

MAURO BERNABEI (***) - ANGELA ROSITI (*) - MARA SARLATTO (*)
MANUELA ROMAGNOLI (*) - ANGELA BISTONI (*)

PRESENTAZIONE DI UNA BANCA DATI RELATIVA ALL'AMPIEZZA DELL'ALBURNO NELLE DIVERSE SPECIE

FDC 811.51

Il presente lavoro è il risultato di un'indagine bibliografica sui valori di ampiezza dell'alburno in diverse specie. I dati sono relativi nella maggior parte dei casi a piante mature e dominanti. Vengono inoltre riportati e discussi i fattori, endogeni ed esogeni, in grado di alterare il dato medio dell'ampiezza dell'alburno. È stato così realizzato uno strumento utile nei diversi campi della ricerca forestale: dall'endoterapia, alla dendrocronologia, dalla fisiologia delle piante forestali, alla tecnologia e più in generale alle scienze del legno.

INTRODUZIONE

Conoscere l'ampiezza dell'alburno caratteristica di una specie è di fondamentale importanza in diversi campi della ricerca forestale e delle scienze del legno e rappresenta il punto di partenza anche in numerose applicazioni di tipo professionale.

Ad esempio, nel campo dell'endoterapia, tecnica di cura delle piante che prevede l'iniezione a pressione nel tronco di sostanze con proprietà sistemiche (KOVACS, 1984), conoscere l'ampiezza dell'alburno per la specie da trattare consente di calibrare in maniera efficace il trattamento, evitando la dispersione del principio attivo nel durame. Ciò si traduce evidentemente in un risparmio di prodotto. I metodi endoterapici adattati alle diverse specie risulterebbero così preferibili ad altre tecniche curative (aspersione, nebulizzazione, ecc.) che hanno il difetto di disperdere sostanze inquinanti nell'ambiente.

Un'altra applicazione importante è nel campo della dendrocronologia.

(*) Università degli Studi della Tuscia, D.A.F., Dipartimento di Tecnologie, Ingegneria e Scienze dell'Ambiente e delle Foreste.

(**) L.A. partecipa alla ricerca nell'ambito del Fondo per i Progetti di Ricerca Scientifica - PAT (Trento) c/o CNR - IVALSA, sezione Territoriale di San Michele all'Adige (TN).

La zona di albarno di antichi manufatti in legno spesso non si è conservata (Fig. 1), oppure è stata eliminata al momento della messa in opera perché poco durabile. Nella datazione dendrocronologica bisogna quindi aggiungere un certo numero di anni pari allo spessore dell'albarno (CORONA, 1974). Tale numero, comunque stimato, diventa molto variabile se non si conosce l'ampiezza media dell'albarno per quella specie, che, confrontata con gli ultimi accrescimenti del durame, può consentire una ricostruzione più precisa del numero di anni mancanti.

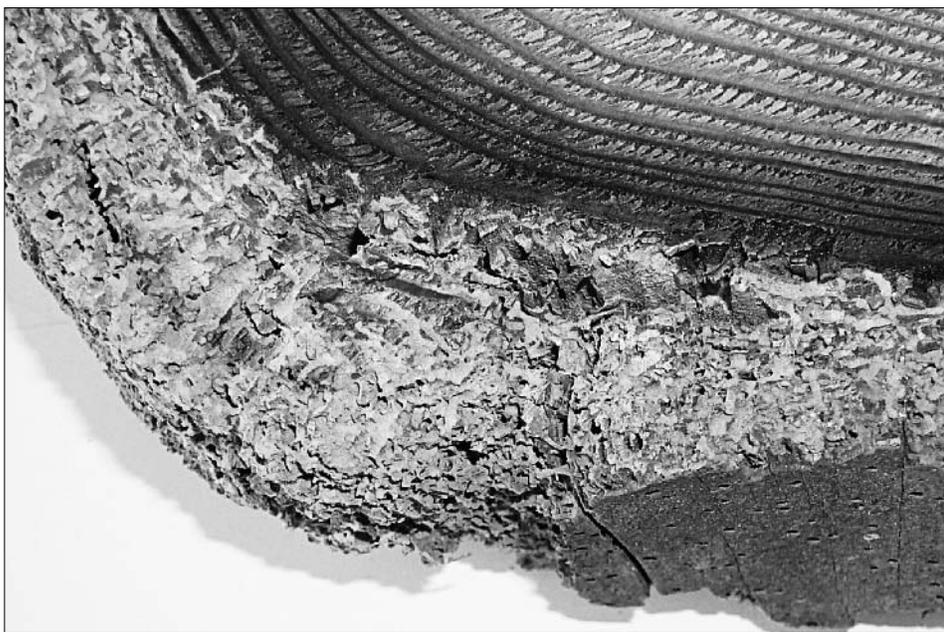


Figura. 1 – Albarno profondamente alterato in una trave di larice (*Larix decidua* L.).

I ricercatori che studiano la fisiologia delle piante si interessano all'albarno per le forti relazioni di questo con l'area fogliare e quindi con la quantità di liquidi trasportata dalle radici alla chioma (WARING *et al.*, 1980). Molto sinteticamente, tali ricerche consentono di calcolare i processi di evapo-traspirazione in un singolo individuo e di stimare così quelli di un'intera foresta dalla semplice misurazione dell'ampiezza dell'albarno.

Anche gli studi inerenti la qualità del legno tengono conto dell'ampiezza dell'albarno in quanto tale ampiezza è in grado di influenzare diversi processi e lavorazioni industriali come l'essiccazione e l'impregnazione. Ciò assume particolare importanza nelle specie non differenziate, in cui il durame non è chiaramente visibile (ALLEGRETTI *et al.*, 1999).

Alla luce di queste considerazioni è sembrato opportuno raccogliere una parte delle informazioni disponibili in bibliografia sull'argomento, in modo da fornire un quadro il più completo possibile sull'estensione media dell'alburno nelle diverse specie in direzione trasversale e a 1.30 m d'altezza.

ALBURNO E DURAME: DEFINIZIONI

L'alburno è quella zona del legno caratterizzata dalla presenza di cellule parenchimatiche vive; inoltre, nell'alburno delle piante in piedi avviene il passaggio della linfa ascendente (Fig. 2). Il durame invece è quella zona più interna nel tronco in cui non ci sono più cellule vive e in cui le sostanze di riserva (ad es. l'amido) sono state rimosse o trasformate in sostanze di varia origine, spesso polifenolica, dette sostanze duramificanti (ANONIMO 1957 in HILLIS, 1987).

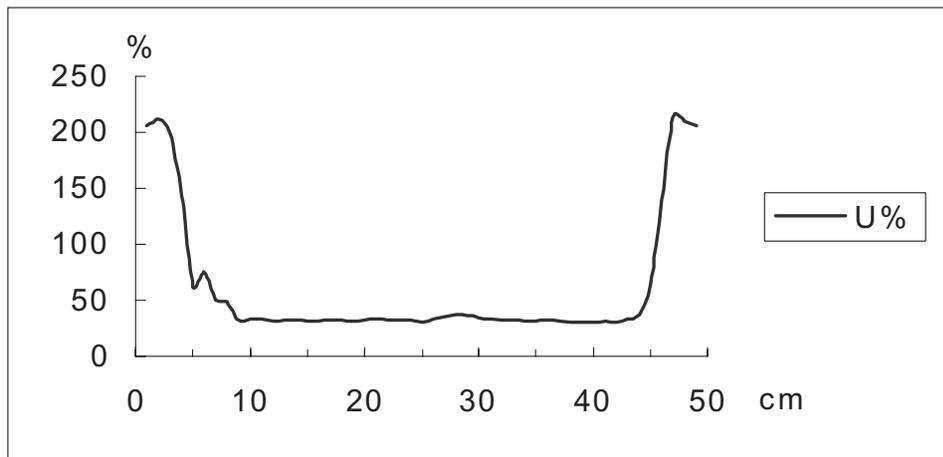


Figura 2 – Andamento del contenuto di umidità nel tronco di un abete rosso di circa 50 cm di diametro (ALLEGRETTI *et al.*, 1999).

