

Post-effetti di carenza idrica di lungo periodo in pinete mediterranee

Guarini R*, Todaro L, Moretti N, Borghetti M

Dipartimento di Scienze dei Sistemi Colturali, Forestali e dell'Ambiente, Università della Basilicata, v.le dell'Ateneo Lucano 10, I-85100 Potenza (Italy) - *Corresponding Author: Rocchina Guarini (rocchina.guarini@unibas.it).

Abstract: *Post-effects of long-term water drought in Mediterranean pine stands.* Two studies were carried out on the effects of imposed water shortage in two Mediterranean pine stands growing in Southern Italy. The impact of a severe reduction in water availability on the growth of 50-year old *Pinus halepensis* trees (growing along the Ionian coast of Puglia, experiment 1) and 35-year-old *Pinus laricio* trees growing in Sila (Calabria Region, experiment 2) were studied. The experimental effects were followed for 12 months in experiment 1 and for 36 months in experiment 2, comparing "covered" plots and "uncovered" control plots. The experiment was carried out on plants of the same plots, to check if long-term water shortage caused post-effects on their growth. This research aimed to investigate what pines suffer during last years, considering the beginning of possible long-term effect on these pine forests. The results were different for the species. After treatment, the reduction of radial growth *Pinus halepensis* covered plants was observed, while a positive trend of growth of control trees was observed. A recovering of both covered and control *Pinus laricio* trees growth was observed.

Keywords: Climate change, Water stress, *Pinus halepensis*, *Pinus laricio*, Dendrochronological analysis

Received: Feb 06, 2007; Accepted: Oct 25, 2008

Citation: Guarini R, Todaro L, Moretti N, Borghetti M, 2008. Post-effetti di carenza idrica di lungo periodo in pinete mediterranee . Forest@ 5: 308-317 [online: 2008-12-12] URL: <http://www.sisef.it/forest@/>.

Premessa

Cambiamento climatico e inquinamento atmosferico sono due aspetti del cosiddetto "cambiamento globale", che è oggi considerato tra le più serie emergenze ambientali. L'impatto di queste mutazioni climatiche potrebbe essere maggiore nelle aree a già forte tensione, sia climatica (alte temperature, scarsa piovosità) che per pressioni antropiche (Paoletti 2005).

In questi contesti, infatti, la scarsità di precipitazioni si combina con un'elevata richiesta evapotraspirativa; il deficit idrico che ne risulta, interagisce con le alte temperature e l'intenso irraggiamento che sono tipici del clima mediterraneo, annullando i potenziali benefici che un aumento di CO₂ potrebbe indurre con la stimolazione dell'attività fotosintetica e un miglioramento dell'efficienza d'uso idrico delle piante (Eamus & Jarvis 1989, Rey & Jarvis 1998).

I caratteri e la distribuzione della vegetazione, data la longevità delle specie forestali, sono strettamente

condizionati dai minimi di pioggia in grado di determinare una riduzione della disponibilità idrica nel suolo. Di conseguenza, l'azione disseccante che si viene a creare non permette alle piante di abbassare la temperatura degli organi vegetativi, inducendo una elevata traspirazione che le conduce allo stress idrico. Prolungati effetti di stress possono perciò indurre nelle conifere meccanismi di regolazione dell'apertura stomatica per evitare o ridurre il rischio di interruzione del flusso xilematico (Cinnirella et al. 1997).

Come è noto, nel corso della loro esistenza gli alberi formano anelli secondo un ritmo periodico legato all'attività vegetativa e, all'interno dei limiti fissati dal genoma, il meristema cambiale opera sotto l'influenza di processi fisiologici interni e fattori ambientali esterni (Rossi et al. 2003). Pur tuttavia, in condizioni di luce e temperatura sufficienti, in aree a clima mediterraneo, la crescita degli anelli dipende quasi esclusivamente dalla disponibilità d'acqua nel

terreno (Messeri 1948, Raventós et al. 2001, Cherubini et al. 2003).

In Italia, dove le zone che si possono considerare più a rischio sono quelle meridionali (Valentini et al. 1996), i periodi di siccità sono diventati più frequenti dal 1950 ad oggi e si prevede un riscaldamento generalizzato, con diminuzione delle precipitazioni invernali (che rimpinguano le riserve idriche nel sottosuolo) e aumento dei temporali estivi (che erodono il suolo - Paoletti 2005).

In previsione di imbatteci in tali problematiche, nel corso degli anni '90 sono stati svolti degli esperimenti per studiare l'effetto di carenze idriche prolungate, con specifico riferimento al caso di due pinete (pino laricio e pino d'Aleppo) ubicate nell'Italia meridionale. In entrambi i casi è stato organizzato un esperimento a parcelle ripetute durante il quale è stata esercitata una prolungata manipolazione della quantità di acqua disponibile nel suolo, mediante l'utilizzo di teli di plastica. Ogni parcella era anche isolata lungo il perimetro da profonde trincee per impedire infiltrazioni di acqua per via laterale. L'obiettivo principale era quello di verificare, se gli stress idrici cui le piante erano state sottoposte hanno determinato effetti di lungo periodo sugli accrescimenti annuali.

I due esperimenti hanno conseguito effetti differenti. L'esperimento sul pino d'Aleppo ha messo in evidenza che gli alberi sottoposti a stress idrico severo reagiscono in modo rapido alla siccità, attraverso una pronta regolazione degli scambi gassosi. È stata infatti osservata una forte riduzione della traspirazione. È prevalsa quindi una risposta rapida ed elastica.

Abbastanza diverso è il quadro che è emerso dall'esperimento sul pino laricio. I meccanismi di chiusura stomatica risultano efficaci nel controbilanciare gli effetti della siccità. È stata osservata, quindi, una risposta di acclimatazione strutturale.

