M.C. STEFANINI (*)

ANALISI DENDROCRONOLOGICHE SU ESEMPLARI DELL'ORTO BOTANICO DI PISA

Riassunto - Sono state analizzate tre sezioni trasversali di fusto di alberi dell'Orto Botanico di Pisa, abbattuti nell'inverno 2002-2003 per motivi di sicurezza. Le analisi dendrocronologiche hanno portato alla visualizzazione del ritmo di crescita delle piante e alla valutazione dei fattori che lo hanno determinato. I risultati hanno mostrato la correlazione tra accrescimento e dati termopluviometrici trentennali della stazione meteorologica di Pisa.

Parole chiave - Dendroecologia, accrescimento arboreo, clima, Orto botanico, Pisa.

Abstract - Dendrochronological analyses on specimens from the Botanic Garden of Pisa. In this work, three cross sections obtained from trees cut down in the winter 2002-2003 in the Botanic Garden of Pisa, were studied. Dendrochronological analyses led to highlight the growth trend of each tree and factors involved in it. The results show the correlation between growth trend and thermo-pluviometric data, recorded for thirty years at the Pisa meteorological station.

Key words - Dendroecology, tree growth, climate, Botanic Garden, Pisa.

INTRODUZIONE

Gli anelli di accrescimento delle piante arboree sono un chiaro esempio di archivio naturale, grazie alla loro capacità di registrare in modo integrato le risposte dell'albero alla variazione delle condizioni ambientali annuali (Schweingruber, 1988). Lo studio degli anelli di accrescimento è una disciplina oggi affermata e nota con il termine «dendrocronologia». Testimonianze delle osservazioni sugli anelli di accrescimento si trovano fin dai tempi degli Assiri e dei Babilonesi e vengono nel tempo riprese (Corona, 2008). A partire dal XVII secolo vari scienziati, tra cui Linneo, hanno approfondito lo studio delle caratteristiche del legno, notando la differenza tra il legno primaticcio e quello tardivo. Più recentemente si deve all'americano Douglass (1919, 1920, 1929) il maggiore sviluppo degli studi sugli anelli di accrescimento e il loro utilizzo per le prime datazioni. Douglass viene considerato, infatti, il padre della dendrocronologia (dal greco dendron = albero, chronos = tempo, logos = parola - scienza), intesa come la disciplina che studia gli anelli di accrescimento degli alberi, datati a precisione annuale, per attribuire una cronologia a variazioni temporali e spaziali di processi nell'ambito delle scienze naturali e storico-culturali. La valenza interdisciplinare dello studio dendrocronologico si è resa manifesta appieno negli ultimi quaranta anni durante i quali le applicazioni, come pure le tecniche, si sono notevolmente sviluppate e ampliate, in particolare nei campi dell'ecologia e della geologia (i.e. Corona, 1968; Stokes & Smiley, 1968; Fritts, 1976; Schweingruber, 1988; Schweingruber, 1996; Hughes, 2002; Stefanini, 2004).

Il concetto principale che sta alla base della dendrocronologia si desume dalla constatazione che gli alberi formano anelli di accrescimento secondo un ritmo periodico legato all'attività vegetativa. Ogni anello di accrescimento è riconducibile a un preciso anno nel quale è stato formato, ed in quanto tale è quindi databile. In linea generale, ogni anello di accrescimento rispecchia le condizioni ambientali dell'anno nel quale è stato formato; bisogna però tener conto del fatto che certe condizioni climatico-ambientali possono portare alla formazione di falsi anelli (più anelli formati nello stesso anno non distinguibili morfologicamente) o anelli mancanti (anelli non prodotti in quel dato anno e in quel dato albero a causa di una ridotta attività cambiale, Kaennel & Schweingruber, 1995). Le analisi dendrocronologiche consentono di determinare l'età di un albero, di datare ciò che è costituito da legno, di correlare l'ampiezza degli anelli di un albero con le variazioni ambientali e di attribuire una scansione cronologica alle vicende che abbiano coinvolto gli alberi nel loro accrescimento. Per arrivare alla datazione di ogni anello di accrescimento, e quindi determinare l'età del centro e dell'ultimo anello della sezione di un determinato albero, è necessario comparare il suo accrescimento con quello di altri alberi della stessa specie, così da identificare gli intervalli concordanti. Questa operazione costituisce il principio fondamentale della dendrocronologia e viene denominata «datazione incrociata» (cross-dating). La datazione incrociata è necessaria anche per definire o escludere la presenza di falsi anelli ed anelli mancanti o discontinui, che indurrebbero altrimenti errori di datazione.