Anche nelle specie indifferenziate, a una certa età, la parte interna dei tronchi che non assolve più la funzione conduttiva è costituita esclusivamente da cellule morte e, quindi, è identificabile con il durame. Anche nel durame delle specie indifferenziate avvengono quindi alcune trasformazioni che lo rendono differente rispetto all'alburno. Ad esempio, nell'abete rosso le punteggiature areolate del durame sono aspirate mentre quelle dell'alburno sono aperte con conseguenze importanti per quanto riguarda l'essiccazione e l'impregnazione del legno.

In questo lavoro sarà preso in considerazione soltanto l'alburno come dalle definizioni sopra riportate.

Tuttavia, ZIEGLER (1968) ha sottolineato la differenza tra cellule vive e cellule fisiologicamente attive. Così è possibile distinguere una parte dell'alburno che assolve in modo prevalente la funzione conduttiva da quella la cui funzione consiste essenzialmente nel conservare sostanze di riserva. Ne deriva che non tutto l'alburno trasporta i liquidi con la stessa efficienza. Anzi, in certe specie, in particolare nelle latifoglie ad anello poroso, la capacità di conduzione dei liquidi decresce nettamente dal cambio verso il limite della zona duramificata (CERMAK *et al.*, 1992; SPICER e GARTNER, 2001). La zona esterna, di più recente formazione, di solito è maggiormente idroattiva in quanto i vasi in essa presenti sono più giovani e non sono stati ancora interessati da problemi dovuti all'interruzione della colonna dei liquidi ascendenti.

Da queste osservazioni derivano le differenti sfumature che la definizione di alburno e durame assume nei vari campi della ricerca.

Dal punto di vista dell'anatomia e della tecnologia del legno, nel caso delle specie obbligatoriamente differenziate si intende per alburno la zona di legno non colorata, mentre per le specie indifferenziate si considera alburno la parte di legno che al momento della misurazione è ancora in grado di trasportare i liquidi. I metodi impiegati per determinare l'alburno in questo caso possono essere molto semplici: si possono osservare direttamente le differenze di colore del legno oppure le variazioni del contenuto di umidità allo stato fresco. Altre volte i metodi possono essere più complessi e prevedono la determinazione della vitalità delle cellule parenchimatice (MAGEL e HÖLL, 1993) oppure indagano sulle proprietà chimiche degli estrattivi (HILLIS, 1987).

Nel caso di studi sulla fisiologia delle piante si usano metodi specifici come quello dell'heat pulse velocity (HPV) o dell'heat balance (EDWARDS *et al.*, 1997), che sono in grado di misurare il passaggio dei liquidi e la velocità del trasporto idrico. Studi condotti con tali metodi si interessano particolarmente alla parte dell'alburno maggiormente idroattiva, mentre tendono a porre poca attenzione alla zona di alburno più interna, dove il trasporto dei liquidi è quasi nullo. Quindi, tali metodi si dimostrano molto utili ai fini di ricerche di tipo fisiologico, ma spesso non forniscono indicazioni applicabili in altri campi (come ad es. la dendrocronologia o la tecnologia del legno).

La presenza di durame facoltativo (false heartwood) o di colorazioni anomale (discoloured wood) non è strettamente relazionata all'ampiezza effettiva dell'alburno. Poiché tali anomalie possono generare confusione nell'interpretazione dei dati, in questo lavoro non sono state tenute in considerazione.

L'esatta delimitazione della zona di passaggio tra alburno e durame (anche detta: white zone o dry zone, HILLIS, 1999) risulta spesso di difficile

interpretazione e per questo motivo non è riportata nella quasi totalità dei lavori esaminati.

Infatti, mentre a volte la zona di transizione è chiaramente visibile sul legno fresco di taglio, diviene dopo poco tempo difficilmente identificabile (Fig. 3). Tale zona non è stata quindi inclusa nella presente ricerca.



Figura 3 – Zona di transizione chiaramente visibile su legno fresco di taglio (a destra) e difficilmente visibile poco tempo dopo (a sinistra) in *Prunus avium* L. (foto dott. Angela Bistoni).

L'AMPIEZZA DELL'ALBURNO NELLE DIVERSE SPECIE

In piante mature e dominanti di una stessa specie l'ampiezza dell'alburno è di dimensioni caratteristiche, variabile in funzione di determinati fattori che intervengono a modificarne l'estensione.

Molto numerosi sono i lavori che riguardano l'ampiezza dell'alburno nelle diverse specie. Differenti tra loro sono però i metodi, il numero di campioni, le caratteristiche ambientali dei luoghi di campionamento, che variano in funzione del tipo di ricerca realizzata e che rendono i dati bibliografici difficilmente confrontabili.

Tuttavia, la grande mole di dati disponibili e la mancanza di un lavoro simile ci ha stimolato nella creazione di un database che può diventare un utile termine di paragone nel caso della mancanza di dati sperimentali diretti.

Dati relativi all'ampiezza dell'alburno trovati in bibliografia. Nella maggior parte dei casi i dati fanno riferimento a sezioni trasversali, prelevate a 1.30 m dalla base, di piante mature e dominanti. È stato opportunamente segnalato il caso in cui il campionamento è stato effettuato in maniera differente o fa riferimento a piante di età diversa.

