

Risposte ecofisiologiche di *Pinus leucodermis* ad alta quota in ambiente mediterraneo

Guerrieri MR* ⁽¹⁾, Todaro L ⁽¹⁾, Carraro V ⁽²⁾, De Stefano S ⁽¹⁾, Lapolla A ⁽¹⁾, Saracino A ⁽³⁾

(1) Dipartimento di Scienze dei Sistemi Colturali, Forestali e dell'Ambiente, Università della Basilicata, v.le dell'Ateneo Lucano 10, I-85100 Potenza (Italy); (2) Dipartimento del Territorio e dei Sistemi Agro-Forestali, Viale dell'Università 16, Università degli Studi di Padova, I-35020 Legnaro (PD - Italy); (3) Dipartimento di Arboricoltura, Botanica e Patologia Vegetale, Via Università 100, Università degli Studi di Napoli "Federico II", I-80055 Portici (NA - Italy). - *Corresponding Author: Maria Rosa Guerrieri (maria.guerrieri@unibas.it).

Abstract: Ecophysiological performance of *Pinus leucodermis* at high elevation in the Mediterranean area. *Pinus leucodermis* Antoine (= *Pinus heldreichii* var. *leucodermis*) is a species of the Balkan flora which in Italy grows in a small area between the Regions of Basilicata and Calabria, in the Pollino National Park. A relict of the oro-Mediterranean Tertiary forests, it is found from the lower vegetation belt, where it is mixed with evergreen sclerophyllous vegetation, up to the alpine vegetation belt beyond the closed formations of *Fagus sylvatica*, where it makes up stands with very old, isolated and big trees growing in open spaces between rocks. The ecophysiological and dendrochronology features of the *P. leucodermis* stands growing on the west slope of Serra di Crispo (Monte Pollino), between 1800 and 2000 m a.s.l., have been studied during recent years and some of the results are presented in this work. Ecophysiological measurements *in situ* show that reduced atmospheric vapour pressure deficit conditions, due to humid currents from the western Tyrrhenian Sea, allow the trees to escape from summer drought. When day summer weather conditions are optimal *P. leucodermis* exhibits a remarkable photosynthetic activity and adaptation to high irradiance. The tree ring width chronology documents a marked reduction of radial growth from 1950 to 1985, followed by a strong recovery, still continuing. In the same period differences between the annual minimum and maximum temperatures tend to increase. Anthropogenic and grazing pressure is reduced markedly after the institution of the National Park of Pollino.

Keywords: *Pinus leucodermis*, Mediterranean mountain, Treeline, Tree rings, Water relations, Transpiration, Photosynthetic capacity, Dendrochronology.

Received: May 24, 2007; Accepted: Jan 24, 2008

Citation: Guerrieri MR, Todaro L, Carraro V, De Stefano S, Lapolla A, Saracino A, 2008. Risposte ecofisiologiche di *Pinus leucodermis* ad alta quota in ambiente mediterraneo. Forest@ 5: 28-38 [online: 2008-03-27] URL: <http://www.sisef.it/forest@/>.

Introduzione

Negli ultimi anni la crescita degli studi riguardanti gli alberi vegetanti alla *treeline* è motivata dal fatto che i cambiamenti climatici potrebbero avere marcati effetti in questo ecotone. Almeno tre sarebbero, infatti, i cambiamenti cui le piante dovrebbero adattarsi (Grace et al. 2002). Essi riguardano l'aumento: 1) della concentrazione di CO₂ nell'atmosfera; 2) della temperatura; 3) delle deposizioni azotate.

Nel bacino del Mediterraneo, gli effetti dei cambiamenti climatici si manifestano mediante riduzione e

variabilità stagionale delle precipitazioni e, quindi, con un prolungamento del periodo di stress idrico (Osborne et al. 2000). Ciò può influenzare in modo significativo la distribuzione e la composizione della vegetazione.

Pinus leucodermis (= *Pinus heldreichii* var. *leucodermis*) è specie relictiva delle foreste oromediterranee del Terziario, il cui areale si estende principalmente nella penisola Balcanica, con un'appendice disgiunta sud-occidentale ristretta alle montagne tra Basilicata e Calabria. Nell'Appennino meridionale la specie ve-

geta in un ampio *range* altitudinale, compreso fra le propaggini superiori della vegetazione mediterranea sempreverde (400-500 m s.l.m.) ed il limite superiore della vegetazione arborea (2000-2100 m s.l.m.) con preferenza per le posizioni rupestri e i conoidi detritici (Avolio 1984, Petillo 1990, Hofmann 1991).

Le popolazioni di *P. leucodermis* più vetuste sono relegate nella porzione superiore di versanti carbonatici, al di sopra del limite superiore di vegetazione in massa di *Fagus sylvatica*. Esse ricadono nel cuore del Parco Nazionale del Pollino dove le attività antropiche sono soggette a restrizioni dal 1993, anno della sua istituzione. Tali popolamenti sono caratterizzati da basse densità (20-40 piante per ha), con piante di dimensioni imponenti (0.6-1.2 m di diametro a petto d'uomo) e di età molto avanzata, fino a 1000 anni (Serre-Bachet 1985, Biondi & Visani 1993).

La diminuzione della temperatura al crescere della quota è il fattore che limita fortemente la distribuzione degli alberi al loro limite superiore di distribuzione. Piuttosto che le temperature invernali di per sé, la breve durata del periodo vegetativo, il prolungato gelo e il vento sono i fattori che rendono difficile la sopravvivenza della vegetazione arborea all'aumentare della quota (Tranquillini 1979, Holtmeier & Broll 2005).

Le severe condizioni climatiche che si verificano in alta quota condizionano l'*habitus* di *P. leucodermis*. La chioma è, di norma, tabulare e, spesso, a profilo asimmetrico, a causa dei danni meccanici inferti dal vento e dai sovraccarichi di neve e dai cristalli di ghiaccio. Il fusto mostra, quasi sempre, una o più lesioni longitudinali impartite da fulmini che, in occasione di temporali estivi, si abbattano frequentemente nell'area. Molto frequenti sono, inoltre, ferite da ascia localizzate nella parte bassa del fusto e il taglio di grosse branche inferiori, dovute alle attività legate alla pastorizia.

Il periodo vegetativo si svolge tra la fine di maggio e la fine di settembre. In estate sono frequenti giornate con andamento termico limitante per la fotosintesi e/o con elevata umidità atmosferica che condensa sulle chiome fino a determinare sgocciolamento sottochioma.