Alcuni aspetti che riguardano l'accrescimento arboreo devono essere tenuti in conto negli studi dendrocronologici; essi sono relativi alla velocità con la quale questo fenomeno avviene e alle modalità di sviluppo della pianta. Le piante, infatti, hanno una curva di accrescimento sigmoidale, con un'iniziale fase di accrescimento lenta, che corrisponde alla germinazione del seme, seguita da un'accelerazione nelle fasi giovanili. Col progressivo aumento di dimensione, la pianta riduce la velocità di accrescimento. Facendo riferimento alla

^(*) Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Pisa.

100 M.C. STEFANINI

sezione trasversale di un fusto, questa evoluzione si traduce in anelli relativamente più ampi nella zona più interna, ove si trovano gli anelli più vecchi ovvero quelli formati dalla pianta nel suo stadio giovanile, rispetto a quelli della zona più esterna, dove la crescita assume una velocità minore. Inoltre la crescita avviene per formazione di cellule nuove lungo tutto il perimetro dell'albero, per cui il tronco d'albero assume una geometria «a cono»: nella parte più bassa della pianta c'è un certo numero di anelli di accrescimento che va progressivamente decrescendo verso l'alto, ovvero verso la parte più giovane. Per questo motivo una sezione di tronco presa alla base avrà un numero di anelli superiore a una sezione dello stesso tronco presa più in alto. La morfologia e la longevità di una pianta sono quindi determinate sia dalle caratteristiche genetiche, tipiche di ogni specie, che da quelle ambientali. Vari fattori influenzano la crescita delle singole piante a seconda del luogo dove queste si sviluppano. Fra di essi innanzitutto la disponibilità di acqua e quella di nutrienti, la luce e la temperatura, ma anche l'azione del vento. eventuali stress meccanici che influiscono sulla chioma, sul tronco o sull'apparato radicale e la presenza di sostanze inquinanti sia nell'atmosfera che nelle acque. Questi fattori agiscono in maniera integrata e con un'intensità che può variare nel tempo. Le caratteristiche del sito ove cresce la pianta costituiscono quindi un elemento importantissimo.

Per sintetizzare schematicamente quella aggregazione di fattori ambientali, sia naturali che antropici, che influenzano il modello di accrescimento di un albero nel tempo e che determinano le caratteristiche di ogni serie individuale di anelli di accrescimento, si suole utilizzare il «modello di crescita arborea aggregata» introdotto da Cook & Kariukstis (1990). Secondo questo modello la crescita dell'albero (R) nell'anno t risulta essere funzione dell'insieme di fattori che vengono regolati dalla seguente equazione:

$$R_t = A_t + C_t + \delta D1_t + \delta D2_t + E_t$$

dove A rappresenta la tendenza di crescita relativa all'età e dovuta ai processi fisiologici e genetici, C rappresenta la variabilità dovuta al clima, D1 rappresenta il verificarsi di fenomeni di disturbo causati da fattori endogeni microstazionali, mentre con D2 viene indicato un disturbo dovuto a fattori esogeni agenti sull'intero popolamento ed infine con E si tiene conto di una variabilità di natura ignota e indipendente dagli altri segnali.