Conifere

Specie	ampiezza(cm)		Alburno		D (cm)	ds	es	campioni(n)	età	Località	Riferimento
	ds	es	area (cm ²)	ds							
<i>Abies balsamea</i> (L.) Mill.	-	-	-	-	23.2	-	0.8	5	73.2	Canada (Quebec)	Coyea et al. 1990
<i>Abies balsamea</i> (L.) Mill.	-	-	110.4	-	20.2	-	-	39	59	USA (Maine)	Gilmore et al. 1996
<i>Abies grandis</i> Lindl.	-	-	-	-	-	-	-	34	-	-	Puritch 1977
<i>Abies lasiocarpa</i> (Hook) Nutt	-	-	109	-	-	-	-	8	-	USA (Colorado)	Kaufmann e Troendle 1981
<i>Cryptomeria japonica</i> D.Don	4	-	-	-	33.6	-	-	1	45	Cina (Taiwan)	Yang et al. 1994
<i>Cupressus arizonica</i> Greene	8	-	-	-	20.7	-	-	1	-	Italia (Toscana)	Cermak e Nadezhkina 1998
<i>Cupressus sempervirens</i> L.	6.8	-	-	-	28.3	-	-	1	-	Italia (Toscana)	Cermak e Nadezhkina 1998
<i>Larix gmelinii</i> (Rupr) Rupr.	-	-	66.97	12.12	22.58	3.07	-	6	130	Russia (Siberia)	Anneth et al 1996
<i>Larix occidentalis</i> Nutt.	7.4	-	-	-	17.41	-	-	-	33	USA (Montana)	Sala et al 2001
<i>Picea abies</i> Karst.	2.6	-	-	-	51.44	11.2	-	28	-	Italia	Bernabei e Piutti 1999
<i>Picea abies</i> Karst.	9	-	0.83	1092	17.38	-	-	7	-	Repubblica Ceca (Moravia)	Cermak e Nadezhkina 1998
<i>Picea abies</i> Karst.	-	-	165.9	127	-	-	-	65	80-100	Estonia	Selin 1996
<i>Pinus canariensis</i> C. Smith	23	-	-	-	>20	-	-	-	-	Finlandia	O'Hara et al. 2001
<i>Pinus canariensis</i> C. Smith	16.4	-	-	-	62**	19.5	-	30	107	Spagna (Canarie)	Climent et al 1993
<i>Pinus contorta</i> Dougl.	-	-	-	-	42**	9.9	-	30	120	Spagna (Canarie)	Climent et al 1993
<i>Pinus contorta</i> var. <i>latifolia</i> Wats	2.2,2.5	-	-	-	21.5	-	-	2	40	Canada	Gao et al. 1995
<i>Pinus contorta</i> var. <i>latifolia</i> Wats	-	-	-	-	-	-	-	19	50-135	USA (British Columbia)	Yang e Murchison 1992
<i>Pinus pinaster</i> Ait.	-	-	5.309	-	3.6-27.6	-	-	55	-	USA (Wyoming)	Long e Smith 1988
<i>Pinus pinaster</i> Ait.	-	-	468.5	118.7	32.04	-	-	10	58-67	Portogallo	Loustau et al 1996
<i>Pinus pinaster</i> Ait.	10.4	-	365.87	140.95	27.75	-	-	8	37	Francia	Granier et al 1990
<i>Pinus pinaster</i> Ait.	-	-	-	-	31.5	-	-	1	-	Italia (Toscana)	Cermak e Nadezhkina 1998
<i>Pinus radiata</i> D. Don	-	-	658.78	334.03	32	7	-	9	16	Australia	Teskey e Sheriff 1996
<i>Pinus sylvestris</i> L.	9	-	-	-	28.6	-	-	1	-	Belgio	Cermak e Nadezhkina 1998
<i>Pinus sylvestris</i> L.	-	-	37.06	3.64	6.45	0.31	-	6	25	Svezia	Langstrom e Hellqvist 1991

Legenda ds: Deviazione standard es: Errore standard D: Diametro a 1.30 m ** sotto corteccia * altezza chioma (segue)

(Segue)

Conifere

Specie	Alburno		D (cm)		es	campioni(n)	età	Località	Riferimento
	ampiezza(cm)	ds	es	anelli(n)					
<i>Pinus sylvestris</i> L.	5.4	-	-	39	-	30	74	Finlandia	Sarapaa e Piispalen 1994
<i>Pinus sylvestris</i> L.	4.2	-	-	-	-	179	62	Finlandia	Ojansuo e Maltamo 1995
<i>Pinus sylvestris</i> L.	-	-	65.1	-	>20	-	-	Finlandia	O'Hara et al.2001
<i>Pinus sylvestris</i> L.	3.5	-	-	100	-	-	230	Norvegia	Bauch 1980
<i>Pinus sylvestris</i> L.	6	-	-	35	-	-	48	Germania	Bauch 1980
<i>Pinus sylvestris</i> L.	-	-	268.9	27.7	-	10	28	Gran Bretagna	Mencuccini e Grace 1995
<i>Pinus sylvestris</i> L.	-	-	154.9	21.5	-	10	38	Gran Bretagna	Mencuccini e Grace 1995
<i>Pseudotsuga menziesii</i> Franco	-	-	730	98	-	6	105	USA (Oregon)	Domec e Gartner 2002
<i>Pseudotsuga menziesii</i> Franco	3.5	0.6	168	-	-	13	35	USA (Oregon)	Spicer e Gartner 2001
<i>Pseudotsuga menziesii</i> Franco	3.9	0.6	-	-	-	3.4	24	USA (Washington)	Phillips et al.2002
<i>Pseudotsuga menziesii</i> Franco	4.1	1.2	-	-	-	0.6	40	USA (Washington)	Phillips et al.2002
<i>Pseudotsuga menziesii</i> Franco	3.74	-	289.7	-	18	-	450	USA (Washington)	Phillips et al.2002
<i>Pseudotsuga menziesii</i> Franco	3.12	-	-	-	-	-	50	Paesi Bassi	De Kort 1993
<i>Pseudotsuga menziesii</i> Franco	3.9	-	-	-	-	-	29	-	Wellwood 1975
<i>Pseudotsuga menziesii</i> Franco	4	-	-	2.64	-	9	40	USA (Washington)	Bond et al. 2000
<i>Pseudotsuga menziesii</i> Franco	-	-	182.9	17	-	1	45	Polonia	Raczkowski et al. 2000
<i>Pseudotsuga menziesii</i> Franco	-	-	163*	186.4	-	38	-	USA (Montana)	Sala et al 2001
<i>Pseudotsuga menziesii</i> Franco	-	-	153	98	-	189	-	USA (Oregon)	Maguire e Hann 1989
<i>Pseudotsuga menziesii</i> Franco	3.3	-	-	21	-	134	-	USA	Maguire e Batista 1996
<i>Sequoia sempervirens</i> (D. Don) Endl.	8.6	-	-	137	-	54	85	-	Smith et al. 1966
<i>Sequoia sempervirens</i> (D. Don) Endl.	8.1	-	-	43	-	-	61-88	-	Anonymous 1981
<i>Taxodium distichum</i> L.	4.75	4.6	-	-	-	56	64	USA (Carolina)	Anonymous 1981
<i>Tsuga canadensis</i> (L.) Carr.	-	-	303.4	45.4	-	2.8	20	USA (Maine)	Oren et al.2001

Legenda ds: Deviazione standard es: Errore standard D: Diametro a 1.30 m ** sotto corteccia * altezza chioma

(segue)

(Segue)

