

Dinamismi di accrescimento e sensibilità climatica dell'abete bianco (*Abies alba* Mill.) nel SIC Alpe della Luna-Bocca Trabaria (PU)

Gallucci V*, Urbinati C

Dipartimento SAPROV, Università Politecnica delle Marche, v. Brecce Bianche, I-60131 Ancona (Italy) -
*Corresponding Author: Valeria Gallucci (v.gallucci@uniopm.it).

Abstract: Growth dynamics and climatic sensitivity of Silver fir (*Abies alba* Mill.) in the European important site (SIC) at the Alpe della Luna - Bocca Trabaria (PU - Italy). A dendroecological and dendroclimatic analysis was carried out in silver fir stand of Fonte Abeti, in the Apennines of central Italy. This small forest is the only one present in the northern side of the Marche region and it is currently included as a priority habitat in the Site of Community Interest "Luna-Bocca Trabaria". The study aimed to assess the sensitivity of silver fir to the current climate variability and was carried out on 40 dominant trees, for which we reconstructed radial growth dynamics, pointer years and climate-growth relationships. These were computed for the period 1892-2003, using monthly mean temperatures and precipitation drawn from the ALP-IMP climate dataset using simple and moving correlations in order to verify response stationarity through time.

Keywords: *Abies alba*, Tree-ring growth, Climate-growth response, Moving correlation function, Habitat directive, Forest management

Received: Oct 17, 2008; Accepted: Dec 15, 2008

Citation: Gallucci V, Urbinati C, 2009. Dinamismi di accrescimento e sensibilità climatica dell'abete bianco (*Abies alba* Mill.) nel SIC Alpe della Luna-Bocca Trabaria (PU). *Forest@* 6: 85-99 [online: 2009-03-25] URL: <http://www.sisef.it/forest@/>.

Introduzione

Secondo i dati dell'ultimo inventario forestale (INFC 2007) le foreste di abete bianco (*Abies alba* Mill.) in Italia si estendono per circa 65.000 ha con una distribuzione prevalentemente alpina. In Italia centrale, il progressivo deperimento dell'abete bianco e la contrazione del suo areale, testimoniata ancora oggi da molti toponimi nei quali la specie non è più presente, sono ampiamente documentati in letteratura a partire dai primi decenni del 1900 (Di Tella 1922, Petri 1923, Giacobbe 1928, Pallotta 1930, Giacobbe 1931, Caldart 1932). È vero peraltro che l'elevato valore economico che ha avuto in passato il legname di abete, ne ha determinato la diffusione per via artificiale anche in stazioni non propriamente idonee.

L'abete bianco dell'Appennino presenta alcuni caratteri ecologici differenti rispetto a quello centro-europeo, che però non sembrano giustificare l'esistenza di una varietà appenninica, come proposto da Gia-

cobbe (Giacobbe 1969, Giacobbe 1973). Dalla seconda metà del secolo scorso sono stati intrapresi numerosi studi relativi a possibili differenze genetiche (Pavari 1951, Parducci et al. 1996, Ducci & Proietti 1997, Liepelt et al. 2002, Hansen & Larsen 2004), morfologiche ed ecologiche (Pavari 1951, Susmel 1954, Messeri et al. 1963, Giannini & Magini 1970, Magini & Giannini 1972, Ciampi & Di Tommaso 1973, Giannini 1973, Magini 1973, Larsen & Friedrich 1988, Pennacchini & Ducci 1991) tra provenienze ed al suo deperimento diffuso in Italia centrale (Moriondo & Covassi 1981) e soprattutto in Toscana (Clauser 1980, Clauser 1981, La Marca 1983, Hippoliti 1989, La Marca et al. 1993).

Le analisi genetiche e polliniche raggruppano per somiglianza l'abete appenninico a quello del centro Europa, ipotizzando l'esistenza di una rotta migratoria post-glaciale dall'Appennino centro-settentrionale verso nord e l'isolamento delle popolazioni calabresi nel rifugio glaciale (Larsen 1986, Bergmann et al. 1990, Konnert & Bergmann 1995, Parducci et al.

1996, Breitenbach-Dorfer et al. 1997, Taberlet et al. 1998, Vendramin et al. 1999, Longauer et al. 2003). Queste ultime sono caratterizzate da un'elevata variabilità genetica che ha permesso l'evoluzione di ecotipi particolarmente adattati alle condizioni ambientali del luogo. Le altre popolazioni invece sono andate incontro a fenomeni di deriva genetica e di perdita della variabilità come probabile risposta a condizioni climatiche avverse incontrate durante il processo di ricolonizzazione (Larsen 1986, Bergmann et al. 1990, Breitenbach-Dorfer et al. 1997, Ducci & Proietti 1997, Wick & Mohl 2006). Tale riduzione è considerata un fattore predisponente a forme di stress che hanno condotto a fenomeni di deperimento e, nei casi estremi, alla locale scomparsa dell'abeto bianco, registrati dalla metà del XX secolo in gran parte dell'Europa centrale (Larsen 1986). In Italia il deperimento è stato messo in relazione principalmente ad annate siccitose consecutive soprattutto in popolamenti con criticità strutturali e funzionali ed ha contribuito a diminuire il valore economico del legname in Italia e all'estero (Petri 1923, Biraghi 1949, De Philippis 1958, La Marca 1979, Moriondo & Covassi 1981). La ricerca sull'abeto bianco in Italia ha subito un generale rallentamento e soltanto recentemente la necessità di conservare e valorizzare l'abeto appenninico degli *habitat* prioritari della rete Natura 2000, ha rinnovato in parte l'interesse per questa specie (Bianchi et al. 2005, Bianchi et al. 2006, Bianchi & Paci 2008, Gentilesca & Todaro 2008). Sono stati realizzati a tale proposito alcuni progetti LIFE per la salvaguardia e la reintroduzione dell'abeto (AA.VV. 1998, AA.VV. 2001, AA.VV. 2007). Altri studi hanno indagato con approccio dendroecologico le popolazioni di maggiore importanza; Abetone e Campigna (Gambetti et al. 2000), Camaldoli e La Verna (Manetti & Cutini 2006), Vallombrosa (Corona 1983), Pescopennataro (Romagnoli & Schirone 1992, Schirone et al. 1992), Rosello, Serra San Bruno (Santini & Martirelli 1991) e Basilicata (Gentilesca & Todaro 2008). Tali studi hanno messo in evidenza i *trend* di accrescimento dell'abeto bianco, le loro relazioni con gli andamenti climatici e gli eventuali disturbi causati da interventi antropici. Molto poco si conosce ancora sui nuclei minori distribuiti fra le Marche e l'Abruzzo nei versanti orientali dell'Appennino, che potrebbero fungere da cerniera tra le estese abetine molisane e quelle tosco-emiliane.

In questo lavoro vengono presentati i risultati relativi ad uno dei siti (abetina di Fonte Abeti, PU) presi in esame nell'ambito di una ricerca in corso in Romagna, Marche, Abruzzo e Molise che ha come obietti-

vi: a) la caratterizzazione strutturale-compositiva delle cenosi di abete; b) la loro sensibilità alla variabilità climatica in atto ed alla selvicoltura applicata; c) la definizione di indirizzi gestionali per la loro conservazione e/o valorizzazione. Per Fonte Abeti le analisi finora svolte avevano come obiettivi: 1) l'analisi dendrocronologica, al fine di evidenziare il *trend* di accrescimento e ipotizzare i fattori che hanno concorso a determinarlo, nonché di confrontarlo con quello di altre cronologie appenniniche omospecifiche; 2) l'analisi dendroclimatica, che permette di osservare le relazioni causali fra accrescimento radiale dell'abeto e principali fattori climatici (precipitazioni e temperature medie) e di verificarne la stabilità nell'ultimo secolo.

Materiali e metodi

L'area di studio

L'abetina di abete bianco oggetto dello studio si trova in località Fonte Abeti in comune di Borgo Pace (PU), nei pressi del passo di Bocca Trabaria, nell'Appennino tosco-umbro-marchigiano e costituisce uno dei nuclei di *Abies alba* più settentrionali delle Marche. (Fig. 1). La cenosi occupa una vallecchia sul ripido versante Nord del Poggio del Romito, si estende per 15 ha interamente nel SIC "Alpe della Luna-Bocca Trabaria" (IT5310010) ed è compresa negli *habitat* prioritari "Faggeti degli Appennini con *Taxus* e *Ilex*" (9210) e "Faggeti degli Appennini con *Abies alba* e Faggeti con *Abies nebrodensis*" (9220).



Fig. 1 - Localizzazione dell'area di studio.

Secondo la classificazione bioclimatica di Rivas-Martinez, l'area appartiene al macrobioclima temperato a variante sub-mediterranea con termotipo mesotemperato superiore e ombrotipo umido inferiore. Il regime udometrico è subequinoziale-autunnale caratterizzato dalla presenza di un brevissimo periodo di aridità estiva tra la metà di luglio e la metà di agosto.

Il substrato geo-litologico è di tipo pelitico-calcareo in sequenze torbiditiche, il quale dà origine a pendii con pendenza superiore anche al 60%. I suoli sono subacidi, profondi (25-75 cm) e sciolti (AA.VV. 2005).

L'abetina ha un nucleo in purezza di probabile origine artificiale a 900-1000 m slm, che sfuma a quote superiori in una faggeta mesofila submontana in conversione a fustaia e, a quote inferiori, in una cereta sub-mesofila submontana.