Questo studio nasce dalla possibilità di analizzare tre sezioni trasversali di fusti ricavate da alberi che crescevano nell'Orto Botanico di Pisa e sono stati tagliati nell'inverno 2002-2003 per motivi statici e di sicurezza dei visitatori. Il fatto di analizzare sezioni di alberi cresciuti in un ambiente così particolare come un orto botanico, dove gli alberi non hanno una distribuzione naturale ma regolata dall'uomo e ristretta nello spazio, ci è sembrata un'opportunità da cogliere, indipendentemente dal valore scientifico del campionamento.

MATERIALI E METODI

Le sezioni arboree prelevate e studiate appartengono a tre specie differenti: un frassino maggiore (Fraxinus excelsior L.), un olmo siberiano (Ulmus pumila L.) e un tiglio argentato (Tilia tomentosa Moench). Il frassino è una specie ad accrescimento rapido ed è abbastanza esigente: ha bisogno di crescere in piena luce e richiede terreni fertili, umidi e profondi; è spesso attaccato da parassiti animali e fungini. L'ampiezza e le caratteristiche anatomiche dei suoi anelli di accrescimento sono chiaramente e sensibilmente influenzate dalle variazioni dei fattori ambientali; si suole dire che è una specie «sensitiva», mentre vengono dette «compiacenti» quelle specie nelle quali i parametri anulari mostrano una debole variazione in risposta agli stimoli ambientali (Kaennel & Schweingruber, 1995). Ha una struttura del legno a porosità zonata (o anulare), perché in sezione trasversale un anello mostra vasi molto più grandi nel legno primaticcio che nel legno tardivo, che ha vasi piccoli, solitari o accoppiati in direzione radiale (Schweingruber, 1990).

L'olmo è una specie che resiste a condizioni climatiche di aridità estiva e di gelo invernale molto spinte e sa adattarsi a qualsiasi terreno. La struttura anatomica del suo legno è a porosità zonata, con vasi che nel legno tardivo si dispongono in bande più o meno tangenziali (Schweingruber, 1990). Non è di comune uso in dendrocronologia perché non ampiamente diffuso nei grandi popolamenti forestali nei quali vengono effettuati più spesso gli studi in questo campo.

Il tiglio ha elevata tolleranza a condizioni ambientali estreme, come presenza di smog ed inquinanti o siccità e gelate. La struttura del suo legno è a porosità diffusa, con gruppi di vasi di piccole dimensioni orientati in senso radiale (Schweingruber, 1990). Generalmente il tiglio non viene usato per datazioni dendrocronologiche perché spesso vi è stata riscontrata la formazione di anelli non chiaramente individuabili e poiché la sporadica presenza nei boschi non facilita la costruzione di estese cronologie di riferimento (Bernabei & Pollini, 2006). Le tre sezioni sono state preparate per l'analisi di laboratorio attraverso un'accurata levigatura, che consentisse di evidenziare al meglio le caratteristiche degli anelli di accrescimento. Questi sono stati misurati secondo due o più direzioni di accrescimento, scelte tra le più significative in una sezione: in caso di accrescimento non uniforme, ad esempio, vengono scelte le direzioni di accrescimento maggiore, minore ed intermedio. La misurazione viene fatta tramite un'attrezzatura composta da una slitta incrementale, associata ad un microscopio a riflessione ad essa solidale e collegata con un computer dotato di un apposito software per la registrazione dei dati e per la loro trattazione in termini statistici. I campioni vengono osservati al microscopio per determinare la distanza (ampiezza) tra la fine e l'inizio di ogni anello. L'insieme di questi valori va a costituire una linea spezzata detta «curva dendrocronologica»; ogni curva quindi corrisponde ad una delle direzioni di accrescimento misurate.

