

Le serie dendrocronologiche e la ricostruzione del clima del passato

Introduzione

Negli ultimi decenni la climatologia e le discipline ad essa sussidiarie si sono sviluppate in modo esponenziale, mostrando una potenzialità in continuo aumento. A questo successo hanno certamente contribuito la crescente disponibilità di strumentazioni sofisticate e lo sviluppo di modelli teorici sempre più raffinati nel rappresentare la complessità della realtà. D'altro canto è indubbio il continuo aumento di interesse da parte dei ricercatori nei confronti dell'oggetto di studio stesso: il clima.

Tale interesse è dovuto al fatto che il clima, fattore tanto importante nell'influenzare l'equilibrio degli ecosistemi e in modo più o meno diretto tutte le attività umane, non è costante nel tempo; al contrario esso è estremamente variabile e continuamente soggetto a fluttuazioni, tanto da poter essere considerato come una funzione del tempo, (CORONA, 1990; LE ROY LADURIE, 1967).

In questo contesto si ha un bisogno urgente di una maggiore comprensione della natura e soprattutto delle cause delle fluttuazioni climatiche che si sono verificate a partire dalla più recente era glaciale. In un mondo caratterizzato da una popolazione in continuo aumento e da un sempre maggiore consumo di energia, acqua e risorse in genere, l'esigenza di prevedere i cambiamenti climatici negli anni futuri è pressante.

Tale domanda non potrà essere pienamente soddisfatta fino a quando non si avranno conoscenze dettagliate sulla ten-

denza e sulle cause dei cambiamenti climatici del passato (HUGHES et al., 1982).

Informazioni sul clima del passato si possono ottenere da diverse discipline, quali palinologia, glaciologia, archeologia, ricerche d'archivio, fenologia ecc. Queste, pur fornendo informazioni preziose, permettono soltanto una ricostruzione delle tendenze generali, su lunghi periodi, con uno scarso grado di dettaglio, e di norma di tipo discontinuo. Ad esse si affianca la ricostruzione climatica su basi dendrocronologiche, che presenta numerosi vantaggi rispetto ad altri tipi di studio.

Carattere esclusivo di questo approccio è la possibilità di ricostruire dei parametri climatici in modo estremamente dettagliato. È infatti possibile, in condizioni particolarmente favorevoli, stimare un parametro climatico, la temperatura per esempio, con una definizione almeno annuale, se non addirittura stagionale o mensile (SERRE-BACHET et al., 1991). Inoltre, poiché la scala della ricostruzione è annuale, le stime che si ottengono sono continue nel tempo. In ogni caso la ricostruzione dendroclimatica deve essere considerata come un approccio complementare, piuttosto che alternativo, ad altre discipline, dalle quali peraltro attinge spesso elementi di convalida e verifica.

Principi di base della ricostruzione dendroclimatica

La ricostruzione climatica a partire dalle ampiezze degli anelli annuali di ac-

crescimento si basa principalmente sull'idea che la crescita degli alberi, tanto in diametro, quanto in altezza, in alcune situazioni particolari, è influenzata soprattutto dai fattori climatici, la cui importanza diventa tale da minimizzare gli effetti dovuti a tutti gli altri parametri che normalmente intervengono nella regolazione dell'accrescimento (FRITTS, 1976). Gli anelli d'accrescimento radiale, che rappresentano il modo più agevole per quantificare l'accrescimento di un albero, possono essere considerati come lo strumento tramite cui la pianta registra in codice gli impulsi provenienti dall'ambiente circostante, ed in particolare gli impulsi climatici (CORONA, 1990).

La dendroclimatologia assume allora il compito di individuare ed analizzare le relazioni tra le ampiezze degli anelli annuali ed i parametri climatici ritenuti capaci di influenzare l'accrescimento, all'interno di un periodo climaticamente conosciuto. Se effettivamente l'ampiezza di ciascun anello è legata ai fattori climatici dell'anno in cui l'anello stesso si è formato, la serie degli anelli annuali successivi di un intero albero rappresenta una registrazione più o meno fedele delle variazioni di questi parametri nel tempo. La decodifica e la trascrizione di questa registrazione temporale, alla luce della risposta attuale della pianta al clima, costituisce il compito della ricostruzione climatica (SERRE-BACHET, 1988). In questa definizione resta implicita la supposizione che la pianta abbia presentato nel passato la stessa risposta al clima che noi vediamo oggi, sulla base del principio di uniformità di Hutton, secondo cui le condizioni limite agiscono sullo stesso tipo di processo in modo analogo nel tempo, mentre possono cambiare la frequenza, l'intensità ed il luogo dei fenomeni (CORONA, 1990).

I dati

Da quanto detto risulta evidente che, per realizzare una ricostruzione climatica, sono necessari due tipi di dati: da un lato devono esistere delle serie dendro-

cronologiche lunghe ed affidabili relative all'accrescimento annuale di una o più specie; dall'altro devono essere disponibili dei dati climatici strumentali, anch'essi affidabili, relativi ad un certo numero di anni comuni a quelli per cui si hanno le misure di accrescimento.

A) Le serie dendrocronologiche

Le serie dendrocronologiche da utilizzare nell'ambito di una ricostruzione climatica devono essere lunghe ed affidabili.

L'affidabilità di una serie dendrocronologica si fonda essenzialmente sul fatto che essa rappresenti in modo significativo una stima dell'accrescimento radiale annuale medio di una specie in un determinato ambiente. È questo il motivo per cui le serie che vengono utilizzate nelle ricostruzioni climatiche devono essere costituite da un numero sufficientemente elevato di campioni, che siano stati sottoposti sistematicamente alla procedura di interdatazione (STOKES & SMILEY, 1968; FRITTS, 1976).

L'interdatazione consiste nell'attribuire l'esatto anno di formazione ad ogni anello annuale. L'importanza di questa operazione è evidente, se si pensa che la ricostruzione climatica si basa sul confronto tra la quantità di legno formata in un determinato anno e i parametri climatici dello stesso anno. Ogni errore di interdatazione porta dunque ad un paragone aberrante, cosicché può accadere che si confrontino l'ampiezza dell'anello di un anno ed i parametri climatici dell'anno precedente o successivo.

D'altro canto errori di interdatazione possono essere frequenti, non tanto per una insufficiente attenzione da parte di chi analizza i campioni, quanto piuttosto per anomalie (falsi anelli o anelli assenti) presenti nel legno analizzato. Queste anomalie sono per lo più indotte da particolari condizioni climatiche e dunque il loro riconoscimento, accompagnato da un preciso inventario temporale, non solo permette una corretta interdatazione, ma può anche fornire delle informazioni climatiche di tipo indiretto.

Il secondo requisito fondamentale per

una significativa ricostruzione climatica consiste nell'aver a disposizione serie sufficientemente lunghe. È evidente che la lunghezza della serie dendrocronologica influenza direttamente la lunghezza del periodo per cui è possibile ricostruire il clima.