Sono state realizzate due aree di saggio circolari con raggio di 20 m, una a 960 m slm nel cuore dell'abetina (FAB1) ed una a circa 1050 m slm, dove la composizione è più eterogenea ed aumenta la componente di latifoglie (FAB2). Nel primo caso il soprassuolo ha struttura biplana con un piano dominante rappresentato dalla fustaia matura coetanea di abete bianco ed un piano dominato, poco consistente, costituito da acero a foglie ottuse (*Acer obtusatum* W. et K.), nocciolo (*Corylus avellana* L.) e faggio (*Fagus sylvatica* L.) di prevalente origine agamica. In FAB2 aumentano le latifoglie nel piano dominante e gli individui di abete sono di maggiori dimensioni. In entrambi i casi la vigoria del popolamento è elevata e la copertura è superiore all'80%, (di poco maggiore in FAB2). Semenzali e rinnovazione sono assenti o danneggiati per l'elevata densità di copertura e la brucatura da parte del capriolo (Giove 2005, Consolani 2006).

Raccolta ed elaborazione dei dati dendrometrici

Di ciascun individuo arboreo censito avente diametro superiore a 7.5 cm ad 1.30 m da terra, sono stati misurati il diametro a 1.30 m e l'altezza totale; inoltre per l'abete bianco sono state estratte anche due carote legnose (una a monte e l'altra a 90° da questa) con trivella di Pressler. Sono state prelevate altre carote da individui prossimi alle due aree per raggiungere un numero adeguato di campioni ai fini dell'analisi dendrocronologica. In totale sono state utilizzate per le analisi successive 85 carote da 44 individui (da 3 alberi è stato possibile prelevare solo un campione di qualità sufficiente). Le carote, montate su appositi supporti e levigate con carta abrasiva

a grana via via più fina (80-400 grits), sono state sottoposte a misurazione utilizzando il sistema ottico semi-automatico LINTAB (Rinntech, Germany) costituito da un binoculare con crocefilo ed un piano mobile i cui spostamenti, corrispondenti alle ampiezze anulari espresse in 1/100 mm, sono stati registrati dal software collegato TSAPWin 0.55 (Rinntech, Germany). Con lo stesso software sono state eseguite le progressive sincronizzazioni tra serie elementari, per giungere alla costruzione delle cronologie individuali e medie di ogni area di saggio. La sincronizzazione è stata effettuata con metodo visivo e statistico mediante il CDI (*Cross Date Index*), un indice di sincronizzazione calcolato da TSAPWin e derivante dalla combinazione di un test non parametrico Glk (*Gleichlaufigkeit*) (Eckstein & Bauch 1969) e del *t* di Student (Rinntech 2003), ambedue ampiamente utilizzati per valutare la concordanza di andamento tra serie di ampiezze anulari. La sincronizzazione è considerata accettabile con $CDI > 10$ (Rinntech 2003).

Le serie individuali delle due aree di saggio sono state mediate per ottenere un'unica cronologia stazionale di Fonte Abeti (FAB), la quale è stata confrontata con altre cronologie di abete bianco appenninico provenienti dalle stazioni di: Camaldoli, La Verna e Poppi (AR), Sasso Fratino (FO), Abetone (PT), Cortino e Ceppo Martese (TE), messe a disposizione dai rispettivi autori.

La standardizzazione delle serie, finalizzata all'analisi dendroclimatica, è stata effettuata utilizzando il software ARSTAN (Cook 1985, Cook & Holmes 1997). Tale procedura rimuove la varianza a bassa frequenza determinata solitamente da perturbazioni non-climatiche (es. trattamenti selvicolturali) e produce serie indicizzate con valore medio pari a 1 e varianza omogenea per l'intero arco temporale della serie. Il metodo adottato consta di tre fasi: a) applicazione alle serie elementari grezze di una funzione esponenziale negativa che elimina il trend negativo dovuto alla crescente circonferenza dell'albero; b) calcolo di uno *spline* con risposta di frequenza del 50% su una finestra temporale di 10 anni; c) calcolo della cronologia media utilizzando una media robusta allo scopo di ridurre gli *outliers*, cioè i valori estremi positivi e negativi (Cook 1985, Carrer & Urbinati 2004, Büntgen et al. 2006).

Raccolta dati climatici

Nello studio delle relazioni clima-accrescimento sono state utilizzate serie plurisecolari delle precipitazioni totali mensili (1813-2003) e degli scarti della temperatura media mensile dalla media del periodo

(1774-2003) ottenute dal *dataset* ALP-IMP (Auer et al. 2001, Böhm et al. 2001, ALP-IMP 2004, Auer et al. 2005). Questo raccoglie dati recenti e storici di stazioni meteorologiche presenti nell'area compresa tra 4° e 19° Est e tra 43° e 49° Nord omogeneizzati e spazializzati su una griglia con maglie di 1° x 1°. Gran parte della provincia di Pesaro-Urbino ricade al limite meridionale dell'area e per la stazione in esame sono stati ritenuti rappresentativi i dati del punto con coordinate 44°12'. L'impiego di queste serie garantisce maggiore significatività nelle relazioni clima-accrescimento per la maggiore completezza e continuità e soprattutto permette di valutare meglio la variabilità temporale delle risposte ottenute.

Relazioni clima-accrescimento

Anni caratteristici

Gli anelli caratteristici (*pointer values*) sono anelli particolarmente larghi o stretti, visibili nelle serie come picchi positivi o negativi. Questi sono stati individuati con il *software* Weiser (Gonzales 2001) utilizzando una finestra temporale di 7 anni e tre differenti classi di intensità crescente. Gli anni in cui almeno il 75% dei campioni presenta un anello caratteristico, sono stati considerati anni caratteristici (*pointer year*) (Bebber 1990, Schweingruber et al. 1990, Motta & Nola 1996, Nola et al. 2000). Si è quindi proceduto alla ricerca di una corrispondenza tra eventi climatici estremi ed anni caratteristici dopo aver messo in evidenza fenomeni climaticamente rilevanti attraverso il calcolo dei percentili (3°, 5°, 10°, 90°, 95°, 97°) nel *dataset* ALP-IMP. Secondo la definizione dell'IPCC un evento climatico è considerato estremo se supera il 10° o il 90° percentile (IPCC 2001). A questo scopo è stato possibile analizzare solo il periodo 1915-2006 poiché nel periodo precedente la cronologia è formata da meno di dieci campioni, soglia minima per considerare significativo un *pointer year* (Bebber 1990).

Tab. 1 - Principali parametri dendrometrici dell'abete bianco nelle due aree di saggio (FAB1 e FAB2).

| Parametro | FAB1 | FAB2 |
|------------------------|-------|-------|
| N/ha | 184 | 96 |
| dg [cm] | 50.7 | 65.2 |
| d dom [cm] | 58.5 | 58 |
| G [m ² /ha] | 36.9 | 31.9 |
| Hg [m] | 28.3 | 31.6 |
| H dom [m] | 30.2 | 28.9 |
| V [m ³ /ha] | 488.5 | 413.4 |

Correlazioni lineari

Le risposte incrementali dell'abete bianco ai fattori climatici sono state valutate con il calcolo della correlazione tra serie di accrescimento indicizzate e serie termo-pluviometriche relative al punto scelto della griglia ALP-IMP (P e Scarti Tmed). A tale scopo è stato utilizzato il *software* DENDROCLIM2002 (Biondi & Waikul 2004) che, con metodo *bootstrap* (1000 repliche), restituisce i coefficienti di correlazione e le funzioni di risposta per ogni variabile climatica inserita. Non essendoci differenze significative nei profili ottenuti per le correlazioni e per le funzioni di risposta e dal momento che le correlazioni sono ritenute più conservative (Carrer & Urbinati 2001), più stabili e facilmente replicabili delle funzioni di risposta (Blasing et al. 1984, Oberhuber 2004, Pfeifer et al. 2005), si è scelto di considerare soltanto i valori delle correlazioni.

Poiché l'accrescimento annuale dell'abete bianco può essere condizionato da eventi climatici verificatisi anche prima dell'inizio del periodo vegetativo (Becker 1989, Rolland et al. 1999), si è considerato un anno biologico a partire dal mese di maggio dell'anno precedente la formazione dell'anello (n-1) ad ottobre dell'anno di formazione (n) (Fritts 1976, Fritts & Wu 1986). Per ciascuna variabile climatica sono stati calcolati i valori di correlazione medi per l'intero periodo di analisi (1892-2003).

