0.455	1.712	-0.934	-0.934	<i>0.300</i>

specie	<i>Pinus cembra</i> L.					
rotella	0600101	0600102	0600103	0600104	0600105	
H (m)	20.690	20.690	20.690	20.690	20.690	
Hrot (m)	0.876	3.448	7.676	10.603	13.238	<i>average</i>
GIU	-1.169	-0.564	-0.143	-0.598	0.389	<i>-0.417</i>
LUG	-1.360	0.057	-0.065	-0.949	-0.638	<i>-0.591</i>
AGO	-0.101	0.110	-0.141	0.241	-0.326	<i>-0.043</i>
SETT	0.568	-0.258	0.459	1.320	1.099	<i>0.638</i>
OTT	0.428	0.038	0.471	1.582	2.156	<i>0.935</i>
NOV	-0.688	-1.785	-1.319	-0.299	-0.311	<i>-0.880</i>
DIC	-0.439	-0.788	-0.758	-0.038	-0.061	<i>-0.417</i>
Gen	-0.986	-1.655	-2.045	-1.428	-0.684	<i>-1.359</i>
Feb	0.232	-0.224	0.560	-0.582	-0.499	<i>-0.102</i>
Mar	-1.576	-2.263	-2.183	-3.753	-1.378	<i>-2.231</i>
Apr	0.532	-0.151	0.455	-0.472	-0.377	<i>-0.003</i>
Mag	2.508	1.463	0.142	0.127	-1.334	<i>0.581</i>
Giu	0.227	0.769	0.404	0.154	-0.913	<i>0.128</i>
Lug	-0.077	0.418	0.675	1.378	-0.990	<i>0.281</i>
Ago	1.656	3.700	3.088	3.604	1.376	<i>2.685</i>
Sett	-0.938	0.037	-0.061	-0.474	0.613	<i>-0.164</i>
Ott	-1.306	-1.518	-0.788	-1.563	-0.991	<i>-1.233</i>

specie	<i>Larix decidua</i> Mill.								
rotella	0600201	0600202	0600203	0600204	0600205	0600206	0600207	0600208	
H (m)	28.060	28.060	28.060	28.060	28.060	28.060	28.060	28.060	
Hrot (m)	1.380	4.170	8.410	12.680	15.300	17.950	22.210	23.270	average
GIU	-0.770	-1.357	0.086	-0.578	-0.710	-0.508	0.244	-0.300	-0.487
LUG	-2.048	-2.147	-1.397	-1.935	-1.145	-1.137	-1.714	-1.698	-1.653
AGO	-1.109	-0.232	-0.945	-1.166	-1.185	-1.762	-2.531	-2.468	-1.425
SETT	0.689	0.443	1.037	0.403	0.215	-0.014	-0.157	-0.346	0.284
OTT	1.184	2.383	1.915	1.770	1.310	2.199	1.929	1.149	1.730
NOV	0.633	0.751	1.669	0.982	1.083	0.685	0.236	0.535	0.822
DIC	-1.994	-1.195	-0.871	-1.436	-2.443	-1.499	-0.717	-1.131	-1.411
Gen	-0.524	-1.075	0.182	-0.208	-0.433	0.027	0.529	0.438	-0.133
Feb	-0.820	0.378	-0.489	-0.678	-1.064	-0.756	-0.730	-0.597	-0.594
Mar	-3.406	-2.488	-2.844	-3.573	-4.041	-3.903	-2.848	-2.265	-3.171
Apr	-0.779	-0.735	-1.338	-0.649	-0.741	-0.901	-1.117	-0.566	-0.853
Mag	0.752	0.297	-0.217	0.076	-0.106	-0.218	-0.829	-0.303	-0.069
Giu	3.490	2.450	2.649	2.653	3.348	3.656	2.092	2.500	2.855
Lug	1.392	0.236	0.930	0.603	1.002	0.075	0.195	0.163	0.575
Ago	2.701	2.132	2.208	2.310	1.569	1.047	1.202	-0.387	1.598
Sett	1.354	0.690	0.427	0.971	1.052	1.657	1.322	0.687	1.020
Ott	-0.536	-1.066	-0.908	-0.788	-0.069	-0.043	0.699	0.986	-0.216

### Temperatura minima

specie	<i>Picea abies</i> Karst.							
rotella	0312201	0312202	0312203	0312204	0312205	0312206		
H (m)	34.180	34.180	34.180	34.180	34.180	34.180		
Hrot (m)	0.350	4.550	8.800	17.250	22.510	24.210	average	
GIU	0.866	-1.788	-0.875	-0.590	-1.004	-1.470		-0.810
LUG	-1.848	-0.672	-1.036	-1.973	-1.493	-2.576		-1.600
AGO	-1.935	-1.323	-1.883	-1.125	-1.548	-3.219		-1.839
SETT	-0.401	-0.607	0.443	0.372	-0.162	-0.120		-0.079
OTT	1.104	-0.448	-0.598	-0.651	-1.685	-1.303		-0.597
NOV	0.454	-0.738	-0.552	-0.164	-0.692	-0.492		-0.364
DIC	0.426	0.768	-0.247	0.898	0.559	0.631		0.506
Gen	-0.044	0.090	0.178	-0.146	-0.537	-0.366		-0.137
Feb	1.181	1.682	1.117	0.110	-0.170	0.005		0.654
Mar	-0.524	-1.379	-3.439	-1.659	-2.417	-1.747		-1.861
Apr	0.431	-1.464	-0.984	-0.611	-1.040	-1.060		-0.788
Mag	0.451	0.369	0.090	0.032	0.374	1.055		0.395
Giu	0.099	1.805	2.292	2.185	1.624	1.038		1.507
Lug	1.650	1.871	1.467	2.616	2.236	1.735		1.929
Ago	1.608	0.230	0.936	1.370	0.607	0.909		0.943
Sett	0.531	-0.430	-0.320	0.608	0.237	1.392		0.336
Ott	0.147	0.299	0.787	0.307	-0.102	0.134		0.262

specie	<i>Picea abies</i> Karst.								
rotella	0600300	0600301	0600302	0600303	0600304	0600305	0600306		
H (m)	32.051	32.051	32.051	32.051	32.051	32.051	32.051		
Hrot (m)	0.751	4.996	9.166	13.463	17.623	21.872	26.085	average	
GIU	-2.202	-1.167	-0.950	-1.216	-0.268	-0.538	-0.122		-0.923
LUG	-2.121	-2.960	-1.694	-2.030	-1.333	-0.470	0.031		-1.511
AGO	-0.443	-1.503	-2.168	-2.709	-1.757	-1.249	0.861		-1.281
SETT	0.462	-0.200	-0.299	-0.721	-1.232	-1.627	0.466		-0.450
OTT	0.178	-0.610	0.617	0.587	-0.188	-0.746	-1.850		-0.287
NOV	-0.513	0.911	0.869	1.316	0.953	0.700	-0.050		0.598
DIC	-0.134	4.202	1.767	1.035	1.430	0.059	-0.049		1.187
Gen	-0.722	0.201	0.028	0.597	0.650	0.346	0.484		0.226
Feb	0.417	0.664	1.477	1.613	0.294	0.172	-1.365		0.467
Mar	0.434	-1.159	-0.500	-0.278	-0.957	-0.029	0.730		-0.251
Apr	0.338	-0.651	-1.022	-1.174	0.119	0.912	2.732		0.179
Mag	-0.244	0.144	0.827	0.890	1.947	2.917	3.365		1.407
Giu	-0.662	0.834	0.872	0.573	-0.991	-0.791	-0.845		-0.144
Lug	0.182	1.001	1.666	0.867	1.379	1.873	2.578		1.364
Ago	-1.200	0.399	-0.439	-0.930	-0.768	-0.087	-0.057		-0.440
Sett	0.882	1.069	1.056	1.025	0.989	1.821	1.821		1.238
Ott	0.262	0.339	0.747	1.234	2.440	0.890	0.890		0.972

specie	<i>Picea abies</i> Karst.								
rotella	0700100	0700101	0700102	0700103	0700104	0700105	0700106	0700107	
H (m)	34.440	34.440	34.440	34.440	34.440	34.440	34.440	34.440	
Hrot (m)	0.850	3.530	7.780	12.070	16.290	20.540	24.810	27.470	average
GIU	-0.044	-0.260	0.508	0.540	-0.582	0.306	0.404	0.244	0.139
LUG	-0.582	-1.094	0.119	0.085	0.480	0.491	1.942	0.050	0.187
AGO	-1.207	-0.270	-1.041	-0.573	-0.868	0.379	0.074	-0.641	-0.518
SETT	-0.730	-0.650	-0.690	0.106	-0.895	-0.669	-0.340	-1.232	-0.638
OTT	0.551	0.467	-0.802	0.187	-1.206	-1.655	-2.015	-1.515	-0.749
NOV	-0.067	-1.425	-0.290	0.401	-0.681	-1.052	-0.888	-1.674	-0.709
DIC	0.799	2.482	1.243	1.263	0.306	0.323	-0.304	-0.049	0.758
Gen	-0.620	-0.094	0.321	1.538	-0.062	-0.844	-0.033	-1.461	-0.157
Feb	1.545	1.271	0.580	1.324	0.537	0.017	-0.567	-0.050	0.582
Mar	-2.962	-1.598	-0.458	-1.680	-1.308	0.383	0.319	0.876	-0.803
Apr	-0.070	-0.730	-0.560	-0.122	-0.849	0.487	0.470	0.795	-0.072
Mag	0.257	0.196	2.082	1.195	1.492	1.005	1.330	1.623	1.147
Giu	1.792	0.631	1.001	0.488	-0.080	-0.900	-0.197	1.048	0.473
Lug	1.677	1.833	2.571	2.694	1.057	0.692	0.705	0.829	1.507
Ago	1.200	2.292	2.403	3.129	1.255	0.733	1.146	2.290	1.806
Sett	0.118	1.363	1.829	0.687	1.422	1.136	2.086	2.086	1.341
Ott	0.798	-0.285	0.329	0.672	-0.773	-1.048	-0.295	-0.295	-0.112

specie	<i>Pinus cembra</i> L.					
rotella	0600101	0600102	0600103	0600104	0600105	
H (m)	20.690	20.690	20.690	20.690	20.690	
Hrot (m)	0.876	3.448	7.676	10.603	13.238	average
GIU	-0.667	-0.285	-0.158	-0.276	0.689	-0.140
LUG	-0.822	0.323	-0.126	-0.893	-0.561	-0.416
AGO	0.016	0.131	0.097	0.324	0.095	0.133
SETT	-0.203	-0.747	-0.262	0.101	0.392	-0.144
OTT	-0.477	-1.061	-0.212	0.090	1.650	-0.002
NOV	-0.069	-1.125	-1.360	-0.271	-0.407	-0.646
DIC	-0.497	-0.806	-0.738	-0.088	0.130	-0.400
Gen	-1.066	-1.045	-1.502	-1.127	-0.104	-0.969
Feb	1.666	1.125	2.703	0.195	1.861	1.510
Mar	-0.380	-1.030	-1.460	-2.018	-0.004	-0.978
Apr	-0.347	0.008	0.160	-0.131	-0.341	-0.130
Mag	2.478	1.920	1.014	-0.149	-1.559	0.741
Giu	0.173	1.619	0.917	0.370	0.103	0.636
Lug	0.321	1.146	0.875	1.147	-0.342	0.630
Ago	1.102	4.249	3.241	2.705	1.224	2.504
Sett	0.131	0.797	0.443	-0.444	0.261	0.237
Ott	-1.878	-2.608	-1.606	-4.005	-1.956	-2.410

specie	<i>Larix decidua</i> Mill.								
rotella	0600201	0600202	0600203	0600204	0600205	0600206	0600207	0600208	
H (m)	28.060	28.060	28.060	28.060	28.060	28.060	28.060	28.060	
Hrot (m)	1.380	4.170	8.410	12.680	15.300	17.950	22.210	23.270	average
GIU	0.307	-0.510	1.049	0.694	1.021	0.915	1.113	0.846	0.679
LUG	-0.693	-1.359	-0.499	-1.304	-0.032	-0.129	-1.035	-0.859	-0.739
AGO	-0.937	-0.639	-0.945	-1.137	-0.869	-1.314	-3.214	-2.463	-1.440
SETT	0.991	-0.397	0.757	-0.070	0.793	0.666	-1.521	-0.428	0.099
OTT	0.608	0.465	0.839	0.339	0.593	1.684	1.646	1.149	0.915
NOV	0.474	-0.010	0.759	0.468	0.767	0.587	0.361	0.591	0.500
DIC	-0.975	-0.720	0.233	-0.329	-0.962	-0.721	0.382	-0.103	-0.400
Gen	-0.427	-1.249	0.388	0.031	-0.031	0.007	0.812	0.623	0.019
Feb	-0.658	0.610	0.363	-0.072	-0.281	0.428	1.176	0.892	0.307
Mar	-2.227	-2.309	-2.401	-3.240	-2.948	-3.474	-2.297	-2.074	-2.621
Apr	-1.374	-1.479	-2.014	-1.195	-1.384	-1.637	-1.941	-2.169	-1.649
Mag	-0.383	-1.205	-1.001	-0.868	-0.399	-0.869	-0.660	-0.708	-0.762
Giu	4.219	2.521	3.127	3.292	3.945	3.782	1.520	2.332	3.092
Lug	0.626	-0.525	-0.125	-0.193	-0.025	-0.650	-0.376	-0.316	-0.198
Ago	1.839	0.966	0.887	1.015	0.827	1.096	0.779	-0.258	0.894
Sett	1.053	0.143	-0.760	-0.091	0.299	0.807	0.159	0.266	0.235
Ott	-1.618	-1.868	-2.057	-2.057	-1.324	0.127	1.180	1.640	-0.747



## Nuvolosità

specie	<i>Picea abies</i> Karst.						
rotella	0312201	0312202	0312203	0312204	0312205	0312206	
H (m)	34.180	34.180	34.180	34.180	34.180	34.180	
Hrot (m)	0.350	4.550	8.800	17.250	22.510	24.210	<i>average</i>
GIU	1.206	1.748	1.663	2.605	2.250	2.583	2.009
LUG	1.394	-1.014	-1.465	-0.577	-0.785	-0.293	-0.457
AGO	-0.009	-1.525	-1.673	-1.558	-2.708	-0.477	-1.325
SET	1.092	-0.941	-1.510	-0.497	-0.210	-0.117	-0.364
OTT	0.732	-1.166	-0.414	0.069	-0.258	-0.029	-0.178
NOV	-1.017	0.301	0.038	-0.358	-0.588	-0.870	-0.416
DIC	-0.733	0.501	0.698	-0.092	0.006	-0.489	-0.018
Gen	-0.670	-2.625	-1.778	-1.797	-1.425	-1.689	-1.664
Feb	-0.707	0.898	0.024	-0.601	-0.183	-0.195	-0.127
Mar	-0.972	-0.257	0.005	-0.225	0.197	0.080	-0.195
Apr	-0.611	-0.791	-1.951	-1.006	-1.269	-1.750	-1.230
Mag	-1.553	-2.414	-1.629	-1.889	-1.799	-1.191	-1.746
Giu	-1.857	-2.765	-3.305	-2.785	-2.914	-3.175	-2.800
Lug	-0.539	1.641	0.474	0.268	1.563	0.514	0.654
Ago	-1.149	0.264	-1.175	-0.848	0.106	0.149	-0.442
Set	-2.010	0.536	-0.541	-0.150	0.055	-0.304	-0.402
Ott	-0.213	0.625	0.751	1.125	0.443	0.786	0.586

specie	<i>Picea abies</i> Karst.							
rotella	0600300	0600301	0600302	0600303	0600304	0600305	0600306	
H (m)	32.051	32.051	32.051	32.051	32.051	32.051	32.051	
Hrot (m)	0.751	4.996	9.166	13.463	17.623	21.872	26.085	<i>average</i>
GIU	1.101	3.711	3.528	2.439	1.841	-0.111	0.340	1.835
LUG	-0.308	-0.954	-0.742	0.963	1.022	2.164	1.539	0.526
AGO	0.100	1.370	1.445	2.420	3.362	2.879	2.185	1.966
SET	0.745	-0.191	0.182	0.223	0.567	0.857	2.095	0.640
OTT	-0.493	0.438	1.048	0.153	-0.384	-1.346	-0.117	-0.100
NOV	0.767	-1.511	-0.928	-1.105	-0.596	0.025	0.069	-0.468
DIC	-0.898	0.441	0.815	0.463	0.296	-0.713	-1.388	-0.141
Gen	0.096	-1.613	-2.059	-1.330	-0.678	-0.070	-0.965	-0.946
Feb	0.968	-0.620	-0.158	0.489	-0.504	-0.532	-0.864	-0.174
Mar	1.052	-1.212	-0.113	-0.590	-1.506	-1.402	-1.141	-0.702
Apr	-2.056	-0.014	-1.398	0.032	0.845	1.615	0.847	-0.019
Mag	-0.403	-1.880	-1.564	-3.143	-3.578	-3.598	-2.291	-2.351
Giu	0.921	-1.501	-1.652	-0.540	-1.367	-1.075	-1.491	-0.958
Lug	-0.630	-1.483	-1.337	-1.046	-0.164	-0.786	-0.074	-0.789
Ago	-0.243	-1.179	-0.558	-0.549	-0.942	-0.888	0.208	-0.593
Set	-0.293	0.583	0.274	-0.311	-1.098	0.177	0.177	-0.070
Ott	-0.140	1.040	0.168	1.065	1.969	1.110	1.110	0.903