Sebbene esistano piante eccezionalmente vecchie, normalmente le cronologie più lunghe disponibili sono derivate da materiale vivente solo per la parte più recente. La disponibilità di materiale ligneo relativo ad epoche sia storiche che preistoriche e la possibilità di attribuire ad ogni anello il preciso anno di formazione, tramite la procedura di interdatazione, permettono infatti di ottenere sequenze di dati d'accrescimento lunghe anche alcuni millenni.

La misura dell'ampiezza degli anelli d'accrescimento non è l'unico parametro utilizzato. Le cronologie possono anche essere costituite, quando si tratti di conifere, dalla densità del legno (POLGE 1966; SCHWEINGRUBER, 1989), o dalle dimensioni del lume delle tracheidi (VAGANOV, 1989), mentre, soprattutto nel caso delle latifoglie, da altre caratteristiche anatomiche o strutturali, quali il lume dei vasi, lo spessore della parete cellulare, le ampiezze di legno primaverile e di legno estivo ecc. (FRITTS et al., 1989; WOODCOCK, 1989; SASS & ECKSTEIN, 1990). Questi parametri, sebbene siano più difficili da ottenere, poichè spesso richiedono la disponibilità di strumentazione complessa, possono contenere una più chiara informazione climatica, soprattutto per i parametri relativi alla stagione vegetativa (SCHWEINGRUBER et al., 1987).

B) Dati climatici

Per realizzare una ricostruzione dendroclimatica è indispensabile avere dati climatici strumentali per un periodo di tempo sufficientemente lungo. Poichè la ricostruzione è basata sulla stima di relazioni tramite metodi statistici è necessario che i parametri climatici siano costituiti da misure dirette. Non è sufficiente, infatti, avere indicazioni, se pur precise, di temperature (periodi caldi, alternati a periodi freddi) o di precipitazioni (anni

piovosi ed anni secchi), ma il clima deve essere rappresentato da dati strumentali. I parametri più frequentemente utilizzati, perchè quelli più facilmente reperibili, sono costituiti dai totali mensili delle precipitazioni e dalle medie mensili delle temperature minime e massime. Talvolta i dati climatici mensili vengono sintetizzati in parametri stagionali (SCHWEINGRUBER et al., 1987) e solo raramente in parametri annuali (SERRE-BACHET, 1990).

Dall'affidabilità dei dati climatici attuali dipende l'affidabilità della ricostruzione stessa. Quindi i dati devono essere testati e ne deve essere verificata l'omogeneità (FRITTS, 1976).

Il periodo per cui i dati sono disponibili deve essere sufficientemente lungo da permetterne la suddivisione in più sottoperiodi indipendenti, utilizzati separatamente nelle diverse fasi del calcolo. La maggior parte delle ricostruzioni finora realizzate si basa su serie di dati climatici che vanno dall'attuale fino al 1850 circa. Raramente sono state tentate ricostruzioni avendo a disposizione dati strumentali relativi solo al nostro secolo; mentre per serie più corte una ricostruzione climatica sarebbe molto rischiosa.

In generale è auspicabile avere a disposizione più serie climatiche all'interno della regione per la quale si vuole ricostruire il clima. Tanto maggiore è il numero di stazioni meteorologiche utilizzate, tanto più raffinata risulterà la ricostruzione. Talvolta i dati derivanti da diverse stazioni in una stessa area climatica vengono mediati in modo tale da utilizzare una serie sintetica nel calcolo (SERRE-BACHET et al., 1991).

Cenni sulla metodologia

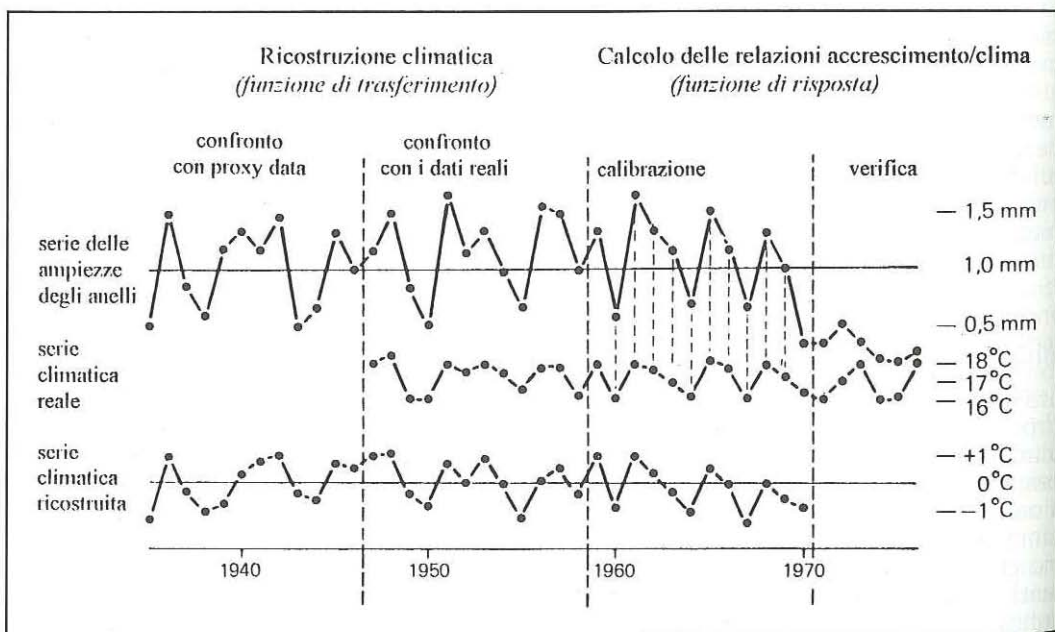
Nella fig. 1 sono schematizzate in modo semplificato le principali fasi per la realizzazione di una ricostruzione climatica. Il punto di partenza è rappresentato da due set di dati sincroni (dendrocronologici e climatici) che vengono messi a confronto. Il confronto viene fatto attraverso un insieme di procedure statistiche che prendono il nome di *funzione di risposta* (FRITTS et al.,

1971; GUIOT, 1989; SERRE-BACHET & TESSIER, 1989), e che permette di calcolare le relazioni anelli-clima. Come si è accennato in precedenza, la metodologia che permette la ricostruzione climatica richiede la suddivisione dei dati in 3 sottoperiodi indipendenti (SCHWEINGRUBER, 1988).

Nel primo sottoperiodo, si confrontano le serie dendrocronologiche ed i dati climatici per stimare (o calibrare) la relazione anelli-clima: il risultato di questa stima è rappresentato da dei coefficienti, a partire dai quali, dato uno dei due parametri dovrebbe essere possibile ricavare l'altro. L'insieme di anni in cui viene effettuato questo calcolo è detto periodo di calibrazione.

Nel secondo sottoperiodo, diverso dal precedente, si utilizzano i coefficienti appena calcolati e i dati climatici per ricostruire l'accrescimento annuale a partire dal clima, al fine di verificare la bontà della relazione individuata. L'insieme di anni in cui viene effettuato questo calcolo è detto periodo di verifica.

