

Influenza del clima sulla crescita del sughero in soprassuoli produttivi siciliani

Pizzurro GM*, Maetzke F

Dipartimento di Colture Arboree, Università degli Studi di Palermo, V.le delle Scienze, 90128 Palermo (PA, Italy) -
*Corresponding Author: Giuseppe Maria Pizzurro (giuseppemariapizzurro@unipa.it).

Abstract: *Climate effects on cork growth in Cork oak plantations in Sicily (Italy).* Cork oak (*Quercus suber* L.) is usually dominant in silvopastoral systems in many areas of Sicily, where the trees are debarked periodically for cork production. In spite of the importance of cork and cork oak stands in Sicilian forests and the potential economic scenarios, few research works have been carried out on these systems. Given the importance of cork thickness in cork quality evaluation, the main objective of this work is to study cork growth in cork oak productive stands spread on the north (Nebrodi Mountains) and south-east (Iblei Mountains) of Sicily. Image analysis techniques were used on cork surfaces of transverse sections of planks to measure cork rings. Dendrochronological analysis was applied to study annual fluctuation on rings growth in relation to various climate parameters in a cork cycle production. Results showed that rainfall, summer drought and temperature are determining factors in controlling cork growth. In siliceous areas of Nebrodi Mountains correlation between cork growth index and rainfall indicates that the rain period from May to September strongly influences phellogen activity. Temperature and water stress indices, on the other hand, show a negative correlation with cork growth. In clay and evolved soils of volcanic plateau of Iblei Mountains January precipitation shows a positive correlation with cork growth index. Also absolute minimum temperature in June and absolute maximum temperature in September show a positive correlation when temperature possibly has influence on phellogen activity during growing season.

Keywords: *Quercus suber* L., Growth, Phellogen, Climate, Dendrochronology, Image analysis

Received: Apr 10, 2008; Accepted: Dec 11, 2008

Citation: Pizzurro GM, Maetzke F, 2009. Influenza del clima sulla crescita del sughero in soprassuoli produttivi siciliani. *Forest@* 6: 107-119 [online: 2009-03-25] URL: <http://www.sisef.it/forest@/>.

Introduzione

Numerose ricerche condotte da diversi autori (Fahn 1962, Liphshitz & Lev-Uadum 1986) hanno fatto chiarezza sull'origine geografica e sul grado di adattamento ad ambienti a clima mediterraneo e temperato di molte specie forestali che producono anelli annuali di accrescimento legnoso, deducendo che l'attività cambiale può essere messa in relazione ai fattori climatici. Secondo Ephrat 1971 l'attività cambiale sarebbe fortemente controllata dalle temperature invernali e dalla siccità estiva. Fra le specie adatte al clima mediterraneo la quercia da sughero (*Quercus suber* L.), ben nota per la produzione di sughero formato in seguito all'attività del fellogeno o cambio subero-fellodermico, varia la sua attività

cambiale in relazione ai parametri climatici (Fahn 1962, Liphshitz & Lev-Uadum 1986). Così come l'attività cambiale di molte specie forestali, anche quella del fellogeno può essere messa in relazione ai fattori climatici e può essere studiata attraverso l'analisi degli anelli di accrescimento annuali del sughero che, risultando leggibili, sono considerati sorgente di informazione sui cambiamenti ambientali (Fritts 1976, Cook & Kairiukstis 1990). Fos & Barreno (1994) riportano per alcune sugherete spagnole che le differenze nello spessore degli anelli di accrescimento del sughero potrebbero essere legate all'esistenza di un periodo estivo secco. Secondo Caritat et al. (1996) le precipitazioni comprese tra novembre dell'anno precedente e giugno e/o settembre dell'anno successivo

assumono grande importanza nel determinare la crescita del sughero, mentre viceversa temperature elevate durante il periodo di attività vegetativa arrestano la crescita del sughero, ad eccezione di quelle dei mesi più freschi e dei mesi di aprile e settembre che svolgono possibilmente un'influenza determinante nell'attivazione del fellogeno.

Tuttavia, molto poco si conosce sui fattori che influenzano l'attività del fellogeno, contrariamente a quanto si conosce sul cambio vascolare e sui fattori che influenzano la sua attività (Philipson et al. 1971), sulla crescita e sulla fisiologia del sughero, sugli effetti dello stress dovuto all'estrazione (Fialho et al. 2001).

In Italia l'estrazione del sughero è regolamentata dalla legge n. 759 del 18 luglio 1956 "Coltivazione, difesa e sfruttamento della sughera" che risponde ad esigenze non solo di natura economica (turno di decortica) ma anche funzionale per la pianta. Infatti, l'estrazione del sughero determina una grande perdita di acqua dalla superficie decorticata (Natividade 1950) che, oltre a ridurre la crescita in diametro (Luque et al. 1999), può indurre *stress* addizionali per la pianta e una maggiore suscettibilità ad attacchi fungini (*Hypoxylon mediterraneum* Mill.), che aumentano in modo particolare in condizioni di stress idrico (Macara 1974, Luque et al. 1999).

Dopo la decortica l'attività del fellogeno e il tasso di accrescimento del sughero sono pronunciati nei primi 2-3 anni immediatamente successivi all'estrazione e decrescono nel tempo fino a livellarsi (Natividade 1950, Ferreira et al. 2000). Nell'ambito di tale *trend* decrescente, diversi fattori di natura climatica, ecologica, fitosanitaria e colturale possono determinare ulteriori variazioni del tasso di accrescimento e, conseguentemente, dello spessore degli anelli suberosi (Costa et al. 2001).

Malgrado l'importanza economica della specie nell'ambito dei soprassuoli forestali produttivi siciliani, nel corso degli anni nessuna ricerca è stata condotta sulla dinamica di accrescimento del sughero in Sicilia.

Alla luce di tali considerazioni, l'obiettivo di questo lavoro è stato quello di caratterizzare la crescita del sughero, usando un approccio dendrocronologico, la relativa variazione interannuale ed i fattori climatici, in termini di precipitazioni e temperature, che maggiormente influenzano l'attività del fellogeno durante un ciclo di produzione completo in alcune sugherete produttive della Sicilia.

A tal fine è stata condotta una analisi di correlazione semplice valutando separatamente l'effetto delle

precipitazioni, delle temperature e quello combinato delle precipitazioni e delle temperature, espresso mediante specifici indici climatici, sulla crescita del sughero.

Le aree di studio sono state scelte all'interno dei più importanti complessi subericoli produttivi siciliani, ovverosia all'interno del Parco regionale dei Nebrodi e sui Monti Iblei, rispettivamente nella parte settentrionale e Sud-orientale dell'Isola.

Le motivazioni che stanno alla base di questo lavoro sono da ricercarsi nell'importanza dello studio della crescita del sughero, direttamente legata alla produttività, per la definizione della qualità commerciale del sughero (Martínez 2000, Pizzurro 2005, Pizzurro & La Mantia 2007) fortemente dipendente dallo spessore idoneo per la realizzazione dei tappi destinati all'imbottigliamento.

I risultati del lavoro potrebbero fornire utili indicazioni nella gestione selvicolturale delle sugherete produttive oggetto di studio per le implicazioni inerenti la durata del ciclo di produzione del sughero che è direttamente legato all'ottenimento di plance di spessore adatto alla trasformazione industriale.

Materiali e metodi

Descrizione delle aree di studio

Nebrodi

Le aree di studio individuate all'interno del Parco regionale dei Nebrodi sono localizzate nella sughereta di contrada "Agnello". Da un punto di vista geologico ricadono all'interno di *facies* in prevalenza arenacee di formazioni flyscioidi (Catalano et al. 1978). I suoli, secondo la classificazione USDA della "Soil Taxonomy", appartengono all'associazione dei *Typic Xerochrepts* (suoli Bruni) e presentano un profilo del tipo A_p-Bw-C o A-Bw-C mediamente profondo (Fierotti 1988, Fierotti 1997) e reazione sub-acida o acida. La tessitura si presenta franca o franco-argillosa o argilloso-franca e il drenaggio è buono.