Un altro metodo di misurazione delle cerchie anulari è stato sviluppato grazie all'acquisizione di immagi-

ni digitali ad elevata risoluzione e software dedicati all'analisi delle immagini. Questo metodo viene utilizzato in particolare per le sezioni di elevate dimensioni e peso, che difficilmente possono essere collocate sulla slitta di misurazione incrementale. Nel nostro caso abbiamo adottato l'analisi dell'immagine per studiare la sezione di frassino.

Non potendo disporre di altri esemplari delle stesse specie considerate da confrontare tra loro per costruire le rispettive curve di riferimento, si è optato per la comparazione tra le curve di accrescimento medie ricavate per ogni sezione che, seppur appartenenti a specie diverse, sono cresciute comunque nello stesso ambiente limitante dell'Orto botanico, ovvero con le stesse condizioni ecologico-ambientali che determinano le caratteristiche di sviluppo delle singole piante. Peraltro dobbiamo ricordare che in ambiente mediterraneo le cronologie assolute, e quindi di riferimento, disponibili per le latifoglie, sono molto limitate; fra queste le più significative sono di quercia e di faggio. Per questo motivo, per datare, ad esempio, il legno di frassino si fa spesso ricorso a eteroconnessione con cronologie di quercia dello stesso sito (Martinelli & Pignatelli, 2008).

Nel frassino sono stati misurati gli anelli di accrescimento lungo tre raggi della sezione, tramite l'utilizzo del software di analisi dell'immagine. La sezione di olmo è di forma ellittica, per cui è stato misurato l'accrescimento su due direzioni, un raggio maggiore e uno minore. Il tiglio è di forma pressoché circolare, ma il centro di origine delle cerchie non corrisponde al centro geometrico della sezione; per questo sono stati scelti tre raggi di misurazione, maggiore, minore e intermedio. L'andamento dell'accrescimento delle tre piante studiate è stato poi confrontato con i valori della temperatura e delle precipitazioni registrate a Pisa nel trentennio 1971-2002, tenendo conto del fatto che la variazione di questi valori influenza la disponibilità di acqua nel suolo, rimanendo costanti le caratteristiche pedologiche dello stesso. Per attuare questo confronto le curve di accrescimento di ogni sezione sono state mediate tra loro, ottenendo valori rappresentativi dell'accrescimento medio del rispettivo albero.

RISULTATI E DISCUSSIONE

Va premesso che nelle tre sezioni è chiaramente visibile una macchia scura che, a partire dal centro e con differente ampiezza, suggerisce una pregressa infestazione di parassiti nota come «carie del legno».

Questa sembra essere in relazione anche al forte inquinamento delle falde idriche cittadine, e al conseguente indebolimento delle barriere di difesa nell'apparato radicale. L'inquinamento dell'acqua di falda porta in genere un aumento di acidità che interferisce in particolare sui processi microbici del terreno con conseguenze nocive sullo sviluppo delle piante (Moriondo, 1989). La sezione di frassino analizzata è pressoché circolare, con diametro massimo di 74 cm e minimo di 70 cm. Sono stati contati 65 anelli in ognuna delle tre direzioni misurate. Si nota bene una estesa macchia di colore più scuro, asimmetrica e dai contorni irregolari, che occupa

gran parte della porzione centrale dell'albero (Fig. 1). Le curve di accrescimento ricavate dalla misurazione progressiva degli anelli dimostrano come l'andamento della crescita nelle tre direzioni sia pressoché simile per gran parte della vita di questo albero, quantunque in alcuni anni si possa rilevare uno sviluppo maggiore in una delle direzioni piuttosto che nelle altre (Fig. 2). Questa variabilità è assolutamente normale, anche perché non si ha una direzione prevalente rispetto alle altre. Nel 1980 si assiste ad una repentina diminuzione di accrescimento che si ripercuote nelle tre direzioni e dura almeno quattro anni; questo rappresenta un forte stress applicato alla pianta, dalla quale l'albero ha cercato di riprendersi negli anni successivi. A partire dal 1991 però, si ha un nuovo sensibile declino nell'accrescimento dell'albero, che si riscontra chiaramente anche ad occhio nudo guardando la sezione e che l'albero non riesce a recuperare. Sembra quindi possibile che questa data segni l'inizio del declino dovuto all'infestazione da parte del parassita che ha prodotto la carie del legno.