Tab. 2 - Principali parametri statistici delle cronologie relative alle due aree di saggio (FAB1 e FAB2) e alla cronologia stazionale (FAB). M: ampiezza anulare media; DS: deviazione standard; AC(1): autocorrelazione di primo ordine; SM: sensitività media.

| Area | N. campioni | Periodo (anni) | M (mm) | DS (mm) | AC(1) | SM |
|------|-------------|-----------------|--------|---------|-------|-------|
| FAB1 | 40 | 1891-2006 (116) | 3.31 | 1.34 | 0.70 | 0.218 |
| FAB2 | 37 | 1919-2006 (88) | 2.77 | 1.49 | 0.82 | 0.221 |
| FAB | 77 | 1891-2006 (116) | 3.09 | 1.42 | 0.76 | 0.219 |

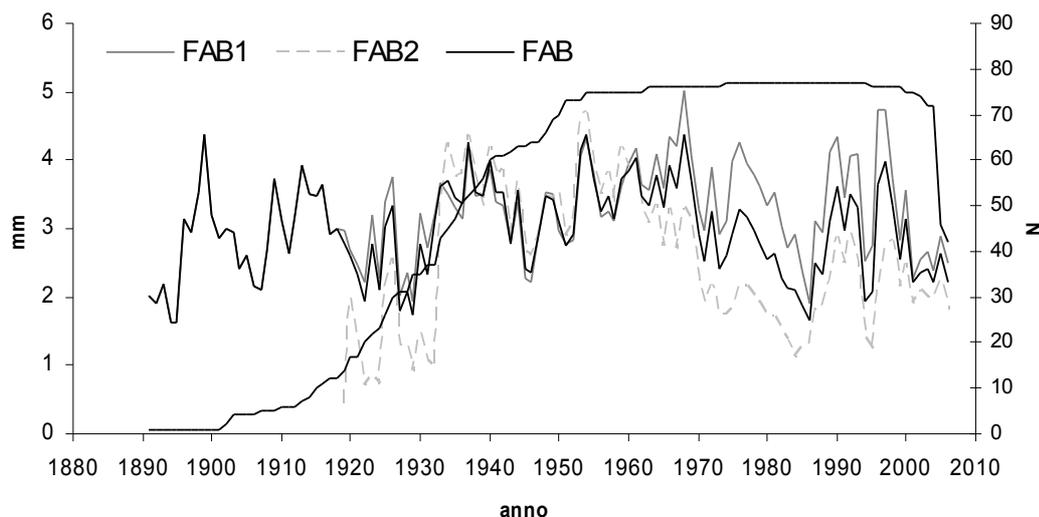


Fig. 2 - Cronologie grezze di *Abies alba* relative alle due aree di saggio (FAB1 e FAB2) e all'intero popolazione (FAB). L'asse di destra rappresenta la numerosità dei campioni (N).

Correlazioni mobili

L'andamento nel tempo delle risposte ai fattori climatici è stato valutato ancora con il software DENDROCLIM2002, utilizzando l'opzione delle *moving correlation* a scansione annuale con una finestra mobile di 57 anni, determinata dalla limitata lunghezza della cronologia media disponibile (116 anni). Ad ogni iterazione e ad ogni passaggio viene calcolato un coefficiente di correlazione, la cui media finale viene determinata con il metodo *bootstrap* (Biondi 1997). I coefficienti di correlazione prodotti hanno una soglia di significatività diversa per ogni variabile considerata, per cui sono stati standardizzati dividendoli per la loro deviazione standard (r/s) ottenendo così una soglia di significatività uguale a ± 1.96 cui corrisponde una probabilità pari a 0.05. Nel caso specifico l'analisi dei risultati si realizza fondamentalmente con le eventuali differenze di andamento all'interno dei periodi 1891-1947 e 1948-2003.

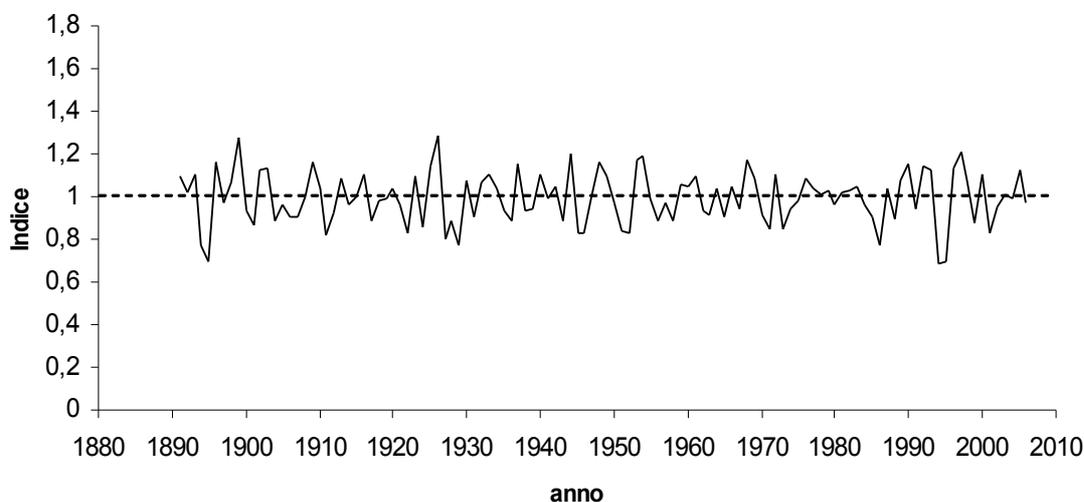
Risultati e discussione

La dinamica di accrescimento

Le due aree di saggio, sebbene con alcune differenze di composizione e struttura, sono caratterizzate dalla prevalente presenza di abete bianco, i cui caratteri dendrometrici (Tab. 1) sono molto simili (Giove 2005, Consolani 2006). Le cronologie di abete bianco delle due aree di saggio sono state costruite utilizzando 40 serie elementari relative a 21 alberi per FAB1 e da 37 serie elementari relative a 19 alberi per FAB2. Età massima (116 anni) e media sono maggiori in FAB1, ma non ci sono sostanziali differenze negli indicatori statistici (Tab. 2), ad eccezione dei valori di ampiezza anulare media (M), che risultano maggiori di circa il 17% in FAB1 rispetto a FAB2.

In Fig. 2 sono riportate le cronologie non indicizzate delle due aree di saggio e quella media stazionale (composta da 77 serie individuali), di cui si riportano

Fig. 3 - Cronologia media indicizzata di Fonte Abeti.



anche i valori indicizzati (Fig. 3): la sincronizzazione tra FAB1 e FAB2 è molto elevata (CDI= 81) e gli accrescimenti annuali sono molto simili fino al 1970 circa, quando, in corrispondenza della prolungata riduzione di accrescimento, FAB1 riesce a mantenere accrescimenti più elevati.

La curva media è relativamente stazionaria e caratterizzata nel primo tratto da fluttuazioni cicliche fino al 1945, che potrebbero essere attribuibili a tagli intercalari diventati più sporadici e di minore entità dopo la seconda guerra mondiale (Giove 2005). Il periodo 1930-1970 è caratterizzato da valori di ampiezze anulari relativamente elevati, anche per la giovane età della maggior parte degli individui che compongono la cronologia in quell'intervallo temporale (Fig. 2). Dalla fine degli anni '60 si osserva una progressiva riduzione di accrescimento che culmina negli anni 1985 e 1986; dopo una rapida ripresa alla fine degli anni '80, l'andamento è caratterizzato da rilevanti oscillazioni e poi si assesta su valori inferiori alla media. Per valutare la natura della riduzione nel quindicennio 1970-1985, ne è stata verificata la presenza anche in altre cronologie di abete bianco appenninico. In Tab. 3 sono riportati i principali parametri statistici delle cronologie stazionali analizzate ed i rispettivi CDI con la curva media di Fonte Abeti.

I valori di CDI sono superiori alla soglia considerata significativa (10) per tutte le stazioni ad eccezione di Ceppo e dell'Abetone; quelli più elevati si registrano a Poppi e Camaldoli, ma la sincronizzazione visiva è buona anche per le altre stazioni. Nonostante la diversità dei caratteri stazionali, dell'estensione delle serie e della storia dei popolamenti, si evidenziano alcuni andamenti molto simili fra le curve. Un fattore di eterogeneità nella dinamica di accrescimento è individuabile nelle perturbazioni di carattere locale, come gli interventi selvicolturali, eseguiti

nel secolo scorso in molte stazioni almeno fino agli anni '60 e che producono una maggiore sincronizzazione fra le serie a partire dagli anni '70, da quando verosimilmente in gran parte delle stazioni si sono ridotti o non si sono più effettuati significativi interventi culturali. Le cronologie di Camaldoli e La Verna (Manetti & Cutini 2006) per esempio sono caratterizzate da andamenti diversi fino al 1970 che poi tendono ad assimilarsi nel periodo di crisi e di ripresa dell'ultimo ventennio.

La repentina e forte riduzione di accrescimento del periodo 1970-1986, presente in gran parte delle cronologie analizzate, è stata registrata in altre stazioni di abete bianco sia italiane che europee, non disponibili per questo lavoro. L'abete bianco piemontese nel periodo 1968-1989 presenta le più forti riduzioni di accrescimento dell'intera cronologia (1890-1990) (Pividori 1991). Anche nei Vosgi (Francia) la riduzione inizia nel 1973 e, dopo aver raggiunto il massimo nel 1976, tende a recuperare tra il 1983 e il 1987 (Becker 1989, Becker et al. 1989). Il fenomeno è stato associato a fenomeni di deperimento che hanno interessato l'abete bianco nel XX secolo e la cui origine climatica sembra essere avvalorata anche da ulteriori riduzioni repentine di accrescimento in corrispondenza di altri fenomeni di siccità prolungata nel corso del 1900 in Slovenia (Bigler et al. 2004), nei Vosgi francesi (Becker & Levy 1989), a Vallombrosa (Sibilia 1952, De Philippis 1958, Corona 1983) ed in Casentino (Sibilia 1952). Sia nei popolamenti italiani (Corona 1983, Pividori 1991) sia in quelli francesi sopra citati, il deperimento dell'abete e la riduzione di accrescimento sarebbero stati determinati (nei casi meno gravi) da severi e ripetuti fenomeni di deficit idrico. Questi avrebbero interessato maggiormente quei popolamenti già in condizioni critiche per densità eccessiva, struttura coetanea, monospecificità o per maturità

Tab. 3 - Principali parametri statistici delle cronologie non standardizzate di abete bianco appenninico utilizzate per il confronto con la cronologia media di Fonte Abeti. CDI: Cross Date Index; M: ampiezza anulare media; DS: deviazione standard; AC(1): autocorrelazione di primo ordine; SM: sensitività media.

