

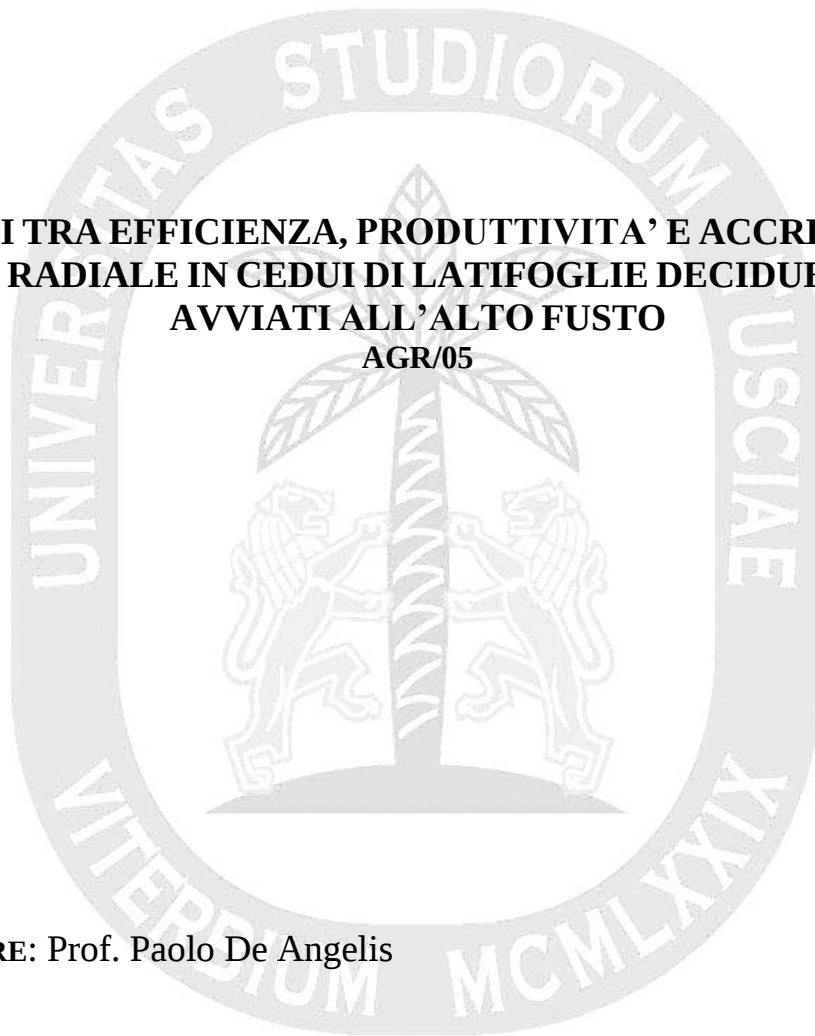
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELLA TUSCIA DI VITERBO

**DIPARTIMENTO PER L'INNOVAZIONE NEI SISTEMI BIOLOGICI, AGROALIMENTARI E
FORESTALI (DIBAF)**

CORSO DI DOTTORATO DI RICERCA

IN ECOLOGIA FORESTALE - XXIV CICLO

**RELAZIONI TRA EFFICIENZA, PRODUTTIVITA' E ACCRESCIMENTO
RADIALE IN CEDUI DI LATIFOGLIE DECIDUE
AVVIATI ALL'ALTO FUSTO
AGR/05**



COORDINATORE: Prof. Paolo De Angelis

Firma

TUTOR: Dott. ssa Maria Chiara Manetti

Firma

DOTTORANDO: Claudia Becagli

Firma

RINGRAZIAMENTI

Ritengo doveroso ringraziare il Prof. Paolo De Angelis per avermi dato la possibilità di svolgere questo Dottorato di Ricerca e di perfezionare quindi la mia formazione.

Per la realizzazione di questo lavoro ringrazio il Dott. Andrea Cutini, ricercatore presso il C.R.A – SEL, per aver messo a disposizione i dati relativi alla produttività ed i tecnici del C.R.A – SEL Umberto Cerofolini e Luigi Mencacci per l'aiuto che mi hanno dato nei numerosi rilievi in campo.

Ringrazio inoltre Francesco Chianucci e Tessa Giannini per la preziosa collaborazione nell'elaborazione dei dati.

Un grazie speciale a tutte le persone che mi hanno sostenuto ed incoraggiato durante questi tre anni in particolare la mia mamma e Cristiano.

.

INDICE

CAPITOLO 1

INTRODUZIONE	1
1.1 Stato dell'arte	1
1.2 Problema scientifico ed obiettivo della tesi	5
1.3 Layout della tesi	6
1.4 Riferimenti bibliografici	8

CAPITOLO 2

INDIVIDUAZIONE, DESCRIZIONE E CARATTERIZZAZIONE DEI CASI DI STUDIO	14
2.1 Comprensorio del Monte Amiata (SI)	16
2.1.1 Dati climatici e geomorfologia	16
2.1.2 Caratterizzazione delle aree sperimentali di castagno	19
2.2 Comprensorio Alpe di Catenaiola (AR)	21
2.2.1 Dati climatici e geomorfologia	22
2.2.2 Caratterizzazione delle aree sperimentali	24
2.3 Riferimenti bibliografici	27

CAPITOLO 3

IMPATTO DEL TRATTAMENTO SUI PARAMETRI ECOLOGICI	
Lai, trasmittanza e produzione di lettiera, parametri utilizzati in campo forestale.	28
3.1 Introduzione	28
3.2 Materiale e metodo	29
3.3 Risultati	31
3.3.1 Aree a castagno sull'Amiata	31
3.3.2 Aree a castagno sull'Alpe di Catenaiola	38
3.3.3 Aree di cerro sull'Alpe di Catenaiola	40
3.3.4 Aree di faggio sull'Alpe di Catenaiola	43
3.4 Discussioni	46
3.5 Conclusioni	48
3.6 Riferimenti bibliografici	51

CAPITOLO 4

ANALISI DEGLI EFFETTI DEGLI INTERVENTI SELVICOLTURALI SULL'ACCRESIMENTO RADIALE	
Accrescimento radiale, variabile importante nel descrivere lo stato, la produttività e la dinamica di un soprassuolo	54
4.1 Introduzione	54
4.2 Materiale e metodo	55
4.3 Risultati	57
4.3.1 Aree a castagno sull'Amiata	58
4.3.2 Aree a castagno, cerro e faggio sull'Alpe di Catenaiola	61
4.4 Discussioni	63
4.5 Conclusioni	65
4.6 Riferimenti bibliografici	66

CAPITOLO 5	
RELAZIONI TRA EFFICIENZA, PRODUTTIVITA' E ACCRESCIMENTO RADIALE	69
5.1 Introduzione	69
5.2 Metodologia: Analisi statistiche	70
5.3 Risultati	71
5.4 Discussioni e Conclusioni	75
5.5 Riferimenti bibliografici	78
CAPITOLO 6	
CONCLUSIONI	80
6.1 Elementi di innovazione, applicabilità, e trasferibilità.	82

CAPITOLO 1

INTRODUZIONE

1.1. Stato dell'arte

Il bosco ceduo è il prodotto di un'area geografica anticamente abitata, della diffusa presenza umana sul territorio e di un ambiente sociale che ha conservato forti radici rurali fino ad un passato molto recente. E' quindi un sistema di origine antropica, creato, mantenuto e perfezionato con funzioni prevalentemente produttive. Perfettamente complementare alla struttura dell'azienda agraria, ha avuto diffusione anche fuori dalle aree tipicamente forestali negli ambienti collinari e di pianura. I prodotti principali, legna da ardere e carbone vegetale, hanno alimentato un mercato vastissimo ed un target globale per gli usi primari di destinazione.

Il ceduo ha rappresentato quindi per molto tempo una risorsa essenziale per il mondo rurale ed un collegamento importante fra questo e la società urbana, fino al periodo di massima espansione con il primo sviluppo industriale ed al successivo ridimensionamento seguito alla diffusione dei combustibili fossili nel secolo scorso. La storia del bosco ceduo è così sempre stata strettamente correlata ai mutamenti economici e sociali della civiltà di montagna e al tipo di proprietà. La prevalente proprietà privata (76,3 % contro il 66% del bosco in generale; Agnoletti 2003) è spesso portata a spiegare la grande diffusione del ceduo. In realtà, questo rappresenta la tipologia più estesa sia nella regione dove la proprietà privata è più elevata (Toscana, 86%), sia in quella a maggiore proprietà pubblica (Abruzzo, 80%) (Agnoletti op.cit).

Queste informazioni, che documentano la fase di evoluzione più recente del ceduo in Italia, testimoniano i cambiamenti importanti ancora avvenuti nel secolo scorso; il massimo sviluppo a inizio del 1900 e poi la fine, intorno al 1950.

Analizzando i fattori di inerzia nelle forme di gestione successivamente agli anni '50, Pettenella (2002) individua cinque cause principali: la frammentazione dell'offerta, la staticità della struttura fondiaria, la scarsa differenziabilità dei prodotti legnosi dei cedui, la natura di bene pubblico di molti nuovi prodotti e servizi forniti dai cedui e la ridotta convenienza delle modalità alternative di gestione.

La geografia del bosco ceduo vede oggi consolidarsi la progressiva differenziazione in atto fin dall'inizio degli anni '70 in tre aree distinte: proseguimento della forma di governo, sospensione di qualsiasi intervento colturale, avviamento ad alto fusto. Nello scenario attuale convivono quindi tipi fisionomici - strutturali sempre più differenziati, seppure originati da una matrice comune.

I boschi attualmente governati a ceduo rappresentano ancora una quota importante della superficie originale; nelle regioni centrali e centro meridionali, dove si concentra la maggior diffusione dei cedui, l'area correntemente utilizzata è quella corrispondente ai cedui a prevalenza di quercia, occupata dai boschi più produttivi ed accessibili.

La superficie in abbandono colturale è in continua espansione a causa della maggior marginalità economica che ha interessato prima i cedui di faggio nel piano superiore, poi i cedui di quercia e misti meno produttivi e quindi un'ampia fascia dei cedui mediterranei (Ciancio et al. 2004, Cullotta et al. 2003).

L'altra opzione colturale è rappresentata dall'avviamento ad alto fusto. Tale area, concentrata soprattutto nella proprietà pubblica, nasce nel piano del faggio dove il ceduo diventa marginale prima, si amplia poi al piano delle querce caducifoglie (*Quercus cerris* L.), interessa attualmente anche il piano mediterraneo-montano delle querce sempreverdi (*Quercus Ilex* L.) ed infine dove le condizioni economiche e stagionali lo permettono anche per il castagno (*Castanea sativa* Mill.). I boschi costituiti con l'avviamento e periodicamente diradati assumono presto fisionomia e struttura a fustaia (Amorini e Fabbio 1986).

L'avviamento ad alto fusto dei boschi cedui rappresenta ormai una realtà consolidata sia nella prassi applicativa, per la diffusione del trattamento, sia nell'attività di ricerca e sperimentazione per la necessità di acquisire dati e conoscenze sulla dinamica evolutiva dei popolamenti in conversione. Se la prassi forestale aveva precedentemente realizzato esempi di avviamento soprattutto nei cedui di faggio e in foreste demaniali con risultati anche ottimi come riportano tra gli altri Permuda (1957), Hoffmann (1963), Cantiani e Bernetti (1963) e Cucchi (1966); la letteratura inizia ad occuparsi del fenomeno emergente del bosco ceduo che esce dall'area consolidata di trattamento alla fine del 1960 con Gambi (1968) e poi con Clauser (1975). Il trattamento, per quanto riguarda il faggio ed il cerro, ha cominciato ad essere applicato consistentemente, a partire dagli anni '70 del secolo scorso, così che si sono costituite fustaie transitorie a seguito dell'applicazione del taglio di avviamento e talvolta di un primo diradamento. Numerosa inizia essere la letteratura al riguardo con Bianchi (1976), Buccianti (1977), Hippoliti (1978), Volpini (1979), Bagnaresi (1980 e 1981), Bernetti (1981, 1983, 1987), Padula (1981), Susmel (1981). La concentrazione temporale di letteratura sul tema è sintomatica dell'interesse suscitato dal procedere del cambiamento.

Alcune ricerche sperimentali sui cedui di faggio (Amorini e Gambi 1977; Amorini e Fabbio 1986) ed a prevalenza di cerro (Amorini e Fabbio 1988, 1989, 1991; Amorini 1994; Fabbio 1994) confermano lo sviluppo auxonomico positivo del ceduo oltre le età fissate dalle tavole alsometriche ed analizzano in parallelo l'avviamento ad alto fusto. In questo periodo si

sviluppano anche ricerche mirate alla produzione dei popolamenti avviati di faggio (Bianchi 1981, Bianchi e Hermanin 1988) e di cerro (Bianchi et al. 1987).

Anche le cerrete di origine cedua sono una realtà diffusa (1010986 ha), soprattutto nell'area appenninica centro-settentrionale e in Toscana (249668 ha). Per tale formazione forestale, così come affermato precedentemente per le faggete, le modalità di gestione si sono differenziate dalla seconda metà del secolo scorso in funzione dei cambiamenti socio – economici che hanno interessato le aree rurali e marginali (Manetti e Gugliotta 2004; Fabbio e Amorini 2006).

L'intensa pressione antropica esercitata per secoli su questi popolamenti – periodico azzeramento della biomassa ad intervalli di tempo ravvicinati - ha fortemente semplificato la struttura e la composizione specifica avvantaggiando il cerro quale specie capace di riprodursi per via vegetativa, eliofila e con una maggiore capacità di accrescimento soprattutto in fase giovanile. Numerosa è quindi la letteratura che si è occupata di studiare la diversità specifica e strutturale (Shannon 1948, Pretzsch 1997, 1999, Manetti et al. 2000, Neumann e Starlinger 2001, Staudhammer e Lemay 2001, Del Rio 2003, Manetti e Gugliotta op.cit, Corona et al. 2005), i parametri dendrometrici e auxometrici e la produttività di cerrete avviate all'alto fusto (La Marca e Notarangelo 2009).

Il castagno (*Castanea sativa* Mill.) ha assunto in passato ed assume ancora oggi un ruolo preminente tra le formazioni forestali italiane, non solo per l'elevata produttività, la qualità e la varietà degli assortimenti legnosi ma soprattutto per la consistente presenza sul territorio nazionale; é infatti diffuso dalle Alpi alla Sicilia, spesso in comprensori estesi per l'intensa diffusione e coltivazione cui è stata sottoposto fino al recente passato (Quadrio Curzio et al. 1989; Amorini e Manetti 1996, Manetti et al. 2009)

L'evoluzione storica della castanicoltura in Italia, in relazione alle variazioni di superficie e al tipo di governo e trattamento, fornisce un interessante strumento di analisi per la valutazione delle condizioni sociali ed economiche nelle aree montane e collinari. Fino alla metà del XX secolo il castagno, sia da frutto che da legno, forniva prodotti di fondamentale importanza per l'economia e la sussistenza delle popolazioni; nel 1950 i dati ISTAT riportano superfici pari a 447.000 ha per i castagneti da frutto e 275.186 ha per i cedui (Boggia 1986). Successivamente, profondi mutamenti economici e sociali (dall'esodo rurale al cambiamento del tipo di alimentazione, dalla sostituzione del tannino con sostanze sintetiche al declino della richiesta del palo da vite e telegrafico) e la comparsa delle fitopatologie (*Cryphonectria parasitica* e *Phitophthora cambivora* e la più recente *Dryocosmus kuriphilus*) hanno notevolmente modificato le modalità di coltivazione della specie e determinato la ceduzione di gran parte dei castagneti da frutto. Attualmente (IFNC 2007) la superficie castanicola totale ammonta a 788.408 ha di cui

147.586 ha da frutto e 605.888 ha da legno.

E' in questo quadro che inizialmente il CRA-SEL ha attivato negli anni '70 protocolli sperimentali permanenti nelle principali tipologie cedue (faggio, cerro e castagno) per monitorare nel tempo i principali parametri dendroauxometrici e strutturali al fine di impostare prove di trattamento per l'avviamento ad alto fusto. Nei primi anni '90 il CRA-SEL ha poi iniziato ad affiancare le ricerche con studi su alcuni parametri ecologici, quali il controllo della produzione di lettiera e la verifica delle condizioni radiative sotto copertura, utili a definire lo stato di funzionalità e produttività della componente arborea e a valutare in modo più completo l'impatto del trattamento selvicolturale applicato.

Vista l'importanza sia in termini di superficie sia delle problematiche dal punto di vista gestionale delle tipologie avviate all'alto fusto si è reso opportuno con questa ricerca ampliare gli studi che durano ormai da 40 anni in modo da mettere a disposizione a coloro che devono operare scelte gestionali, elementi conoscitivi in grado di sostanziare la valenza ecologica di queste formazioni e il loro livello funzionale alla luce anche dei cambiamenti climatici.

La gestione di questa tipologia di boschi è sostenibile solamente se è basata sull'armonia dei processi di crescita tra sistemi integranti. Per gestire quindi in modo sostenibile il bosco ceduo è necessario programmare e attuare una serie d'interventi di miglioramento. Importanti sono gli effetti del trattamento selvicolturale sull'efficienza e la funzionalità di un popolamento forestale, bene espressi da indicatori che caratterizzano da una parte la copertura e dall'altra l'accrescimento legnoso.

Il grado di copertura del terreno da parte della vegetazione e la struttura delle chiome sono tra i principali fattori che regolano le interazioni tra vegetazione ed atmosfera influenzando sugli scambi gassosi, sul bilancio idrico, sull'intercettazione della radiazione solare e sulla produzione primaria (Waring 1983; Orwig e Abrams 1997).

Il LAI, la trasmittanza e la produzione di lettiera sono parametri più comunemente utilizzati nel campo dell'ecologia forestale, sia per lo stretto legame con la produttività e la dinamica di un ecosistema forestale, sia per la loro sensibilità, intesa come capacità di risposta a fattori di disturbo abiotici e biotici (Cutini 2006). Per tali motivi il monitoraggio di questi parametri risulta fondamentale per l'analisi dettagliata degli ecosistemi forestali ed è ampia la documentazione che stima, tramite indicatori, la valutazione degli effetti del trattamento sull'efficienza, la produttività e la funzionalità dei popolamenti forestali (Chiarello et al. 1989, Cutini 1994, Fecko et al. 2008).

L'accrescimento radiale rappresenta un'altra variabile importante nel descrivere lo stato, la produttività e la dinamica di un soprassuolo (Dobbertin et al. 2000). Gli studi inerenti

l'auxometria del popolamento rappresentano un valido strumento d'indagine (Amorini e Fabbio 1983 e 1987 Amorini et al. 2010) in quanto, attraverso la determinazione dell'incremento corrente, permettono di individuare quali fattori (ecologici, climatici e culturali) incidono sulle variazioni incrementali.

Gli studi eseguiti per correlare i fattori ecologici e climatici sono molti, (Cherubini 2002, Manetti 2002, Manetti e Cutini 2006, Rubino e McCarthy 2000; Urbinati et al. 2006, Tognetti et al. 2007) ma, al contrario, poche risultano le ricerche che mettono in relazione la produttività nella sua componente più direttamente legata alla copertura forestale, stimata come andamento della produzione annuale di lettiera con l'accrescimento legnoso valutato attraverso l'incremento corrente di area di basimetrica (Rozas 2004, Rentch et al. 2002, Breda e Granier 1996, Kashian et al. 2005).

Allo stesso tempo, mentre l'analisi degli effetti del trattamento selvicolturale sui valori di produzione annuale di lettiera e di LAI, sull'intercettazione della radiazione solare e sulla produzione di seme è stata ampiamente trattata in campo forestale, (Cutini 2000, Cutini e Hajny 2006), non altrettanto si può dire delle relazioni tra le variabili sopra richiamate e l'accrescimento radiale.

Dalla letteratura citata è possibile comprendere come tali indicatori di produttività siano efficaci ed immediati nel descrivere le dinamiche evolutive dei popolamenti forestali acquisendo quindi sempre più importanza nel caratterizzare e analizzare cedui ad alto fusto.

1.2. Problema scientifico ed obiettivo della tesi

Utili informazioni per la scelta delle opzioni gestionali si possono trarre dal monitoraggio e dalla sperimentazione dei trattamenti attraverso l'esame delle indagini auxometriche e degli indici di produttività. Da tali indicatori si possono trarre indicazioni dirette (quantità e ciclicità della produzione di seme e foglie) e indirette (livelli di radiazione sottocopertura) sulle principali variabili coinvolte nelle fasi iniziali del processo di rinnovazione naturale e quindi di supporto per la programmazione negli interventi culturali. Oggi è ampiamente documentata l'importanza della quantità di lettiera annualmente prodotta (Bray e Gorham 1964, Kira e Shidei 1967) e del LAI in quanto rappresentano indici apprezzabili nel descrivere lo stato e la dinamica di un popolamento, per lo stretto legame con alcuni processi eco fisiologici che ne influenzano la produttività (Gholz 1982, Waring op. cit, Bolstad e Gower 1990, Chanson et al. 1991).

Ed è proprio dallo studio di queste singoli variabili (LAI, PAR, produzione di lettiera e accrescimento legnoso radiale) che questo lavoro intende analizzare la risposta funzionale di singole specie appartenenti a diverse tipologie selvicolturali. In particolare, vista la scarsa

letteratura che si è occupata finora di mettere in relazione tutti i parametri sopra citati, in questo lavoro è stato valutato l'andamento dell'accrescimento radiale in relazione alle variabili tipiche dell'efficienza e della produttività, e sono stati confrontati i risultati con l'attuale letteratura scientifica. Nella ricerca è stato analizzato l'impatto degli effetti del trattamento, prima sui singoli parametri ecologici, poi sull'accrescimento legnoso; infine è stata studiata complessivamente l'interazione tra tutti questi parametri. Tale approccio ha contribuito ad ampliare e a migliorare le conoscenze sugli effetti dell'impatto degli interventi colturali sia sul popolamento forestale sia sulle singole specie esaminate. La continuità dei rilievi nel tempo e l'integrazione dei dati raccolti con i risultati di altre azioni di ricerca (valutazione dello stato delle chiome, variazione dell'accrescimento, dati meteorologici, vegetazione e fenologia) si sono configurate come condizioni necessarie per garantire da un lato una maggiore rappresentatività e accuratezza degli indicatori presi in considerazione e, dall'altro, il raggiungimento degli obiettivi del programma di monitoraggio. La concomitante disponibilità di risultati relativi ad una pluralità di variabili ecologiche e auxometriche strettamente correlate alla produttività, al funzionamento e alla dinamica di un soprassuolo (Gholz op.cit, Waring op.cit, Bolstad e Gower op.cit, Chason et al. op.cit, Cutini 2002, Dobbertin et al. op.cit, Leuschner et al. 2006.) e, soprattutto di un periodo di osservazione molto lungo (1991-2010), ha consentito di svolgere un'analisi articolata e approfondita degli effetti che la scelta delle diverse opzioni selvicolturali ha causato su soprassuoli di specie diverse.

La principale problematica riscontrata nella ricerca è stata la reperibilità della scarsa bibliografia sia in campo nazionale che internazionale riguardante le relazioni tra la copertura forestale e l'accrescimento legnoso. Altro limite di questa ricerca è stata la mancanza di tesi di controllo all'interno dei protocolli specifici per questo lavoro. Tale limite non ha permesso di eseguire delle verifiche tra tesi trattate e tesi lasciate all'evoluzione naturale.

1.3. Layout della tesi

Il lavoro di tesi consiste di mettere in relazione i parametri ecologici che descrivono lo stato e la dinamica di un popolamento, con l'accrescimento legnoso radiale in cedui di latifoglie avviati all'alto fusto, per ampliare e migliorare le conoscenze sugli effetti dell'impatto degli interventi colturali sia sul popolamento forestale sia sulle singole specie esaminate.

Esso si articola in fasi successive e interdipendenti di analisi e sintesi, cui corrispondono altrettanti capitoli, che presentano, in un ordine logico, le metodologie e i risultati relativi a ciascuna fase.

In primo luogo è stata avviata una ricerca bibliografica incentrata sul reperimento e sull'analisi delle pubblicazioni scientifiche (capitolo 1).

In seguito, grazie alla presenza di dati sperimentali di lungo periodo finalizzati alla valutazione dell'efficienza e della funzionalità dei soprassuoli forestali, sono state scelte le aree sperimentali che appartengono a protocolli sperimentali avviati a partire dal 1990 dal CRA SEL. La loro descrizione è riportata in modo particolareggiato nel capitolo 2. Nello stesso capitolo alla luce dello scenario dei cambiamenti climatici in atto, che vede incrementi di temperatura media globale fra 1.1 e 6.4 °C, e riflessi su tutti i parametri climatici in particolare sul regime pluviometrico e sulla frequenza e intensità degli eventi estremi è stata approfondita brevemente la condizione climatica dei siti di studio per capire il rapporto tra cambiamenti climatici e vegetazione.

I capitoli 3 e 4 hanno affrontato l'impatto del trattamento sui parametri ecologici (LAI, PAR e produzione di lettiera) e sull'accrescimento legnoso; in ogni capitolo è stata riportata anche la metodologia utilizzata e l'analisi dei risultati ottenuti.

La sintesi dei risultati ottenuti nella fase di analisi è proposta nel capitolo 5 attraverso l'applicazione di analisi statistica multivariata e analisi di confronto dei parametri analizzati singolarmente nei capitoli precedenti. Nel capitolo 6 sono state infine delineate le conclusioni sia in termini di contributo al dibattito scientifico, sia relativamente ai risvolti applicativi della ricerca, intesa a determinare i momenti ottimali per l'esecuzione dei diradamenti tramite gli indicatori individuati.

1.4 Riferimenti bibliografici

Agnoletti M., 2003 – Note sui principali mutamenti avvenuti negli ecosistemi forestali italiani dall'unità ad oggi. SISEF ATTI 3:127-132.

Amorini E., 1994 – Evoluzione della struttura, della composizione specifica e della biometria in una cerreta mista di origine cedua, in funzione del trattamento. Ann. Ist. Sper. Selv. Arezzo, XXIII (1992): 7-40.

Amorini E., Bruschini S., Manetti M.C., 2000 – Alternative silvicultural system in chestnut (*castanea sativa* Mill.) coppice: effects of silvicultural practice on stand structure and tree growth. *Ecologia Mediterranea*, 26 (1-2): 155 -162.

Amorini E., Fabbio G., 1983 – Studio auxometrico in un ceduo invecchiato e in una fustaia da polloni di faggio, sull'Appennino toscano. Primo contributo. *Annali dell'Istituto Sperimentale per la Selvicoltura*. Vol. XIV: 281-283

Amorini E., Fabbio G., 1986 - Studio auxometrico in un ceduo invecchiato e in una fustaia da polloni di faggio, sull'Appennino toscano. Primo contributo. Ann.. Ist. Sper. Selv. Arezzo, XIV (1983): 283-328.

Amorini E., Fabbio G., 1988 – L'avviamento all'alto fusto nei cedui a prevalenza di cerro. Risultati di una prova sperimentale a 15 anni dalla sua impostazione. Studio auxometrico. Primo contributo. Ann. Ist. Sper. Selv. Arezzo, XVII: 7-101.

Amorini E., Fabbio G., 1989 – L'avviamento all'alto fusto nei cedui a prevalenza di cerro. Risultati di una prova sperimentale a 15 anni dalla sua impostazione. Studio auxometrico. Secondo contributo. Ann. Ist. Sper. Selv. Arezzo, XVIII: 17-70.

Amorini E., Fabbio G., 1989 – Considerazioni sull'avviamento ad alto fusto dei boschi cedui. In: *Il bosco Appenninico. Storia, vegetazione, ecologia, economia e conservazione del bosco appenninico*. Centri Studi "Valleremita" Fabriano:99-107.

Amorini E., Fabbio G., 1991 – Ricerche sull'"invecchiamento" dei cedui:riflessi sul trattamento di conversione. *L'Italia Forestale e Montana*., XXLV (3):193-204.

Amorini E., Fabbio G., Bertini G., 2010 – L'avviamento ad alto fusto dei cedui di faggio. Risultati del protocollo "Germano Gambi" sull' Alpe di Catenaia (Arezzo). *Annali C.R.A – SEL* 2009-2010 Vol 36:151-172.

Amorini E., Gambi G., 1977 - Il metodo dell'invecchiamento nella conversione dei cedui di faggio. Ann. Ist. Sper. Selv. Arezzo, VIII (1977): 21-42.

Amorini E., Manetti M.C., 1997 – Le "fustaie da legno" di castagno del Monte Amiata. Ann. Ist. Sper. Arezzo, XXVIII: 53-61

Bagnaresi U., 1980 – Il problema dei cedui e i vincoli all'uso dei boschi. *Natura e Montagna*, (3): 7-13.

Bagnaresi U., 1981 – Il ceduo: una coltura attuale? *Dendronatura* (2): 13-31.

Bernetti G., 1981 – Ipotesi sullo sviluppo dei boschi cedui e relative considerazioni selvicolturali e assesta mentali. *Monti e Boschi* (1):16-20.

Bernetti G., 1983 – I cedui di querce caducifoglie. *Cellulosa e Carta* 34 (5): 6-12

Bernetti G., 1983 – I cedui di querce caducifoglie nell'Italia centrale: proposte di politiche forestale. *Cellulosa e Carta* 38 (5): 4-10

Bianchi M., 1976 – Esperienze di conversione dei cedui di faggio nell'alta Valle del Serchio. *L'Italia Forestale e Montana* (31): 231 – 240.

Bianchi M., 1981 – Le fustaie di faggio di origine agamica della Toscana: tavola di produzione per i boschi coetanei. *Annali dell'Accademia Italiana di Scienze Forestali* (30): 247-283.

Bianchi M., Cavazza C., Hermanin L., Massei M., 1987. - Rilievi sperimentali e studi metodologici sulla conversione dei cedui puri e misti di latifoglie del piano sub-montano appenninico. *Quaderni dell'Istituto di Assestamento e Tecnologia Forestale*. Fasc. I.

Bianchi M., Hermanin L., 1988 – Stato delle ricerche sperimentali sulla conversione in alto fusto dei cedui di faggio. *Quaderni dell'Istituto di Assestamento e Tecnologia Forestale*. Fasc. II.

Boggia L., 1986 - Il castagno in Italia. *Cellulosa e Carta*, 6: 4-13.

Bolstad P.V., Gower S.T., 1990 – Estimation of leaf area index in fourteen southern Wisconsin forest stand using a portable radiometer. *Tree Physiology*, 7: 115 – 124.

Breda N., Granier A., 1996 – Intra-and interannual variations of transpiration, leaf area index and radial growth of a sessile oak stand (*Quercus petraea*). *Ann.Sci. For.*, 1996, (53):521-536.

Cantiani, M., Bernetti, G., 1963. Piano di assestamento della foresta dell'Abetone per il dodicennio 1961–1972. Tip. Coppini, Firenze, 357 pp.

Chanson J.W., Baldocchi D.D., Huston M.A., 1991 – A comparison of direct and indirect methods for estimating forest canopy leaf area. *Agricultural and forest Meteorology*, 57: 107 – 128.

Cherubini P., 2002 – Studio dendrocronologico su *Pinus pinea* L. in due differenti stazioni sulla costa Mediterranea in Toscana (Italia). *Dendrocronologia* (11): 87-99.