Secondo la classificazione di Rivas Martinez le aree di studio rientrano nella fascia termomediterranea subumida (Cartabellotta et al. 1998). La piovosità media annua è di 875.4 mm. Le precipitazioni risultano concentrate nei mesi autunnali e invernali (da ottobre a marzo), mentre diminuiscono notevolmente, divenendo sporadiche, nei mesi primaverili ed estivi (da aprile a settembre). Il mese più piovoso è dicembre (115.7 mm), mentre quello più arido è luglio (14.8 mm).

La temperatura media annua è di 16.2 °C.

Da un punto di vista selvicolturale, i sistemi forestali a sughera dell'area di studio sono caratterizzati da una struttura irregolare la cui origine è riconducibile a una forma di rinnovazione agamica. Si tratta di formazioni pure coetanee che oggi sono regolarmente utilizzate con turni di 9-12 anni per la produzione di sughero.

Iblei

Le aree di studio ricadenti sugli Iblei sono localizzate all'interno del Bosco Pisano, in contrada "Cava". Da un punto di vista geologico, la stratigrafia è caratterizzata da strati carbonatici di origine sedimentaria, sormontati da cuscinetti di vulcaniti riferibili al tardo pliocene e al pleistocene inferiore (Carbone & Lentini 1982, Lentini 1986, Carbone et al. 1987).

I suoli, a pH neutro (6.9), secondo la classificazione USDA della "Soil Taxonomy", appartengono all'associazione degli *Andic Xerochrepts* (suoli Bruni andici) (Fierotti 1988, Fierotti 1997) e presentano un profilo del tipo A-B_w-C, con una buona profondità (50-60 cm).

Si tratta di suoli evoluti, tipicamente argillosi (Adorni et al. 1993). L'orizzonte A è ricco di allofane, un alluminosilicato che, legandosi con la parte organica del suolo e formando complessi organo-minerari, conferisce al suolo buona porosità e buona capacità di ritenzione idrica (Fierotti 1988, Fierotti 1997). A testimonianza dell'elevata capacità di ritenzione idrica di questi suoli Adorni et al. (1993) riportano per l'area in esame valori del coefficiente d'infiltrazione efficace pari a 0.61 e del coefficiente di ruscellamento pari a 0.39.

Secondo la classificazione di Rivas Martinez le aree di studio rientrano nella fascia termomediterranea subumida (Cartabellotta et al. 1998).

La piovosità media annua è di 586.4 mm. Le precipitazioni risultano concentrate prevalentemente nella stagione autunnale, cui seguono quelle invernali. Diminuiscono notevolmente nelle stagioni primaverili (poco più di 65 mm) ed estive (poco meno di 65 mm), risultando addirittura inferiori rispetto alla soglia limite di precipitazioni estive (150-200 mm) riportata in letteratura per la specie (Natividade 1950). Il mese più piovoso è ottobre (114.24 mm), mentre quello più arido è luglio (5.84 mm). La temperatura media annua è di 18.8 °C.

Da un punto di vista selvicolturale, i sistemi forestali a sughera dell'area di studio sono caratterizzati da una struttura irregolare derivante da una progressiva attività di ceduzione e attualmente tali sugherete

sono regolarmente utilizzate con turni di 9 anni per la produzione di sughero.

Metodi

Al fine di minimizzare l'effetto di variabili incontrollate sull'accrescimento degli anelli suberosi all'interno delle formazioni forestali dei Nebrodi e degli Iblei sono stati individuati dei popolamenti rispondenti ai seguenti requisiti:

- composizione specifica pura (almeno il 95%), al fine di limitare gli effetti della competizione intraspecifica (Neumann & Starlinger 2001);
- età comparabile, al fine di evitare l'interferenza della diversa età sulla crescita del sughero, poiché il tasso di accrescimento si riduce e la qualità del sughero decade all'aumentare dell'età della pianta (Natividade 1950);
- assenza di attacchi parassitari, di insetti defogliatori e di danni da incendio comportanti uno stato di deperimento con diretti riflessi sull'accrescimento delle cerchie legnose e suberose delle piante (Magnoler & Cambini 1968a, Magnoler & Cambini 1968b, Magnoler & Cambini 1969, Cambini 1972, Cambini 1973a, Cambini 1973b, Cambini 1974, Cambini 1975);
- estensione dell'area non inferiore ad 1 ha e distanza dalle linee di viabilità di almeno 20 m, per evitare l'effetto bordo;
- utilizzazione successiva per almeno tre turni di decortica, al fine di ottenere sughero gentile di qualità commerciale (Colagrande 1996), e sughero in pianta con spessore commerciabile.

Nell'ambito di tali popolamenti sono state materializzate 5 aree di saggio a carattere permanente di cui 3 ubicate all'interno del Parco regionale dei Nebrodi

Tab. 1 - Caratteristiche generali delle aree di saggio.

Parametro	Area di produzione				
	Nebrodi			Iblei	
Area di saggio	A	B	C	D	E
Densità (N°/ha)	190	518	311	237	260
Età (anni)		70		90	
Turno di decortica (anni)		12		9	
Range altitudinale (m s.l.m)	351-375	339-362	224-287	484-525	488-515
Esposizione del versante	NE	NE	NW	SSW	SSW
Pendenza del versante (%)	15	23	17	13	18



Fig. 1 - Sezione trasversale di una plancia di sughero idonea alla lettura e alla misurazione dello spessore degli anelli.

(aree A, B e C) e 2 sui Monti Iblei (aree D ed E).

Le caratteristiche generali delle aree di saggio sono riportate in Tab. 1.

Seguendo la metodologia di campionamento delle piante e del sughero in pianta adottata da Caritat et al. (1996), Ferreira et al. (2000) e da Costa et al. (2001, 2003) all'interno di ciascuna area di saggio sono state campionate casualmente 35-55 piante, avendo cura di scegliere solo piante in buone condizioni fitosanitarie, con fusto diritto e chioma non danneggiata. Da ogni pianta campione è stata prelevata, in maniera sistematica e nell'arco di pochi giorni, una plancia di sughero delle dimensioni di 35x35 cm, ad una altezza di 1.30 m da terra ed esposta secondo la direzione nord. In presenza di più polloni per ceppaia la plancia di sughero è stata prelevata dal pollone di maggiori dimensioni diametriche.

La preparazione dei campioni da sottoporre ad analisi ha avuto inizio con la stagionatura delle plance di sughero poste nelle stesse condizioni ambientali per un periodo di 5 mesi, a seguito della quale da ciascuna plancia è stata prelevata una banda di sughero secondo una sezione trasversale di taglio. Questa è stata levigata nella sua parte superiore con carta abrasiva a grana progressivamente più fine (P 100, 250, 400 e 600) e ripulita delle polveri con getti di aria in pressione, fino ad ottenere una superficie perfettamente liscia, idonea alla lettura e alla misurazione dello spessore degli anelli (Gonzales-Adrados & Pereira 1996, Pereira et al. 1996, Gonzales-Adrados et al. 2000 - Fig. 1).