Per *P. leucodermis* i principali riferimenti in letteratura, relativi alle popolazioni del gruppo montuoso del Pollino e dintorni, riguardano il comportamento di germinazione di semi raccolti a quote differenti (Borghetti et al. 1986), lo studio della rinnovazione naturale (Petillo 1990), lo studio dendrocronologico di piante di alta quota (Serre-Bachet 1985, Biondi & Visani 1993, Todaro et al. 2007), l'andamento stagio-

nale dell'attività xilematica (Rossi et al. 2006) e il comportamento fotosintetico di semenzali generati da semi raccolti a quote differenti (Colom et al. 2003).

Nel presente lavoro vengono presentati alcuni risultati relativi allo studio dendrocronologico ed ecofisiologico dei popolamenti di *P. leucodermis* vegetanti al di sopra del limite superiore del faggio, nel Parco Nazionale del Pollino. A partire dal 2002 sono state istituite aree permanenti in soprassuoli ubicati fra 1800 e 2032 m s.l.m., al cui interno sono comprese piante ultrasecolari vegetanti allo stato isolato. L'analisi dendrocronologica degli ultimi 600 anni circa (1464-2003) ha avuto come obiettivo quello di documentare le variazioni temporali di crescita radiale e di indagarne le relazioni con il clima, utilizzando le temperature medie e le precipitazioni del periodo 1925-2000. Lo studio del comportamento ecofisiologico *in situ* ha avuto come obiettivo principale quello di individuare il fattore climatico che maggiormente regola le relazioni idriche di *P. leucodermis* alla *treeline*. Curve di risposta della fotosintesi alla luce sono state costruite allo scopo di indagare le potenzialità biochimiche della specie.

Materiali e metodi

Area di studio

L'area di studio ricade in zona 1 del Parco Nazionale del Pollino, in località Serra di Crispo (39° 56' N, 16° 12' E, fra 1800 e 2032 m s.l.m.), nel Comune di Terranova del Pollino (Provincia di Potenza, Basilicata).

Serra di Crispo è una dorsale rocciosa ad andamento N-S. Le tre aree permanenti (1.0 ha ciascuna) sono collocate sulla porzione superiore del versante esposto ad Ovest, a pendenza variabile fra 40% e 60%. Il substrato roccioso è costituito da calcari fessurati ceroidi grigi e nocciola e calcari grigio bruni del Mesozoico. Serra di Crispo, e le contigue Serra delle Ciavole, Serra Dolcedorme (a Sud) e Monte Pollino (a Ovest) formano un ampio anfiteatro che racchiude i Piani del Pollino ove sono molto evidenti i morfotipi glaciali del Würm.

Gli affioramenti rocciosi sono ben diffusi e il suolo si presenta in tasche poco profonde, costituite da rendzina con humus di tipo xeromoder. A causa della distribuzione irregolare delle precipitazioni nel corso dell'anno, il clima è mediterraneo di tipo umido. Le precipitazioni medie annue sono dell'ordine di 1570 mm distribuite per il 39.5% in inverno, il 23.7% in primavera, il 29.2% in autunno e il 7.6% in

Fig. 1 - Esemplare plurisecolare di *P. leucodermis* in prossimità del crinale di Serra di Crispo (Terranova del Pollino, PZ).



estate. A 2000 m la temperatura media annua è di 4 °C (Avolio 1984), mentre la durata della copertura della neve va da Novembre a Maggio.

Gli alberi isolati di *P. leucodermis* (Fig. 1) punteggiano una prateria discontinua ascrivibile al *Caricetum-Seslerietum nitidae* (Bonin 1978), intercalata, a tratti, con arbusti di taglia molto bassa a dominanza di *Juniperus hemisphaerica* Presl. e gruppi di *Gentiana lutea* L., *Daphne oleoides* Schreber, *Rhamnus pumilus* Turra e *Sorbus graeca* (Spach) Kotschy, localizzati in aree decisamente rocciose.

Misurazione ecofisiologiche

All'interno di un'area permanente sono stati individuati tre alberi (T) con le seguenti caratteristiche:

- T₁ \varnothing = 1.05 m, h = 11 m, età stimata 600 anni;
- T₂ \varnothing = 1.01 m, h = 9 m, età stimata 600 anni;
- T₃ \varnothing = 0.19 m, h = 5 m, età 40 anni.

Nel corso delle stagioni vegetative 2004 e 2005 sono stati misurati i seguenti parametri ecofisiologici: 1) densità di flusso xilematico (u), 2) potenziale idrico di base (Ψ_b) e potenziale idrico giornaliero (Ψ_g) degli aghi; 3) curve di risposta della fotosintesi alla variazione della quantità di flusso radiante (A/Q) su aghi di 1 anno, in due giornate con cielo sereno (giorni giuliani 209 e 210 nel 2005).

Per la misura della densità di flusso (u) è stato utilizzato il metodo termoelettrico (Granier 1985, 1987).

I sensori, costituiti da una coppia di aghi ciascuno contenente una termocoppia e avvolti con un rivestimento resistivo, sono stati inseriti radialmente nell'alburno (direzione NE del fusto) ad una distanza verticale di circa 12 cm uno dall'altro, a circa 1.30 m da terra e protetti dalle escursioni termiche esterne

mediante fogli isolanti in termoflex. Il ΔT che si genera tra il sensore superiore (costantemente riscaldato) e quello inferiore (che registra la temperatura del legno) è indice dell'attività traspirativa della pianta, espressa come variazione della densità di flusso (u) e calcolata utilizzando la seguente equazione (Granier 1985, 1987 – eqn. 1):

$$u = 119 \cdot k^{L23}$$

dove u indica la densità di flusso xilematico espressa in $\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e K è detto indice di flusso, dato dal rapporto:

$$\frac{(\Delta T_{max} - \Delta T)}{\Delta T}$$

Sono stati misurati in continuo i seguenti parametri ambientali e climatici: temperatura (T), umidità dell'aria (UR), contenuto idrico relativo del suolo (rswc) e radiazione fotosinteticamente attiva (PAR). Il contenuto idrico del suolo è stato misurato ad una profondità di 30 cm mediante tecnica TDR (TDR - *Time domain reflectometry* - mod CS615, Campbell scientific, Logan, Utah, USA), mentre per la misura della PAR è stato utilizzato un *quantum sensor* (LI-COR 190, LI-COR Bioscience, Lincoln, USA).

I dati relativi ai parametri climatici, ambientali e di densità di flusso sono stati acquisiti ogni minuto e registrati ogni 15 minuti mediante *datalogger* (CR10X, Campbell Scientific Corp., Logan, UT) dotato di *multiplexer* (Campbell AM32B). L'alimentazione dei sensori di Granier e del *datalogger* è avvenuta mediante batteria da 12 V.