Chiarello N.R., Mooney H.A., Williams K., 1989 – Growth, carbon allocation and cost of plant tissue. In: Peracy et al (eds), *Plant physiological ecology*, Chapman and Hall: 327 – 305.

Ciancio O., Nocentini S., 2004 – Il bosco ceduo. *Selvicoltura, Assestamento, Gestione*. Accademia Italiana di Scienze Forestali, Firenze, 721 pp.

Clauser F., 1875 – Il “bosco cedu” 22 anni dopo. *L'Italia Forestale e Montana*, n°5, Anno XXX.

Corona P., D'Orazio P., Lamonaca A., Portoghesi L., 2005 – L'indice di Winkelmass per l'inventariazione a fini assesta mentali della diversità strutturale di soprassuoli forestali. *Foresta* 2 (2): 225 – 232.

Cucchi C., 1976 – Prospettive culturali di boschi cedui in Liguria .XXI annali Accademia Italiana Scienze Forestali 267 pp.

Cullotta S., Cutino I., Fabbio G., Gasparini P., La Mantia T., Maggiore V., Marchetti M., Tosi V. 2003 – Protected forest areas in Europe-analysis and harmonisation Country report-Italy. Cost Action E27 (PROFOR) 35p.

Cutini A., 1994 – Indice di area fogliare, produzione di lettiera ed efficienza di un ceduo di cerro in conversione. Ann. Ist. Sper.Selv. Arezzo, XXIII:147-166.

Cutini A., 1999 – Properties and productivity of crowns and canopy. Contribution to an integrated analysis of forest ecosystem's status. Ann. Ist. Sper. Selv. Arezzo, XXX: 91-96.

Cutini A., 2000 – Produttività e processi ecologici in popolamenti di origine agamica. In Bucci G. et al. (Eds), Atti II° Congresso Società Italiana di Selvicoltura ed Ecologia Forestale (S.I.S.E.F.) “Applicazioni e prospettive per la ricerca forestale italiana”, Bologna 20-22 ottobre 1999: 131-134.

Cutini A., 2002 – Litterfall and Leaf Area Index in the CONECOFOR Permanent Monitoring Plots. In Mosello R., Petriccione B. and Marchetto A. (Eds): Long-term ecological research in Italian forest ecosystems. J. Limnol., 61 (Suppl. 1): 62-68

Cutini A., 2006 – Taglio di avviamento, ceduzione e matricinatura: effetti sulle caratteristiche della copertura forestale in cedui a prevalenza di cerro. Annali C.R.A. – SEL, Vol. 33 : 21-30.

Cutini A., Hajny M., 2006 – Effetti del trattamento selvicolturale sulla produzione di lettiera, caratteristiche della copertura ed efficienza di un ceduo di cerro in conversione. Annali C.R.A. – SEL, Vol. 33 : 133-142.

Dobbertin M., Andreassen K., Newmann M., Somogyi Z., 2000- Forest Growth – Report of the expert Panel on Forest Growth. 17 pp.

Fabbio G., 1994 – Dinamica della popolazione arborea in un ceduo di cerro in invecchiamento. Ann. Ist.Sper.Selv. Arezzo, vol. XXIII: 73-99.

Fabbio G., Amorini E. 2006 – Avviamento ad alto fusto e dinamica naturale nei cedui a prevalenza di cerro. Risultati di una prova sperimentale a 35 anni dalla sua impostazione. Il protocollo di Caselli (Pisa) Ann. Ist. Sper. Selv. Arezzo, 33 (2003-04): 79-104.

Fecko R.M., Walker R.F., Frederick W.B., Johnson D.W., Miller W.W., 2008 – Influences of mechanized thinned and prescribed underburning on radial growth of Jeffrey pine. Journal of Sustainable Forestry, Vol. 26 (1) 2008: 19- 59.

Gambi G., 1968 – Le conversioni dei cedui in altofusto sull'Appennino Tosco-emiliano. Ann. Acc. Naz. Agric. Bologna, III serie, LXXVIII:1-49.

Gholz H.L., 1982 – Environmental limits on aboveground net primary production, leaf area and biomass in vegetation zones of the Pacific Northwest. Ecology, 63: 469 – 481.

Hippoliti G., 1978 - A proposito dell'utilizzazione dei cedui. L'Italia Forestale e Montana (2): 97-98.

- Hofmann A., 1963 - La conversione dei cedui di faggio. Ann. Acc. It. Sc. For.12, 145–164.
- Kira T., Shidei T., 1967 – Primary production and turnover of organic matter in a different forest ecosystem of the western Pacific. Jpn. J. Ecol. 17: 70 – 87.
- INFC 2007a. Le stime di superficie 2005 – Prima parte. Autori G. Tabacchi, F. De Natale, L. Di Cosmo, A. Floris, C. Gagliano, P. Gasparini, L. Genchi, G. Scrinzi, V. Tosi. Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio. MiPAF – Corpo Forestale dello Stato - Ispettorato Generale, CRA - ISAFa, Trento. URL: <http://www.infc.it>
- INFC 2007b. Le stime di superficie 2005 - Seconda parte. Autori G. Tabacchi, F. De Natale, L. Di Cosmo, A. Floris, C. Gagliano, P. Gasparini, I. Salvadori, G. Scrinzi, V. Tosi. Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio. MiPAF – Corpo Forestale dello Stato - Ispettorato Generale, CRA - ISAFa, Trento. URL: <http://www.infc.it>.
- Kashian D.M., Turner M.G., Romme. H.W., 2005 – Variability in leaf area and stemwood increment along 300. year Lodgepole pine chronosequence. Ecosystem., 2005 (8): 48 – 61.
- La Marca O., Notarangelo G., 2009 - Influenza dei diradamenti sulla produzione legnosa in una fustaia di cerro (*Quercus cerris* L.) in Italia meridionale – Forest@ 6: 173 – 189.
- Leushner C., Voss S., Foetzki A., Classe Y., 2006 – Variation in leaf area index and stand leaf mass of European beech across gradients of soil acidity and precipitation. Planet Ecology, 182: 247 – 258.
- Manetti, M.C., 2002 - Tree ring growth by core sampling at the CONECOFOR Permanent Monitoring Plots. The deciduous oak (*Quercus cerris* L.) type. In: Mosello, R., B. Petriccione & A. Marchetto (Eds), Long-term ecological research in Italian forest ecosystems. J. Limnol., 61 (Suppl. 1): 55-61.
- Manetti. M.C., Amorini E., Becagli C., 2000 – Gestione selvicolturale e tipologie strutturali nei popolamenti di Castagno del Pratomagno Casentino. Ann. Ist. Sper. Selv. Arezzo, XXXI: 109-118.
- Manetti M.C., Amorini E., Becagli C., 2009 – Il ruolo del castagno nella selvicoltura italiana: prospettive culturali e valenza socio economica della castanicoltura da legno. Atti del III Congresso Nazionale di Selvicoltura per il miglioramento e la conservazione dei boschi italiani. 16 – 19 ottobre 2008. Vol II: 842 – 851.
- Manetti M.C., Cutini A., 2006 – Tree ring growth of Silver fir (*Abies alba*. Mill.) in two stands under different silvicultural system in central Italy. Dendrochronologia 23: 145-150.
- Manetti M.C., Gugliotta O., 2004 – Effetto del trattamento di avviamento ad alto fusto sulla diversità specifica e strutturale delle specie legnose in ceduo di cerro. Ann. Ist. Sper. Selv. Arezzo XXXIII:105-114.
- Neumann M., Starlinger F., 2001 – The significance of different indices stand structure and diversity in forest. Forest Ecology and Management 145 (1-2):91-106.
- Orwing David A., Abrams Marc. D., 1997 – Variation in radial growth responses to drought among species, site and canopy strata. Trees (1997): 474 - 484.

Padula M., 1981- Utilizzazioni ed interventi di miglioramento nei boschi cedui. *Natura e montagna*, (2 – 3):27 – 34.

Pettenella D., 2002 – Fattori di inerzia nelle forme di gestione e nuovi sviluppi del mercato per I boschi cedui. In: *Il bosco ceduo in Italia*. A cura di O.Ciancio e S. Nocentini. AISF, Firenze: 541-560.

Premuda, G., 1957. La conversione dei boschi cedui di faggio in fustaia nelle Foreste Demaniali Pistoiesi. *Monti e Boschi* 3, 109–114.

Pretzsch H., 1997 – Analysis and modeling of spatial stand structures. Methodological considerations based on mixed beech-larch stands in Lower Saxony. *Forest ecology and Management* 97 (3):237-253.

Pretzsch H., 1999 – Structural diversity as a result of silvicultural operations. In: *Management of mixed-species forest: silviculture and economics*. Olsthoorn A.F.M., Berelink H.H., Gardiner J.J., Pretzsch H., HeKhuis H.J., Franc A. (Eds.) IBN Scientific Contributions 15:157-174.

Quadrio Curzio A., Zoboli R., Cistulli v., 1989 – Il castagno nell’economia montana. In atti del convegno “Il castagno nell’ambiente e nell’economia”, Avellino 22-23 settembre 1989.

Rentch J. S., Fekedulegn D., Miller W. G., 2002 – Climate, canopy disturbance, and radial growth averaging in a second-growth mixed-oak forest in west Virginia, U.S.A. *Can. J. For. Res.* 32: 915-927.

Rozas V., 2004 – Efectos de la historia del dosel y el clima sobre los patrones de crecimiento radial de *Fagus sylvatica* L. y *Quercus robur* L. *Invest. Agrar: Sist Recur For* (2004) 13 (3): 479-491.

Rubino D.L., McCarthy C.C., 2000 – Dendroclimatological analysis of white oak (*Quercus alba* L., Fagaceae) from an old – growth forest of southeastern Ohio, USA. *Journal of the Torrey Botanical Society* 2000, 127 (3): 240-250.

Shannon C.E., 1948 – The mathematical theory of communication. In Shannon C.E., Weaver W. (Eds.), *the Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois press, Urbana: 29 – 125.

Staudhammer C. L, Lemay V.M., 2001 – Introduction and evaluation of possible indices of stand structural diversity. *Can. J. For. Res.* 31: 1105 – 1115.

Susmel L., 1981 – Ceduo o alto fusto? Motivo di una filosofia. *Economia Montana*, n° 4, Anno XIII.

Tognetti R, Cherubini P, Marchi S, Raschi A., 2007 - Leaf traits and tree rings suggest different water-use and carbon assimilation strategies by two co-occurring *Quercus* species in a Mediterranean mixed-forest stand in Tuscany, Italy. *Tree Physiology* 27, 1741-1751.

Urbinati C., Carrer M., Pastorello C., Vidi A., 2006 - Accrescimento radiale e sensibilità climatica di pino silvestre e larice in ambienti di limite in Val di Tovel (TN). *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Biol.*, 81 (2004), Suppl. 2: 53-71.

Volpini C., 1979 – Analisi della situazione attuale e prospettive di valorizzazione dei cedui italiani. In: Il miglioramento dei cedui italiani. Accademia Nazionale dell'Agricoltura, Bologna: 1-157.

Waring R.H., 1983 – Estimating Forest and Efficiency in Relation to Canopy Leaf Area. *dv.Ecolo.Res.* 13: 327-354.

CAPITOLO 2

INDIVIDUAZIONE, DESCRIZIONE E CARATTERIZZAZIONE DEI CASI DI STUDIO

Il CRA-SEL ha iniziato ad affrontare sperimentalmente la questione dei boschi cedui dal 1960 quando i cambiamenti socio – economici cominciavano a produrre effetti registrabili sulla gestione di gran parte dei cedui italiani. Il centro di ricerca inizialmente concentrò gli studi sul fenomeno dell'evoluzione naturale di questi popolamenti in seguito l'abbandono colturale e parallelamente iniziò a verificare gli esiti dell'applicazione del trattamento di avviamento ad alto fusto, basando queste indagini su protocolli sperimentali permanenti adatti per un monitoraggio di lungo periodo.

La diversità specifica e strutturale e i parametri dendro-auxometrici furono inizialmente le variabili prese in considerazione. Con il tempo a questo primo set d'indagine si sono affiancati studi su alcuni parametri ecologici. La presenza di serie storiche di dati già accumulati, ha permesso di ricorrere materiale informativo disponibile sia per rispondere ad esigenze di tipo applicativo sia per completare le indagini iniziate. Infatti; nella prassi delle analisi di monitoraggio dei soprassuoli forestali (finalizzate alla loro caratterizzazione per definirne la gestione) anche per questioni legate ai limiti di tempo si parte dalle conoscenze esistenti, che devono essere preventivamente collezionate ed organizzate. Per tali motivi gli studi sono stati condotti in Toscana, rispettivamente sul Monte Amiata (SI) e sull'Alpe di Catenaiola (AR). In queste aree di studio la raccolta dei dati riguardante i parametri ecologici (LAI, PAR e raccolta di lettiera) è iniziata dal 1991, questo raro quadro conoscitivo ha quindi permesso di reputare idoneo questo materiale a disposizione ai fini di elaborazioni di tipo scientifico.



Inquadramento geografico



● Comprensori dei rilievi

1:1.200.000

2.1 Comprensorio del Monte Amiata (SI)

Il Monte Amiata (Siena) è un rilievo isolato che raggiunge un'altitudine di 1738 m s.l.m. Il territorio ricade nelle provincie di Siena e Grosseto. Il substrato geologico è costituito nella parte superiore del monte da lave trachitiche ricche di silicati e povere di basi; i suoli che ne derivano sono terre brune di buone caratteristiche fisiche, a reazione subacida. Alla base dei vulcaniti emergono invece le formazioni sedimentarie che hanno dato origine a suoli a reazione alcalina o neutra e scarsamente permeabili per l'alta percentualità di argilla. Date le particolari condizioni geologiche, morfologiche e climatiche quasi tutte le formazioni forestali presenti nell'Appennino si trovano sul Monte Amiata ed in funzione dell'altitudine si riscontrano quattro principali fasce vegetazionali:

- cedui di roverella a quote inferiori a 700 m s.l.m
- cedui misti di latifoglie a prevalenza di cerro e carpino nero, tra 700 e 1100 m, su calcari e clima temperato;
- castagneti da frutto (diffusi prevalentemente nel versante occidentale) e cedui di castagno (diffusi prevalentemente nel versante orientale), tra 700 e 1100 m, su vulcaniti e clima temperato umido, con moderato deficit estivo;
- faggete oltre i 1100 m, su vulcaniti e clima temperato freddo;
- i rimboschimenti occupano una parte consistente in tutte le fasce di vegetazione essendo stati realizzati in aree un tempo coltivate (poderi abbandonati sia nella media che bassa montagna), in castagneti da frutto attaccati da patogeni e in aree degradate e cespugliate.

2.1.1 Dati climatici e geomorfologia

L'origine vulcanica del M. Amiata è cosa indiscussa; lo conferma il manto di roccia trachitica che, da una quota media di circa 600 metri, si eleva sino alla vetta.

La geomorfologia dell'area può essere riassunta in un ristretto gruppo di connotati essenziali, da cui risulta marcatamente caratterizzata. Il dato altimetrico più saliente è costituito dalla presenza dell'antico vulcano del M. Amiata (m. 1738) posto esattamente a cavallo dei due maggiori bacini fluviali di questa parte dell'Italia centrale e cioè: l'Ombrone e il Tevere, tributari del mar Tirreno.

La parte periferica Sud e Sud-Ovest del rilievo è invece “anomala” rispetto al quadro ora tracciato e questo proprio per la presenza abbastanza diffusa di “rocce consistenti”, che sugli altri tre versanti invece mancano o affiorano in misura molto limitata: ci si riferisce ai due importanti massicci (o rilievi non vulcanici) del M. Labbro (m. 1193) e del M. Civitella (M. 1107). L'idrografia appare nettamente orientata e potremmo dire, in larga misura predestinata ad

assumere la conformazione che oggi in effetti presenta, proprio ad opera della presenza dei massicci di rocce “dure”. Il fiume Orcia infatti, affluente di sinistra dell’Ombrone, gira tutto attorno alla periferia Nord-Est e Nord del rilievo vulcanico; fiumi Ombrone e Paglia degradano, rispettivamente, sui due opposti lati del rilievo a Sud-Ovest e Sud-Est, verso il Tirrenico ed il Tevere, in modo quasi simmetrico.

Per effetto dell’isolamento orografico, il clima è fortemente influenzato dall’altitudine e dalla morfologia del territorio. La parte superiore della montagna è caratterizzata dalla frequente presenza di nebbie apportatrici di umidità anche nel periodo estivo, dall’intensità dei venti e dall’elevato rinnovamento che nelle esposizioni settentrionali permane fino alle soglie della primavera. Differenze sussistono anche tra il versante ovest, riparato dai venti freddi dell’Europa centro-orientale e il cui clima risulta influenzato dai venti marini occidentali, e il versante est più esposto ai venti da nord-est, di natura continentale, che ne abbassano la temperatura. Si ritrovano così aree con clima prettamente mediterraneo e zone con clima più continentale e montano. Si riportano i dati ed il diagramma termo pluviometrico relativo alla stazione localizzata Piancastagnaio (SI) (829 m s.l.m.). La temperatura media annua è di 13°C, quella del mese più caldo (Luglio) di 23°C mentre quella del mese più freddo (Gennaio) è di 5°C (tabella 2.1); la precipitazione annua è di 856 mm, con siccità estiva che si prolunga da giugno ad agosto.

Tabella 2.1 – Dati di temperatura e di piovosità relativi alla stazione termo pluviometrica di Piancastagnaio (SI).

Stazione termopluviometrica e quota s.l.m.	Temperatura (°C)			Piovosità (mm)	
	Mese+freddo	mese+caldo	media annua	Annua	Estiva
Piancastagnaio SI (798 m)	5.0 (Gen)	26,8 (Lug)	13.0	856	113

Le maggiori precipitazioni si hanno nel periodo autunnale e le minori in estate (figura 2.1).

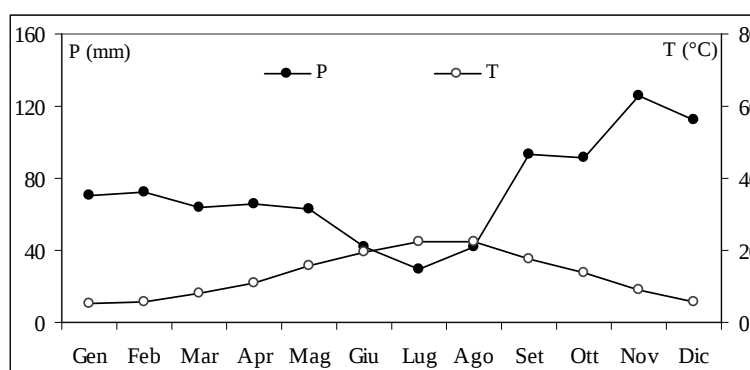


Figura 2.1 – Diagramma termo pluviometrico (periodo 1994- 2010) - stazione termo pluviometrica di Piancastagnaio (SI).

L'anno più piovoso è stato il 2004 con 1462 mm di piovosità totale e con 157 mm in inverno e 150 mm in primavera, mentre le annate più aride sono state il 2000 (426 mm), il 2003 (752 mm) ed il 2007 (534 mm); in corrispondenza di questi anni è stato registrato anche il minimo di piovosità invernale, primaverile ed estiva. All'anno 2003, caratteristico per la scarsa piovosità, corrisponde anche un'elevata temperatura estiva (24 °C), questi due fenomeni meteorologici estremi concomitanti hanno reso il 2003 anno influente per i processi eco fisiologici delle piante. Dal momento che i fattori climatici più importanti sono la temperatura dell'aria e le precipitazioni, nel corso degli anni le classificazioni climatiche hanno fatto riferimento soprattutto ad indici e diagrammi basati su questi due parametri. Tra gli indici di aridità proposti in letteratura, basati sul rapporto P/T è stato determinato l'indice di aridità De Martonne (1923),

$I_a = P/(T + 10)$ dove:

P = precipitazioni medie annue (mm);

T = temperatura media annua (°C).

Secondo questo indice di aridità è stato possibile classificare il clima del sito di studio in semiarido con un I_a medio pari a 16. In figura 2.2 si riporta l'andamento dell'indice di aridità dal 1994 al 2010 e si osserva che il valore più basso dell'indice è stato registrato nel 2003 (14,7) mentre quello più elevato nel 2004 (19.)

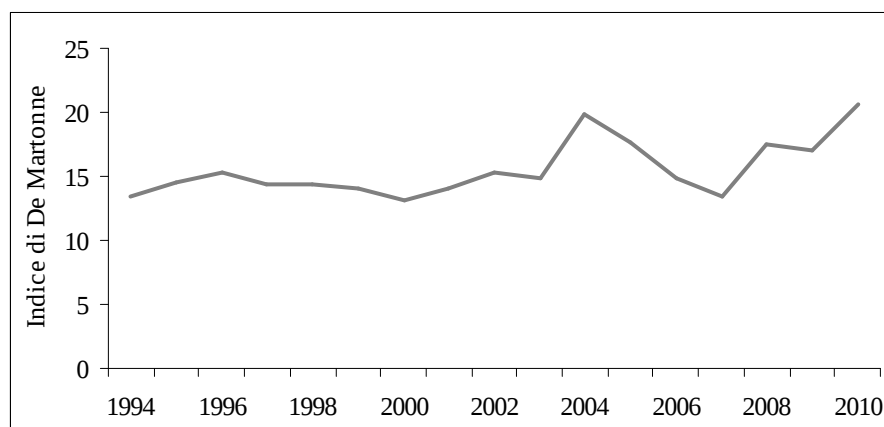
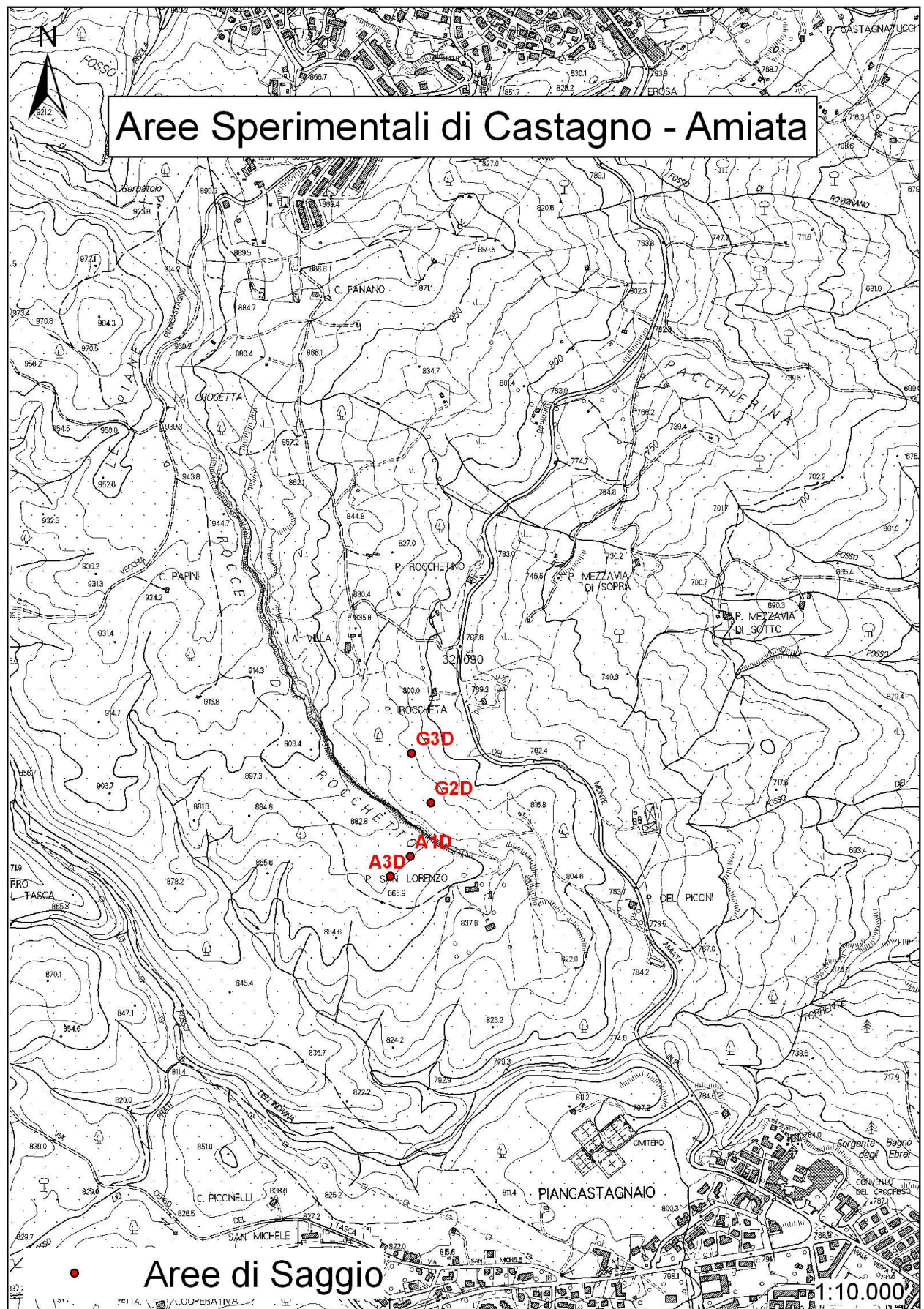


Figura 2.2 – Indice di De Martonne (periodo dal 1994 al 2010) - stazione termo pluviometrica di Piancastagnaio (SI).

Il 2007 è stato un altro anno caratteristico con un valore dell'indice di aridità molto basso pari a 13,0.

L'indice di De Martonne ha consentito di individuare la presenza di annate eccezionali per verificare in seguito la risposta in termini di produttività delle piante analizzate.

2.1.2 Caratterizzazioni delle aree sperimentali di castagno



Le aree sperimentali fanno parte della rete di parcelle istituite in Toscana dal C.R.A - Centro di Ricerca per la Selvicoltura nel corso degli anni '90, per la verifica della sostenibilità selvicolturale ed ecologica dei modelli di gestione alternativi al ceduo a turno breve.

I popolamenti analizzati si differenziano per l'età e la storia colturale trascorsa che ha condizionato la struttura attuale, la produttività e l'efficienza dei popolamenti (tabella 2.2).

Tabella 2.2- Parametri stazionali nelle aree di studio del Monte Amiata (SI) - (A1D adulto 1 diradamento, A3D adulto 3 diradamenti, G2D giovane 2 diradamenti, G3D giovane 3 diradamenti).

Area di studio Amiata	Età (anni)	Trattamento passato	Quota m (s.l.m)	Esposizione	Pendenza %
Castagno A1D	48	1 diradamento	850	S	8
Castagno A3D	48	3 diradamenti	850	S	8
Castagno G2D	28	2 diradamenti	870	SE	8
Castagno G3D	28	3 diradamenti	870	SE	8

Nelle aree diradate, gli interventi selvicolturali sono stati eseguiti dal C.R.A –SEL in accordo con le indicazioni previste dai modelli (Amorini e Manetti 1997, Amorini et al. 2000, Amorini et al. 2002). Nella Tesi A3D e A1D è stato applicato il modello a turno lungo (di 50 anni), diradamenti di media densità e più graduati nel tempo. Le due tesi dei popolamenti più giovani G2D e G3D si differenziano per l'età in cui è stato eseguito il primo diradamento; infatti nella tesi G2D è stato testato il diradamento che afferisce al modello a turno medio – turno di 30 anni, nella tesi G3D quello a turno lungo. I principali parametri dendrometrici sono riportati nella tabella 2.3.

Tabella 2.3 – Principali parametri dendrometrici delle aree di studio del Monte Amiata (SI) - (A1D adulto 1 diradamento, A3D adulto 3 diradamenti, G2D giovane 2 diradamenti, G3D giovane 3 diradamenti)

Area di studio Amiata	N p/ha⁻¹	G m²/ha⁻¹	Età diradamento
Castagno A1D	945	39,6	Diradamento a 17 anni
Castagno A3D	256	20,6	Diradamento a 17, 35, 43 anni poi taglio raso
Castagno G2D	547	21,7	Diradamento 17 e 24 anni
Castagno G3D	407	16,5	Diradamento a 11, 17 e 24 anni

Nella primavera del 1993 (ad 11 anni) il ceduo G3D è stato sottoposto ad un primo diradamento che ha asportato circa il 58% dei polloni presenti ed il 31% dell'area basimetrica. Il diradamento successivo eseguito nel 1999, a 17 anni di età, nelle due tesi G3D e G2D ha seguito in entrambe le tesi le stesse modalità: eliminazione quasi completa della classe dominata e sub-dominata e riduzione consistente della categoria codominante (asportazione del 48 % del numero dei polloni pari al 32% dell'area basimetrica). Successivamente, nel 2007, a 24 anni di età, le due aree sono state sottoposte ad un ulteriore taglio di diradamento. Nelle aree A1D e A3D è stato eseguito dalla Comunità montana un primo diradamento dal basso a 17 anni di età (1970).

Successivamente, mentre la tesi A1D è stata lasciata all'evoluzione naturale, nella tesi A3D sono stati eseguiti dal C.R.A - SEL due diradamenti (inverno 1994 -, '95 a 35 anni e inverno 2002 -'03 a 43 anni). Tali interventi selvicolturali sono stati effettuati in accordo con le indicazioni dal modello di gestione a turno lungo (asportazione del 43% dei polloni pari al 31 % dell'area basimetrica). Nel 2008 entrambe le tesi sono state sottoposte al taglio raso.

In sintesi, le modalità dei diradamenti applicate alle quattro aree di studio sono riportate in tabella 2.4.

Tabella 2.4 – Asportazione di massa in percentuale in numero (N) e in area basimetrica (G) durante i diradamenti. (A1D adulto 1 diradamento, A3D adulto e 3 diradamenti, G2D giovane e 2 diradamenti, G3D giovane 3 diradamenti)

Area di studio	1° diradamento			2° diradamento			3° diradamento		
	N	%	G	N	%	G	N	%	G
Castagno A1D	Eseguito da Com Mon								
Castagno A3D	Eseguito da Com Mon			46		34	43		31
Castagno G2D	59		35	41		30			
Castagno G3D	58		31	48		32	40		29

2.2 Comprensorio dell'Alpe di Catenaiola (AR)

L'Alpe di Catenaiola è una catena montuosa secondaria che si diparte dalla dorsale appenninica principale, nella zona del Monte Penna, e si protrae verso sud-ovest raggiungendo il corso del fiume Arno. Il crinale principale separa la valle del Casentino (nel versante Occidentale) dalla Val Tiberina (nel versante Orientale). L'intera area ricade nel territorio della provincia di Arezzo. Nel 1997 è stata costituita l'oasi di protezione dell'Alpe di Catenaiola, che con circa 2700 ha delimita e preserva l'intero crinale principale e il versante del Casentino del massiccio. La proprietà pubblica nel complesso forestale dell'Alpe di Catenaiola (Comunità Montana del Casentino, Poppi – AR) si estende su circa 2400 ettari (D.R.E. AM Italia 2009).

L'altitudine va dai 500 m s.l.m per le zone ai confini con i centri abitati, ai 1414 m s.l.m del Monte Castello, le quote medie si aggirano attorno ai 900-1000 m.