La sezione di olmo mostra 75 anelli. Il legno si presenta uniforme, senza differenziazione in alburno e duramen. Nella parte centrale si osserva un primo stadio di infestazione da parte della «carie del legno», visibile come macchia scura a forma di goccia. Dall'analisi delle curve di accrescimento (Fig. 3) notiamo come questo sia scarso per circa 15 anni, fino al 1942; a questa fase fa seguito una ripresa discreta. L'accrescimento limitato negli stadi giovanili della pianta, ovvero quando questa normalmente ha le maggiori potenzialità, può essere dovuto a numerosi fattori come l'attacco di un parassita o una potatura. Trattandosi di un esemplare messo a dimora in un orto botanico, pare plausibile imputare la crescita ridotta ad una carenza di illuminazione, ovvero all'ombreggiamento causato da qualche albero più alto nelle vicinanze. A partire dal 1953 si evidenzia un'eccentricità nella crescita, responsabile della forma ellit-



Fig. 1 - Fotografia della sezione di Frassino nella quale sono tracciati i raggi di misurazione.

102 M.C. STEFANINI

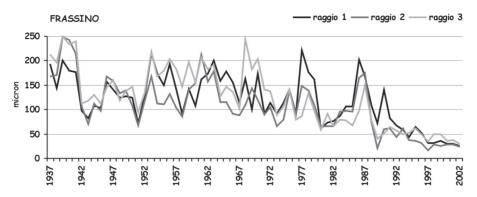


Fig. 2 - Curve di accrescimento relative ai tre raggi misurati nella sezione di Frassino.

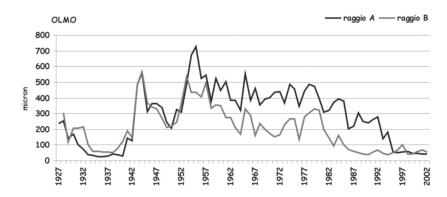


Fig. 3 - Curve di accrescimento relative ai due raggi misurati nella sezione di Olmo.

tica della sezione, che sembra la reazione alla vicinanza di un ostacolo, forse anche un albero, che lo abbia indotto a limitare la crescita nella direzione del diametro minore e ad aumentarla nella parte libera, quella del diametro maggiore. Questa netta sperequazione osservabile dalle differenze riscontrare tra i due raggi, è in genere accompagnata anche dalla produzione di legno di tensione, ovvero di cellule legnose modificate come reazione ad uno stimolo meccanico esterno. Il legno di tensione però non è visibile ad occhio nudo ma deve essere evidenziato con adeguate tecniche citologiche (Schweingruber, 1990). Nel 1985 la crescita lungo il raggio minore subisce una diminuzione repentina che non viene più recuperata. Nel 1995 in entrambi i raggi si nota un'ulteriore diminuzione repentina della crescita, segno di un forte stress per tutta la pianta, probabilmente in relazione all'infestazione da parte della carie del legno.

Il tiglio analizzato ha un diametro maggiore di 39 cm, con i tre raggi più significativi, ossia il maggiore, il minore ed un intermedio, che misurano rispettivamente 24 cm, 14 cm e 18 cm. Sono stati misurati 48 anel-