Le misure di potenziale idrico xilematico sono state eseguite con il metodo della camera a pressione

Tab. 1 - Date selezionate per le misure di potenziale idrico xilematico.

Anno	Data	Giorno giuliano	T (°C)	Ur (%)
2004	18 Giugno	170	7	97
	16 Luglio	198	9	69
	28 Luglio	210	7	99
	26 Agosto	239	13	56
	24 Settembre	268	9.4	74
2005	13 Luglio	194	7.6	94
	29 Luglio	210	18	45
	30 Agosto	242	10	94

(PMS Instruments, Corvallis, Oregon) nei giorni indicati in Tab. 1. Per ciascuna pianta, su 3 aghi di un anno prelevati, da differenti porzioni della chioma, sono state effettuate misure prima dell'alba e nel corso della giornata a cadenza regolare.

Mediante *Infra Red Gas Analyser* (CIRAS, PP System, HITCHKIN, UK) sono state costruite curve A/Q per valutare la risposta dell'assimilazione delle piante di *P. leucodermis* al variare della densità di flusso radiante, resa possibile grazie all'utilizzo di un'unità luce montata sulla *cuvette* dello strumento. All'interno della *cuvette* sono stati settati i valori di umidità relativa e di temperatura simili a quelli ambientali. Per ciascuna pianta, considerando aghi di un anno su rami ben esposti alla luce, sono state costruite 3 curve, secondo i seguenti valori di densità di flusso radiante: 500 - 300 - 100 - 20 - 500 - 800 - 1200 - 1800 - 2000 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. I valori di assimilazione misurati sono stati rapportati alla superficie reale degli aghi, calcolata mediante il *software* ARCHICAD su foto digitali scattate alla fine di ogni curva.

Misurazioni dendrocronologiche

La costruzione della *master chronology* è stata effettuata utilizzando 41 carote legnose prelevate da 15 piante mediante trivella di Pressler ad un'altezza da terra inferiore a un metro. Le carotine sono state opportunamente montate su supporti lignei ed accuratamente levigate fino a quando le tracheidi erano visibili al microscopio ottico 40X. Dopo il procedimento di *visual cross-dating* (Yamaguchi 1991) l'ampiezza degli anelli è stata misurata con una precisione di 0.01 mm utilizzando la metodologia indicata da Aniol (1983). La qualità delle serie misurate è stata verificata mediante il *software* Cofecha (Holmes 1983) mentre il processo di standardizzazione dei dati è stato effettuato utilizzando il *software* Arstan (Cook 1985, Cook & Briffa 1990). È stata sviluppata una cro-

nologia "standard" e "residuale". I dati della cronologia "residuale" sono stati utilizzati per valutare le relazioni tra l'accrescimento radiale e fattori climatici utilizzando le procedure di Cook et al. (1990).

Le relazioni clima-ampiezza anulare sono state valutate analizzando il periodo compreso tra luglio del precedente anno e ottobre del corrente anno.

I dati di temperatura media e precipitazioni provengono rispettivamente dalle stazioni di Castrovillari (CS, 353 m s.l.m., 12.5 km distante dal sito di studio) e Campotenesse (CS, 965 m s.l.m., 11 km distante dal sito di studio), sono a cadenza mensile e coprono il periodo 1925-2000.

I coefficienti di correlazione e le funzioni di risposta sono stati ottenuti utilizzando le metodologie indicate da Biondi & Waikul (2004). Per maggiori dettagli sulla metodologia si rimanda a Todaro et al. (2007).

Risultati e discussione

Variazioni stagionali di parametri ecofisiologici

La maggior parte delle giornate selezionate per le misure ecofisiologiche sono state caratterizzate da condizioni climatiche piuttosto instabili, elevata umidità relativa dell'aria, nubi basse e precipitazioni occulte (giorni giuliani 170, 198, 210, 268 nell'estate 2004 e 194 e 242 nell'estate 2005). Solo in due giornate di misure il clima è stato caratterizzato da condizioni stabili di cielo sereno e temperature relativamente elevate (giorni giuliani 239 e 210 durante l'estate 2004 e 2005, rispettivamente).

Nel 69% delle giornate ($n = 264$) in cui è avvenuta la misurazione in continuo dei parametri climatici, i valori di umidità relativa erano compresi tra 70% e 100%, mentre nel 74% dei casi sono stati misurati valori di temperatura media giornaliera compresa tra 6.5 e 12.5 °C. Durante la stagione vegetativa 2004 le piante hanno sperimentato un contenuto idrico del suolo (rswc) inferiore e per un periodo più prolun-

Tab. 2 - Risultati dell'analisi statistica (test di Kruskal-Wallis) condotta sui valori di potenziale idrico di base (Ψ_b), medio giornaliero (Ψ_d), e minimo (Ψ_{\min}) misurati tra i diversi alberi ($n = 3$) e giornate di misura. *n.s.* indica che il valore è il medesimo negli alberi e nei giorni di misura.

Parametro	Ψ_b	Ψ_d	Ψ_{\min}
Alberi	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>
Mesi	<i>n.s.</i>	$P < 0.001$	<i>n.s.</i>