Entrambi i pini studiati hanno rivelato, quindi, una notevole potenzialità di acclimatarsi alla carenza idrica (Borghetti et al. 1998, Cinnirella et al. 2002).

Con l'asportazione dei teli di plastica utilizzati per l'esperimento del 1995 le piante sono tornate a vegetare in condizioni naturali.

In base alle nostre conoscenze, lavori sperimentali che analizzano tale argomento in previsione dei cambiamenti climatici futuri sono insufficienti soprattutto per i tipici ambienti forestali dell'area Mediterranea. Per questo motivo esiste un concreto interesse a studiare tali fenomeni che potrebbero chiarire le strategie poste in essere dalle foreste in contrasto a stress

ambientali di una certa rilevanza.

Utilizzando metodi dendrocronologici e operando sulle piante dei medesimi siti sperimentali, l'obiettivo di questo lavoro è stato quello di verificare se gli stress idrici cui le piante erano state sottoposte hanno determinato post-effetti di lungo periodo sugli accrescimenti.

Materiali e metodi

Area di studio

Lo studio è stato condotto in due siti: una foresta di pino d'Aleppo (*Pinus halepensis* Mill.), nel comune di Castellaneta Marina (40° 29' N, 16° 58' E, a livello del mare), in provincia di Taranto, e una foresta di pino laricio (*Pinus nigra* subsp. laricio Poiret), nel comune di Acri (latitudine 39° 28', longitudine 16°30', altitudine pari a 1.080 m s.l.m.), in provincia di Cosenza, sulla Sila Greca.

Altre informazioni sulle aree di studio sono reperibili in precedenti lavori di Borghetti et al. (1998), Borghetti et al. (2005), Cinnirella et al. (2002).

Esperimenti precedenti

Nel 1995, in entrambi i siti, si è provveduto ad organizzare un esperimento, a parcelle ripetute, in cui la ricarica idrica nel suolo veniva ridotta da una copertura di plastica trasparente tenuta sospesa ad una certa altezza sul terreno; ogni parcella era anche isolata lungo il perimetro da profonde trincee per impedire infiltrazioni di acqua per via laterale. L'esperimento è durato 12 mesi nella pineta di pino d'Aleppo, 36 mesi nella pineta di pino laricio.

Durante l'esperimento sono state misurate, sia nelle parcelle coperte sottoposte ad esclusione idrica sia nelle parcelle scoperte di controllo, le variabili relative a: crescita, scambi gassosi, relazioni idriche e traspirazione, embolia xilematica (Borghetti et al. 1998, Borghetti et al. 2005, Cinnirella et al. 2002).

Attività sperimentale svolta

Nell'ottobre del 2004, nelle 12 parcelle (sei nel sito di Castellaneta Marina e sei sulla Sila Greca) interessate dal precedente studio (Fig. 1) è stato effettuato il rilievo dendrometrico del soprassuolo arboreo. Mediante la trivella di Pressler, sono state prelevate due carotine per pianta (per un totale di 120 campioni) a 1.30 m da terra, in due direzioni opposte (N-S; S-N).

Il pino d'Aleppo è una specie mediterranea che per regolare l'evapotraspirazione (Aussenac & Valette 1982) ed evitare fenomeni di embolismo (Attolini et al. 1990) durante il periodo estivo, interrompe la pro-



Fig. 1 - Particella sperimentale, di forma rettangolare, sulla Sila Greca.

pria attività di crescita, dando luogo alla formazione di anelli di ampiezza particolarmente ridotta (falsi anelli, o addirittura la loro mancanza).

Considerata la difficoltà di lettura degli anelli del pino d'Aleppo (presenza di falsi anelli o loro assenza), nel sito di Castellaneta Marina sono state prese altre 15 carotine da tre piante diverse (roverella, frassino e pino domestico) che sono state utilizzate per la cross-datazione delle carotine di pino d'Aleppo.

Le carotine, opportunamente conservate, sono state fissate su supporti di legno e, utilizzando delle lame, è stata resa evidente la sezione trasversale di esse al fine di evidenziarne le tracheidi e gli anelli di crescita. Dopo la cross-datazione visuale (Yamaguchi 1991) e l'individuazione di eventuali falsi anelli o addirittura assenti, si è proceduto alla misurazione degli anelli utilizzando il dendrocronografo Lega Smile 3, che consente una lettura al centesimo di mm.

Sono state prodotte 4 serie di misure: due per il pino d'Aleppo (controllo e stressato) e due per il pino laricio (controllo stressato).

L'insieme delle cronologie è stato sottoposto a controllo qualitativo mediante il software COFECHA (Holmes 1983) che, con l'analisi comparata di ciascuna serie individuale con l'insieme delle serie datate, ha valutato la qualità della cross-datazione. La standardizzazione dei dati è avvenuta mediante il soft-

ware Arstan (Cook & Holmes 1986). Al fine di amplificare il segnale climatico (alta frequenza) sono stati rimossi gli effetti dei fattori non climatici (bassa frequenza) dalle serie individuali utilizzando una curva spline pari a 15 anni per il pino d'Aleppo e a 20 anni per il pino laricio, seguendo le indicazioni riportate in Cook & Peters (1981) e Chhin & Wang (2005).

La lunghezza media delle serie è pari a 20 anni per il pino d'Aleppo e 34 anni per il pino laricio.