Infine, utilizzando di nuovo i coefficienti ottenuti dal calcolo, tramite procedure statistiche, che prendono nel complesso il nome di *funzione di trasferimento* (FRITTS, 1976; HUGHES et al., 1982), si ricostruisce il clima a partire dai dati di accrescimento. Questa ricostruzione viene realizzata per tutto il periodo in cui sono disponibili i dati di accrescimento, all'interno del quale però deve essere compreso un sottoperiodo diverso da quelli utilizzati precedentemente, in cui si hanno anche i dati climatici. In quest'ultimo sottoperiodo si confrontano i parametri ricostruiti con quelli reali, al fine di ottenere un'ulteriore verifica che la relazione tra l'accrescimento ed il clima sia abbastanza forte da permettere una ricostruzione climatica attendibile. Nel restante periodo pur non avendo a disposizione dati climatici strumentali per confronto diretto, i risultati ottenuti vengono comunque sottoposti a verifica. I parametri ricostruiti vengono infatti confrontati con dati che possono contenere indirettamente informazioni climatiche. Questi dati vengono denominati nel complesso "*proxy climatic data*" (o dati climatici indi-



retti), termine che include qualunque fenomeno databile biologico, geologico, o relativo ad attività umane, le cui condizioni sono almeno in parte determinate dal clima nel momento in cui esso si è verificato (HUGHES et al., 1982). Le stesse sequenze di anelli sono da considerarsi come dei *proxy data*.

Tra gli altri, il dato più frequentemente utilizzato è rappresentato dalle fasi di arretramento e di avanzata dei ghiacciai, ma non di rado vengono estratte dagli archivi storici le date della vendemmia, della mietitura, della fioritura di alcune piante, della migrazione di animali o la registrazione di annate di piena dei fiumi o di annate particolarmente siccitose (GUIOT, 1992).

Ricostruzioni climatiche in Europa con particolare riferimento all'Italia

A) Materiale disponibile

Il punto di partenza di una ricostruzione climatica è rappresentato da cronologie estremamente lunghe e maggiore affidabilità si ottiene se queste cronologie sono state ottenute il più possibile da materiale vivente, poiché solo in questo modo se ne conosce con certezza la provenienza. Ne deriva che il punto di partenza sia la ricerca di alberi particolarmente vecchi. A questo proposito, sebbene in America esistano alberi viventi di oltre 4000 anni d'età, in Europa è già abbastanza raro trovare piante che superino i 1000 anni e gli esemplari di pino loricato (*Pinus leucodermis* Aut.) del Pollino, con età superiore agli 800 anni (SERRE-BACHET, 1985; BIONDI, 1992), vengono annoverati tra gli alberi viventi più vecchi del nostro continente.

Esemplari particolarmente vecchi si trovano anche nelle Alpi, soprattutto in riferimento al larice (*Larix decidua* Mill.) ed al pino cembro (*Pinus cembra* L.). Talvolta si trovano esemplari di queste due specie che superano i 600 anni d'età, ma nella maggior parte dei casi l'intenso sfruttamento dei boschi anche di alta montagna da parte dell'uomo, ha fatto sì che gli alberi viventi così vecchi siano

sempre più una rarità. Decisamente più limitate sono le età raggiunte dalle latifoglie, come la quercia (*Quercus* sp.) ed il faggio (*Fagus sylvatica* L.), per le quali età di 300-400 anni rappresentano dei massimi eccezionali, mentre gli esemplari più vecchi di norma raramente superano i 200 anni.

Queste differenze d'età fanno sì che nelle ricostruzioni climatiche siano più frequentemente utilizzate conifere piuttosto che latifoglie. La scelta comunque è dovuta anche al fatto che in ambienti estremi, come può essere l'ambiente d'alta montagna, al limite superiore della vegetazione arborea, il segnale climatico registrato nelle sequenze anulari è di tipo più semplice, essendo l'accrescimento annuale governato più uniformemente dallo stesso fattore limitante. Le specie pertanto più frequentemente utilizzate sono appunto le conifere d'alta montagna.

Tra le latifoglie, un caso particolare è costituito dalle querce. Il fatto che la quercia sia stata tanto utilizzata nel passato nella costruzioni di edifici e opere lignee di ogni genere, tanto in epoca storica quanto in epoca preistorica, ha reso attualmente disponibile una notevole quantità di dati. Le cronologie di quercia costruite in Europa sono tra le più lunghe nel mondo in assoluto (BROWN & BAILLIE, 1990; PILCHER et al., 1984). Il fatto che, però, la quercia cresca normalmente in ambienti mesofili, dove l'accrescimento può essere influenzato di volta in volta da fattori diversi, rende il segnale climatico presente nelle sequenze anulari più difficile da decifrare (FRITTS, 1976; NOLA, 1990-91). Inoltre la maggior parte di queste cronologie sono state messe a punto da archeologi e storici, che solo raramente collaborano con ecologi e climatologi. Queste sono le ragioni per cui sono fino ad oggi poche e temporalmente limitate le ricostruzioni climatiche tentate a partire da cronologie di quercia.

Pur essendo la dendrocronologia una disciplina relativamente giovane in Europa, numerose sono ormai le cronologie disponibili, distribuite più o meno omogeneamente su tutto il continente.

Un quadro dei dati oggi disponibili può essere ricavato dalla International

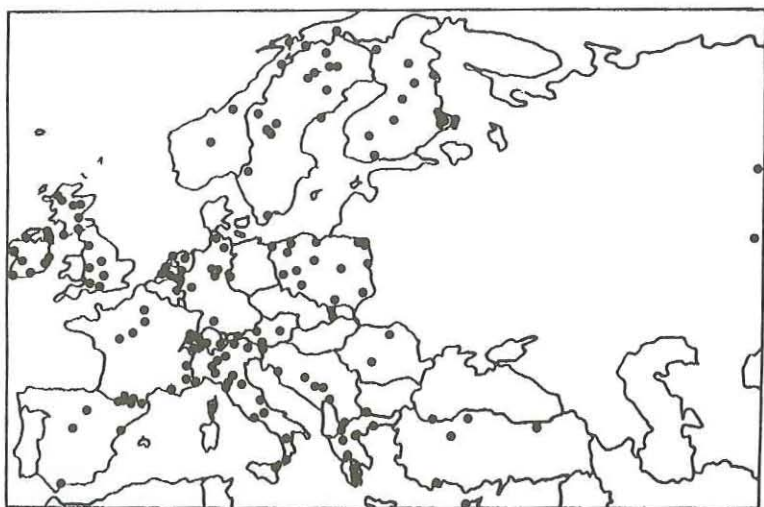


Fig. 2 - Mappa schematica d'Europa, con l'indicazione dei siti per i quali sono disponibili serie dendrocronologiche, secondo quanto riportato nella International Tree Ring Data Bank del Tree Ring Research Laboratory a Tucson (Arizona). La mappa si estende da 35° a 71° Nord e da 10 a 59°53' Est.