Gli accrescimenti del sughero sono stati misurati su sughero crudo seguendo la metodologia di analisi di immagine sviluppata dal Dipartimento di Ingegneria Forestale dell'Istituto Superiore di Agronomia di Lisbona (Lopes & Pereira 1994, Pereira et al. 1996). A tal fine è stato attrezzato un sistema di analisi di immagine composto da un *personal computer* con processore Pentium 4 con 2 Gb di RAM e da un *software* di analisi di immagine, SIGMA SCAN PRO 5. Per ciascun campione l'immagine è stata acquisita a colori attra-

verso uno scanner laser ad una risoluzione di 400 dpi, che ha consentito di ottenere un buon compromesso fra facilità di gestione del file e qualità dell'immagine, ed è avvenuta contemporaneamente per tutti i campioni, al fine di renderli omogenei per durata della stagionatura e per conseguenti variazioni dimensionali.

Inizialmente è stato misurato lo spessore delle plance di sughero, espresso in mm, mediando i valori di spessore misurati con calibro decimale ad 1/3, a metà e a 2/3 della lunghezza della plancia. Tale procedura si è resa necessaria a causa della variabilità dello spessore lungo la lunghezza della plancia (Pereira et al. 1996). Al fine di evidenziare possibili differenze statisticamente significative dello spessore del sughero fra le due aree di produzione è stata condotta l'analisi della varianza usando il test F di Fisher-Snedecor ($p < 0.05$) (Soliani 2005).

Successivamente è stata calcolata la cronologia individuale di ogni singola pianta, ossia la curva di accrescimento anulare del sughero in pianta, mediando un numero minimo di 3 serie o cronologie elementari. In tale sede, per serie o cronologia elementare è stata intesa una misura dello spessore degli anelli di accrescimento espressa in mm (Fritts 1976) eseguita sul campione di sughero secondo la direzione radiale di crescita (Ferreira et al. 2000).

Solo per i campioni che si prestavano alla lettura degli anelli di accrescimento, e utilizzando gli anelli larghi e stretti come marcatori per identificare eventuali falsi anelli, si è proceduto al conteggio e alla misura dello spessore degli anelli completi di crescita del sughero con una precisione di 0.1 mm (Caritat et al. 1996).

Successivamente ciascun anello è stato datato attribuendogli l'anno esatto della sua formazione mediante l'operazione di sincronizzazione (Douglass 1941, Fritts 1976, Caritat et al. 1996) che ha permesso di verificare la validità delle cronologie ottenute dalla misurazione degli anelli e di individuare errori nel riconoscimento degli anelli e/o eventuali anomalie di

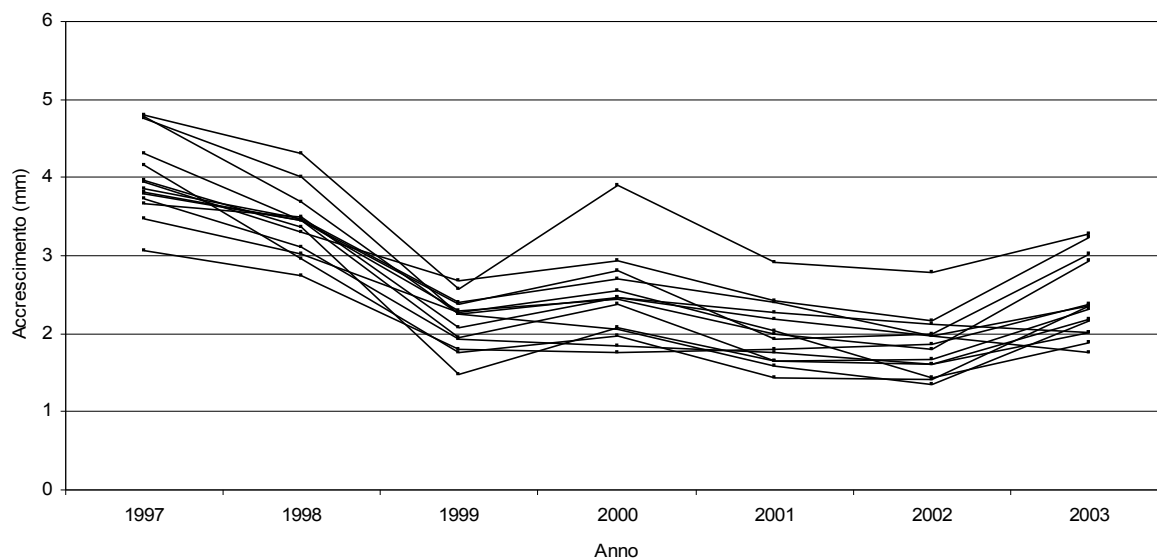


Fig. 2 - Cronologie individuali dell'area D utilizzate per la costruzione della cronologia di sintesi degli Iblei.

crescita del sughero in pianta. L'interdatazione si basa sull'evidenza che piante che vivono in condizioni simili tendono a registrare in modo analogo, attraverso lo spessore degli anelli, le risposte ai fattori ambientali (Fritts 1976). La sincronizzazione di serie diverse indica, quindi, la presenza di segnali climatici comuni tra gli individui campionati, la cui individuazione risulta ulteriormente facilitata se i fattori agenti sono limitanti (Fritts 1976). In Fig. 2 si riporta un grafico che evidenzia la corrispondenza degli accrescimenti anulari tra cronologie individuali (area di saggio D, Iblei). Dopo una preliminare sincronizzazione visiva, le cronologie individuali (curve di accrescimento anulare del sughero in pianta) che hanno mostrato un coefficiente di correlazione di Pearson (r) statisticamente significativo ($p < 0.05$) sono state mediate per costruire la cronologia di sintesi (o cronologia media), ossia la curva dello spessore medio degli anelli di accrescimento del sughero relativo a ciascuna area di produzione (Cook & Kairiukstis 1990, Caritat et al. 1996, Costa et al. 2001).

In analogia con gli studi di dendrocronologia classica (Fritts 1976), la cronologia di sintesi riduce al minimo l'influenza delle caratteristiche delle singole piante e/o delle variazioni indotte dalla combinazione di fattori endogeni e esogeni (genotipo, età, numero di decortiche subite, condizioni microstazionali, concorrenza intra- e interspecifica) sull'accrescimento medio del sughero delle piante nella stazione considerata, registrate piuttosto dalle cronologie individuali.

Il numero delle serie elementari, individuali e di sintesi distinte per area di saggio e per area di pro-

duzione è stato riportato in Tab. 2.

Poiché le cronologie individuali dello spessore degli anelli di sughero mostrano un *trend* decrescente all'aumentare dell'età (Natividade 1950, Magnoler 1987, Caritat et al. 1996), per diminuire questo effetto e massimizzare la fluttuazione interannuale della crescita dovuta al clima, ciascuna di essa è stata standardizzata usando la funzione più rappresentativa dell'andamento generale della curva di accrescimento del sughero (Caritat et al. 1996, Caritat et al. 2000), descritta da Warren (1980):

$$Y_t = at^b e^{-ct} E_T$$

$$Y_t = \hat{Y}_t E_t$$

Tab. 2 - Numero delle serie elementari (misura dello spessore degli anelli di accrescimento secondo la direzione radiale), individuali (curva di crescita anulare del sughero in pianta ottenuta mediando due o più cronologie elementari) e di sintesi (curva dello spessore medio degli anelli di accrescimento del sughero per area di produzione) per area di produzione e area di saggio.

Area di produzione	Area di saggio	Numero delle serie		
		elementari	individuali	di sintesi
Nebrodi	A	98	29	1
	B	64	17	
	C	41	10	
	Totale	203	56	
Iblei	D	52	15	1
	E	107	28	
	Totale	159	43	

dove Y_t è la misura dello spessore dell'anello, \hat{Y}_t è il valore stimato dell'accrescimento e E_t è il residuo, chiamato negli studi dendrocronologici indice di crescita.