La superficie coperta dal bosco raggiunge circa l'80% dell'intera area; s'interrompe unicamente per lasciare spazio all'arbusteto, al cespuglietto e ai prati-pascoli creati dall'uomo, che persistono in limitate zone. La struttura forestale, vede il ceduo di latifoglie, soprattutto a cerro (*Quercus cerris* L.), a castagno (*Castanea sativa* Mill) e a faggio (*Fagus sylvatica* L.) per poi lasciare spazio al ceduo invecchiato di latifoglie, con le specie principali miste con carpino (*Ostrya carpinifolia*) e roverella (*Quercus pubescens*). Nella fascia altitudinale tra i 500 e i 900 m le fustaie di pino nero (*Pinus nigra*), abete bianco (*Abies alba*) e douglasia (*Pseudotsuga menziesii*) sono intervallate con il bosco ceduo invecchiato e le fustaie transitorie di cerro. Sopra i 900 m prevalgono le fustaie miste di conifere e latifoglie e le fustaie transitorie di faggio; queste ultime

in particolare prendono il completo sopravvento fino a costituire boschi puri. Il sottobosco è costituito prevalentemente da ginestre (*Spartium junceum* e *Cystus scoparius*), rovo (*rubus spp.*), felce aquiline (*Pteridium aquilinum*), ginepri (*Juniperus spp.*).

Dal punto di vista faunistico l'area di studio è ricca di specie e la densità degli animali selvatici elevata. Gli ungulati presenti sono il capriolo (*Capreolos capriolo*) e il cinghiale (*Sus scrofa*).

2.2.1 Dati climatici e geomorfologia

Il substrato geologico prevalente è costituito da macigno, scisti argillosi alternati da marne di San Paolo grigio –giallastre ed arenarie fini che danno origine a suoli bruni di tipo acido ma non pienamente evoluti. La morfologia nel suo insieme si presenta dolce e regolare, solo localmente caratterizzata da profonde incisioni fluviali e da pendii scoscesi. L'idrografia è rappresentata da numerosi torrenti, di cui alcuni perenni con buone portate anche in estate. I contrafforti del Monte Falterona, dell'Alpe di Catenaia e del Pratomagno, sono modellati da bacini torrentizi profondamente incavati nelle arenarie e nei calcari sottostanti.

Il clima è di tipo continentale, caratterizzato da elevati tassi di umidità e piovosità. In inverno le temperature scendono spesso sotto lo zero e le nevicate sono abbondanti e mantengono uno strato di neve per diversi giorni, se non mesi, a quote superiori a 900 m. In estate le temperature raggiungono 30°C e la piovosità è scarsa (le precipitazioni si mantengono elevate da novembre ad aprile per decrescere da maggio ad agosto). I dati storici della stazione meteorologica di “La Verna”(figura 2.3) posta ad un'altitudine di 1120 m s.l.m, distante 6 chilometri dalle parcelle sperimentali ed inclusa nel servizio Idrogeologico Nazionale (Pisa), indicano che la piovosità annuale è di 1224,4 e la temperatura media annua di 9,5 °C (tabella 2.5).

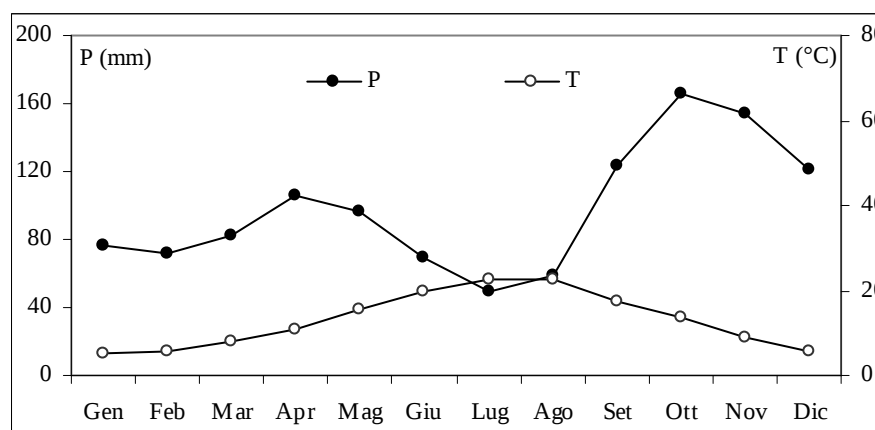


Figura 2.3 – Diagramma termo pluviometrico (periodo 1994- 2010) - stazione termo pluviometrica di La Verna (AR).

Tabella 2.5 – Dati di temperatura e di piovosità relativi alla stazione termo pluviometrica di La Verna (AR).

Stazione termopluviometrica e quota s.l.m.	Temperatura (°C)			Piovosità (mm)	
	Mese+freddo	mese+caldo	media annua	Annua	Estiva
La Verna (798 m)	5.0 (Gen)	26,8 (Lug)	13.0	1224,4	113

I mesi più freddi sono dicembre e gennaio, i più caldi luglio e agosto, con un graduale aumento prima e decremento dopo. Spesso agosto e settembre sono mediamente più caldi rispetto a maggio e giugno. Solitamente l'escursione termica annua (differenza tra mese più caldo e mese più freddo) si attesta intorno al 17,7 °C. Le annate con più precipitazioni totali sono state il 1992 (1552 mm), il 1996 (1424 mm) ed il 2004 (1786 mm), agli stessi anni corrispondono picchi di precipitazione autunnale e primaverile. Così come è stato rilevato per il comprensorio del Monte Amiata, anche per quanto riguarda l'Alpe di Catenaiola è stato registrato uno dei minimi di piovosità totale (892 mm), invernale (72 mm), primaverile (53 mm) ed estivo (33 mm) nell'anno 2003. A quest'ultimo anno corrisponde una delle maggiori temperature estive rilevate 17,8 °C, insieme ai 19,5 °C del 1996 e i 22°C del 2004. In base alla classificazione dell'Indice di De Martonne (Ia) è stato possibile definire il clima dell'Alpe di Catenaiola in temperato caldo con Ia medio pari a 20,7. L'andamento dell'indice di aridità è riportato nella figura 2.4

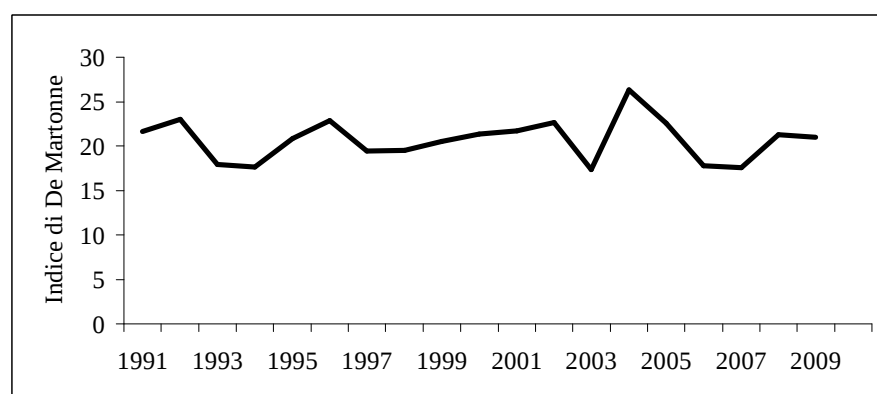
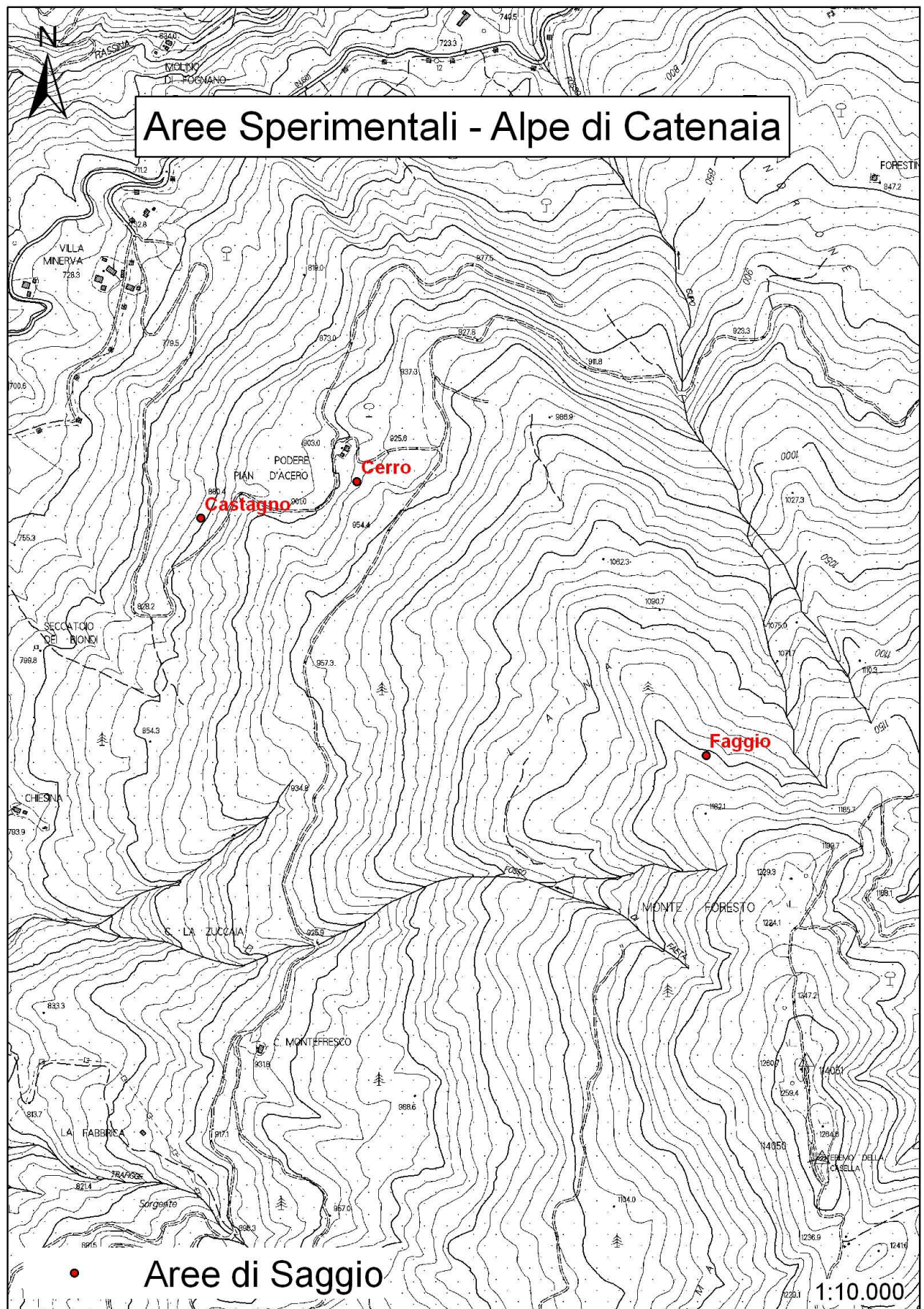


Figura 2.4 – Indice di De Martonne (periodo dal 1991 al 2010) - stazione termo pluviometrica di LaVerna (AR).

Il valore più basso dell'indice di aridità è stato registrato nel 2003 (17,3) e nel 2007 (17,5), mentre quello più alto nel 2004 con un valore pari a 26,3.

2.2.2 Caratterizzazioni delle aree sperimentali



Il protocollo sperimentale attivato nel 1991 dal CRA –SEL ha avuto lo scopo di analizzare e testare le modalità dei diradamenti su popolamenti di origine agamica di castagno, cerro e faggio, e di monitorarne la struttura.

L'età abbastanza elevata di tali soprassuoli rispetto alla media di analoghi popolamenti toscani, unitamente alla buona fertilità stazionale che ha concorso a strutturare rapidamente il bosco, hanno fatto di questo protocollo un valido banco di prova per sperimentazioni funzionali alla futura fase di rinnovazione. Le tabelle 2.6 e 2.7 riportano i principali parametri stazionali e dendrometrici delle aree sperimentali.

Tabella 2.6 – Parametri stazionali nelle aree di studio dell' Alpe di Catenaiola (AR).

Area di studio Alpe di Catenaiola (AR)	Età (anni)	Trattamento passato	Quota m (s.l.m)	Esposizione	Pendenza %
Cerro	59 (2010)	Taglio avviamento e 2 dir	915	NO	15
Castagno	59 (2009)	Taglio avviamento	860	NE	15-30
Faggio	64 (2009)	Taglio avviamento e 2 dir	1050	SO	15

Tabella 2.7 – Principali parametri dendrometrici delle aree di studio dell Alpe di Catenaiola (AR)

Area di studio Alpe di Catenaiola (AR)	N p/ha⁻¹	G m²/ha⁻¹	Età diradamento
Cerro	391	28,1	Diradamento a 25, 40 e 55 anni
Castagno	920	37,6	Diradamento a 22 anni
Faggio	414	23,8	Diradamento a 27, 42 e 57 anni

Il soprassuolo di faggio, all'epoca dell'impianto del protocollo sperimentale (1972) era costituito da un ceduo puro e caratterizzato da una buona fertilità, a densità pressoché colma con poche matricine (10 ad ettaro) di grandi dimensioni (Amorini et al., 2010). Nella primavera del 1973 è stato sottoposto a taglio di avviamento ad alto fusto con diradamento dal basso che ha asportato circa il 70% dei polloni presenti ed il 37% dell'area basimetrica. Successivamente sono stati eseguiti due tagli intercalari nel 1987 (42 anni) e nel 2002 (a 57 anni), entrambi di tipo selettivo e di moderata – forte intensità. Il diradamento del 1987 ha esportato il 66% del numero dei polloni pari al 44% dell'area basimetrica; l'entità del diradamento del 2002 è stata invece del 41% in numero di polloni, corrispondente al 29% di area basimetrica.

Il popolamento di cerro è stato sottoposto ad un taglio di avviamento all'età di 25 anni, e, successivamente, nel 1991 a 40, anni la giovane fustaia fu sottoposta ad un diradamento che ha interessato il 60% delle piante con una percentuale di area basimetrica pari al 38%. L'entità del diradamento del 2005 (54 anni) è stata invece del 30% in numero di polloni corrispondente al 23% in area basimetrica.

Il soprassuolo di castagno, derivante da un intervento di avviamento all'età di 22 anni, è stato diradato nel 1973 con un intervento eseguito dalla Comunità Montana del Casentino che ha asportato il 65% dei polloni presenti ed il 40% dell'area basimetrica.

In tabella 2.8 è stata riportata l'entità dei diradamenti eseguiti in ogni area oggetto di studio.

Tabella 2.8 – Entità del diradamento in percentuale in numero (N) e in area basimetrica (G) nelle aree oggetto di studio – Alpe di Catenaiola (AR).

Alpe di Catenaiola (AR)	1° diradamento avviamento			2° diradamento			3° diradamento		
	N	%	G	N	%	G	N	%	G
Cerro	Eseguito da Com Mon			60		38	30		23
Castagno	65		40						
Faggio	70		37	66		44	41		29

2.3 Riferimenti bibliografici

Amorini E., Bruschini S., Manetti M.C., 2000 - Alternative silvicultural systems in chestnut (*Castanea sativa* Mill.) coppice: effects of silvicultural practice on stand structure and tree growth. *Ecologia Mediterranea*, 26 (1-2): 155-162.

Amorini E., Fabbio G., Bertini G., 2010 – L'avviamento ad alto fusto dei cedui di faggio. Risultati del protocollo "Germano Gambi" sull' Alpe di Catenaia (Arezzo). *Annali C.R.A – SEL* 2009-2010 Vol 36:151-172.

Amorini E., Manetti M.C., 1997 - Le fustaie da legno di castagno del Monte Amiata. *Annali Istituto Sperimentale Selvicoltura*, vol. 28, Arezzo: 53-61.

Amorini E., Cutini A., Manetti M.C., 2002 - Il ceduo di castagno a turno lungo: una via sostenibile per la produzione di legname di qualità. *Atti del Convegno Nazionale Castagno 2001*, Marradi 25-27 ottobre 2001: 317-325.

De Martonne E., 1926 – Une nouvelle fonction climatique: l'indice di aridité. *Le Météorologie*, 2: 449 – 459.

D.R.E. AM Italia 2009. Piano di assestamento dell'Alpe di Catenaia (AR) 2009 – 2023.

CAPITOLO 3

IMPATTO DEL TRATTAMENTO SUI PARAMETRI ECOLOGICI

LAI, trasmittanza e produzione di lettiera, parametri utilizzati in campo forestale

3.1 Introduzione

Il grado di copertura del terreno da parte della vegetazione e la struttura geomorfologica e spaziale delle chiome sono tra i principali fattori che regolano le interazioni tra vegetazione ed atmosfera influenzando gli scambi gassosi, il bilancio idrico, l'intercettazione della radiazione solare e la produzione primaria. In particolare la luce solare incidente è il fattore determinante per lo sviluppo e le dinamiche dei popolamenti forestali. La descrizione del regime luminoso sotto copertura di un popolamento forestale fornisce informazioni utili ai fini ecologici e gestionali. L'intensità e la qualità della luce sotto copertura variano infatti nello spazio e nel tempo in funzione della distribuzione spaziale del popolamento e della morfologia dei fusti e delle chiome (Schirone et al. 1985). Per tale motivo tra le caratteristiche della copertura forestale, quelle più comunemente analizzate sono l'indice di area fogliare (LAI) e la trasmittanza (PAR – radiazione solare trasmessa al suolo in percento rispetto a quella incidente il piano delle chiome). L'indice di area fogliare (LAI) rappresenta uno degli elementi chiave per la comprensione dei processi che governano la dinamica di un popolamento forestale. Essendo il principale indicatore della copertura è strettamente legato alla produttività, al microclima interno del bosco, ai cicli biogeochimici, al bilancio idrico e al bilancio del carbonio (Breda et al. 2002). Le variazioni negli anni del LAI dipendono essenzialmente dai “disturbi” prodotti dai diradamenti (Dantec et al. 2000), dal vento, dal fuoco o dalla forte siccità (Davi et al. 2008, Meir e Lauschner 2008).

La trasmittanza influisce anche sulla germinazione dei semi, l'accrescimento e la sopravvivenza dei semenzali (Paci 2011). Tali variabili a fronte di eventi perturbanti di natura abiotica e biotica, sono maggiormente sensibili ed hanno tempi di risposta più immediati rispetto alle altre componenti misurabili dell'ecosistema forestale. Proprio per questo motivo sono dei buoni indicatori in grado di evidenziare l'impatto delle varie forme di gestione sulla parte più dinamica dell'ecosistema forestale, ovvero quella epigea. È quindi evidente l'interesse per un'analisi comparata delle modificazioni indotte da diverse forme di gestione e trattamento selvicolturale su questi due parametri, soprattutto laddove si guardi al bosco non solo da un punto di vista esclusivamente produttivistico ma anche ecologico, ambientale e di tutela.

Analogamente, la quantità di lettiera annualmente prodotta, oltre che elemento fondamentale nei cicli biogeochimici come il principale veicolo per la restituzione dei nutrienti al suolo, rappresenta anche un indice di produttività e di complessità di un ecosistema forestale (Bray e Gorham 1964, Kira e Shidei 1967, Brèda 2003). Infatti, attraverso la decomposizione e la mineralizzazione, gli elementi immobilizzati nella sostanza organica sono resi nuovamente disponibili. In particolare, in popolamenti giovani la lettiera epigea è costituita per il 70% da foglie, mentre il resto è rappresentato da rami, cortecce, frutti, infiorescenze. Considerando le foreste temperate di latifoglie decidue la quantità di lettiera è compresa tra 1 e 9 Mg ha⁻¹annua⁻¹, con valori più spesso oscillanti attorno a 4-5 Mg ha⁻¹annua⁻¹ (Paci op.cit). Per quanto riguarda la stagionalità della caduta l'andamento si differenzia in funzione della specie, della stagione e dall'andamento climatico. La quantità di lettiera al suolo è correlata inversamente alla longevità delle foglie. Il periodo dell'anno della caduta influenza la decomposizione, cui contribuiscono microrganismi, microfauna e mesofauna. Tale flusso concorre con altri fattori pedoecologici (temperatura e umidità del suolo, Ph, disponibilità di O₂, etc...) influenzati dall'azione antropica (gestione selvicolturale, inquinamento, ecc.) al condizionamento dei processi di decomposizione dei detriti e quindi dalla disponibilità di elementi nutritivi, indispensabili per la sintesi di nuova biomassa da parte della componente autotrofa.

3.2 Materiale e metodo

I rilievi sono stati condotti in aree sperimentali di 2500 m² presenti sul Monte Amiata (SI) e sull'Alpe di Catenaia (AR). La stima della produzione annuale di lettiera e di seme è stata eseguita posizionando, in ogni area di studio, con criterio sistematico-geometrico, 9 trappole di metallo quadrate di 0,25 m² di superficie, all'altezza di 1 m dal suolo. Dal 1991, il materiale è stato raccolto con cadenza quindicinale nel periodo autunnale e mensilmente per tutto il resto dell'anno. In laboratorio si è divisa la lettiera nelle sue principali componenti (foglie della specie principale, foglie delle altre specie accessorie, rami, frutti, seme e altro). La biomassa anidra è stata ottenuta ponendo il materiale in stufa ventilata a temperatura costante di 85°C ±2 per 24 ore fino al raggiungimento del peso secco stabile. In sede di elaborazione i dati sono stati raggruppati secondo queste componenti, in modo da ottenere le indicazioni non solo sui valori totali di lettiera annualmente prodotta, ma anche sulla ripartizione per specie e per componenti e sulla variazione delle stesse nel tempo.

La stima del LAI è stata eseguita per via indiretta utilizzando il Plant Canopy Analyzer LAI 2000 (Li-Cor, Lincoln, NE, USA), strumento in grado di fornire stime accurate a partire da misure di radiazione diffusa (Cutini 1994, Cutini et al. 1998, Cutini et al. 2004, Marino et al.

2005, Cutini e Varallo 2005; Eriksson et al. 2005) attraverso un sensore ottico emisferico. Il sensore contiene un filtro ottico che permette il passaggio della radiazione $< 400 \text{ nm}$ (regione blu dello spettro che indica la quantità di radiazione diffusa) e riduce la radiazione diretta trasmessa e riflessa dalle foglie. I rilievi, condotti nel periodo giugno-settembre con frequenza mensile dal 1991 al 2010, sono stati eseguiti in condizioni di prossimità dell'alba e del tramonto con criterio sistematico-geometrico in corrispondenza delle trappole per la raccolta della lettiera. I dati scaricati con l'apposito software (FV2000, Li-Cor, Lincoln, NE, USA) sono stati ricalcolati ignorando l'anello zenitale più esterno (58°), in analogia con quanto proposto da altri autori (Dufrene e Breda 1995, Cutini et al. op.cit 1998). Le serie dei dati ottenuti è stata mediata per ogni singolo anno.

Con protocollo analogo a quello descritto per le stime di LAI sono state effettuate anche misure di PAR (radiazione foto sinteticamente attiva, banda $0.4\text{-}0.7 \mu\text{m}$) per valutare l'effetto della copertura sulla quantità di luce che raggiunge al suolo. Le misure sono state effettuate dal 1991 al 2010 con ceptometri (Sunfluck SF 80, AccuPAR model PAR- 80 e LP-80 - Decagon Devices Inc., Pullman, WA, USA). Il ceptometro è uno strumento composto da una barra su cui sono disposti 80 sensori di PAR e da un micrologger per la memorizzazione dei dati, che vengono scaricati sul computer. In ogni punto di misurazione sono stati determinati quattro valori nella direzione dei quattro punti cardinali con la barra del sensore orientata perpendicolarmente al terreno. Le acquisizioni sono state realizzate in giornate serene tra le ore 11.00 e le 14.00 solari locali, poiché in questo arco di tempo la radiazione incidente resta pressoché costante. Per risalire alla trasmittanza, radiazione sottocopertura in percento di quella incidente sopra il piano delle chiome, sono state eseguite misure di riferimento, immediatamente prima e dopo ogni serie di rilievi, in un punto completamente privo di copertura nei pressi delle aree. I valori medi di radiazione misurati all'interno di ciascuna area sono stati messi in relazione con le misure di riferimento per ottenere la trasmittanza media del popolamento.

Per ogni anno sono state eseguite le principali statistiche descrittive quali media, deviazione standard (SD) e coefficiente di variazione (CV). Inoltre, per valutare se sussistono differenze significative tra i popolamenti, nei due diversi siti, in funzione degli indici di produttività, è stata effettuata l'analisi della varianza utilizzando il software statistica (StatSoft, Inc. Tulsa, OK, USA).

Infine la produzione di seme e di foglie è stata correlata con l'indice di aridità (I_a) di De Martonne (1923).

3.3 Risultati

Lo studio dei parametri ecologici effettuato sui popolamenti analizzati nello studio (un solo diradamento e più interventi selvicolturali) ha permesso di evidenziare l'evoluzione, l'efficienza e la produttività di tali soprassuoli.

Tale analisi permette quindi una migliore conoscenza di formazioni di rilevante interesse e un'ampia valutazione degli interventi selvicolturali e delle linee di gestione possibili.

Il diradamento infatti, non si traduce solo in una mera asportazione di biomassa o di diminuzione della competizione inter – individuale, ma innesca processi che comportano modificazioni della struttura del popolamento, dell'architettura delle chiome e del microclima interno del bosco. Infatti età, struttura e densità del bosco, modificando i rapporti spaziali tra gli individui, influenzano il numero, le dimensioni delle foglie ed il rapporto foglie di luce ed ombra (Schirone et al. op.cit). Le caratteristiche morfometriche delle lamine fogliari derivano soprattutto dai parametri ecologici e dalla fenologia della specie esaminata.

È quindi evidente l'interesse per un'analisi comparata delle modificazioni indotte da diverse forme di gestione e di trattamento selvicolturale su questi due parametri (LAI e PAR), soprattutto laddove si guardi al bosco non solo da un punto di vista meramente produttivistico. In linea con questo tipo di approccio si ritiene significativo analizzare gli effetti di alcune opzioni colturali sui cedui dell'area appenninica.

3.3.1 Aree a castagno sull'Amiata

Nelle tabelle 3.1 e 3.2 sono riportate le principali statistiche descrittive riferite a tutti i parametri relativi alla produttività (LAI, PAR, lettiera fogliare e totale e produzione di seme) di ogni popolamento esaminato.

Tabella 3.1 – Principali statistiche descrittive relative alla produttività relative ai popolamenti adulti (A1D 1 diradamento e A3D 3 diradamenti)

		A3D	A1D
LAI	Media	4,1	5,4
	Deviazione std.	1,0	0,6
	Minimo	2,2	4,5
	Massimo	5,2	6,9
	CV	0,2	0,1
PAR	Media	7,9	2,2
	Deviazione std.	6,2	1,1
	Minimo	1,2	0,6
	Massimo	21,6	4,7
	CV	0,8	0,5
FOGLIE	Media	3,4	6,7
	Deviazione std.	0,5	0,5
	Minimo	2,4	2,7
	Massimo	4,3	4,3
	CV	0,1	0,1
SEME	Media	0,9	1,1
	Deviazione std.	0,6	0,7
	Minimo	0,1	0,2
	Massimo	2,5	2,7
	CV	0,6	0,6

Tabella 3.2 – Principali statistiche descrittive relative alla produttività relative ai popolamenti giovani sottoposti a 2 e 3 diradamenti. (G3D e G2D).

		G3D	G2D
LAI	Media	4,5	4,8
	Deviazione std.	1,1	1,3
	Minimo	2,6	2,9
	Massimo	6,3	7,5
	CV	0,2	0,3
PAR	Media	6,1	4,5
	Deviazione std.	5,4	3,7
	Minimo	1,9	1,6
	Massimo	20,7	13,4
	CV	0,9	0,8
FOGLIE	Media	4,0	3,4
	Deviazione std.	0,7	0,7
	Minimo	3,1	1,8
	Massimo	5,5	4,8
	CV	0,2	3,0
SEME	Media	1,0	0,6
	Deviazione std.	0,5	0,5
	Minimo	0,3	0,2
	Massimo	1,6	2,3
	CV	0,5	0,9

I coefficienti di variazione di tutti i parametri sono più alti nelle tesi sottoposte a più diradamenti, per le modificazioni indotte dagli interventi selvicolturali.

Nell'area A3D la produzione annuale di lettiera varia da un minimo di 3,4 ad un massimo di 7,8 Mg ha^{-1} (con valori medi di $5,58 \text{ Mg ha}^{-1} \pm 0,30$), la lettiera fogliare da un minimo di 2,4 ad un massimo di 4,3 $\text{Mg ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ (con valori medi di $3,31 \text{ Mg ha}^{-1} \pm 0,13$), e il LAI (figura 3.1) da un minimo di 2,2 ad un massimo di $5,2 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ (con valori medi di $4,10 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2} \pm 0,26$).

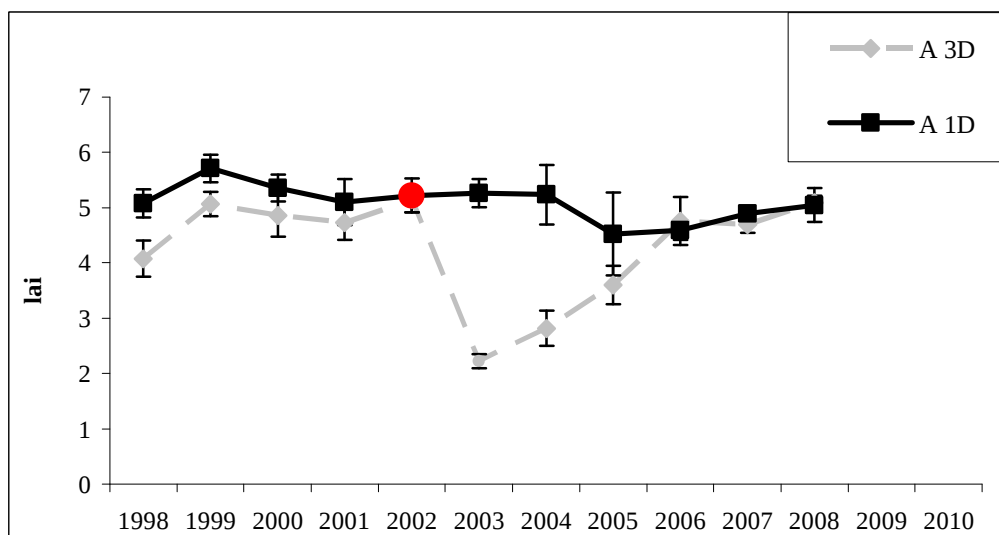


Figura 3.1 – Valori di LAI nei popolamenti adulti (● diradamento). A3D: 3 dir; A1D: 1 dir

Nella tesi di controllo (A1D), la produzione annuale di lettiera varia da un minimo di 3,8 ad un massimo di 9,3 Mg ha^{-1} (con valori medi di $3,61 \text{ Mg ha}^{-1} \pm 0,12$) la lettiera fogliare da un minimo di 2,7 ad un massimo di 4,3 $\text{Mg ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ (con valori medi di $6,66 \text{ Mg ha}^{-1} \pm 0,35$), e il LAI (figura 3.1) da un minimo di 4,5 ad un massimo di $6,9 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ (con valori medi di $5,37 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2} \pm 0,16$).