Fig. 3 - Mappa schematica d'Europa, con l'indicazione dei siti per i quali sono disponibili cronologie che ricoprono gli ultimi 500 anni (◆) o l'ultimo millennio (■). La mappa si estende da 35° a 71° Nord e da 10 a 59°53' Est. Di seguito sono riportati, per ciascuna cronologia, il nome della località, lo Stato, la specie, l'estensione temporale e la fonte bibliografica. La sigla ITRDB indica le cronologie reperite esclusivamente nelle International Tree Ring Data Bank.

	Località	Stato	Specie	Date	Fonte bibliografia
1	Monte Pollino	Italia	<i>Pinus leucodermis</i>	1148-1974	ITRDB - Serre-Bachet, 1985
2	Alpi orientali	Italia	<i>Larix decidua</i>	781-1988	Bebber, 1990
3	Les Merveilles	Francia	<i>Larix decidua</i>	988-1974	ITRDB
4	L'Orgère	Francia	<i>Larix decidua</i>	1353-1958	ITRDB
5	Tirolo	Austria	<i>Larix decidua</i>	1333-1974	Siebenlist-Kerner, 1984
	Tirolo	Austria	<i>Pinus cembra</i>	1466-1970	Siebenlist-Kerner, 1984
	Tirolo	Austria	<i>Picea abies</i>	1276-1974	Siebenlist-Kerner, 1984
6	Amburgo	Germania	<i>Quercus robur</i>	1340-1967	ITRDB
7	Pomeria orientale	Polonia	<i>Quercus robur</i>	996-1985	ITRDB
8	Loedingen	Norvegia	<i>Pinus sylvestris</i>	1485-1978	ITRDB

Tree Ring Data Bank, una banca dati internazionale, creata ad opera del Tree Ring Laboratory Research a Tucson in Arizona, che ha lo scopo di raccogliere e diffondere tutte le cronologie messe a punto nel mondo. Sebbene non tutti i dendrocronologi contribuiscano sistematicamente a questa banca dati, rendendola così sensibilmente incompleta, essa comunque fornisce preziose informazioni sulla stato dell'arte per quanto riguarda le ricerche dendrocronologiche.

In fig. 2 è riportata una mappa semplificata d'Europa, corredata dalle cronologie presenti in banca dati per il territorio in esame. Anche se il numero totale di cronologie è elevato, quando si considerano soltanto le cronologie che comprendono almeno gli ultimi 500 anni, nella mappa non ne restano che 6, solo 2 delle quali ricoprono l'ultimo millennio (fig. 3). A queste si aggiungono una lunga cronologia di larice per le Alpi italiane orientali (BEBBER, 1990), e 3 cronologie per il Tirolo (SIEBENLIST-KERNER, 1984).

Tra queste, le 2 cronologie relative all'Italia ed alcune cronologie riferite a zone limitrofe sono già state utilizzate per ottenere ricostruzioni climatiche.

B) Ricostruzioni di temperature

La tab. I riassume le più importanti ricostruzioni di temperature finora fatte per l'Europa, in particolare per l'Europa occidentale. Più frequentemente le ricostruzioni interessano i secoli XVIII e XIX, talvolta si spingono fino al XV e solo in un caso coinvolgono pressochè l'intero millennio: si tratta della ricostruzione della temperatura media estiva (da giugno a settembre) nell'area Mediterranea settentrionale (SERRE-BACHET & GUIOT, 1987).

Le specie utilizzate sono per lo più conifere, tra le quali il larice rappresenta quasi una costante. Un unico caso di ricostruzione è stato basato su cronologie di quercia, ma in questo caso la ricostruzione è estremamente ridotta dal punto di vista temporale (BRIFFA et al., 1983).

La cronologia del larice delle Alpi orientali (BEBBER, 1990), che si estende per più di un millennio, è stata utilizzata, insieme ad una cronologia inedita di abete rosso, per ricostruzioni climatiche rela-

tive al Veneto ed al Trentino Alto Adige (SERRE-BACHET et al., 1991), di seguito descritte a titolo di esempio.

In questo caso il tentativo di ricostruzione delle piogge non ha dato risultati, mentre per le temperature da aprile a settembre sono stati ottenuti risultati significativi. In fig. 4 sono rappresentate le anomalie, vale a dire le deviazioni dalla media, delle temperature da aprile a settembre, per il periodo 1500-1979. Questo tipo di rappresentazione mette in evidenza l'alternanza di periodi più freddi e di periodi più caldi. Risulta evidente che a partire dal 1540 circa, fino al 1850 le anomalie negative sono decisamente più frequenti e più spinte di quelle positive, sebbene anche queste ultime siano presenti e localmente di ampiezza non trascurabile. Gli autori individuano proprio in corrispondenza di questo periodo la cosiddetta Piccola Era Glaciale, sulla cui estensione e localizzazione temporale esistono pareri discordi. Degna di nota è all'interno di questo periodo la depressione relativa agli anni 1694-1735, che sembra peraltro corrispondere ad un'importante avanzata glaciale, interrotta da un'anomalia positiva corrispondente ad un periodo relativamente caldo e che potrebbe essere considerato come fase interstadiale. Altrettanto spinta è l'anomalia negativa relativa agli inizi del 1800, che corrisponderebbe all'ultima fase stadiale della Piccola Era Glaciale, interrotta nel 1855 da un'inversione di tendenza estesa per circa un trentennio. Nel periodo recente, in particolare la prima metà del nostro secolo, per il quale sono peraltro disponibili dati

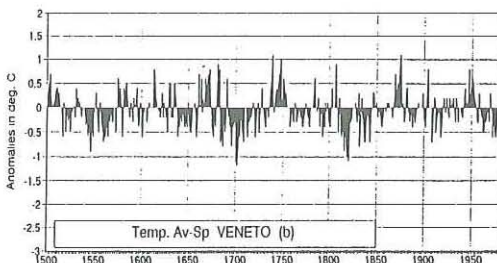


Fig. 4 - Ricostruzione delle temperature medie da aprile a settembre per il Veneto. Il grafico rappresenta l'evoluzione delle anomalie della temperatura per il periodo 1500-1979 (tratto da Serre-Bachet et al., 1991).