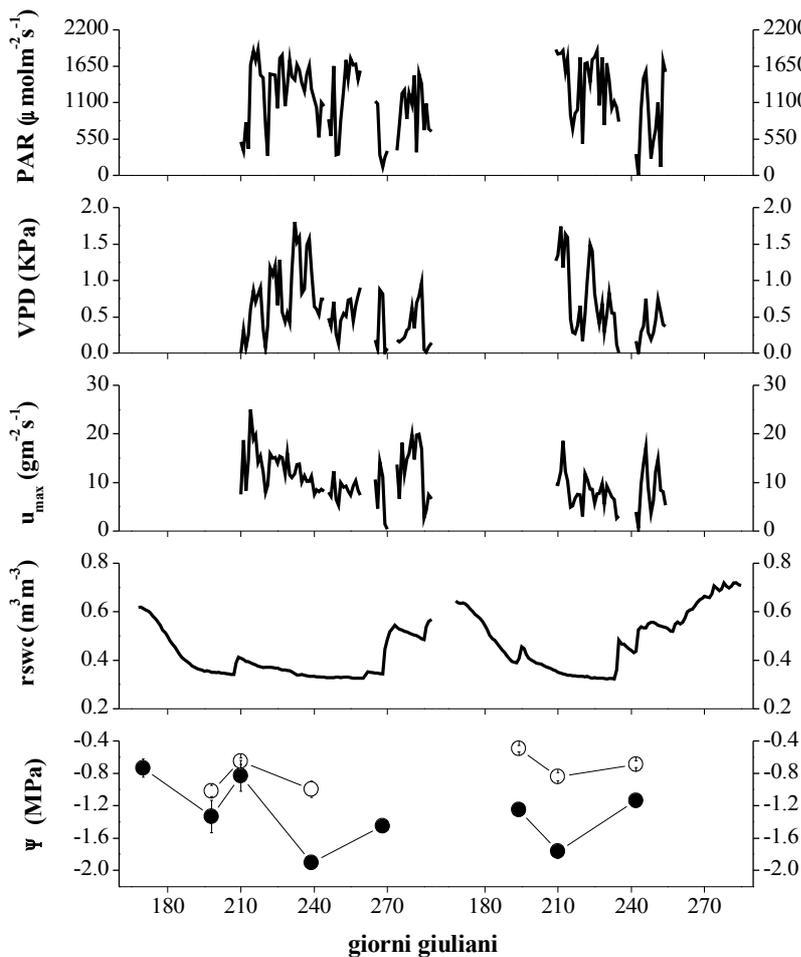


Fig. 2 - Andamento stagionale della variazione di densità massima di flusso xilematico giornaliero (u_{max}), potenziale idrico di base (Ψ_b , cerchio vuoto) e minimo giornaliero (Ψ_{min} , cerchio pieno) e del deficit di pressione di vapore in atmosfera (VPD), radiazione fotosinteticamente attiva (PAR) e contenuto idrico relativo del suolo (rswc) per l'estate 2004 (a sinistra) e 2005 (a destra). I valori di densità di flusso rappresentano la media dei tre valori più alti misurati nell'arco della giornata, mentre VPD e PAR sono stati calcolati come media giornaliera dei valori corrispondenti. Ψ_b e Ψ_{min} rappresentano la media dei valori misurati per ciascuno albero ($n=3$) \pm 1ES.

gato rispetto all'estate 2005, quando si è verificata una sua ricarica idrica già a partire dal mese di agosto. I valori minimi misurati sono stati intorno a $0.3 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, mentre quelli che più si avvicinano alla capa-

rità di campo sono prossimi a $0.7 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$.

Il valore di Ψ degli aghi non differisce significativamente ($p>0.05$) tra le piante misurate in nessuna delle giornate considerate (Tab. 2), sia nel 2004 che

Fig. 3 - Relazione tra potenziale idrico minimo giornaliero (media \pm 1ES dei valori misurati per ciascuno dei tre alberi) e corrispondenti valori medi giornalieri di deficit di pressione di vapore (VPD) in atmosfera e contenuto idrico relativo del suolo (rswc).

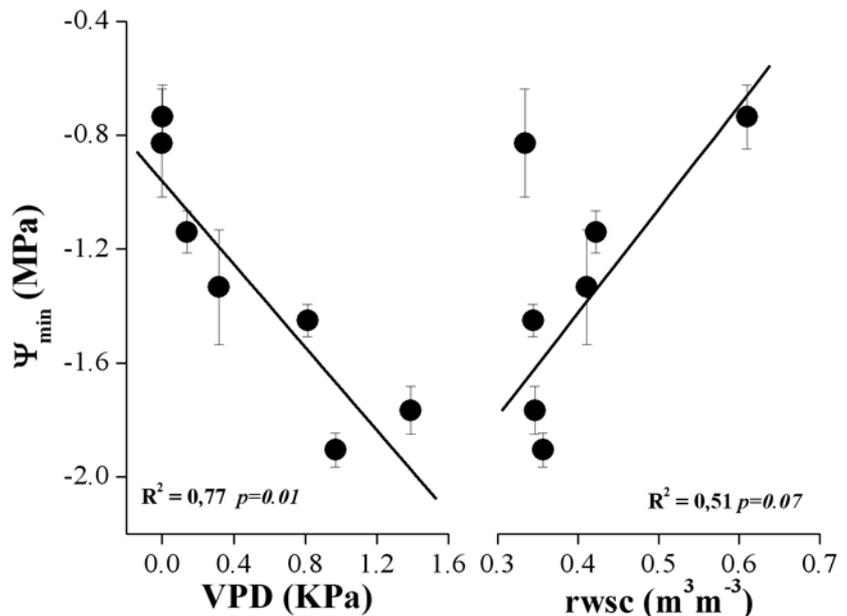
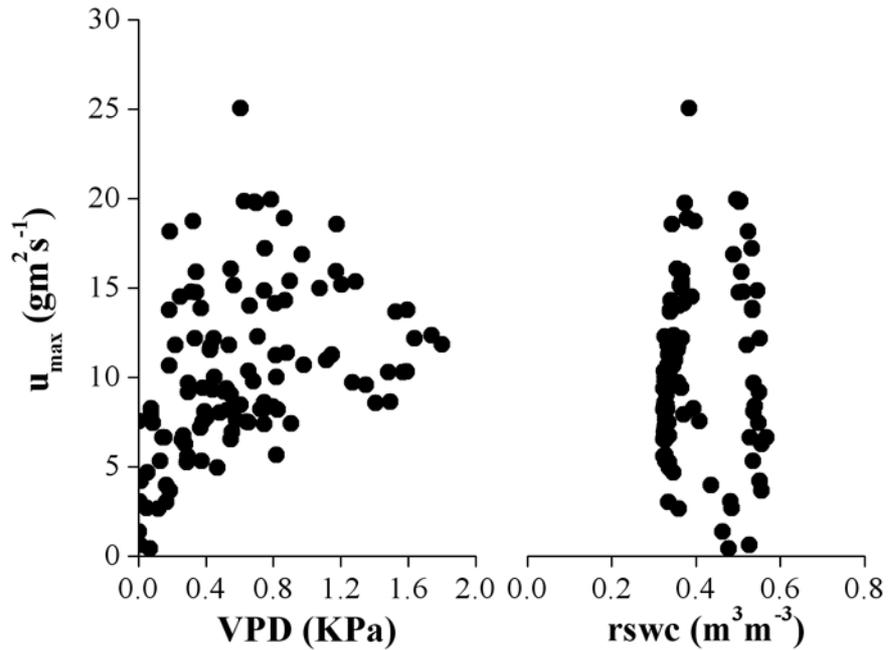


Fig. 4 - Relazione tra valore massimo giornaliero di densità di flusso, calcolato come media dei tre valori massimi misurati durante la giornata, e corrispondenti valori di deficit di pressione di vapore (VPD) in atmosfera e contenuto idrico relativo del suolo (rswc) misurati nel corso delle stagioni vegetative 2004 e 2005.



nel 2005, pertanto nelle successive elaborazioni è stato considerato il valore medio.