li in ogni direzione, con eccentricità di accrescimento evidente (Fig. 4). Poiché il legno non presenta una differenziazione in duramen e alburno, ed è in genere bianco-giallognolo, la parte scura rappresenta l'infestazione della carie del legno, che evidentemente è notevolmente avanzata. La parte centrale della sezione è caratterizzata da anelli di accrescimento relativamente ampi e dai contorni spesso frastagliati. Nella parte intermedia invece prevalgono anelli di forma ellittica, con sviluppo maggiore in una direzione e molto minore nel verso opposto. Questo vale in particolare se confrontiamo il raggio di accrescimento maggiore con il minore, mentre il terzo raggio costituisce effettivamente un esempio intermedio tra i due. Gli anelli più recenti hanno dimensioni molto ridotte rispetto ai precedenti. Questa situazione ovviamente si riflette anche nelle curve di accrescimento (Fig. 4), dalle quali si comprende che sembra instaurarsi fin da subito un'eccentricità di accrescimento. Dal 1961 al 1965 la crescita riprende con valori pressoché simmetrici in tutte le direzioni; dal 1966 si instaura nuovamente una crescita eccentrica. Dal 1980 notiamo, sia nel raggio

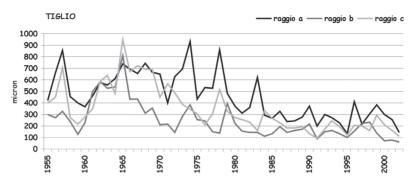


Fig. 4 - Curve di accrescimento relative ai tre raggi misurati nella sezione di Tiglio.

medio che nei singoli raggi misurati, una diminuzione repentina nell'accrescimento, quindi il tasso di crescita diminuisce e l'albero produce via via anelli sempre più piccoli. Inoltre dal 1984 in avanti anche l'eccentricità diminuisce progressivamente. Si può ipotizzare che questo evento sia da collegarsi con l'attacco da parte del parassita che ha portato poi al decadimento delle proprietà del legno, ovvero alla «carie». Nonostante il tiglio sia particolarmente resistente alle malattie, il fungo lo ha attaccato in maniera così evidente perché lo ha trovato in un particolare stato di debolezza: il forte inquinamento delle falde idriche della città ha provocato l'indebolirsi delle barriere di difesa nell'apparato radicale (F. Garbari, com. pers.).

Sembra quindi che questi esemplari a partire dal 1980 abbiano cominciato a subire lo stress dovuto all'inquinamento delle falde, al quale hanno cercato di reagire per qualche anno per poi cedere a causa dell'infestazione parassitaria, come evidenziato dalla forte diminuzione dei tassi di accrescimento dal 1984-85. L'olmo appare essere la specie più resistente, perché comincia a manifestare nel 1985 i primi segnali di stress che si acuiscono solo dieci anni dopo; del resto anche la carie del legno è visibile in una porzione molto limitata della sezione.

GLI ALBERI DELL'ORTO BOTANICO E IL CLIMA

Negli studi dendrocronologici si suole definire il ruolo del clima nella crescita della pianta sostanzialmente andando a isolare nella sopra citata equazione di Cook e Kairiukstis (1990) il fattore C. Questo viene fatto definendo e rimuovendo per ogni serie di accrescimento il trend di crescita che essa rappresenta, ossia i fattori A, δD1 e δD2. Questa procedura è chiamata in dendrocronologia «standardizzazione» e permette di passare da valori annuali di dimensione degli anelli a valori annuali indicizzati. Trattandosi di un'operazione statistica è da considerarsi valida se compiuta su un numero di campioni statisticamente significativo, generalmente superiore ai 30 campioni ben datati.

Non è possibile proporre uno studio dendroclimatologico delle tre sezioni esaminate a causa dell'esiguo numero di campioni a disposizione e per l'impossibilità di avvalorare la loro datazione tramite incrocio (*cross dating*) con curve di riferimento specie-specifiche. Tuttavia, la semplice comparazione diretta con i dati termopluviometrici a disposizione è risultata in alcuni casi sorprendentemente significativa.