Latifoglie

Specie	Alburno		D (cm)	ds	es	campioni(n)	età	Località	Riferimento
	ampiezza(cm)	ds							
Acacia dealbata Link	-	-	27.1	-	-	6	15	Australia	Vertessy et al. 1995
Acer rubrum L.	-	-	>10	-	-	4	40	USA (Tennessee)	Wullschlegler et al.1998
Acer rubrum L.	9,6	-	35.2	-	-	-	40-75	USA (Tennessee)	Wullschlegler et al.2001
Acer saccharum Marsh.	>7,5	-	-	-	-	186	-	USA (New York)	Pausch et. al 2000
Anacardium excelsum Skeel.	14	-	98	-	-	1	-	Panama	James et al.2002
Anacardium excelsum Skeel.	-	-	101.58	-	-	1	-	Panama	Goldstein et al. 1998
Cecropia longipes Piettier	-	-	19.55	-	-	1	-	Panama	Goldstein et al.1998
Cordia alliodora (R.G.P.) Cham.	6	-	34	-	-	1	-	Panama	James et al.2002
Eucaliptus grandis Hill. Ex Maiden	-	-	11.5	1.96	-	10	5	Australia	Kalma et al. 1998
Eucaliptus grandis Hill. Ex Maiden	-	-	18	-	-	1	4	Sud Africa	Dye et al.1992
Eucaliptus grandis Hill. Ex Maiden	-	-	-	-	-	4	3	Sud Africa	Olbrich 199
Eucaliptus grandis Hill. Ex Maiden	-	-	-	-	-	1	16	Sud Africa	Olbrich 1991
Eucaliptus grandis Hill. Ex Maiden	0.9-4.8	-	-	-	-	45	9.5	Australia	Wilkins 1991
Eucaliptus regnans F.Muell	-	-	22.4	-	-	18	15	Australia	Vertessy et al. 1995
Fagus sylvatica L.	9,7	-	38.78	11.03	-	42	91.7	Italia	Bernabei 1998
Fagus sylvatica L.	9,5	3.69	27.55	14.66	-	9	40-140	Germania	Schafer et al. 2000
Ficus carica L.	7,7	-	20.7	-	-	-	1	Italia (Toscana)	Germak e Nadezhdina 1998
Ficus insipida Willd.	-	-	54.13	-	-	-	1	Panama	Goldstein et al. 1998
Ficus insipida Willd.	2,5	-	65	-	-	1	-	Panama	James et al.2002
Gmelina arborea Roxb.	-	-	14.71-25.9	-	-	-	6,9-10,91	Costa Rica	Morataya et al.1999
Juglans nigra L.	0.4-0.8	-	-	-	-	-	-	-	Nelson 1976
Juglans nigra L.	0,81	-	4.34	-	-	10	9	USA (Illinois)	Nelson et al. 1981
Liriodendron tulipifera L.	1.9-14.8	-	15.69	-	-	55	-	USA (Tennessee)	Wullschlegler e King 2000

Legenda ds: Deviazione standard es: Errore standard D: Diametro a 1.30 m ** sotto corteccia * altezza chioma (segue)

(Segue)

Latifoglie

Specie	Alburno		D (cm)	età	Località	Riferimento
	ampiezza(cm)	area (cm ²)				
	ds	es	ds	es	campioni(n)	
Liriodendron tulipifera L.	5.5	-	35.1	-	40-75	Wullschlegler et al.2001
Luehea scemanni Triana & Planch	-	1000	37.43	-	-	Goldstein et al.1998
Nyssa sylvatica Marsh.	9.1	-	28.1	-	40-75	Wullschlegler et al.2001
Olea europea L.	9.6	-	19	-	1	Cermak e Nadezhdina 1998
Populus I214	0.83	-	-	9.09	177	Polge 1985
Populus spp.	-	-	-	-	9	Schaeffer e Williams 1988
Populus x interamericana	12	-	45	23	3	Cermak e Nadezhdina 1998
Prunus avium L.	4.1	1.05	46.2-48.7	-	21	Bistoni (non pubblicati)
Prunus serotina Ehrh.	0.4-4.4	-	3-34	-	-	Nelson 1976
Quercus alba L.	3	-	52.6	-	40-75	Wullschlegler et al.2001
Quercus ilex L.	-	395	6.58	2.83	6	Tognetti et al.1998
Quercus intermedia Boeninghaus	2.41	-	17.9	-	27	Deret-Varcin 1983
Quercus petraea (Matt.) Liebl.	3.62	-	73.6	-	30	Deret-Varcin 1983
Quercus petraea (Matt.) Liebl.	3.25	-	69.9	-	70	Dhote et al. 2000
Quercus prinus L.	2.48	0.39	48.08	-	9.7	Wullschlegler et al.2001
Quercus pubescens Willd.	4.13	-	21	-	3	Cermak e Nadezhdina 1998
Quercus pubescens Willd.	-	-	5.6	-	3	Tognetti et al. 1999
Quercus robur L.	2.86	-	77	-	26	Deret-Varcin 1983
Quercus rubra L.	2.3	-	41.8	-	40-75	Wullschlegler et al.2001
Salix spp.	-	200	21	4.5	4	Schaeffer e Williams 1988
Schefflera morototoni (Aubl.)	3.5	-	47	-	1	James et al.2002
Spondias mombin L.	-	600	43.71	-	1	Goldstein et al.1998
Tectonia grandis L.F.	-	-	13.75-20.24	-	40	Morataya et al.1999
	-	-	89.17 - 235.99	-	-	

Legenda ds: Deviazione standard es: Errore standard D: Diametro a 1.30 m ** sotto corteccia * altezza chioma

FATTORI CHE INFLUISCONO SULL'AMPIEZZA DELL'ALBURNO

All'interno di una stessa specie l'ampiezza dell'alburno risente dell'azione sinergica dei fattori legati alla fisiologia della pianta (fattori endogeni) e dei fattori esterni (fattori esogeni).

Una stima accurata dell'ampiezza dell'alburno non può essere realizzata senza tener conto degli effetti di tali fattori.

FATTORI ENDOGENI

Superficie fogliare

Come già accennato, nell'alburno avviene il passaggio dei liquidi dalle radici alla chioma. Molto numerosi sono gli studi che dimostrano come la relazione che lega la quantità di foglie alla superficie dell'alburno sia diretta e molto elevata (GRIER e WARING, 1974; WARING *et al.*, 1977; SNELL e BROWN, 1978; ROGERS e HINCKLEY, 1979; LONG *et al.*, 1981).

Ciò sta ad indicare che in una pianta in fase di maturità fisiologica, non sottoposta a limitazioni di tipo competitivo o più in generale ambientale, a un assetto della chioma più o meno costante corrisponde un'ampiezza dello strato alburnoso ugualmente più o meno costante e caratteristica per la specie.

Inoltre, l'ampiezza dell'alburno lungo il fusto si mantiene relativamente uniforme dalla base fino all'inserzione delle prime branche, dopo le quali la quantità di liquidi necessaria a rifornire la chioma sarà evidentemente sempre minore (cf. SELLIN, 1994; BERNABEI, 1999) e di conseguenza anche la porzione di alburno tenderà a diminuire.

Anatomia del legno

Nel caso delle latifoglie, l'ampiezza dell'alburno è correlata all'efficienza conduttiva dei tessuti cellulari addetti al trasporto dei liquidi e alla loro durata nel tempo. Le specie dotate di cellule altamente specializzate nella conduzione, come i vasi delle latifoglie con anello poroso, sono in grado di assicurare alla pianta una maggiore portata (quantità di liquidi per superficie di legno considerata).

A un'elevata efficienza conduttiva, intesa come maggiore portata del tessuto cellulare legnoso, è però associata una minore durata del periodo di funzionamento idraulico delle cellule (COCHARD e GRANIER, 1999). Infatti, generalmente, più grande è il lume dei vasi maggiori sono i problemi dovuti a fenomeni di embolia con conseguente interruzione della funzionalità idraulica (CARLQUIST, 1988).

Dal confronto tra l'ampiezza dell'alburno delle poche latifoglie di cui

si dispone di dati bibliografici affidabili (tabella) e l'ampiezza media dei rispettivi vasi primaticci addetti al trasporto (GIORDANO, 1984) emerge una correlazione negativa molto significativa ($r = -0,92$, $p < 0,01$; R di Spearman = $-0,85$, $p < 0,01$) (Fig 4).