Anche per quanto riguarda i soprassuoli giovani sottoposti a tre e a due diradamenti (G3D e G2D) si osservano delle differenze nella produzione di lettiera annuale che varia da un minimo di 3,8 ad un massimo di 8,6 Mg ha^{-1} per la prima e da 3,9 a 7,3 8,6 Mg ha^{-1} per la G2D. Nell'area sottoposta a tre diradamenti la lettiera fogliare varia da un minimo 3,0 di ad un massimo di 5,5 $\text{Mg ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ (con valori medi di $4,01 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ an}^{-1} \pm 0,17$), e il LAI (figura 3.2) da un minimo 2,6 di ad un massimo di $6,3 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ (con valori medi di $4,48 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2} \pm 0,26$).

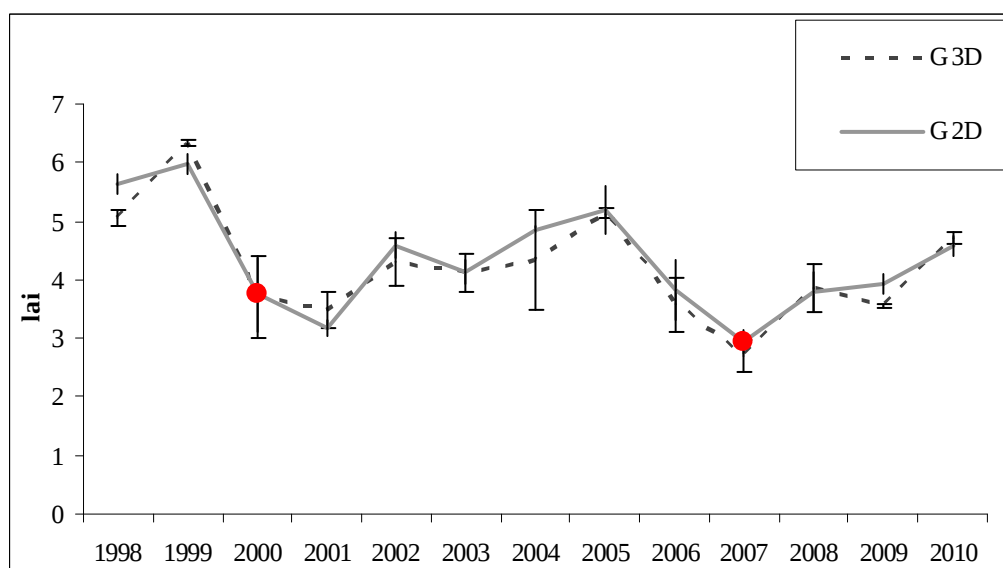


Figura 3.2 – Valori di Lai nei popolamenti giovani (● diradamento): G3D: 3 dir; G2D 2 dir.

Nell'area G2D la lettiera fogliare varia da un minimo di 1,8 ad un massimo di 4,8 Mg ha⁻¹ (con valori medi di 3,37 Mg ha⁻¹ ± 0,12) e il LAI da un minimo di 2,9 ad un massimo di 7,5 m² m⁻² (con valori medi di 4,77⁻² ± 0,34). La ripartizione della lettiera nelle principali componenti (figura 3.3) mostra che la componente foglie è pressoché identica sia nelle tesi con più diradamenti che in quelle con un minor numero di interventi selvicolturali. Si osserva una presenza maggiore della componente frutti nel diradato (A3D) mentre della necromassa nel popolamento in evoluzione naturale (A1D) e in quello giovane sottoposto a solo due diradamenti (G 2D).

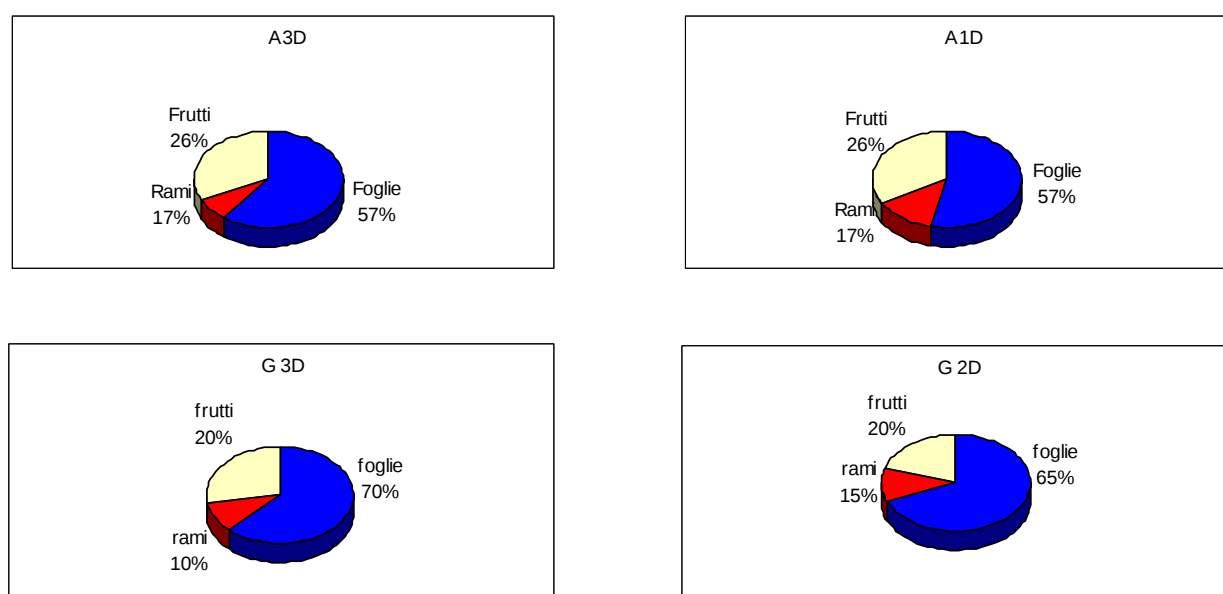


Figura 3.3 - Ripartizione della lettiera nelle principali componenti in % nelle 4 aree di studio.

Analizzando l'andamento delle variabili nel corso del periodo di osservazione si possono trarre ulteriori indicazioni. Confrontando gli andamenti della produzione di lettiera fogliare risultano interessanti le reazioni delle aree agli interventi di diradamento (figura 3.4). L'effetto del diradamento con il repentino incremento di produzione fogliare è più visibile nei cedui giovani (G2D e G3D). Tale risultato è confermato dall'analisi dell'anova che evidenzia una differenza statisticamente significante ($p < 0,0001$) tra i due popolamenti.

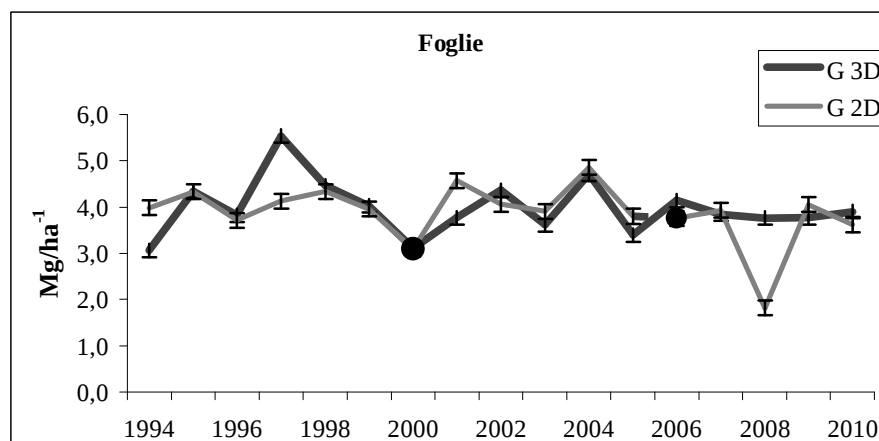


Figura 3.4 – Andamento della produzione lettiera fogliare nei popolamenti giovani (● diradamento).

Nella tesi A3D non è possibile osservare bene l'effetto dell'intervento eseguito nel 2002 in quanto il 2003 è stato un anno caratterizzato da una forte siccità con riduzione nella produzione di foglie per poi incrementare repentinamente nell'anno successivo (figura 3.5).

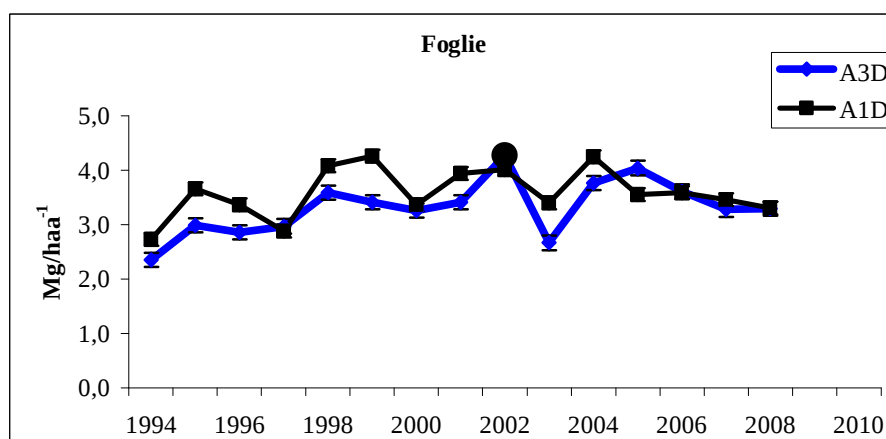


Figura 3.5 – Andamento della produzione lettiera fogliare nei popolamenti adulti (● diradamento).

Lo stesso andamento si è riscontrato nella produzione di seme.

Dall'analisi del test T sono emerse differenze significative in termini di quantità di seme prodotto sia tra i due popolamenti giovani ($p = 0,03$) sia per quelli adulti (A1D, A3D) nonostante quest'ultimi presentino un andamento molto simile; è da sottolineare invece la ciclicità nella produzione di seme, con picchi ogni 3 anni, e la maggiore regolarità nelle aree con più diradamenti e soprattutto in quella giovane (G3D).

Infine, in ogni popolamento la produzione di seme annua è stata correlata e confrontata con l'indice di aridità (Ia) di de Martonne (figura 3.6). Si osserva negli anni un andamento analogo tra l'indice di aridità (Ia) e la produzione di seme; in particolare negli anni 2003 e 2007, caratterizzati da una forte siccità, l'Ia subisce un brusco decremento (14,7 e 13,7) al quale corrisponde una bassa produzione di seme.

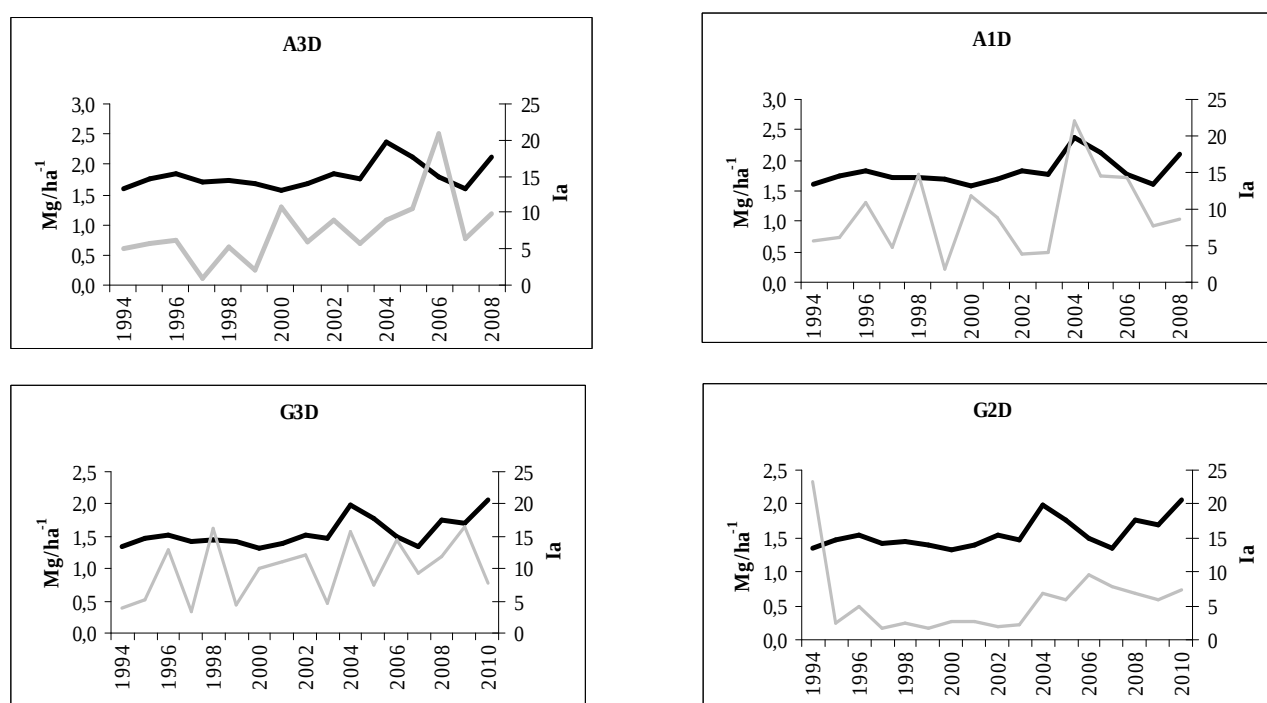


Figura 3.6 – Produzione di seme annuale (—) e andamento dell'indice di aridità (Ia —).

I valori di trasmittanza, rilevati nelle due tesi (A1D, A3D) dal 1995 al 2008 definiscono la capacità di risposta e di ripristino della copertura forestale a seguito dei diradamenti (figura 3.7).

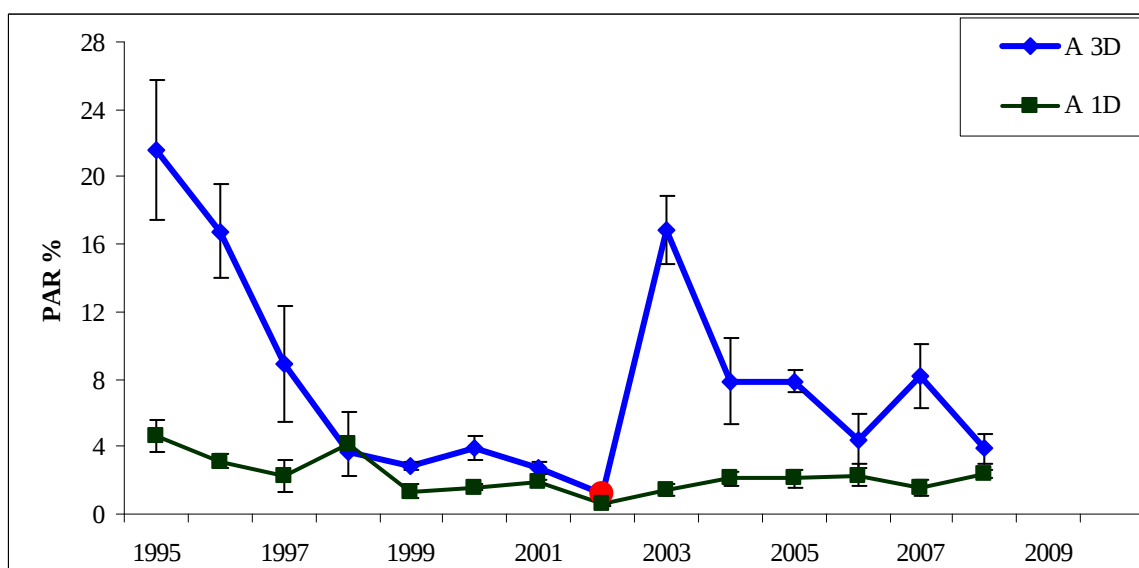


Figura 3.7 – Valori di trasmittanza (%) nei popolamenti adulti (● diradamento).

L'intervento di diradamento, eseguito nel 2002, ha notevolmente aumentato la quantità di radiazione (da 1,1 a 16,8%), ma la capacità di ricostituzione della copertura dopo il disturbo operato dal diradamento si mantiene sostenuta, anche se il minor dinamismo dei popolamenti adulti si è tradotto in un più lento recupero di trasmittanza che risulta significativamente differenti per i tre anni successivi. I diradamenti eseguiti nei popolamenti più giovani nel 2000/01 e 2006/07 (figura 3.8) hanno innalzato fortemente la quantità di PAR, ma la copertura viene quasi immediatamente riformata.

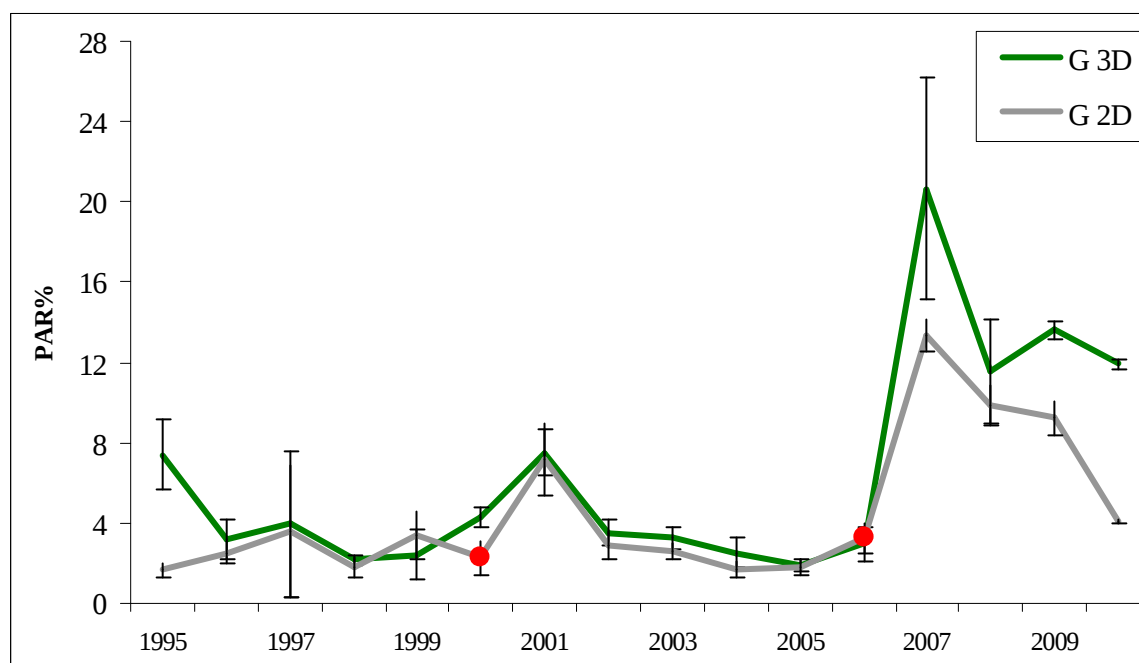


Figura 3.8 – Valori di trasmittanza (%) nei popolamenti giovani (● diradamento).

3.3.2 Area a castagno sull'Alpe di Catenaiia

L'area sperimentale di castagno localizzata sull'Alpe di Catenaiia è un avviamento ad alto fusto di 59 anni (nel 2009) che ha subito solo il taglio di avviamento a 22 anni di età (nel 1972) e successivamente solo interventi fitosanitari. Questo popolamento sia per l'età che per la storia selvicolturale può essere paragonato all'area di studio (A1D) localizzata sul Monte Amiata (48 anni ed 1 solo diradamento eseguito). Tra i due popolamenti, nonostante l'andamento della produzione annuale di lettiera totale, di seme e di foglie sia simile (annate di pasciona coincidenti), sussistono differenze significative ($p < 0,001$) nella produzione di seme e di lettiera totale. La fruttificazione è molto più alta nel soprassuolo (A1D) del Monte Amiata, probabilmente perché presenta una fertilità molto più elevata ($Hd = 23$ vs $Hd = 20$).

In tabella 3.3 sono riportate le principali statistiche descrittive riferiti ai parametri di produttività del popolamento.

Tabella 3.3 – Principali statistiche descrittive relative alla produttività relative al popolamento di Castagno.

	LAI	PAR	Foglie	Seme	Lettiera Totale
Media	4,4	5,9	3,3	0,7	5,4
Varianza	1,1	16,7	0,3	0,2	1,4
Deviazione std.	1,1	4,1	0,5	0,4	1,2
Minimo	2,4	2,0	2,1	0,0	3,3
Massimo	6,2	18,2	4,1	0,2	7,6
CV	0,2	0,7	0,2	0,5	0,2

Nell'area sperimentale la produzione annuale di lettiera varia da un minimo di 3,5 ad un massimo di 7,6 $Mg\ ha^{-1}$ con valori medi di 5,4 $Mg\ ha^{-1} \pm 0,27$, la lettiera fogliare da un minimo di 2,1 ad un massimo di 4,1 $Mg\ ha^{-1}$ (valori medi di 3,3 $Mg\ ha^{-1} \pm 0,12$), e il LAI da un minimo di 2,4 ad un massimo di 6,2 $m^2\ m^{-2}$ (valori medi di 4,3 $m^2\ m^{-2} \pm 0,14$).

La ripartizione della lettiera totale nelle principali indica che la componente foglie è rappresentata dal 62%, il 17% è costituito dai ricci e l'8% dai rami. La produzione di seme registra annate con fruttificazione nulla e annate di pasciona (1993-2010) con un produzione massima di 0,2 $Mg\ ha^{-1}$; mentre la produzione media di seme per l'intero periodo è risultata pari a 0,72 $\pm 0,17\ Mg\ ha^{-1}$.

Dallo studio delle serie storiche dei valori di produzione di lettiera fogliare e di seme di castagno si riscontra un incremento della produzione all'aumentare dell'età.

Non è possibile considerare l'effetto del diradamento eseguito nel 1987 perché i dati a disposizione relativi alla produttività iniziano dal 1991. E' interessante però osservare come alla

forte siccità registrata nel 2003 faccia seguito nel 2004 un'alta produzione di seme e foglie (figura 3.9). In particolare, si evidenzia come l'andamento della produzione annuale dei frutti segua quello dell'indice annuale di De Martonne, il quale presenta un forte decremento nel 2003 per poi aumentare nel 2004. La correlazione tra l'indice di aridità e la produzione di frutti presenta un valore di r di Pearson pari a 0,4 ($p < 0,005$) mentre con le foglie è 0,3 ($p < 0,005$).

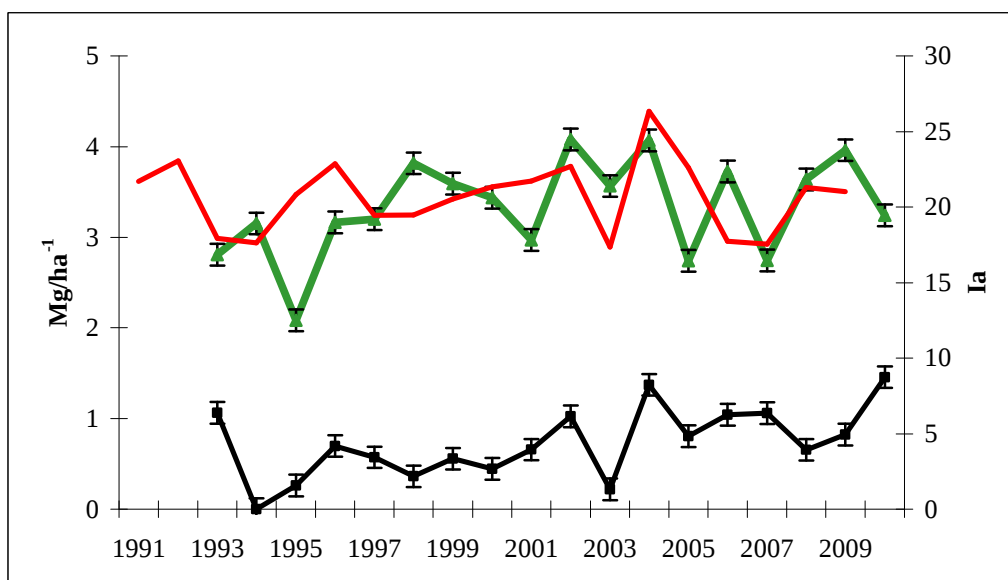


Figura 3.9 – Produzione di seme annuale (—), produzione di foglie annuale(—), e andamento dell'indice di aridità (Ia).

Dall'analisi delle serie storiche relative ai valori di LAI (figura 3.10) e di PAR (figura 3.11) si può desumere come il popolamento abbia già recuperato la copertura dopo cinque dal diradamento.

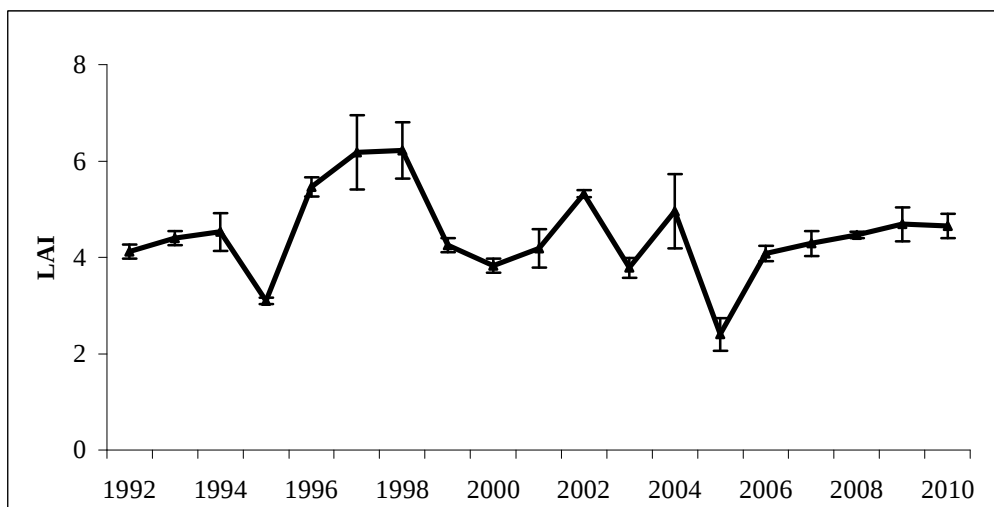


Figura 3.10 – Valori di LAI (18 anni di osservazione) nel popolamento di castagno

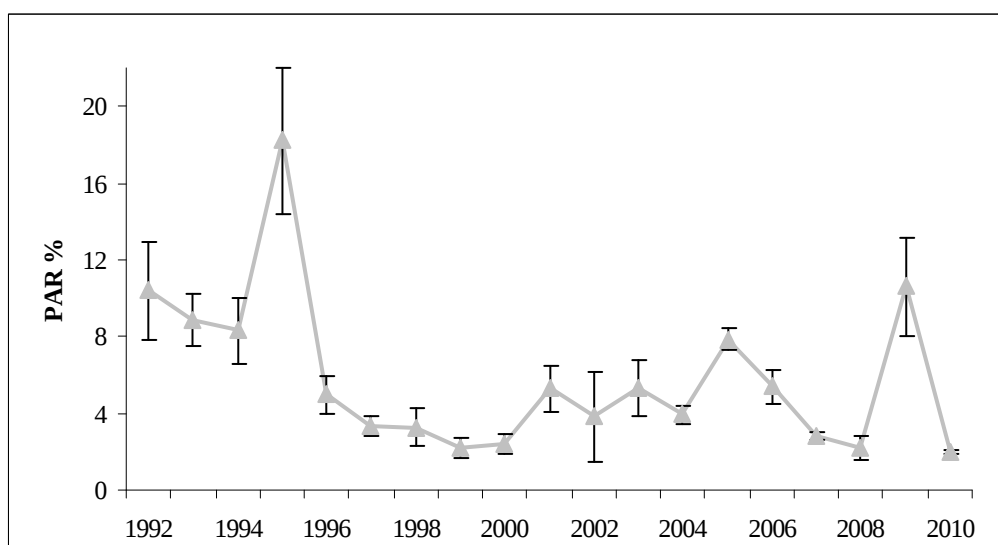


Figura 3.11 – Valori di trasmittanza % (18 anni di osservazione) nel popolamento di castagno

Interessante è osservare che nell'anno 1995 si ha un forte decremento dei valori di LAI ed in corrispondenza si registra il valore più alto di trasmittanza (18,22%). Tali valori potrebbero trovare una spiegazione in quanto l'anno 1994 è stato caratterizzato da una bassa piovosità autunnale (paragonabile a quella del 2003) e la piovosità primaverile dell'anno 1995 è stata molto scarsa (simile a quella 2003), il castagno ha reagito con poca emissione di foglie.

3.3.3 Area di cerro sull'Alpe di Catenaia

L'area sperimentale di cerro si presenta come un soprassuolo di 59 anni a struttura coetanea con fisionomia a fustaia monoplana, derivata dal taglio di avviamento del ceduo e da due successivi diradamenti. In tabella 3.4 sono riportate le principali statistiche descrittive riferiti ai parametri di produttività del popolamento.

Tabella 3.4 – Principali statistiche descrittive relative alla produttività relative al popolamento di Cerro.

	LAI	PAR	Foglie	Seme	Lettiera Totale
Media	3,6	9,1	3,1	0,8	6,3
Varianza	0,5	31,0	0,4	0,6	2,3
Deviazione std.	0,7	5,6	0,7	0,8	1,5
Minimo	2,4	3,1	1,8	0,0	3,5
Massimo	5,3	21,2	3,9	2,6	8,7
CV	0,2	0,6	0,2	1,1	0,2

Nonostante l'ampio periodo di osservazione e le drastiche modificazione indotte dal taglio di avviamento e dai due diradamenti, i coefficienti di variazione della lettiera totale, del LAI e delle

foglie sono all'incirca intorno al 20%, mentre è molto basso, circa 11%, il coefficiente di variazione riguardante la produzione di seme.

Nell'area sperimentale la produzione annuale di lettiera varia da un minimo di 3,46 ad un massimo di 8,73 Mg ha⁻¹ (6,33 Mg ha⁻¹ ± 1,49), la lettiera fogliare da un minimo di 1,76 ad un massimo di 3,94 Mg ha⁻¹ (3,09 Mg ha⁻¹ ± 0,72), e il LAI da un minimo di 2,42 ad un massimo di 5,28 m² m⁻² (3,64 m² m⁻² ± 0,85).

Nell'analisi della ripartizione della lettiera totale nelle principali componenti si osserva che la componente foglie rappresenta il 50%, il 13% è costituito da rami e l'11% da foglie di altre specie. Si rileva una certa ciclicità nella produzione di seme con picchi ogni tre-quattro anni (2002-2005-2009) con un produzione massima di 2,62 Mg ha⁻¹ nell'anno 2005; mentre la produzione media di seme per l'intero periodo è risultata pari a 0,75 ± 0,178 Mg ha⁻¹.

Esaminando l'andamento delle variabili, riguardanti la produzione di lettiera e di seme e l'indice di aridità (figura 3.12), nel corso del periodo di osservazione si possono trarre ulteriori indicazioni.