| Cronologia | CDI | Periodo (anni) | M (mm) | DS (mm) | AC(1) | SM |
|--------------------|-----|-----------------|--------|---------|-------|------|
| Poppi (AR) | 34 | 1862-1998 (137) | 3.20 | 1.69 | 0.96 | 0.14 |
| Camaldoli (AR) | 28 | 1899-1996 (98) | 7.01 | 3.41 | 0.93 | 0.12 |
| Abeti Soprani (IS) | 23 | 1824-2006 (183) | 2.01 | 0.91 | 0.80 | 0.20 |
| Cortino (TE) | 17 | 1875-1999 (125) | 2.69 | 1.23 | 0.94 | 0.15 |
| La Verna (AR) | 16 | 1848-1996 (149) | 5.48 | 2.72 | 0.96 | 0.13 |
| Sasso Fratino (FC) | 12 | 1789-1998 (210) | 2.06 | 0.71 | 0.90 | 0.13 |
| Ceppo (TE) | 9 | 1595-1998 (404) | 0.85 | 0.44 | 0.93 | 0.16 |
| Abetone (PT) | 4 | 1845-1998 (154) | 2.09 | 0.68 | 0.82 | 0.15 |

Tab. 4 - Anni caratteristici individuati nella cronologia stagionale di Fonte Abeti; (a): se presenti nell'80% delle serie individuali, (b) nel 75%. A fianco di ogni anno sono citati i lavori in cui l'anno è considerato caratteristico.

| <i>Pointer year negativi</i> | | <i>Pointer year positivi</i> | |
|------------------------------|---|------------------------------|----------------------|
| 1922 ^a | Gambetti et al. 2000, Pividori 1991, Becker & Levy 1989, Rolland et al. 1999, Desplanque et al. 1999, Rolland et al. 2000, Neuwirth et al. 2007 | 1926 ^a | Gambetti et al. 2000 |
| 1929 ^a | Gambetti et al. 2000, Rolland et al. 1999, Desplanque et al. 1999, Neuwirth et al. 2007 | 1940 ^b | - |
| 1945 ^a | - | 1944 ^b | - |
| 1946 ^a | - | 1953 ^a | - |
| 1951 ^a | Serre Bachet 1986 | 1954 ^a | - |
| 1952 ^b | - | 1968 ^b | - |
| 1956 ^b | Manetti & Cutini 2006, Nola et al. 2000, Rolland et al. 1999, Desplanque et al. 1999, Neuwirth et al. 2007 | 1997 ^a | - |
| 1986 ^b | Gambetti et al. 2000, Manetti & Cutini 2006, Nola et al. 2000, Rolland et al. 1999, Desplanque et al. 1999, Rolland et al. 2000 | - | - |
| 1994 | - | - | - |
| 1995 | - | - | - |

eccessiva, che hanno reso l'abete più sensibile a fattori secondari di stress (De Philippis 1958, Gradi 1983, La Marca 1983, Becker et al. 1989, Hippoliti 1989, Gabbriellini et al. 1990, Pividori 1991, Bernetti 1995). È stata osservata una minore incidenza del fenomeno in popolamenti disetanei e più equilibrati strutturalmente (La Verna e Sasso Fratino), come indicato anche da altri autori (Becker 1989, Pividori 1991). È quindi probabile che anche a Fonte Abeti le scarse precipitazioni nel periodo 1965-1977, verificatesi dopo la relativa siccità del decennio precedente (1946-56 circa) e la struttura non ottimale delle censi abbiano determinato una crisi incrementale dell'abete bianco. È importante sottolineare che ad Abeti Soprani (Molise) e a Serra San Bruno (Calabria) l'abete bianco non ha registrato tale riduzione, in linea con l'ipotesi che le popolazioni più meridionali sarebbero maggiormente adattate a condizioni più xeriche (Santini & Martinelli 1991, Romagnoli & Schirone 1992).

L'accrescimento, dopo una rapida ripresa post-crisi, sembra essersi stabilizzato, anche se gran parte delle cronologie disponibili terminano proprio in questi anni. Nelle poche serie più lunghe non si osservano riduzioni riferibili a fenomeni di siccità recenti (es. 2003) ed è stato anche ipotizzato, per l'abete di Camaldoli e La Verna, che l'aumento delle temperature ed il conseguente allungamento della stagione

vegetativa possano aver influito positivamente sull'accrescimento (Manetti & Cutini 2006).

Le relazioni clima-accrescimento

Anni caratteristici

In Tab. 4 sono riportati gli anni caratteristici per l'abete di Fonte Abeti; alcuni coincidono con anni o intervalli caratteristici segnalati da altri autori per la stessa specie; la maggiore concordanza si ha per i *pointer year* negativi più forti (1922, 1929, 1956 e 1986), condivisi dalla maggior parte delle cronologie italiane e dell'Europa centrale. Al contrario i picchi positivi di accrescimento tipici di Fonte Abeti non trovano corrispondenza in altre stazioni.

L'origine climatica delle riduzioni di accrescimento è riconducibile a due fenomeni diversi; per gli anni 1929, 1956 e 1986 sembra preponderante l'effetto delle temperature particolarmente basse registrate nei mesi invernali precedenti la stagione vegetativa (da gennaio ad aprile), in quanto l'abete bianco necessita di inverni abbastanza miti (Susmel 1959, Bernetti 1995). Nel caso invece del 1922, dei bienni 1945-46 e 1994-1995, l'azione combinata delle alte temperature primaverili ed estive e delle scarse precipitazioni, sia dell'anno che dell'anno precedente, ha influenzato negativamente la formazione dell'anello. Analogamente, all'origine delle annate positive si trovano

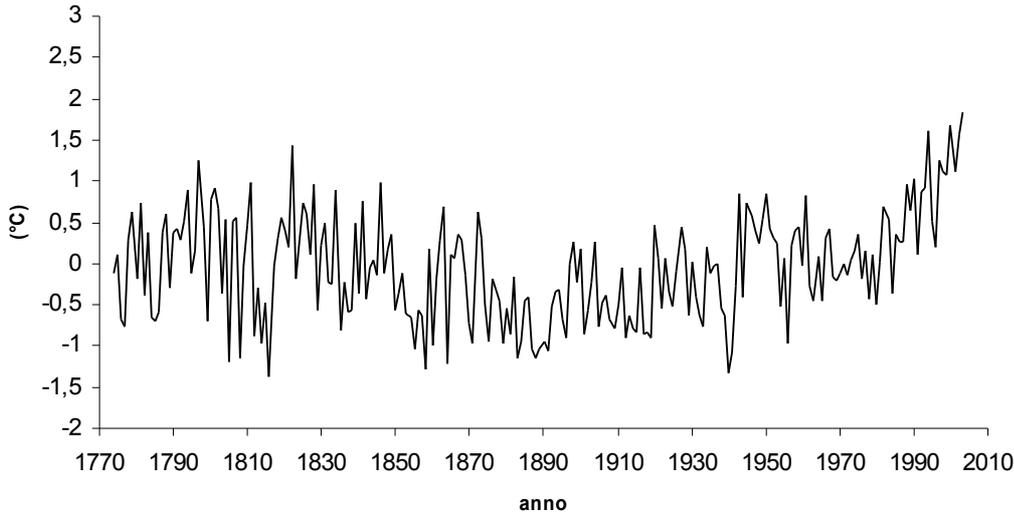


Fig. 4 - Andamento delle temperature medie annue per il periodo 1774-2003 espresso come scostamenti dalla media relativa al periodo 1901-2000 per il punto 44°12° della griglia APL-IMP.

estati fresche e piovose, talvolta accompagnate da inverni miti (come nel 1968 e nel 1997), con un effetto favorevole sull'accrescimento.

Quelle proposte sono ipotesi derivanti da un accurato confronto tra accrescimento ed eventi climatici estremi: è chiaro che, non trattandosi di un popolamento di *treeline* ed essendo stato soggetto ad interventi selvicolturali sporadici fino ad un trentennio fa, è possibile la presenza di altri fattori di disturbo nelle serie di accrescimento. La natura climatica della maggior parte dei *pointer year* è però sostenuta sia dal confronto con altre cronologie che dalla concordanza con l'andamento dei fattori climatici che sono maggiormente limitanti per l'abete bianco.

Correlazioni lineari

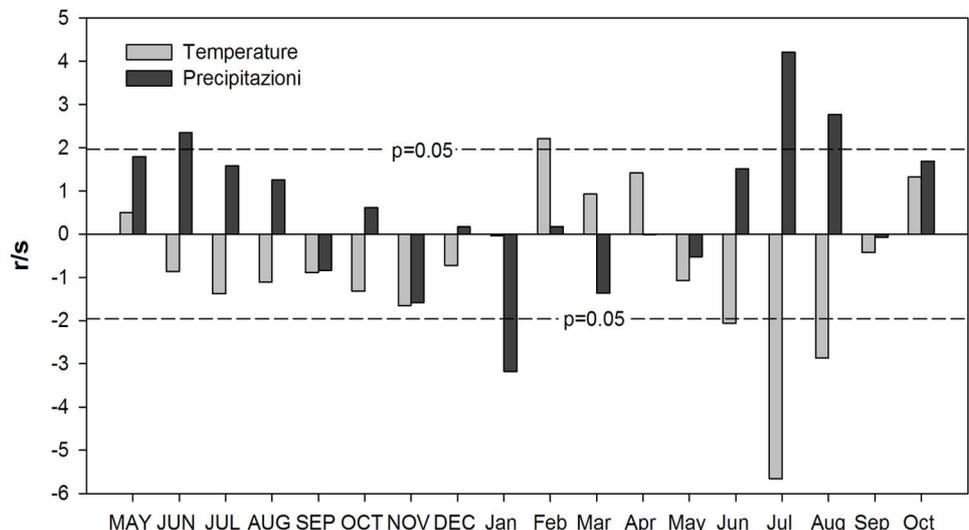
Se l'aumento delle temperature a livello planetario negli ultimi decenni è ormai una condizione verificata (IPCC, 2007), più incerti e variabili sono gli effetti che questo fenomeno produce sulla vegetazione fo-

restale e la sua dinamica auxologica. Sia a scala globale che locale si osserva il notevole aumento delle temperature negli ultimi 25 anni (Fig. 4), culminato nel 2003, in cui la temperatura media dei mesi estivi (giugno-luglio-agosto) ha superato di 4.6°C la media degli ultimi due secoli (ALP-IMP 2004). Minore instabilità caratterizza l'andamento delle precipitazioni, i cui valori oscillano intorno alla media, sebbene si osservi una diminuzione nell'ultimo ventennio, fenomeno che potrebbe rientrare anche in normali fluttuazioni cicliche (ALP-IMP 2004).