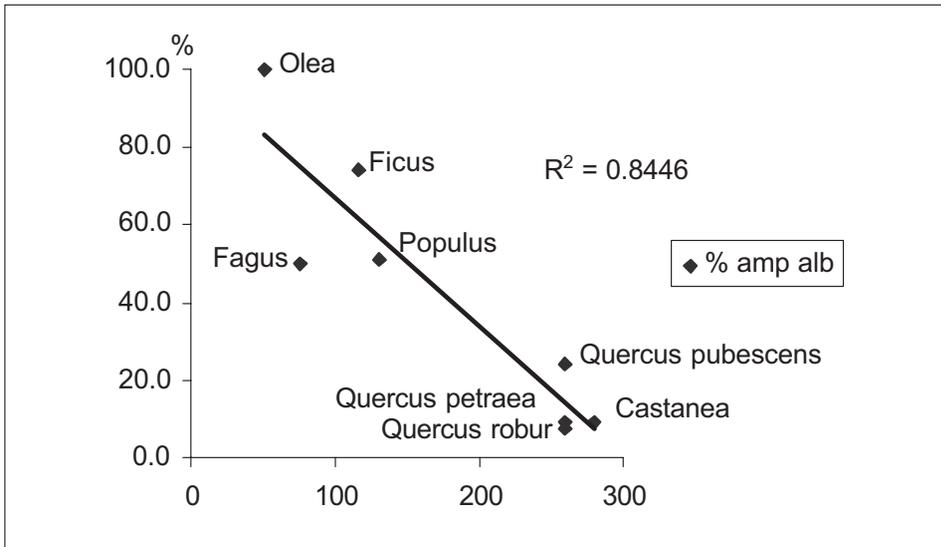


Figura 4 – Correlazione tra l'ampiezza dell'alburno in alcune latifoglie e la rispettiva larghezza media dei vasi del legno primaticcio.

Quindi, nelle latifoglie con un tessuto addetto alla conduzione molto efficiente ma la cui attività dura poco nel tempo, l'alburno sarà in genere di dimensioni piuttosto ridotte. È questo il caso del castagno, della robinia, delle querce caducifoglie, ecc.

Dove invece non ci sono cellule particolarmente specializzate per il trasporto, le piante avranno un'estensione dell'alburno più ampia. Tra queste ad esempio possiamo includere il faggio, i pioppi, i tigli, ecc.

Al contrario, nelle conifere la relazione tra dimensione trasversale media delle tracheidi e ampiezza dell'alburno non è stata trovata. Un tentativo di correlazione è stato realizzato anche tra ampiezza dell'alburno e lunghezza delle tracheidi, ma anche questo non è risultato significativo. Probabilmente, non essendovi cellule particolarmente specializzate nella conduzione, l'ampiezza dell'alburno nelle conifere potrebbe essere legata ad altri fattori: vitalità delle cellule parenchimatiche, rapporto tra legno primaticcio e tardivo, ecc.

Stadio fisiologico della pianta

Data la relazione tra alburno e chioma, poiché alla fase iniziale di vita della pianta corrisponde generalmente una chioma minore, la quantità assoluta di alburno sarà minore rispetto a quella della seguente fase adulta.

Poiché nelle piante giovani la porzione di durame può essere molto ridotta o addirittura assente, la quantità percentuale di alburno sarà generalmente molto elevata.

Questo è vero soprattutto se non intervengono fattori esogeni (ad es. competizione) ad alterare lo stato fisiologico delle piante (BERNABEI, 1997). Infatti, nelle piante sottoposte spesso si trova una situazione assimilabile a quella delle piante giovani, con chioma ridotta e alburno analogamente ridotto. Rispetto alle piante giovani le piante sottoposte hanno di solito un numero di anelli che costituisce l'alburno molto maggiore. Riguardo invece all'età cambiale i dati disponibili in bibliografia sono piuttosto controversi. Se da un lato sembra che l'età cambiale non abbia effetti sulla quantità di flusso (SPICER e GARTNER, 2001), dall'altro per le conifere sono documentate variazioni nella conduzione trovate in corrispondenza delle caratteristiche anatomiche del legno giovanile (PHILLIPS *et al.*, 1996).

È ormai noto invece che le variazioni di flusso che si trovano dalla corteccia verso il midollo sono dovute essenzialmente all'invecchiamento dei tessuti conduttori (BAMBER e FUKAZAVA, 1985).

Superata la fase giovanile di vita della pianta, l'ampiezza dell'alburno tende a stabilizzarsi (SELLIN, 1994) per poi diminuire di nuovo nella fase di senescenza, quando sulla pianta vengono a trovarsi rami secchi, branche rotte, fenomeni di deperimento.

FATTORI ESOGENI

Condizioni ambientali

Molto ricca è la bibliografia che riguarda l'influenza delle varie caratteristiche ambientali sull'ampiezza dell'alburno. Il clima (DELUCIA *et al.*, 1994; MENCUCCINI e GRACE, 1995; MAHERALI e DELUCIA, 2000), lo spessore e la fertilità del substrato (KRAMER, 1983; MAIER, 2001), le operazioni selvicolturali (LANGSTROM e HELLQVIST, 1991; DHOTE, 2000), l'azione di elementi inquinanti (cf. BAUCKER *et al.*, 1996), la presenza di attacchi patogeni (SALA *et al.*, 2001), sono alcuni dei fattori che intervengono sulla dimensione e sull'efficienza della chioma e quindi, indirettamente, sono in grado di alterare la quantità di alburno presente nella pianta. Studi sulla fisiologia delle piante hanno mostrato come la quantità di alburno non solo sia variabile al variare delle condizioni ambientali durante l'intera vita della pianta, ma anche durante la stessa stagione vegetativa: una fine estate sicci-

tosa può ridurre la porzione di alburno più attiva nella conduzione di circa 1/3 della sua ampiezza (CERMAK e NADEZHDINA, 1998).

A condizioni favorevoli per la pianta corrisponde un alburno ampio mentre in casi di sofferenza avremo un alburno ridotto. È importante però notare come ad alberi della stessa classe di chioma corrispondano alberi con la stessa quantità di alburno anche se appartenenti a boschi con caratteristiche differenti (HILLIS, 1987).

Competizione

Solitamente, l'ampiezza dell'alburno in valore assoluto delle piante dominanti è superiore, a parità di condizioni, rispetto a quello delle piante sottoposte della stessa specie (KAUFMANN e WATKINS, 1990; BERNABEL, 1998). Ciò ovviamente è in relazione allo sviluppo della chioma che nelle piante sottoposte è minore rispetto alle dominanti.

Alcuni Autori trovano che anche la quantità percentuale di alburno diminuisce rispetto alla sezione considerata (SELLIN, 1994; KAUFMANN e WATKINS, 1990).

Le differenze maggiori sono però nel numero degli anelli che costituiscono l'alburno. Mentre nelle piante dominanti può bastare un ridotto numero di anelli per rifornire l'intera chioma, nelle piante dominate il numero di anelli può diventare molto più elevato fino a raddoppiare (fino a 100 anelli contati nell'alburno di una pianta sottoposta di faggio contro i 70 di una dominante; BERNABEL, 1998).

Tale considerazione conferma come non sia tanto importante il numero di anelli che va a costituire l'alburno, quanto le dimensioni della superficie di trasporto.

Infine, l'elevato numero di anelli contati all'interno dell'alburno di piante sottoposte indica come le cellule parenchimatiche in certe specie possano sopravvivere per un numero di anni molto elevato (MAGEL e HÖLL, 1993).