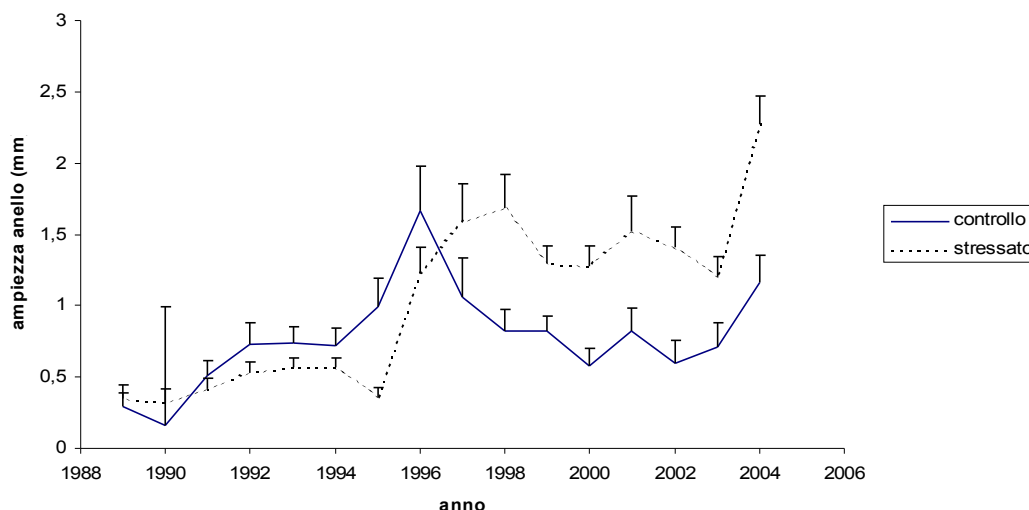
Ogni serie misurata è stata modellata con un processo auto regressivo. La varianza, dovuta a misure di ampiezza lontane dai valori medi, è stata opportunamente stabilizzata con metodologie indicate nel software utilizzato.

Le osservazioni coprono l'arco di tempo che va dal 1970 al 2004. La cronologia dei residui è stata utilizzata per valutare le relazioni tra crescita radiale e precipitazioni (Cook et al. 1990). I valori degli accrescimenti medi annui residuali sono stati messi in relazione con i valori medi mensili di precipitazione.

I parametri di riferimento per lo studio climatico coprono l'arco di tempo che va dall'Ottobre dell'anno precedente la crescita ($t-1$) al Settembre dell'anno in corso (t), periodo in cui viene elaborato l'anello in tutto il bacino del Mediterraneo (Tessier 1986, Serre-Bachet & Tessier 1989).

Nelle analisi dendroclimatiche sono comunemente

Fig. 2 - Ampiezza degli anelli di crescita del pino d'Aleppo in funzione dei trattamenti esaminati.



utilizzate le funzioni di correlazione e le funzioni di risposta. Nelle prime i coefficienti sono stimati mediante il metodo di Pearson mentre nelle seconde derivano da stime multivariate di modelli di regressioni che tengono conto dell'analisi delle componenti principali (Cook & Briffa 1990). La significatività e la stabilità dei coefficienti di regressione calcolati è basata sulla tecnica statistica *bootstrap* (Efron 1979) che permette di determinare l'errore associato ad una funzione di dati campionari ripetendo l'estrazione casuale dei dati stessi in modo da aumentare artificialmente la dimensione del campione (Guiot 1991).

Per le elaborazioni dei valori di correlazione (P) e delle funzioni di risposta (FFRR), con un livello di significatività pari a 0.05, è stato utilizzato il software DENDROCLIM2002 (Biondi & Waikul 2004).

Per il sito del pino d'Aleppo le serie climatiche adottate si riferiscono alla stazione termopluviometrica di Metaponto (MT, 10 m s.l.m. - 40° 21' N, 16° 48' E). Le lacune nei dati di pioggia presenti sono state stimate mediante regressioni lineari (R^2 pari a 0.71) con la serie delle temperature di Pisticci (MT, 34 m s.l.m. - 40° 17' N, 16° 46' E).

Per quanto riguarda il sito del pino laricio le serie climatiche adottate si riferiscono alla stazione termopluviometrica di Cecita (CS, 1180 m s.l.m. - 39° 24' N, 16° 32' E). Le lacune nei dati di pioggia presenti sono state stimate mediante regressioni lineari (R^2 pari a 0.75) con la serie delle temperature di Acri (CS, 750 m s.l.m. - 39° 29' N, 16° 24' E).

I dati medi di crescita radiale sono stati sottoposti ad analisi statistica utilizzando il pacchetto statistico SPSS 10.0.

Risultati

Gli effetti dello stress idrico e i suoi post-effetti

sono stati valutati mediante l'analisi delle curve di crescita delle due specie oggetto di studio nelle due situazioni considerate: parcelle controllo e parcelle trattate. Per il pino d'Aleppo, data la difficoltà delle letture è stato preso in considerazione il periodo 1990-2004 mentre per il pino laricio il periodo 1970-2004.

Pino d'Aleppo

Dalla Fig. 2 si osserva che dal 1989 al 1994 i *trend* di crescita degli alberi appartenenti ai due trattamenti mostrano un andamento concorde di crescita. Naturalmente, è quello che ci si aspettava considerando che in questi anni non ci sono state influenze esterne. Nel 1995, anno del trattamento, le curve di crescita delle piante presentano una differenza statisticamente significativa con il trattamento controllo che evidenzia una media di crescita superiore al trattamento stressato.

Nel 1996 e 1997 si assiste ad un recupero di crescita delle piante appartenenti al trattamento stressato e le differenze di crescita non sono statisticamente significative.

Dal 1998 al 2004 i ritmi di crescita si modificano in modo significativo, con il "controllo" che evidenzia valori di crescita addirittura inferiori rispetto a quelli del "trattato".

Gli anni 1989, 1990, 1995, 2000 e 2002 risultano anni di crescita ridotta, sia per le piante trattate, che per quelle testimone. In corrispondenza di questi anni l'individuazione degli anelli di crescita è stata alquanto difficile. Solo dopo accurate analisi che hanno preso in considerazione la crescita di altre piante limitrofe (Fig. 3) ai siti sperimentali, è stato possibile individuare la presenza di falsi e doppi anelli tipici del pino d'Aleppo (Fig. 4).