I profili delle correlazioni (Fig. 5) ottenute utilizzando i dati della griglia ALP-IMP evidenziano che i fattori che limitano maggiormente l'accrescimento dell'abete bianco sono le temperature medie estive, in particolare quelle di luglio e agosto e secondariamente quelle di giugno. Ciò significa che l'accrescimento dell'abete bianco diminuisce con l'aumento delle temperature medie estive.

Relativamente alle precipitazioni, l'aumento di

Fig. 5 - Profilo delle correlazioni tra accrescimento annuale e temperatura media mensile e precipitazioni mensili. I valori maggiori di |1.96| sono significativi per $P < 0.05$.



piovosità in luglio e agosto ha invece effetti incrementali positivi. La dinamica di accrescimento dell'abete di Fonte Abeti sembra quindi essere controllata prevalentemente da un effetto sinergico delle temperature e delle precipitazioni: mesi estivi molto caldi attenuano l'azione positiva determinata dalle precipitazioni primaverili ed estive analogamente a quanto osservato in altre stazioni dell'Appennino centrale (Corona 1983, Romagnoli & Schirone 1992, Gambetti et al. 2000, Gentilesca & Todaro 2008); in stazioni più piovose, come Camaldoli e La Verna, l'accrescimento è controllato in modo significativo soltanto dalle temperature di agosto (Manetti & Cutini 2006). Il fattore udometrico diventa ancor più limitante per l'abete dell'Appennino centro-meridionale: infatti nelle abetine molisane la correlazione positiva è significativa solo con le precipitazioni di giugno e agosto, ma non con quelle di luglio, quando lo stress idrico è maggiore a causa delle più elevate temperature (Romagnoli & Schirone 1992). Tale fenomeno si manifesta ancor più chiaramente nelle provenienze calabresi, dove la formazione dell'anello avviene principalmente a maggio e giugno, perché in luglio ed agosto la specie ha probabilmente evoluto un sistema adattativo di parziale chiusura degli stomi per ridurre la traspirazione (Santini & Martinelli 1991). È interessante notare che la sensibilità udometrica dell'abete bianco è presente anche in ambiente alpino, soprattutto nel settore occidentale, dove, nonostante le differenze nel regime delle precipitazioni e nella xilogenesi, sussistono dei periodi con rischio di stress idrico (Rolland 1993, Desplanque et al. 1998, Desplanque et al. 1999, Rolland et al. 1999).

Sebbene meno evidenti, sono risultate significative, in senso positivo, le temperature medie di febbraio. L'abete bianco appenninico sembra essere avvantaggiato da inverni non troppo freddi, sia nelle stazioni più settentrionali (Gambetti et al. 2000, Manetti & Cutini 2006) sia in quelle meridionali (Santini & Martinelli 1991, Romagnoli & Schirone 1992, Gentilesca & Todaro 2008), evitando così il rischio di danni da gelo, importante fattore di stress per questa specie. Peraltro un aumento delle precipitazioni di gennaio, di probabile carattere nevoso, può determinare fenomeni di idromorfismo, con sofferenza a livello radicale e riduzione della sintesi di sostanze di riserva utili al momento della ripresa dell'attività vegetativa. Nella stazione in esame, caratterizzata anche da un'esposizione NE, questa possibilità potrebbe determinarsi in concomitanza con una prolungata permanenza del manto nevoso. In generale l'esigenza di in-

verni miti e asciutti è stata riscontrata per tutte le stazioni appenniniche sottoposte ad analisi dendroclimatiche (Santini & Martinelli 1991, Romagnoli & Schirone 1992, Gambetti et al. 2000, Manetti & Cutini 2006).

Anche l'abete bianco, come altre conifere, è sensibile all'influenza climatica dell'anno precedente la formazione dell'anello (n-1) ed in particolare dalle precipitazioni di giugno, correlate positivamente. Tale sensibilità potrebbe essere messa in relazione alla possibilità di formare sostanze di riserva per l'anno successivo, anche se tale fenomeno avviene soprattutto nella fase conclusiva della stagione vegetativa (da agosto ad ottobre), quando la moltiplicazione cellulare è pressoché terminata, la lignificazione è in atto e quindi i fotosintetati prodotti possono essere immagazzinati, come riportato sia per le stazioni molisane (Romagnoli & Schirone 1992) e calabresi (Santini & Martinelli 1991), sia per quelle tosco-emiliane (Corona 1983, Gambetti et al. 2000) che in quelle delle Alpi francesi (Rolland 1993, Desplanque et al. 1998, Rolland et al. 1999) e dei Pirenei (Tardif et al. 2003, Macias et al. 2006).

In sintesi si può affermare che l'abete bianco di Fonte Abeti ha un accrescimento che è sensibile soprattutto all'andamento climatico estivo, sia dell'anno di formazione dell'anello sia di quello precedente. È una specie che teme condizioni ricorrenti di elevate temperature e siccità estive, soprattutto a quote non elevate (Desplanque et al. 1998, Gambetti et al. 2000). Beneficia di inverni relativamente miti, ma teme fenomeni anche locali di idromorfismo, che possono determinare l'insorgere di attacchi patogeni, di prevalente natura fungina. Le risposte climatiche lo collocano più vicino alle abetine dell'Appennino centro-settentrionale piuttosto che a quelle meridionali, dove l'abete può aver messo in atto, soprattutto al limite dell'areale (Calabria), adattamenti xerofitici (Pavari 1951, Susmel 1959, Giannini & Magini 1970, Gabbriellini et al. 1990, Santini & Martinelli 1991) che hanno indotto alcuni autori ad ipotizzare la differenziazione di una vera e propria varietà (Giacobbe 1969, Giacobbe 1973).

Correlazioni mobili

Il calcolo delle *moving correlation* consente di osservare meglio nel tempo l'andamento e la significatività delle singole variabili risultate fondamentali per la formazione dell'anello (Fig. 6). Relativamente alle temperature, si osserva che i dinamismi significativi (tratti della curva all'esterno della zona tratteggiata) sono limitati ai mesi estivi dell'anno di formazione

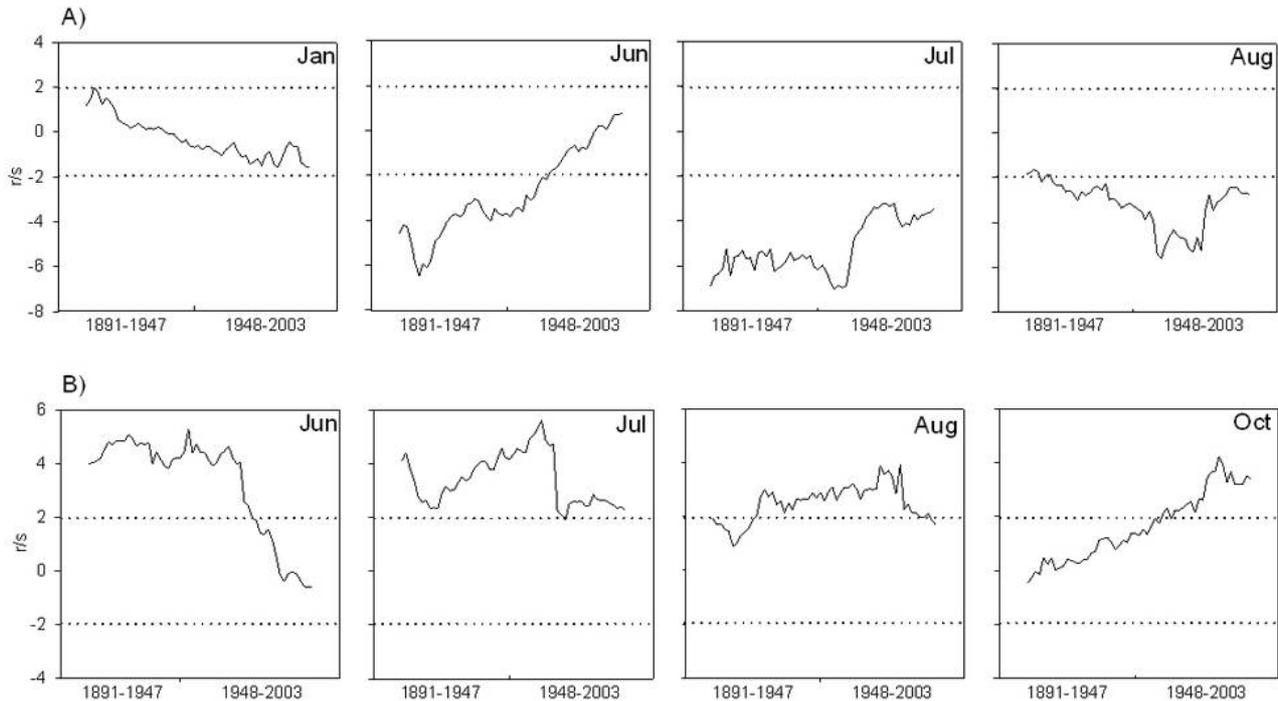


Fig. 6 - Andamento dell'effetto delle temperature medie mensili (A) e delle precipitazioni (B) sull'accrescimento dell'abete bianco a Fonte Abeti durante il periodo 1774-2003; correlazioni calcolate usando una finestra mobile di 56 anni. Le linee tratteggiate indicano la soglia di significatività pari a $|1.96|$ per $P < 0.05$.