Come mostrato in Fig. 2, l'andamento del potenziale idrico di base e quello minimo giornaliero sono concordi con le variazioni stagionali del contenuto idrico (relativo) nel suolo. Nell'estate 2004, il valore meno negativo di Ψ_b (-0.65 MPa) è stato misurato alla fine di luglio (gg. 210), in coincidenza di una lieve ricarica idrica del suolo in seguito ad un evento piovoso. Il valore più basso di Ψ_{min} (-2.0 MPa) è stato misurato a fine agosto, nell'unica giornata caratterizzata da valori elevati di VPD e PAR e in concomitanza di vento molto forte.

Durante la stagione vegetativa 2005 il valore più alto di Ψ_b è stato misurato in una giornata con umidi-

tà relativa prossima alla saturazione, caratterizzata da precipitazioni occulte che condensavano sulle chiome degli alberi e che, in aggiunta, hanno reso impossibili le misure di scambi gassosi. Il potenziale idrico è culminato a fine luglio con un valore di -1.8 MPa, in coincidenza di una giornata a cielo sereno (gg 210).

Come è possibile osservare in Fig. 3, le variazioni stagionali dei valori minimi giornalieri di potenziale idrico sono spiegate per il 77% e il 51% dalle variazioni di VPD e di rswc rispettivamente, secondo quanto indicato dai coefficienti di determinazione (R^2). La relazione fra le variabili considerate è peraltro significativa ($p < 0.05$) solo nel caso della VPD.

Anche le variazioni stagionali di densità di flusso

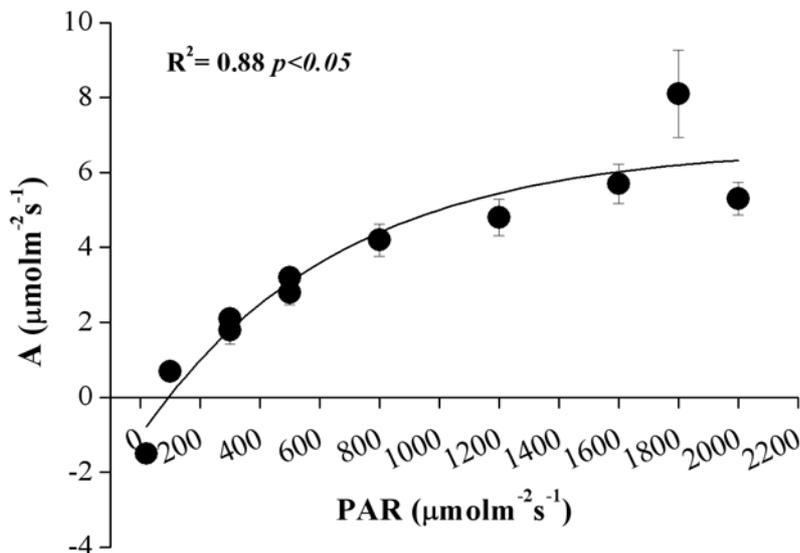


Fig. 5 - Curva di risposta della fotosintesi alla variazione di densità di flusso radiante nell'ambito della PAR. Ciascun punto rappresenta la media dei valori relativi alle tre curve misurate per ogni albero ($n = 3$).

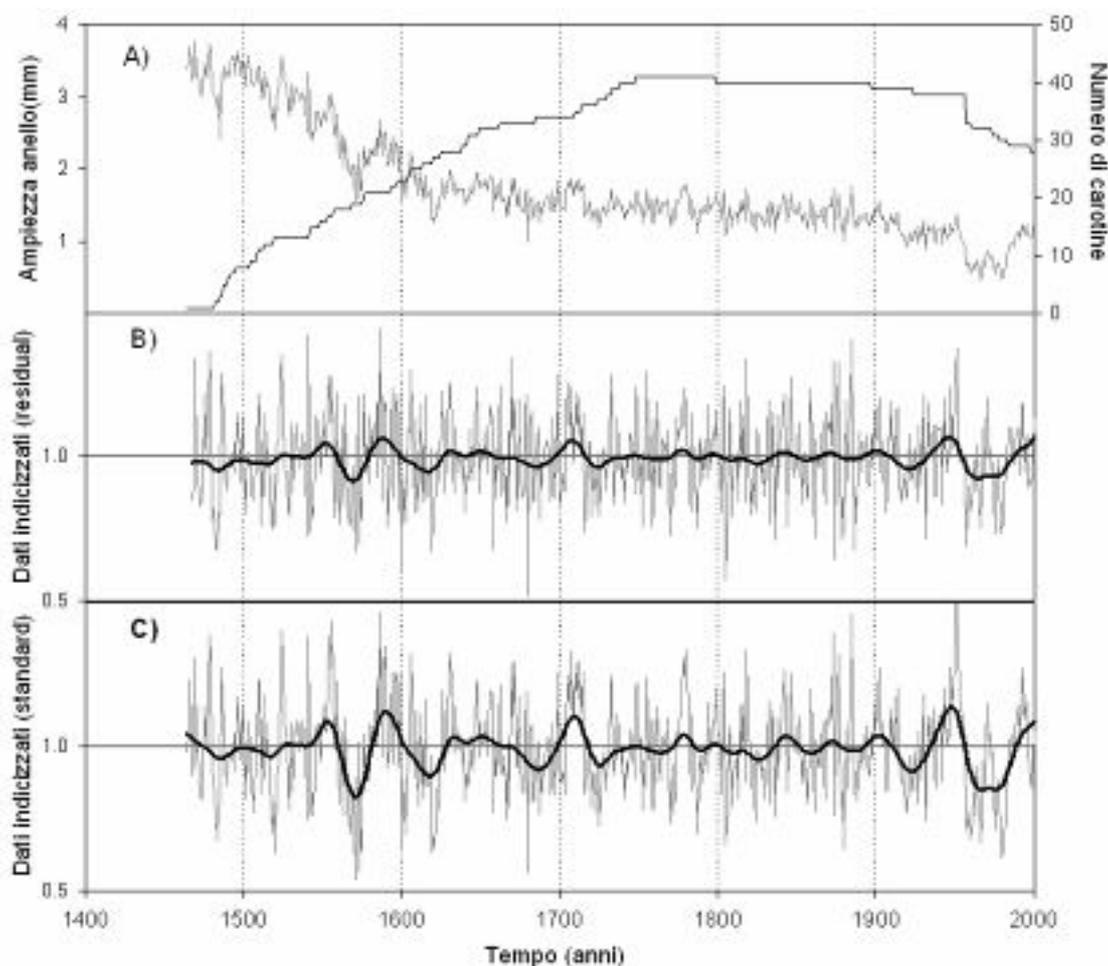


Fig. 6 - Cronologia del pino loricato di Serra di Crispo. A) Ampiezza anello e corrispondente numero di campioni esaminati. B) Cronologia dei residui indicizzati. C) Cronologia dei valori standard indicizzati.