Sostanzialmente con la standardizzazione le ampiezze anulari misurate sono state convertite in indici (Fritts 1976, Martínez 2000). La serie standardizzata dell'indice di crescita è stata assunta essere costante rispetto alla media e alla varianza (Caritat et al. 1996, Caritat et al. 2000, Costa et al. 2001, Costa et al. 2003), consentendo così un confronto fra individui con tassi di crescita decrescenti all'aumentare dell'età e/o influenzati da eventuali variabili non considerate in fase di campionamento (Fritts 1976).

L'influenza dei fattori climatici (temperature e precipitazioni) sulla crescita del sughero è stata analizzata mediante l'analisi di correlazione di Pearson (r) fra l'indice di crescita E_t e alcuni parametri climatici (Caritat et al. 1996, Caritat et al. 2000, Martínez 2000, Costa et al. 2001, Costa et al. 2002, Costa et al. 2003), distinguendo i dati per area di produzione.

Analogamente a quanto fatto da Caritat et al. (1996) è stata condotta una analisi di correlazione semplice valutando separatamente l'effetto delle precipitazioni, delle temperature e quello combinato delle precipitazioni e delle temperature, espresso mediante specifici indici climatici, sulla crescita del sughero. L'approccio metodologico è simile a quello adottato anche da Caritat et al. (2000) e da Costa et al. (2002, 2003) per lo studio degli effetti del clima sull'indice di crescita del sughero e sull'incremento diametrico durante un ciclo di produzione di sughero rispettivamente di 10 e di 8 anni, in sugherete del sud-ovest della Spagna, del centro-sud Italia e del sud-ovest del Portogallo.

Per la caratterizzazione climatica delle aree di studio sono stati considerati i dati riportati sugli Annali del Servizio Idrografico del Ministero dei Lavori Pubblici.

La limitata disponibilità di stazioni climatiche rappresenta un limite nelle ricerche dendroclimatiche. Tuttavia, tale problema può essere facilmente superato utilizzando serie climatiche di stazioni poste anche ad una certa distanza dal sito di campionamento, ottenendo risultati comunque soddisfacenti (Nola 1995). Infatti, non sempre i dati delle stazioni più prossime al punto di osservazione sono necessariamente più correlate ai dati di accrescimento, specialmente in ambiente mediterraneo, caratterizzato da una spiccata variabilità ambientale (Serre-Bachet 1982).

Nello specifico per l'area di produzione dei Nebro-

di sono stati considerati i dati termopluviometrici della stazione di San Fratello (Lat. 38.01, Lon. 2.09; Alt. 690 m s.l.m.) relativi ad un periodo di osservazione di 10 anni (1994-2003), mentre per quella degli Iblei sono stati considerati i dati di precipitazione disponibili relativi alla stazione pluviometrica di Francofonte (Lat. 37.14, Lon. 2.26, Alt. 281 m s.l.m.), per un periodo di osservazione di 7 anni (1997-2003), e i dati termopluviometrici della stazione di Lentini (Lat. 37.17, Lon. 2.33, Alt. 43 m s.l.m.).

Sono stati calcolati i seguenti parametri climatici:

- le precipitazioni annue (P) e mensili (P1, 2, 3, ..., 11, 12);
- le precipitazioni massime (Pmax) e minime mensili (Pmin);
- le precipitazioni cumulate durante periodi selezionati: gennaio-giugno (P1-6), febbraio-aprile (P2-4), marzo-giugno (P3-6), maggio-settembre (P5-9), giugno-settembre (P6-9), novembre-giugno (P11-6), novembre-luglio (P11-7), novembre-settembre (P11-9), ottobre-giugno (P10-6), ottobre-settembre (P10-9), ottobre-dicembre (P10-12);
- la temperatura media annua (Tma) e media mensile (Tm1, Tm2, ..., Tm11, Tm12);
- le temperature massime (Tmax) e minime assolute (Tmin);
- le temperature mensili medie massime (Tm1-max, Tm2-max, ..., Tm12-max) e medie minime (Tm1-min, Tm2-min, ..., Tm12-min);
- le temperature massime del mese più caldo (TmaxC) e minime del mese più freddo (TminF);
- le temperature medie del mese più caldo (TmC) e del mese più freddo (TmF);
- le temperature medie durante periodi selezionati: gennaio-giugno (T1-6), febbraio-aprile (T2-4), marzo-giugno (T3-6), maggio-settembre (T5-9), giugno-settembre (T6-9), novembre-giugno (T11-6), novembre-luglio (T11-7), novembre-settembre (T11-9), ottobre-giugno (T10-6), ottobre-settembre (T10-9), ottobre-dicembre (T10-12).

Per il calcolo delle temperature medie e delle precipitazioni cumulate sono stati considerati alcuni periodi compresi tra il mese di ottobre dell'anno precedente e quello di settembre dell'anno contemporaneo alla formazione dell'anello (Caritat et al. 1996, Caritat et al. 2000, Costa et al. 2001, Costa et al. 2003). Questo periodo, che coincide con l'anno biologico, è adottato classicamente nelle analisi delle relazioni clima/accrescimento per le formazioni forestali delle regioni mediterranee (Guiot 1981, Serre-Bachet 1982, Tessier 1982, Nola 1991, Martinelli et al. 1994, Carrer 1997, Garfi 2000).

Tab. 3 - Incremento corrente, medio annuo e cumulato del sughero per area di produzione. (n): numero di piante; (ds): deviazione standard.

Anno	Nebrodi (n=55)		Iblei (n=43)	
	Incremento corrente (mm)			
	media	ds	media	ds
1994	4.46	1.60	-	-
1995	3.49	1.29	-	-
1996	3.37	1.45	-	-
1997	2.98	0.95	4.63	1.00
1998	2.49	0.90	4.21	1.12
1999	2.43	1.05	2.88	0.96
2000	1.95	0.71	2.92	0.80
2001	1.68	0.61	2.36	0.62
2002	1.72	0.58	1.96	0.48
2003	1.45	0.49	2.28	0.52
Incremento medio annuo (mm)	2.60	0.38	3.03	0.25
Incremento cumulato (mm)	26.02	-	21.24	-

Per ogni singolo anno di osservazione sono stati calcolati, inoltre:

- l'indice termopluviometrico o pluviometro di Lang $R = P/Tm$, l'indice di aridità $Ia = P/(Tm + 10)$ di De Martonne (1927) e il quoziente pluviometrico $Q = 100*(P/(T^2 + t^2))$ di Emberger (1930), attribuendo a P il valore delle precipitazioni annue espresse in mm, a Tm quello della temperatura media annua espressa in gradi Celsius (°C), a T quello della media mensile delle temperature massime nel mese più caldo (°C) e a t quello della media mensile delle temperature minime nel mese più freddo (°C);
- l'indice di stress idrico $DS = 2*(50-p)$ e termico $CS = 8*(10-t)$ di Mitrakos (Mitrakos 1980, Mitrakos 1982) attribuendo a p il valore delle precipitazioni mensili (mm) e a t quello delle temperature minime medie (°C);
- l'indice di xericità o di secchezza $S = PE / TmC$ di Emberger (1955), attribuendo a PE il valore delle precipitazioni estive (mm) e a TmC quello della media delle temperature del mese più caldo (°C);
- alcuni indici climatici basati sul rapporto tra precipitazioni e temperature con effetto positivo/negativo sulla crescita (Caritat et al. 1996, Caritat et al. 2000, Costa et al. 2001, Costa et al. 2003) o sulla combinazione dei precedenti parametri climatici sopra elencati.