specie	<i>Picea abies</i> Karst.								
rotella	0700100	0700101	0700102	0700103	0700104	0700105	0700106	0700107	
H (m)	34.440	34.440	34.440	34.440	34.440	34.440	34.440	34.440	
Hrot (m)	0.850	3.530	7.780	12.070	16.290	20.540	24.810	27.470	<i>average</i>
GIU	2.687	2.545	2.142	2.067	2.148	1.167	-0.060	0.110	1.601
LUG	-0.442	-3.130	-1.499	-1.393	-1.638	-1.289	-0.584	0.203	-1.222
AGO	0.598	-0.687	1.004	0.711	2.439	1.689	2.238	1.372	1.170
SET	1.980	0.252	2.485	1.252	1.895	0.747	1.285	3.297	1.649
OTT	0.480	0.914	0.545	0.071	-1.145	-1.038	-1.441	0.649	-0.121
NOV	0.191	-1.553	0.034	-0.060	0.698	0.249	0.168	0.705	0.054
DIC	0.206	0.932	1.227	-0.423	0.195	1.147	1.114	-0.252	0.518
Gen	-0.517	-1.709	-1.734	-1.420	-2.476	-1.271	-0.934	0.192	-1.234
Feb	0.212	-0.014	-0.399	-0.998	-0.090	-1.256	-0.045	-1.433	-0.503
Mar	-1.215	-0.140	-0.667	-0.928	-0.325	0.586	1.103	0.043	-0.193
Apr	0.954	-0.535	-0.298	-0.022	-0.336	-0.662	0.426	1.299	0.103
Mag	-5.022	-3.399	-2.841	-2.245	-3.220	-0.791	-0.775	-1.691	-2.498
Giu	-0.605	-1.879	-0.582	-1.158	0.262	1.001	1.076	0.342	-0.193
Lug	-0.397	1.548	0.985	-0.084	0.158	-0.861	-0.402	-0.312	0.079
Ago	-2.530	-2.073	-0.700	-3.268	-0.652	-1.089	-1.173	-1.742	-1.653
Set	-0.402	1.920	0.983	-1.423	0.774	-1.144	-0.700	-0.700	-0.087
Ott	-0.454	-0.359	0.281	-0.230	0.890	1.368	1.518	1.518	0.567

specie	<i>Pinus cembra</i> L.					
rotella	0600101	0600102	0600103	0600104	0600105	
H (m)	20.690	20.690	20.690	20.690	20.690	
Hrot (m)	0.876	3.448	7.676	10.603	13.238	<i>average</i>
GIU	1.143	0.018	0.100	0.924	0.117	<i>0.460</i>
LUG	-1.205	-1.635	-1.916	-1.972	-1.574	<i>-1.660</i>
AGO	-1.388	-2.641	-2.055	-4.477	-1.418	<i>-2.396</i>
SET	-0.571	-0.016	-0.738	-1.695	-1.087	<i>-0.821</i>
OTT	-2.354	-1.922	-0.754	-1.690	-0.449	<i>-1.434</i>
NOV	1.432	1.801	0.631	1.330	0.844	<i>1.208</i>
DIC	0.567	0.384	0.976	0.520	1.565	<i>0.803</i>
Gen	-0.602	-0.308	-0.861	-0.322	-0.183	<i>-0.455</i>
Feb	1.645	0.952	1.397	1.279	2.535	<i>1.562</i>
Mar	1.219	0.978	0.646	1.620	2.553	<i>1.403</i>
Apr	-1.105	-0.018	-0.971	-0.391	-0.959	<i>-0.689</i>
Mag	-2.631	-2.091	-1.202	-1.242	0.357	<i>-1.362</i>
Giu	-1.752	-1.094	-1.669	-1.524	0.922	<i>-1.024</i>
Lug	2.441	1.382	0.268	-0.689	-0.416	<i>0.597</i>
Ago	0.441	-0.465	-0.883	-1.571	-3.387	<i>-1.173</i>
Set	1.721	1.715	1.729	1.268	0.650	<i>1.417</i>
Ott	0.360	-0.815	-1.114	-1.419	-1.757	<i>-0.949</i>

specie	<i>Larix decidua</i> Mill.								
rotella	0600201	0600202	0600203	0600204	0600205	0600206	0600207	0600208	
H (m)	28.060	28.060	28.060	28.060	28.060	28.060	28.060	28.060	
Hrot (m)	1.380	4.170	8.410	12.680	15.300	17.950	22.210	23.270	<i>average</i>
GIU	1.571	1.555	2.924	3.274	2.920	1.813	1.994	2.042	<i>2.262</i>
LUG	-0.916	-0.934	-0.469	-1.090	-0.366	0.151	0.124	0.084	<i>-0.427</i>
AGO	-1.599	-2.105	-0.848	-0.930	-1.023	-0.609	-0.568	-0.462	<i>-1.018</i>
SET	-0.323	-1.261	-1.025	-0.511	-0.351	-0.258	-0.920	-0.037	<i>-0.586</i>
OTT	-1.504	-2.726	-1.566	-1.927	-1.395	-1.477	-0.821	-0.922	<i>-1.542</i>
NOV	0.159	0.536	-0.196	0.225	-0.168	0.238	0.032	-0.450	<i>0.047</i>
DIC	1.288	0.857	1.975	1.549	1.487	1.014	1.769	2.008	<i>1.493</i>
Gen	-0.129	-0.473	-0.654	-0.060	-0.007	-0.737	-0.019	-0.713	<i>-0.349</i>
Feb	0.023	-0.021	0.611	0.271	0.585	1.341	1.172	1.408	<i>0.674</i>
Mar	0.975	0.267	0.106	0.697	0.968	0.840	0.493	0.534	<i>0.610</i>
Apr	0.108	0.113	0.266	-0.100	-0.236	-0.360	-0.876	-1.483	<i>-0.321</i>
Mag	-4.857	-3.911	-4.780	-3.774	-3.781	-2.592	-2.463	-2.657	<i>-3.602</i>
Giu	-1.562	-1.236	-1.906	-1.570	-1.303	-1.053	-2.224	-1.784	<i>-1.580</i>
Lug	0.514	0.169	0.008	-0.378	-0.374	-0.088	0.092	0.944	<i>0.111</i>
Ago	-1.895	-2.245	-3.407	-3.103	-1.845	-1.965	-3.099	-1.990	<i>-2.444</i>
Set	-0.055	-0.333	-0.213	0.028	-0.207	-0.373	-1.323	-0.874	<i>-0.419</i>
Ott	0.151	0.455	0.519	0.328	-0.176	0.779	0.248	0.237	<i>0.318</i>

## APPENDICE Va: Relazione tra $Dh$ e $D$ .

Legenda: n: numero di punti disponibili per anno,  $\alpha_{RMA}$ : intercetta,  $\beta_{RMA}$ : coefficiente angolare;  $\alpha_{RMA}$  95%l.c.,  $\beta_{RMA}$  95%l.c.: limiti di confidenza al 95% con *bootstrap* a 10000 replicazioni, F: valore di Fisher calcolato, p: probabilità relativa (95%).

modello: $\log_{10}Dh = \log_{10}(\alpha) + \beta\log_{10}D$					<i>Picea abies</i> Karst.			fusto intero	
anno	n	$\alpha_{RMA}$	$\beta_{RMA}$	$R^2$	$\alpha_{RMA}$ , 95% l.c.	$\beta_{RMA}$ , 95% l.c.	$R^2$ , 95%l.c.	F	p
1968	5	1.370	0.154	0.970	1.348 - 1.476	0.042 - 0.170	0.624 - 1.000	98.09	0.0022
1969	5	1.346	0.170	0.962	1.330 - 1.464	0.052 - 0.200	0.761 - 1.000	76.77	0.0031
1970	6	1.338	0.173	0.994	1.332 - 1.369	0.148 - 0.186	0.956 - 1.000	650.35	<0.0001
1971	6	1.338	0.176	0.983	1.326 - 1.395	0.130 - 0.196	0.978 - 1.000	234.98	0.0001
1972	8	1.349	0.172	0.992	1.339 - 1.376	0.148 - 0.181	0.980 - 0.999	790.15	<0.0001
1973	11	1.339	0.183	0.990	1.332 - 1.348	0.175 - 0.200	0.975 - 0.999	876.77	<0.0001
1974	14	1.328	0.188	0.984	1.317 - 1.338	0.176 - 0.205	0.969 - 0.994	725.10	<0.0001
1975	17	1.337	0.179	0.943	1.319 - 1.355	0.159 - 0.201	0.849 - 0.986	248.79	<0.0001
1976	19	1.331	0.191	0.951	1.318 - 1.347	0.177 - 0.207	0.844 - 0.992	330.64	<0.0001
1977	22	1.326	0.198	0.965	1.314 - 1.338	0.184 - 0.219	0.920 - 0.986	554.99	<0.0001
1978	26	1.358	0.176	0.928	1.343 - 1.371	0.161 - 0.199	0.859 - 0.966	310.60	<0.0001
1979	29	1.330	0.201	0.965	1.321 - 1.339	0.186 - 0.222	0.940 - 0.983	740.52	<0.0001
1980	30	1.320	0.208	0.941	1.307 - 1.334	0.185 - 0.240	0.901 - 0.971	448.69	<0.0001
1981	31	1.314	0.209	0.939	1.300 - 1.326	0.189 - 0.245	0.899 - 0.971	448.48	<0.0001
1982	31	1.319	0.210	0.928	1.303 - 1.333	0.190 - 0.246	0.861 - 0.967	373.58	<0.0001
1983	31	1.309	0.218	0.903	1.288 - 1.325	0.192 - 0.272	0.823 - 0.953	268.74	<0.0001
1984	31	1.332	0.200	0.904	1.308 - 1.347	0.181 - 0.248	0.802 - 0.961	273.81	<0.0001
1985	31	1.324	0.205	0.939	1.305 - 1.336	0.189 - 0.243	0.871 - 0.969	449.58	<0.0001
1986	31	1.314	0.203	0.917	1.289 - 1.328	0.186 - 0.251	0.821 - 0.961	319.58	<0.0001
1987	31	1.325	0.203	0.909	1.300 - 1.339	0.187 - 0.251	0.782 - 0.964	289.87	<0.0001
1988	31	1.316	0.207	0.893	1.288 - 1.332	0.186 - 0.255	0.750 - 0.956	243.07	<0.0001
1989	31	1.323	0.196	0.895	1.295 - 1.339	0.176 - 0.244	0.753 - 0.944	247.17	<0.0001
1990	30	1.314	0.205	0.883	1.279 - 1.333	0.185 - 0.260	0.720 - 0.945	210.38	<0.0001
1991	29	1.259	0.242	0.763	1.208 - 1.290	0.212 - 0.306	0.400 - 0.906	86.85	<0.0001
1992	6	1.389	0.136	0.927	1.319 - 1.463	0.080 - 0.182	0.787 - 1.000	50.49	0.0021
1993	5	1.386	0.146	0.860	1.159 - 1.499	0.050 - 0.296	0.681 - 1.000	18.46	0.0232
1994	5	1.306	0.183	0.755	0.920 - 1.447	0.067 - 0.438	0.656 - 1.000	9.24	0.0559
1995	5	1.434	0.094	0.785	1.365 - 1.652	-0.052 - 0.154	0.257 - 1.000	1.36	0.3272
1996	5	1.305	0.173	0.805	0.997 - 1.437	0.068 - 0.376	0.614 - 1.000	12.37	0.0390
1997	5	1.393	0.121	0.876	1.205 - 1.453	0.071 - 0.244	0.809 - 1.000	21.17	0.0193
1998	5	1.369	0.137	0.794	1.281 - 1.478	0.058 - 0.211	0.336 - 1.000	11.57	0.0424
1999	5	1.434	0.094	0.785	1.365 - 1.652	-0.052 - 0.154	0.257 - 1.000	10.95	0.0454
2000	5	1.326	0.176	0.804	1.137 - 1.469	0.071 - 0.294	0.337 - 1.000	12.30	0.0393
2001	5	1.374	0.136	0.703	1.214 - 1.533	0.021 - 0.237	0.148 - 1.000	7.11	0.0759
2002	5	1.329	0.178	0.840	1.245 - 1.729	-0.085 - 0.243	0.031 - 1.000	15.73	0.0286
2003	5	1.328	0.180	0.911	1.233 - 1.542	0.039 - 0.256	0.861 - 1.000	30.62	0.0116

modello: $\log_{10}Dh = \log_{10}(\alpha) + \beta\log_{10}D$					<i>Picea abies</i> Karst.			fusto	
anno	n	$\alpha_{RMA}$	$\beta_{RMA}$	R <sup>2</sup>	$\alpha_{RMA}$ , 95% l.c.	$\beta_{RMA}$ , 95% l.c.	R <sup>2</sup> , 95%l.c.	F	p
1975	5	1.365	0.159	0.894	1.313 - 1.441	0.098 - 0.205	0.340 - 1.000	25.42	0.0150
1976	5	1.370	0.161	0.894	1.311 - 1.557	0.030 - 0.223	0.219 - 1.000	25.23	0.0152
1977	5	1.404	0.133	0.961	1.325 - 1.439	0.105 - 0.187	0.880 - 1.000	74.82	0.0033
1978	5	1.416	0.130	0.957	1.386 - 1.456	0.100 - 0.154	0.852 - 1.000	66.89	0.0038
1979	5	1.402	0.133	0.937	1.363 - 1.448	0.097 - 0.166	0.658 - 1.000	44.65	0.0068
1980	5	1.441	0.104	0.860	1.388 - 1.501	0.058 - 0.141	0.551 - 1.000	18.40	0.0233
1981	5	1.454	0.095	0.685	1.362 - 1.534	0.040 - 0.155	0.132 - 1.000	6.53	0.0835
1982	5	1.412	0.130	0.921	1.377 - 1.467	0.089 - 0.162	0.374 - 1.000	35.04	0.0096
1983	5	1.468	0.087	0.657	1.422 - 1.745	-0.102 - 0.128	0.230 - 1.000	5.74	0.0962
1984	5	1.395	0.141	0.975	1.366 - 1.425	0.117 - 0.164	0.859 - 1.000	115.41	0.0017
1985	5	1.428	0.122	0.987	1.415 - 1.478	0.088 - 0.134	0.888 - 1.000	228.55	0.0001
1986	5	1.417	0.119	0.971	1.388 - 1.481	0.076 - 0.146	0.723 - 1.000	99.34	0.0021
1987	5	1.387	0.148	0.979	1.359 - 1.435	0.117 - 0.174	0.803 - 1.000	140.99	0.0013
1988	5	1.419	0.124	0.883	1.354 - 1.495	0.074 - 0.183	0.057 - 1.000	22.73	0.0175
1989	5	1.453	0.097	0.946	1.423 - 1.493	0.066 - 0.122	0.736 - 1.000	52.20	0.0055
1990	5	1.410	0.128	0.958	1.351 - 1.464	0.088 - 0.166	0.889 - 1.000	69.21	0.0036
1991	5	1.384	0.145	0.979	1.358 - 1.425	0.114 - 0.165	0.935 - 1.000	139.36	0.0013
1992	5	1.424	0.112	0.889	1.287 - 1.499	0.054 - 0.201	0.739 - 1.000	24.03	0.0163
1993	5	1.386	0.146	0.860	1.159 - 1.499	0.050 - 0.296	0.681 - 1.000	18.46	0.0232
1994	5	1.306	0.183	0.755	0.920 - 1.447	0.067 - 0.438	0.656 - 1.000	9.24	0.0559
1995	5	1.434	0.094	0.785	1.365 - 1.652	-0.052 - 0.154	0.257 - 1.000	1.36	0.3272
1996	5	1.305	0.173	0.805	0.997 - 1.437	0.068 - 0.376	0.614 - 1.000	12.37	0.0390
1997	5	1.393	0.121	0.876	1.205 - 1.453	0.071 - 0.244	0.809 - 1.000	21.17	0.0193
1998	5	1.369	0.137	0.794	1.281 - 1.478	0.058 - 0.211	0.336 - 1.000	11.57	0.0424
1999	5	1.434	0.094	0.785	1.365 - 1.652	-0.052 - 0.154	0.257 - 1.000	10.95	0.0454
2000	5	1.326	0.176	0.804	1.137 - 1.469	0.071 - 0.294	0.337 - 1.000	12.30	0.0393
2001	5	1.374	0.136	0.703	1.214 - 1.533	0.021 - 0.237	0.148 - 1.000	7.11	0.0759
2002	5	1.329	0.178	0.840	1.245 - 1.729	-0.085 - 0.243	0.031 - 1.000	15.73	0.0286
2003	5	1.328	0.180	0.911	1.233 - 1.542	0.039 - 0.256	0.861 - 1.000	30.62	0.0116