REGIONE	PARAMETRI	PERIODO	SPECIE	FONTE
Italia - Veneto	apr-set	1500-1850	Larix decidua Picea excelsa	Serre-Bachet et al., 1991
Austria - Tirolo	giu-lug	1471-1850	Larix decidua Picea excelsa Pinus cembra	Eckstein, Aniol, 1981
Svizzera - Grigioni	ago	1760-1972	Pinus cembra	Guiot et al., 1982
Svizzera	ago-set	1870-1976	Larix decidua Picea excelsa	Bircher, 1982
Svizzera	lug-ago	1880-1973	Larix decidua Picea excelsa Pinus cembra	Schweingruber et al., 1978
Svizzera	ago, dic, giu-ago, set-nov	1590-1960	Larix decidua Pinus cembra	Guiot, 1984
Spagna	nov-mar	1690-1985	Pinus sp.	Richter, 1988
Francia medit.	giu-lug	1200-1974	Larix decidua	Guiot, 1985; 1986
Mediterraneo sett.	giu-set	1150-1970	Larix decidua Pinus leucod. Abies alba	Serre-Bachet, Guiot, 1987
Mediterraneo sett.	T annuali	1700-1979	Sp. pl.	Serre-Bachet, 1990
Svezia	ago	1680-1979	Pinus sylvestris	Aniol, Eckstein, 1984
Svezia e Finlandia	lug-ago	1698-1967	Pinus sylvestris	Briffa et al., 1988a
Scozia	lug-ago	1721-1975	Pinus sylvestris	Hughes et al., 1984
Gran Bretagna	giu-ago	1830-1969	Quercus sp.	Briffa et al., 1983
Polonia - Tatra Mts	giu-ago	1741-1975	Pinus cembra	Bednarz, 1984
Europa (45-70°N; 0-30°E)	apr-sett	1750-1975	Picea excelsa Pinus sp. Abies alba	Briffa et al., 1988b
Europa occidentale	apr-sett	1750-1975	numerosa specie	Schweingruber et al., 1991

Tab. 1 - Principali ricostruzioni delle temperature in Europa.

strumentali, la temperatura sembra essere più stabile che in passato, alternando anomalie positive ad anomalie negative, senza particolari tendenze. Se però si osservano gli ultimi 40 anni si ha di nuovo una alternanza di tendenze, che iniziano con un'anomalia positiva, per terminare con un'anomalia negativa.

C) Ricostruzioni delle precipitazioni

L'area mediterranea, oltre a presentare il primato delle più lunghe ricostruzioni di temperature, è anche pressoché l'unica regione in cui sono state tentate con successo ricostruzioni di precipitazioni (SERRE-BACHET et al., 1988; RICHTER, 1988; RICHTER & ECKSTEIN, 1990), fatta eccezione per una ricostruzione basata su cronologie di quercia e di limitata estensione temporale, relativa alla Gran Bretagna (BRIFFA et al., 1983) (vedi tab. 2).

Questo dato, d'altra parte non stupisce, poichè è proprio in questa regione che le ricostruzioni delle precipitazioni sono più promettenti, essendo spesso il fattore idrico il principale fattore limitante l'accrescimento annuale.

In ogni caso le ricostruzioni delle precipitazioni riguardano periodi decisamente più limitati, rispetto a quelli delle temperature, raggiungendo al massimo la fine del 1600 nel caso della Spagna meridionale (RICHTER & ECKSTEIN, 1990). Le cronologie di pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.) su cui si è basata questa ricostruzione si estendono oltre al 1350 e possono dunque permettere, se ben replicate, una ricostruzione ancora più estesa. Gli autori oltre a ricostruire le precipitazioni in modo diretto (fig. 5), utilizzano la cronologia delle ampiezze degli anelli anche come fonte indiretta di informazioni climatiche, per verificare se a depressioni di

REGIONE	PARAMETRI	PERIODO	SPECIE	FONTE
Francia medit.	apr-set	1784-1980	Pinus sp. Abies alba Quercus pubes.	Gadbin et al., 1988
Francia medit.	ott-mag/giu-lug	1784-1980	Pinus sp. Abies alba Quercus pubes.	Serre-Bachet et al., 1988
Spagna	mag-ago	1690-1985	Pinus sp.	Richter, 1988
Spagna meridionale	P estive	1690-1985	Pinus sylvestris	Richter, Eckstein, 1990
Gran Bretagna	apr-ago	1830-1969	Quercus sp.	Briffa et al., 1983

Tab. 2 - Principali ricostruzioni delle precipitazioni in Europa.

REGIONE	PARAMETRI	PERIODO	SPECIE	FONTE
Gran Bretagna	mag-lug	1755-1974	Quercus sp.	Briffa et al., 1986

Tab. 3 - Ricostruzioni della pressione atmosferica a livello del mare

REGIONE	PARAMETRI	PERIODO	SPECIE	FONTE
Gran Bretagna		1755-1979	Quercus sp.	Jones et al., 1984

Tab. 4 - Ricostruzioni della portata dei fiumi.

accrescimento corrispondono periodi di siccità e viceversa ad accrescimenti elevati corrispondono periodi umidi. A tal fine le basse frequenze ottenute dalla cronologia media sono state confrontate con alcuni *proxy data* relativi alle precipitazioni, tra cui le registrazioni di anni particolarmente secchi in alcune delle principali città della Spagna meridionali e, curiosamente, le date e le frequenze delle processioni fatte per ottenere la pioggia o il bel tempo, reperite presso alcune diocesi.

D) Ricostruzioni della pressione atmosferica e della portata dei fiumi

Anche se i parametri climatici più frequentemente ricostruiti sono di norma rappresentati da temperature e precipitazioni, non mancano tentativi di tipo differente (tab. 3 e tab. 4).

In Gran Bretagna, per esempio, sono state occasionalmente tentate delle ricostruzioni della pressione atmosferica a livello del mare (BRIFFA et al., 1986) e della portata dei fiumi (JONES et al., 1984). Si tratta di due approcci ancora poco seguiti e testati in Europa, ma che in America, in particolare negli Stati Uniti, sono stati i primi ad essere sperimentati e sono mol-

to spesso adottati come complementari alle normali ricostruzioni climatiche di precipitazioni e temperature (FRITTS, 1976).

Limiti impliciti nella metodologia

Se da un lato le potenzialità della ricostruzione climatica su basi dendrocronologiche non possono essere messe in dubbio, dall'altro non è possibile trascurare le principali limitazioni che l'applicazione di questa metodologia presenta.

Innanzitutto non tutte le specie si prestano ugualmente all'analisi dendrocronologica (SCHWEINGRUBER, 1990), ne deriva forzatamente che le ricostruzioni climatiche di una regione possono essere realizzate solo se in quella regione sono disponibili specie adatte.

Poichè la ricostruzione presuppone un confronto diretto tra dati d'accrescimento e dati climatici strumentali non è possibile ricostruire il clima in una regione in cui non siano disponibili serie climatiche attendibili, per un sufficiente numero di anni.

Le diverse specie sono sensibili a parametri climatici differenti: se si vuole ri-

costruire un determinato fattore è necessario trovare delle specie che siano sensibili ad esso.

La ricostruzione delle precipitazioni è molto meno agevole rispetto a quella delle temperature per una duplice ragione; da un lato infatti le piogge presentano un'estrema variabilità, sia spaziale che temporale, anche all'interno della stessa regione climatica (SERRE-BACHET, 1988); dall'altro le piante più vecchie derivano spesso da stazioni d'altitudine, ove le specie sono più sensibili alle temperature che alle piogge (SCHWEINGRUBER et al., 1987). Ne deriva che le ricostruzioni delle precipitazioni, sebbene possibili, richiedono una base di dati più ampia (SERRE-BACHET, 1988) e sono attendibili soprattutto in relazione alle variazioni a lungo termine (GADBIN et al., 1988).