Risultati e discussioni

Per l'area dei Nebrodi lo spessore medio della plancia ammonta a 26.02 mm, il range di variabilità dell'accrescimento annuale degli anelli di sughero,

per una durata del turno pari a 12 anni e un numero di anelli misurabili pari a 10, è compreso fra 4.46 e 1.45 mm, con un valore medio di 2.6 mm (Tab. 3). Per l'area degli Iblei lo spessore medio della plancia ammonta a 21.24 mm, il range di variabilità dell'accrescimento annuale degli anelli di sughero, per una durata del turno pari a 9 anni e un numero di anelli misurabili pari a 7, è compreso fra 4.63 e 1.96 mm, con un valore medio di 3.03 mm. L'analisi della varianza non ha evidenziato differenze statisticamente significative dello spessore del sughero tra le aree di produ-

zione. Tuttavia, poiché per l'area degli Iblei è stato considerato, nel calcolo dello spessore, un minor numero di anelli di accrescimento rispetto a quello per i Nebrodi ed è stato registrato un valore più elevato dell'incremento medio annuo è possibile ipotizzare che le differenze di spessore tra le due aree sarebbero state più marcate a parità di turno di decortica.

Per entrambe le aree lo spessore del sughero non è risultato idoneo al processo di trasformazione industriale del prodotto grezzo in tappi monopezzo, che richiede sugheri con spessore minimo di 27 mm. I valori di accrescimento misurati sono risultati più bassi rispetto a quelli riportati da Natividade (1950) e da Costa et al. (2002) per alcune sugherete rispettivamente dell'area meridionale e centro-occidentale del Portogallo. Per ottimizzare il ciclo di produzione, pertanto, sarebbe auspicabile il prolungamento del turno di decortica.

Per entrambe le aree l'incremento corrente ha mostrato un generale *trend* decrescente con il passare del tempo a partire dall'anno di decortica con differenze tra gli accrescimenti annuali che si fanno via via sempre meno marcate (Tab. 3). I primi anelli di accrescimento presentano un valore maggiore di spessore mentre gli ultimi presentano valori più ridotti. Analogamente a quanto riportato in letteratura (Natividade 1950, Magnoler 1987, Martínez 2000), nell'ambito di tale *trend* decrescente è visibile una notevole irregolarità nell'andamento dell'incremento corrente, non sempre decrescente passando da un anno all'altro.

Con la standardizzazione delle cronologie indivi-

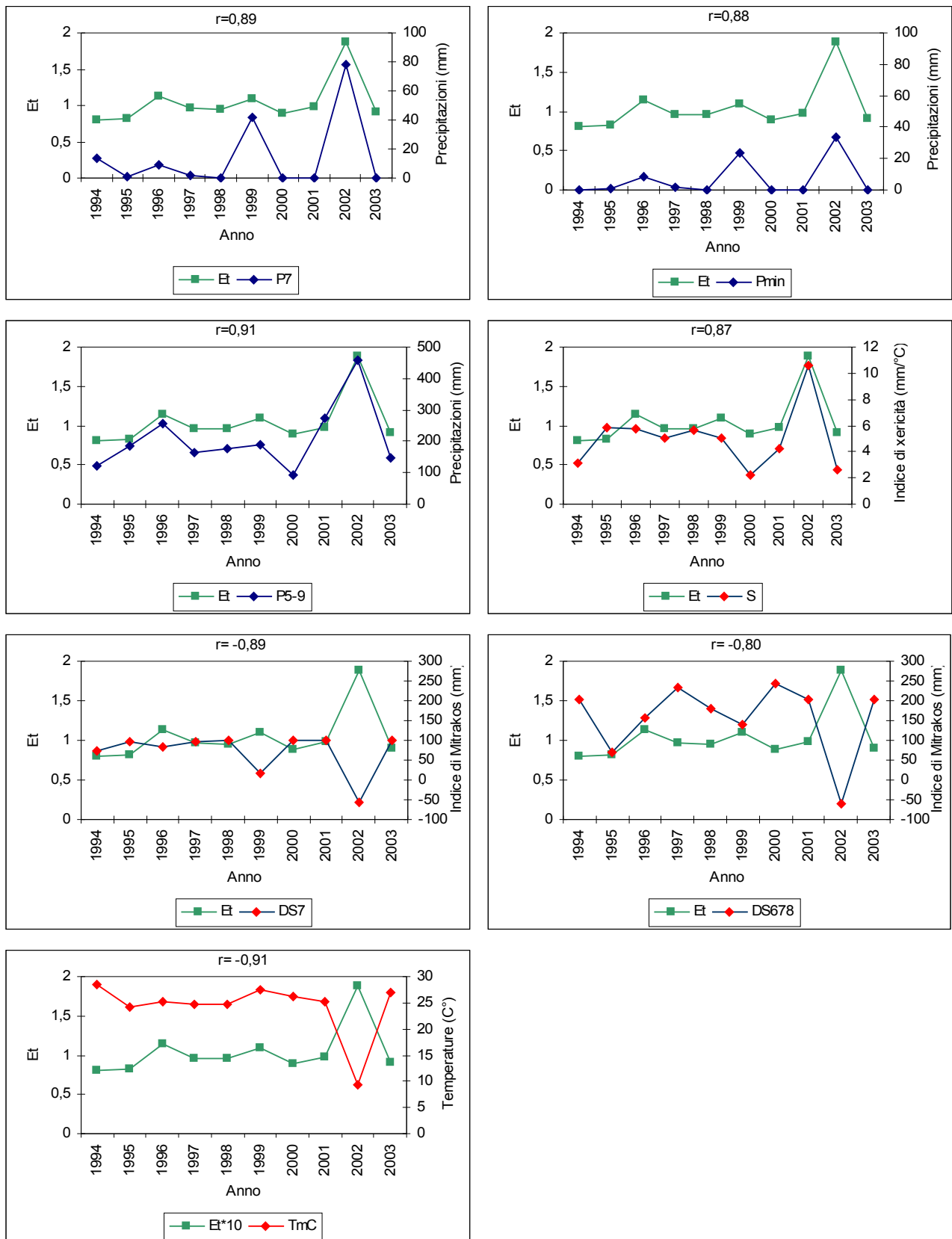


Fig. 3 - Relazione tra l'indice di crescita del sughero e gli indici climatici correlati in maniera statisticamente significativa ($p<0.05$) con Et per l'area dei Nebrodi.