modello: $\log_{10}Dh = \log_{10}(\alpha) + \beta\log_{10}D$					<i>Picea abies</i> Karst.			cimale	
anno	n	$\alpha_{RMA}$	$\beta_{RMA}$	R <sup>2</sup>	$\alpha_{RMA}$ , 95% l.c.	$\beta_{RMA}$ , 95% l.c.	R <sup>2</sup> , 95%l.c.	F	p
1973	7	1.348	0.205	0.993	1.335 - 1.354	0.178 - 0.214	0.986 - 1.000	755.51	<0.0001
1974	10	1.330	0.197	0.956	1.313 - 1.338	0.157 - 0.225	0.682 - 0.993	174.18	<0.0001
1975	12	1.331	0.159	0.614	1.315 - 1.342	0.112 - 0.246	0.190 - 0.926	15.94	0.0025
1976	13	1.322	0.181	0.926	1.311 - 1.330	0.157 - 0.213	0.768 - 0.980	136.84	<0.0001
1977	17	1.327	0.216	0.873	1.316 - 1.339	0.180 - 0.257	0.716 - 0.959	102.75	<0.0001
1978	21	1.356	0.173	0.817	1.341 - 1.368	0.147 - 0.225	0.730 - 0.906	78.40	<0.0001
1979	24	1.333	0.226	0.935	1.325 - 1.341	0.207 - 0.250	0.878 - 0.967	334.71	<0.0001
1980	25	1.320	0.234	0.879	1.306 - 1.333	0.190 - 0.281	0.808 - 0.957	167.82	<0.0001
1981	26	1.311	0.234	0.872	1.292 - 1.324	0.196 - 0.293	0.806 - 0.944	163.37	<0.0001
1982	26	1.307	0.257	0.809	1.281 - 1.326	0.208 - 0.328	0.727 - 0.902	101.84	<0.0001
1983	26	1.286	0.286	0.771	1.259 - 1.305	0.238 - 0.352	0.621 - 0.886	80.95	<0.0001
1984	26	1.295	0.293	0.758	1.256 - 1.321	0.236 - 0.378	0.633 - 0.878	75.16	<0.0001
1985	26	1.276	0.283	0.720	1.239 - 1.302	0.231 - 0.357	0.550 - 0.861	80.97	<0.0001
1986	26	1.276	0.283	0.720	1.239 - 1.302	0.232 - 0.356	0.555 - 0.855	61.57	<0.0001
1987	26	1.275	0.302	0.705	1.234 - 1.303	0.246 - 0.387	0.518 - 0.859	57.24	<0.0001
1988	26	1.274	0.284	0.562	1.223 - 1.309	0.219 - 0.380	0.326 - 0.775	30.83	<0.0001
1989	26	1.296	0.244	0.485	1.246 - 1.334	0.178 - 0.335	0.285 - 0.660	22.62	<0.0001
1990	25	1.259	0.297	0.497	1.191 - 1.308	0.221 - 0.410	0.279 - 0.679	22.69	<0.0001
1991	24	1.202	0.332	0.023	1.104 - 1.699	-0.471 - 0.470	0.000 - 0.316	0.51	0.4821

modello: $\log_{10} Dh = \log_{10}(\alpha) + \beta \log_{10} D$					<i>Pinus cembra</i> L.			fusto intero	
anno	n	$\alpha_{\text{RMA}}$	$\beta_{\text{RMA}}$	$R^2$	$\alpha_{\text{RMA}}$ , 95% l.c.	$\beta_{\text{RMA}}$ , 95% l.c.	$R^2$ , 95% l.c.	F	p
1961	5	1.350	0.144	0.968	1.341 - 1.454	0.048 - 0.162	0.543 - 1.000	90.32	0.0025
1962	5	1.317	0.168	0.967	1.307 - 1.441	0.053 - 0.191	0.789 - 1.000	89.13	0.0025
1963	5	1.342	0.140	0.895	1.314 - 1.529	-0.045 - 0.171	0.018 - 1.000	25.47	0.0150
1964	6	1.322	0.157	0.971	1.310 - 1.413	0.073 - 0.177	0.591 - 1.000	135.04	0.0003
1965	6	1.339	0.157	0.975	1.326 - 1.418	0.085 - 0.177	0.904 - 1.000	157.29	0.0002
1966	6	1.359	0.142	0.959	1.348 - 1.417	0.085 - 0.162	0.495 - 0.999	92.82	0.0006
1967	7	1.324	0.173	0.942	1.299 - 1.372	0.122 - 0.205	0.889 - 0.998	80.52	0.0003
1968	7	1.337	0.155	0.873	1.302 - 1.402	0.091 - 0.218	0.746 - 0.995	34.46	0.0020
1969	7	1.344	0.143	0.908	1.313 - 1.386	0.098 - 0.176	0.820 - 0.998	49.44	0.0009
1970	7	1.372	0.129	0.903	1.352 - 1.424	0.081 - 0.152	0.752 - 0.998	46.57	0.0010
1971	7	1.377	0.116	0.952	1.363 - 1.411	0.085 - 0.135	0.886 - 1.000	99.94	0.0002
1972	7	1.372	0.133	0.905	1.342 - 1.415	0.086 - 0.180	0.788 - 0.994	47.65	0.0010
1973	8	1.308	0.200	0.914	1.279 - 1.398	0.104 - 0.238	0.873 - 0.990	63.46	0.0002
1974	8	1.303	0.207	0.840	1.257 - 1.398	0.102 - 0.267	0.781 - 0.998	31.59	0.0014
1975	8	1.325	0.183	0.784	1.276 - 1.425	0.079 - 0.249	0.695 - 0.978	21.72	0.0035
1976	8	1.342	0.152	0.768	1.295 - 1.423	0.070 - 0.213	0.639 - 0.961	19.89	0.0043
1977	8	1.324	0.188	0.715	1.253 - 1.436	0.075 - 0.274	0.590 - 0.968	15.08	0.0081
1978	8	1.366	0.136	0.804	1.323 - 1.422	0.075 - 0.184	0.656 - 0.967	24.61	0.0025
1979	8	1.351	0.156	0.741	1.287 - 1.425	0.078 - 0.223	0.546 - 0.965	17.19	0.0060
1980	9	1.341	0.176	0.916	1.322 - 1.432	0.084 - 0.203	0.623 - 0.983	76.27	<0.0001
1981	9	1.326	0.184	0.843	1.263 - 1.413	0.102 - 0.244	0.450 - 0.976	37.63	0.0005
1982	9	1.340	0.168	0.852	1.284 - 1.417	0.097 - 0.220	0.556 - 0.975	40.44	0.0004
1983	10	1.339	0.173	0.913	1.320 - 1.418	0.094 - 0.202	0.664 - 0.984	83.97	<0.0001
1984	10	1.355	0.159	0.950	1.345 - 1.390	0.125 - 0.178	0.798 - 0.992	153.45	<0.0001
1985	10	1.371	0.144	0.906	1.351 - 1.410	0.099 - 0.173	0.757 - 0.979	77.23	<0.0001
1986	12	1.333	0.180	0.914	1.310 - 1.396	0.111 - 0.210	0.784 - 0.970	106.49	<0.0001
1987	14	1.321	0.184	0.911	1.299 - 1.353	0.149 - 0.215	0.806 - 0.972	122.49	<0.0001
1988	16	1.317	0.181	0.922	1.303 - 1.344	0.151 - 0.206	0.846 - 0.976	165.84	<0.0001
1989	16	1.328	0.166	0.934	1.316 - 1.351	0.140 - 0.186	0.868 - 0.977	199.39	<0.0001
1990	18	1.344	0.164	0.948	1.333 - 1.366	0.137 - 0.182	0.906 - 0.978	293.78	<0.0001
1991	18	1.346	0.192	0.877	1.322 - 1.383	0.150 - 0.229	0.778 - 0.955	113.87	<0.0001
1992	19	1.346	0.170	0.892	1.327 - 1.379	0.130 - 0.200	0.827 - 0.950	140.74	<0.0001
1993	22	1.336	0.183	0.904	1.322 - 1.363	0.148 - 0.209	0.820 - 0.959	187.55	<0.0001
1994	24	1.352	0.171	0.928	1.342 - 1.366	0.152 - 0.189	0.852 - 0.975	282.41	<0.0001
1995	26	1.337	0.172	0.939	1.322 - 1.350	0.157 - 0.196	0.885 - 0.969	366.31	<0.0001
1996	26	1.326	0.178	0.939	1.316 - 1.337	0.163 - 0.199	0.884 - 0.970	369.36	<0.0001
1997	27	1.325	0.180	0.930	1.314 - 1.340	0.161 - 0.199	0.875 - 0.966	334.01	<0.0001
1998	30	1.311	0.205	0.857	1.281 - 1.336	0.170 - 0.250	0.760 - 0.950	168.39	<0.0001
1999	34	1.304	0.216	0.859	1.283 - 1.325	0.187 - 0.250	0.768 - 0.927	194.74	<0.0001
2000	41	1.307	0.200	0.859	1.293 - 1.322	0.180 - 0.229	0.796 - 0.912	237.76	<0.0001
2001	8	1.218	0.226	0.770	1.103 - 1.327	0.143 - 0.332	0.568 - 0.944	20.11	0.0042
2002	8	0.873	0.497	0.587	0.505 - 1.267	0.191 - 0.814	0.383 - 0.941	8.54	0.0266
2003	7	1.309	0.166	0.690	1.199 - 1.386	0.105 - 0.260	0.269 - 0.972	11.11	0.0207
2004	7	1.092	0.303	0.759	0.923 - 1.294	0.122 - 0.419	0.390 - 0.994	15.76	0.0106
2005	7	1.183	0.231	0.739	1.048 - 1.314	0.120 - 0.327	0.307 - 0.971	14.16	0.0131
2006	7	1.251	0.197	0.805	1.160 - 1.352	0.125 - 0.264	0.407 - 0.984	20.66	0.0061

modello: $\log_{10}Dh = \log_{10}(\alpha) + \beta\log_{10}D$					<i>Pinus cembra</i> L.			fusto	
anno	n	$\alpha_{RMA}$	$\beta_{RMA}$	R <sup>2</sup>	$\alpha_{RMA}$ , 95% l.c.	$\beta_{RMA}$ , 95% l.c.	R <sup>2</sup> , 95%l.c.	F	p
1975	5	1.404	0.099	0.878	1.274 - 1.442	0.061 - 0.203	0.332 - 1.000	21.68	0.0187
1976	5	1.413	0.081	0.649	1.182 - 1.454	0.030 - 0.266	0.200 - 1.000	5.55	0.0998
1977	5	1.413	0.096	0.834	1.208 - 1.452	0.058 - 0.264	0.339 - 1.000	15.04	0.0304
1978	5	1.383	0.117	0.771	1.284 - 1.882	-0.280 - 0.200	0.033 - 1.000	10.12	0.0501
1979	5	1.374	0.129	0.813	1.207 - 1.796	-0.207 - 0.267	0.044 - 1.000	13.08	0.0363
1980	5	1.410	0.106	0.670	1.128 - 1.460	0.055 - 0.328	0.147 - 1.000	6.09	0.0903
1981	6	1.415	0.103	0.588	1.223 - 1.471	0.037 - 0.250	0.076 - 0.992	5.71	0.0752
1982	6	1.402	0.111	0.774	1.272 - 1.450	0.069 - 0.217	0.431 - 0.998	13.68	0.0209
1983	6	1.420	0.092	0.752	1.326 - 1.461	0.051 - 0.165	0.420 - 1.000	12.10	0.0254
1984	7	1.397	0.120	0.835	1.357 - 1.444	0.077 - 0.159	0.583 - 1.000	25.31	0.0040
1985	7	1.377	0.136	0.748	1.323 - 1.445	0.070 - 0.193	0.423 - 0.978	14.86	0.0119
1986	7	1.449	0.067	0.646	1.417 - 1.483	0.030 - 0.096	0.230 - 0.970	9.14	0.0293
1987	8	1.350	0.149	0.543	1.286 - 1.430	0.056 - 0.207	0.144 - 0.954	7.13	0.0371
1988	8	1.374	0.117	0.810	1.329 - 1.413	0.075 - 0.162	0.628 - 0.985	25.52	0.0023
1989	8	1.333	0.153	0.789	1.270 - 1.390	0.095 - 0.217	0.623 - 0.989	22.45	0.0032
1990	8	1.377	0.122	0.904	1.348 - 1.410	0.087 - 0.145	0.713 - 0.989	56.35	0.0003
1991	9	1.383	0.144	0.654	1.313 - 1.436	0.087 - 0.210	0.281 - 0.954	13.21	0.0084
1992	9	1.401	0.109	0.596	1.333 - 1.463	0.045 - 0.172	0.359 - 0.905	10.31	0.0148
1993	9	1.414	0.092	0.457	1.360 - 1.470	0.034 - 0.141	0.069 - 0.929	5.90	0.0455
1994	9	1.358	0.152	0.523	1.272 - 1.434	0.072 - 0.230	0.112 - 0.962	7.67	0.0277
1995	9	1.407	0.095	0.323	1.345 - 1.462	0.045 - 0.151	0.009 - 0.831	3.35	0.1100
1996	9	1.387	0.113	0.318	1.300 - 1.496	0.015 - 0.190	0.026 - 0.768	3.27	0.1130
1997	9	1.322	0.168	0.539	1.216 - 1.420	0.087 - 0.251	0.065 - 0.940	8.18	0.0243
1998	9	1.339	0.155	0.420	1.229 - 1.436	0.070 - 0.248	0.062 - 0.833	5.07	0.0590
1999	10	1.377	0.118	0.449	1.280 - 1.445	0.056 - 0.198	0.065 - 0.787	6.53	0.0339
2000	10	1.406	0.080	0.162	1.348 - 1.572	-0.082 - 0.122	0.001 - 0.775	1.54	0.2429

modello: $\log_{10}Dh = \log_{10}(\alpha) + \beta\log_{10}L$					<i>Pinus cembra</i> L.			cimale	
anno	n	$\alpha_{RMA}$	$\beta_{RMA}$	R <sup>2</sup>	$\alpha_{RMA}$ , 95% l.c.	$\beta_{RMA}$ , 95% l.c.	R <sup>2</sup> , 95%l.c.	F	p
1986	5	1.334	0.221	0.927	1.310 - 1.390	0.094 - 0.299	0.879 - 1.000	37.88	0.0086
1987	6	1.341	0.279	0.921	1.322 - 1.363	0.219 - 0.357	0.322 - 1.000	46.75	0.0024
1988	8	1.329	0.290	0.969	1.315 - 1.340	0.257 - 0.330	0.856 - 0.996	186.67	<0.0001
1989	8	1.334	0.249	0.975	1.322 - 1.342	0.227 - 0.294	0.921 - 0.998	234.43	<0.0001
1990	10	1.354	0.223	0.982	1.347 - 1.362	0.205 - 0.255	0.960 - 0.996	427.47	<0.0001
1991	9	1.348	0.328	0.933	1.325 - 1.363	0.271 - 0.432	0.868 - 0.997	97.53	<0.0001
1992	10	1.341	0.264	0.955	1.329 - 1.356	0.227 - 0.308	0.816 - 0.994	169.86	<0.0001
1993	13	1.345	0.254	0.976	1.336 - 1.354	0.237 - 0.273	0.926 - 0.995	454.18	<0.0001
1994	15	1.360	0.218	0.959	1.350 - 1.369	0.198 - 0.248	0.925 - 0.984	304.42	<0.0001
1995	17	1.345	0.194	0.935	1.330 - 1.358	0.173 - 0.258	0.907 - 0.982	217.10	<0.0001
1996	17	1.331	0.206	0.945	1.317 - 1.341	0.183 - 0.253	0.903 - 0.981	256.60	<0.0001
1997	18	1.329	0.228	0.959	1.320 - 1.338	0.207 - 0.254	0.915 - 0.988	376.48	<0.0001
1998	21	1.317	0.264	0.832	1.285 - 1.337	0.214 - 0.353	0.693 - 0.974	94.10	<0.0001
1999	24	1.314	0.295	0.881	1.292 - 1.329	0.262 - 0.345	0.735 - 0.976	163.07	<0.0001
2000	31	1.321	0.258	0.862	1.305 - 1.335	0.231 - 0.295	0.761 - 0.936	181.10	<0.0001