CONCLUSIONI

Il database, realizzato con l'intento di fornire uno strumento utile a ricercatori e professionisti che operano nel campo del verde urbano e delle scienze del legno, impone alcune considerazioni sulle specie che lo compongono e sulla sua applicabilità.

Per molte delle specie è stata riportata, oltre all'ampiezza occupata dall'alburno con relativi dati statistici, la superficie, il numero di campioni, la località, l'età media delle piante e il riferimento bibliografico.

Il numero totale di specie prese in considerazione è di 51, di cui 32 latifoglie e 19 conifere.

I dati sono concentrati su certe specie in particolare.

Ad esempio, nelle conifere l'interesse è rivolto soprattutto verso specie molto utilizzate per la produzione legnosa (*Pseudotsuga menziesii* Franco-USA, *Pinus sylvestris* L. – Paesi del Nord Europa) su cui da molto tempo si conducono ricerche sulla qualità del legno oltre che sulla fisiologia delle piante.

Nelle latifoglie sembra che non ci sia un interesse particolare verso determinate specie, anche se si osserva un'attenzione marcata per l'*Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden da parte di australiani e sud africani e per il genere *Quercus* da parte dei francesi.

Alcune specie non sono rappresentate anche se molto diffuse.

Ad esempio mancano i tigli, il platano, l'ippocastano, il bagolaro che sono tra le specie più impiegate nel campo delle alberature cittadine. Su queste specie in particolare andranno quindi indirizzate le future ricerche sull'estensione dell'alburno.

SUMMARY

Presentation of sapwood width database of various species

This work is the result of a bibliographic research on sapwood width. Data are mostly related to mature and dominant trees of several species investigated. Sapwood width can be influenced by both endogenous and exogenous factors; these factors are here reported and discussed in order to evidence their importance.

This database can be considered a tool to be used in different fields of forestry research like dendrochronology, endotherapy, forest plants physiology, technology and wood science.

BIBLIOGRAFIA

- ALLEGRETTI O., BERNABEI M., NEGRI M., PIUTTI E., 1999 – *Sapwood - heartwood proportion related to some technological properties in Picea abies in Trentino (Italy)*. In Proceedings of The Fourth International Conference on The Development of Wood Science, Wood Technology and Forestry (ICWSF 99); 14-16 luglio, High Wycombe, England: 475-485.
- ANONYMOUS, 1981 – *Comparative properties of old- and young- growth giant sequoia of potential significance to wood utilization*. Div. Agric. Sci., Univ. Calif. USA Bull. 1901, 19 pp. In HILLIS W.E., 1987 – Heartwood and tree exudates. Springer-Verlag, Berlino.
- ARNETH A., KELLIHER F.M., BAUER G., HOLLINGER D.Y., BYERS J.N., HUNT J.E., McSEVENY T.M., ZIEGLER W., VYGODSKAYA N.N., MILUKOVA I., SOGACHOV

- A., VARLAGIN A., SCHULZE E.D., 1996 – *Environmental regulation of xylem sap flow and total conductance of Larix gmelinii trees in eastern Siberia*. *Tree Physiology*, 16: 247-255.
- BAMBER R.K., FUKAZAVA K., 1985 – *Sapwood and Heartwood: A Review*. *Forestry Abstracts*, 46 (9): 567-580.
- BAUCH J., 1980 – *Variation of wood structure due to secondary change*. In BAUCH J. (ed.) *Natural variations of wood properties*. Mitt Bundesforschungsanst Forst-Holzwirtschaft 131, pp 69-97.
- BAUCKER E., BEMMANN A., BUES C.T., NUYS G.J., 1996 – *Wood properties of heavily pollution-damaged spruce (Picea abies [L.] Karst.) in the high-altitude zones of the eastern parts of Erz Gebirge*. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 54 (4): 251-258.
- BERNABEI M., 1994 – *Aspetti della duramificazione nel castagno dell'Italia centrale*. *Linea ecologica - Economia montana*, 2: 49-54.
- BERNABEI M., 1998 – *Il durame facoltativo del faggio*. *Annali dell'Accademia Italiana di Scienze Forestali*, 105-131.
- BERNABEI M., LO MONACO A., in stampa. *Considerazioni sulla predisposizione alla formazione di cavità nei tronchi di tasso*. In *Atti del Convegno Nazionale «Il tasso: un albero da proteggere e conservare»*. 30 marzo 2001, Morino (AQ).
- BERNABEI M., PIUTTI E., 1999 – *Relazioni alburno - durame in tronchi di abete rosso (Picea abies Karst.) del Trentino*. *Monti e Boschi*, 5: 31-36.
- BERNABEI M., BOSA B., LO MONACO A., 2001 – *Primi elementi per una caratterizzazione xilologica del legno di Pinus laricio Poiret - var. corsicana Loud della Sardegna*. *Legno Cellulosa Carta*, 1: 10-15.
- BOND B.J., RYAN M.G., WILLIAMS M., 2000 – *Stand age productivity and Hydraulic conductance of Douglas fir in the Wind River Basin*. The National Institute for Global Environmental Change (NIGEC). Disponibile su <http://nigec.ucdavis.edu/publications/annual2000/westgec/Bond/>
- CARLQUIST S., 1975 – *Ecological strategies of xylem evolution*. University of California Press, Berkeley.
- CARLQUIST S., 1977 – *Ecological factors in wood evolution: a floristic approach*. *American Journal of Botany*, 64: 887-896.
- CARLQUIST S., 1988 – *Comparative wood anatomy*. Springer-Verlag, Berlino.
- CERMAK J., JENIK J., KUCERA J., ZIDEK V., 1984 – *Xylem water flow in a crack willow tree (Salix fragilis L.) in relation to diurnal changes of environment*. *Oecologia*, 64: 145-151.
- CERMAK J., NADEZHINA N., 1998 – *Sapwood as descaling parameter – defining according to xylem water content or radial pattern of sap flow?* *Annals of Forest Science*, 55 (5): 509-521.
- CERMAK J., CIENCIALA E., KUCERA J., LINDROTH A., HALLGREN J.E., 1992 – *Radial velocity profiles of water flow in stems of spruce and oak and response of spruce tree to severing*. *Tree Physiology*, 10: 367-380.
- CLIMENT J., GIL L., PARDOS J., 1993 – *Heartwood and sapwood development and its relationship to growth environment in Pinus canariensis Chr. Sm ex dc*. *Forest Ecology and Management*, 59 (1-2): 165-174.