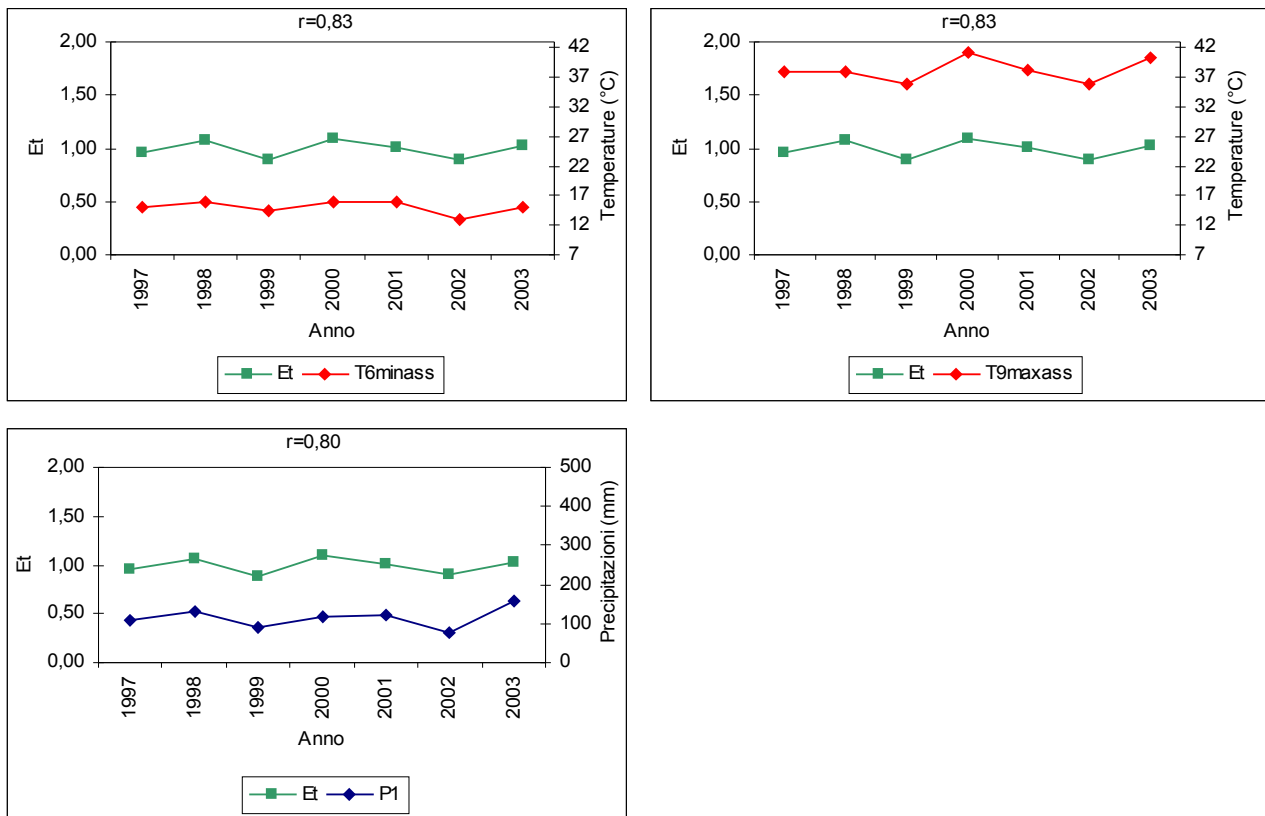


Fig. 4 - Relazione tra l'indice di crescita del sughero e gli indici climatici correlati in maniera statisticamente significativa ($p < 0.05$) con E_t per l'area degli Iblei.

duali, per l'area dei Nebrodi, su suoli di natura silicea, sono state osservate correlazioni positive, elevate e statisticamente significative ($p < 0.05$) fra E_t e alcuni parametri climatici relativi al periodo di attività vegetativa quali le precipitazioni del mese di luglio ($P7$), quelle minime mensili (P_{min}) riscontrate durante ciascun anno, quelle cumulate da maggio a settembre ($P5-9$), l'indice di xericità o di secchezza di Emberger (S), mentre correlazioni elevate e negative sono state osservate con l'indice di stress idrico di Mitrakos del mese di luglio ($DS7$) ed estivo ($DS678$) e con le temperature minime del mese più caldo (T_{mc} - Fig. 3).

Ne consegue che le precipitazioni relative al periodo di attività vegetativa presentano un effetto prevalente sull'attività del fellogeno rispetto a quelle del periodo di riposo vegetativo.

Così come riportato da Tessier (1986) e Gutierrez (1988) tali risposte sono tipiche della crescita di molte specie in ambiente mediterraneo. Durante la stagione secca, infatti, un aumento delle precipitazioni assieme ad un abbassamento delle temperature possono avere un effetto sinergico sull'attività del fellogeno. Inoltre, in accordo con Natividade (1950) l'ana-

lisi suggerisce che la specie è sensibile alla siccità durante il periodo estivo.

Graficamente è possibile osservare che l'andamento dell'indice di crescita nel tempo riflette all'incirca quello dei parametri climatici relativi alle precipitazioni che hanno mostrato un valore positivo ed elevato del coefficiente di correlazione con E_t (Fig. 3).

Valori elevati di E_t sono stati osservati negli anni 1996, 1999 e 2002 in corrispondenza di cui sono stati registrati valori elevati delle precipitazioni del mese di luglio, di quelle cumulate da maggio a settembre e di quelle minime.

La temperatura minima registrata nel mese più caldo mostra un andamento quasi speculare rispetto a quello dell'indice di crescita (Fig. 3). In particolare nell'anno 2002 in corrispondenza di una diminuzione della temperatura minima del mese più caldo si è verificato un aumento di E_t . Analogamente a quanto osservato da Caritat et al. (1997) in sugherete del sud-est della Spagna (Extremadura), temperature ambientali relativamente più basse durante il periodo di attività vegetativa sono state più favorevoli alla crescita del sughero rispetto a temperature più elevate.

Le precipitazioni e le temperature ben correlate con E_t si sono verificate durante il periodo di attività vegetativa, presentando un effetto di tipo immediato sulla crescita del sughero. Tra gli indici termopluviometrici appare netta la distinzione tra l'indice di xericità o di secchezza di Emberger (S), correlato positivamente con E_v , e quelli correlati negativamente, come l'indice di stress idrico di Mitrakos del mese di giugno e quello dei mesi estivi (Fig. 3).

Per l'area degli Iblei, su suoli argillosi ed evoluti derivati da substrati di natura vulcanica, sono state osservate correlazioni positive, elevate e statisticamente significative ($p < 0.05$) fra E_t e le precipitazioni del mese di gennaio relative alla stazione pluviometrica di Francofonte e fra E_t e le temperature massime assolute del mese di settembre e minime assolute del mese di giugno relative alla stazione termopluviometrica di Lentini (Fig. 4).

Graficamente, l'andamento dell'indice di crescita nel tempo riflette quello delle precipitazioni del mese di gennaio. In particolare E_t ha mostrato valori elevati negli anni 1998 e 2003 in corrispondenza di cui sono stati registrati valori elevati di precipitazione del mese di gennaio.

A differenza di quanto avviene per l'area dei Nebrodi le precipitazioni correlate con E_v , sono quelle che si verificano durante il periodo di riposo vegetativo, presentando unicamente un effetto differito nel tempo sulla crescita del sughero.

Nell'area degli Iblei, nonostante si registrino scarse precipitazioni primaverili ed estive (130 mm), addirittura inferiori rispetto alla soglia limite di precipitazioni estive (150-200 mm) riportata in letteratura per la specie (Natividade 1950), la specie riesce a vegetare possibilmente a causa delle precipitazioni che si verificano durante il periodo invernale e vengono immagazzinate nel suolo grazie alle sue caratteristiche, quali elevata capacità di ritenzione idrica ma al tempo stesso la buona porosità dei suoli (Fierotti 1988, Adorni et al. 1993). Di fatto le precipitazioni del mese di gennaio verrebbero immagazzinate nel suolo e utilizzate dalle piante durante il periodo di attività vegetativa.

Tra i parametri climatici relativi alle temperature, l'andamento di E_t nel tempo riflette quello della temperatura minima assoluta del mese di giugno e della temperatura massima assoluta del mese di settembre (Fig. 4). L'aumento di tali valori accompagna quello dell'indice di crescita.

Contrariamente a quanto osservato per l'area dei Nebrodi e analogamente a quanto rilevato da Caritat et al. (1996) in sugherete del sud-ovest della Spagna

non sono state trovate correlazioni negative con le temperature dei mesi più caldi, mentre temperature ambientali relativamente più alte durante i mesi più freschi (giugno e settembre) della stagione estiva hanno influenzato positivamente l'attività del fellogeno, presentando effetto immediato sulla crescita del sughero.