modello: $\log_{10} Dh = \log_{10}(\alpha) + \beta \log_{10} D$					<i>Larix decidua</i> Mill.			fusto intero	
anno	n	$\alpha_{RMA}$	$\beta_{RMA}$	R <sup>2</sup>	$\alpha_{RMA}$ , 95% l.c.	$\beta_{RMA}$ , 95% l.c.	R <sup>2</sup> , 95% l.c.	F	p
1900	5	1.397	0.222	0.987	1.388 - 1.574	0.072 - 0.235	0.071 - 1.000	235.88	0.0006
1901	5	1.371	0.241	0.989	1.364 - 1.496	0.132 - 0.254	0.596 - 1.000	260.99	0.0005
1902	5	1.361	0.243	0.991	1.309 - 1.419	0.186 - 0.288	0.792 - 1.000	340.91	0.0003
1903	5	1.365	0.231	0.985	1.357 - 1.537	0.089 - 0.254	0.926 - 1.000	193.23	0.0008
1904	5	1.378	0.225	0.996	1.364 - 1.482	0.142 - 0.241	0.963 - 1.000	728.01	0.0001
1905	5	1.377	0.217	0.960	1.359 - 1.632	0.011 - 0.253	0.401 - 1.000	71.85	0.0034
1906	5	1.408	0.191	0.998	1.404 - 1.433	0.170 - 0.197	0.928 - 1.000	1345.53	<0.0001
1907	5	1.393	0.207	0.992	1.362 - 1.484	0.135 - 0.238	0.795 - 1.000	362.26	0.0003
1908	5	1.396	0.207	0.983	1.304 - 1.460	0.158 - 0.287	0.934 - 1.000	178.12	0.0009
1909	5	1.450	0.170	0.949	1.429 - 1.643	0.017 - 0.203	0.238 - 1.000	55.33	0.0050
1910	5	1.433	0.183	0.965	1.415 - 1.593	0.055 - 0.209	0.495 - 1.000	83.90	0.0028
1911	5	1.434	0.172	0.930	1.416 - 1.653	-0.005 - 0.199	0.025 - 1.000	40.10	0.0080
1912	5	1.428	0.190	0.933	1.373 - 1.535	0.096 - 0.239	0.136 - 1.000	41.82	0.0075
1913	5	1.425	0.195	0.948	1.294 - 1.449	0.168 - 0.310	0.466 - 1.000	54.16	0.0052
1914	4	1.425	0.187	0.855	1.363 - 1.848	-0.128 - 0.244	0.331 - 1.000	11.84	0.0751
1915	5	1.456	0.163	0.973	1.435 - 1.592	0.060 - 0.189	0.712 - 1.000	109.91	0.0019
1916	5	1.453	0.183	0.757	1.402 - 1.943	-0.195 - 0.251	0.001 - 1.000	9.36	0.0550
1917	5	1.375	0.236	0.899	1.321 - 1.733	-0.041 - 0.299	0.040 - 1.000	26.57	0.0142
1918	5	1.370	0.234	0.722	1.309 - 2.124	-0.342 - 0.314	0.003 - 1.000	7.80	0.0683
1919	5	1.342	0.259	0.788	1.265 - 1.963	-0.213 - 0.348	0.000 - 1.000	11.13	0.0445
1920	5	1.377	0.226	0.813	1.318 - 1.958	-0.211 - 0.295	0.087 - 1.000	13.05	0.0364
1921	5	1.349	0.250	0.829	1.264 - 1.719	-0.033 - 0.352	0.294 - 1.000	14.49	0.0319
1922	5	1.391	0.224	0.849	1.326 - 1.841	-0.116 - 0.296	0.232 - 1.000	16.88	0.0261
1923	5	1.422	0.186	0.783	1.359 - 1.847	-0.136 - 0.257	0.013 - 1.000	10.80	0.0462
1924	5	1.457	0.177	0.833	1.400 - 1.834	-0.106 - 0.239	0.150 - 1.000	14.91	0.0307
1925	5	1.410	0.207	0.965	1.368 - 1.571	0.088 - 0.248	0.597 - 1.000	82.75	0.0028
1926	5	1.470	0.156	0.845	1.408 - 1.633	0.033 - 0.222	0.331 - 1.000	16.34	0.0272
1927	5	1.469	0.156	0.916	1.422 - 1.613	0.043 - 0.203	0.706 - 1.000	32.71	0.0106
1928	4	1.424	0.187	0.988	1.372 - 1.486	0.140 - 0.232	0.970 - 1.000	158.38	0.0063
1929	5	1.437	0.178	0.438	1.336 - 2.064	-0.288 - 0.282	0.011 - 1.000	2.33	0.2240
1930	5	1.421	0.202	0.574	1.298 - 1.984	-0.216 - 0.320	0.001 - 1.000	4.03	0.1380
1931	4	1.303	0.270	0.605	0.930 - 1.733	-0.051 - 0.629	0.447 - 1.000	3.06	0.2220
1932	5	1.407	0.192	0.976	1.389 - 1.971	-0.224 - 0.212	0.018 - 1.000	120.13	0.0016
1933	5	1.389	0.188	0.987	1.299 - 1.599	0.034 - 0.276	0.326 - 1.000	221.86	0.0007
1934	5	1.367	0.209	0.979	1.332 - 1.774	-0.095 - 0.246	0.064 - 1.000	136.74	0.0013
1935	5	1.389	0.200	0.980	1.350 - 1.535	0.094 - 0.238	0.105 - 1.000	146.62	0.0012
1936	5	1.406	0.201	0.982	1.400 - 1.538	0.098 - 0.219	0.973 - 1.000	160.62	0.0011
1937	5	1.384	0.216	0.965	1.374 - 1.723	-0.036 - 0.247	0.400 - 1.000	82.93	0.0028
1938	5	1.420	0.190	0.979	1.411 - 1.600	0.054 - 0.211	0.759 - 1.000	142.62	0.0013
1939	5	1.422	0.192	0.946	1.407 - 1.630	0.032 - 0.225	0.059 - 1.000	52.66	0.0054
1940	6	1.399	0.210	0.984	1.384 - 1.547	0.093 - 0.228	0.730 - 1.000	245.71	<0.0001
1941	6	1.391	0.225	0.992	1.383 - 1.457	0.174 - 0.240	0.769 - 1.000	510.33	<0.0001
1942	6	1.381	0.225	0.993	1.373 - 1.437	0.179 - 0.238	0.869 - 1.000	589.71	<0.0001
1943	7	1.429	0.199	0.940	1.398 - 1.512	0.127 - 0.223	0.861 - 0.998	78.37	0.0003
1944	7	1.407	0.213	0.980	1.393 - 1.473	0.154 - 0.234	0.899 - 0.998	239.16	<0.0001
1945	7	1.390	0.210	0.972	1.378 - 1.448	0.162 - 0.231	0.831 - 0.998	172.71	<0.0001
1946	7	1.411	0.202	0.968	1.393 - 1.494	0.133 - 0.228	0.936 - 0.998	149.80	<0.0001
1947	8	1.396	0.216	0.986	1.384 - 1.435	0.181 - 0.235	0.948 - 0.998	425.36	<0.0001
1948	8	1.387	0.226	0.953	1.356 - 1.465	0.156 - 0.263	0.922 - 0.994	121.46	<0.0001
1949	8	1.391	0.219	0.971	1.373 - 1.442	0.172 - 0.248	0.939 - 0.997	199.87	<0.0001
1950	8	1.397	0.204	0.959	1.380 - 1.441	0.162 - 0.239	0.869 - 0.996	141.16	<0.0001

1951	8	1.419	0.201	0.911	1.380 - 1.500	0.137 - 0.249	0.815 - 0.999	61.21	0.0002
1952	9	1.396	0.198	0.961	1.382 - 1.455	0.145 - 0.222	0.862 - 0.995	173.05	<0.0001
1953	9	1.431	0.171	0.938	1.419 - 1.489	0.121 - 0.197	0.783 - 0.993	105.91	<0.0001
1954	9	1.368	0.230	0.968	1.356 - 1.404	0.193 - 0.260	0.900 - 0.998	211.63	<0.0001
1955	9	1.395	0.215	0.944	1.371 - 1.445	0.162 - 0.256	0.866 - 0.996	118.93	<0.0001
1956	9	1.391	0.196	0.945	1.371 - 1.441	0.148 - 0.232	0.868 - 0.991	120.54	<0.0001
1957	9	1.412	0.187	0.953	1.389 - 1.451	0.147 - 0.221	0.913 - 0.994	124.93	<0.0001
1958	9	1.420	0.186	0.957	1.396 - 1.457	0.149 - 0.219	0.923 - 0.992	155.79	<0.0001
1959	11	1.413	0.192	0.971	1.396 - 1.448	0.157 - 0.215	0.887 - 0.992	300.11	<0.0001
1960	12	1.390	0.226	0.971	1.375 - 1.418	0.198 - 0.251	0.907 - 0.994	338.28	<0.0001
1961	13	1.390	0.226	0.971	1.375 - 1.418	0.198 - 0.251	0.907 - 0.994	550.98	<0.0001
1962	12	1.368	0.243	0.956	1.350 - 1.425	0.192 - 0.276	0.911 - 0.986	217.08	<0.0001
1963	14	1.381	0.212	0.946	1.354 - 1.406	0.186 - 0.247	0.888 - 0.983	208.99	<0.0001
1964	16	1.398	0.216	0.971	1.383 - 1.411	0.198 - 0.241	0.949 - 0.990	471.26	<0.0001
1965	16	1.380	0.216	0.982	1.368 - 1.393	0.202 - 0.234	0.969 - 0.992	775.91	<0.0001
1966	17	1.387	0.217	0.975	1.376 - 1.396	0.200 - 0.236	0.947 - 0.992	582.80	<0.0001
1967	17	1.357	0.229	0.961	1.336 - 1.382	0.203 - 0.261	0.943 - 0.984	374.09	<0.0001
1968	16	1.389	0.206	0.958	1.376 - 1.410	0.184 - 0.227	0.908 - 0.984	322.28	<0.0001
1969	16	1.372	0.221	0.972	1.359 - 1.388	0.200 - 0.242	0.943 - 0.991	486.27	<0.0001
1970	19	1.400	0.189	0.980	1.383 - 1.411	0.176 - 0.209	0.962 - 0.992	812.35	<0.0001
1971	21	1.397	0.192	0.987	1.388 - 1.407	0.181 - 0.205	0.978 - 0.994	1448.10	<0.0001
1972	22	1.376	0.218	0.982	1.367 - 1.388	0.204 - 0.233	0.968 - 0.991	1062.79	<0.0001
1973	24	1.378	0.209	0.964	1.362 - 1.394	0.192 - 0.230	0.944 - 0.982	594.56	<0.0001
1974	27	1.373	0.202	0.960	1.360 - 1.386	0.186 - 0.223	0.945 - 0.976	607.02	<0.0001
1975	28	1.359	0.196	0.957	1.350 - 1.368	0.178 - 0.215	0.927 - 0.983	576.83	<0.0001
1976	34	1.369	0.208	0.907	1.346 - 1.388	0.189 - 0.237	0.862 - 0.948	312.83	<0.0001
1977	34	1.357	0.227	0.916	1.336 - 1.376	0.208 - 0.255	0.870 - 0.953	350.01	<0.0001
1978	34	1.352	0.242	0.954	1.338 - 1.365	0.223 - 0.264	0.932 - 0.975	657.17	<0.0001
1979	35	1.352	0.242	0.954	1.338 - 1.365	0.223 - 0.264	0.932 - 0.975	846.10	<0.0001
1980	35	1.333	0.253	0.934	1.320 - 1.346	0.230 - 0.283	0.907 - 0.963	470.27	<0.0001
1981	34	1.347	0.231	0.957	1.338 - 1.358	0.211 - 0.254	0.939 - 0.981	713.64	<0.0001
1982	33	1.301	0.280	0.953	1.290 - 1.313	0.257 - 0.310	0.928 - 0.981	627.81	<0.0001
1983	32	1.308	0.260	0.946	1.299 - 1.319	0.237 - 0.291	0.913 - 0.981	528.71	<0.0001
1984	31	1.281	0.298	0.964	1.270 - 1.293	0.276 - 0.324	0.934 - 0.988	770.28	<0.0001
1985	28	1.278	0.308	0.953	1.259 - 1.299	0.280 - 0.339	0.926 - 0.976	521.53	<0.0001
1986	22	1.270	0.303	0.966	1.254 - 1.292	0.279 - 0.329	0.938 - 0.987	574.20	<0.0001
1987	17	1.294	0.284	0.948	1.269 - 1.335	0.243 - 0.319	0.915 - 0.981	275.29	<0.0001
1988	9	1.221	0.288	0.924	1.151 - 1.295	0.230 - 0.357	0.845 - 0.984	85.25	<0.0001
1989	9	1.322	0.238	0.697	1.250 - 1.433	0.158 - 0.305	0.205 - 0.973	16.12	0.0005
1990	9	1.312	0.246	0.962	1.274 - 1.360	0.209 - 0.275	0.898 - 0.993	177.89	<0.0001
1991	9	1.336	0.238	0.970	1.290 - 1.370	0.210 - 0.273	0.932 - 0.997	225.05	<0.0001
1992	9	1.325	0.259	0.920	1.267 - 1.390	0.208 - 0.313	0.821 - 0.982	80.33	<0.0001
1993	9	1.440	0.172	0.921	1.398 - 1.480	0.142 - 0.211	0.806 - 0.985	81.83	<0.0001
1994	9	1.413	0.187	0.961	1.383 - 1.456	0.157 - 0.211	0.887 - 0.995	170.54	<0.0001
1995	9	1.398	0.195	0.898	1.356 - 1.455	0.144 - 0.234	0.769 - 0.990	61.67	0.0001
1996	9	1.391	0.196	0.959	1.361 - 1.423	0.169 - 0.224	0.890 - 0.997	163.34	<0.0001
1997	9	1.417	0.184	0.940	1.369 - 1.452	0.155 - 0.232	0.855 - 0.992	108.72	<0.0001
1998	9	1.385	0.2055	0.848	1.309 - 1.456	0.148 - 0.279	0.649 - 0.984	38.95	0.0004
1999	9	1.424	0.1789	0.821	1.374 - 1.483	0.122 - 0.229	0.545 - 0.99	32.20	0.0008
2000	9	1.442	0.1723	0.899	1.386 - 1.498	0.127 - 0.223	0.815 - 0.98	62.49	<0.0001
2001	9	1.352	0.2425	0.881	1.297 - 1.443	0.160 - 0.290	0.729 - 0.988	51.71	0.0002
2002	9	1.395	0.2037	0.934	1.344 - 1.442	0.166 - 0.253	0.838 - 0.991	99.77	<0.0001
2003	9	1.442	0.1629	0.823	1.38 - 1.503	0.115 - 0.225	0.611 - 0.97	32.59	0.0007
2004	9	1.436	0.1665	0.783	1.357 - 1.489	0.115 - 0.242	0.558 - 0.999	25.29	0.0015
2005	9	1.464	0.1604	0.892	1.419 - 1.514	0.124 - 0.206	0.732 - 0.992	57.67	0.0001
2006	9	1.454	0.1448	0.922	1.418 - 1.496	0.116 - 0.175	0.804 - 0.982	82.49	<0.0001



modello: $\log_{10} Dh = \log_{10}(\alpha) + \beta \log_{10} D$					<i>Larix decidua</i> Mill.			fusto	
anno	n	$\alpha_{\text{RMA}}$	$\beta_{\text{RMA}}$	$R^2$	$\alpha_{\text{RMA}}$ , 95% l.c.	$\beta_{\text{RMA}}$ , 95% l.c.	$R^2$ , 95% l.c.	F	p
1949	5	1.440	0.178	0.896	1.397 - 1.784	-0.072 - 0.229	0.045 - 1.000	25.93	0.0146
1950	5	1.457	0.155	0.799	1.410 - 1.708	-0.033 - 0.211	0.247 - 1.000	11.41	0.0420
1951	5	1.557	0.090	0.876	1.432 - 1.583	0.063 - 0.186	0.522 - 1.000	21.13	0.0194
1952	5	1.490	0.122	0.677	1.444 - 1.891	-0.166 - 0.172	0.007 - 1.000	6.29	0.0870
1953	5	1.510	0.106	0.472	1.462 - 1.964	-0.222 - 0.156	0.009 - 1.000	2.68	0.2002
1954	5	1.475	0.145	0.777	1.418 - 1.828	-0.109 - 0.208	0.000 - 1.000	10.46	0.0480
1955	5	1.480	0.146	0.666	1.416 - 1.834	-0.111 - 0.216	0.324 - 1.000	5.98	0.0920
1956	6	1.447	0.149	0.860	1.408 - 1.854	-0.148 - 0.200	0.028 - 0.999	24.53	0.0077
1957	6	1.446	0.159	0.909	1.407 - 1.689	-0.020 - 0.205	0.071 - 1.000	39.76	0.0032
1958	6	1.443	0.166	0.923	1.406 - 1.601	0.047 - 0.207	0.086 - 1.000	47.87	0.0023
1959	6	1.468	0.144	0.795	1.418 - 1.769	-0.076 - 0.201	0.214 - 1.000	15.51	0.0170
1960	7	1.430	0.187	0.856	1.379 - 1.514	0.117 - 0.251	0.436 - 0.994	29.65	0.0028
1961	7	1.429	0.179	0.874	1.383 - 1.549	0.085 - 0.234	0.563 - 0.998	34.53	0.0020
1962	7	1.456	0.163	0.840	1.391 - 1.523	0.109 - 0.225	0.608 - 0.987	26.34	0.0034
1963	8	1.422	0.174	0.822	1.367 - 1.466	0.125 - 0.236	0.546 - 0.983	27.80	0.0019
1964	8	1.437	0.183	0.816	1.369 - 1.489	0.130 - 0.260	0.548 - 0.999	26.61	0.0021
1965	8	1.406	0.193	0.921	1.354 - 1.439	0.159 - 0.245	0.817 - 0.995	70.26	0.0002
1966	8	1.360	0.237	0.817	1.276 - 1.446	0.155 - 0.332	0.570 - 0.989	26.77	0.0021
1967	8	1.396	0.192	0.862	1.335 - 1.474	0.128 - 0.258	0.682 - 0.982	37.61	0.0009
1968	8	1.401	0.191	0.813	1.302 - 1.481	0.131 - 0.267	0.543 - 0.986	26.16	0.0022
1969	8	1.378	0.214	0.852	1.285 - 1.447	0.159 - 0.289	0.673 - 0.974	34.58	0.0011
1970	8	1.365	0.222	0.917	1.301 - 1.415	0.174 - 0.277	0.819 - 0.991	66.19	0.0002
1971	8	1.413	0.177	0.906	1.361 - 1.454	0.139 - 0.234	0.730 - 0.995	57.89	0.0003
1972	9	1.416	0.175	0.939	1.378 - 1.445	0.149 - 0.218	0.846 - 0.990	108.14	<0.0001
1973	9	1.391	0.191	0.901	1.338 - 1.446	0.145 - 0.252	0.761 - 0.983	63.71	<0.0001
1974	9	1.351	0.218	0.708	1.254 - 1.459	0.125 - 0.334	0.363 - 0.944	16.93	0.0045
1975	9	1.343	0.203	0.555	1.261 - 1.437	0.113 - 0.295	0.101 - 0.934	8.74	0.0212
1976	9	1.406	0.175	0.604	1.324 - 1.495	0.099 - 0.264	0.131 - 0.931	10.66	0.0138
1977	9	1.438	0.155	0.643	1.362 - 1.506	0.098 - 0.241	0.233 - 0.917	12.62	0.0093
1978	9	1.420	0.177	0.524	1.338 - 1.519	0.091 - 0.269	0.060 - 0.955	7.70	0.0275
1979	9	1.439	0.156	0.774	1.373 - 1.515	0.096 - 0.224	0.529 - 0.951	23.94	0.0018
1980	9	1.448	0.137	0.356	1.387 - 1.763	-0.122 - 0.204	0.004 - 0.854	3.87	0.0898
1981	9	1.418	0.165	0.529	1.346 - 1.501	0.089 - 0.245	0.078 - 0.971	7.85	0.0264
1982	9	1.423	0.168	0.485	1.345 - 1.505	0.090 - 0.254	0.043 - 0.946	6.60	0.0371
1983	9	1.402	0.169	0.300	1.316 - 1.799	-0.171 - 0.252	0.003 - 0.858	3.00	0.1268
1984	9	1.377	0.207	0.672	1.317 - 1.442	0.139 - 0.271	0.165 - 0.984	14.34	0.0068
1985	9	1.347	0.233	0.805	1.290 - 1.441	0.155 - 0.288	0.493 - 0.987	28.85	0.0010