dell'anello (giugno, luglio ed agosto), peraltro con alcune differenze sostanziali. Le risposte negative di giugno sono caratterizzate da un'elevata significatività iniziale, che tende a ridursi progressivamente fino a perdersi nel tratto finale della curva. Quella di luglio rimane sempre significativa, anche se nel secondo tratto subisce anch'essa una forte riduzione che tende a stabilizzarsi su valori più vicini alla soglia minima. Nel mese di agosto le risposte inizialmente non significative lo diventano progressivamente per poi invertire nuovamente l'andamento nell'ultimo periodo verso valori nuovamente vicini alla soglia minima. Ancora più interessante appare l'andamento delle precipitazioni estive, caratterizzato da una progressiva perdita e riduzione di significatività (nel settore positivo) rispettivamente dei mesi di giugno e luglio. In agosto la risposta è quasi stabilmente sopra il livello di significatività, con una lieve diminuzione nell'ultimissimo tratto della curva. Anche le precipitazioni di ottobre presentano un'interessante dinamismo caratterizzato da una relazione positiva progressivamente crescente nel tempo e che diventa significativa nel secondo intervallo temporale.

Nonostante tale metodo non consenta un controllo

annuale dei dinamismi di risposta, è evidente che la sensibilità al regime termo-pluviometrico estivo dell'abete bianco di Fonte Abeti si è modificata nel corso dell'ultimo secolo con un interessamento anche dei mesi autunnali. Tutte le variazioni osservate sono collocabili nel secondo cinquantennio di osservazione, evidenziando la possibilità di un rapido cambiamento di comportamento messo in atto dall'abete. La diminuzione e/o perdita di significatività delle temperature e delle precipitazioni in corrispondenza dei mesi cruciali per la formazione dell'anello farebbe ipotizzare una sorta di adattamento a condizioni più xero-termiche dell'abete, in risposta al riscaldamento climatico in atto a scala locale e globale. Se tale ipotesi è in linea con l'andamento della temperatura media dei mesi estivi, in evidente aumento anche nella zona d'indagine, molto meno lo è con quello della quantità di precipitazioni, che non evidenzia trend altrettanto evidenti.

Analoghe risposte non stazionarie delle variabili termo-pluviometriche maggiormente limitanti o incentivanti l'accrescimento radiale sono state ottenute su abete bianco nei Pirenei spagnoli (Tardif et al. 2003, Macias et al. 2006) e in Italia al limite superiore del bosco alpino su larice (Carrer & Urbinati 2006,

Gallucci 2006) e pino cembro (Gallucci 2006, Carrer et al. 2007); in tutti i casi gli autori ipotizzano possibili adattamenti alle mutevoli condizioni climatiche.

Conclusioni

I risultati dell'analisi dendrocronologica e dendroclimatica nell'abetina di Fonte Abeti (PU) sono un primo *step* di una ricerca in corso sull'abete bianco in Romagna, Marche, Abruzzo e Molise volta a valutare la capacità di resilienza ai cambiamenti del clima ed ai regimi selvicolturali. Sebbene il soprassuolo indagato non sia interamente di origine naturale e sia stato sottoposto a interventi colturali irregolari, è presente nelle serie di accrescimento radiale un evidente segnale climatico che si esplicita con una buona sincronizzazione delle curve individuali ed una discreta teleconnessione ad altre cronologie italiane di abete bianco.

La cronologia media secolare (FAB) è per il momento l'unica disponibile per questa specie nelle Marche (un'altra è in costruzione ai Monti della Laga) e aggiunge ulteriori informazioni a quelle raccolte con il progetto FORMAT (ENV4-CT97-0641 - *Forest Modelling Assessment from Tree Rings*). Elemento caratteristico presente anche in altre cronologie italiane ed europee, è una fluttuazione negativa che inizia intorno al 1970 e che si risolve dopo il 1986. Tale evento è stato associato a condizioni perduranti di aridità che in alcuni casi avrebbero determinato situazioni di deperimento, talvolta molto accentuato, dell'abete bianco. Da confronti con altre cronologie sembra evidenziarsi una maggiore incidenza della crisi incrementale nelle formazioni pure e coetaniformi.

L'ipotesi avanzata per l'abete di Camaldoli e La Verna (Manetti & Cutini 2006), secondo la quale la successiva ripresa sarebbe dovuta all'aumento delle temperature in corso da circa 30 anni, sembrerebbe poco probabile a Fonte Abeti, se si considerano le correlazioni inverse con le temperature estive. Peraltro, le *moving correlation* hanno evidenziato la non stazionarietà di tale comportamento ed anzi il tendenziale adattamento dell'abete bianco a condizioni maggiormente xerotermitiche. Anche la concentrazione di anni caratteristici dal 1986 è minore rispetto al periodo precedente, aspetto che potrebbe avvalorare l'ipotesi precedente, se si considera che gran parte di quelli di segno negativo sembrano associati a periodi estivi caldi e siccitosi.

L'abete di Fonte Abeti manifesta un comportamento, sia nella dinamica di accrescimento sia nelle funzioni di risposta, assimilabile a quello dell'abete del

Casentino, anche se la perdita di stazionarietà delle correlazioni climatiche sembrerebbe predisporre l'abete ad un comportamento più simile a quello delle abetine meridionali, molto più tolleranti ed adattate a condizioni più xerotermitiche.

I risultati di questa analisi, oltre a colmare alcuni *gap* nel settore orientale dell'areale in Appennino centrale, forniscono indicazioni sulla potenzialità ecologica dell'abete nell'area d'indagine, utili anche per calibrare gli interventi di conservazione e valorizzazione che sono richiesti dalla direttiva *Habitat*. L'abetina di Fonte Abeti non è ad immediato rischio di scomparsa, ma l'eccessiva omogeneità strutturale di alcuni settori, la contiguità con nuclei di abete rosso e l'assenza di nuclei di pre-rinnovazione (Giove 2005) potrebbero progressivamente minarne la stabilità e ridurre la resilienza che tale specie sembra dimostrare almeno in termini climatici. L'evoluzione naturale, opzione gestionale spesso adottata in aree protette o della rete Natura2000, non sembra quindi la risposta idonea ad un obiettivo di durevolezza e di sostenibilità della cenosi.

Note

Lavoro presentato al VI Congresso nazionale SISEF: "La gestione delle foreste tra cambiamenti globali e azioni locali", Arezzo, settembre 2007.

Bibliografia

- AA.VV. (1998). Appennino foresta d'Europa. Progetto LIFE-Natura: Misure di salvaguardia delle popolazioni relitte di *Abies alba* Miller, *Picea excelsa* Lam., *Taxus baccata* L. e dei loro habitat naturali sull'Appennino emiliano. Regione Emilia Romagna, pp.183.
- AA.VV. (2001). Action Plan. CISDAM, Progetto LIFE: Tutela di habitat con abete bianco nei SIC dell'Appennino centro-meridionale (2^a fase), LIFE99NAT/IT/6260. WWF Italia - ONLUS, Commissione Europea, Ed. Cogeste, pp.128.
- AA.VV. (2005). Suoli e paesaggi delle Marche - Carta dei suoli - scala 1:250.000. Programma Interregionale Agricoltura e Qualità - Misura 5. ASSAM, Regione Marche, Ministero Politiche Agricole e Forestali.
- AA.VV. (2007). Conservazione di *Abies alba* in faggeta abetina nel Pigelleto, Monte Amiata, DREAm-Italia, Arezzo, pp. 150.
- ALP-IMP (2004). Multi-centennial climate variability in the Alps based on instrumental data, model simulation and proxy data. [online] URL: <http://www.zamg.ac.at/alp-imp/main.html>
- Auer I, Böhm R, Jurkovic A, Orlik A, Potzmann R, Schoner W, Ungersbock M, Brunetti M, Nanni T, Maugeri M, Brif-