Le cronologie costruite a partire da materiale storico non permettono una analisi ecologica preliminare dettagliata, ed in particolare non è possibile una selezione dei campioni con il maggior contenuto di

informazione climatica (GUIOT, 1986). Le ricostruzioni che si ottengono a partire da questo materiale possono perciò essere meno precise, rispetto a quelle ottenute esclusivamente da materiale vivente.

In ogni caso tutte le ricostruzioni basate su materiale vivente, sottomesso alla legge del fattore limitante, non possono essere perfette: precipitazioni e temperature infatti intervengono contemporaneamente sull'accrescimento e possono provocare le stesse conseguenze sulla crescita in diametro degli alberi. Questo può comportare una distorsione nella ricostruzione quando le precipitazioni e le temperature vengano ricostruite separatamente ed indipendentemente (SERRE-BACHET, 1988).

Infine, la risposta delle piante al clima può cambiare nel tempo, in funzione di cambiamenti fisiologici all'interno della pianta e di modificazioni ambientali nel biotopo in cui la pianta vive (TESSIER, 1989).

Il paragone tra le ricostruzioni climatiche ottenute e tutti gli altri tipi di *proxy*

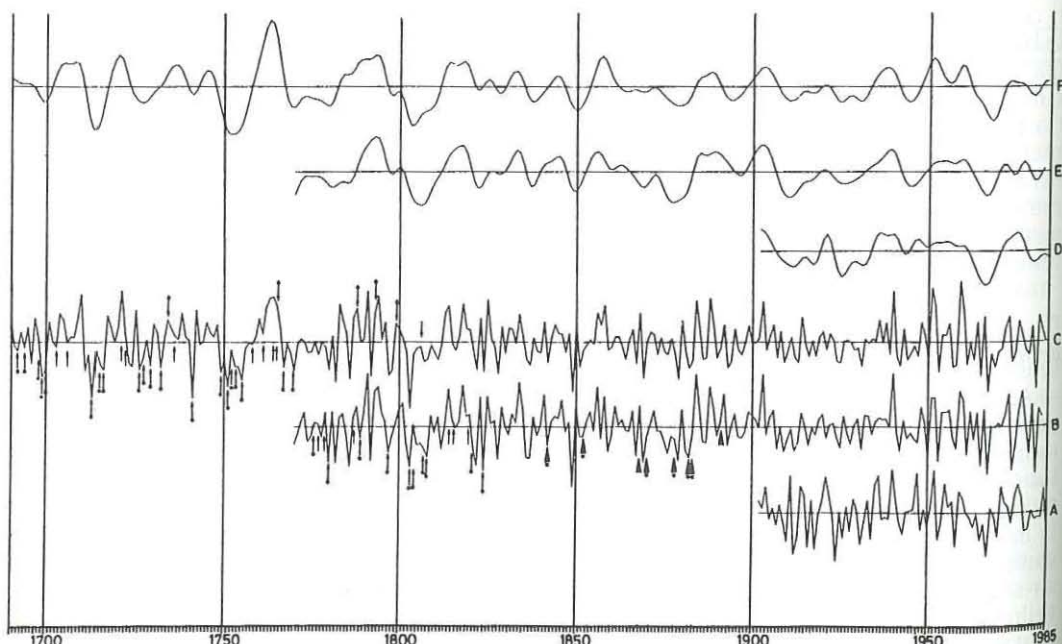


Fig. 5 - Ricostruzione delle precipitazioni estive per la regione Cuenca-Teruel (Spagna). Le serie A (alte frequenze) e D (basse frequenze) rappresentano i dati reali, mentre le serie B-C (alte frequenze) e E-F (basse frequenze) rappresentano i dati ottenuti dalla ricostruzione. Le frecce evidenziano gli anni per i quali sono noti dati storici relativi a siccità (freccia rivolta verso il basso) o umidità (freccia rivolta verso l'alto) (tratto da Richter & Eckstein, 1990).

data disponibili è dunque sempre indispensabile per evidenziare ed interpretare eventuali distorsioni presenti nella ricostruzione stessa (GUIOT et al., 1988).

Anelli diagnostici e informazioni climatiche

Si sono trattate finora le diverse possibilità nell'utilizzare gli anelli d'accrescimento annuale per una ricostruzione diretta di parametri climatici, possibilità che rappresenta un carattere esclusivo della dendroclimatologia e che fornisce un grado di dettaglio ed una continuità impossibili da raggiungere con qualunque altro tipo di approccio. In ogni caso gli anelli d'accrescimento annuale possono anche essere utilizzati per ottenere informazioni climatiche di tipo indiretto, alla stessa stregua di tutti gli altri tipi di *proxy data*.

Sempre basandosi sulle misure delle ampiezze degli anelli, opportunamente trasformate, è possibile ottenere in modo indiretto informazioni su periodi climaticamente favorevoli o sfavorevoli per la specie considerata. Secondo questo schema TESSIER (1986) interpreta climaticamente una cronologia di larice relativa al Parco Nazionale della Vanoise, ipotizzando l'alternanza di fasi stadiali ed interstadiali durante la Piccola Era Glaciale. Analogamente NOLA (1994) trae informazioni sui periodi climaticamente favorevoli e sfavorevoli per il larice d'altitudine, sulla base della sincrona alternanza di periodi di depressione o di aumento dell'accrescimento annuale in cronologie provenienti da diverse zone delle Alpi italiane.

Al di là di questi esempi, ancora basati sull'utilizzo delle dimensioni degli anelli annuali, esistono numerose altre caratteristiche interne agli anelli che possono essere causate da eventi climatici, sui quali possono di conseguenza fornire informazioni. Questi anelli particolari, possono essere designati nel complesso come anelli diagnostici.

Un esempio è rappresentato dai "*frost damage rings*" (anelli danneggiati dal gelo). Si tratta di anelli caratterizzati da file di tracheidi schiacciate e raggi costituiti

da cellule parenchimatiche e tracheidi eccezionalmente sviluppate ed ingrossate (LA MARCHE, 1970). In uno studio relativo alle Alpi svizzere ed austriache, la presenza di questi anelli particolari in campioni di *Pinus cembra* è stata messa in relazione con annate particolarmente fredde e soprattutto con le avanzate dei ghiacciai (LA MARCHE & FRITTS, 1971). Poichè la specie può superare i 500 anni, questi anelli particolari possono rappresentare una preziosa sorgente di informazioni nella ricostruzione dei movimenti dei ghiacciai in particolare, e dei dati climatici in generale.

Altri anelli particolari sono i cosiddetti "*light ring*" (anelli chiari). Si tratta di anelli composti quasi esclusivamente da cellule di legno primaverile con parete secondaria sottile, seguiti da uno o pochi strati di cellule di legno estivo; in essi il legno presenta normalmente una bassa densità (FILION et al., 1986). In uno studio relativo a *Picea mariana* in Quebec è stato messo in evidenza che la formazione di questi anelli sembra essere dovuta ad una precoce interruzione della stagione vegetativa, a causa di temperature sia massime che minime inferiori alla norma (FILION et al., 1986). Studi estensivi su questo tipo di anelli sono stati realizzati in Canada (DELWAIDE et al., 1991; VOLNEY, 1992), ma anelli con caratteristiche simili si trovano frequentemente anche in conifere alpine (soprattutto nel larice d'altitudine), e potrebbero rappresentare un'utile sorgente di informazione climatica.