modello: $\log_{10}Dh = \log_{10}(\alpha) + \beta \log_{10}D$					<i>Larix decidua</i> Mill.			cimale	
anno	n	$\alpha_{RMA}$	$\beta_{RMA}$	R <sup>2</sup>	$\alpha_{RMA}$ , 95% l.c.	$\beta_{RMA}$ , 95% l.c.	R <sup>2</sup> , 95%l.c.	F	p
1959	5	1.415	0.206	0.969	1.387 - 1.439	0.166 - 0.277	0.812 - 1.000	93.45	0.0024
1960	5	1.402	0.262	0.966	1.320 - 1.422	0.127 - 0.313	0.955 - 1.000	86.49	0.0026
1961	6	1.386	0.235	0.971	1.343 - 1.400	0.164 - 0.285	0.871 - 1.000	132.08	0.0003
1962	5	1.366	0.317	0.993	1.356 - 1.387	0.292 - 0.390	0.948 - 1.000	429.27	0.0002
1963	6	1.388	0.255	0.817	1.339 - 1.415	0.138 - 0.449	0.341 - 0.998	17.83	0.0135
1964	8	1.395	0.213	0.929	1.370 - 1.408	0.158 - 0.273	0.814 - 0.996	78.75	0.0001
1965	8	1.381	0.228	0.941	1.360 - 1.393	0.163 - 0.274	0.894 - 0.999	95.51	<0.0001
1966	9	1.392	0.236	0.981	1.380 - 1.399	0.217 - 0.279	0.934 - 0.999	360.84	<0.0001
1967	9	1.359	0.269	0.902	1.337 - 1.379	0.215 - 0.365	0.792 - 0.989	64.57	<0.0001
1968	8	1.383	0.280	0.986	1.375 - 1.391	0.254 - 0.321	0.970 - 0.999	429.83	<0.0001
1969	8	1.365	0.263	0.971	1.356 - 1.381	0.218 - 0.311	0.956 - 0.995	201.38	<0.0001
1970	11	1.398	0.177	0.961	1.381 - 1.409	0.159 - 0.214	0.892 - 0.994	220.77	<0.0001
1971	13	1.399	0.196	0.975	1.388 - 1.408	0.180 - 0.220	0.949 - 0.993	431.38	<0.0001
1972	13	1.386	0.253	0.983	1.376 - 1.395	0.235 - 0.273	0.966 - 0.995	653.94	<0.0001
1973	15	1.385	0.228	0.917	1.368 - 1.402	0.196 - 0.276	0.855 - 0.969	143.62	<0.0001
1974	18	1.379	0.212	0.924	1.364 - 1.390	0.187 - 0.247	0.867 - 0.966	195.52	<0.0001
1975	19	1.366	0.220	0.965	1.358 - 1.374	0.203 - 0.242	0.941 - 0.983	471.65	<0.0001
1976	25	1.369	0.209	0.820	1.344 - 1.389	0.182 - 0.257	0.708 - 0.908	104.46	<0.0001
1977	25	1.369	0.209	0.820	1.344 - 1.389	0.182 - 0.257	0.708 - 0.908	106.36	<0.0001
1978	25	1.357	0.258	0.921	1.341 - 1.370	0.230 - 0.289	0.861 - 0.965	268.27	<0.0001
1979	26	1.338	0.299	0.954	1.326 - 1.349	0.273 - 0.327	0.928 - 0.976	495.33	<0.0001
1980	26	1.341	0.301	0.936	1.328 - 1.353	0.274 - 0.333	0.896 - 0.964	352.30	<0.0001
1981	25	1.350	0.255	0.942	1.340 - 1.360	0.231 - 0.282	0.908 - 0.966	371.07	<0.0001
1982	24	1.306	0.321	0.946	1.294 - 1.318	0.297 - 0.348	0.893 - 0.979	388.58	<0.0001
1983	23	1.314	0.306	0.961	1.304 - 1.324	0.285 - 0.332	0.918 - 0.985	519.17	<0.0001
1984	22	1.289	0.388	0.934	1.273 - 1.311	0.339 - 0.465	0.891 - 0.966	396.18	<0.0001
1985	19	1.289	0.388	0.934	1.273 - 1.311	0.339 - 0.465	0.891 - 0.966	239.00	<0.0001

## APPENDICE Vb: Relazione tra *Dh* e *L*.

Legenda: n: numero di punti disponibili per anno,  $\alpha_{RMA}$ : intercetta,  $\beta_{RMA}$ : coefficiente angolare;  $\alpha_{RMA}$  95%l.c.,  $\beta_{RMA}$  95%l.c.: limiti di confidenza al 95% con *bootstrap* a 10000 replicazioni, F: valore di Fisher calcolato, p: probabilità relativa (95%).

modello: $\log_{10} Dh = \log_{10}(\alpha) + \beta \log_{10} L$					<i>Picea abies</i> Karst.			fusto intero	
anno	n	$\alpha_{RMA}$	$\beta_{RMA}$	R <sup>2</sup>	$\alpha_{RMA}$ , 95% l.c.	$\beta_{RMA}$ , 95% l.c.	R <sup>2</sup> , 95%l.c.	F	p
1968	5	1.402	0.166	0.946	1.378 - 1.493	0.039 - 0.207	0.649 - 1.000	52.56	0.0054
1969	5	1.393	0.169	0.935	1.371 - 1.484	0.049 - 0.222	0.843 - 1.000	43.16	0.0072
1970	6	1.389	0.168	0.976	1.376 - 1.436	0.122 - 0.189	0.960 - 1.000	165.96	0.0002
1971	6	1.395	0.165	0.951	1.378 - 1.459	0.101 - 0.202	0.933 - 1.000	77.12	0.0009
1972	8	1.411	0.155	0.989	1.398 - 1.427	0.134 - 0.171	0.980 - 1.000	531.62	<0.0001
1973	11	1.397	0.173	0.975	1.382 - 1.415	0.159 - 0.196	0.956 - 0.995	355.53	<0.0001
1974	14	1.392	0.172	0.965	1.378 - 1.406	0.156 - 0.196	0.926 - 0.988	329.08	<0.0001
1975	17	1.394	0.169	0.911	1.378 - 1.411	0.145 - 0.199	0.774 - 0.980	154.42	<0.0001
1976	19	1.400	0.172	0.930	1.386 - 1.415	0.155 - 0.193	0.793 - 0.984	225.34	<0.0001
1977	22	1.397	0.178	0.932	1.385 - 1.410	0.158 - 0.209	0.859 - 0.973	272.86	<0.0001
1978	26	1.407	0.181	0.891	1.394 - 1.422	0.159 - 0.219	0.793 - 0.947	195.98	<0.0001
1979	29	1.391	0.197	0.953	1.381 - 1.405	0.181 - 0.226	0.919 - 0.977	546.68	<0.0001
1980	30	1.397	0.187	0.926	1.387 - 1.409	0.163 - 0.221	0.873 - 0.967	348.70	<0.0001
1981	31	1.399	0.181	0.938	1.390 - 1.409	0.162 - 0.212	0.905 - 0.967	438.79	<0.0001
1982	31	1.410	0.176	0.936	1.402 - 1.419	0.159 - 0.207	0.881 - 0.971	424.26	<0.0001
1983	31	1.408	0.179	0.899	1.400 - 1.418	0.155 - 0.221	0.828 - 0.949	259.21	<0.0001
1984	31	1.426	0.161	0.914	1.418 - 1.434	0.145 - 0.197	0.834 - 0.960	309.03	<0.0001
1985	31	1.421	0.166	0.938	1.415 - 1.427	0.151 - 0.197	0.871 - 0.968	441.09	<0.0001
1986	31	1.409	0.166	0.912	1.401 - 1.417	0.150 - 0.206	0.819 - 0.956	300.58	<0.0001
1987	31	1.420	0.166	0.904	1.412 - 1.429	0.151 - 0.209	0.789 - 0.958	274.04	<0.0001
1988	31	1.412	0.170	0.885	1.403 - 1.421	0.151 - 0.217	0.745 - 0.948	223.06	<0.0001
1989	31	1.414	0.162	0.887	1.404 - 1.423	0.144 - 0.207	0.758 - 0.938	227.05	<0.0001
1990	30	1.408	0.170	0.874	1.394 - 1.420	0.151 - 0.232	0.718 - 0.938	194.62	<0.0001
1991	29	1.369	0.203	0.763	1.343 - 1.387	0.176 - 0.276	0.401 - 0.906	86.93	<0.0001

modello: $\log_{10} Dh = \log_{10}(\alpha) + \beta \log_{10} L$					<i>Picea abies</i> Karst.			fusto	
anno	n	$\alpha_{RMA}$	$\beta_{RMA}$	R <sup>2</sup>	$\alpha_{RMA}$ , 95% l.c.	$\beta_{RMA}$ , 95% l.c.	R <sup>2</sup> , 95%l.c.	F	p
1975	5	1.437	0.130	0.848	1.397 - 1.509	0.065 - 0.180	0.134 - 1.000	16.79	0.0263
1976	5	1.444	0.131	0.834	1.387 - 1.577	0.019 - 0.211	0.212 - 1.000	15.13	0.0301
1977	5	1.465	0.108	0.961	1.445 - 1.489	0.086 - 0.127	0.888 - 1.000	74.41	0.0033
1978	5	1.475	0.106	0.939	1.449 - 1.507	0.078 - 0.132	0.820 - 1.000	45.79	0.0066
1979	5	1.464	0.107	0.911	1.433 - 1.505	0.070 - 0.141	0.649 - 1.000	30.77	0.0116
1980	5	1.491	0.083	0.834	1.459 - 1.531	0.045 - 0.117	0.513 - 1.000	15.06	0.0303
1981	5	1.500	0.075	0.684	1.469 - 1.554	0.031 - 0.122	0.113 - 1.000	6.48	0.0842
1982	5	1.476	0.102	0.883	1.450 - 1.530	0.055 - 0.134	0.368 - 1.000	22.63	0.0176
1983	5	1.512	0.068	0.581	1.472 - 1.659	-0.054 - 0.120	0.142 - 1.000	4.16	0.1341
1984	5	1.467	0.109	0.957	1.443 - 1.503	0.080 - 0.134	0.857 - 1.000	67.37	0.0038
1985	5	1.492	0.094	0.964	1.475 - 1.542	0.054 - 0.116	0.887 - 1.000	80.85	0.0029
1986	5	1.480	0.091	0.943	1.452 - 1.531	0.051 - 0.128	0.722 - 1.000	49.99	0.0058
1987	5	1.466	0.112	0.959	1.436 - 1.512	0.075 - 0.151	0.799 - 1.000	70.81	0.0035
1988	5	1.486	0.094	0.834	1.436 - 1.549	0.045 - 0.161	0.123 - 1.000	15.03	0.0304
1989	5	1.506	0.073	0.922	1.477 - 1.536	0.048 - 0.107	0.728 - 1.000	35.28	0.0095
1990	5	1.480	0.096	0.952	1.455 - 1.512	0.066 - 0.122	0.845 - 1.000	59.11	0.0046
1991	5	1.464	0.108	0.963	1.433 - 1.494	0.084 - 0.144	0.910 - 1.000	79.07	0.0030

modello: $\log_{10} Dh = \log_{10}(\alpha) + \beta \log_{10} L$					<i>Picea abies</i> Karst.			cimale	
anno	n	$\alpha_{RMA}$	$\beta_{RMA}$	R <sup>2</sup>	$\alpha_{RMA}$ , 95% l.c.	$\beta_{RMA}$ , 95% l.c.	R <sup>2</sup> , 95%l.c.	F	p
1973	7	1.412	0.193	0.952	1.364 - 1.428	0.138 - 0.228	0.753 - 0.996	99.48	0.0002
1974	10	1.394	0.176	0.895	1.343 - 1.405	0.110 - 0.216	0.537 - 0.987	68.08	<0.0001
1975	12	1.379	0.148	0.458	1.348 - 1.421	0.092 - 0.261	0.064 - 0.908	8.44	0.0157
1976	14	1.390	0.157	0.639	1.368 - 1.418	0.128 - 0.203	0.086 - 0.947	21.24	0.0006
1977	17	1.403	0.191	0.744	1.386 - 1.432	0.140 - 0.280	0.590 - 0.922	43.61	<0.0001
1978	21	1.416	0.201	0.706	1.397 - 1.443	0.153 - 0.313	0.586 - 0.866	45.71	<0.0001
1979	24	1.408	0.234	0.937	1.396 - 1.419	0.213 - 0.268	0.871 - 0.974	325.77	<0.0001
1980	25	1.404	0.200	0.881	1.396 - 1.413	0.169 - 0.244	0.806 - 0.952	129.29	<0.0001
1981	26	1.404	0.200	0.881	1.396 - 1.413	0.169 - 0.244	0.806 - 0.952	178.32	<0.0001
1982	26	1.418	0.212	0.848	1.409 - 1.427	0.178 - 0.258	0.762 - 0.926	134.37	<0.0001
1983	26	1.414	0.224	0.772	1.404 - 1.426	0.187 - 0.271	0.611 - 0.887	81.33	<0.0001
1984	26	1.421	0.202	0.778	1.415 - 1.427	0.175 - 0.234	0.627 - 0.868	89.46	<0.0001
1985	26	1.421	0.202	0.778	1.415 - 1.427	0.175 - 0.234	0.627 - 0.868	84.48	<0.0001
1986	26	1.408	0.228	0.716	1.400 - 1.416	0.189 - 0.279	0.532 - 0.852	60.56	<0.0001
1987	26	1.416	0.239	0.711	1.409 - 1.424	0.195 - 0.298	0.535 - 0.860	56.45	<0.0001
1988	26	1.406	0.233	0.639	1.395 - 1.415	0.189 - 0.290	0.407 - 0.831	30.90	<0.0001
1989	26	1.408	0.208	0.524	1.397 - 1.418	0.159 - 0.270	0.305 - 0.713	22.49	<0.0001
1990	25	1.394	0.248	0.514	1.379 - 1.408	0.191 - 0.317	0.283 - 0.702	23.00	<0.0001
1991	24	1.347	0.318	0.015	1.313 - 1.500	-0.450 - 0.420	0.000 - 0.337	0.34	0.5674

modello: $\log_{10} Dh = \log_{10}(\alpha) + \beta \log_{10} L$					<i>Pinus cembra</i> L.			fusto intero	
anno	n	$\alpha_{RMA}$	$\beta_{RMA}$	R <sup>2</sup>	$\alpha_{RMA}$ , 95% l.c.	$\beta_{RMA}$ , 95% l.c.	R <sup>2</sup> , 95% l.c.	F	p
1961	5	1.375	0.154	0.943	1.361 - 1.471	0.041 - 0.177	0.618 - 1.000	49.19	0.0060
1962	5	1.341	0.186	0.926	1.323 - 1.468	0.037 - 0.230	0.712 - 1.000	37.34	0.0088
1963	5	1.365	0.150	0.841	1.350 - 1.509	-0.033 - 0.190	0.014 - 1.000	15.88	0.0283
1964	6	1.354	0.160	0.960	1.343 - 1.439	0.059 - 0.183	0.572 - 1.000	97.09	0.0006
1965	6	1.371	0.159	0.968	1.362 - 1.446	0.073 - 0.185	0.901 - 1.000	122.19	0.0004
1966	6	1.389	0.142	0.940	1.381 - 1.447	0.071 - 0.165	0.402 - 1.000	62.76	0.0014
1967	7	1.380	0.149	0.976	1.370 - 1.403	0.117 - 0.166	0.842 - 0.998	203.62	<0.0001
1968	7	1.389	0.132	0.932	0.011 - 1.428	0.084 - 0.154	0.801 - 0.997	68.54	0.0004
1969	7	1.394	0.122	0.961	1.382 - 1.417	0.093 - 0.141	0.904 - 0.998	122.64	0.0001
1970	7	1.417	0.110	0.919	1.392 - 1.449	0.073 - 0.137	0.741 - 0.999	56.46	0.0007
1971	7	1.417	0.101	0.950	1.399 - 1.438	0.077 - 0.123	0.867 - 0.998	95.13	0.0002
1972	7	1.417	0.116	0.925	1.404 - 1.443	0.081 - 0.138	0.833 - 0.997	61.96	0.0005
1973	8	1.377	0.174	0.916	1.353 - 1.429	0.095 - 0.208	0.873 - 0.992	65.71	0.0002
1974	8	1.381	0.173	0.864	1.349 - 1.433	0.088 - 0.219	0.810 - 0.996	38.27	0.0008
1975	8	1.398	0.149	0.842	1.369 - 1.452	0.070 - 0.194	0.777 - 0.983	32.02	0.0013
1976	8	1.405	0.121	0.852	1.383 - 1.445	0.063 - 0.157	0.758 - 0.973	34.56	0.0011
1977	8	1.404	0.147	0.817	1.373 - 1.462	0.065 - 0.199	0.735 - 0.974	26.74	0.0021
1978	8	1.428	0.104	0.874	1.414 - 1.451	0.063 - 0.129	0.701 - 0.982	41.80	0.0006
1979	8	1.425	0.116	0.841	1.404 - 1.458	0.063 - 0.149	0.708 - 0.978	31.67	0.0013
1980	9	1.399	0.170	0.851	1.372 - 1.465	0.071 - 0.217	0.754 - 0.963	40.07	0.0004
1981	9	1.390	0.171	0.847	1.369 - 1.456	0.086 - 0.215	0.596 - 0.980	38.80	0.0004
1982	9	1.399	0.153	0.857	1.380 - 1.456	0.081 - 0.195	0.701 - 0.982	41.86	0.0003
1983	10	1.392	0.168	0.868	1.371 - 1.457	0.079 - 0.211	0.716 - 0.970	52.56	<0.0001
1984	10	1.402	0.155	0.910	1.388 - 1.441	0.101 - 0.190	0.806 - 0.980	80.47	<0.0001
1985	10	1.415	0.138	0.860	1.396 - 1.449	0.087 - 0.178	0.761 - 0.967	49.09	0.0001
1986	12	1.375	0.190	0.869	1.354 - 1.432	0.105 - 0.235	0.723 - 0.962	66.54	<0.0001
1987	14	1.365	0.216	0.951	1.352 - 1.386	0.183 - 0.245	0.895 - 0.984	96.47	<0.0001
1988	16	1.367	0.196	0.928	1.353 - 1.386	0.167 - 0.233	0.866 - 0.975	130.10	<0.0001
1989	16	1.373	0.166	0.925	1.361 - 1.390	0.137 - 0.192	0.859 - 0.972	173.87	<0.0001
1990	18	1.396	0.155	0.940	1.384 - 1.412	0.130 - 0.177	0.896 - 0.972	248.82	<0.0001
1991	18	1.418	0.189	0.920	1.404 - 1.438	0.155 - 0.215	0.832 - 0.975	116.03	<0.0001
1992	19	1.415	0.151	0.905	1.404 - 1.433	0.119 - 0.177	0.838 - 0.960	116.84	<0.0001
1993	22	1.400	0.191	0.892	1.385 - 1.421	0.151 - 0.226	0.830 - 0.945	115.22	<0.0001
1994	24	1.416	0.175	0.923	1.404 - 1.430	0.154 - 0.198	0.860 - 0.966	173.52	<0.0001
1995	26	1.401	0.179	0.917	1.387 - 1.417	0.156 - 0.211	0.875 - 0.952	209.90	<0.0001
1996	26	1.403	0.166	0.936	1.391 - 1.415	0.150 - 0.190	0.888 - 0.967	284.32	<0.0001
1997	27	1.403	0.156	0.914	1.392 - 1.416	0.136 - 0.179	0.865 - 0.953	264.52	<0.0001
1998	30	1.409	0.178	0.917	1.397 - 1.423	0.153 - 0.203	0.873 - 0.952	183.59	<0.0001
1999	34	1.401	0.189	0.854	1.386 - 1.421	0.160 - 0.221	0.795 - 0.909	163.87	<0.0001
2000	41	1.395	0.187	0.838	1.377 - 1.416	0.165 - 0.218	0.778 - 0.891	202.26	<0.0001