- fa K, Jones P, Efthymiadis D, Mestre O, Moisselin JM, Bergert M, Brazdil R, Bochnicek O, Cegnar T, Gajic Capkaj M, Zaninovic K, Majstorovic Z, Szalai S, Szentimrey T, Mercalli L (2005). A new instrumental precipitation data-set for the greater alpine region for the period 1800-2002. *International Journal of Climatology* 25: 139-166. - doi: 10.1002/joc.1135
- Auer I, Böhm R, Maugeri M (2001). A new long-term gridded precipitation data-set for the Alps and its application for map and alplim. *Physics and Chemistry of the Earth Part B-Hydrology Oceans and Atmosphere* 26: 421-424. - doi: 10.1016/S1464-1909(01)00029-6
- Böhm R, Auer I, Brunetti M, Maugeri M, Nanni T, Schoner W (2001). Regional temperature variability in the European Alps: 1760-1998 from homogenized instrumental time series. *International Journal of Climatology* 21: 1779-1801. - doi: 10.1002/joc.689
- Büntgen U, Frank DC, Schmidhalter M, Neuwirth B, Seifert M, Esper J (2006). Growth/climate response shift in a long subalpine spruce chronology. *Trees -Structure and Function* 20: 99-110. - doi: 10.1007/s00468-005-0017-3
- Bebber AE (1990). A tree ring chronology for larch (*Larix decidua*) from the eastern Italian Alps. *Dendrochronologia* 8: 119-139.
- Becker M (1989). The role of climate on present and past vitality of silver fir forests in the Vosges mountains of northeastern France. *Canadian Journal of Forest Research* 19: 1110-1117. - doi: 10.1139/x89-168
- Becker M, Landmann G, Levy G (1989). Silver fir decline in the vosges mountains (France): Role of climate and silviculture. *Water Air and Soil Pollution* 48: 77-86. - doi: 10.1007/BF00282371
- Becker M, Levy G (1989). A proposito del deperimento delle foreste; clima, selvicoltura e vitalità dell'abetina dei Vosgi. *L'Italia Forestale e Montana* 2: 85-106.
- Bergmann F, Gregorius HR, Larsen JB (1990). Levels of genetic variation in european silver fir (*Abies alba*). Are they related to the specie decline? *Genetica* 82: 1-10.
- Bernetti G (1995). L'abete bianco. In: *Selvicoltura speciale*, UTET, pp. 107-123.
- Bianchi L, Calamini G, Maltoni A, Mariotti B, Paci M, Salbitano F, Tani A, Quilghini G, Zoccola A (2005). Dinamiche evolutive di post-selvicoltura in abetine dell'Appennino centro-settentrionale. *L'Italia Forestale e Montana* 4: 485-503.
- Bianchi L, Paci M (2008). Dinamica evolutiva e gestione delle abetine toscane: sintesi di quarant'anni di ricerche. *Forest@* 5: 122-130. - doi: 10.3832/efor0517-0050122
- Bianchi L, Paci M, Bartolini D (2006). Dinamiche evolutive di post-selvicoltura nella foresta di vallombrosa. *Forest@* 3: 63-71. - doi: 10.3832/efor0339-0030063
- Bigler C, Grišar J, Bugmann H, Äufar K (2004). Growth patterns as indicators of impending tree death in silver fir. *Forest Ecology and Management* 199: 183-190. - doi: 10.1016/j.foreco.2004.04.019
- Biondi F (1997). Evolutionary and moving response functions in dendroclimatology. *Dendrochronologia* 15: 139-150.
- Biondi F, Waikul K (2004). DENDROCLIM2002: A C++ program for statistical calibration of climate signals in tree-ring chronologies. *Computers and Geosciences* 30: 303-311. - doi: 10.1016/j.cageo.2003.11.004
- Biraghi A (1949). Il disseccamento degli abeti di Vallombrosa. *L'Italia Forestale e Montana* 17: 148-161.
- Blasing TJ, Solomon AM, Duvick DN (1984). Response functions revisited. *Tree Ring Bulletin* 44: 1-15.
- Breitenbach-Dorfer M, Konnerth M, Pinsker W, Starlinger F, Geburek T (1997). The contact zone between two migration routes of silver fir, *Abies alba* (Pinaceae), revealed by allozyme studies. *Plant Systematics and Evolution* 206: 259-272. - doi: 10.1007/BF00987951
- Caldart F (1932). L'abete va scomparendo. *L'Alpe*: 57-63.
- Carrer M, Nola P, Eduard JL, Motta R, Urbinati C (2007). Regional variability of climate-growth relationships in *Pinus cembra* high elevation forests in the Alps. *Journal of Ecology* 95: 1072-1083. - doi: 10.1111/j.1365-2745.2007.01281.x
- Carrer M, Urbinati C (2001). Assessing climate-growth relationships: a comparative study between linear and non-linear methods. *Dendrochronologia* 19: 57-65.
- Carrer M, Urbinati C (2004). Age-dependent tree-ring growth responses to climate in *Larix decidua* and *Pinus cembra*. *Ecology* 85: 730-740. - doi: 10.1890/02-0478
- Carrer M, Urbinati C (2006). Long-term change in the sensitivity of tree-ring growth to climate forcing in *Larix decidua*. *New Phytologist* 170: 861-871. - doi: 10.1111/j.1469-8137.2006.01703.x
- Ciampi C, Di Tommaso PL (1973). Osservazioni morfo-anatomiche in vivaio di semenzali di abete bianco (*Abies alba* Mill.) di differenti origini geografiche. *Annali dell'Accademia Italiana di Scienze Forestali XXII*: 61-90.
- Clauser F (1980). Una nuova moria dell'abete bianco a Vallombrosa. *Monti e Boschi* 6: 51-55.
- Clauser F (1981). Ancora sulla moria dell'abete bianco. *Monti e Boschi* 6: 95-97.
- Consolani E (2006). L'abete bianco (*Abies alba* Mill.) della Massa Trabaria (PU): analisi ed interventi urgenti per la sua conservazione e valorizzazione. Tesi di Laurea in Scienze Forestali e Ambientali (L), Università Politecnica delle Marche, Ancona, pp. 57.
- Cook ER (1985). A time series approach to tree-ring standardization. PhD, University of Arizona, Tucson, AZ, pp. 171.
- Cook ER, Holmes RL (1997). ARSTAN: chronology develop-

- ment. Version 21 User's Manual. In: "The international tree-ring data bank program library" (Grissino Mayer HD ed). University of Arizona Laboratory of Tree-Ring Research, Tucson, AZ, USA.
- Corona E (1983). Ricerche dendrocronologiche preliminari sull'abete bianco di Vallombrosa. *Annali dell'Accademia Italiana di Scienze Forestali* XXXII: 149-163.
- De Philippis A (1958). Lezioni di selvicoltura speciale. Università degli Studi di Firenze, pp. 199-212
- Desplanque C, Rolland C, Michalet R (1998). Dendroecologie comparee du sapin blanc (*Abies alba*) et de l'épicéa commun (*Picea abies*) dans une vallée alpine de France. *Canadian Journal of Forest Research* 28: 737-748. - doi: 10.1139/cjfr-28-5-737
- Desplanque C, Rolland C, Schweingruber FH (1999). Influence of species and abiotic factors on extreme tree ring modulation: *Picea abies* and *Abies alba* in Tarentaise and Maurienne (French Alps). *Trees - Structure and Function* 13: 218-227. - doi: 10.1007/s004680050236
- Di Tella G (1922). Le abetine del Molise. *L'Alpe*: 275-277.
- Ducci F, Proietti R (1997). Aspetti genetici delle riserve di Abete bianco (*Abies alba* Mill.) nel comprensorio del Parco Nazionale delle Foreste Casentinesi. *Annali dell'Istituto Sperimentale per la Selvicoltura Arezzo* 28: 63-73.
- Eckstein D, Bauch J (1969). Beitrag zur Rationalisierung eines dendrochronologischen Verfahrens und zur Analyse seiner Aussagesicherheit. *Forstwiss. Centralbl.* 88: 230-250. - doi: 10.1007/BF02741777
- Fritts HC (1976). *Tree ring and Climate*. Academic Press, London, UK.
- Fritts HC, Wu XD (1986). A comparison between response-function analysis and other regression techniques. *Tree Ring Bulletin* 46: 31-46.
- Gabrielli A, La Marca O, Paci M (1990). L'abete bianco sull'Appennino. *Cellulosa e carta*: 2-16.
- Gallucci V (2006). Analisi dendroclimatica su *Larix decidua* Mill. e *Pinus cembra* L. in quattro siti d'alta quota nelle Alpi orientali. Tesi di Laurea Specialistica in Scienze Forestali e Ambientali, Università degli Studi di Padova, Padova, pp. 98.
- Gambetti D, Lo Vecchio G, Nanni T, Schweingruber FH (2000). Climate and site dependence of the annual growth of silver fir (*Abies alba* Mill.) in the Northern Apennines, Italy. *Nuovo Cimento della Società Italiana di Fisica C* 23: 111-131.
- 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
- Giacobbe A (1928). Sull'ecologia dell'Abete bianco di Camaldoli. *Archivio Botanico* 4: 165-185.
- Giacobbe A (1931). L'abete bianco. *L'Alpe*: 77-86.
- Giacobbe A (1969). La varietà apennina Giac. dell' *Abies alba* Mill. *Annali dell'Accademia Italiana di Scienze Forestali* XIX: 277-289.
- Giacobbe A (1973). A proposito della var. *apennina* Giac. dell' *Abies alba*. *Italia Forestale e Montana* 1: 30-32.
- Giannini R (1973). Comportamento di semenzali di abete bianco di diversa provenienza a vari gradi di ombreggiamento. *L'Italia Forestale e Montana* 1: 20-26.
- Giannini R, Magini E (1970). Risultati di indagini preliminari su semi e semenzali di abete bianco (*Abies alba* Mill.) di provenienza diversa. *L'Italia Forestale e Montana* XXV: 121-130.
- Giove M (2005). Assetto strutturale e dinamica di accrescimento di *Abies alba* Mill. in una cenosi residuale della Massa Trabaria. Tesi di Laurea in Scienze Forestali e Ambientali (L), Università Politecnica delle Marche, Ancona, pp. 95.
- Gonzales IG (2001). Weiser: a computer program to identify event and pointer years in dendrochronological series. *Dendrochronologia* 19: 239-244.
- Gradi A (1983). Declino e riespansione dell'abete bianco. *Economia Montana* 15: 16-22.
- Hansen JK, Larsen JB (2004). European silver fir (*Abies alba* Mill.) provenances from Calabria, southern Italy: 15-year results from Danish provenance field trials. *European Journal of Forest Research* 123: 127-138. - doi: 10.1007/s10342-004-0031-9
- Hippoliti G (1989). Sulle cause del deperimento delle abetine toscane. *Annali dell'Accademia Italiana di Scienze Forestali* XXXVIII: 517-539.
- INFC (2007). Le stime di superficie 2005 (2° parte). "Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio" (Tabacchi G, De Natale F, Di Cosmo L, Floris A, Gagliano C, Gasparini P, Salvadori I, Scrinzi G, Tosi V eds). MiPAF - Corpo Forestale dello Stato - Ispettorato Generale, CRA - ISAFSA, Trento.
- IPCC (2001). Contribution of Working Group I to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change. In: "Climate Change 2001: The Scientific Basis" (Houghton JT, Ding Y, Griggs DJ, Noguer M, van dLPJ, Dai X, Maskell K, Johnson CA eds). Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 881.
- Konnert M, Bergmann F (1995). The geographical distribution of genetic variation of silver fir (*Abies alba*, Pinaceae) in relation to its migration history. *Plant Systematics and Evolution* 196: 19-30. - doi: 10.1007/BF00985333
- La Marca O (1979). Indagini auxometriche e selvicolturali su abete bianco (*Abies alba* Mill.) attaccato da *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. *Annali dell'Accademia Italiana di Scienze Forestali* XXIX: 17-42.
- La Marca O (1983). Il problema degli schianti nei boschi. Ricerche sperimentali su alcuni popolamenti di conifere.