sembrano dipendere in maggiore misura dalle variazioni di VPD piuttosto che dalla riduzione estiva del contenuto idrico relativo del suolo (Fig. 4), come documentato anche da Anfodillo et al. (1998) per *Larix decidua*, *Pinus cembra* e *Picea abies* vegetanti alla treeline sulle Alpi meridionali. In particolare, in Fig. 4 si osserva un aumento lineare dei valori di massima densità di flusso giornaliera (u_{max}) all'aumentare della VPD fino al range di valori compreso tra 0.8 e 1.1 KPa, oltre il quale si osservano ridotte variazioni di u_{max} , indicando un controllo stomatico sull'attività traspirativa. I valori più elevati misurati sono stati dell'ordine di $25 \text{ g m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ corrispondente ad un valore di VPD pari a 0.6 KPa e di $18.5 \text{ gm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ con un valore di VPD pari a 1.1 KPa rispettivamente per l'estate 2004 e 2005.

I valori di massima densità di flusso sono significativamente correlati ($p < 0.0001$) con le variazioni di VPD (Fig. 4) e PAR (dato non mostrato), mentre non appaiono correlati con le variazioni di contenuto

idrico del suolo. Questo ultimo dato potrebbe ricondursi alla circostanza che le piante non si approvvigionano solo dell'acqua presente nello strato di suolo superficiale ma, attraverso le fessure rocciose, attingerebbero anche in strati profondi. In condizioni limitanti di contenuto idrico del suolo, inoltre, il flusso traspirativo risulta attenuato dalla elevata umidità relativa, in particolare dalle nebbie e precipitazioni occulte che contribuiscono a migliorare e/o mantenere il bilancio idrico delle piante.

In Fig. 5 è mostrato l'andamento dei valori di assimilazione in relazione alla variazione di densità di flusso radiante nella PAR. Ciascun punto rappresentato deriva dalla media dei valori relativi alle curve ($n=3$) misurate per ciascuno dei tre alberi. Il punto di compensazione per la PAR è intorno a $80 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. L'irradianza di saturazione si attesta intorno a $1600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ con un valore di assimilazione (A) di $6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Tali valori sono superiori a quelli riportati da Oleksyn et al. (1997), misurati su aghi di

Tab. 3 - Principali parametri statistici descrittivi per la cronologia del pino loricato di Serra di Crispo.

Periodo: 1464-2003	540 anni	15 alberi	41 carotine
Tipo di cronologia	Standard	Residual	Arstan
Media	0.9897	0.9976	0.9919
Mediana	0.9833	0.9944	0.9883
Sensitività media	0.1545	0.1691	0.1508
Deviazione standard	0.1679	0.1507	0.1645
Skewness	0.2234	0.0523	0.1767
Kurtosis	0.0209	-0.1055	-0.0301
Autocorrelazione di I° ordine	0.3391	0.0012	0.3334
Autocorrelazione di II° ordine	0.1782	-0.0078	0.1162
Varianza dovuta ad autocorrelazione	15.70%	-	13.30%
Errore di varianza	0.001438	-	0.001168

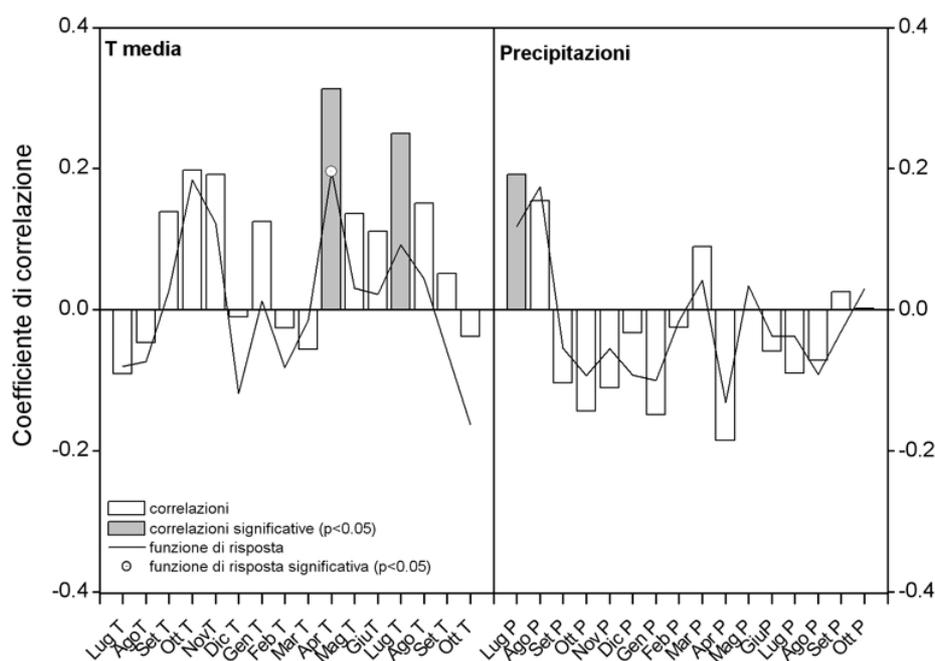
diverse classi di età di *P. heldreichii* allevati in arboreto il cui punto di compensazione risultava tra 40 e 58 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e quello di irradianza di saturazione tra 800 e 1000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (a seconda della classe di età degli aghi). In misure condotte su piante di *P. leucodermis* di 10 anni, derivanti da semi raccolti in diversi siti lungo un gradiente altitudinale, Colom et al. (2003) hanno messo in evidenza una maggiore capacità fotosintetica delle piante i cui semi erano stati

prelevati a 2000 m. Le misure condotte *in situ*, su piante più vecchie, confermano la notevole attività assimilativa di questa specie all'aumentare della disponibilità di luce, in condizioni ottimali di PAR e temperatura. Nel nostro caso, tuttavia, è stato trovato un valore più elevato di irradianza di saturazione, con un valore di assimilazione pari a 6 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, inferiore a quello riportato da Colom et al. (2003). Le piante di *P. leucodermis* vegetanti ad alta quota nel nostro sito di studio mostrano, pertanto, una notevole acclimatazione all'elevata disponibilità di luce senza incorrere in fenomeni di fotoinibizione indotti da eccessi di flusso radiante.