modello: $\log_{10}Dh = \log_{10}(\alpha) + \beta\log_{10}L$					<i>Pinus cembra</i> L.			fusto	
anno	n	$\alpha_{RMA}$	$\beta_{RMA}$	R <sup>2</sup>	$\alpha_{RMA}$ , 95% l.c.	$\beta_{RMA}$ , 95% l.c.	R <sup>2</sup> , 95%l.c.	F	p
1975	5	1.437	0.089	0.856	1.395 - 1.468	0.048 - 0.139	0.303 - 1.000	17.89	0.0242
1976	5	1.441	0.072	0.673	1.336 - 1.462	0.031 - 0.179	0.302 - 1.000	6.17	0.0890
1977	5	1.447	0.085	0.819	1.385 - 1.478	0.045 - 0.149	0.307 - 1.000	13.62	0.0345
1978	5	1.426	0.100	0.704	1.383 - 1.687	-0.152 - 0.163	0.042 - 1.000	7.14	0.0756
1979	5	1.426	0.108	0.762	1.367 - 1.687	-0.143 - 0.186	0.040 - 1.000	9.58	0.0535
1980	5	1.453	0.088	0.658	1.365 - 1.488	0.040 - 0.192	0.135 - 1.000	5.77	0.0957
1981	6	1.456	0.086	0.659	1.367 - 1.490	0.034 - 0.168	0.081 - 0.999	7.73	0.0498
1982	6	1.446	0.093	0.791	1.388 - 1.476	0.058 - 0.153	0.431 - 0.998	15.10	0.0177
1983	6	1.457	0.078	0.813	1.423 - 1.481	0.049 - 0.110	0.457 - 1.000	17.37	0.0141
1984	7	1.444	0.102	0.826	1.420 - 1.476	0.065 - 0.140	0.643 - 0.989	23.79	0.0046
1985	7	1.431	0.115	0.742	1.400 - 1.472	0.058 - 0.165	0.447 - 0.990	14.34	0.0128
1986	7	1.475	0.057	0.591	1.458 - 1.496	0.023 - 0.080	0.127 - 0.984	7.24	0.0433
1987	8	1.413	0.122	0.508	1.377 - 1.456	0.042 - 0.171	0.095 - 0.973	6.20	0.0471
1988	8	1.424	0.095	0.763	1.393 - 1.448	0.057 - 0.138	0.553 - 0.973	19.31	0.0046
1989	8	1.399	0.125	0.767	1.354 - 1.432	0.075 - 0.183	0.585 - 0.983	19.74	0.0044
1990	8	1.432	0.097	0.952	1.418 - 1.444	0.078 - 0.110	0.804 - 0.996	118.08	<0.0001
1991	9	1.444	0.121	0.612	1.410 - 1.474	0.068 - 0.174	0.214 - 0.960	11.06	0.0127
1992	9	1.447	0.090	0.630	1.415 - 1.480	0.040 - 0.137	0.414 - 0.953	11.90	0.0107
1993	9	1.455	0.076	0.440	1.430 - 1.482	0.029 - 0.111	0.041 - 0.954	5.50	0.0514
1994	9	1.428	0.122	0.492	1.389 - 1.466	0.055 - 0.184	0.068 - 0.960	6.78	0.0352
1995	9	1.453	0.075	0.305	1.418 - 1.491	0.026 - 0.123	0.006 - 0.864	3.07	0.1234
1996	9	1.444	0.087	0.373	1.403 - 1.503	0.012 - 0.139	0.044 - 0.814	4.17	0.0806
1997	9	1.409	0.127	0.586	1.347 - 1.461	0.072 - 0.192	0.109 - 0.935	9.91	0.0162
1998	9	1.423	0.115	0.426	1.367 - 1.476	0.052 - 0.182	0.053 - 0.832	5.20	0.0567
1999	10	1.439	0.092	0.485	1.392 - 1.473	0.046 - 0.145	0.067 - 0.828	7.54	0.0252
2000	10	1.448	0.062	0.244	1.422 - 1.530	-0.068 - 0.085	0.004 - 0.788	2.58	0.1466

modello: $\log_{10}Dh = \log_{10}(\alpha) + \beta\log_{10}L$					<i>Pinus cembra</i> L.			cimale	
anno	n	$\alpha_{RMA}$	$\beta_{RMA}$	R <sup>2</sup>	$\alpha_{RMA}$ , 95% l.c.	$\beta_{RMA}$ , 95% l.c.	R <sup>2</sup> , 95%l.c.	F	p
1986	5	1.394	0.274	0.981	1.379 - 1.421	0.159 - 0.329	0.962 - 1.000	152.45	0.0011
1987	6	1.396	0.304	0.986	1.371 - 1.404	0.259 - 0.356	0.898 - 1.000	287.37	<0.0001
1988	8	1.397	0.285	0.950	1.376 - 1.408	0.223 - 0.354	0.843 - 0.996	114.56	<0.0001
1989	8	1.396	0.242	0.958	1.385 - 1.406	0.220 - 0.317	0.839 - 0.998	135.89	<0.0001
1990	10	1.419	0.203	0.937	1.404 - 1.434	0.173 - 0.252	0.847 - 0.990	119.25	<0.0001
1991	9	1.457	0.286	0.951	1.436 - 1.481	0.254 - 0.345	0.821 - 0.994	136.95	<0.0001
1992	10	1.435	0.256	0.937	1.421 - 1.458	0.210 - 0.303	0.766 - 0.988	118.01	<0.0001
1993	13	1.439	0.277	0.945	1.426 - 1.461	0.235 - 0.330	0.902 - 0.984	188.77	<0.0001
1994	15	1.442	0.225	0.908	1.429 - 1.461	0.191 - 0.282	0.845 - 0.975	128.84	<0.0001
1995	17	1.421	0.206	0.892	1.401 - 1.441	0.166 - 0.275	0.835 - 0.983	124.17	<0.0001
1996	17	1.417	0.188	0.922	1.400 - 1.433	0.158 - 0.238	0.876 - 0.980	177.09	<0.0001
1997	18	1.427	0.198	0.915	1.417 - 1.440	0.161 - 0.238	0.858 - 0.979	171.14	<0.0001
1998	21	1.441	0.253	0.908	1.429 - 1.460	0.210 - 0.309	0.847 - 0.977	187.75	<0.0001
1999	24	1.454	0.290	0.894	1.439 - 1.476	0.251 - 0.339	0.816 - 0.958	186.34	<0.0001
2000	31	1.446	0.259	0.874	1.428 - 1.467	0.231 - 0.299	0.805 - 0.931	200.76	<0.0001

modello: $\log_{10} Dh = \log_{10}(\alpha) + \beta \log_{10} L$					<i>Larix decidua</i> Mill.			fusto intero	
anno	n	$\alpha_{RMA}$	$\beta_{RMA}$	R <sup>2</sup>	$\alpha_{RMA}$ , 95% l.c.	$\beta_{RMA}$ , 95% l.c.	R <sup>2</sup> , 95% l.c.	F	p
1900	5	1.455	0.222	0.963	1.434 - 1.620	0.043 - 0.251	0.069 - 1.000	79.13	0.0030
1901	5	1.449	0.226	0.966	1.432 - 1.583	0.077 - 0.257	0.598 - 1.000	86.37	0.0026
1902	5	1.449	0.219	0.978	1.438 - 1.529	0.128 - 0.243	0.755 - 1.000	133.21	0.0014
1903	5	1.452	0.205	0.952	1.437 - 1.598	0.051 - 0.247	0.820 - 1.000	59.74	0.0045
1904	5	1.466	0.196	0.973	1.457 - 1.580	0.080 - 0.229	0.877 - 1.000	108.77	0.0019
1905	5	1.465	0.187	0.903	1.449 - 1.640	0.006 - 0.245	0.307 - 1.000	27.84	0.0133
1906	5	1.484	0.165	0.976	1.477 - 1.557	0.091 - 0.194	0.886 - 1.000	124.18	0.0015
1907	5	1.477	0.179	0.964	1.468 - 1.579	0.075 - 0.211	0.835 - 1.000	80.45	0.0029
1908	5	1.481	0.178	0.974	1.454 - 1.574	0.086 - 0.217	0.867 - 1.000	110.32	0.0018
1909	5	1.518	0.147	0.865	1.498 - 1.656	0.009 - 0.209	0.214 - 1.000	19.17	0.0221
1910	5	1.506	0.159	0.891	1.484 - 1.633	0.030 - 0.216	0.516 - 1.000	24.56	0.0158
1911	5	1.502	0.151	0.839	1.478 - 1.712	-0.057 - 0.212	0.016 - 1.000	15.67	0.0288
1912	5	1.505	0.165	0.866	1.484 - 1.596	0.062 - 0.214	0.108 - 1.000	19.41	0.0217
1913	5	1.504	0.168	0.928	1.479 - 1.558	0.107 - 0.210	0.489 - 1.000	30.73	0.0084
1914	4	1.540	0.122	0.789	1.475 - 1.758	-0.074 - 0.212	0.358 - 1.000	7.47	0.1118
1915	5	1.523	0.139	0.893	1.493 - 1.636	0.032 - 0.199	0.643 - 1.000	25.09	0.0153
1916	5	1.531	0.155	0.599	1.479 - 1.797	-0.105 - 0.264	0.000 - 1.000	4.47	0.1248
1917	5	1.478	0.196	0.776	1.422 - 1.707	-0.026 - 0.313	0.036 - 1.000	10.42	0.0483
1918	5	1.474	0.193	0.581	1.413 - 1.871	-0.179 - 0.315	0.002 - 1.000	4.16	0.1340
1919	5	1.457	0.213	0.639	1.382 - 1.803	-0.114 - 0.358	0.003 - 1.000	5.32	0.1045
1920	5	1.477	0.186	0.678	1.413 - 1.800	-0.113 - 0.300	0.043 - 1.000	6.31	0.0868
1921	5	1.461	0.205	0.688	1.374 - 1.691	-0.015 - 0.362	0.226 - 1.000	6.62	0.0822
1922	5	1.493	0.182	0.716	1.424 - 1.760	-0.066 - 0.301	0.160 - 1.000	7.58	0.0706
1923	5	1.508	0.150	0.638	1.444 - 1.752	-0.076 - 0.259	0.005 - 1.000	5.28	0.1053
1924	5	1.540	0.141	0.702	1.479 - 1.742	-0.048 - 0.239	0.085 - 1.000	7.06	0.0765
1925	5	1.510	0.162	0.897	1.459 - 1.644	0.042 - 0.240	0.549 - 1.000	26.09	0.0145
1926	5	1.547	0.120	0.725	1.487 - 1.653	0.018 - 0.214	0.187 - 1.000	7.90	0.0673
1927	5	1.549	0.118	0.843	1.501 - 1.641	0.028 - 0.187	0.654 - 1.000	16.16	0.0276
1928	4	1.524	0.137	0.961	1.470 - 1.572	0.092 - 0.217	0.914 - 1.000	49.32	0.0197
1929	5	1.535	0.129	0.309	1.460 - 1.841	-0.151 - 0.247	0.046 - 1.000	1.34	0.3309
1930	5	1.535	0.142	0.445	1.444 - 1.816	-0.113 - 0.274	0.006 - 1.000	2.41	0.2185
1931	4	1.460	0.185	0.527	1.224 - 1.700	-0.032 - 0.534	0.344 - 1.000	2.23	0.2739
1932	5	1.439	0.211	0.939	1.414 - 1.791	-0.123 - 0.242	0.015 - 1.000	46.29	0.0065
1933	5	1.422	0.206	0.963	1.408 - 1.622	0.021 - 0.240	0.306 - 1.000	77.38	0.0031
1934	5	1.409	0.223	0.934	1.390 - 1.727	-0.070 - 0.267	0.082 - 1.000	42.26	0.0074
1935	5	1.434	0.207	0.942	1.420 - 1.606	0.052 - 0.251	0.128 - 1.000	48.56	0.0061
1936	5	1.456	0.203	0.924	1.439 - 1.604	0.060 - 0.257	0.897 - 1.000	36.37	0.0091
1937	5	1.440	0.215	0.898	1.423 - 1.699	-0.024 - 0.276	0.332 - 1.000	26.42	0.0413
1938	5	1.470	0.188	0.916	1.456 - 1.639	0.031 - 0.242	0.696 - 1.000	32.79	0.0106
1939	5	1.476	0.186	0.856	1.459 - 1.671	0.001 - 0.256	0.049 - 1.000	17.83	0.0243
1940	6	1.444	0.219	0.954	1.421 - 1.604	0.061 - 0.257	0.749 - 1.000	83.63	0.0008
1941	6	1.442	0.231	0.968	1.426 - 1.565	0.111 - 0.266	0.743 - 1.000	122.59	0.0004
1942	6	1.434	0.228	0.968	1.418 - 1.550	0.114 - 0.265	0.842 - 1.000	119.29	0.0004
1943	7	1.477	0.201	0.929	1.447 - 1.545	0.123 - 0.236	0.857 - 0.998	65.61	0.0005
1944	7	1.459	0.215	0.953	1.440 - 1.530	0.134 - 0.253	0.820 - 0.998	100.65	0.0002
1945	7	1.443	0.210	0.947	1.427 - 1.505	0.140 - 0.250	0.789 - 0.996	88.89	0.0000
1946	7	1.465	0.198	0.932	1.446 - 1.548	0.114 - 0.246	0.857 - 0.996	69.05	0.0004
1947	8	1.451	0.216	0.968	1.437 - 1.491	0.165 - 0.248	0.886 - 0.998	178.78	<0.0001
1948	8	1.445	0.225	0.920	1.414 - 1.517	0.141 - 0.281	0.855 - 0.987	69.37	0.0002
1949	8	1.450	0.215	0.937	1.428 - 1.501	0.155 - 0.266	0.865 - 0.996	89.70	<0.0001
1950	8	1.455	0.196	0.917	1.438 - 1.497	0.144 - 0.254	0.762 - 0.996	66.08	0.0002