- COCHARD H., GRANIER A., 1999 – *Fonctionnement hydraulique des arbres forestiers*. Revue Forestiere Francaise, 2: 121-134.
- CORONA E., 1974 – *Ricostruzione dell'alburno in legnami sommersi*. Geo-Archeologia, 1/2: 19-22.
- COYEA M.R., MARGOLIS H.A., GAGNON R.R., 1990 – *A method for reconstructing the development of the sapwood area of balsam fir*. Tree Physiology, 6 (3): 283-292.
- DE KORT I., 1993 – *Relationship between sapwood amount, latewood percentage, moisture content and crown vitality of douglas fir, Pseudotsuga menziesii*. IAWA Journal, 14 (4): 413-427.
- DELUCIA E.H., CALLAWAY R.M., SCHLESINGER W.H., 1994 – *Offsetting changes in biomass allocation and photosynthesis in ponderosa pine (Pinus ponderosa) in response to climate change*. Tree Physiology, 14: 669-677.
- DERET-VARCIN E., 1983 – *Etude comparative de la qualité du bois de trois types de chênes (rouvres, pedunculées et intermediaries), en forêt de Morimond*. Annals of Forest Science, 40: 373-398.
- DHOTE J.F., HATSCH E., RITTIÉ D., 2000 – *Forme de la tige, tarifs de cubage et ventilation de la production en volume chez le chene sessile*. Annals of Forest Science, 57: 121-142.
- DOMEC J.C., 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.
- DYE P.J., OLBRICH B.W., CALDER I.R., 1992 – *A comparison of the heat pulse method and deuterium tracing method for measuring transpiration from Eucalyptus grandis trees*. Journal of Experimental Botany, 43: 237-343.
- EDWARDS W.R.N., BECKER P., CERMAK J., 1997 – *A unified nomenclature for sap flow measurements*. Tree Physiology, 17: 65-67.
- GAO Y., CHEN T., BREUIL C., 1995 – *Identification and quantification of nonvolatile lipophilic substances in fresh sapwood and heartwood of lodgepole pine (Pinus contorta Dougl.)*. Holzforschung, 49 (1): 20-28.
- GILMORE D.W., SEYMOUR R.S., MAGUIRE D.A., 1996 – *Foliage-sapwood area relationships for Abies balsamea in central Maine USA*. Canadian Journal of Forest Research, 26 (12): 2071-2079.
- GIORDANO G., 1984 – *Tecnologia del legno*. UTET, Torino.
- GOLDSTEIN G., ANDRADE J.L., MEINZER F.C., HOLBROOK N.M., CAVELIER J., JACKSON P., CELIS A., 1998 – *Stem water storage and diurnal patterns use in tropical forest canopy trees*. Plant Cell and Environment, 21: 397-406.
- GRANIER A., BOBAY V., GASH J.H.C., GELPE J., SAURGIER B., SHUTTLEWORTH W.J., 1990 – *Vapour flux density and transpiration rate comparisons in a stand of Maritime pine (Pinus pinaster Ait.) in Les Landes forest*. Agricultural Forest Meteorology, 51: 309-319.
- GRIER C.G., WARING R.H., 1974 – *Conifer foliage mass related to sapwood area*. Forest Science, 20: 205-206.
- HILLIS W.E., 1987 – *Heartwood and Tree Exudates*. Springer-Verlag, Berlino.
- HILLIS W.E., 1999 – *The formation of heartwood and its extractives: an overview*. In

- Phytochemicals in Human Health Protection, Nutrition, and Plant Defense. Kluwer Academic / Plenum Publishers, New York.
- JAMES S.A., CLEARWATER M.J., MEINZER F.C., GOLDSTEIN G., 2002 – *Heat dissipation sensor of variable length for the measurement of sap flow in trees with deep sapwood*. *Tree Physiology*, 22: 277-283.
- KALMA S.J., THORBURN P.J., DUNN G.M., 1998 – *A comparison of heat pulse and deuterium tracing techniques for estimating sap flow in Eucalyptus grandis tree*. *Tree Physiology*, 18 (10): 607-705.
- KAUFMANN M.R., WATKINS R.K., 1990 – *Characteristics of high and low vigor lodgepole pine trees in old growth stands*. *Tree Physiology*, 7: 239-246.
- KAUFMANN M.R., TROENDLE C.A., 1981 – *The relationship of leaf area and foliage biomass to sapwood conducting area in four subalpine forest tree species*. *Forest Science*, 27: 477-482.
- KENEFFIC L.S., SEYMOUR R.S., 1999 – *Leaf area prediction models for Tsuga canadensis in Maine*. *Canadian Journal of Forest Research*, 29 (10): 1574-1582.
- KOVACS A., 1984 – *Applicazione di fitofarmaci per infusione e iniezione*. *Informatore Fitopatologico*, 1: 25-30.
- KRAMER P.J., 1983 – *Plant and soil water relationships*. Academic Press, New York, p. 483.
- LANGSTROM B., HELLQVIST C., 1991 – *Effects of different pruning regimes on growth and sapwood area of Scots pine*. *Forest Ecology and Management*, 44 (2/4): 239-254.
- LONG J.N., SMITH F.W., SCOTT D.R.M., 1981 – *The role of Douglas fir stem sapwood and heartwood in the mechanical and physiological support of crown and development of stem form*. *Canadian Journal of Botany*, 11: 459-464.
- LOUSTAU D., BERBIGIER P., ROUMAGNAC P., ARRUDA- PACHECO C., DAVID J.S., FERREIRA M.I., PEREIRA J.S., TAVARES R., 1996 – *Transpiration of a 64-year-old Maritime pine stand in Portugal. I: seasonal course of water flux through Maritime pine*. *Oecologia*, 107: 33-42.
- MAGEL E.A., HÖLL W., 1993 – *Storage carbohydrates and adenine nucleotides in trunks of Fagus sylvatica L. in relation to discolored wood*. *Holzforschung*, 47: 19-24.
- MAGUIRE D.A., HANN D.W., 1989 – *The relationship between gross crown dimensions and sapwood area et crown base in Douglas-fir*. *Canadian Journal of Forest Research*, 19 (5): 557-565.
- MAGUIRE D.A., BATISTA J.L.F., 1996 – *Sapwood taper models and implied sapwood volume and foliage profiles for costal Douglas fir*. *Canadian Journal of Forest Research*, 26 (5): 849-863.
- MAHERALI H., DELUCIA E.H., 2000 – *Xylem conductivity and vulnerability to cavitation of ponderosa pine growing in contrasting climates*. *Tree Physiology*, 20: 859-867.
- MAIER C.A., 2001 – *Stem growth and respiration in loblolly pine plantations differing in soil resource availability*. *Tree Physiology*, 21: 1183-1193.