Nell'analisi delle relazioni tra clima e accrescimento nel frassino, particolare attenzione è stata data allo studio delle precipitazioni, poiché questa specie è molto sensibile alla carenza di acqua, alla quale reagisce diminuendo il suo tasso di crescita. Ciò è assai ben dimostrato nel grafico (Fig. 5), dove possiamo notare che i valori di accrescimento degli anelli annuali seguono quelli delle precipitazioni invernali, almeno fino al 1991, anno nel quale deve essere intervenuto un fattore esterno, probabilmente la carie del legno, a turbare l'equilibrio di crescita della pianta. Sembra quindi che le precipitazioni invernali abbiano fornito alla pianta una riserva efficace di acqua nel suolo, tale da consentire la regolare crescita del campione. In inverno la pianta è a riposo, ma alle nostre latitudini ed altitudini la ripresa vegetativa comincia tra il tardo inverno e l'inizio della primavera, per cui una elevata disponibilità idrica nel suolo in questo periodo ne favorisce l'accrescimento.

Le analisi dei dati termopluviometrici e dell'accrescimento dell'olmo hanno evidenziato una relazione tra i valori di accrescimento degli anelli annuali e la somma delle precipitazioni occorse nelle stagioni invernale e primaverile (Fig. 6). Queste due serie hanno lo stesso tipo di tendenza evolutiva, in particolare nella prima fase della comparazione; infatti dal 1985 i valori di accrescimento dell'albero sono molto minori che in precedenza, a causa del ridotto tasso di crescita specialmente lungo il raggio minore. Quindi questa pianta ha registrato fedelmente le precipitazioni occorse ogni anno a Pisa nel periodo compreso tra dicembre e maggio, anche se con intensità progressivamente minore. La diminuzione delle ampiezze anulari, più marcata rispetto a quella ipotizzabile in base all'andamento delle precipitazioni, sembra dovuta allo stress conseguente all'infestazione del parassita che ha creato la carie del legno. Infatti il normale processo di invecchiamento della pianta e quindi la normale diminuzione in ampiez104 M.C. STEFANINI

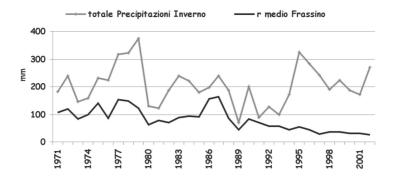


Fig. 5 - Comparazione tra la curve di accrescimento media (calcolata dai tre raggi misurati nella sezione di Frassino) e l'andamento delle Precipitazioni Invernali (somma delle precipitazioni nei mesi di dicembre, gennaio e febbraio) registrate a Pisa nel trentennio 1971-2002.

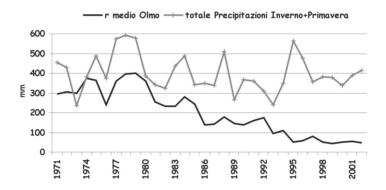


Fig. 6 - Comparazione tra la curve di accrescimento media (calcolata dai due raggi misurati nella sezione di Olmo) e l'andamento delle Precipitazioni Invernali e Primaverili (somma delle precipitazioni nei mesi fra dicembre e maggio) registrate a Pisa nel trentennio 1971-2002.

za delle cerchie, avrebbe prodotto una curva nella quale i valori massimi e minimi relativi delle ampiezze siano coincidenti con i massimi e minimi della serie delle precipitazioni, come negli anni precedenti.

La curva di accrescimento medio ottenuta per la sezione di tiglio non presenta una relazione diretta con i valori di temperatura e/o di precipitazione registrati a Pisa nel trentennio 1971-2002. Questo indica che il fenomeno più importante per la vita di questa pianta è stata la carie del legno, che si è diffusa praticamente in tutta la pianta, come dimostrato dalla colorazione scura che occupa quasi tutta la sezione.