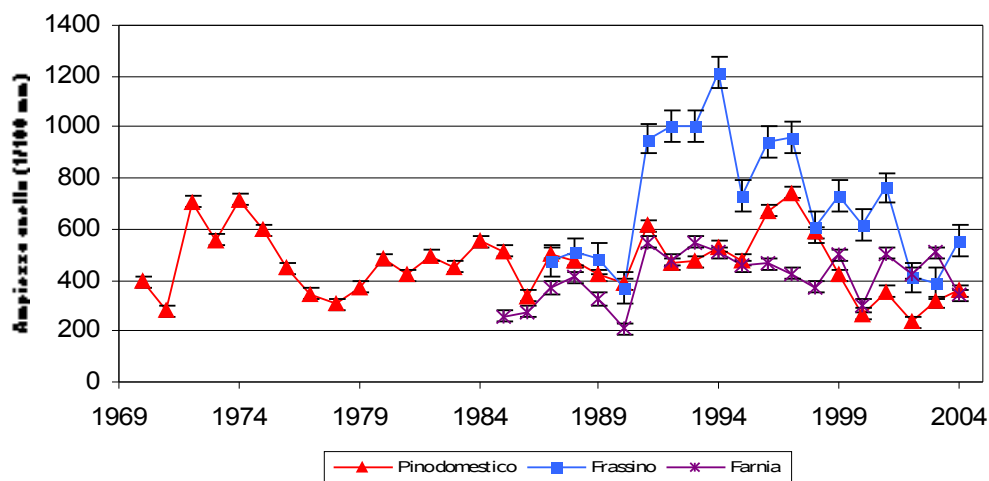


Fig. 3 - Curve di crescita di alcune specie cresciute nella stazione di Castellaneta Marina (TA) utilizzate per la cross-datazione delle piante di pino d'Aleppo.

Questa specie, rientra a pieno titolo tra quelle citate da Cherubini et al. (2003), vegetanti in area mediterranea, di difficile lettura degli anelli di crescita.

Raventós et al. (2004) sottolineano che nelle aree costiere mediterranee le anomalie degli anelli di crescita del pino d'Aleppo rendono estremamente difficile la loro identificazione e lettura ponendo serie

limitazione per la costruzione di serie dendrocronologiche. Tali difficoltà sono ancora maggiori nelle aree dove le condizioni stagionali sono difficili (precipitazioni ridotte e variabili, temperature elevate, salsedine, effetti antropici).

In Fig. 2 e Fig. 3 si può notare che alcuni anni caratteristici sono, nella maggior parte dei casi, comuni a

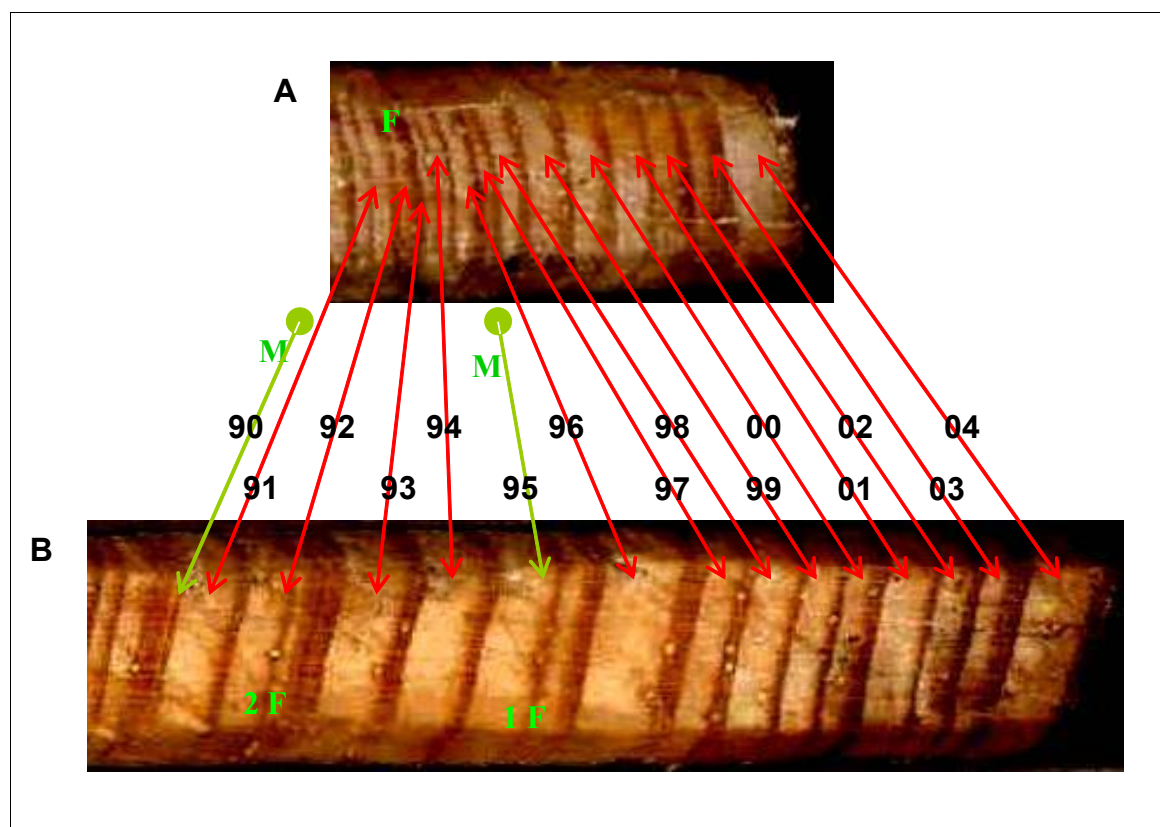


Fig. 4 - (A) Carotina prelevata da piante di pino d'Aleppo sottoposte a stress idrico nel 1995; (B) carotina appartenente a piante delle parcelle controllo. Le frecce di colore verde indicano anelli di crescita presenti solo nella carotina delle piante controllo. Con la lettera M sono indicati gli anelli mancanti, con la F i "falsi anelli".