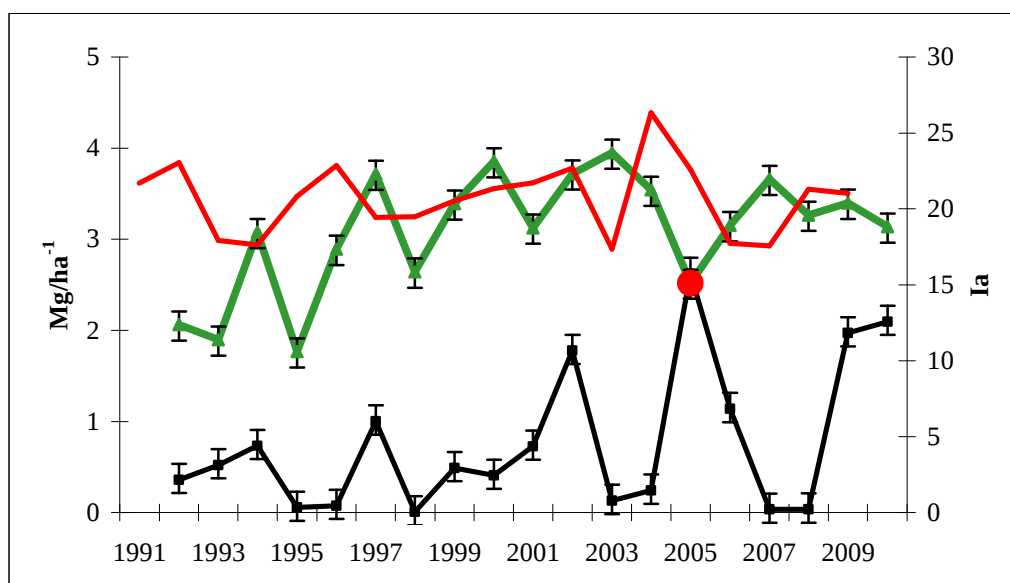


Figura 3.12 - Produzione di seme annuale (—), produzione di foglie annuale(—), andamento dell'indice di aridità (Ia —) e (●)diradamento.

Gli effetti della siccità dell'anno 2003 si riflettono negli anni successivi (2004-2005) con una scarsa produzione di foglie. Al contrario, i due anni successivi al diradamento eseguito nel (2005-2006) si caratterizzano per il graduale incremento di lettiera e di produzione di seme.

Una scarsa produzione di foglie è stata registrata anche nel 1995, l'anno 1994 infatti è stato caratterizzato da una bassa piovosità autunnale (paragonabile a quella del 2003) e la piovosità

primaverile dell'anno 1995 è stata molto scarsa (simile a quella 2003). Tale condizione si riflette sulla mancata produzione di seme negli anni 1995-1996.

I risultati emersi a livello di lettiera e di LAI trovano riscontro nei dati di trasmittanza e (figure 3.13 e 3.14), di conseguenza nella radiazione intercettata dalla copertura del popolamento.

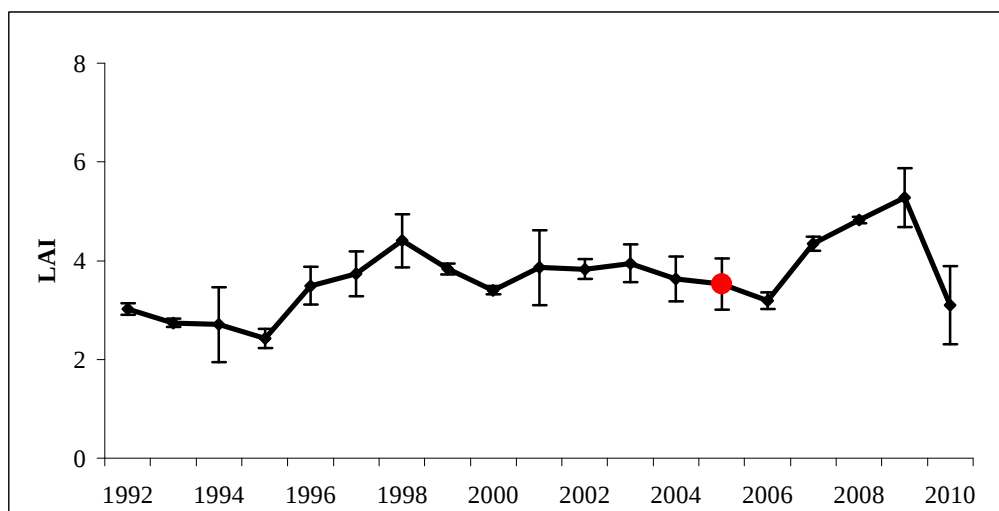


Figura 3.13 – Valori di LAI (18 anni di osservazione) nel popolamento di cerro (● diradamento).

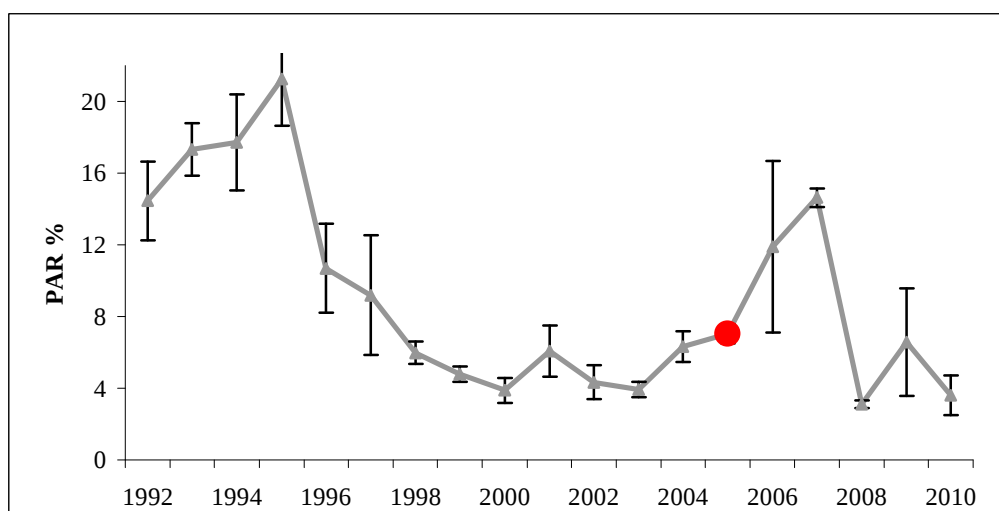


Figura 3.14 – Valori di trasmittanza (18 anni di osservazione) nel popolamento di cerro (● diradamento).

Risulta evidente il pronto recupero delle chiome negli anni successivi al diradamento; nel 2008 il valore è già inferiore a quello del 2005. Un anno da segnalare dal punto di vista climatico per la siccità è 1995, il cerro risponde con una bassa produzione di foglie e si registrano elevati valori di trasmittanza.

3.3.4 Area di faggio sull'Alpe di Catenaia

Il soprassuolo di faggio ha un'età di 64 anni e presenta fisionomia a fustaia coetanea e monopiana derivata dal taglio di avviamento e da due successivi diradamenti. In tabella 3.5 sono riportate le principali statistiche descrittive riferiti ai parametri di produttività del popolamento.

Tabella 3.5 – Principali statistiche descrittive relative alla produttività relative al popolamento di Faggio.

	LAI	PAR	FOGLIE	SEME	LETTIERA TOTALE
Media	5,0	4,5	3,1	0,1	4,1
Varianza	1,2	22,9	0,6	0,0	1,2
Deviazione std.	1,1	4,8	0,8	0,1	1,1
Minimo	2,3	0,4	1,1	0,0	1,3
Massimo	6,7	16,7	4,6	0,3	5,8
CV	0,2	1,1	0,3	1,3	0,3

L'area presenta valori di lettiera totale che variano da un minimo di 1,3 ad un massimo di 5,8 Mg ha⁻¹ annuo⁻¹ con valori medi nell'area di 4.08 ± 0.24 Mg ha⁻¹, mentre la lettiera fogliare da un minimo di 1,07 ad un massimo di 4,55 Mg ha⁻¹ annuo⁻¹ e valori medi registrati lungo il periodo di osservazione pari a $3,13 \pm 0,17$ Mg ha⁻¹ annuo⁻¹. La produzione di seme registra annate con fruttificazione nulla e annate di pasciona (1994-2007) con un produzione massima di 0,34 Mg ha⁻¹; mentre la produzione media di seme per l'intero periodo è risultata pari a $0,079 \pm 0,02$ Mg ha⁻¹. L'analisi delle componenti principali della lettiera indica che le foglie rappresentano il 75% ed i rami il 14% della lettiera totale (figura 3.15), mentre dallo studio dell'andamento annuale delle foglie di faggio si osserva che dopo il diradamento del 2002 si riscontra un decremento della produzione di foglie (figura 3.16). Tale riduzione permane anche nel 2003 e 2004 – annate caratterizzate da estremi siccitosi- mentre dal 2005 si osserva un significativo recupero.

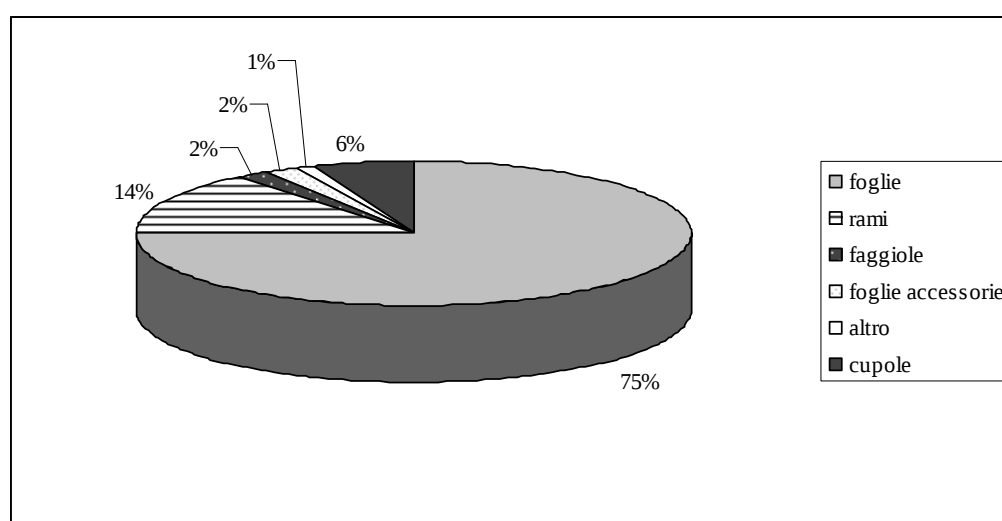


Figura 3.15 – Ripartizione della lettiera nelle principali componenti in % nell'area di faggio.

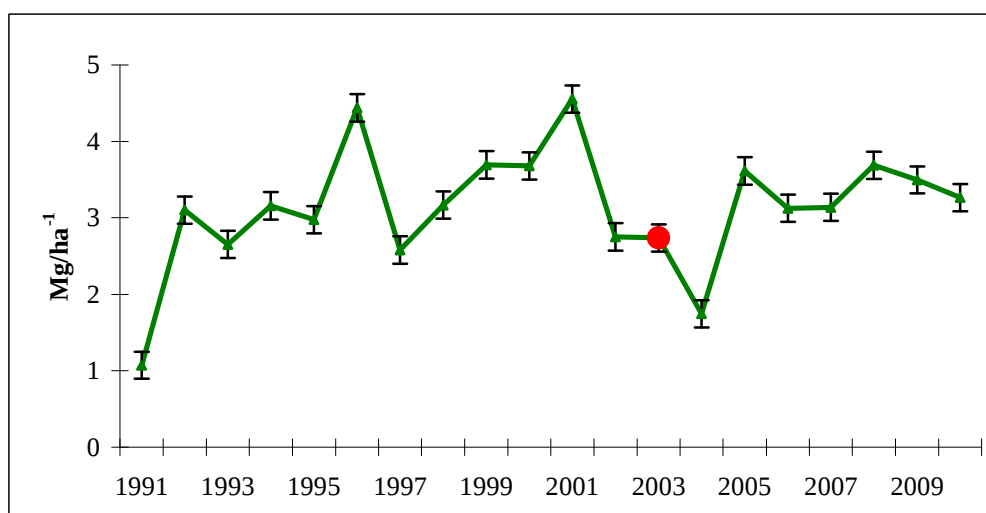


Figura 3.16 – Andamento della produzione annuale di foglie (●) diradamento.

Anche l'andamento annuale del periodo di osservazione 1991-2010 relativo alla produzione di seme presentano un andamento analogo (figura 3.17). Si osservano produzioni di seme pressoché nulla (8 anni su 19 di osservazione), sia di pasciona (1994, 1999 e 2007). E' interessante osservare come alla forte siccità registrata nel 2003 faccia seguito una annata di mezza-pasciona, a conferma della probabile relazione tra fruttificazione e aridità (Gregori e Miclaus 1985, Piovesan e Barnabei 1997). Tale risultato è visibile nella figura 3.18 dove si osserva come l'andamento della produzione annuale di seme segua lo stesso trend dell'indice di aridità di De Martonne negli anni caratteristici 2003-2004 e 2005.

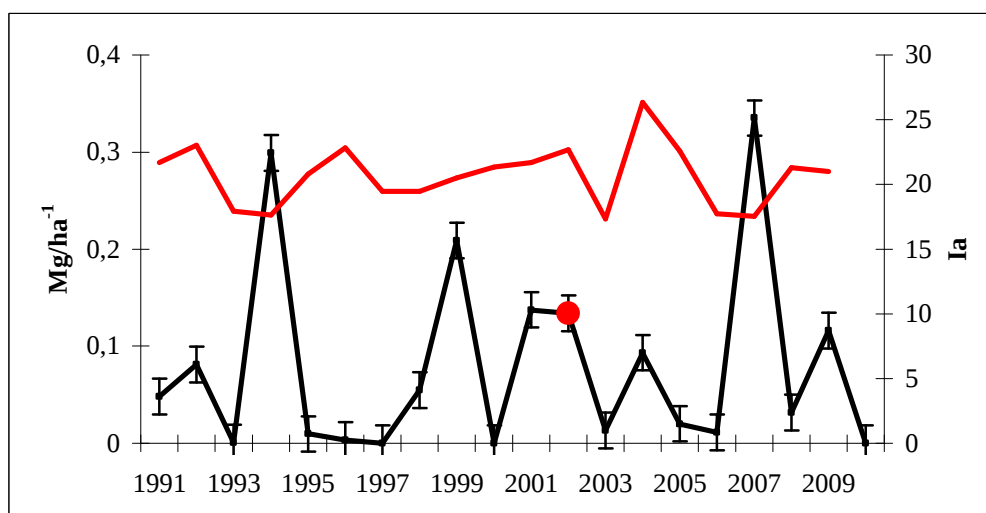


Figura 3.17 - Produzione di seme annuale (—), andamento dell'indice di aridità (Ia —) e (●) diradamento.

Per quanto riguarda le stime di LAI si osservano valori compresi tra 2,33 e 6,70 $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$ (media $4,99 \pm 0,24 \text{ m}^2 \text{m}^{-2}$). Dall'analisi delle serie storiche relative ai valori di LAI si può evincere

come sia visibile l'effetto del diradamento (2003-2004) dove i valori si riducono sensibilmente per poi registrare un progressivo recupero (figura 3.18).

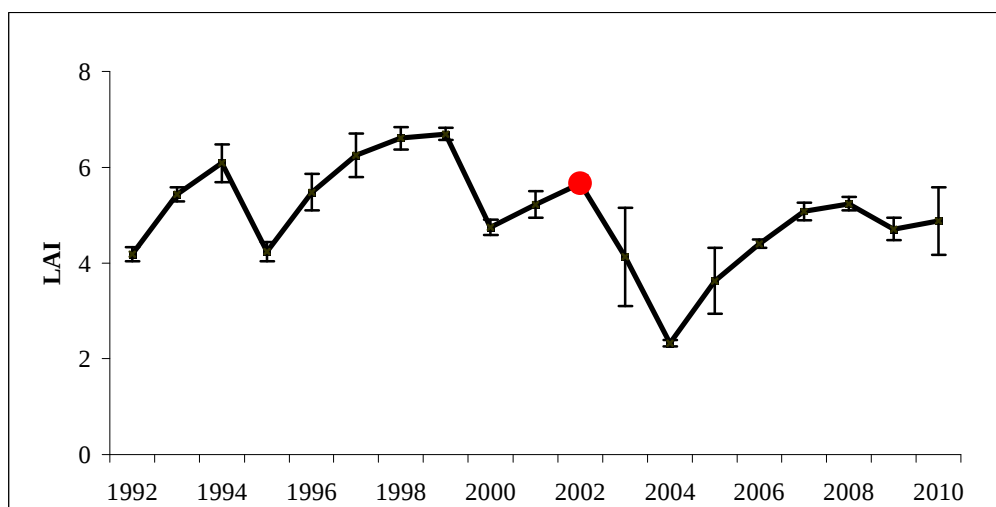


Figura 3.18 - Valori di LAI (19 anni di osservazione) nel popolamento di faggio (● diradamento).

Come atteso, l'area è caratterizzata da una maggiore presenza di radiazione al suolo subito dopo il diradamento (figura 3.19) con valori medi durante il periodo di osservazione pari a $4,45 \pm 1,09$ %; a partire dal 2005 fino al 2009 si registra una progressiva riduzione dei valori di trasmittanza per poi raggiungere i valori antecedenti al diradamento.

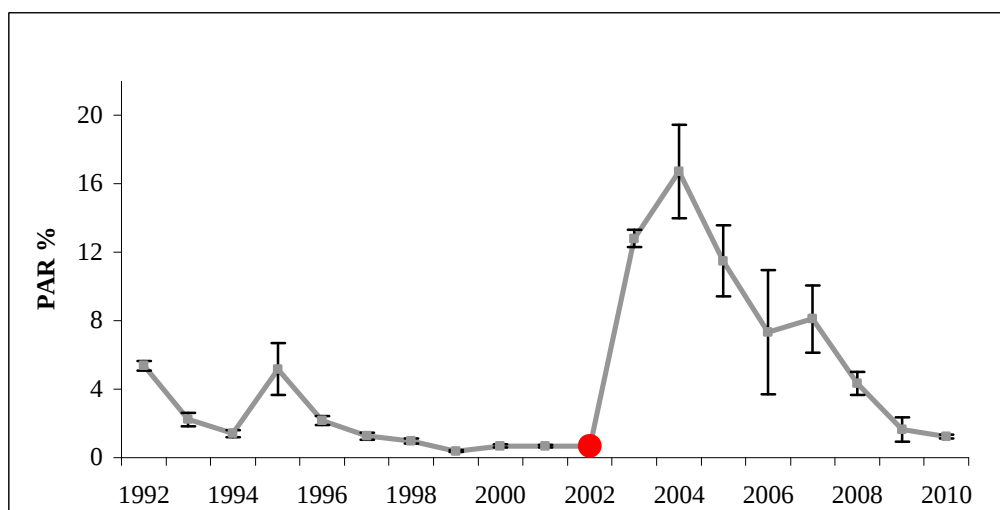


Figura 3.19 - Valori di trasmittanza (19 anni di osservazione) nel popolamento di cerro (● diradamento).

3.4 Discussioni

Sulla base della quantificazione e della caratterizzazione della lettiera molti autori hanno analizzato la funzionalità, lo sviluppo e la produttività di vari ecosistemi forestali (Bray e Gorham op.cit., Aussenac 1969, Guidi e Manetti 1994), così come lo studio del LAI (Duvigneud 1971, Waring 1983, Cutini e Tabacchi 1997, Cutini 1998, Bertelink 1997, Wang et al. 2004) ha permesso di valutare l'efficienza e la dinamica dei soprassuoli.

La concomitante disponibilità di risultati relativi ad una pluralità di variabili ecologiche strettamente correlate alla produttività, al funzionamento e alla dinamica di un soprassuolo (Gholz 1982, Waring op.cit., Bolstad e Gower 1990, Chason et al. 1991, Cutini 2002, Dobbertin et al. 2000, Leuschner et al. 2006) e, cosa ancor più rara, di un periodo di osservazione molto lungo (1991-2010), ha consentito di svolgere un'analisi articolata e approfondita degli effetti che la scelta della conversione, con le sue varianti, ha avuto sui soprassuoli di diverse specie di latifoglie di origine agamica.

Il ripristino entro pochi anni della copertura in seguito ai diradamenti che pure ne hanno interrotto in modo evidente la continuità è il denominatore comune misurato in questi diversi siti sperimentali nell'intervallo di trattamento dai 20 ad oltre 50 anni. La reattività ancora forte del cerro, del faggio e del castagno ad un'età tripla del turno adottato nell'ultimo periodo di ceduzione sembra essere il determinante del fenomeno. Il trattamento applicato ha avuto effetti significativi su LAI e produzione di lettiera. Le variazioni sono a carattere permanente, essendo risultate significative in tutti i periodi esaminati. Per quanta riguarda i diradamenti, si è osservato un recupero rapido e progressivo della copertura forestale, sia in termini di capacità d'intercettazione della radiazione solare che nei valori di LAI. La riduzione periodica della copertura e quindi dei valori di LAI ha permesso ai soprassuoli di mantenere un'alta efficienza ecologica (valori di LAI superiori a 5.0 – 5.5, per castagno e cerro e 7.0 per il faggio, determinano una diminuzione della biomassa prodotta per unità di superficie di foglie). Il confronto tra superfici sottoposte a diversi regimi di diradamenti ha evidenziato differenze notevoli nei valori dei parametri ecologici considerati subito dopo l'intervento; le diversità tendono però ad annullarsi precocemente e il tempo di recupero varia in funzione dell'età dei soprassuoli e della specie. Nelle aree più adulte è stato osservato un minor dinamismo con una lenta capacità di ricostituzione della copertura, anche se le differenze tendono ad annullarsi già nel corso del terzo anno o quinto anno. E' stato possibile quindi affermare che tagli di avviamento piuttosto energici non hanno pregiudicato le capacità di recupero della copertura forestale e, quindi, le funzioni ad esse associate. Pronto recupero a livello di copertura che è da mettere in relazione con la buona produttività del popolamento e con il fatto che il taglio di

avviamento, seppur di forte intensità, è intervenuto in una fase estremamente dinamica. E' stato evidenziato inoltre, che il taglio di avviamento, oltre a consentire il recupero di una parte di biomassa che altrimenti sarebbe stata destinata a deperire per mortalità naturale, ha determinato una maggiore efficienza ecologica del popolamento con riflessi positivi a medio - lungo termine sulla produttività.

Valori di produzione di lettiera totale e fogliare maggiori rispettivamente di 5 Mg ha⁻¹ e 3 Mg ha⁻¹ per il faggio, sono al di sopra di quanto è stato riportato in letteratura per le foreste temperate (Bray e Gorham op.cit., O'Neil e De Angelis 1981, Cannell 1982, Gregori e Miclaus op.cit.). Analoga considerazione è stata fatta per la produzione di lettiera fogliare e totale di cerro e di castagno, la quale ha superato i valori medi riscontrati in letteratura per le foreste temperate (Bray e Gorham op.cit, Schirone et al. op.cit, Manetti e Guidi op.cit, Ranger et al. 1990). Seppure questi soprassuoli siano quindi caratterizzati da una fertilità elevata il rapporto lettiera fogliare/totale ha indicato caratteri propri di soprassuoli ancora lontani dalla maturità. Le percentuali di lettiera fogliare che sono state rilevate (65-70%), pur inferiori a quelle di altri popolamenti (Anderson 1973, Gregori e Miclaus op.cit., Lebret et al. op. cit, Cutini 2002), sono ancora lontane dai valori indicativi di foreste mature (Kira e Shidei op.cit). Al contrario non si sono rilevate differenze significative documentate in letteratura a livello di fruttificazione. Questi due aspetti concomitanti hanno posto dei seri dubbi sull'opportunità di accelerare la conclusione del processo di conversione anticipando i tagli di rinnovazione; in quanto nonostante sia stato ampiamente superato il turno consuetudinario, è ancora prematura la fase del compimento del processo di conversione a fustaia per via naturale (Cutini et al. 2010).

Pertanto, fatte salve alcune componenti che intrinsecamente sono soggette a una maggiore aleatorietà (semi e rami), i coefficienti di variazione delle variabili di maggiore peso quali foglie, lettiera totale e LAI sono risultati piuttosto bassi (<25%). Tali valori sono al di sotto o in linea rispetto a quanto riscontrato in altri studi (Lebret et al. 2001) e depongono a favore di una elevata affidabilità dei risultati ottenuti, cosa non comune in indagini di questo tipo (Burton et al. 1991, Cutini 1994a, Cutini op.cit). Inoltre, il lungo periodo di osservazione ha consentito di apprezzare le variazioni di produzione di lettiera ed il LAI in funzione dell'età del popolamento, tale fenomeno si riscontra in tutti i siti e specie esaminate. Elemento degno di nota, che ha accomunato tutte e tre le specie esaminate, è il trend in crescita della lettiera fogliare e totale e del LAI: infatti, studi su popolamenti di latifoglie di età superiore a 40 anni hanno mostrato in genere valori di lettiera e di LAI stabili o tendenti ad una leggera diminuzione (Raunier 1976, Jarvis e Leverens 1983). Tale risultato potrebbe essere ascrivibile ad un effetto positivo generato

dall'aumento della CO₂ atmosferica, come è stato riscontrato in altri studi sulla produttività e l'accrescimento delle foreste temperate (Lindner 2010).

Anche se con una maggiore aleatorietà, per la produzione di seme si osserva in generale un trend positivo in funzione dell'età. Mentre il cerro ed il castagno hanno presentato un andamento molto simile, nel faggio si è riscontrato, tra i 50 e i 60 anni, annate di pasciona ad intervalli di 3-5 anni. In corrispondenza di queste annate, tuttavia il maggiore investimento nella produzione di seme non è andato a discapito delle altre componenti; ne è conseguito che in concomitanza con le annate di pasciona sono stati registrati anche picchi di produzione di lettiera totale. I popolamenti adulti di castagno localizzati nel Monte Amiata (A1D) e nell'Alpe di Catenaiola, confrontabili per età, storia selvicolturale pregressa (1 solo diradamento), valori di LAI e di produzione di lettiera fogliare, hanno presentato differenze significative per la produzione di frutti. La fruttificazione, nonostante nei due soprassuoli abbia lo stesso andamento negli anni, è risultata molto più abbondante nell'area del Monte Amiata. Probabilmente l'elevata fertilità del sito ha inciso sul processo di riproduzione.

L'effetto degli interventi selvicolturali sulla produzione di seme sono stati visibili soprattutto nei cedui giovani di castagno, infatti è stata registrata una maggiore produzione di seme sia subito dopo il diradamento sia nell'area che ha subito più interventi selvicolturali; mentre tale effetto non è stato riscontrato nella produzione di lettiera.

È stato interessante evidenziare il diverso comportamento delle specie analizzate nei confronti della siccità. Dall'andamento annuale dell'indice di aridità di De Martonne, in corrispondenza degli anni (1995 e 2003) in cui sono stati registrati valori più bassi, il castagno ed il cerro hanno reagito con una scarsa produzione di seme e di foglie nell'anno corrente e con un forte incremento l'anno successivo. Il faggio invece, probabilmente perché localizzato nel suo optimum edafico con terreno ben drenato, non ha risentito della siccità del 1995. Nel 2003, anno caratterizzato da forte siccità (valori dell'indice di De Martonne hanno raggiunto il minimo sia in Amiata che in Catenaiola) e da alte temperature primaverile ed estive a livello europeo, le tre specie (castagno, faggio e cerro) hanno risposto con una scarsa produzione di frutto. Mentre il faggio ed il castagno l'anno successivo alla siccità hanno presentato un repentino incremento di lettiera e seme, il cerro ha iniziato ad aumentare la produzione di foglie e seme dopo due anni.

3.5 Conclusioni

I molteplici indicatori e la rilevanza delle variabili esaminate da un lato e le diverse opzioni colturali applicate a diverse specie dall'altro, sono stati elementi che hanno consentito di fornire un contributo non trascurabile in termini conoscitivi e indicazioni per il trattamento dei cedui in

conversione. Vista la durata del periodo di osservazione i risultati ottenuti hanno permesso di poter apprezzare in maniera compiuta gli effetti del trattamento applicato.

In primo luogo è emerso come i soprassuoli di cerro e di faggio siano stati in grado di reagire positivamente anche a lunghi cicli di sfruttamento intensivo come quelli che hanno caratterizzato i cedui oggetto di studio fino agli anni 1950 e che, in presenza di determinate condizioni di fertilità e struttura (Amorini e Gambi op.cit.), sia stata e sia tuttora auspicabile, sotto vari punti di vista, la scelta di intraprendere il processo di conversione a fustaia.

Sia i soprassuoli localizzati nell'Alpe di Catenaia (faggio, castagno e cerro), sia i due popolamenti invecchiati nell'Amiata, pur avendo all'incirca 60 anni (o oltrepassato da poco i 60 anni), le variabili correlate alla produttività del popolamento hanno mostrato un andamento crescente in funzione dell'età. Tale aspetto, ancorché anomalo e meritevole di approfondimenti, unito alla rilevanza della componente fogliare nella lettiera ha indicato come i soprassuoli in questione siano ancora in una fase estremamente dinamica. D'altronde, anche gli indicatori relativi alla produzione di seme hanno dimostrato che, se i popolamenti in questione sono entrati in una fase in cui tale fenomeno non è stato episodico, si è tuttavia distanti da condizioni di piena maturità e quindi, dal compimento del processo di conversione a fustaia per via naturale (Cutini et al. op.cit.). E' stato possibile affermare quindi che l'opzione selvicolturale testata è risultata essere sostenibile perché in questi siti sussistono le condizioni di fertilità per procedere all'avviamento, e perché interventi energici e ripetuti non hanno pregiudicato le capacità di recupero della copertura forestale e della produttività. Nonostante la reiterata e forte riduzione di densità operata dagli interventi, i soprassuoli hanno mostrato un pronto e pressoché totale recupero della copertura e della produttività. Ciò ha consentito di valutare positivamente per i cedui di faggio, castagno e cerro in conversione il modulo colturale incentrato su diradamenti di moderata-forte intensità. Il processo di conversione, vista ancora l'età prematura (60 anni circa) del faggio e del cerro, si è delineato tuttavia ancora lontano dal suo compimento e la cui durata potrà essere utilmente condizionata dalle stesse scelte selvicolturali che verranno in futuro programmate e operate dal gestore.

Nel sito dell'Amiata inoltre sono state apprezzate le differenze di risposta ai diversi diradamenti eseguiti tra i due popolamenti ancora giovani (in via di conversione). I popolamenti giovani hanno presentato sia una maggiore produzione di lettiera rispetto a quelli adulti, sia una maggiore rapidità di recupero della copertura, ridotta a seguito degli interventi colturali. Dagli indicatori esaminati è stato quindi possibile affermare che in definitiva interventi di tipo forte e ravvicinati nel tempo sono risultati sostenibili poiché hanno consentito di mantenere un buon

livello di funzionalità nel soprassuolo e hanno influito sul ciclo dei nutrienti aumentando l'intervallo di tempo tra due successive utilizzazioni della biomassa arborea.

3.6 Riferimenti bibliografici

Anderson J.M., 1973 – Stand structure and litter fall of a coppiced beech *Fagus sylvatica* and sweet chestnut *Castanea sativa* woodland. *Oikos*, 24: 128-135.

Aussenac G., 1969 – Production de litière dans diverse peuplements de l'Est de la France. *Acta Oecologica, Oecol. Plant.*, 4: 225 – 235.