- MENCUCCINI M., GRACE J., 1995 – *Climate influences the leaf area/sapwood area ratio in Scots pine*. *Tree Physiology*, 15: 1-10.
- MORATAYA R., GALLOWAY G., BERNINGER F., KANNINEN M., 1999 – *Foliage biomass-sapwood (area and volume) relationships of Tectona grandis L. F. and Gmelina arborea Roxb.: Silvicultural implication*. *Forest Ecology and Management*, 113 (2/3): 231-239.
- NELSON N.D., 1976 – *Gross influences on heartwood formation in black walnut and black cherry trees*. USDA For. Ser. FPL Res. pap.268: p.11. In HILLIS W.E., 1987 – *Heartwood and Tree Exudates*. Springer-Verlag, Berlino.
- NELSON N.D., RIETVELD W.J., ISEBRANDS J.G., 1981 – *Xylem ethylene production in five Black walnut families in early stages of heartwood formation*. *Forest Science*, 27 (3): 537-543.
- O' HARA K.L., LAHDE E., LAIHO O., NOROKORPI Y., SAKSA T., 2001 – *Leaf area allocation as a guide to stocking control in multi-aged mixed-conifer forests in Southern Finland*. *Forestry*, 74 (2): 171-184.
- OJANSUU R., MALTAMO M., 1995. *Sapwood and heartwood taper in Scots Pine stems*. *Canadian Journal of Forest Research*, 25 (12): 1928-1943.
- OLBRICH B.W., 1991 – *The verification of the heat pulse velocity technique for estimating sap flow in Eucalyptus grandis*. *Canadian Journal of Forest Research*, 21: 836-841.
- OREN R., SPERRY J.S., EWERS B.E., PATAKI D.E., PHILLIPS N., MEGONIGAL J.P., 2001 – *Sensitivity of mean canopy stomatal conductance to vapor pressure deficit in a flooded Taxodium distichum L. forest: hydraulic and non-hydraulic effects*. *Oecologia*, 126: 21-29.
- PAUSCH R.C., GROTE E.E., DAWSON T.E., 2000 – *Estimating water use by sugar maple trees: considerations when using heat-pulse methods in trees with deep functional sapwood*. *Tree Physiology*, 20: 217-227.
- PHILLIPS N., BOND B.J., MCDOWELL N.G., RYAN M.G., 2002 – *Canopy and hydraulic conductance in young, mature and old Douglas-fir trees*. *Tree Physiology*, 22: 205-211.
- PHILLIPS N., OREN R., ZIMMERMANN R., 1996 – *Radial patterns of xylem sap flow in non-diffuse- and ring- porous tree species*. *Plant Cell and Environment*, 19: 983-990.
- POLGE H., 1985 – *Influence de l'elagage sur la duraminisation, la production de bois de tension et quelques autres proprietes du bois de peuplier I214*. *Annals of Forest Science*, 42 (3): 283-296.
- PURITCH G.S., 1977 – *Distribution and phenolic composition of sapwood and heartwood in Abies grandis and effects of the balsam woolly aphid*. *Canadian Journal of Forest Research*, 7 : 54-62. In HILLIS W.E., 1987 – *Heartwood and tree exudates*. Springer-Verlag, Berlino.
- RACZKOWSKI J., OLEK W., GUZENDA R., 2000 – *Moisture evaporation rates from sapwood and heartwood samples of Douglas fir (Pseudotsuga menziesii Franco) green wood*. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 58: 247-252.
- ROGERS R., HINCKLEY T.M., 1979 – *Foliar weight and area related to current sapwood area in oak*. *Forest Science*, 25: 298-303.

- SALA A., CAREY E.V., CALLAWAY R.M., 2001 – *Dwarf mistletoe affects whole- tree water relations of Douglas fir and Western larch primarily in leaf to sapwood ratio*. *Oecologia*, 126 (1): 42-52.
- SARANPAA P., PIISPALEN R., 1994 – *Variation in the amount of triacylglycerous and steryl esters in the outer sapwood of Pinus sylvestris*. *Trees*, 8: 228-231.
- SCHAEFFER S.M., WILLIAMS D.G., 1988 – *Transpiration of desert riparian forest canopies estimated from sap flux*. In MORAN M.S., GOODRICH D.C., MARSETT R., SCOTT R., CHEHBOUNI A., SCHAEFFER S., SCHIEDGE J., WILLIAMS D., KEEFER T., COOPER D., HIPPS L., EICHINGER W., NI W., 1988 – Estimation of evapotranspiration over the San Pedro Riparian area with remote and in-situ measurements. American Meteorology Society, Special Symposium On Hydrology, 11-16 January, Phoenix, AZ, p. 55-60.
- SCHÄFER K.V.R., OREN R., TENHUNEN J.D., 2000 – *The effect of tree height on crown level stomatal conductance*. *Plant Cell and Environment*, 23 (4): 365-375.
- SELLIN A., 1994 – *Sapwood-heartwood proportion related to tree diameter, age, and grow rate in Picea abies (L.) Karst*. *Canadian Journal of Forest Research*, 24: 1022-1028.
- SELLIN A., 1996 – *Sapwood amount in Picea abies (L.) Karst. determined by tree age and radial growth rate*. *Holzforschung*, 50 (4): 291-296.
- SIAU J.F., 1984 – *Transport processes in wood*. Springer-Verlag, Berlin.
- SMITH J.H.G., WATERS J., WELLWOOD R.W., 1966 – *Variation in sapwood thickness of Douglas- fir relation to tree and section characteristics*. *Forest Science*, 12: 97-103. In HILLIS W.E., 1987 – Heartwood and tree exudates. Springer-Verlag, Berlino.
- SNELL J.K.A., BROWN J.K., 1978 – *Comparison of tree biomass estimators – dbh and sapwood area*. *Forest Science*, 24: 455-457.
- SPICER R., 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.
- TESKEY R.O., SHERIFF D.W., 1996 – *Water use by Pinus radiata trees in a plantation*. *Tree Physiology*, 16: 273-279.
- TOGNETTI R., LONGOBUCCO A., MIGLIETTA F., RASCHI A., 1998 – *Transpiration and stomatal behaviour of Quercus ilex plants during the summer in a Mediterranean carbon dioxide spring*. *Plant Cell and Environment*, 21: 613-622.
- TOGNETTI R., LONGOBUCCO A., MIGLIETTA F., RASCHI A., 1999 – *Water relations, stomatal response and transpiration of Quercus pubescens trees during summer in a Mediterranean carbon dioxide spring*. *Tree Physiology*, 19: 261-270.
- VERTESSY R.A., BENJON R.G., O' SULLIVAN S.K., GRIBBEN P.R., 1995 – *Relationships between stem diameter, sapwood area, leaf area and transpiration in a young mountain ash forest*. *Tree Physiology*, 15: 559-567.
- WARING R.H., GHOLZ H.L., GRIER C.C., PLUMMER M.L., 1977 – *Evaluating stem conducting tissue as an estimator of leaf area in four woody angiosperms*. *Canadian Journal of Botany*, 55: 1474-1477.

- WARING R.H., THIES W.G., MUSCATO D., 1980 – *Stem growth per unit of leaf area: a measure of tree vigor*. Forest Science, 26 (1): 112-117.
- WELLWOOD R.W., 1955 – *Sapwood- heartwood relationships in second growth Douglas fir*. In KOZLOWSKI T.T., PALLARDY S.G., 1997 – *Physiology of woody plants*. Academic Press, New York.
- WILKINS. A.P., 1991 – *Sapwood, heartwood and bark thickness of silviculturally treated Eucaliptus grandis*. Wood Science and Technology, 25: 415-423.
- WULLSCHLEGER S.D., HANSON P.J., TODD D.E., 2001 – *Transpiration from a multi-species deciduous forest as estimated by xylem sap flow techniques*. Forest Ecology and Management, 143 (1/3): 205-213.
- WULLSCHLEGER S.D., HANSON P.J., TSCHAPLINSKI T.J., 1998 – *Whole-plant water flux in understory red maple exposed to altered precipitation regimes*. Tree Physiology, 18: 71-79.
- WULLSCHLEGER S.D., KING W., 2000 – *A radial variation in sap velocity as a function of stem diameter and sapwood thickness in yellow-poplar trees*. Tree Physiology, 20: 511-518.
- YANG K.C., CHEN Y.S., CHIU C., HAZENBERG G., 1994 – *Formation and vertical distribution of sapwood and heartwood in Cryptomeria japonica D. Don*. Trees, 9: 35-40.
- YANG K.C., MURCHISON H.G., 1992 – *Sapwood thickness in Pinus contorta var. latifolia*. Canadian Journal of Forest Research, 22 (12): 2004-2006.
- ZIEGLER H., 1968 – *Biological aspects of heartwood formation*. Holz als Roh-und Verstoff, 26: 61-68.
- ZIMMERMANN M.H., 1983 – *Xylem structure and the ascent of sap*. Springer-Verlag, Berlin.