Conclusioni

L'analisi dell'incremento corrente del sughero in pianta secondo un approccio dendrocronologico in sugherete mature delle aree dei Nebrodi e degli Iblei ha evidenziato che l'attività cambiale del fellogeno è sensibile ai fattori climatici (precipitazioni e temperature), confermando i risultati ottenuti da Caritat et al. (Caritat et al. 1996, Caritat et al. 1997, Caritat et al. 2000), Costa et al. (Costa et al. 2001, Costa et al. 2003) e Martínez 2000. L'incremento corrente del sughero ha mostrato un generale *trend* decrescente nel tempo e una notevole irregolarità legata alle variazioni interannuali del clima. Le serie anulari di accrescimento del sughero sono state influenzate fortemente dalle precipitazioni.

Le precipitazioni hanno avuto esclusivamente un effetto differito nel tempo sulla crescita del sughero per l'area degli Iblei, caratterizzata da suoli ad elevata capacità di ritenzione idrica (suoli argillosi ed evoluti derivanti da substrati di natura vulcanica), mentre per l'area dei Nebrodi, su suoli sciolti (suoli di natura silicea), hanno avuto un effetto di breve termine. In quest'ultimo caso, il periodo delle piogge che ha maggiormente influenzato l'attività del fellogeno è risultato quello compreso tra maggio e settembre. Le precipitazioni hanno assunto una positiva influenza sull'attività del fellogeno mentre la siccità estiva assurge a fattore limitante, come rilevato dalla correlazione elevata e negativa tra l'indice di crescita del sughero e l'indice di stress idrico di Mitrakos del mese di luglio ed estivo.

Anche le temperature hanno influenzato la crescita del sughero. In particolare, per l'area degli Iblei temperature ambientali relativamente più alte durante i mesi più freschi dell'estate (giugno e settembre) sono state le uniche variabili climatiche relative al periodo di attività vegetativa correlate all'indice di crescita del sughero, presentando effetto di tipo immediato. Per l'area dei Nebrodi su suoli sciolti, invece, temperature ambientali più basse combinate a precipitazioni di maggiore entità durante il periodo di attività vegetativa hanno avuto una maggiore influenza sull'attività del fellogeno.

In ultimo, considerato che lo spessore del sughero

relativo a un intero ciclo produzione per entrambe le aree di produzione non è risultato idoneo al processo di trasformazione industriale del prodotto grezzo in tappi mono pezzo, i risultati di questo studio potrebbero fornire indicazioni utili per l'individuazione del turno di decortica ottimale in linea con una corretta gestione selvicolturale, evidenziando la necessità di allungare il turno minimo di decortica.

Ringraziamenti

Si ringrazia la Prof.ssa Helena Pereira del Dipartimento di Ingegneria Forestale dell'Università di Lisbona per i suggerimenti sull'approccio metodologico adottato e il Prof. Tommaso La Mantia del Dipartimento di Colture Arboree dell'Università di Palermo per gli utili consigli. Il lavoro è stato svolto nell'ambito del Dottorato di Ricerca in Funzionamento dei Sistemi Colturali e Meccanismi Regolatori della Qualità dei Frutti presso il Dipartimento di Colture Arboree dell'Università di Palermo.

Bibliografia

- Adorni F, Aureli A, Bellardita C, Fazio F (1993). Valutazione dell'infiltrazione efficace nell'alimentazione degli acquiferi del settore Nord-Orientale Ibleo. Atti del 2° Convegno Internazionale di Geoidrologia, Firenze: 525-536.
- Cambini A (1972). Effetti delle defogliazioni causate dagli insetti sull'accrescimento e sull'istogenesi della quercia da sughero (*Quercus suber* L.). I. Indagini anatomo-istologiche sulla cerchia legnosa. Memoria n. 33, Stazione Sperimentale del Sughero, Tempio Pausania (OT).
- Cambini A (1973a). Effetti delle defogliazioni causate dagli insetti sull'accrescimento e sull'istogenesi della quercia da sughero (*Quercus suber* L.). II. Indagini anatomo-istologiche sulla cerchia sugherosa. Memoria n. 36, Stazione Sperimentale del Sughero, Tempio Pausania (OT).
- Cambini A (1973b). Effetti delle defogliazioni causate dagli insetti sull'accrescimento e sull'istogenesi della quercia da sughero (*Quercus suber* L.). III. Indagini sulle caratteristiche morfologiche e dimensionali delle fibre legnose. Memoria n. 38, Stazione Sperimentale del Sughero, Tempio Pausania (OT).
- Cambini A (1974). Effetti della defogliazione anticipata sull'accrescimento della quercia da sughero (*Quercus suber* L.). Memoria n. 39, Stazione Sperimentale del Sughero, Tempio Pausania (OT).
- Cambini A (1975). Effetti delle defogliazioni singole e duplici sull'accrescimento della quercia da sughero (*Quercus suber* L.). Memoria n. 42, Stazione Sperimentale del Sughero, Tempio Pausania (OT).
- Carbone S, Lentini F (1982). Caratteri deposizionali delle vulcaniti del Miocene superiore negli Iblei (Sicilia sud-orientale). *Geologia Romana* 20: 79-101.
- Carbone S, Grasso M, Lentini F (1987). Carta Geologica della Sicilia Sud-Orientale, scala 1:100.000. In: "Lineamenti geologici del Plateau Ibleo (Sicilia S.E.)", Presentazione delle carte geologiche della Sicilia Sud-Orientale. *Memorie Società Geologica Italiana* 38: 127-135.
- Caritat A, Molinas M, Gutierrez E (1996). Annual cork-ring variability of *Quercus suber* L., in relation to temperature and precipitation (Extremadura, southwestern Spain). *Forest Ecology and Management* 86: 113-120.
- Caritat A, Molinas M, Cardillo Amo E, Gutierrez E (1997). Cronologías en anillos de corcho, variaciones climáticas y actividad del felógeno en alcornoque. In: "Cork oak and cork. Sobreiro e cortiça" (Pereira H ed). European conference on cork oak and cork, 5-7 May 1997 Lisboa. Portugal, pp. 149-155.
- Caritat A, Gutierrez E, Molinas M (2000). Influence of weather on cork-ring width. *Tree Physiology* 20: 893-900.
- Carrer M (1997). Analisi dendroecologica e della struttura spaziale in una cenosi forestale del limite superiore nelle Alpi Orientali. Tesi Dottorato di Ricerca in Ecologia Forestale, Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali - Facoltà di Agraria, Università degli Studi di Padova.
- Cartabellotta D, Drago A, Lo Bianco B, Lombardo M (1998). Climatologia della Sicilia. Ass. Agr. Foreste, Gruppo IV (Serv. Sviluppo, Unità Agrometeorologia), Palermo, Vol. IV, pp. 177.
- Catalano R, Abato B, Renda P (1978). Carta geologica dei Monti di Palermo. Scala 1.50.000. Istituto di Geologia dell'Università di Palermo.
- Colagrande O (1996). Il tappo di sughero. Preparazione, lavorazione, utilizzo in enologia. Chiriotti editori, pp. 160
- Cook ER, Kairiukstis LA (1990). Methods of dendrochronology. Applications in the Environmental Sciences. Kluwer Academic, Dordrecht, pp. 304
- Costa A, Pereira H, Oliveira A (2001). A dendroclimatological approach to diameter growth in adult cork-oak trees under production. *Trees* 15: 438-443.
- Costa A, Pereira H, Oliveira A (2002). Influence of climate on the seasonality of radial growth of cork oak during a cork production cycle. *Annals of Forest Science* 59: 429-437.
- Costa A, Pereira H, Oliveira A (2003). Variability of radial growth in cork adult trees under cork production. *Forest Ecology and Management* 175: 239-246.
- De Martonne E (1927). Regions of interior-basin drainage. *Geographical Review* 17 (3): 397-414.
- Douglass AE (1941). Crossdating in dendrochronology. *Journal of Forestry* 39 (10): 825-831.
- Emberger L (1930). La végétation de la région méditerranéenne. Essai d'une classification des groupements végétaux. *Revue de Botanique* 503: 642-662; 504: 705-721.