Infine, un altro modo per ricostruire le avanzate glaciali è stato evidenziato da KAISER (1993). L'autore ha trovato una coincidenza tra brusche riduzioni di accrescimento radiale e formazione di tessuti di compressione in piante che vegetano in prossimità del fronte glaciale e la contemporanea avanzata del ghiacciaio stesso. Anche in questo caso diventa possibile una ricostruzione dei movimenti dei ghiacciai e quindi una ricostruzione indiretta del clima, a partire da sequenze di anelli d'accrescimento.

Paola Nola

Istituto di Botanica
Università di Pavia

BIBLIOGRAFIA

- ANIOL R.W., ECKSTEIN D., 1984 - *Dendroclimatological studies at the northern timberline*. In Morner N.A., Karlen W. (eds): *Climatic change on a yearly to millennial basis*. Dordrecht, Reidel Publ. Co.: 27-279.
- BEBBER A., 1990 - *Una cronologia del larice (Larix decidua Mill.) delle Alpi orientali italiane*. *Dendrochronologia* 8: 119-139.
- BEDNARZ Z., 1984 - *The comparison of dendroclimatological reconstructions of summer temperatures from the Alps and Tatra mountains from 1741-1965*. *Dendrochronologia* 2: 63-72.
- BJONDI F., 1992 - *Development of a tree-ring network for the Italian peninsula*. *Tree-Ring Bull.* 52: 15-29.
- BIRCHER W., 1982 - *Zur Gletscher und Klimageschichte des Saastales, glazialmorphologische und dendroklimatologische Untersuchungen*. *Phys. Geogr. Univ. Zurich* 9: 233 p.
- BRIFFA K.R., JONES P.D., PILCHER J.R., HUGHES M.K., 1988a - *Reconstructing summer temperatures in Northern Fennoscandia back to 1700 A. D. using tree-ring data from Scots Pine*. *Arctic and Alpine Research*.
- BRIFFA K.R., JONES P.D., SCHWEINGRUBER F.H., 1988b - *Summer temperature patterns over Europe: a reconstruction from 1750 A.D. based on maximum latewood density indices of conifers*. *Quaternary Research* 30:36-52.
- BRIFFA K.R., JONES P.D., WIGLEY T.M.L., PILCHER J.R., BAILLIE M.G.L., 1983 - *Climate reconstruction from tree rings. Part 1, Basic methodology and preliminary results for England*. *Journal of Climatology* 3: 233-242.
- BRIFFA K.R., JONES P.D., WIGLEY T.M.L., PILCHER J.R., BAILLIE M.G.L., 1986 - *Climate reconstruction from tree rings. Part 2, Spatial reconstruction of summer mean sea-level pressure patterns over Great Britain*. *Journal of Climatology* 6: 1-15.
- BROWN D.M., BAILLIE M. G.L., 1990 - *Construction and dating of 5000 year English bog oak tree-ring chronology*. In *Tree rings and Environment: Proceedings of the International Dendrochronological Symposium, Ystad, South Sweden, 3-9 September 1990*. *Lundqua Report* 34: 72-75.
- CORONA E., 1990 - *Incostanza del Clima: fluttuazioni pregresse*. In Susmel L.: *Principi di Ecologia*. Ed. Cluep, Padova: 356-362.
- DELWAIDE A., FILION L., PAYETTE S., 1991 - *Spatiotemporal distribution of light rings in subarctic black spruce, Quebec*. *Can. J. For. Res.* 21: 1828-1832.
- ECKSTEIN D., ANIOL R.W., 1981 - *Dendroclimatological reconstruction of summer temperatures for an alpine region*. *Mitt. Forst. Bundesversuchsanst. Wien* 142: 391-398.
- FILION L., PAYETTE S., GAUTHIER L., BOUJIN Y., 1986 - *Light rings in subarctic conifers as a dendrochronological tool*. *Quaternary Research* 26: 272-279.
- FRITTS H.C., 1976 - *Tree-rings and climate*. Academic Press, London., 567 p.
- FRITTS H.C., BLASING T.J., HAYDEN B.P., KUTZBACH J.E., 1971 - *Multivariate techniques for specifying tree-growth and climate relationships and for reconstructing anomalies in paleoclimate*. *J. Appl. Met.* 10(5): 845-864.
- FRITTS H.C., VAGANOV E.A., SVIDERSKAYA I.V., SHASHKIN A.V., 1989 - *Climatic variation and tree-ring structure: a statistical-simulative model of tree-ring chronology index, number of cells, cellsize, cell-wall thickness and density*. *Climate Research* 1:1-62.
- GADBIN C., GUIOT J., SERRE-BACHET F., TESSIER L., 1988 - *Croissance radiale de quèques résineux et feuillus en réponse aux précipitations mensuelles en milieu méditerranéen*. *Time-scales of water stress: Proc. Vth Int. Conf. on Mediterranean ecosystems*. Di Castri F., Floret Ch Rambald S., Roy J. (eds), I.U.B.S. publ. Paris: 401-414.
- GUIOT J., 1984 - *Deux méthodes d'utilisation de l'épaisseur des cernes ligneux pour la reconstruction de paramètres climatiques anciens, l'exemple de leur application dans le domaine alpin*. *Paleogeogr. Paleoclim. Paleoecol.* 45: 347-368.
- GUIOT J., 1985 - *The extrapolation of recent climatological series with spectral canonical regression*. *Journal of Climatology* 5: 325-335.
- GUIOT J., 1986 - *Arma techniques for modelling tree ring response to climate and for reconstructing variations of paleoclimates*. *Ecological modelling* 33: 149-171.
- GUIOT J., 1989 - *Methods of calibration*. In Cook E.R., Kairiukstis L.A. (eds.): *Methods of dendrochronology: Applications in the environmental sciences*. Kluwer Academic Publisher: 165-177.
- GUIOT J., 1992 - *The combination of historical documents and biological data in the reconstruction of climate variations in space and time*. In "European climate reconstructed from documentary data: methods and results" European Science Foundation Strasbourg, Special Issue: ESF Project - European Paleoclimate and Men 2: 93-104.
- GUIOT J., BERGER A.L., MUNAUT A.V., 1982 - *An illustration of alternative transfer function methods in Switzerland*. In: Hughes M.K., Kelly P.M., Pilcher J.R., La Marche V.C. Jr. *Climate from tree rings*. Cambridge University Press: 160-162.
- GUIOT J., TESSIER L., SERRE-BACHET F., GUIBAL F., GADBIN C., TILL C., 1988 - *Annual temperature change reconstructed in W-Europe and N-W-Africa back to A.D. 1100*. *Ann. Geoph. (special issue)*: 85 p.
- HUGHES M.K., KELLY P.M., PILCHER J.R., LA MARCHE V.C. Jr., 1982 - *Climate from tree rings*. Ed. by M.K. Hughes et al. Cambridge University Press: 223 p.
- HUGHES M.K., SCHWEINGRUBER F., CARTWRIGHT D., KELLY P.M., 1984 - *July-August temperature at Edinburgh between 1721 and 1975 from tree ring density and width data*. *Nature* 308: 341-344.
- JONES P.D., BRIFFA K.R., PILCHER J.R., 1984 - *Riverflow reconstruction from tree rings in Southern Britain*. *Journal of Climatology* 4: 461-472.
- KAISER K.F., 1993 - *Growth rings as indicators of glacier advances, surges and floods*. *Dendrochronologia* 11: 101-122.
- LA MARCHE V.C. Jr., 1970 - *Frost-damage rings in subalpine conifers and their application to tree-ring dating problems*. In Smith J.E.G., Worral J. (eds): *Tree-Rings analysis with special reference to Northwest America*. Univ. British Columbia Forestry Bulletin 7: 99-100.
- LA MARCHE V.C. Jr., FRITTS H.C., 1971 - *Tree rings, glacial advance and climate in the Alps*. *Zeit. Gletsch. Glazialgeol.* 7(1-2): 128-131.
- LE ROY LADURIE E., 1967 - *Histoire du climat depuis l'an mil*. Flammarion: 367 p.
- NOLA P., 1990-91 - *Dendroecologia di Quercus robur L. nella valle sublacuale del fiume Ticino*. Tesi di dottorato. Dottorato di ricerca in sistematica ed ecologia vegetale (geobotanica). IV ciclo. Università degli studi di Pavia: 1-203.