- Annali dell' Accademia Italiana di Scienze Forestali 32: 69-114.
- La Marca O, Scotti R, Semerari P, Tomaiuolo M, Torrini L, Ceccotti A (1993). Ulteriori indagini sugli schianti in boschi di abete bianco. *L'Italia Forestale e Montana* 2: 63-82.
- Larsen JB (1986). Silver fir decline: a new hypothesis concerning this complex decline syndrome in *Abies alba* Mill. *Forstwiss. Centralbl.* 105: 381-395. - doi: 10.1007/BF02741747
- Larsen JB, Friedrich J (1988). Growth patterns of different *Abies alba* (Mill.) provenances after SO₂-fumigation during the previous winter. *European Journal of Forest Pathology* 18: 190-199. - doi: 10.1111/j.1439-0329.1988.tb00918.x
- Liepelt S, Bialozyt R, Ziegenhagen B (2002). Wind-dispersed pollen mediates postglacial gene flow among refugia. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 99: 14590-14594. - doi: 10.1073/pnas.212285399
- Longauer R, Paule L, Andonoski A (2003). Genetic diversity of southern populations of *Abies alba* Mill. *Forest Genetics* 10: 1-10.
- Macias M, Andreu L, Bosch O, Camarero JJ, Gutiérrez E (2006). Increasing aridity is enhancing silver fir (*Abies alba* Mill.) water stress in its south-western distribution limit. *Climatic Change* 79: 289-313. - doi: 10.1007/s10584-006-9071-0
- Magini E (1973). Esiste sull'Appennino una varietà dell'abete bianco? *L'Italia Forestale e Montana* XXVIII: 173-175.
- Magini E, Giannini R (1972). Indagini su semenzali di due anni di abete bianco di provenienza diversa. *L'Italia Forestale e Montana* 17: 173-177.
- Manetti MC, Cutini A (2006). Tree-ring growth of silver fir (*Abies alba* Mill.) in two stands under different silvicultural systems in central Italy. *Dendrochronologia* 23: 145-150. - doi: 10.1016/j.dendro.2005.11.002
- Messerli A, Innamorati M, Iacopi Z (1963). Germinazione e accrescimento dell'abete bianco in diverse condizioni termiche. *Giornale Botanico Italiano* 70: 287-302.
- Moriondo F, Covassi F (1981). Tannensterben in Italien. *Forstwiss. Centralbl.* 100: 168-170. - doi: 10.1007/BF02640630
- Motta R, Nola P (1996). Dendrochronological signal in three stone pine (*Pinus cembra* L.) chronologies from the Western Italian Alps. *Dendrochronologia* 14: 43-57.
- Neuwirth B, Schweingruber FH, Winiger M (2007). Spatial patterns of central European pointer years from 1901 to 1971. *Dendrochronologia* 24: 79-89.
- Nola P, Motta R, Magnetto M (2000). Silver fir (*Abies alba* Mill.) dendrochronology in the Southern Piedmont (Cuneo Province, Western Italian Alps). *Dendrochronologia* 18: 63-75.
- Oberhuber W (2004). Influence of climate on radial growth of *Pinus cembra* within the alpine timberline ecotone. *Tree Physiology* 24: 291-301. [online] URL: <http://www.cababstractsplus.org/abstracts/Abstract.aspx?AcNo=20043053998>
- Pallotta F (1930). Le abetine del Molise. *L'Alpe*: 443-445.
- Parducci L, Szmidt AE, Villani F, Wang XR, Cherubini M (1996). Genetic variation of *Abies alba* in Italy. *Hereditas* 125: 11-18. - doi: 10.1111/j.1601-5223.1996.00011.x
- Pavari A (1951). Esperienze e indagini sulle provenienze e razze dell'abete bianco (*Abies alba* Mill.). *Stazione Sperimentale di Selvicoltura di Firenze* 8: 1-96.
- Pennacchini F, Ducci F (1991). Prove di resistenza ad inquinanti di 6 provenienze italiane di abete bianco. *Annali dell'Istituto Sperimentale per la Selvicoltura Arezzo XXII*: 73-94.
- Petri L (1923). Sopra le cause del deperimento degli abeti di Vallombrosa. *L'Alpe* 10: 185-190.
- Pfeifer K, Kofler W, Oberhuber W (2005). Climate related causes of distinct radial growth reductions in *Pinus cembra* during the last 200 yr. *Vegetation History and Archaeobotany* 14: 211-220. - doi: 10.1007/s00334-005-0001-2
- Pividori M (1991). Analisi degli incrementi e delle chiome in alcune stazioni di abete bianco (*Abies alba* Mill.) del piano montano in Piemonte (Italy). *Dendrochronologia* 9: 143-163.
- Rinntech (2003). User reference-TSAP-Win. *Time Series Analysis and Presentation for Dendrochronology and Related Applications*, pp. 91.
- Rolland C (1993). Tree-ring and climate relationships for *Abies alba* in the internal Alps. *Tree Ring Bulletin* 53: 1-11.
- Rolland C, Michalet R, Desplanque C, Petetin A, Aime S (1999). Ecological requirements of *Abies alba* in the French Alps derived from dendro-ecological analysis. *Journal of Vegetation Science* 10: 297-306. - doi: 10.2307/3237059
- Rolland C, Desplanque C, Michalet R, Schweingruber FH, (2000). Extreme tree rings in spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) and fir (*Abies alba* Mill.) stands in relation to climate, site, and space in the southern French and Italian Alps. *Arctic, Antarctic and Alpine Research* 32: 1-13.
- Romagnoli M, Schirone B (1992). Indagini dendroecologiche preliminari sull'abete bianco del bosco Abeti Soprani (Pescopennataro-IS). *Annali dell'Accademia Italiana di Scienze Forestali XXXI*: 3-30.
- Santini A, Martinelli N (1991). Indagini dendroecologica sull'abete bianco (*Abies alba* Mill.) di Serra San Bruno (CZ). *Giornale Botanico Italiano* 125: 895-906.
- Schirone B, Romagnoli M, Codipietro G (1992). Nuove indagini dendroecologiche sull'abete bianco del bosco Abeti Soprani (Pescopennataro-IS). *Annali dell'Accademia Italiana di Scienze Forestali XXXII*: 121-147.
- Schweingruber FH, Eckstein D, Serre Bachet F, Braker OU (1990). Identification, presentation and interpretation of

- event years and pointer years in dendrochronology. *Dendrochronologia* 8: 9-38.
- Serre Bachet F (1986). A master chronology for silver fir (*Abies alba*) at Mont Ventoux, France. *Dendrochronologia* 4: 87-96.
- Sibilia C (1952). Conseguenze della persistente siccità dell'ultimo decennio sui nostri boschi. *L'Italia Forestale e Montana* VII: 160-167.
- Susmel L (1954). Indagini sulla differenziazione del ritmo dell'attività vegetativa in provenienze di *Abies alba* Mill. *L'Italia Forestale e Montana* 6: 289-302.
- Susmel L (1959). Ecologia, biologia e possibilità attuali di coltivazione dell'abete bianco (*Abies alba* Mill.) nell'Appennino Centro Meridionale. *Annali dell'Accademia Italiana di Scienze Forestali* VIII: 165-202.
- Taberlet P, Fumagalli L, Wust-Saucy AG, Cosson JF (1998). Comparative phylogeography and postglacial colonization routes in Europe. *Molecular Ecology* 7: 453-464. - doi: 10.1046/j.1365-294x.1998.00289.x
- Tardif J, Camarero JJ, Ribas M, Gutiérrez E (2003). Spatio-temporal variability in tree growth in the Central Pyrenees: Climatic and site influences. *Ecological Monographs* 73: 241-257. - doi: 10.1890/0012-9615(2003)073[0241:SVIT-GI]2.0.CO;2
- Vendramin GG, Degen B, Petit RJ, Anzidei M, Madaghiele A, Ziegenhagen B (1999). High level of variation at *Abies alba* chloroplast microsatellite loci in Europe. *Molecular Ecology* 8: 1117-1126. - doi: 10.1046/j.1365-294x.1999.00666.x
- Wick L, Mohl A (2006). The mid-Holocene extinction of silver fir (*Abies alba*) in the Southern Alps: a consequence of forest fires? *Palaeobotanical records and forest simulations. Vegetation History and Archaeobotany* 15: 435-444. - doi: 10.1007/s00334-006-0051-0