Bolstad P.V., Gower S.T., 1990 – Estimation of leaf area index in fourteen southern Wisconsin forest stand using a portable radiometer. *Tree Physiology*, 7: 115-124.

Bray J.R., Gorham E., 1964 - Litter production in forests of the world. *Advances in Ecological Research*, 2: 101-157.

Bréda N.J.J., 2003 – Ground-based measurements of leaf area index: a review of method, instruments and current controversies. *J. Exp. Bot.*, 54: 2403-2417.

Bréda N, Soudani K, Bergonzini J.C. 2002. Mesure de l'indice foliaire en forêt. Paris: ECOFOR.

Burton A.J., Pregitzer K.S., Reed D.D., 1991 – Leaf area and foliar biomass relationship in northern hardwood forests located along an 800 km acid deposition gradient. *For. Sci.*, 37: 1011-1059.

Cannell M.G.R., 1982 - World forest biomass and primary production data. Academic Press, London, pp. 391.

Chanson J.W., Baldocchi D.D., Huston M.A., 1991 – A comparison of direct and indirect methods for estimating forest canopy leaf area. *Agricultural and forest Meteorology*, 57: 107 – 128.

Cutini A., 1994 – Indice di area fogliare, produzione di lettiera ed efficienza di un ceduo di cerro in conversione. *Ann. Ist. Sper. Sel.* XXIII (1992): 147 – 1666.

Cutini A., 1998 – Alternative silvicultural systems in chestnut coppice: thinning effects on biomass, canopy cover and growth efficiency. *Proceedings of Inter. Symposium "Sustainability of chestnut forest ecosystems"*, Catania, September 18-23 1998, S. Leonardi (ed.): 31.

Cutini A., 2002 – Litterfall and Leaf Area Index in the CONECOFOR Permanent Monitoring Plots. In Mosello R., Petriccione B. and Marchetto A. (Eds): *Long-term ecological research in Italian forest ecosystems. J. Limnol.*, 61 (Suppl. 1): 62-68.

Cutini A., Chianucci F., Giannini T., 2010 – effetti del trattamento selvicolturale su caratteristiche della copertura, produzione di lettiera e di seme in cedui di faggio in conversione. *Annali C.R.A – SEL*, 2009- 2010 Vol 36: 109 – 123.

Cutini A., Giulietti V., Varallo A., 2004 – La stima dell'indice di area fogliare di popolamenti forestali e di singoli alberi con il Plant Canopy Analyzer LAI-2000. *Ann. Ist. Sper. Selv.*, vol. 31 (2000): 95-107.

Cutini A., Matteucci G., Scarascia Mugnozza G., 1998 - Estimation of leaf area index with the Li-Cor LAI 2000 in deciduous forests. *Forest Ecology and Management* 105: 55-65.

Cutini A., Tabacchi G., 1997 - Osservazioni sulla relazione tra l'area fogliare e il peso secco per la stima del LAI in popolamenti di latifoglie. *Linea Ecologica*, XXIX (5): 51-55.

Cutini A., Varallo A., 2005 – La stima del LAI di singoli alberi con il Plant Canopy Analyzer LAI-2000. Atti IV° Congresso S.I.S.E.F. “Meridiani foreste”, Rifreddo (PZ): 375-380.

Dantec V., Dufréne E., Saugier B., 2000 – Interannual and spatial variation in maximum leaf area index of temperate deciduous stands. *For. Ecol. Manage.* 134: 71 – 81.

Davi H., Baret F., Huc R., Dufréne E., 2008 – Effect of thinning on LAI variance in heterogeneous forests. *Forest Ecology and Management*, 256: 890-899.

De Martonne E., 1926 – Une nouvelle fonction climatique: l'indice di aridité. *Le Météorologie*, 2: 449 – 459.

Dobbertin M., Andreassen K., Newmann M., Somogyi Z., 2000- Forest Growth – Report of the expert Panel on Forest Growth. 17 pp.

Dufrene E., Breda N., 1995 – Estimation of deciduous forest leaf area index using direct and indirect methods. *Oecologia* 104: 156 – 162

Duvigneud P., 1971 – Concepts sur la productivité primaire des écosystèmes forestiers. In “Productivity of forest ecosystem”. UNESCO. Proceedings of Brussels Symposium 27 – 31 October 1969, ed. P. Duvigneud 4: 111 – 140.

Eriksson H., Eklundh L., Hall K., Lindroth A., 2005 – Estimating LAI in deciduous forest stands. *Agr. and For. Met.* 129 (1-2): 27 – 37.

Gholz H.L., 1982 – Environmental limits on aboveground net primary production, leaf area and biomass in vegetation zones of the Pacific Northwest. *Ecology*, 63: 469 – 481.

Gregori E., Miclaus N., 1985 – Studio di una faggeta dell'Appennino Pistoiese: sostanza organica del suolo e produzione di lettiera. *Ann. Ist. Sper. Studio e Difesa del Suolo*. Firenze, Vol. XVI (1985): 105 – 118.

Guidi G., Manetti M.C., 1994 – Ricerche sull'evoluzione naturale di soprassuoli forestali di *Quercus cerris* L. e *Fagus sylvatica* L., nell'Appennino meridionale. Secondo contributo. Osservazioni su alcuni fattori della produttività e del microclima in due aree protette. *Ann. Ist. Sper. Selv. Arezzo*, Vol. XXIII (1992): 201 – 223.

Jarvis, P.G., Leverenz. J.W., 1983 - Productivity of temperate, deciduous and evergreen forests. In: *Encyclopedia of Plant Physiology* vol 12D. *Physiological Plant Ecology: Productivity and Ecosystem Processes*. Springer-Verlag, Berlin: 234-280.

Kira T., Shidei T., 1967 – Primary production and turnover of organic matter in a different forest ecosystem of the western Pacific. *Jpn. J. Ecol.* 17: 70 – 87.

Lebret M., Nys C., Forgeard F., 2001 - Litter production in an Atlantic beech (*Fagus sylvatica* L.) time sequence. *Annals of Forest Science*, 58 (7): 755-768.

Leuschner C., Voß S., Foetzki A., Classe Y., 2006 – Variation in leaf area index and stand leaf mass of European beech across gradients of soil acidity and precipitation. *Plant Ecology*, 182: 247-258.

Lindner M., Maroschek M., Netherer S., Kremer A., Barbati A., Garcia-Gonzalo J., Seidl R., Delzon S., Corona P., Kolstrom M., Lexer M.J., Marchetti M., 2010 – Climate change impacts, adaptative capacity and vulnerability of European forest ecosystems. *Forest Ecology and Management* 259: 698 – 709.

Marino C., Manca G., Matteucci G., Scarascia Mugnozza G., Cambiamenti climatici nel mediterraneo: un caso di studio sul ciclo del carbonio in una pineta della Sila, Calabria .*Forest@* 2 (1): 52-65, 2005.

Meir I.C., Leuschner C., 2008 – Leaf size and leaf area index in *Fagus sylvatica* forests: competing effects of precipitation, temperature, and nitrogen availability. *Ecosystems* (2008) 11: 655 – 669.

O’Neil R.V., De Angelis D.L., 1981 – Comparative productivity and biomass relations of forest ecosystems. In: “Dynamic properties of forest ecosystems” (ed. Reichle D.E.). *International Biological Programme*, Vol. 23, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 411-449.

Paci M., 2011 – *Ecologia Forestale. Elementi di conoscenza dei sistemi forestali applicati alla selvicoltura*. Edagricole, Bolognapp.276.

Piovesan G., Bernabei M, 1997 – L’influenza delle precipitazioni estive sulla crescita e la riproduzione del faggio (*Fagus sylvatica* L.) in una stazione meridionale dell’areale. *Italia Forestale e Montana*, 6: 444-459.

Ranger J., Fèlix C., Bouchon J., Nys C., Ravart M., 1990 – Dynamique d’incorporation du carbone et des elements nutritive dans un taillis simple de chataignier (*castanea sativa* Miller.). *ann. Sci. For.* 47: 413 – 433.

Rauner J., 1976 – *Deciduous forests. Vegetation and atmosphere* 2. Monteith Ed., Academic press, London: 241-264.

Schirone B., Scarascia Mugnozza G., Valentini R., 1985 – Osservazioni preliminari sull’indice di area fogliare di *Quercus cerris* L. *Monti e Boschi* 5: 47 – 51.

Wang Q., Tenhunen J., Granier A., Reichstein M., Bouriaud O., Nguyen D., Breda N., 2004 – Long – term variations in leaf area index and light extinction in a *Fagus sylvatica* stand as estimated from global radiation profiles. *Theoretical and Applied Climatology*. 79: 225 – 238.

Waring R.H., 1983 – Estimating Forest and Efficiency in Relation to Canopy Leaf Area. *Adv. Ecolo. Res.* 13: 327-354.

CAPITOLO 4

ANALISI DEGLI EFFETTI DEGLI INTERVENTI SELVICOLTURALI SULL'ACCRESIMENTO RADIALE

Accrescimento radiale, variabile importante nel descrivere, lo stato, la dinamica e la produttività di un soprassuolo

4.1 Introduzione

La dendrocronologia risulta essere una scienza fondamentale nello studio delle dinamiche ambientali di ecosistemi forestali (Foster et al. 1996). La misura dell'ampiezza degli anelli di crescita formati dal cambio cribro-vascolare degli alberi nel corso degli anni, che costituisce una serie dendrocronologica, rappresenta un codice che, se ben decifrato, può raccontare la storia dell'albero e della foresta in cui esso vive (Swetnam et al. 1999). La caratteristica dimostrata dagli anelli di accrescimento delle piante di rispondere alle condizioni ambientali esterne ha fatto della dendrocronologia una grande alleata nella ricostruzione della storia di un bosco. Tutto ciò che influisce sull'accrescimento arboreo e contribuisce a modificare suolo e soprassuolo si riflette in una variazione nello spessore e nella densità degli anelli e quindi nel ritmo di accrescimento.

Per tale motivo uno strumento che fornisce molte informazioni sugli effetti del trattamento selvicolturale è l'indagine auxometrica; questa valuta la modalità dei ritmi di accrescimento del bosco ed i risultati, pur immediatamente traducibili in produttività legnosa, possono essere letti anche come indicatori del grado di funzionalità del soprassuolo e permettono un giudizio di valenza più generale (Amorini e Fabbio 1987).

Lo strumento auxometrico è stato in passato utilizzato sia per i cedui per la costruzione di tavole di produzione che precisano masse ed andamenti incrementali fino all'età del turno stabilito o poco oltre (Bernetti 1980), sia per analizzare l'andamento dei parametri produttivi in soprassuoli ad evoluzione naturale (Amorini e Gambi 1977).

In Italia i primi lavori riguardanti l'effetto incrementale del taglio di avviamento all'altofusto nei soprassuoli di faggio, sia sul diametro che sul volume, furono eseguiti da Bianchi (1976) e Lazzara (1976). Successivamente Amorini e Fabbio effettuarono indagini auxometriche relative a cedui di faggio invecchiati (1983) e a popolamenti di cerro avviati all'altofusto (1987).

Le informazioni ricavabili dall'analisi incrementale, oltre ad assumere una precisa valenza selvicolturale, rappresentano anche indici attendibili della dinamica delle relazioni sociali di un

soprassuolo. Per tali motivi l'accrescimento radiale rappresenta una variabile importante nel descrivere lo stato, la produttività e la dinamica di un soprassuolo (Dobbertin et al. 2000) da analizzare in concomitanza con le opzioni selvicolturali applicate (Amorini e Fabbio op.cit, Fabbio 1992, Fabbio e Amorini 2000, Manetti 2002). Dimostrata l'importanza delle analisi incrementali su popolamenti di latifoglie avviati all'alto fusto quali faggio e cerro, gli studi auxometrici sono stati in seguito eseguiti su popolamenti di castagno. Il castagno, infatti, è una specie altamente produttiva ed in grado di fornire legname di pregio, oltre ad essere ampiamente diffusa sul territorio nazionale. Le curve storiche dell'accrescimento e gli incrementi corrente medio relativi a diametro e area basimetrica si sono rivelate un valido ausilio per valutare la risposta dei soprassuoli di castagno agli interventi selvicolturali. In questo contesto il CRA-SEL ha affrontato tematiche specifiche ed in particolare ricerche volte a definire le modalità di gestione alternative al ceduo a turno breve in grado di valorizzare il potenziale economico della specie, garantire funzionalità e stabilità ai soprassuoli ed infine a valutare le relazioni tra trattamento selvicolturale, struttura sociale e accrescimento (Amorini et al. 1995, Amorini et al. 1996, Amorini et al. 1997, Amorini et al. 2000, Manetti et al. 2006). Questi studi sono stati resi possibili grazie anche alla determinazione dell'accrescimento legnoso che ha permesso di definire il livello di funzionalità dei popolamenti e di valutare le risposte, a breve e lungo termine, dei soprassuoli sottoposti a diverse scelte culturali.

Le indagini condotte in popolamenti di differente età, fertilità, specie e trattamento selvicolturale hanno consentito di comparare le modalità di accrescimento in relazione agli interventi culturali.

4.2 Materiale e metodo

Nei popolamenti di castagno (G2D e G3D) sul Monte Amiata e in quelli di faggio, castagno e cerro sull'Alpe di Catenaia, si è proceduto a carotare per mezzo della trivella di Pressler 35 individui appartenenti al piano dominante o codominante del soprassuolo in modo da minimizzare la presenza di anelli formati durante le fasi di aduggiamento (Piutti e Cescatti, 1997). Gli alberi campionati ricadevano tutti sufficientemente lontano dal limite del bosco per evitare il disturbo dovuto all'effetto margine. Gli individui sono stati selezionati tra gli alberi che presentavano sia la migliore conformazione del fusto che della chioma. All'interno di ciascun popolamento, per ogni individuo scelto, sono state estratte due carote legnose perpendicolari tra loro a circa 1.30 m dal suolo. Le carote prelevate sono state fissate con colla vinilica su appositi supporti di listelli di legno avendo cura di mantenere la fibratura verticale, quindi levigate per facilitarne la lettura.

I popolamenti di castagno avviati all'alto fusto localizzati nel Monte Amiata (A1D e A3D) sono stati sottoposti a taglio raso nel 2008, e durante questo intervento selvicolturale sono state prelevate 40 sezioni trasversali ad 1.30 m di quota sul fusto.

La misura degli accrescimenti legnosi è stata effettuata su tutte le sezioni e le carote legnose con il dendrocronografo ottico meccanico Lega SMIL 3, su quattro raggi ortogonali per quanto riguarda le sezioni trasversali, passo di lettura annuale e approssimazione di 1/100 di millimetro (Manetti et al. 2000). L'elaborazione dei dati ha fornito i valori di accrescimento e dei relativi incrementi, corrente e medio, dei principali parametri auxometrici (raggio, diametro, area basimetrica) per ciascuna sezione/carota analizzata ed ha permesso di valutare gli effetti degli interventi selvicolturali adottati. La lettura grezza così ottenuta ha permesso di ottenere la curva elementare, ossia una serie temporale di ampiezze anulari, del raggio della pianta. La lettura di un raggio è definita "serie o cronologia o curva elementare" e corrisponde ad una serie temporale di ampiezze anulari. Quando si prendono più raggi per pianta, la loro media è detta "cronologia individuale", in quanto rappresentante della crescita radiale media di quell'albero. Ogni lettura "fluttuante", ossia ancora priva di una precisa collocazione temporale, è stata sottoposta ad un confronto con le altre cronologie elementari ed individuali di quel popolamento in modo da verificare la correttezza della misurazione effettuata o la presenza di eventuali errori e di anelli mancanti. Questo confronto, detto "sincronizzazione", si può compiere sia in maniera visiva che statistica e consente di datare in modo preciso ogni lettura. Nella presente ricerca, vista la brevità delle serie si è proceduto con la sincronizzazione visiva che consiste nel confrontare l'andamento generale di due curve e nel verificare la concordanza dei principali minimi e massimi assoluti insieme all'assenza di opposizioni di fase.

Per stimare la produttività, è stato utilizzato l'incremento corrente di area basimetrica (ICG), che rispetto all'incremento corrente di raggio, presenta il vantaggio di essere meno dipendente dalle dimensioni/età (Biondi 1996 e 1999; Hogg et al. 2005; Nakawatase e Peterson 2006, Alessandrini 2008) ed inoltre amplifica gli effetti degli interventi selvicolturali in quanto l'accrescimento radiale è elevato al quadrato e moltiplicato per una costante (π). La curva media per sito è stata ricavata attraverso la media delle singole serie di ICG. Dal dataframe delle singole serie d'incremento di area basimetrica, si è ricavata la cronologia media stazionale.

Il primo confronto fra le diverse stazioni campionate è stato realizzato comparando i valori medi ed il campo di variazione dei parametri statistici dendrocronologici, grandezze in grado di descrivere in maniera sintetica le caratteristiche della crescita radiale in ogni popolamento. Il primo ad essere considerato è stato il valore medio di ampiezza anulare (MW). Questo parametro sintetizza i diversi fattori che possono influenzare l'entità degli accrescimenti come la specie,

l'età, la fertilità stazionale, lo stato di salute del popolamento. In linea di massima accrescimenti sostenuti si ottengono, in relazione alla specie considerata, negli individui più giovani, in quelli che vegetano nelle condizioni ambientali più favorevoli e in quelli che godono di buone condizioni di salute.

La deviazione standard (SD), secondo parametro calcolato, è un indice di dispersione dei valori indagati intorno al valore medio e può descrivere, in una cronologia individuale, la variabilità delle ampiezze anulari. Il coefficiente di autocorrelazione A1 di primo ordine invece esprime la correlazione tra l'anello dell'anno n e quello dell'anno $n - 1$ e misura l'inerzia di accrescimento della pianta dovuta alla dipendenza dell'accrescimento attuale da quello dell'anno precedente, basata soprattutto sull'accumulo autunnale di sostanze di riserva da utilizzare durante lo sviluppo della chioma alla ripresa vegetativa primaverile; esso indica il grado di recettività dell'albero nei confronti delle variazioni climatiche di alta frequenza.

Infine è stata calcolata la sensitività media (MS) che è impiegata molto frequentemente nelle analisi dendrocronologiche. Tale parametro è definito come la variazione percentuale di crescita tra due anelli consecutivi ed è una misura della variabilità d'alta frequenza della serie dendrocronologica, che indica la capacità della pianta a reagire a stimoli climatici di breve periodo con immediate variazioni incrementali. L'opposto della sensitività è la compiacenza, che si manifesta con una forte inerzia negli accrescimenti della pianta ad indicare una scarsa reattività agli stimoli esterni.

Al fine di valutare le differenze di accrescimento causate dai diversi interventi selvicolturali, è stato eseguito il test t (StatSoft, Inc. Tulsa, Ok, USA). Per evidenziare se tali differenze permangono nel tempo, il test t è stato effettuato sulla media dell'incremento di area basimetrica nei tre e cinque anni prima e dopo l'intervento culturale.

4.3 Risultati

L'accrescimento legnoso, sia in senso radiale che longitudinale, è la risultante di una serie di fattori esogeni ed endogeni che interagendo tra loro definiscono la modalità di crescita di un popolamento (Manetti et al op.cit, Manetti e Cutini 2006). Le serie cronologiche registrano fedelmente tutti i cambiamenti climatici e i fattori di disturbo naturali o indotti dall'uomo (come gli interventi selvicolturali) che agiscono sull'ecosistema (Fritts 1976, Schweingruber 1988).

L'analisi dell'accrescimento legnoso e la valutazione dell'impatto del trattamento selvicolturale applicato sono stati effettuati comparando l'ICG media di ogni popolamento analizzato.

Le serie medie hanno messo in evidenza diverse modalità di accrescimento in funzione sia della specie sia del trattamento selvicolturale pregresso. Gli interventi selvicolturali, attraverso la

riduzione della popolazione e dei fenomeni competitivi, influiscono sullo sviluppo del soprassuolo direttamente, con l'aumento dell'incremento radiale, e indirettamente determinando una maggiore resistenza individuale ai fattori sfavorevoli.

L'analisi incrementale ha permesso di valutare la reattività delle diverse specie considerate (faggio, castagno e cerro) al diverso regime di diradamenti applicato.

4.3.1 Aree a castagno sull'Amiata

Il primo dato importante che emerge dalle analisi delle serie dendrocronologiche è quello relativo alle caratteristiche della curva media e dei descrittori della variabilità comune agli alberi di ciascun popolamento (tabella 4.1).

Tabella 4.1 – Principali descrittori dei popolamenti di castagno. (SD: deviazione standard, CV: coefficiente di variazione, MS:sensitività)- A3D: adulto 3 dir, A1D:adulto 1 dir; G3D: giovane 3 dir, G2D:giovane 2 dir.

	Media	Varianza	SD	CV	MS	Min	Max	Asimmetria	Curtosi
	Sta. Err st								
A3D	10,5 0,5	3,3	1,8	0,4	0,151	7,4	13,4	-0,2	-0,7
A1D	5,8 0,3	1,1	1,1	0,4	0,446	4,2	7,1	-0,1	-1,6
G3D	16,7 0,4	2,6	1,6	0,4	0,282	13,8	19,2	-0,3	-0,9
G2D	10,2 0,3	1,3	1,1	0,3	0,233	8,3	12,4	0,1	-0,7

Il valore di ampiezza anulare MW varia da 1,1 mm/anno⁻¹ per il popolamento con un solo taglio di avviamento (A1D) a 3,4 per il soprassuolo giovane che ha subito 3 diradamenti (G3D). La deviazione standard SD è controllata dagli stessi fattori di MW ed il suo campo di variazione oscilla tra il valore 1,8 per il popolamento A3D (popolamento vecchio sottoposto ad un taglio di avviamento e ad altri due diradamenti) ed 1,1 per il popolamento A1D (popolamento vecchio sottoposto a solo un taglio di avviamento); mentre per i popolamenti più giovani G2D e G3D varia rispettivamente di 1,1 e 1,6. Il coefficiente di variazione CV si differenzia leggermente solo per il popolamento G2D (30%) mentre per gli altri tre popolamenti è il 40%.

Per quanto riguarda il coefficiente di autocorrelazione A_1 si osserva una variazione da 0,5 per il popolamento G3D fino ad arrivare a valori di 0,9 per il popolamento A1D. La sensitività media MS mostra valori pressoché identici per i due popolamenti giovani G2D e G3D (0,233 e 0,282), mentre risulta essere molto bassa per il popolamento A3D (0,151) e molto più alta per il soprassuolo A1D (0,446).

Le curve storiche dell'incremento corrente di area basimetrica (figura 4.1), relative ai popolamenti giovani G2D e G3D, indicano che la precocità del primo diradamento e la

frequenza ravvicinata nel tempo sono presupposti essenziali per mantenere un alto livello di accrescimento del popolamento.

In entrambi i soprassuoli esaminati emerge un netto decremento di area basimetrica negli anni 2004 e 2005; tale riduzione è avvenuta dopo l'evento siccitoso del 2003.

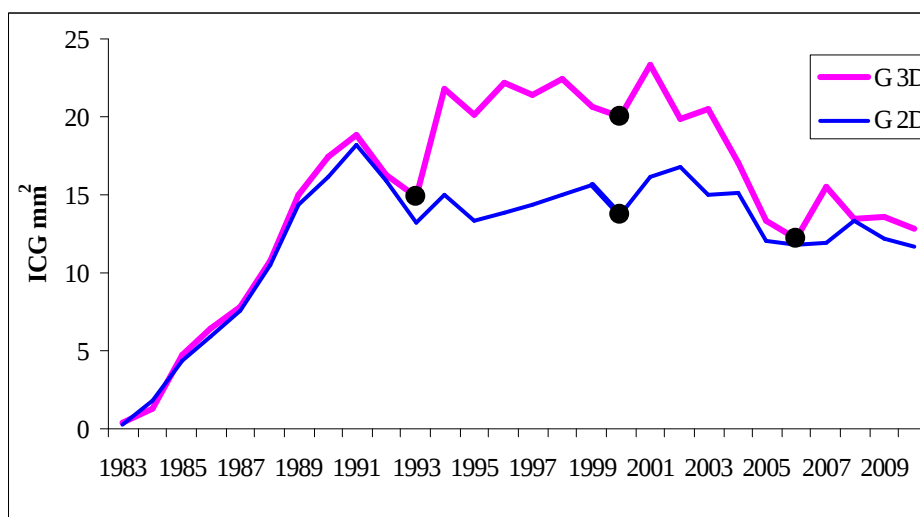


Figura 4.1 – Curve storiche dell'incremento corrente di area basimetrica (ICG) riferite ai popolamenti giovani (● diradamento).

L'esame dei dati ha evidenziato che, in condizioni di ottima fertilità come quelle analizzate, i processi competitivi si instaurano rapidamente (prima culminazione I_c a 8-9 anni) e si risolvono, in assenza d'interventi (G2D), in una stagnazione dell'accrescimento. Al contrario, l'intervento di diradamento effettuato precocemente (a 11 anni G3D) ha determinato una rapida e consistente ripresa incrementale. L'effetto dell'intervento si è però esaurito precocemente (5 anni), ed è proprio in questa fase in cui è stato eseguito il secondo diradamento (17 anni).

La curva incrementale relativa al popolamento (G2D) evidenzia che i diradamenti sono stati realizzati con i tempi e le modalità adeguate in quanto hanno contribuito a mantenere costante e crescente l'accrescimento.

Le curve storiche dell'andamento corrente di area basimetrica (figura 4.2) riferite ai popolamenti più vecchi (A1D e A3D) rivelano un'omogeneità nell'accrescimento delle due tesi fino al primo intervento (diradamento a 17 anni).

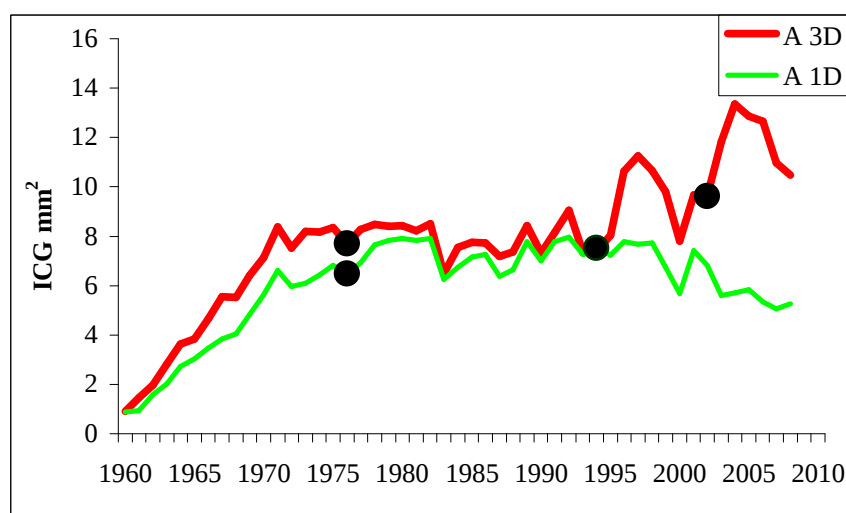


Figura 4.2 – Curve storiche dell’incremento corrente di area basimetrica (ICG) riferite ai popolamenti giovani (● diradamento).

Entrambe le curve di accrescimento mostrano una buona risposta al diradamento, anche se di breve durata (7-9 anni) e mantengono nel tempo un andamento incrementale simile. L’effetto del secondo e terzo diradamento è invece notevolmente evidente.

In figura 4.3 sono riportati, per ogni popolamento esaminato, i valori medi di accrescimento prima (pre) e dopo (post) intervento selvicolturale considerando periodi di 3 e 5 anni.

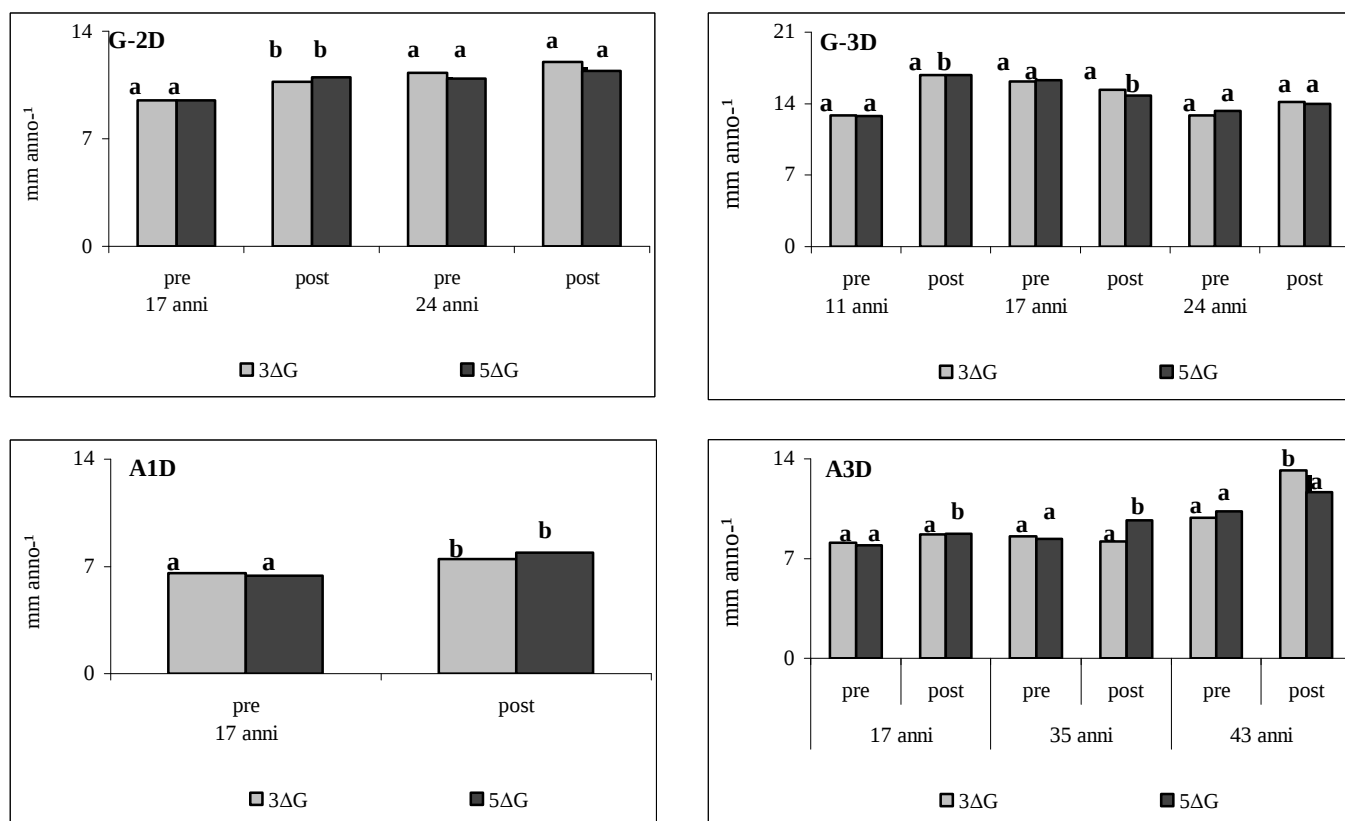


Figura 4.3 – Test t su valori medi di accrescimento (ΔG) prima (pre) e dopo (post) intervento selvicolturale considerando periodi di 3 e 5 anni

Nel popolamento giovane G2D solo nel primo diradamento sono state osservate differenze statisticamente significative tra le medie dei 3 e dei 5 anni prima e dopo l'intervento selvicolturale. Nel popolamento diradato tre volte (G3D), la differenza di accrescimento è risultata statisticamente significativa sia nel primo che nel secondo diradamento considerando solo i 5 anni pre – post intervento colturale. Il terzo diradamento non ha prodotto nessuna differenza statisticamente significativa.