NOLA P., 1994 - A dendroecological study of larch at timberline in Central Italian Alps. *Dendrochronologia* 12: 77-91.

POLGE H., 1966 - Etablissement des courbes de variation de la densité du bois par exploration densitométrique de radiographies d'échantillons prélevés à la tarière sur des arbres vivants. *Ann. Sci. For.* 23: 1-206.

PILCHER J.R., BAILLIE M.G.L., SCHMIDT B., BECKER B., 1984 - A 7272-year tree-ring chronology for Western Europe. *Nature* 312: 150-152.

RICHTER K., 1988 - *Dendrochronologische und dendroclimatologische Untersuchungen an Kiefern (Pinus sp.) in Spanien*. Dissertation, Hamburg Univ. 296 p.

RICHTER K., ECKSTEIN D., 1990 - A proxy summer rainfall record for Southeast Spain derived from living and historical pine trees. *Dendrochronologia* 8: 67-82.

SASS U., ECKSTEIN D. 1990 - The annual vessel area of beech as an ecological indicator. In Tree rings and Environment: Proceedings of the International Dendrochronological Symposium, Ystad, South Sweden, 3-9 September 1990. *Lundqua Report* 34:281-285.

SCHWEINGRUBER F.H., 1988 - *Tree rings: basics and applications of dendrochronology*. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, Netherlands: 276 p.

SCHWEINGRUBER F.H., 1989 - Radiodensitometry. In Cook E.R., Kairiukstis L.A. (eds.): *Methods of dendrochronology: Applications in the environmental sciences*. Kluwer Academic Publisher: 55-63.

SCHWEINGRUBER F.H., 1990 - *Baum und Holz in der Dendrochronologie. Morphologische, anatomische und jähringanalytische charakteristika häufig verwendeter Bäume*. WSL-FNP, Birmensdorf, Schweiz: 231p.

SCHWEINGRUBER F.H., BRAKER O.U., SCHAR E., 1987 - *Temperature information from a european dendroclimatological sampling network*. *Dendrochronologia* 5: 9-33.

SCHWEINGRUBER F.H., BRIFFA K.R., JONES P.D., 1991 - *Yearly maps of summer temperatures in Western Europe from A.D. 1750 to 1975 and Western North America from 1600 to 1982: Results of a radiodensitometrical study on tree rings*. *Vegetatio* 92:5-71.

SCHWEINGRUBER F.H., FRITTS H.C., BRAKER O.U., DREW L.G., SCHAR E., 1978 - *The X-ray technique as applied to dendroclimatologie*. *Tree Ring Bull.* 38: 61-91.

SERRE-BACHET F., 1985 - *Une chronologie pluriséculaire du Sud de l'Italie*. *Dendrochronologia* 3: 45-66.

SERRE-BACHET F., 1988 - *La reconstruction climatique à partir de la dendroclimatologie*. Publication de l'Association Internationale de Climatologie 1: 225-233.

SERRE-BACHET F., 1990 - *Annual temperature reconstructions for the mediterranean area (1700-1979)*. In Tree rings and Environment: Proceedings of the International Dendrochronological Symposium, Ystad, South Sweden, 3-9 September 1990. *Lundqua Report* 34: 293-297.

SERRE-BACHET F., GUIOT J., 1987 - *Summer temperature changes from tree rings in the Mediterranean area during the last 800 years*. In Berger W.H., Labeyrie L.D. (eds.): *Abrupt Climatic Changes*. Reidel Publishing Company: 89-97.

SERRE-BACHET F., MARTINELLI N., PIGNATELLI O., GUIOT J., TESSIER L., 1991 - *Evolution des températures du Nord-Est de l'Italie depuis 1500 A.D. Reconstruction d'après les cernes des arbres*. *Dendrochronologia* 9:213-229.

SERRE-BACHET F., TESSIER L., 1989 - *Response function for ecological study*. In Cook E.R., Kairiukstis L.A. (eds.): *Methods of dendrochronology: Applications in the environmental sciences*. Kluwer Academic Publisher: 247-258.

SERRE-BACHET F., TESSIER L., GUIOT J., GADBIN C., 1988 - *Rainfall reconstructions from tree rings in the French mediterranean region*. *Annales Geophysicae* (special issue) 87 p.

SIEBENLIST-KERNER V., 1984 - *Der Aufbau von Jähring-chronologien für Zirbelkiefer, Lärche und Fichte eines alpinen Hochgebirgsstandortes*. *Dendrochronologia* 2: 9-29.

STOKES M.A., SMILEY T.L., 1968 - *An introduction to tree-ring dating*. Univ. Chicago Press: 73 p.

TESSIER L., 1986 - *Chronologie de mélèzes des Alpes et petit âge glaciaire*. *Dendrochronologia* 4: 97-113.

TESSIER L., 1989 - *Spatio-temporal analysis of climate-tree ring relationship*. *New Phytol.* 111:517-529.

VAGANOV E.A., 1989 - *The tracheodogram. Method in tree-ring analysis and its application*. In Cook E.R., Kairiukstis L.A. (eds.): *Methods of dendrochronology: Applications in the environmental sciences*. Kluwer Academic Publisher: 63-93.

VOLNEY W.J.A., MALLETT K.I., 1992 - *Light rings and age of jack pine trees*. *Can. J. For. Res.* 22: 2011-2013.

WOODCOCK D.W., 1989 - *Climate sensitivity of wood-anatomical features in a ring-porous oak (Quercus macrocarpa)*. *Can. J. For. Res.* 19:639-644.