1951	8	1.483	0.188	0.879	1.452 - 1.551	0.117 - 0.246	0.753 - 0.989	43.72	0.0006
1952	9	1.439	0.208	0.910	1.413 - 1.503	0.129 - 0.258	0.774 - 0.986	70.95	<0.0001
1953	9	1.464	0.182	0.869	1.441 - 1.524	0.111 - 0.236	0.680 - 0.982	46.42	0.0003
1954	9	1.414	0.240	0.909	1.389 - 1.465	0.178 - 0.309	0.805 - 0.989	70.24	<0.0001
1955	9	1.440	0.223	0.863	1.403 - 1.499	0.147 - 0.306	0.750 - 0.982	43.92	0.0003
1956	9	1.428	0.205	0.868	1.394 - 1.486	0.136 - 0.281	0.773 - 0.985	46.18	0.0003
1957	9	1.445	0.197	0.876	1.408 - 1.492	0.138 - 0.274	0.810 - 0.986	49.47	0.0002
1958	9	1.454	0.194	0.887	1.417 - 1.500	0.138 - 0.267	0.823 - 0.989	54.76	0.0001
1959	11	1.444	0.204	0.940	1.422 - 1.485	0.154 - 0.245	0.796 - 0.983	140.73	<0.0001
1960	12	1.421	0.247	0.947	1.405 - 1.449	0.208 - 0.285	0.855 - 0.993	180.15	<0.0001
1961	13	1.403	0.250	0.956	1.390 - 1.426	0.218 - 0.289	0.895 - 0.992	237.08	<0.0001
1962	12	1.407	0.257	0.931	1.388 - 1.462	0.193 - 0.308	0.857 - 0.989	134.61	<0.0001
1963	14	1.397	0.243	0.930	1.379 - 1.422	0.205 - 0.290	0.866 - 0.989	159.52	<0.0001
1964	16	1.406	0.257	0.951	1.396 - 1.422	0.225 - 0.298	0.916 - 0.994	273.38	<0.0001
1965	16	1.409	0.235	0.972	1.400 - 1.421	0.212 - 0.262	0.952 - 0.995	487.26	<0.0001
1966	17	1.439	0.207	0.955	1.423 - 1.453	0.185 - 0.245	0.924 - 0.981	318.65	<0.0001
1967	17	1.412	0.223	0.927	1.386 - 1.438	0.189 - 0.271	0.899 - 0.971	189.83	<0.0001
1968	16	1.439	0.202	0.935	1.423 - 1.463	0.171 - 0.234	0.892 - 0.969	202.18	<0.0001
1969	16	1.433	0.210	0.951	1.418 - 1.451	0.181 - 0.241	0.926 - 0.978	272.24	<0.0001
1970	19	1.426	0.219	0.967	1.415 - 1.442	0.195 - 0.238	0.941 - 0.987	500.11	<0.0001
1971	21	1.435	0.205	0.956	1.420 - 1.451	0.185 - 0.234	0.929 - 0.979	412.83	<0.0001
1972	22	1.406	0.250	0.937	1.391 - 1.427	0.218 - 0.286	0.902 - 0.972	295.68	<0.0001
1973	24	1.412	0.233	0.939	1.395 - 1.429	0.211 - 0.264	0.900 - 0.970	341.28	<0.0001
1974	27	1.415	0.214	0.936	1.399 - 1.430	0.193 - 0.242	0.906 - 0.964	367.97	<0.0001
1975	28	1.405	0.198	0.935	1.393 - 1.418	0.177 - 0.224	0.890 - 0.972	371.40	<0.0001
1976	34	1.418	0.205	0.818	1.395 - 1.439	0.166 - 0.259	0.707 - 0.930	144.13	<0.0001
1977	34	1.423	0.208	0.834	1.399 - 1.444	0.175 - 0.254	0.737 - 0.927	161.08	<0.0001
1978	34	1.436	0.199	0.871	1.417 - 1.455	0.170 - 0.237	0.791 - 0.945	215.94	<0.0001
1979	35	1.433	0.204	0.897	1.416 - 1.449	0.179 - 0.240	0.838 - 0.954	287.34	<0.0001
1980	35	1.439	0.186	0.862	1.422 - 1.457	0.161 - 0.222	0.800 - 0.926	206.30	<0.0001
1981	34	1.450	0.169	0.882	1.434 - 1.465	0.146 - 0.199	0.828 - 0.943	238.24	<0.0001
1982	33	1.430	0.204	0.913	1.412 - 1.447	0.181 - 0.235	0.878 - 0.948	324.78	<0.0001
1983	32	1.429	0.189	0.918	1.412 - 1.446	0.168 - 0.216	0.891 - 0.948	336.03	<0.0001
1984	31	1.424	0.214	0.940	1.407 - 1.438	0.194 - 0.240	0.912 - 0.968	452.83	<0.0001
1985	30	1.428	0.223	0.957	1.414 - 1.442	0.206 - 0.243	0.926 - 0.981	622.09	<0.0001



modello: $\log_{10} Dh = \log_{10}(\alpha) + \beta \log_{10} L$					<i>Larix decidua</i> Mill.			fusto	
anno	n	$\alpha_{RMA}$	$\beta_{RMA}$	R <sup>2</sup>	$\alpha_{RMA}$ , 95% l.c.	$\beta_{RMA}$ , 95% l.c.	R <sup>2</sup> , 95% l.c.	F	p
1949	5	1.513	0.150	0.796	1.469 - 1.730	-0.042 - 0.229	0.064 - 1.000	11.72	0.0418
1950	5	1.523	0.128	0.668	1.475 - 1.687	-0.021 - 0.218	0.214 - 1.000	6.04	0.0910
1951	5	1.597	0.073	0.911	1.554 - 1.611	0.049 - 0.118	0.610 - 1.000	30.89	0.0115
1952	5	1.541	0.099	0.570	1.508 - 1.784	-0.110 - 0.160	0.011 - 1.000	3.98	0.1399
1953	5	1.556	0.086	0.354	1.525 - 1.812	-0.134 - 0.147	0.007 - 1.000	1.64	0.2900
1954	5	1.538	0.119	0.654	1.486 - 1.756	-0.074 - 0.199	0.000 - 1.000	5.66	0.0976
1955	5	1.544	0.118	0.518	1.485 - 1.758	-0.067 - 0.215	0.330 - 1.000	3.22	0.1705
1956	6	1.493	0.138	0.756	1.450 - 1.762	-0.095 - 0.213	0.030 - 0.999	12.37	0.0245
1957	6	1.493	0.147	0.804	1.446 - 1.677	-0.013 - 0.228	0.059 - 0.999	16.36	0.0155
1958	6	1.491	0.155	0.829	1.446 - 1.630	0.033 - 0.230	0.125 - 1.000	19.34	0.0117
1959	6	1.511	0.133	0.644	1.447 - 1.722	-0.053 - 0.226	0.216 - 0.998	7.22	0.0548
1960	7	1.483	0.175	0.741	1.421 - 1.566	0.094 - 0.283	0.350 - 0.985	14.31	0.0129
1961	7	1.479	0.167	0.763	1.422 - 1.590	0.067 - 0.260	0.438 - 0.986	16.13	0.0102
1962	7	1.504	0.151	0.778	1.449 - 1.558	0.098 - 0.238	0.473 - 0.985	17.55	0.0086
1963	8	1.463	0.168	0.739	1.406 - 1.503	0.115 - 0.265	0.411 - 0.991	17.03	0.0062
1964	8	1.480	0.177	0.750	1.416 - 1.521	0.121 - 0.282	0.441 - 0.990	17.96	0.0055
1965	8	1.456	0.182	0.864	1.400 - 1.482	0.146 - 0.267	0.673 - 0.995	38.28	0.0008
1966	8	1.427	0.220	0.715	1.335 - 1.504	0.133 - 0.362	0.388 - 0.990	15.08	0.0081
1967	8	1.454	0.175	0.782	1.386 - 1.525	0.106 - 0.278	0.564 - 0.974	21.51	0.0035
1968	8	1.462	0.172	0.798	1.394 - 1.527	0.114 - 0.258	0.603 - 0.957	23.74	0.0028
1969	8	1.449	0.189	0.813	1.382 - 1.505	0.136 - 0.281	0.640 - 0.967	26.09	0.0022
1970	8	1.440	0.196	0.873	1.383 - 1.476	0.150 - 0.276	0.686 - 0.984	41.11	0.0007
1971	8	1.476	0.155	0.819	1.419 - 1.516	0.112 - 0.243	0.570 - 0.981	27.12	0.0020
1972	9	1.470	0.160	0.881	1.421 - 1.502	0.127 - 0.241	0.731 - 0.986	51.65	0.0002
1973	9	1.451	0.174	0.810	1.389 - 1.506	0.118 - 0.274	0.611 - 0.973	29.89	0.0009
1974	9	1.422	0.197	0.603	1.327 - 1.505	0.109 - 0.356	0.238 - 0.945	10.65	0.0138
1975	9	1.410	0.183	0.461	1.329 - 1.485	0.092 - 0.326	0.046 - 0.919	5.98	0.0444
1976	9	1.467	0.155	0.519	1.386 - 1.539	0.080 - 0.296	0.117 - 0.943	7.56	0.0285
1977	9	1.496	0.136	0.538	1.427 - 1.550	0.080 - 0.249	0.145 - 0.902	8.15	0.0245
1978	9	1.488	0.153	0.399	1.416 - 1.564	0.067 - 0.272	0.025 - 0.934	4.66	0.0678
1979	9	1.501	0.133	0.669	1.440 - 1.560	0.076 - 0.225	0.421 - 0.911	14.16	0.0071
1980	9	1.504	0.117	0.315	1.453 - 1.712	-0.104 - 0.195	0.003 - 0.806	3.22	0.1158
1981	9	1.486	0.140	0.407	1.424 - 1.548	0.064 - 0.246	0.036 - 0.963	4.80	0.0647
1982	9	1.494	0.141	0.372	1.432 - 1.561	0.055 - 0.247	0.023 - 0.950	4.15	0.0812
1983	9	1.475	0.142	0.268	1.409 - 1.732	-0.149 - 0.245	0.002 - 0.873	2.57	0.1530
1984	9	1.468	0.174	0.591	1.411 - 1.512	0.114 - 0.266	0.103 - 0.971	10.13	0.0154
1985	9	1.450	0.195	0.759	1.395 - 1.514	0.126 - 0.278	0.414 - 0.980	22.00	0.0022

modello: $\log_{10} Dh = \log_{10}(\alpha) + \beta \log_{10} L$					<i>Larix decidua</i> Mill.			fusto	
anno	n	$\alpha_{RMA}$	$\beta_{RMA}$	R <sup>2</sup>	$\alpha_{RMA}$ , 95% l.c.	$\beta_{RMA}$ , 95% l.c.	R <sup>2</sup> , 95% l.c.	F	p
1949	5	1.513	0.150	0.796	1.469 - 1.730	-0.042 - 0.229	0.064 - 1.000	11.72	0.0418
1950	5	1.523	0.128	0.668	1.475 - 1.687	-0.021 - 0.218	0.214 - 1.000	6.04	0.0910
1951	5	1.597	0.073	0.911	1.554 - 1.611	0.049 - 0.118	0.610 - 1.000	30.89	0.0115
1952	5	1.541	0.099	0.570	1.508 - 1.784	-0.110 - 0.160	0.011 - 1.000	3.98	0.1399
1953	5	1.556	0.086	0.354	1.525 - 1.812	-0.134 - 0.147	0.007 - 1.000	1.64	0.2900
1954	5	1.538	0.119	0.654	1.486 - 1.756	-0.074 - 0.199	0.000 - 1.000	5.66	0.0976
1955	5	1.544	0.118	0.518	1.485 - 1.758	-0.067 - 0.215	0.330 - 1.000	3.22	0.1705
1956	6	1.493	0.138	0.756	1.450 - 1.762	-0.095 - 0.213	0.030 - 0.999	12.37	0.0245
1957	6	1.493	0.147	0.804	1.446 - 1.677	-0.013 - 0.228	0.059 - 0.999	16.36	0.0155
1958	6	1.491	0.155	0.829	1.446 - 1.630	0.033 - 0.230	0.125 - 1.000	19.34	0.0117
1959	6	1.511	0.133	0.644	1.447 - 1.722	-0.053 - 0.226	0.216 - 0.998	7.22	0.0548
1960	7	1.483	0.175	0.741	1.421 - 1.566	0.094 - 0.283	0.350 - 0.985	14.31	0.0129
1961	7	1.479	0.167	0.763	1.422 - 1.590	0.067 - 0.260	0.438 - 0.986	16.13	0.0102
1962	7	1.504	0.151	0.778	1.449 - 1.558	0.098 - 0.238	0.473 - 0.985	17.55	0.0086
1963	8	1.463	0.168	0.739	1.406 - 1.503	0.115 - 0.265	0.411 - 0.991	17.03	0.0062
1964	8	1.480	0.177	0.750	1.416 - 1.521	0.121 - 0.282	0.441 - 0.990	17.96	0.0055
1965	8	1.456	0.182	0.864	1.400 - 1.482	0.146 - 0.267	0.673 - 0.995	38.28	0.0008
1966	8	1.427	0.220	0.715	1.335 - 1.504	0.133 - 0.362	0.388 - 0.990	15.08	0.0081
1967	8	1.454	0.175	0.782	1.386 - 1.525	0.106 - 0.278	0.564 - 0.974	21.51	0.0035
1968	8	1.462	0.172	0.798	1.394 - 1.527	0.114 - 0.258	0.603 - 0.957	23.74	0.0028
1969	8	1.449	0.189	0.813	1.382 - 1.505	0.136 - 0.281	0.640 - 0.967	26.09	0.0022
1970	8	1.440	0.196	0.873	1.383 - 1.476	0.150 - 0.276	0.686 - 0.984	41.11	0.0007
1971	8	1.476	0.155	0.819	1.419 - 1.516	0.112 - 0.243	0.570 - 0.981	27.12	0.0020
1972	9	1.470	0.160	0.881	1.421 - 1.502	0.127 - 0.241	0.731 - 0.986	51.65	0.0002
1973	9	1.451	0.174	0.810	1.389 - 1.506	0.118 - 0.274	0.611 - 0.973	29.89	0.0009
1974	9	1.422	0.197	0.603	1.327 - 1.505	0.109 - 0.356	0.238 - 0.945	10.65	0.0138
1975	9	1.410	0.183	0.461	1.329 - 1.485	0.092 - 0.326	0.046 - 0.919	5.98	0.0444
1976	9	1.467	0.155	0.519	1.386 - 1.539	0.080 - 0.296	0.117 - 0.943	7.56	0.0285
1977	9	1.496	0.136	0.538	1.427 - 1.550	0.080 - 0.249	0.145 - 0.902	8.15	0.0245
1978	9	1.488	0.153	0.399	1.416 - 1.564	0.067 - 0.272	0.025 - 0.934	4.66	0.0678
1979	9	1.501	0.133	0.669	1.440 - 1.560	0.076 - 0.225	0.421 - 0.911	14.16	0.0071
1980	9	1.504	0.117	0.315	1.453 - 1.712	-0.104 - 0.195	0.003 - 0.806	3.22	0.1158
1981	9	1.486	0.140	0.407	1.424 - 1.548	0.064 - 0.246	0.036 - 0.963	4.80	0.0647
1982	9	1.494	0.141	0.372	1.432 - 1.561	0.055 - 0.247	0.023 - 0.950	4.15	0.0812
1983	9	1.475	0.142	0.268	1.409 - 1.732	-0.149 - 0.245	0.002 - 0.873	2.57	0.1530
1984	9	1.468	0.174	0.591	1.411 - 1.512	0.114 - 0.266	0.103 - 0.971	10.13	0.0154
1985	9	1.450	0.195	0.759	1.395 - 1.514	0.126 - 0.278	0.414 - 0.980	22.00	0.0022

modello: $\log_{10} Dh = \log_{10}(\alpha) + \beta \log_{10} L$					<i>Larix decidua</i> Mill.			cimale	
anno	n	$\alpha_{RMA}$	$\beta_{RMA}$	R <sup>2</sup>	$\alpha_{RMA}$ , 95% l.c.	$\beta_{RMA}$ , 95% l.c.	R <sup>2</sup> , 95%l.c.	F	p
1959	5	1.448	0.225	0.942	1.398 - 1.474	0.161 - 0.382	0.789 - 1.000	48.54	0.0061
1960	5	1.437	0.299	0.972	1.363 - 1.460	0.183 - 0.348	0.945 - 1.000	102.74	0.0020
1961	6	1.410	0.290	0.981	1.377 - 1.424	0.235 - 0.330	0.859 - 1.000	202.64	0.0001
1962	5	1.410	0.338	0.994	1.402 - 1.442	0.307 - 0.432	0.986 - 1.000	532.19	0.0002
1963	6	1.410	0.325	0.921	1.361 - 1.427	0.208 - 0.455	0.610 - 0.999	46.53	0.0024
1964	8	1.408	0.302	0.968	1.393 - 1.423	0.262 - 0.374	0.901 - 0.995	184.37	<0.0001
1965	8	1.415	0.274	0.973	1.399 - 1.428	0.232 - 0.331	0.926 - 0.995	214.51	<0.0001
1966	9	1.437	0.202	0.935	1.417 - 1.454	0.172 - 0.311	0.888 - 0.992	101.48	<0.0001
1967	9	1.419	0.250	0.782	1.394 - 1.452	0.182 - 0.469	0.584 - 0.991	25.05	0.0016
1968	8	1.452	0.295	0.908	1.435 - 1.477	0.223 - 0.416	0.835 - 0.993	59.29	0.0003
1969	8	1.438	0.267	0.890	1.423 - 1.466	0.183 - 0.401	0.850 - 0.990	48.57	0.0004
1970	11	1.439	0.260	0.948	1.421 - 1.459	0.227 - 0.307	0.840 - 0.995	165.31	<0.0001
1971	13	1.446	0.227	0.917	1.428 - 1.464	0.193 - 0.304	0.872 - 0.974	120.87	<0.0001
1972	13	1.446	0.362	0.978	1.428 - 1.461	0.333 - 0.399	0.947 - 0.995	496.47	<0.0001
1973	15	1.438	0.287	0.898	1.414 - 1.455	0.247 - 0.368	0.838 - 0.960	114.94	<0.0001
1974	18	1.428	0.236	0.880	1.402 - 1.445	0.198 - 0.289	0.791 - 0.949	117.20	<0.0001
1975	19	1.419	0.228	0.933	1.406 - 1.430	0.203 - 0.262	0.888 - 0.968	238.36	<0.0001
1976	25	1.414	0.203	0.654	1.374 - 1.444	0.147 - 0.298	0.481 - 0.898	43.54	<0.0001
1977	25	1.416	0.202	0.662	1.376 - 1.443	0.152 - 0.284	0.491 - 0.872	44.99	<0.0001
1978	25	1.426	0.189	0.742	1.392 - 1.450	0.145 - 0.257	0.592 - 0.916	66.30	<0.0001
1979	26	1.430	0.203	0.795	1.403 - 1.449	0.162 - 0.264	0.683 - 0.935	92.99	<0.0001
1980	26	1.439	0.187	0.741	1.415 - 1.456	0.149 - 0.248	0.608 - 0.900	68.69	<0.0001
1981	25	1.438	0.156	0.761	1.418 - 1.453	0.125 - 0.204	0.630 - 0.908	73.32	<0.0001
1982	24	1.421	0.195	0.832	1.394 - 1.439	0.163 - 0.244	0.740 - 0.915	108.64	<0.0001
1983	23	1.425	0.184	0.850	1.397 - 1.441	0.152 - 0.226	0.761 - 0.930	118.69	<0.0001
1984	22	1.413	0.204	0.865	1.384 - 1.433	0.170 - 0.247	0.774 - 0.936	128.07	<0.0001
1985	21	1.434	0.230	0.898	1.409 - 1.454	0.202 - 0.266	0.784 - 0.963	166.63	<0.0001

## APPENDICE Vc: Serie radiali di diametro idraulico.

Variazione del diametro idraulico ( $Dh$ ) delle serie radiali in rapporto alla distanza dalla cima ( $L$ ) e dal diametro del fusto ( $D$ ).