Nel popolamento adulto (A1D), l'unico diradamento eseguito a 17 anni ha determinato differenze statisticamente significative sia considerando un periodo di 3 che di 5 anni pre - post intervento colturale. Per quanto riguarda invece il popolamento A3D, la differenza di accrescimento è risultata statisticamente significativa per i primi due diradamenti relativamente al periodo di 5 anni pre e post taglio mentre, al contrario, l'effetto del terzo diradamento è evidente solo nei tre anni successivi all'intervento stesso.

4.3.2 Aree a castagno, cerro e faggio sull'Alpe di Catenaia

Un dato importante che emerge dalle analisi delle serie dendrocronologiche è quello relativo alle caratteristiche della curva media e dei descrittori della variabilità comune agli alberi di ciascun popolamento (tabella 4.2).

Tabella 4.1 – Principali descrittori dei popolamenti di castagno (Cs), cerro (Qc) e faggio (Fs) (SD: deviazione standard, CV: coefficiente di variazione, MS:sensibilità).

	Media	Varianza	SD	CV	MS	Min	Max	Asimmetria	Curtosi
Sta. Err st									
Cs	7,2 0,2	1,0	1,0	0,4	0,217	5,8	9,5	0,7	0,3
Qc	8,6 0,3	1,9	1,4	0,4	0,218	6,6	11,8	0,8	0,1
Fs	7,7 0,2	0,9	0,9	0,5	0,449	5,5	9,0	-0,8	- 1,2

Il valore di ampiezza anulare MW varia da 1,9 mm/anno⁻¹ per il popolamento di castagno a 2,0 per il cerro e 1,7 per il faggio; infatti MW dipende oltre che dall'età (alberi più vecchi crescono più lentamente) anche dall'ecologia della specie.

Il campo di variazione della deviazione standard SD oscilla tra il valore 0,9 per il popolamento di faggio ed 1,4 per il popolamento di cerro mentre si osserva un valore intermedio pari ad 1,0 per il popolamento di castagno. Il coefficiente di variazione CV si differenzia leggermente solo per il popolamento di faggio (50%) mentre per gli altri due popolamenti è pari al 40%.

Per quanto riguarda il coefficiente di autocorrelazione A₁ si osserva una variazione da 0,6 per il popolamento di faggio fino ad arrivare a valori di 0,7 per il cerro e castagno. La sensibilità media

MS mostra valori identici per i popolamenti di cerro e castagno (0,217), mentre è molto più alto il valore del popolamento di faggio (0,449).

Le curve storiche dell'incremento corrente di area basimetrica (figura 4.4), relative ai tre popolamenti di cerro, castagno e faggio, indicano che dopo il taglio di avviamento i popolamenti hanno risposto repentinamente con un accrescimento sostenuto.

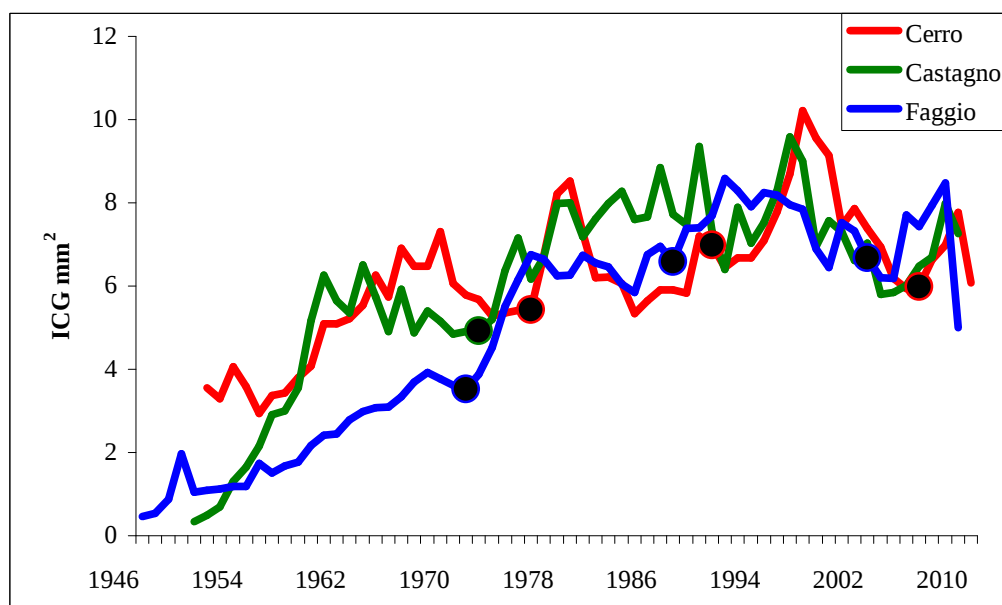


Figura 4.4 - Curve storiche dell'incremento corrente di area basimetrica (ICG) riferite ai popolamenti di Catenaia (● diradamento).

L'esame dei dati ha evidenziato che nel popolamento di cerro la durata della fase di accrescimento positivo e sostenuto è molto breve. Dopo 2 (per il primo diradamento) e 4 anni (per il secondo diradamento) la curva mostra valori progressivamente decrescenti. Un andamento incrementale molto simile al cerro si ha per il castagno, ma, la durata della fase di accrescimento positiva e sostenuta dopo il taglio di avviamento è più duratura (12 anni circa). La curva storica dell'andamento corrente di area basimetrica riferita al popolamento di faggio rivela una maggior lentezza nella ripresa incrementale; dopo il taglio di avviamento la fase di accrescimento crescente dura circa 6 anni. Il faggio, così come il cerro, è stato sottoposto ad altri due diradamenti e le curve di accrescimento mostrano una buona risposta ad entrambi gli interventi selvicolturali, anche se di breve durata.

In figura 4.5 sono riportate, per ogni popolamento esaminato, le differenze di incremento corrente di area basimetrica calcolate sulla media relativa dei 3 e dei 5 anni prima e dopo i diradamenti.

Il taglio di avviamento ad alto fusto, eseguito tra i 24 e i 27 anni, ha fatto registrare differenze statisticamente significative in tutte e tre le specie comparando le medie temporali relative sia ai

3 che ai 5 anni pre e post diradamento. I diradamenti successivi hanno invece diversificato i comportamenti delle specie. Nel faggio il secondo diradamento ha determinato differenze statisticamente significative in entrambi i periodi considerati, mentre nel cerro le differenze di incremento corrente sono risultate significative solo per il periodo di 5 anni. Il terzo intervento, infine, è risultato privo di un effetto rilevante sull'accrescimento di cerro mentre ha influenzato significativamente quello del faggio solo per i tre anni seguenti.

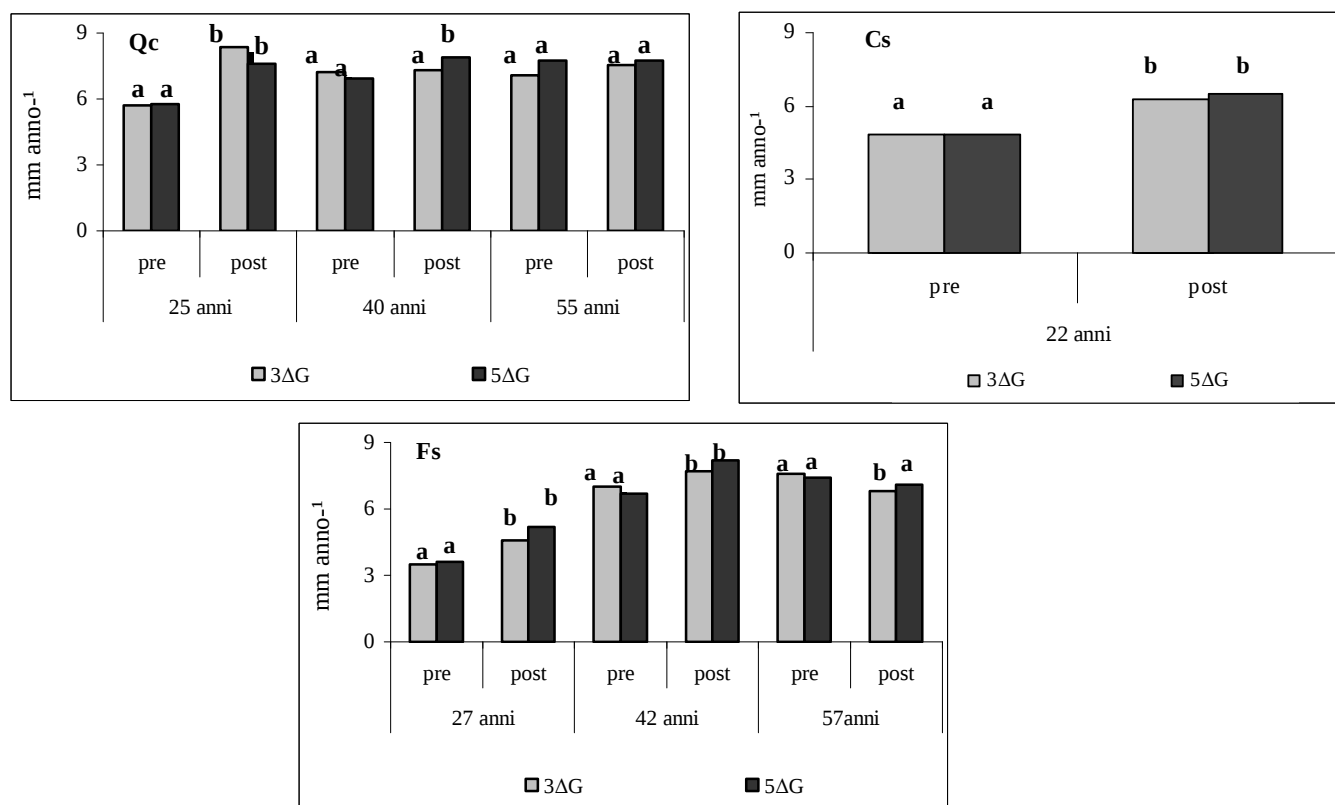


Figura 4.5 - Test t su valori medi di accrescimento (ΔG) prima (pre) e dopo (post) intervento selvicolturale considerando periodi di 3 e 5 anni.

4.4 Discussioni

L'ampiezza anulare (MW) dei popolamenti studiati, dipende dalla fertilità stazionale, dalla specie, dalla quota, dall'età dei popolamenti e dal trattamento selvicolturale. La deviazione standard (SD) è controllata sostanzialmente dagli stessi fattori di MW.

La sensibilità media (MS), come osservato in altri lavori (Corona et al. 1995, Manetti 2002, Di Filippo et al. 2007, Alessandrini op.cit, Friedrichs D.A et al. 2008 a, Friedrichs D.A et al. 2009 Di Filippo et al. 2010), per il castagno ed il cerro si mantiene sempre intorno al valore di 0.218 mentre si riscontra una maggiore sensibilità per il faggio. Il faggio infatti è una specie che mostra una spiccata sensibilità man mano che ci si avvicina al limite meridionale dell'areale, dove aumenta l'effetto dell'aridità estiva su questa specie oceanica. In letteratura (Di Filippo op.cit, Friedrichs D.A op.cit), i valori più elevati (0.37 - 0.38) si rilevano nelle faggete di quota

peninsulari e in faggeta collinare meridionale, a confermare che questo parametro aumenta sia verso i limiti estremi dell'areale di distribuzione, rispetto sia all'altitudine sia alla latitudine.

Il soprassuolo di faggio esaminato, ha presentato un trend incrementale meno marcato rispetto alle altre specie (cerro e castagno), tale comportamento indica che le risposte incrementali sono meno evidenti rispetto alle altre latifoglie analizzate. I tre interventi colturali eseguiti nel faggio sono sempre stati effettuati in fase di diminuzione dell'incremento corrente della componente dominante del popolamento ed hanno contribuito alla ripresa positiva dell'accrescimento.

Il popolamento adulto di castagno localizzato sul Monte Amiata che ha subito un solo diradamento (A1D) mostra una sensibilità elevata discostandosi molto dai valori riscontrati nei popolamenti di castagno diradati della stessa località ed età e da quelli paragonabili reperibili in letteratura (Romagnoli et. al 2004). Tali risultati hanno dimostrato quanto i diradamenti incidano sulla stabilità dei soprassuoli; gli interventi selvicolturali regolarizzando l'accrescimento tendono a rendere i popolamenti meno suscettibili alle variazioni ambientali. Anche il valore del coefficiente di autocorrelazione di primo ordine è risultato maggiore nel popolamento A1D, mentre tutti gli altri popolamenti, sono sembrati meno dipendenti dalla crescita dell'anno precedente.

I soprassuoli adulti di castagno (A1D Amiata e Catenaia) paragonabili per età e storia colturale, ma diversi tra loro per fertilità, hanno avuto lo stesso comportamento all'unico diradamento che è stato eseguito. L'età tardiva alla quale è stato compiuto l'intervento colturale (17 anni all'Amiata e 22 in Catenaia) ha provocato differenze significative e durature nell'accrescimento.

Nel castagno hanno giocato un ruolo sostanziale l'età in cui è stato eseguito il primo intervento selvicolturale, la fertilità del sito e l'intensità del diradamento. E' stato infatti dimostrato che temporanei periodi di forte competizione provocano bruschi cambiamenti nel ritmo di accrescimento (Bolgè 2001) aumentando il rischio del difetto di cipollatura. Inoltre, per evitare l'insorgenza del difetto, studi specifici (Amorini op.cit, Becagli et al. 2006) hanno indicato che il primo diradamento si dovrebbe realizzare tra 7 e 10 anni in popolamenti con elevata fertilità ($H_{dom} = 10$ m a 10 anni). L'analisi incrementale del popolamento giovane con tre diradamenti (G3D a 11 anni $H_{dom} = 13,7$ m) concorda con precedenti risultati sperimentali, il primo diradamento è stato eseguito in fase di calo d'incremento corrente ad 11 anni, sarebbe stato più opportuno eseguire il diradamento un anno prima, quando l'accrescimento era ancora sostenuto.

I diradamenti successivi nei popolamenti giovani (G2D, G3D) non hanno portato sensibili differenze di accrescimento, probabilmente per la scarsa competizione in atto e per la minor densità di ceppaie e polloni.

Nel cerro, nell'Alpe di Catenaia, il taglio di avviamento anche se eseguito in giovane età (24 anni), probabilmente è stato di intensità insufficiente, tanto da incidere solo marginalmente sul piano dominante, ed ha esaurito la spinta incrementale in pochi anni. D'altronde l'intervento di avviamento all'alto fusto rappresenta un momento cruciale del trattamento e necessita cautela. Il secondo diradamento, invece, è stato determinante per la ripresa dell'accrescimento e l'eliminazione della competizione tra gli individui. Il terzo intervento ha contribuito a far rimanere gli accrescimenti costanti e sostenuti.

4.5 Conclusioni

L'analisi dell'accrescimento su alberi appartenenti al piano dominante di popolamenti avviati all'alto fusto, di diversa specie, età e caratterizzati da diversa intensità di gestione e fertilità stazionale, ha evidenziato relazioni tra interventi selvicolturali e accrescimento legnoso.

La riduzione della densità, causata dal diradamento, determina la diminuzione della competizione inter-individuale e prolunga nel tempo la fase positiva di crescita. Questa fase dipende molto dalle caratteristiche intrinseche della specie, dall'età e dall'intensità dell'intervento selvicolturale. Infatti, le peculiarità del cerro e del castagno, specie eliofile ed a rapido accrescimento, vengono esaltate dall'effetto del regime dei diradamenti. I risultati ottenuti consentono di poter apprezzare in maniera accurata gli effetti del trattamento applicato.

In primo luogo è emerso come queste latifoglie siano in grado di reagire positivamente agli interventi selvicolturali applicati, anche ad età avanzata; infatti in tutti i popolamenti esaminati nei due diversi siti il regime dei diradamenti ha consentito ai soprassuoli di mantenere accrescimenti sostenuti e costanti nel tempo. E' da sottolineare che nel popolamento di faggio e cerro esaminati, il primo intervento selvicolturale che si traduce in un taglio di avviamento eseguito non oltre i 30 anni, ha consentito di cogliere il momento di maggior dinamismo incrementale causando un aumento di accrescimento legnoso immediato. Poiché il trend positivo nel cerro si esaurisce immediatamente dopo il taglio, il primo intervento colturale deve essere di forte intensità e selettivo per mantenere nel tempo l'accrescimento sostenuto.

Per quanto riguarda i popolamenti giovani di castagno di buona fertilità, la precocità del primo diradamento e la frequenza ravvicinata nel tempo sono stati presupposti essenziali per mantenere un alto livello di accrescimento. Inoltre, la notevole risposta incrementale al diradamento ha fatto intravedere la possibilità di condurre una selvicoltura dinamica (con altri due o tre diradamenti) per poter ottenere anche una produzione di legname da opera cercando di limitare il difetto della cipollatura.

4.6 Riferimenti bibliografici

Alessandrini A., 2008 – Analisi delle variazioni di produttività di tre nuclei di faggeta aventi caratteri di vetustà. Tesi di Dottorato XXI ciclo 67 pp., AGR 05, DAF, Università degli Studi della Toscana.

Amorini E., Bruschini S., Manetti M.C. - 1996 - I cedui di castagno del Monte Amiata: I analisi dendrometrica e strutturale di alcuni popolamenti sottoposti a diverso trattamento selvicolturale. *Annali Accademia Italiana di Scienze Forestali*. Vol. XLV: 213-234.

Amorini E., Bruschini S., Manetti M.C. - 1996 - I cedui di castagno del Monte Amiata: II analisi auxometrica ed osservazioni sulla cipollatura di alcuni popolamenti sottoposti a diverso trattamento selvicolturale. *Annali Accademia Italiana di Scienze Forestali*. Vol. XLV: 235-248.

Amorini E., Bruschini S., Manetti M.C. - 2000 - Alternative silvicultural systems in chestnut coppice: effects of the silvicultural practice on stand structure and tree growth. *Ecologia Mediterranea*, 26 (1-2): 155-162.

Amorini E., Fabbio G., 1983 – Studio auxometrico in un ceduo invecchiato e in una fustaia da polloni di faggio, sull'Appennino toscano. Primo contributo. *Ann. Ist. Sper. Selv. Arezzo*, XIV: 281-283.

Amorini E., Fabbio G., 1986 - Studio auxometrico in un ceduo invecchiato e in una fustaia da polloni di faggio, sull'Appennino toscano. Primo contributo. *Ann. Ist. Sper. Selv. Arezzo*, XIV (1983): 283-328

Amorini E., Fabbio G., 1988 – L'avviamento all'alto fusto nei cedui a prevalenza di cerro. Risultati di una prova sperimentale a 15 anni dalla sua impostazione. Studio auxometrico. Primo contributo. *Ann. Ist. Sper. Selv. Arezzo*, XVII: 7-101.

Amorini E., Fabbio G., 1989 – L'avviamento all'alto fusto nei cedui a prevalenza di cerro. Risultati di una prova sperimentale a 15 anni dalla sua impostazione. Studio auxometrico. Secondo contributo. *Ann. Ist. Sper. Selv. Arezzo*, XVIII: 17-70.

Amorini E., Gambi G., 1977 - Il metodo dell'invecchiamento nella conversione dei cedui di faggio. *Ann. Ist. Sper. Selv. Arezzo*, VIII (1977): 21-42.

Amorini E., Manetti M.C. - 1997 - Le fustaie da legno di castagno del Monte Amiata. *Ann. Ist. Sper. Selv. Arezzo*, XXVIII: 53-61.

Becagli C., Amorini E., Manetti M.C. – 2006 – Incidenza della cipollatura in popolamenti cedui di castagno da legno del Monte Amiata. *Annali C.R.A. -SEL*, 2002-2004 vol. 33: 245-256.

Bernetti G. 1980 – L'auxometria dei boschi cedui italiani. *L'It. For. Mont.*, XXXV (1): 1-24.

Bianchi M., 1976 – Esperienze di conversione dei cedui di faggio nell'alta Valle del Serchio. *L'Italia Forestale e Montana* (31): 231 – 240.

Biondi F., 1996 - Decadal-scale dynamics at the Gus Pearson Natural Area: evidence for inverse (a)symmetric competition? *Canadian Journal of Forest Research*, 26, 1397–1406.

Biondi F., 1999 – Comparing tree – ring chronologies and repeated timber inventories as forest monitoring tools. *Ecological Applications* 9:216–227.

Bolgè R., 2001 – Studio dello sviluppo dei polloni di castagno (*Castanea sativa* Mill) sottoposti a differenti interventi selvicolturali. Lavoro di diploma, Politecnico federale, Zurigo, 86 pp.

Corona P., Romagnoli M., and Torrini L., 1995. Stem annual increments as ecobiological indicators in Turkey oak (*Quercus cerris* L.). *Trees* 10: 13 – 19.

Di Filippo 2006 – Studio per una classificazione fitoclimatica delle faggete italiane su base dendrocronologia. Tesi di Dottorato di ricerca XVIII ciclo DAF. Università degli Studi della Tuscia, 82 pp.

Di Filippo A, Alessandrini A, Biondi F, Blasi S, Portoghesi L, Piovesan G., 2010 - Climate change and oak growth decline: Dendroecology and stand productivity of a Turkey oak (*Quercus cerris* L.) old stored coppice in Central Italy. *Ann. For. Sci.* 67 (2010) 706.

Di Filippo A., Biondi F., Cufar K., de Luis M., Grabner M., Maugeri M., et al., 2007 - Bioclimatology of beech (*Fagus sylvatica* L.) in the Eastern Alps: spatial and altitudinal climatic signals identified through a tree-ring network. *J. Biogeogr.* 34: 1873–1892.

Dobbertin M., Andreassen K., Newmann M., Somogyi Z., 2000- Forest Growth – Report of the expert Panel on Forest Growth. 17p.

Fabbio, G., 1992. Dinamica della popolazione arborea in un ceduo di cerro in invecchiamento. *Ann. Ist. Sper. Selv.*, XXIII: 41-72.

Fabbio, G., E. Amorini., 2000. Tree growth surveys and increment assessment. Contribution to the integrated evaluation of ecosystem's status. *Ann. Ist. Sper. Selv.*, XXX: 81-89.

Foster D.R., Orwig D.A., McLachlan J.S., 1996. Ecological and conservation insights from reconstructive studies of temperate old-growth forests. *Trees* 11: 419 - 424.

Friedrichs D.A, Neuwirth B, Winiger W, Loßfler J (2008a). Methodologically induced differences in oak site classifications in a homogeneous tree-ring network. *Dendrochronologia*.

Friedrichs D.A., Trouet V., Büntgen U., Frank D.C., Esper J., Neuwirth B., Loßfler J., 2009 - Species-specific climate sensitivity of tree growth in Central-West Germany. *Trees* 29: 729–739.

Fritts H.C., 1976. *Tree Rings and Climate*. Academic Press, London.

Lazzara A., 1976 - Ricerche incrementali sulla conversione dei cedui di cerro. Università degli Studi di Firenze. Facoltà di Agraria e Scienze Forestali. Tesi di Laurea 1975/76.

Manetti, M.C., 2002 - Tree ring growth by core sampling at the CONECOFOR Permanent Monitoring Plots. The deciduous oak (*Quercus cerris* L.) type. In: Mosello, R., B. Petriccione & A. Marchetto (Eds), Long-term ecological research in Italian forest ecosystems. *J. Limnol.*, 61 (Suppl. 1): 55-61

Manetti M.C., Amorini E., Becagli C. – 2006 - New silvicultural models to improve functionality of chestnut stands. *Advances in Horticultural Science*, 1: 65-69.

Manetti M.C., Bertini G., Pichi M., 2000 – SMIL 3.1 Sistema di Misura degli Incrementi Legnosi: un programma per l'indagine incrementale di sezioni trasversali e per l'analisi del fusto. Ann. C.R.A. Ist.sper.Selv. Arezzo Anno 2000 Vol XXXI: 65 -71.

Manetti M.C., Cutini A. - 2006 - Tree-ring growth of Silver fir (*Abies alba* Mill.) in two stands under different silvicultural systems in central Italy.. *Dendrochronologia*, 23: 145-150.

Nakawatase JM, Peterson DL (2006) Spatial variability in forest growth–climate relationships in the Olympic Mountains, Washington. *Canadian Journal of Forest Research*, 36, 77–91.

Piutti E., Cescatti L., 1997. A quantitative analysis of the interactions between climatic response and intraspecific competition in European beech. *Canadian Journal of Forest Research* 27: 277-284.

Romagnoli M., Nocetti M., Sarletto M., Evangelistella L., 2004 - Dendrochronological assessment of chestnut (*Castanea sativa* Mill.) for dating purposes in Central Italy. *Dendrochronologia* Vol 21, 3: 117 – 130.

Schweingruber, F.H. 1988. Tree rings. Basics and applications in dendrochronology. Reidel, Dortrecht: 276 pp.

StatSoft., 2000 - General conventions and statistics I. 2000.

Swetnam T.W., Allen C.D., Betancourt J.L., 1999. Applied historical ecology: using the past to manage for the future. *Ecological Applications* 9, 1189-1206.

CAPITOLO 5

RELAZIONI TRA EFFICIENZA, PRODUTTIVITÀ E ACCRESCIMENTO RADIALE

5.1 Introduzione

La produttività degli ecosistemi forestali è in buona parte legata a fattori climatici, in particolare a temperatura e disponibilità idriche. Radiazione solare e acqua, assieme alla disponibilità di CO₂, sono infatti indispensabili per i processi fotosintetici. La radiazione solare costituisce, in tal senso, la fonte di energia che permette il funzionamento dell'ecosistema, tramite flussi energetici che si realizzano per mezzo delle catene alimentari. Le attività antropiche, come le utilizzazioni legnose, rappresentano, così, una delle voci degli elementi in uscita dagli ecosistemi forestali; inoltre, i diradamenti intervengono come azioni di disturbo tali da influenzare le dinamiche successionali e strutturali. Tuttavia, gli effetti dei trattamenti presentano entità variabile secondo modalità e tipo degli interventi, variando in relazione alla suscettibilità del soprassuolo, a sua volta legata a fattori di resilienza e/o resistenza dell'ecosistema. A volte un disturbo rende il soprassuolo più resistente nei confronti degli altri: è uno degli effetti dei diradamenti che, rimuovendo parte della massa, consentono ad altre piante di espandere la chioma, aumentandone la stabilità e di ridurre la competizione per le risorse tra gli individui.

Le caratteristiche della copertura forestale sono quindi dei validi indicatori per descrivere e determinare l'entità del disturbo e il ripristino dell'efficienza del soprassuolo.

Altro contributo utile ad esaminare gli effetti degli interventi selvicolturali su popolamenti forestali è dato dallo studio degli anelli di accrescimento legnoso. La dendrocronologia analizza, con approccio retrospettivo, i processi di crescita avvenuti durante l'intera vita degli alberi. In tal modo essa fornisce suggerimenti sul momento, la durata e l'intensità delle interazioni provocate alla gestione forestale, valutandone le risposte e le conseguenze. D'altra parte, permette di interpretare le serie dendrocronologiche ritrovate nei campioni legnosi esaminati, tenendo conto delle cause antropogene: da una tale lettura è infatti possibile desumere quali saranno le tendenze evolutive future. Da ciò si comprende come gli studi sugli anelli di accrescimento possano contribuire ad ottimizzare strategie e concetti di gestione e di utilizzazione delle foreste o a svilupparne di nuovi.

Piuttosto ampia è la documentazione riguardante la dendroecologia e la dendroclimatologia del faggio (Biondi 1993, Bartelink 1997, Barnabei e Piovesan 1997, Di Filippo 2006, Barbaroux e Bréda 2002, Rozas 2004), del cerro (Corona op.cit, Bréda e Granier 1996, Barbaroux e Bréda

op.cit, Manetti 2002, Rozas op.cit) e del castagno (Amorini et al. 1996, Becagli et al. 2006). Al contrario, si riscontra un gap informativo riguardo la possibilità di relazionare tutti gli indicatori di produttività e di efficienza già determinati. In alcuni studi sul cerro e il faggio Bréda e Granier (op.cit) e Barbaroux e Bréda (op.cit), tra gli altri, hanno dimostrato che la maggior parte dell'accrescimento radiale avviene durante la primavera, prima della massima espansione fogliare e che l'accrescimento anulare si verifica anche due settimane dopo la caduta della foglie per una maggior disponibilità di sostanze nutritive. In particolare, è stato dimostrato che durante la massima espansione fogliare l'accrescimento radiale si arresta e che questa fase di transizione potrebbe corrispondere all'inizio della formazione del legno tardivo.

In questo capitolo si applica un approccio integrato nello studio dei popolamenti mettendo in relazione alcune variabili ecologiche (Lai, trasmittanza, lettiera) strettamente correlate alla produttività, al funzionamento e alla dinamica di un soprassuolo con una variabile di stato quale l'accrescimento.

5.2 Metodologia: Analisi statistica

All'approccio classico di analizzare singolarmente ogni indicatore di produttività (LAI, PAR, produzione di lettiera e accrescimento radiale) è stato integrato l'uso di tecniche di analisi multivariata (Piovesan e Portoghesi 1994, Di Filippo op.cit). Sono state utilizzate come variabile nella matrice dei dati, predisposta per l'elaborazione statistica, i cinque indicatori di produttività (LAI, PAR, produzione di lettiera e accrescimento radiale) relative ad ogni area di saggio. La statistica multivariata è stata fondamentale per individuare l'esistenza di affinità auxologiche tra specie differenti. Per l'ordinamento e la classificazione delle tipologie puntuali si è ricorso all'uso dell'analisi dei Componenti Principali (PCA dall'inglese *Principal Component Analysis*) e dalla *Cluster Analysis* con l'ausilio del software PAST. Si tratta di metodi per loro natura esplorativi o di analisi descrittiva che non si rifanno necessariamente a un modello stocastico di distribuzione dei dati (Tarsitano e Anania 1995). Infatti, queste metodologie sono utili soprattutto per generare ipotesi interpretative sull'organizzazione dei dati esaminati piuttosto che per verificarne la significatività statistica (Chatefield e Collins 1980, Davison 1983, Digby e Kempton 1987, Rizzi 1985). La tecnica dell'analisi delle Componenti principali (PCA) è risultata uno strumento di sintesi particolarmente prezioso. Essa contribuisce in maniera determinante a far chiarezza nelle relazioni lineari, più o meno latenti, tra gli indicatori e suggerisce le linee strategiche più appropriate per confermare o smentire il quadro delle ipotesi fondamentali della ricerca. La PCA estrae dalla matrice iniziale $m \times n$ un numero pari a m componenti, combinazioni lineari di tutte le variabili esaminate, in ordine decrescente rispetto

alla percentuale della varianza originale. Ogni componente principale (PC), infatti, rappresenta una frazione della variabilità totale in comune a più tipologie alla cui origine c'è, evidentemente, un segnale comune. Dal punto di vista della rappresentazione grafica, ogni componente viene raffigurata come un asse cartesiano, su cui il peso di ciascuna variabile assume un coordinata. Tale rappresentazione permette così di cogliere le somiglianze tra le unità statistiche, non immediatamente evidenti quando queste ultime vengono descritte da molte variabili, il loro modo di raggrupparsi e l'esistenza di configurazioni regolari.