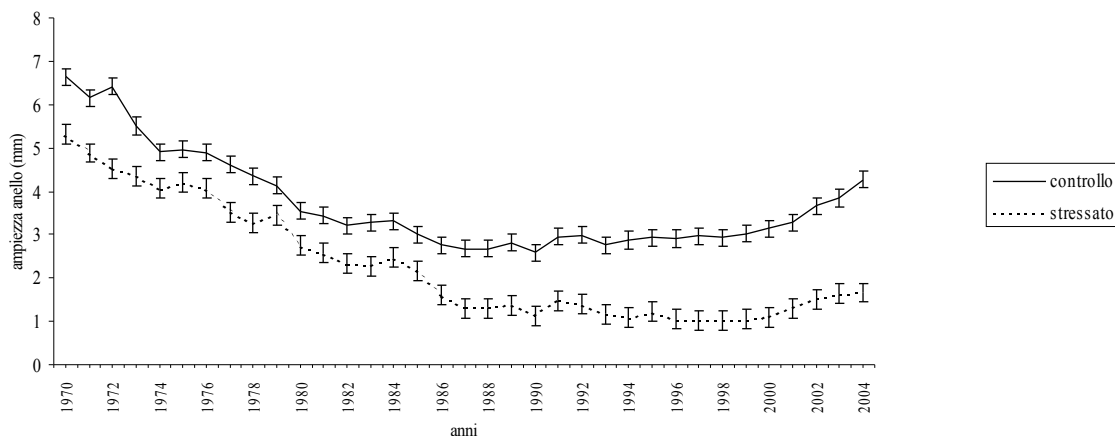


Fig. 5 - Ampiezza degli anelli di crescita del pino laricio in funzione dei trattamenti esaminati.

tutte le specie esaminate e, in particolare, per quelli a crescita ridotta il 1971, il 1986 (ad eccezione della roverella), il 1990, il 1995, il 1998, il 2000 e il 2002. Quelli riguardanti una crescita maggiore sono il 1972, il 1974, il 1991, il 1996, il 1997, il 1999, il 2001 e il 2004.

Pino laricio

Dalla Fig. 5 si osserva che il *trend* della curva di crescita per il pino laricio è, nel periodo 1970-2004, in entrambe le situazioni in esame, inizialmente decrescente con una concavità verso l'asse delle ascisse e, successivamente, presenta una ripresa della crescita con andamento crescente.

La curva di crescita del pino laricio controllo presenta sempre valori statisticamente superiori a quella del pino laricio trattato. Anche nel caso del pino laricio, il 1990 risulta un anno caratteristico per l'accrescimento ridotto a causa delle difficili condizioni cli-

matiche verificatesi.

Per studiare più a fondo come varia l'accrescimento tra le piante testimone e quelle trattate è stato calcolato il rapporto tra i valori delle ampiezze (Fig. 6). Tale rapporto presenta un valore sempre superiore ad 1, il che indica che le piante delle parcelle controllo si sono accresciute sempre di più di quelle stressate. L'andamento della curva del rapporto tra le ampiezze risulta pressoché costante dal 1970 al 1985. Dal 1987 si nota un valore del rapporto sempre superiore a 2, e fino al 2004 il *trend* della curva è crescente. Negli anni del trattamento, in particolare dal 1996 al 2000 il rapporto è pari a 2.9, il che significa che in tale periodo la crescita delle piante testimone è stata di quasi tre volte superiore a quella delle piante trattate.

Discussioni e conclusioni

La presente ricerca è stata finalizzata allo studio

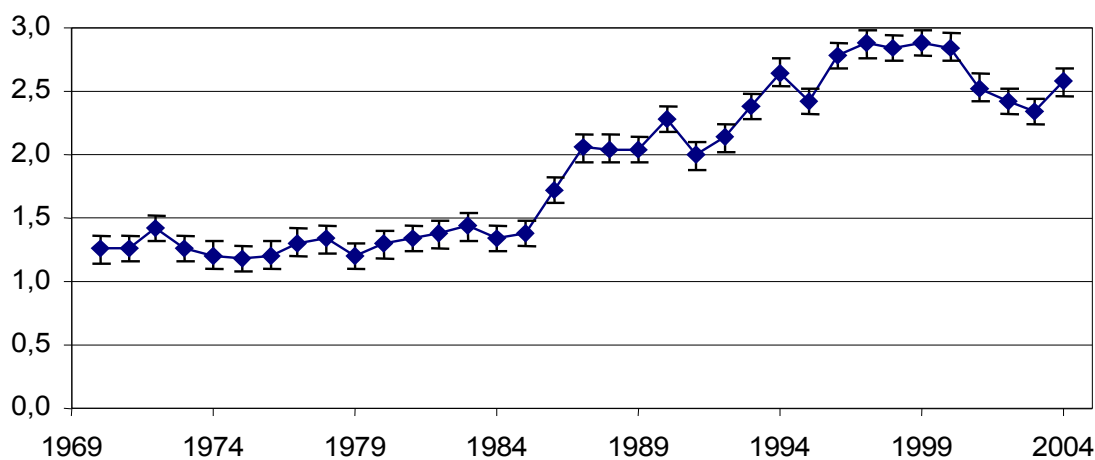


Fig. 6 - Valori del rapporto tra le medie delle ampiezze delle piante di pino laricio controllo e le medie delle ampiezze delle piante stressate. Le barre verticali indicano l'errore standard.