CONCLUSIONI

Questo studio ci ha permesso di presentare brevemente la dendrocronologia e una sua applicazione, seppur limitata, per la datazione di tre esemplari che sono cresciuti in un ambiente particolare come un Orto botanico, laddove coesistono singoli esemplari di diverse

specie in uno spazio relativamente limitato. Sono state descritte le caratteristiche dell'accrescimento dei tre esemplari e si è proposta per ciascuno un'interpretazione delle cause che possono aver determinato le variazioni repentine di accrescimento. In particolare ci è sembrata significativa la stretta relazione tra l'evoluzione dell'accrescimento del frassino e dell'olmo e l'andamento delle precipitazioni registrate nell'ultimo trentennio a Pisa, risultato che nella maggior parte dei casi si riesce ad estrapolare in maniera indiretta, solo attraverso numerose operazioni statistiche e di comparazione, ovvero attraverso un'analisi dendroclimatologica propriamente detta.

Altro dato che si evince da questo studio è il forte stress causato negli alberi da patogeni fungini che hanno trovato facile accesso in tessuti legnosi debilitati a seguito dell'alterato metabolismo dell'apparato radicale, a contatto con falde idriche del suolo fortemente inquinate. Tutto ciò si è tradotto in evidenti anomalie di accrescimento e decadimento delle proprietà del legno.

RINGRAZIAMENTI

Si desidera ringraziare vivamente il personale dell'Orto botanico di Pisa, ed in particolare il direttore prof. F. Garbari, per la concessione delle sezioni arboree analizzate e la disponibilità dimostrata. Il lavoro è stato condotto nell'ambito di un finanziamento alla ricerca sui Beni Culturali ed Ambientali elargito dalla Fondazione Cassa di Risparmio di Pisa (anno 2005), che viene altresì ringraziata.

BIBLIOGRAFIA

- Bernabei M., Pollini C., 2006. Nota dendrocronologia sui tigli di S. Lugano (Bolzano, Italia). L'Italia Forestale e Montana: 133-145
- Corona E., 1968. Dendrocronologia. Problemi e prospettive. *Ann. Accad. Ital. Sci. Forest.* XVII: 291-319.
- Cook E.R., Kariukstis L.A., 1990. Methods of Dendrochronology Application in the environmental sciences. Kluwer, Dordrecht.
- Douglass A.E., 1919. Climatic cycles and tree-growth. A study of the annual rings in trees in relation to climate and solar activity. *Carnegie Institute of Washington* 1: 1-127.
- Douglass A.E., 1920. Evidence of climatic effects in the annual rings of trees. *Ecology* 1 (1): 24-32.
- Douglass A.E., 1929. The secret of the Southwest solved by talkative tree rings. *National Geographic Magazine* 56 (6): 736-770.

- Fritts H.C., 1976. Tree rings and climate. Academic Press, London, UK.
- Hughes M.K., 2002. Dendrochronology in climatology: the state of the art. *Dendrochronologia* 20: 95-116.
- Kaennel M., Schweingruber F.H., 1995. Multilingual glossary of dendrochronology. Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research. Haupt, Berne.
- Martinelli Ñ., Pignatelli O. 2008. datazione assoluta di alcuni relitti dal contesto delle navi di Pisa. Risultati preliminari delle indagini dendrocronologiche e radiometriche col ¹⁴C. Gradus 3.2: 69-78.
- Moriondo F., 1989. Introduzione alla patologia forestale. Utet, Torino.
- Schweingruber F.H., 1988. Tree Rings: Basics and Applications of Dendrochronology. Kluwer, Dordrecht.
- Schweingruber F.H., 1990. Microscopic Wood Anatomy. Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf
- Schweingruber F.H., 1996. Tree Rings and Environment. Dendroecology. Birmensdorf, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research. Haupt, Berne.
- Stefanini M.C., 2004. Analisi spazio-temporale di movimenti gravitativi di versante attraverso l'uso della dendrocronologia. Tesi di dottorato in Scienze della Terra, Università di Pisa.
- Stokes M.A., Smiley T.L., 1968. An introduction to Tree-Ring Dating. University of Chicago Press, Chicago IL, pp. 73.

(ms. pres. il 7 aprile 2008; ult. bozze il 15 maggio 2009)