Si indicano con:

altezza: posizione della rotella (m) nel fusto; H%: posizione relativa della rotella nel fusto; n: numero di anelli considerati;

$a_{LRMA}$ : intercetta della retta  $Dh$  vs  $L$ ;  $b_{ORMA}$ : coefficiente angolare della retta nella relazione  $Dh$  vs  $L$ ;  $R^2$ : coefficiente di determinazione della retta; 95% l.c.: limiti di confidenza;

$a_{DRMA}$ : intercetta della retta  $Dh$  vs  $D$ ;  $(\bar{a}/a)_{RMA}$ : coefficiente angolare della retta nella relazione  $Dh$  vs  $D$ ;

*Dh vs L*

pianta	altezza	H%	n	$a_{LRMA}$	$b_{ORMA}$	$R^2$	$a_{LRMA}$ , 95% l.c.	$b_{ORMA}$ , 95% l.c.	$R^2$ , 95%l.c.
06001	3.45	16.67	104	1.305	0.212	0.819	1.290 - 1.329	0.186 - 0.228	0.698 - 0.884
06001	7.68	37.12	79	1.402	0.147	0.788	1.380 - 1.432	0.113 - 0.170	0.610 - 0.877
06001	10.60	51.23	68	1.384	0.158	0.797	1.371 - 1.409	0.125 - 0.173	0.592 - 0.889
06001	13.24	63.99	58	1.421	0.124	0.815	1.408 - 1.441	0.091 - 0.144	0.678 - 0.898
06001	15.86	76.66	40	1.379	0.202	0.889	1.369 - 1.391	0.177 - 0.226	0.764 - 0.945
06001	16.40	79.27	37	1.409	0.184	0.747	1.397 - 1.429	0.133 - 0.208	0.497 - 0.868
06001	16.94	81.88	34	1.421	0.174	0.936	1.415 - 1.430	0.148 - 0.186	0.877 - 0.966
06001	17.47	84.44	28	1.389	0.208	0.948	1.381 - 1.401	0.174 - 0.223	0.898 - 0.979
06001	18.02	87.10	21	1.403	0.250	0.988	1.399 - 1.407	0.241 - 0.261	0.950 - 0.996
06002	4.17	14.86	142	1.431	0.190	0.810	1.414 - 1.457	0.168 - 0.205	0.665 - 0.883
06002	8.41	29.97	127	1.454	0.186	0.759	1.438 - 1.478	0.163 - 0.200	0.568 - 0.856
06002	15.30	54.53	101	1.462	0.215	0.813	1.452 - 1.479	0.195 - 0.227	0.644 - 0.908
06002	17.95	63.97	85	1.460	0.222	0.956	1.453 - 1.470	0.209 - 0.230	0.923 - 0.973
06002	22.21	79.15	54	1.448	0.241	0.905	1.438 - 1.459	0.223 - 0.255	0.791 - 0.953
06002	23.27	82.93	46	1.449	0.227	0.903	1.437 - 1.470	0.189 - 0.244	0.778 - 0.968
06002	23.80	84.82	43	1.447	0.221	0.955	1.440 - 1.455	0.207 - 0.232	0.889 - 0.980
06002	24.33	86.71	39	1.433	0.226	0.897	1.422 - 1.445	0.203 - 0.248	0.715 - 0.953
06002	24.99	89.06	34	1.407	0.257	0.926	1.389 - 1.419	0.230 - 0.302	0.816 - 0.968
06002	26.26	93.59	27	1.432	0.241	0.877	1.418 - 1.444	0.190 - 0.315	0.728 - 0.960
06002	26.52	94.51	25	1.440	0.406	0.921	1.420 - 1.451	0.352 - 0.558	0.824 - 0.970
06002	26.67	95.05	21	1.447	0.431	0.938	1.440 - 1.455	0.371 - 0.483	0.833 - 0.978
03122	8.80	25.746	119	1.400	0.153	0.898	1.387 - 1.419	0.137 - 0.164	0.828 - 0.935
03122	22.51	65.857	73	1.385	0.190	0.829	1.368 - 1.398	0.176 - 0.211	0.699 - 0.901
03122	28.45	83.236	44	1.414	0.198	0.960	1.406 - 1.420	0.190 - 0.212	0.908 - 0.983
03122	29.20	85.430	40	1.420	0.180	0.939	1.410 - 1.432	0.154 - 0.197	0.887 - 0.975
03122	31.49	92.130	24	1.400	0.209	0.957	1.392 - 1.407	0.193 - 0.237	0.887 - 0.982
03122	32.06	93.798	20	1.405	0.188	0.909	1.395 - 1.412	0.173 - 0.210	0.608 - 0.995
07001	7.78	22.58	170	1.408	0.161	0.818	1.399 - 1.419	0.152 - 0.169	0.707 - 0.880

*Dh vs D*

<b>pianta</b>	<b>altezza</b>	<b>H%</b>	<b>n</b>	<b>a<sub>DRMA</sub></b>	<b>(<math>\bar{a}</math>/a)<sub>RMA</sub></b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>a<sub>DRMA</sub>, 95% l.c.</b>	<b>(<math>\bar{a}</math>/a)<sub>RMA</sub>, 95% l.c.</b>	<b>R<sup>2</sup>, 95%l.c.</b>
06001	3.45	16.67	104	1.303	0.183	0.864	1.288 - 1.321	0.167 - 0.196	0.746 - 0.916
06001	7.68	37.12	79	1.360	0.151	0.795	1.334 - 1.398	0.119 - 0.174	0.613 - 0.884
06001	10.60	51.23	68	1.353	0.143	0.813	1.340 - 1.381	0.117 - 0.156	0.600 - 0.902
06001	13.24	63.99	58	1.367	0.141	0.792	1.345 - 1.404	0.100 - 0.166	0.670 - 0.878
06001	15.86	76.66	40	1.347	0.164	0.905	1.336 - 1.361	0.145 - 0.181	0.787 - 0.957
06001	16.40	79.27	37	1.360	0.169	0.757	1.346 - 1.391	0.123 - 0.191	0.504 - 0.877
06001	16.94	81.88	34	1.336	0.201	0.919	1.324 - 1.361	0.164 - 0.220	0.867 - 0.953
06001	17.47	84.44	28	1.271	0.237	0.956	1.257 - 1.285	0.218 - 0.257	0.879 - 0.979
06001	18.02	87.10	21	1.348	0.210	0.977	1.343 - 1.364	0.185 - 0.221	0.926 - 0.992
06002	4.17	14.86	142	1.398	0.192	0.839	1.386 - 1.418	0.176 - 0.201	0.694 - 0.908
06002	8.41	29.97	127	1.422	0.180	0.815	1.410 - 1.439	0.166 - 0.189	0.637 - 0.899
06002	15.30	54.53	101	1.388	0.222	0.847	1.377 - 1.405	0.208 - 0.232	0.680 - 0.934
06002	17.95	63.97	85	1.381	0.228	0.956	1.370 - 1.393	0.217 - 0.237	0.919 - 0.975
06002	22.21	79.15	54	1.403	0.211	0.927	1.392 - 1.414	0.198 - 0.224	0.830 - 0.965
06002	23.27	82.93	46	1.404	0.214	0.917	1.391 - 1.430	0.180 - 0.228	0.796 - 0.975
06002	23.80	84.82	43	1.394	0.210	0.963	1.388 - 1.403	0.199 - 0.219	0.909 - 0.983
06002	24.33	86.71	39	1.381	0.216	0.870	1.368 - 1.400	0.191 - 0.236	0.662 - 0.939
06002	24.99	89.06	34	1.385	0.205	0.900	1.371 - 1.402	0.178 - 0.228	0.762 - 0.954
06002	26.26	93.59	27	1.383	0.196	0.902	1.365 - 1.402	0.159 - 0.232	0.732 - 0.955
06002	26.52	94.51	25	1.369	0.272	0.931	1.336 - 1.389	0.233 - 0.352	0.872 - 0.976
06002	26.67	95.05	21	1.399	0.220	0.946	1.385 - 1.405	0.202 - 0.260	0.818 - 0.981
03122	8.80	25.746	119	1.337	0.177	0.896	1.323 - 1.362	0.160 - 0.188	0.816 - 0.937
03122	22.51	65.857	73	1.321	0.194	0.823	1.290 - 1.339	0.179 - 0.221	0.690 - 0.896
03122	28.45	83.236	44	1.346	0.194	0.950	1.322 - 1.356	0.183 - 0.221	0.903 - 0.975
03122	29.20	85.430	40	1.346	0.192	0.944	1.331 - 1.369	0.165 - 0.210	0.905 - 0.977
03122	31.49	92.130	24	1.348	0.173	0.948	1.331 - 1.358	0.156 - 0.202	0.879 - 0.976
03122	32.06	93.798	20	1.339	0.169	0.915	1.332 - 1.344	0.155 - 0.184	0.621 - 0.995
07001	7.78	22.58	170	1.340	0.172	0.874	1.320 - 1.353	0.163 - 0.185	0.794 - 0.918

## APPENDICE VI. Numero di cellule del larice.

Variazione del numero di cellule della sezione trasversale ( $N_{cell}$ ) verso il diametro del fusto ( $D$ ): parametri stimati con regressione RMA su dati trasformati mediante logaritmo in base 10.  $\alpha_{RMA}$  = intercetta (=coefficiente allometrico);  $\beta_{RMA}$  = coefficiente angolare (=esponente allometrico); 95% l.c.=limite di confidenza al 95% calcolato con 10000 replicazioni *bootstrap*.

modello: $\log_{10}N_{cell} = \log_{10}(\alpha) + \beta \log_{10}D$							
anno	n	$\alpha_{RMA}$	$\beta_{RMA}$	R <sup>2</sup>	$\alpha_{RMA}$ , 95% l.c.	$\beta_{RMA}$ , 95% l.c.	R <sup>2</sup> , 95% l.c.
1943	5	5.225	1.717	0.999	4.860-5.347	1.588-1.971	0.997-1.000
1944	5	5.277	1.672	0.999	4.837-5.349	1.593-1.991	0.997-1.000
1945	5	5.292	1.658	0.999	4.814-5.336	1.609-2.001	0.996-1.000
1946	5	5.286	1.661	0.999	4.789-5.321	1.612-2.018	0.996-1.000
1947	6	5.252	1.691	0.999	5.217-5.310	1.619-1.725	0.997-1.000
1948	6	5.300	1.649	1.000	5.265-5.309	1.616-1.685	0.997-1.000
1949	6	5.328	1.627	0.999	5.261-5.342	1.584-1.689	0.996-1.000
1950	6	5.335	1.622	0.999	5.253-5.358	1.570-1.689	0.995-1.000
1951	6	5.320	1.631	0.998	5.207-5.352	1.565-1.730	0.995-1.000
1952	6	5.322	1.631	0.998	5.188-5.360	1.557-1.735	0.995-1.000
1953	6	5.327	1.627	0.998	5.202-5.369	1.551-1.736	0.994-1.000
1954	6	5.331	1.625	0.998	5.197-5.380	1.542-1.727	0.993-1.000
1955	6	5.327	1.628	0.998	5.217-5.376	1.548-1.727	0.993-1.000
1956	6	5.326	1.630	0.998	5.209-5.378	1.547-1.720	0.992-1.000
1957	6	5.325	1.631	0.998	5.241-5.378	1.547-1.712	0.992-1.000
1958	6	5.335	1.624	0.997	5.222-5.399	1.532-1.712	0.991-1.000
1959	6	5.257	1.693	0.999	5.229-5.373	1.568-1.723	0.994-1.000
1960	7	5.294	1.660	0.999	5.274-5.373	1.571-1.689	0.994-1.000
1961	7	5.305	1.651	0.999	5.285-5.385	1.562-1.683	0.993-1.000
1962	7	5.294	1.660	0.998	5.272-5.381	1.565-1.697	0.993-1.000
1963	8	5.245	1.703	0.999	5.219-5.342	1.612-1.742	0.995-1.000
1964	9	5.267	1.681	0.999	5.254-5.293	1.649-1.711	0.997-1.000
1965	9	5.289	1.661	0.999	5.250-5.321	1.621-1.711	0.996-1.000
1966	9	5.301	1.650	0.998	5.249-5.344	1.601-1.711	0.996-1.000
1967	9	5.326	1.630	0.998	5.252-5.378	1.574-1.707	0.995-1.000
1968	9	5.338	1.621	0.997	5.254-5.393	1.559-1.703	0.995-0.999
1969	9	5.352	1.612	0.997	5.271-5.414	1.546-1.693	0.995-1.000
1970	10	5.260	1.708	0.997	5.203-5.398	1.567-1.760	0.994-1.000
1971	10	5.283	1.685	0.997	5.232-5.397	1.571-1.732	0.995-1.000
1972	10	5.327	1.643	0.998	5.293-5.396	1.573-1.682	0.997-1.000
1973	10	5.346	1.628	0.999	5.299-5.390	1.582-1.674	0.997-1.000
1974	11	5.311	1.671	0.999	5.274-5.381	1.597-1.704	0.998-1.000
1975	10	5.346	1.639	0.999	5.317-5.385	1.593-1.669	0.998-1.000
1976	11	5.356	1.631	0.999	5.312-5.386	1.600-1.665	0.998-1.000
1977	11	5.370	1.622	0.999	5.303-5.392	1.594-1.677	0.998-1.000
1978	11	5.384	1.613	0.999	5.292-5.408	1.574-1.693	0.998-1.000
1979	11	5.388	1.614	0.998	5.282-5.421	1.565-1.705	0.997-1.000
1980	11	5.385	1.620	0.998	5.273-5.423	1.565-1.715	0.997-0.999
1981	10	5.384	1.622	0.997	5.243-5.427	1.566-1.746	0.996-0.999
1982	10	5.386	1.622	0.997	5.234-5.431	1.559-1.757	0.995-0.999
1983	10	5.389	1.621	0.997	5.234-5.440	1.556-1.758	0.995-0.999
1984	9	5.407	1.611	0.997	5.233-5.450	1.552-1.759	0.996-0.999
1985	9	5.411	1.608	0.997	5.232-5.458	1.547-1.759	0.996-0.999
1986	8	5.338	1.670	0.998	5.186-5.386	1.613-1.793	0.996-1.000
1987	7	5.256	1.736	0.998	5.142-5.305	1.682-1.832	0.995-1.000
1988	6	5.209	1.771	0.998	5.110-5.331	1.646-1.860	0.994-1.000
1989	6	5.215	1.767	0.998	5.108-5.321	1.658-1.863	0.993-1.000
1990	6	5.216	1.767	0.998	5.114-5.326	1.655-1.859	0.993-1.000
1991	6	5.213	1.770	0.998	5.117-5.324	1.657-1.856	0.994-1.000
1992	6	5.204	1.777	0.998	5.121-5.273	1.709-1.853	0.995-1.000
1993	6	5.204	1.777	0.998	5.121-5.273	1.709-1.853	0.995-1.000
1994	6	5.204	1.778	0.998	5.121-5.285	1.701-1.851	0.994-1.000
1995	6	5.207	1.776	0.998	5.119-5.319	1.665-1.851	0.994-1.000
1996	6	5.208	1.774	0.998	5.119-5.299	1.694-1.850	0.993-1.000
1997	6	5.210	1.773	0.998	5.111-5.333	1.652-1.861	0.990-1.000
1998	6	5.214	1.770	0.997	5.110-5.315	1.683-1.863	0.989-1.000
1999	6	5.219	1.766	0.997	5.116-5.318	1.681-1.858	0.990-1.000
2000	6	5.219	1.765	0.997	5.110-5.326	1.661-1.863	0.989-1.000
2001	6	5.222	1.763	0.997	5.105-5.329	1.669-1.868	0.988-1.000
2002	6	5.225	1.760	0.997	5.108-5.330	1.662-1.866	0.988-1.000
2003	6	5.227	1.758	0.997	5.121-5.340	1.665-1.857	0.987-1.000
2004	6	5.229	1.757	0.997	5.120-5.359	1.634-1.854	0.987-1.000
2005	6	5.230	1.756	0.997	5.121-5.369	1.621-1.851	0.985-1.000
2006	6	5.228	1.756	0.997	5.124-5.377	1.617-1.846	0.987-1.000