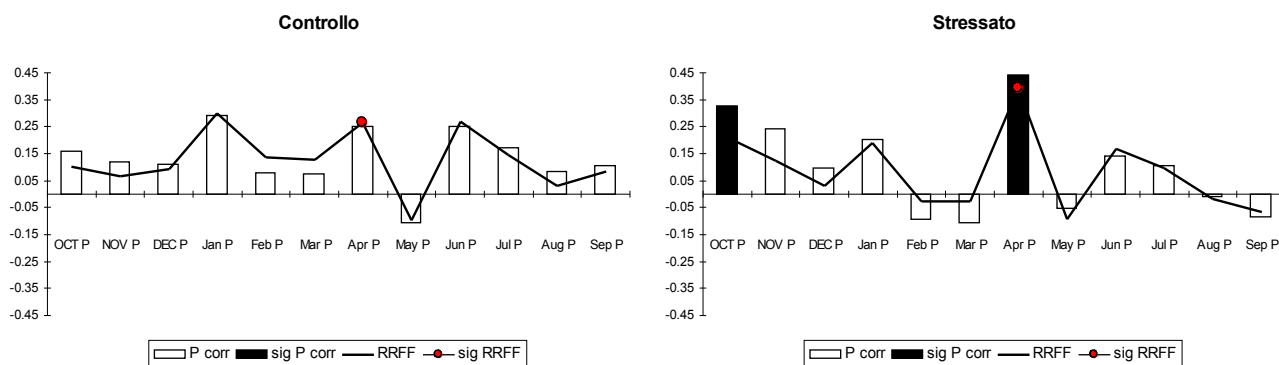


Fig. 7 - Relazioni pioggia-crescita del pino d'Aleppo "Controllo" e "Stressato". Funzioni di correlazione e funzioni di risposta tra la variabile climatica e valori di incremento indicizzati. Sull'asse delle ascisse il periodo compreso tra Ottobre_(t-1) e Settembre_(t), sull'asse delle ordinate i coefficienti di correlazione (livello di significatività pari a 0.05).

degli effetti causati da condizioni di stress idrico indotta sull'accrescimento radiale del pino d'Aleppo e del pino laricio.

Negli anni successivi ai trattamenti, si è verificata una variabilità di crescita, soprattutto nelle aree interessate in precedenza dallo stress idrico. Probabilmente ciò è stato causato da variazioni temporanee di apporto idrico al suolo che hanno causato sensibili variazioni nelle serie dendrocronologiche. Questo è confermato dalle relazioni intercorse tra la pioggia e la crescita radiale (Fig. 7, Fig. 8) in cui appare evidente, soprattutto per il pino d'Aleppo, che i fattori limitanti aumentano nelle analisi condotte su piante stressate. Le piogge del mese di aprile_(t) sembrano essere maggiormente decisive per l'inizio dell'attività cambiale. Inoltre si può osservare che le piogge di ottobre_(t-1) delle piante stressate sono correlate positivamente alla crescita radiale. Questo potrebbe voler

dire che nel periodo autunnale il pino d'Aleppo conduce uno sforzo metabolico al fine di accumulare e rendere disponibile nel nuovo anno di crescita, importanti strutture di riserva.

Diverso è il discorso per quanto riguarda il pino laricio in cui viene rilevato, unitamente alla conferma dell'importanza delle piogge del mese di aprile_(t), peraltro statisticamente più evidente nelle piante stressate, una relazione diretta con la piovosità di luglio per le piante controllo e giugno per quelle stressate. Appare evidente l'esigenza di un maggiore apporto di acqua nel periodo di elevata crescita per la pianta. Per le piante stressate l'esigenza idrica è in anticipo rispetto a quelle controllo (Fig. 8). La disponibilità di acqua in questa parte del periodo vegetativo oltre a stimolare l'attività del cambio, garantendo un buon turgore cellulare, favorisce l'attività di distensione cellulare e la sintesi delle proteine, processi che sen-

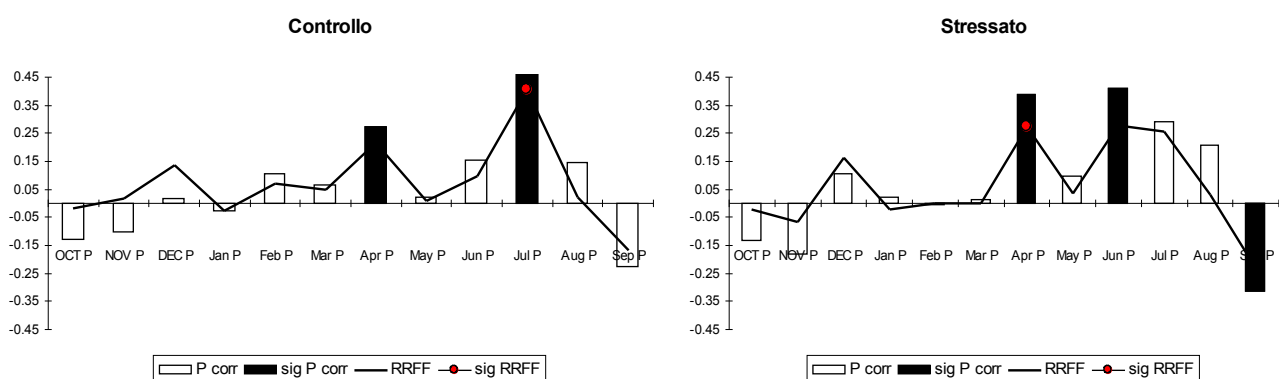


Fig. 8 - Relazioni pioggia-crescita del pino laricio "Controllo" e "Stressato". Funzioni di correlazione e funzioni di risposta tra la variabile climatica e valori di incremento indicizzati. Sull'asse delle ascisse il periodo compreso tra Ottobre_(t-1) e Settembre_(t), sull'asse delle ordinate i coefficienti di correlazione (livello di significatività pari a 0.05).

za dubbio influiscono positivamente sull'accrescimento degli anelli (Gentilesca & Todaro 2008). La correlazione inversa evidenziata in ottobre_(t) sembra essere invece legata alla necessità da parte delle piante stressate di completare, in condizione di poca pioggia, la crescita radiale mediante apporto di lignina sulle pareti secondarie delle tracheidi.