Variazioni di lungo periodo delle ampiezze anulari

Una *master chronology* di 540 anni, con i relativi parametri statistici descrittivi, è riportata in Fig. 6 e Tab. 3. Analizzando la Fig. 6 è possibile fare due osservazioni relative al secolo più recente: nel periodo 1950 - 1985 si registra un progressivo declino della crescita radiale, mentre a partire da questo anno si assiste ad una ripresa della crescita. Secondo quanto riportato da Todaro et al. (2007), il declino della crescita potrebbe essere attribuito ad un'eccessiva attività di pascolo e alle attività antropiche connesse che, però, hanno subito un marcato declino a partire dagli anni '70 e sono state finalmente regolamentate a partire dagli anni '90, con l'istituzione del Parco Nazionale del Pollino. La netta ripresa della crescita in età avanzata è, apparentemente, in controtendenza con il declino biologico delle piante legato all'età e non sembra essere riconducibile a deposizioni azota-

Fig. 7 - Correlazione semplice di Pearson e coefficienti di funzione di risposta tra ampiezza anulare e temperatura media mensile e precipitazione per il periodo 1925-2000. La significatività e la stabilità dei coefficienti di regressione delle funzioni di risposta si basano sulla tecnica statistica *bootstrap*.



te (ICP Forest 2005). Per quanto concerne i cambiamenti climatici registrati nel sito di studio (Todaro et al. 2007), gli andamenti di temperatura massima e minima su base annuale, hanno fatto registrare una marcata inversione di tendenza nel periodo 1925-1972 rispetto al periodo 1953-2000: in quello più recente si registra un *trend* divergente degli estremi termici e un incremento della temperatura media annua di 0.8 °C dal 1925 al 2000. La continentalizzazione del clima che le piante sperimentano a quote elevate potrebbe essere favorevole per *P. leucodermis* che colonizza spazi aperti mediante seme. *Fagus sylvatica*, invece, occupa lo spazio quasi esclusivamente mediante propaggini e, nelle aree rupestri più acclivi, è soggetto a filloptosi anticipate nelle estati più siccitose come quella verificatasi nel 2000. In ogni caso l'esame della cronosequenza degli aerofotogrammi relativi al sito di studio documentano una progressiva risalita della latifoglia a partire dagli anni '50 del secolo scorso, che testimonia in modo inequivocabile la forte influenza antropica sulle dinamiche di regressione e progressione del limite superiore della vegetazione forestale.

L'analisi statistica (Tab. 3) fornisce un altro dato interessante legato alla sensitività media che si attesta su un valore che potremmo definire "medio-basso" (da 0.15 a 0.17, in funzione della cronologia considerata). La sensitività media nelle serie cronologiche è una stima delle variazioni di alta frequenza dovute principalmente ad oscillazioni interannuali di fattori ecologici.

Serre-Bachet (1982) indica che solo eccezionalmente, nelle regioni mediterranee, il valore è superiore a 0.30; normalmente il valore medio è di circa 0.21. In ogni caso, i valori dei parametri statistici ottenuti nel presente lavoro sono simili a quelli riportati in letteratura per la stessa specie all'interno della medesima area di studio (Biondi & Visani 1993).

Le relazioni fra accrescimento radiale e fattori termopluviometrici, deducibili dalle correlazioni di Pearson (Fig. 7), mostrano un effetto positivo della temperatura media sull'accrescimento, con particolare riferimento a quelle di aprile e di luglio. La prima potrebbe avere un ruolo importante nella schiusura delle gemme e nell'inizio dell'attività cambiale e della divisione cellulare. In *P. leucodermis*, nel sito di studio la durata della xilogenesi (intesa come produzione di cellule xilematiche da parte del cambio) si protrae da metà maggio a fine luglio (Rossi, comunicazione personale), mentre la divisione cellulare culmina intorno al solstizio estivo (Rossi et al. 2006).

Riguardo alle precipitazioni, si evidenzia una cor-

relazione positiva solo tra l'ampiezza anulare e le precipitazioni del mese di luglio della stagione vegetativa precedente a quella in cui l'anello si è formato, mentre dalla funzione di risposta (*response function*) non è stata trovata alcuna relazione significativa tra i due parametri. Sembrerebbe, dunque, che le esigenze di *P. leucodermis* durante il periodo vegetativo siano legate essenzialmente alle temperature, mentre risultano di scarsa importanza (se non addirittura negative quando in eccesso) le precipitazioni.

Le misure ecofisiologiche di breve periodo sembrano supportare questa ultima asserzione, sebbene si riferiscano ad un arco temporale piuttosto ristretto. In particolare, l'attività traspirativa degli alberi di *P. leucodermis* risulta limitata dalle frequenti condizioni di bassa VPD piuttosto che da riduzioni del contenuto idrico del suolo relativo e, quindi, delle precipitazioni nei mesi estivi.

Conclusioni

L'analisi dei dati di campagna fin qui elaborati suggerisce di approfondire l'ipotesi che l'attività traspirativa e biochimica di *P. leucodermis* ad alta quota sia modulata dalle ampie fluttuazioni giornaliere e stagionali dell'umidità atmosferica, oltre che dalla temperatura durante l'attività vegetativa, piuttosto che dalle restrizioni del contenuto idrico del suolo.

Sebbene si tratti di piante ultrasecolari, le misure di scambi gassosi hanno messo in evidenza una loro notevole potenzialità fotosintetica ad elevati livelli di flusso radiante. L'attività fotosintetica potrebbe essere limitata non solo dalle basse temperature, ma anche dall'elevata umidità atmosferica, frequente durante il periodo vegetativo, che riduce la densità di flusso radiante nell'ambito della PAR.