- Emberger L (1955). Une classification biogéographique des climats. Rev. Trav. Lab. Bot. Fac. Sci. Montpellier 7: 3-43.
- Ephrat Y (1971). Periderm development and the annual rhythm of phellogen and cambial activity in *Quercus suber* and *Quercus calliprinos*. M. Sc. Thesis, Tel-Aviv University.
- Fahn A (1962). Xylem structure and the annual rhythm of cambial activity in woody species of the East Mediterranean regions. Int. Assoc. Wood Anat. Bull. 1961/2:2-6.
- Ferreira A, Lopes F, Pereira H (2000). Caractérisation de la croissance et de la qualité du liège dans une région de production. Annals of Forest Science 57: 187-193.
- Fierotti G (1988). Carta dei suoli della Sicilia. Scala 1:250.000. Regione Siciliana, Assessorato territorio e ambiente, Palermo.
- Fierotti G (1997). I suoli della Sicilia. Dario Flaccovio Editore, pp. 359
- Fialho C, Lopes F, Pereira H (2001). The effect of cork removal on the radial growth and phenology of young cork oak trees. Forest Ecology and Management 141: 251-258.
- Fos S, Barreno E (1994). Crecimiento radial del corcho de reproducción de los alcornoques catalanes y valencianos. Sci. Gerund. 20:5-15.
- Fritts HC (1976). Tree rings and climate. Academic Press, New York, pp. 357.
- Garfi G (2000). Climatic signal in tree rings of *Quercus pubescens* s.l. and *Celtis australis* L. from South-eastern Sicily. Dendrochronologia 18: 41-51.
- Gonzales-Adrados JR, Pereira H (1996). Classification of defect in cork planks using image analysis. Wood Science technology 30: 207-215.
- Gonzales-Adrados JR, Lopes F, Pereira H (2000). Quality grading of cork planks with classification models based on defect characterization. Holz als Roh- und Werkstoff 58 (1/2): 39-45.
- Guiot J (1981). Analyse mathématique de données géophysiques, application à la dendroclimatologie. Thèse Inst. Astr. Géoph., UCL, Louvain-La Neuve, 149-171. pp.170.
- Gutierrez E (1988). Dendroecological study of *Fagus sylvatica* L. in the Montseny mountains (Spain). Acta Oecologica/Oecologia Plantarum 9: 301-309.
- Lentini F (1986). Carta geologica del settore nord-orientale ibleo (Sicilia S.E.). Scala 1:50.000. SELCA.
- Lipshitz N, Lev-Uadum S (1986). Cambial activity of evergreen and seasonal dimorphics around the Mediterranean. Int. Assoc. Wood Anat. Bull. 7: 145-153.
- Lopes F, Pereira H (1994). Porosidade das pranchas de cortiça medida por análise de imagem. Influência da dimensão das amostras. IIIº Congresso Florestal Nacional, Figueira da Foz, Lisboa, Portugal.
- Luque J, Cohen M, Savé R, Diel C, Alvarez I (1999). Effects of three fungal pathogens on water relations, chlorophyll fluorescence and growth of *Quercus suber* L. Annals of Forest Science 56: 19-26.
- Macara A (1974). Principais doenças do sobreiro. Buletin do Instituto dos produtos Florestais. Cortiça 429: 149-156.
- Magnoler A (1987). L'accrescimento del sughero: note ed esperienze. Atti della tavola rotonda internazionale "La quercia da sughero e la sua utilizzazione". Boll. C.I.D.A.O. IV° 1: 105-112.
- Magnoler A, Cambini A (1968a). Effetti della defogliazione sull'accrescimento della quercia da sughero. Memoria n. 25, Stazione Sperimentale del Sughero, Tempio Pausania (OT).
- Magnoler A, Cambini A (1968b). Accrescimento radiale della quercia da sughero ed effetti delle defogliazioni causate dalle larve di *Lymantria dispar* L. e di *Malacosoma neustria* L. I. Indagini su piante non decorticate. Memoria n. 27, Stazione Sperimentale del Sughero, Tempio Pausania (OT).
- Magnoler A, Cambini A (1969). Accrescimento radiale della quercia da sughero ed effetti delle defogliazioni causate dalle larve di *Lymantria dispar* L. e di *Malacosoma neustria* L. II. Indagini su piante in produzione. Memoria n. 28, Stazione Sperimentale del Sughero, Tempio Pausania (OT).
- Martinelli N, Pignatelli O, Romagnoli M (1994). Primo contributo allo studio dendroclimatologico del cerro (*Quercus cerris* L.) in Sicilia. Dendrochronologia 12: 61-76.
- Martínez S (2000). Caracterização da qualidade e do crescimento de cortiças de Sardenha (Itália). Relatório do Trabalho de Fim de Curso de Engenharia Florestal. Lisboa (Portugal).
- Mitrakos K (1980). A theory for Mediterranean plant life. Acta Oecologica/Oecologia Plantarum 1(15): 245-252.
- Mitrakos K (1982). Winter low temperature in mediterranean-type ecosystems. Ecologia Mediterranea VIII (1-2): 95-102
- Natividade VJ (1950). Subericoltura. Ministério da Economia - Direcção Geral dos Serviços Florestais e Aquícolas, Lisboa, Portugal, pp. 387
- Neumann M, Starlinger F (2001). The significance of different indices for stand structure and diversity in forest. Forest Ecology and Management 145: 91-106.
- Nola P (1991) Primo approccio alla dendroclimatologia della quercia (*Quercus robur* L. e *Quercus petraea* (Mattuschka) Liebl.) in Pianura Padana (Italia Settentrionale). Dendrochronologia, Verona, 9: 71-94.
- Nola P (1995) Affidabilità dei dati climatici nello studio delle relazioni clima/accrescimento: un esempio per l'appennino settentrionale. Arch. Geobot. 1 (2): 111-125.
- Pereira H, Lopes F, Graça J (1996). The evaluation of the quality of cork planks by image analysis. Holzforschung

- 50 (2): 111-115.
- Philipson WR, Ward J, Butterfield BG (1971). The vascular cambium. Chapman & Hall, London, pp. 182
- Pizzurro GM (2005). Le variabili ecologiche e selvicolturali che influenzano la qualità del sughero grezzo in Sicilia. Tesi di Dottorato, Università degli Studi di Palermo, pp. 238.
- Pizzurro GM, La Mantia T (2007). La qualità del sughero: metodologie di valutazione e norme tecniche per il sughero grezzo e per i prodotti derivati. *Annali Accademia Italiana Scienze Forestali LVI*: 191-232.
- Serre-Bachet F (1982). Analyse dendroclimatologie comparée de quatre espèce de pins et de chêne pubescens dans la région de la Gardiole près Rians (Var, France). *Ecologia Mediterranea* 8 (3): 168-183.
- Soliani L (2005). Manuale di statistica per la ricerca e la professione. Statistica univariata e bivariata parametrica e non-parametrica per le discipline ambientali e biologiche. Dipartimento di Scienze Ambientali, Università di Parma, pp. 2500.
- Tessier L (1982). Analyses dendroclimatiques comparée de six populations de *Pinus sylvestris* L. dans le Drôme. *Ecologia Mediterranea* 8 (3): 115-202.
- Tessier L (1986). Approche dendroclimatologique de l'écologie de *Pinus sylvestris* L. et *Quercus pubescens* Will. dans le sud-est de la France. *Acta Oecologica/Oecologia Plantarum* 7: 339-355.
- Warren WG (1980). On removing the growth trend from dendro-chronological data. *Tree Ring Bull.* 40: 35-40.