I principali risultati ottenuti indicano che:

1. il pino d'Aleppo appartenente alle parcelle trattate, nell'anno successivo all'esperimento del 1995, ha ripreso a crescere superando la crescita delle piante controllo. Molto probabilmente tuttavia, molte piante originariamente presenti sono morte in seguito all'attacco del blastofago *Tomicus destruens* (Saracino et al. 1998). Le piante rimaste in piedi sono quelle che presentavano una condizione di salute migliore che ha consentito loro di sopravvivere alle condizioni di stress indotto. Simili risultati sono stati conseguiti in un lavoro di Raventós et al. (2001) in cui piante di pino d'Aleppo con chioma non danneggiata mostravano un minore numero di anelli mancanti. La presenza di anelli mancanti o doppi anelli è considerata una strategia adattativa del pino d'Aleppo (Nicault et al. 2001) al fine di regolare gli stress idrici attraverso un appropriato uso dell'evapotraspirazione e di fenomeni di embolia (Raventós et al. 2004). Il pino d'Aleppo è considerato una specie a ritmo estremamente plastico per quanto riguarda il ritmo annuale dell'attività cambiale. Tale manifestazione rende, spesso, pressoché impossibile rilevare la misura esatta dell'anno di crescita. La plasticità è favorita dalla spiccata variabilità climatica dell'area mediterranea sia in termini di pioggia che di temperatura. Quando le condizioni ecologiche sono favorevoli le piante sono in grado di produrre xilema tutto l'anno mentre se la disponibilità idrica estiva o la temperatura invernale è troppo bassa si assiste a un arresto dell'attività cambiale (Lev-Yadun 2000). Il fenomeno è ancora più accentuato allorquando le piante vegetano nel piano dominato. Oppenheimer (1945), a tal proposito, osservò che le piante dominanti erano in grado di mantenere il cambio attivo tutto l'anno e che tale attività era direttamente proporzionale allo stato sociale degli alberi.

2. Le piante di pino laricio appartenenti alle parcelle stressate presentano un andamento dell'accrescimento decrescente nel periodo del trattamento, ma dal 2000 le piante seguono un andamento di crescita positivo, segno che dopo lo stress idrico i pini hanno ripreso la loro attività di crescita per aver rapidamente ristabilito la conduzione stomatica, la

fotosintesi e lo stato idrico interno. Probabilmente, le buone caratteristiche pedologiche: la tessitura da franca, franca argillosa a franca limosa argillosa; lo scheletro, generalmente assente o scarso, di piccole o medie dimensioni; il drenaggio buono o moderatamente buono; la pietrosità assente o scarsa; la rocciosità assente (Iovino & Puglisi 1989), hanno favorito la formazione di una riserva idrica che ha consentito una ripresa della vegetazione forestale; inoltre, l'elevata umidità relativa della zona ha contribuito a mitigare le condizioni di carenza idrica indotta. Tuttavia ulteriori verifiche di tipo pedologico sono necessarie per confermare tali ipotesi.

Il nostro studio conferma l'adattabilità del pino d'Aleppo e del pino laricio allo stress idrico che sembra essere collegata alla loro abilità di evitare lo stress idrico interno. In conclusione si può affermare che i post-effetti della carenza idrica più pronunciati si sono potuti osservare nel pino d'Aleppo, con un'elevata percentuale di piante morte in seguito al trattamento.

Ringraziamenti

Gli autori desiderano esprimere un particolare ringraziamento al Sig. Antonio Lapolla, per il prezioso supporto tecnico durante i rilievi di campo; il professor Francesco Iovino per la cortese disponibilità offerta; e il personale del Corpo Forestale dello Stato di Castellaneta Marina, per aver concesso la possibilità di accedere all'area di studio.

Bibliografia

- Attolini MR, Calvani F, Galli M, Nanni T, Ruggiero L, Schaer E, Zanni F (1990). The relationship between climatic variable and wood structure in *Pinus Halepensis* Mill. Theoretical and Applied Climatology 41: 121-127. - doi: 10.1007/BF00866435
- Aussenac G, Valette JC (1982). Comportement hydrique estival de *Cedrus atlantica* Maneti, *Quercus ilex* L., *Quercus pubescens* Willd. et de divers pins dans le mont Ventoux. Annales des Sciences Forestières 39: 41-62. doi: 10.1051/forest:19820103
- Biondi F, Waikul K (2004). DENDROCLIM2002: A C++ program for statistical calibration of climate signals in tree-ring chronologies. Computers & Geosciences 30: 303-311. - doi: 10.1016/j.cageo.2003.11.004
- Borghetti M, Cinnirella S, Magnani F, Saracino A (1998). Impact of long-term drought on xylem embolism and growth in *Pinus halepensis* Mill. Trees 12: 187-195.
- Borghetti M, Cinnirella S, Magnani F, Saracino A (2005). Effetti di carenze idriche prolungate su pinete mediterranee: insegnamenti da due esperimenti in Italia meridionale.