Le funzioni di risposta dell'analisi dendrocronologica confermano il ruolo decisivo della temperatura sull'accrescimento secondario, con particolare riferimento a quelle di Luglio, mentre le precipitazioni nell'arco della stagione vegetativa avrebbero una scarsa incidenza sulle dinamiche dell'accrescimento secondario. Questo risultato appare concorde con quanto osservato per le variazioni dei flussi traspirativi che risultano poco correlati con la riduzione della disponibilità idrica nel suolo durante il periodo vegetativo. Fra gli aspetti della ricerca che meritano un approfondimento vi è quello del ruolo svolto dalle condensazioni di nebbie e nubi basse in atmosfera, di provenienza tirrenica, che non solo rappresenterebbero una fonte alternativa di approvvigionamento idrico per le piante, come osservato per *Sequoia sempervirens* (Dawson 1998, Burgess & Dawson

2004), ma potrebbero svolgere un ruolo cruciale nella stimolazione dell'attività stomatica e/o fotosintetica e nel controllo delle perdite traspirative.

Ringraziamenti

La presente ricerca è stata svolta con fondi MIUR PRIN 2002 e 2005, intestati a AS. Si ringraziano: l'Ente Parco Nazionale del Pollino per aver consentito l'accesso all'area di studio, il Comune di San Severino Lucano e il Comando Stazione del Corpo Forestale di San Severino Lucano per il supporto logistico. Un sincero ringraziamento va al Prof. Marco Borghetti per il supporto scientifico e al Dr. Francesco Ripullone per l'assistenza in campo nelle misure di scambi gassosi.

Bibliografia

- Anfodillo T, Rento S, Carraro V, Furlanetto L, Urbinati C, 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.
- Aniol RW (1983). Procedures and statistics in dendrochronology. In: *Dendrochronology and Archaeology in Europe*, Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft (Eckstein D, Wrobel S, Aniol RW eds). Hamburg, Germany, pp. 21-32.
- Avolio S (1984). Il pino loricato (*Pinus leucodermis* Ant.). *Annali Istituto Sperimentale per la Selvicoltura* 17: 79-153.
- Biondi F, Visani S (1993). Cronologie dendroanulari per la Penisola Italiana. *Annali della Facoltà di Agraria, Università Cattolica di Milano, Italy* 1: 3-23.
- Biondi F, Waikul K (2004). DENDROCLIM2002: A C++ program for statistical calibration of climate signals in tree-ring chronologies. *Computers & Geosciences* 30: 303-311.
- Bonin G (1978). Contribution a la connaissance de la végétation des montagnes de l'Apennin centro-meridional. PhD thesis. Faculté des Sciences et Techniques St. Jérôme, Aix - Marseille III., France.
- Borghetti M, Vendramin GG, Veneziano A, Giannini R (1986). Influence of stratification on germination of *Pinus leucodermis*. *Canadian Journal of Forest Research* 16: 867-869.
- Burgess SSO, Dawson TE (2004). The contribution of fog to water relations of *Sequoia sempervirens* (D. Don): foliar uptake and prevention of dehydration. *Plant, Cell and Environment* 27:1023-1034.
- Cook ER (1985). A time series analysis approach to tree-ring standardization. DS thesis, University of Arizona, Tucson (USA).
- Cook ER, Briffa KR (1990). Data Analysis. In: *Methods of Dendrochronology. Applications in the Environmental Sciences* (Cook ER, Kairiukstis LA eds). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, NL, pp. 97-162.
- Cook ER, Briffa K, Shiyatov S, Mazepa V (1990). Tree-ring standardization and growth trend estimation. In: *Methods of Dendrochronology. Applications in the Environmental Sciences* (Cook ER, Kairiukstis LA eds). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, NL, pp. 104-123.
- Colom MR, Pini Prato E, Giannini R (2003). Chlorophyll fluorescence and photosynthetic response to light in 1 - year - old needles during spring and early summer in *Pinus leucodermis*. *Trees* 17: 207-210.
- Dawson TE (1998). Fog in the California redwood forest: ecosystem inputs and use by plants. *Oecologia* 117: 476-485.
- Grace J, Berninger F, Nagy L (2002). Impacts of climate change on the Tree Line. *Annals of Botany* 90: 537-544.
- Granier A (1985). Une nouvelle méthode pour la mesure de flux de sève brute dans le tronc des arbres. *Annales des Sciences Forestieres* 42: 193-200.
- Granier A (1987). Mesure de flux de sève brute dans le tronc du Douglas par une nouvelle méthode thermique. *Annales des Sciences Forestieres* 44: 1-14.
- Hofmann A (1991). Il faggio e le faggete in Italia. Ministero dell'Agricoltura e delle Foreste, Collana Verde, Roma, pp. 81-142.
- Holmes RL (1983). Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin* 43: (69-78).
- Holtmeier FK, Broll G (2005). Sensitivity and response of Northern hemisphere altitudinal and polar treelines to environmental change at landscape and local scales. *Global Ecology and Biogeography* 14: 395-410.
- Oleksyn J, Tjoelker MG, Lorenc-Plucinska G, Konwinska A, Zythowiak R, Karolewski P, Reich P (1997). Needle CO₂ exchange, structure and defense traits in relation to needle age in *Pinus heldreichii* Christ - a relict of Tertiary flora. *Trees* 12: 82-89
- Osborne CP, Mitchell PL, Sheehy JE, Woodward FI (2000). Modelling the recent historical impacts of atmospheric CO₂ and climate change on Mediterranean vegetation. *Global Change Biology* 6: 445-458.
- Petillo B (1990). Indagine sulla rinnovazione naturale del pino loricato (*Pinus leucodermis* Antoine) in Basilicata. Tesi di laurea in Scienze Forestali, Università degli Studi della Basilicata, Facoltà di Agraria, Potenza.
- Rossi S, Deslauriers A, Anfodillo T, Morin H, Saracino A, Motta R, Borghetti M (2006). Conifers in cold environments synchronize maximum growth rate of tree-ring formation with day length. *New Phytologist* 170: 301-310.

- Serre-Bachet F (1985). Une chronologie pluriséculaire du Sud de l'Italie. *Dendrochronologia* 3: 45-66.
- Serre-Bachet F (1982). The mediterranean area. Comment. In: *Climate from tree-rings* (Hughes MK, Kelly PM, Pilcher JR, LaMarche VC eds). Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 153-155.
- Todaro L, Andreu L, D'Alessandro CM, Gutiérrez E, Cherubini P, Saracino A (2007). Response of *Pinus leucodermis* to climate and anthropogenic activity in the National Park of Pollino (Basilicata, Southern Italy). *Biological Conservation* [doi:10.1016/j.biocon.2007.03.010].
- Tranquillini W (1979). *Physiological ecology of the Alpine Timberline. Tree existence at high altitudes with special reference to the European Alps*. Springer - Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- Yamaguchi DK (1991). A simple method for cross-dating increment cores from living trees. *Canadian Journal of Forest Research* 21: 414-416.