- nale. *Forest@* 2: 31-36. doi: 10.3832/efor0247-0020031.
- Cherubini P, Gartner BL, Tognetti R, Bräker OU, Schoch W, Innes JL (2003). Identification, measurement and interpretation of tree rings in woody species from mediterranean climates. *Biological Reviews* 78: 119-148. - doi: 10.1017/S1464793102006000
- Chhin S, Wang GG (2005). The effect of sampling height on dendroclimatic analysis. *Dendrochronologia* 23: 47-55. - doi: 10.1016/j.dendro.2005.07.003.
- Cinnirella S, Magnani F, Saracino A, Borghetti M (1997). Impact of drought on Mediterranean conifers: experimental results and implications for modelling. 4-6 Giugno 1997. Legnano (Padova), 49-52.
- Cinnirella S, Magnani F, Saracino A, Borghetti M (2002). The response of *Pinus laricio* Poiret to a three-year restriction of water supply: structural and functional acclimation. *Tree Physiology* 22: 21-30.
- 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.
- 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, Holmes RL (1986). Users manual for program ARSTAN, Adapted from Users Manual for Program ARSTAN. In: "Tree-Ring Chronologies of Western North America: California eastern Oregon and northern Great Basin" (Holmes RL, Adams RK, Fritts HC eds). Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona, pp. 50-65.
- Cook ER, Peters K (1981). The smoothing spline: a new approach to standardizing forest interior tree-ring width series for dendroclimatic studies. *Tree-ring Bulletin* 41: 45-53.
- Eamus D, Jarvis PG (1989). The direct effects of increase in the global atmospheric CO₂ concentration on natural and commercial temperate tree and forest. *Advances in Ecological Research* 19: 1-55. - doi: 10.1016/S0065-2504-(08)60156-7
- Efron B (1979). Bootstrap methods: another look of the Jack-knife. *Annals of Statistics* 7: 1-26. - doi: 10.1214/aos/1176344552
- Gentilesca T, Todaro L (2008). Crescita radiale e risposte climatiche dell'abete bianco (*Abies alba* Mill.) in Basilicata. *Forest@* 5: 47-56 - doi: 10.3832/efor0505-0050047
- Guiot J (1991). The bootstrapped response function. *Tree-Ring Bulletin* 51: 39-41.
- Holmes RL (1983). Computer assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin* 43: 69-78.
- Iovino F, Puglisi S (1989). Il bacino strumentato Bonis tributario del torrente Cino nel versante ionico-silano (Calabria). Estratto da: Quaderni di Idronomia Montana n° 9.
- Lev-Yadun S (2000). Wood structure and the ecology of annual growth ring formation in *Pinus halepensis* and *P. brutia*. In: "Ecology, Biogeography and Management of *Pinus halepensis* and *P. brutia* Forest Ecosystems in the Mediterranean Basin" (Ne'eman G, Trabaud L eds). Backhuys, Leiden, The Netherlands, pp. 67-78
- Messeri A (1948). Relazioni tra clima e accrescimento del tronco nel pino d'Aleppo. *Nuovo Giornale Botanico Italiano*. 1-2: 251-287.
- Nicault A, Rathgeber C, Tessier L, Thomas A (2001). Observations sur la mise en place du cerne chez le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.): confrontation entre les mesures de croissance radiale, de densité et les facteurs climatiques. *Annals of Forest Science* 58: 769-784. - doi: 10.1051/forest:2001162
- Oppenheimer HR (1945). Cambial wood production in stems of *Pinus halepensis*. *Palestin Journal of Botany Rehovot Series* 5: 22-51.
- Paoletti E (2005). Cambiamento climatico e inquinamento: effetti sulle formazioni boschive meridionali. *Forest@* 2 (1): 17-18. - doi: 10.3832/efor0257-0020017
- Raventós J, De Luís M, Gras MJ, Cufar K, González-Hidalgo JC, Bonet A, Sánchez JR (2001). Growth of *Pinus pinea* and *Pinus halepensis* as affected by dryness, marine spray and land use changes in a Mediterranean semiarid ecosystem. *Dendrochronologia* 19 (2): 211.
- Raventós J, Dorado I, Gras MJ, De Luis Arrillaga M, González-Hidalgo JC (2004). Tree rings anomalies on *Pinus halepensis* Mill. in an inland/coast gradient: a dendroecological preliminary approach. *Proceedings 10th MEDECOS Conference* (Arianoutsou & Papanastasis, eds), Rhodes, Greece.
- Rey A, Jarvis PG (1998). Long-term photosynthetic acclimation to increased atmospheric CO₂ concentration in young birch (*Betula pendula*) trees. *Tree Physiology* 18: 441-450.
- Rossi S, Deslauriers A, Morin H (2003). Application of the Gompertz equation for the study of xylem cell development. *Dendrochronologia*, 21: 33-39. - doi: 10.1078/1125-7865-00034
- Saracino A, Moretti N, Borghetti M (1998). Water stress and bark beetles attacks in *Pinus halepensis*. *S.I.S.E.F. Atti* 1: 53-56.
- Serre-Bachet F, Tessier L (1989). Response function analysis for ecological study. In: "Methods of dendrochronology. Application to the Environmental Sciences" (Cook ER, Kariutskis LA eds). Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, NL, pp. 247-258.

- Tessier L (1986). Approche dendroclimatologicque de l'écologie de *Pinus Sylvestris* L. et *Quercus pubescens* Willd. dans le Sud-Est de la France. Acta Oecologica/Oecologia Plantarum 4: 339-355.
- Valentini R, De Angelis P, Matteucci G, Monaco R, Dore S, Scarascia Mugnozza G (1996). Seasonal net carbon divide exchange of a beech forest with the atmosphere. Global Change Biology 2: 199-208. - doi: 10.1111/j.1365-2486.1996.tb00072.x
- Yamaguchi DK (1991). A simple method for cross-dating increment cores from living trees. Canadian Journal of Forest Research 21: 414-416. - doi: 10.1139/x91-053