La stessa matrice di dati utilizzata nella PCA, è stata impiegata per procedere con la Cluster analysis. La Cluster analysis è stata usata per ottenere una classificazione, la rappresentazione grafica si realizza attraverso un dendrogramma, le cui ramificazioni riproducono la strutturazione delle variabili in base al loro segnale comune e con un algoritmo di tipo gerarchico mostra in dettaglio il graduale accorparsi delle aree di saggio analizzate (Jolliffe, 1986); infatti, i gruppi formati saranno interpretati sulla base della specie, della storia selvicolturale pregressa e dal loro ritmo di accrescimento.

In sintesi, mentre la Cluster analysis separa in maniera discreta le stazioni in funzione del grado di correlazione che ognuna di esse ha con una piuttosto che con un'altra serie, andando ad identificare in maniera netta i rapporti che sussistono fra diversi popolamenti (procedimento detto "classificazione"), la PCA costituisce un modo raffinato di esaminare ai rapporti tra gli indici di produttività, perché individua delle componenti di variabilità comune ed il legame che ciascuna serie ha con ognuna di esse (procedimento detto "ordinamento"). Si è ritenuto opportuno di eseguire le suddette analisi in primo luogo per i due siti distinti (M.te Amiata e Catenaia), in seguito per tutte le aree di castagno (5) dei due comprensori.

5.3 Risultati

L'analisi della PCA nelle aree del Monte Amiata ed in quelle dell'Alpe di Catenaia è riuscita ad identificare i principali modi di variabilità della crescita all'interno della matrice. Il primo risultato ottenuto è che nel Monte Amiata la prima componente (PC1) è responsabile del 35% della varianza originale mentre la seconda componente principale PC2 spiega il 25% della varianza totale (figura 5.1). Per i popolamenti di castagno del Monte Amiata si è osservato che i popolamenti giovani con più diradamenti (G3D) sono ben correlati con la PC1, mentre il popolamento adulto (A1D) è poco correlato con entrambe le componenti; una situazione intermedia si è ottenuta con i popolamenti (G2D e A3D).

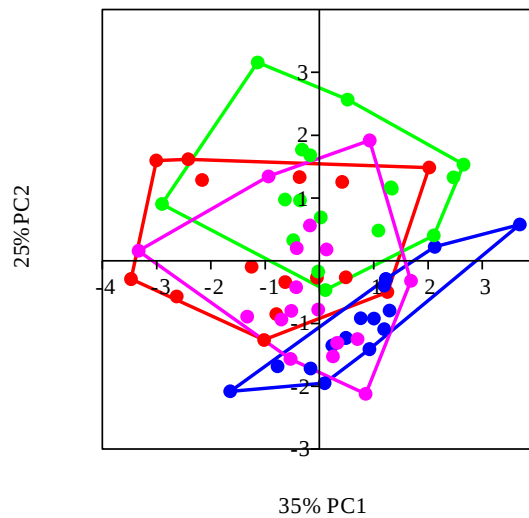


Figura 5.1 – Analisi della PCA per i popolamenti di castagno del Monte Amiata, (● A3D, ● A1D, ● G3D, ● G2D).

Nell'Alpe di Catenaia la prima componente (PC1) descrive il 41% e la PC2 il 22% della varianza totale (figura 5.2). Dalla figura 5.2 si osserva che rispetto alla prima componente (PC1), il cerro ed il castagno hanno punteggio prossimo allo zero; gli stessi sono invece molto ben correlati alla PC2. Il faggio si discosta dal cerro e dal castagno in quanto è correlato sia con PC1 che con PC2.

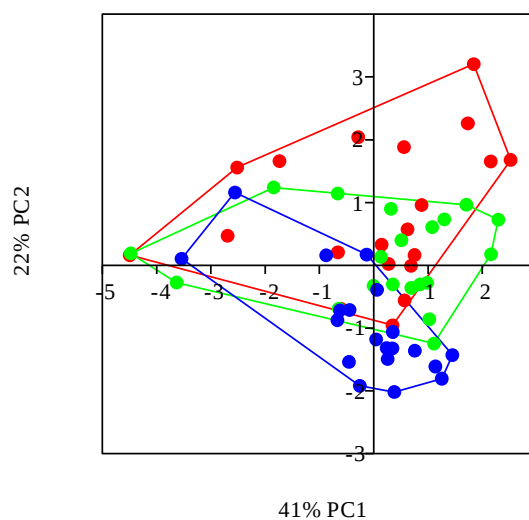
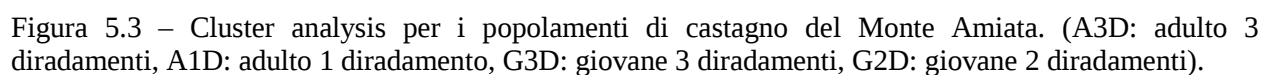


Figura 5.2 – Analisi della PCA per i popolamenti dell'Alpe di Catenaia, (● Qc, ● Fs, ● Cs).

Per quanto riguarda i quattro popolamenti del Monte Amiata si possono identificare tre gruppi (figura 5.3).



73

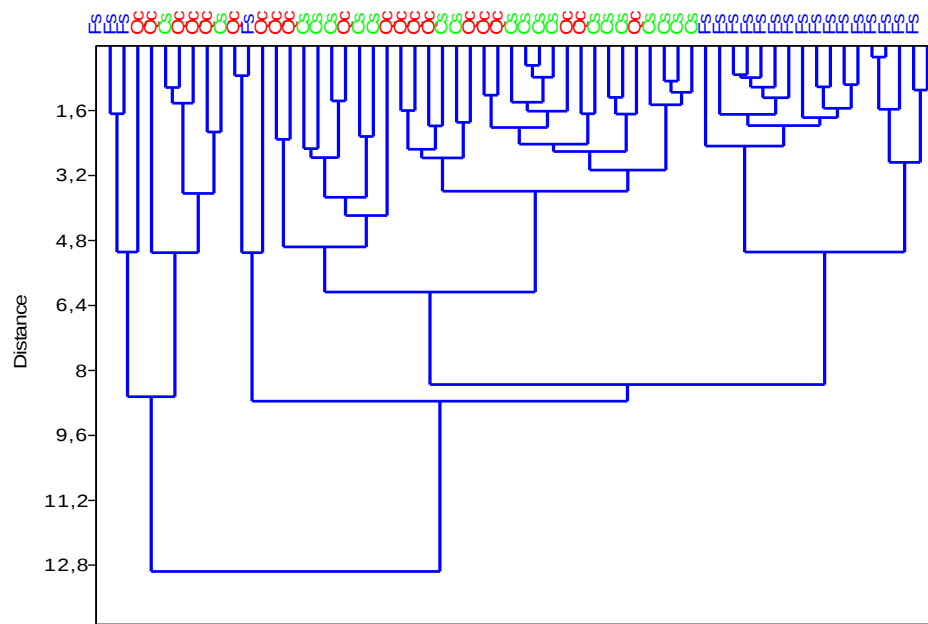


Figura 5.4 - Cluster analysis per i popolamenti dell'Alpe di Catenaiia (Fs:faggio, Cs:castagno, Qc: cerro).

Le stesse analisi sono state eseguite per tutti i popolamenti di castagno esaminati (figura 5.5 e figura 5.6).

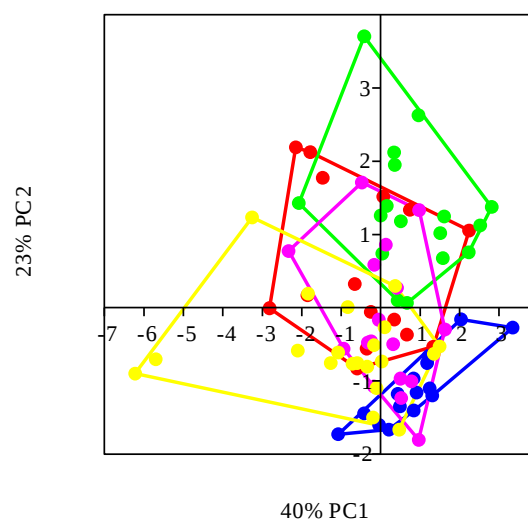
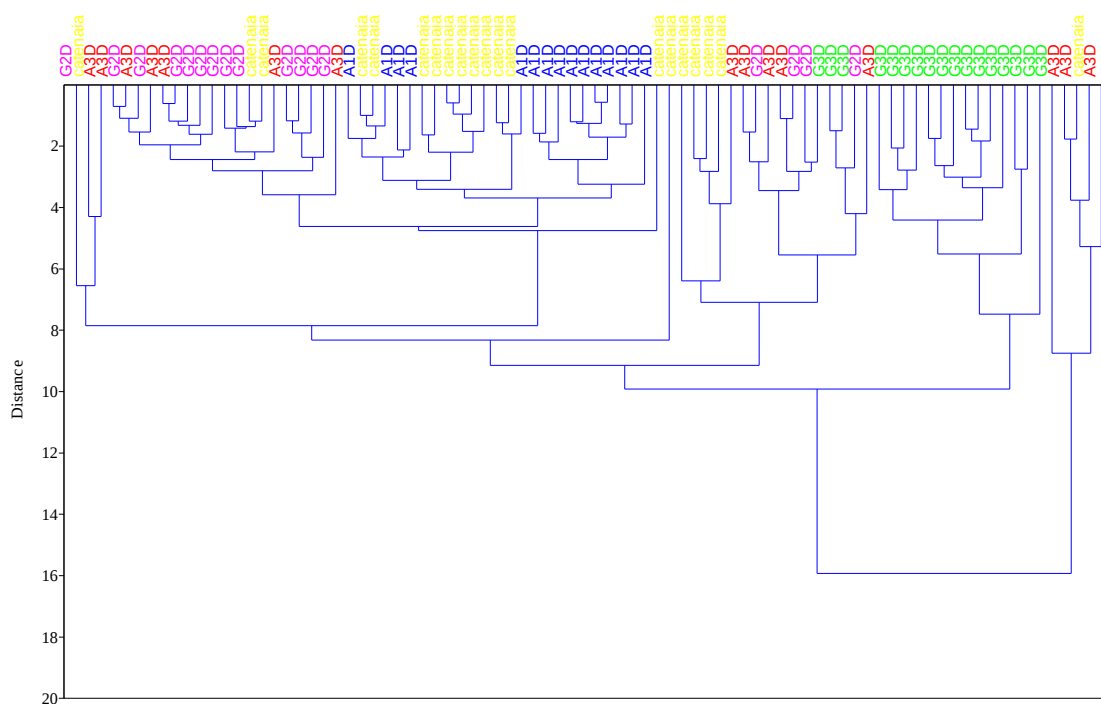


Figura 5.5 – Analisi della PCA per i popolamenti di castagno (● A3D, ● A1D, ● G3D, ● G2D, ● castagno Catenaiia)

Nell'analisi della PCA si osserva che la PC1 rappresenta il 40% della variabilità totale e la PC2 il 23%. Dai grafici si osserva che i popolamenti adulti (A1D e castagno in Catenaiola) con un solo diradamento, nonostante siano localizzati nei due diversi comprensori, abbiano un comportamento molto simile costituendo un unico gruppo. Il popolazione giovane con tre diradamenti (G3D) presenta una maggiore correlazione con PC1, mentre il soprassuolo giovane diradato due volte G2D ed il popolazione adulto con 3 diradamenti (A3D) presentano una situazione intermedia correlandosi con PC1 e PC2.



5.6 – Cluster analysis per tutti i popolamenti di castagno (A3D: adulto 3 diradamenti, A1D: adulto 1 diradamento, G3D: giovane 3 diradamenti, G2D: giovane 2 diradamenti; castagno in Catenaiola).

L'analisi a gruppi conferma questo comportamento. Si distinguono infatti due gruppi ben differenziati: un cluster costituito dal popolazione giovane con 3 diradamenti (G3D), un secondo gruppo che include i due popolamenti adulti diradati una sola volta. Un terzo gruppo che presenta un comportamento intermedio tra i primi due è composto dai soprassuoli G2D e A3D.

5.4 Discussioni e Conclusioni

I risultati ottenuti attraverso l'analisi multivariata hanno dimostrato che l'accrescimento è un fattore utile per accomunare diversi popolamenti forestali. In molti studi sono stati eseguiti raggruppamenti generati dall'affinità auxologica tra serie dendrocronologiche in base ai gradienti latitudinali ed altitudinali. Il rapporto clima-accrescimento è stato uno dei fattori principali nel

caratterizzare e nell'accumunare soprassuoli della stessa specie. In questo studio, invece, dall'analisi multivariata è emerso un altro elemento in grado di caratterizzare e di differenziare i popolamenti, ovvero l'intervento selvicolturale.

Nel corso dell'indagine svolta sul Monte Amiata, potendo disporre di un numero maggiore di aree di saggio della stessa specie (castagno), diverse per età e storia selvicolturale, l'effetto del trattamento sulla produttività è stato più immediato. Il popolamento adulto diradato una sola volta a 17 anni si è sempre differenziato per tutti i parametri di produttività esaminati singolarmente. Dall'analisi della PCA e dalla Cluster analysis tale soprassuolo, però, è risultato molto simile al popolamento di castagno dell'Alpe di Catenaiola diradato solamente all'età di 24 anni, tanto da costituire un unico gruppo.

Dalle singole analisi degli indici di produttività (produzione di fogli e seme, LAI e accrescimento legnoso), i due soprassuoli non hanno presentato differenze statisticamente significative (Cap 3 e 4), mostrando nel corso degli anni un trend molto simile per tutte le componenti che esprimono la produttività: ciò è con buona probabilità dovuto all'alta fertilità del Monte Amiata, che ha giocato, in tal senso, un ruolo determinante.

Il diradamento è stato incisivo anche per gli altri tre popolamenti del Monte Amiata: infatti, il popolamento giovane G3D, in cui è stato testato il modello a turno medio con diradamenti di tipo forte e frequente (età del primo diradamento a 11 anni), si è notevolmente differenziato sia dall'altro soprassuolo giovane (G2D) che dall'adulto A3D.

Nell'analisi multivariata questi due soprassuoli, nonostante la diversa età, sono confluiti in un unico gruppo. Tale risultato è da imputare probabilmente al fatto che sia nel popolamento adulto (A3D) che in quello giovane (G2D) il primo diradamento è stato effettuato alla stessa età (17 anni). Inoltre, nei due soprassuoli è stato applicato il modello a turno lungo con diradamenti di media-forte intensità e più graduati nel tempo. Se ne deduce che i trattamenti applicati hanno influito fortemente sulla diversa produttività dei soprassuoli.

La stessa analisi multivariata condotta sui soprassuoli della stessa stazione ha messo in evidenza il diverso comportamento delle tre specie. Il faggio si discosta molto dal cerro e dal castagno, i quali presentano, al contrario, un comportamento molto simile. Dagli studi sulla produttività esposti nei precedenti capitoli (LAI, produzione di lettiera e seme e accrescimento legnoso), il faggio era risultato la specie più sensibile, con accrescimenti più lenti e con produzione di seme strettamente legata alla stagionalità. In particolar modo, è stato riscontrato che ad annate di pasciona corrispondono anni caratterizzati da minimi di crescita radiale (Piovesan e Barnabei op.cit). Questo fenomeno, ormai ben noto in letteratura (Eis et al. 1965, Harper 1977; Schirone op.cit), assieme all'altra peculiarità della specie (riconducibile al fatto che ad una marcata siccità

estiva equivalgono anni di maggior fruttificazione), ha causato una netta distinzione tra il soprassuolo di faggio e i popolamenti di castagno e cerro. Queste ultime due specie eliofile (a rapido accrescimento e localizzate nella stessa fascia altitudinale) hanno mostrato, infatti, un trend molto simile in tutti gli indici di produttività esaminati. Tale caratteristica è stata chiaramente evidenziata dall'analisi multivariata.

5.5 Riferimenti Bibliografici

Amorini E., Bruschini S., Manetti M.C., 1996 – Analisi auxometrica ed osservazioni sulla cipollatura di alcuni popolamenti sottoposti a diverso trattamento selvicolturale. Ann. Acc. It. Sc. For. Vol XLV: 235 – 248.

Barbaroux C., Bréda N., 2002 - Contrasting distribution and seasonal dynamics of carbohydrate reserves in stem wood of adult ring-porous sessile oak and diffuse-porous beech trees. Tree Physiology, 22: 1201 – 1210.

Barnabei M., e G Piovesan, 1997 - Alcune osservazioni sugli accrescimenti anulari del faggio (*Fagus sylvatica* L.) del Lazio settentrionale, Monti e Boschi, 5: 52-56.

Bartelink H.H., 1997 – Allometric relationships for biomass and leaf area of beech (*Fagus sylvatica* L.). Ann. Sci. For. 54: 39 – 50.

Becagli C., Amorini E., Manetti M.C. – 2006 – Incidenza della cipollatura in popolamenti cedui di castagno da legno del Monte Amiata. Annali C.R.A. Istituto Sperimentale Selvicoltura, vol. 33, 2002-2004: 245-256.

Biondi F., 1993 - Climatic signals in tree rings of *Fagus sylvatica* L. from Central Apennines, Italy, Acta Oecol., 14(1): 57-71.

Bréda N., Granier G., 1996 – Intra- and interannual variations of transpiration, leaf area index and radial growth of a sessile oak stand (*Quercus petraea*). Ann. Sci. For. 53: 521 – 536.

Chatfield C., Collins A., 1980 – Introduction to multivariate analysis. Biometrical Journal, 24: 436 Chapman and Hall, London – New York 1980.

Corona, E. 1989. Significato dendrocronologico delle querce. Monti e Boschi, 1: 6-8.

Corona P., Romagnoli M., and Torrini L., 1995. Stem annual increments as ecobiological indicators in Turkey oak (*Quercus cerris* L.). Trees 10: 13–19.

Davi H., Baret F., Huc R., Dufrêne E., 2008 – Effect of thinning on LAI variance in heterogeneous forests. Forest Ecology and Management, 256: 890-899.

Davison M.L., 1983 – Multidimensional scaling. John Wiley and Sons, New York.

Di Filippo 2006 – Studio per una classificazione fitoclimatica delle faggete italiane su base dendrocronologia. Tesi di Dottorato di ricerca XVIII ciclo DAF. Università degli Studi della Tuscia, 82 pp.

Di Filippo A, Alessandrini A, Biondi F, Blasi S, Portoghesi L, Piovesan G., 2010 - Climate change and oak growth decline: Dendroecology and stand productivity of a Turkey oak (*Quercus cerris* L.) old stored coppice in Central Italy. Ann. For. Sci. 67 (2010) 706.

Di Filippo A., Biondi F., Cufar K., de Luis M., Grabner M., Maugeri M., et al., 2007. Bioclimatology of beech (*Fagus sylvatica* L.) in the Eastern Alps: spatial and altitudinal climatic signals identified through a tree-ring network. J. Biogeogr. 34: 1873–1892.

Digby P.G.N., Kemton R.A., 1987 – Multivariate analysis of ecological Communities. Biometrical Journal, 32:94. Chapman and Hall, London - New York 1987.
Jolliffe I.T., 1986. Principal Component Analysis. 271 pp. Springer-Verlag, New York.

Manetti, M.C., 2002 - Tree ring growth by core sampling at the CONECOFOR Permanent Monitoring Plots. The deciduous oak (*Quercus cerris* L.) type. In: Mosello, R., B. Petriccione & A. Marchetto (Eds), Long-term ecological research in Italian forest ecosystems. J. Limnol., 61 (Suppl. 1): 55-61

Orwing D.A., Abrams M.D., 1997 – Variation in radial growth responses to drought among species, site, and canopy strata. Trees (11): 474 – 484.

Piovesan G., Bernabei M., Di Filippo A., Romagnoli M., B Schirone B., 2003 - A long-term tree-ring beech chronology from a high-elevation old-growth forest of Central Italy, Dendrochronologia, 21(1), 13-22.

Piovesan G., Portoghesi L., 1994 – Tecnhiche di analisi multivariate per lo studio strutturale di un bosco di faggio. Atti del seminario “ Ricerca ed esperienze nella pianificazione multifunzionale del bosco”. Brasimone (BO), 23 – 24 novembre 1993. UNIF, ISAF, AISF, ENEA. Trento.

Rentch J.S., Fekedulegn D., Miller G.W., 2002 – Climate, canopy disturbance, and radial growth averaging in a second – growth mixed – oak forest in West Virginia, U.S.A. Can. J. for. Res. 32: 915 - 927

Rizzi A., 1985 – Analisi dei dati. La Nuova Italia Scientifica, Roma.

Rozas V., 2004 – Efectos de la historia del dosel y el clima sobre los patrones de crecimiento radial de *Fagus sylvatica* L. y *Quercus robur* L. Invest. Agrar: Sist Recur For 13 (3): 479 – 491.

Schweingruber F.H., 1993 - Trees and Wood in Dendrochronology, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, NewYork.

Taritano A., Anania G., 1995 - Tecniche di analisi statistica multivariate per l'individuazione dei sistemi agricoli territoriali in Italia. In “I sistemi territoriali agricoli italiani degli anni ‘90. Contributi metodologici”: 105-242. A cura di Giovanni Cannata. Rubbettino Editore, Soveria Mannelli (Cz) 1995.

CAPITOLO 6

CONCLUSIONI

La ricerca ha esaminato cedui invecchiati e avviati all'alto fusto di faggio (*Fagus sylvatica* L.), cerro (*Quercus cerris* L.) e castagno (*Castanea sativa* Miller.), ovvero le tre specie forestali italiane più importanti in termini economici e di superficie.

La molteplicità delle variabili esaminate, il diverso regime di diradamenti applicato, il protocollo che ha previsto l'analisi sulle specie chiave della selvicoltura appenninica, sono elementi che hanno consentito di fornire un contributo non trascurabile in termini conoscitivi sulla produttività e la funzionalità di boschi di latifoglie avviati all'alto fusto. Grazie alla durata dello studio si è potuto disporre di risultati affidabili e di apprezzare gli effetti del trattamento selvicolturale eseguito.

Dai risultati ottenuti si può affermare che i parametri osservati LAI, PAR, produzione di lettiera, di seme e accrescimento legnoso radiale sono dei validi indicatori qualitativi e quantitativi per la valutazione della funzionalità dei popolamenti forestali

In primo luogo è emerso che le variabili correlate alla produttività dei soprassuoli (produzione di lettiera totale, lettiera fogliare e seme) mostrano un andamento crescente in funzione dell'età. Il peso rilevante della componente fogliare nella lettiera sta ad indicare che i soprassuoli in questione sono in una fase estremamente dinamica ma ancora lontani dalla piena maturità, anche se la produzione di seme non appare più episodica ma piuttosto regolare per tutte le specie.

L'elevata dinamicità dei popolamenti analizzati è documentata anche dalla buona ripresa incrementale rilevata subito dopo il taglio di avviamento; i diradamenti successivi hanno consentito poi ai soprassuoli di mantenere accrescimenti sostenuti e costanti nel tempo. La positiva risposta incrementale al regime di diradamenti accerta che la scelta selvicolturale caratterizzata da diradamenti successivi dopo il taglio di avviamento è stata appropriata.

Attraverso l'analisi dei parametri della copertura (LAI e PAR) è stato possibile valutare l'efficacia e la sostenibilità dei trattamenti applicati: nonostante la reiterata e forte riduzione di densità operata dagli interventi, i soprassuoli mostrano un pronto e pressoché totale recupero della copertura e della produttività.

Gli interventi selvicolturali agiscono sui soprassuoli incrementando la resilienza/resistenza e la produttività; i diradamenti tendono quindi a contrastare gli effetti negativi delle recenti variazioni climatiche che stanno causando, mediante un innalzamento delle temperature, l'aumento della siccità. Tale fattore è considerato la causa principale di riduzione della produttività negli ultimi decenni delle cenosi forestali.

Il particolare andamento climatico nel corso del periodo di osservazione, caratterizzato dall'eccezionale siccità estiva registrata nel 2003, ha consentito di fare alcune considerazioni sulle relazioni tra produttività, accrescimento e stress ambientale. In primo luogo è emerso che tutti i popolamenti hanno reagito con un calo di produzione di lettiera nell'anno 2003. La dinamica di crescita evidenzia una netta riduzione di incremento in area basimetrica l'anno successivo all'evento siccitoso (2004), essendo le specie analizzate ad accrescimento predeterminato. Nel complesso si può affermare che i soprassuoli esaminati, a fronte di annate particolarmente critiche, presentano reazioni piuttosto simili, in linea con quanto osservato in studi precedenti. Tale comportamento è dovuto all'interazione con i processi fiorali e di fruttificazione (annate di pasciona), fattori che agiscono nella mobilitazione delle sostanze di riserva delle piante e che quindi influenzano la produttività anche negli anni successivi.

L'analisi statistica multivariata, che ha permesso di relazionare tutti i parametri ecologici, produttivi e incrementali, ha evidenziato che il trattamento selvicolturale applicato è uno degli elementi principali in grado di caratterizzare e discriminare i popolamenti. Nel caso del castagno, l'effetto dell'intervento selvicolturale sulla produttività è stato più immediato. Popolamenti diversi per età ma sottoposti allo stesso modello colturale hanno presentato le medesime reazioni negli anni. In conclusione si deduce che i trattamenti selvicolturali applicati hanno influito fortemente sulla diversa produttività dei soprassuoli. L'analisi multivariata ha evidenziato anche il diverso comportamento delle specie esaminate. Il soprassuolo di faggio si è sempre differenziato rispetto a quello di cerro e di castagno che hanno presentato un trend simile tra loro. Il faggio è risultato una specie più "sensitiva", con accrescimenti più lenti e con produzione di seme strettamente legata alla stagionalità.

In termini puramente produttivi, tramite il monitoraggio degli indicatori individuati è possibile per ciascuna specie determinare i momenti ottimali per l'esecuzione dei diradamenti. La variabile quantitativa dell'accrescimento rappresenta l'indicatore esplicativo dello stato-bioecologico e della tendenza funzionale del sistema.

Relativamente ai popolamenti di castagno, studi precedenti hanno dimostrato che l'irregolarità dell'andamento incrementale è alla base di forti tensioni interne che determinano l'insorgenza del difetto della cipollatura. Intervenire quindi in modo da ottenere accrescimenti sostenuti e costanti nel tempo è fondamentale per prevenire tale difetto. Dalla buona risposta incrementale ottenuta per i soprassuoli di cerro e faggio si ha conferma che la scelta colturale di effettuare il taglio di avviamento ad uno stadio evolutivo giovanile è stata conveniente anche dal punto di vista produttivo. Il trattamento dovrà prevedere in futuro di mantenere e incrementare gli elementi strutturali dei popolamenti modificati dagli interventi effettuati: allargamento delle

chiome e la riduzione dell'incremento di altezza. Il monitoraggio della dinamica del popolamento segnerà tempi, modi e intensità dei prossimi diradamenti e suggerirà quando intervenire con i tagli di sementazione. Per tali motivi gli indicatori analizzati rappresentano un valido ausilio per poter stabilire dove eventualmente anticipare la rinnovazione, anche su piccole superfici, al fine di ridurre l'attuale uniformità ed aumentare la diversità strutturale dei popolamenti.

6.1 Elementi di innovazione, applicabilità, e trasferibilità

I soprassuoli avviati ad alto fusto sono strutturalmente semplici e biologicamente complessi, assolvono alle funzioni di protezione idrogeologica, esaltano la funzione turistico ricreativa, accumulano una maggiore quantità di CO₂ ed infine possono fornire una maggior e diversificata produzione legnosa. Per tali motivi lo studio integrato di questi soprassuoli risulta fondamentale per impostare modalità gestionali sostenibili da un punto di vista economico ed ecologico .

L'aspetto innovativo e l'originalità della ricerca risiedono nell'aver utilizzato un approccio integrato nello studio dei popolamenti mettendo in relazione alcune variabili ecologiche (Lai, trasmittanza, lettiera) strettamente correlate alla produttività, al funzionamento e alla dinamica di un soprassuolo con una variabile di stato quale l'accrescimento. La lunghezza delle serie storiche relative ai parametri ecologici (15 anni) ha rappresentato un fattore fondamentale nell'analisi, permettendo di evidenziare la capacità di risposta ai fattori di disturbo biotici e abiotici delle varie specie e di discriminare i soprassuoli in funzione del trattamento e delle caratteristiche stazionali. La validità del monitoraggio di lungo periodo in più aree sperimentali è fondamentale non solo come sorgente diacronica di dati, ma per la possibilità di seguire in tempo reale l'evoluzione di soprassuoli di specie diversa.

In conclusione, la ricerca ha fornito due tipi di risultati: uno di ordine pratico e facilmente trasferibile all'utente, ossia segnalare quali possono essere gli indicatori, semplici da rilevare e facili da utilizzare, per individuare il momento ottimale per l'esecuzione dei diradamenti; l'altro di tipo metodologico, ovvero fornire una metodologia alternativa per monitorare i soprassuoli e verificare complessivamente l'efficacia e la sostenibilità del trattamento. In quest'ottica, lo studio condotto prima sulla produttività considerata nei singoli aspetti e poi nella sua complessità hanno un importante valore conoscitivo e rappresentano, un valido aiuto per la gestione forestale. Molto rimane da chiarire circa la correlazione tra i singoli indici di produttività a lungo termine, ma i risultati ottenuti devono incoraggiare il proseguimento di questo tipo di ricerca che può essere di valido aiuto per comprendere l'efficienza e la sostenibilità degli interventi. Mentre per i popolamenti di castagno si è avuto a disposizione un maggior numero di aree sperimentali ed è

stato possibile un confronto più dettagliato; per il cerro ed il faggio sarebbe opportuno ampliare la rete di osservazione in modo da verificare gli indicatori più idonei per individuare il momento ottimale per l'esecuzione dei diradamenti. L'accrescimento legnoso è un buon indicatore che permette sia di valutare il ritmo di sviluppo e lo stato di salute di un soprassuolo in relazione ai fattori ambientali e selvicolturali, sia di individuare le linee di gestione più idonee per esaltare le funzioni richieste ai popolamenti forestali. La variabile accrescimento è inoltre facilmente rilevabile sia per la proprietà pubblica che privata.

La stima del LAI effettuata negli anni nei popolamenti di cerro, castagno e faggio, permette oggi di individuare dei valori ottimali per ogni specie, determinando quindi i momenti idonei per intervenire colturalmente in modo da mantenere un'alta efficienza ecologica.

La trasmittanza rappresenta un ulteriore strumento per la programmazione dei diradamenti in quanto la radiazione è indispensabile per la germinazione del seme, l'insediamento e l'affermazione del novellame.

Per i popolamenti avviati ad alto fusto e che nel futuro saranno sottoposti a taglio di sementazione, l'informazione sulla produzione di seme (ciclicità, quantità) è un elemento importante e di supporto per la gestione forestale in quanto individua il momento per intervenire in cui garantire la rinnovazione del soprassuolo.

Questa indagine fornisce una conferma della dipendenza degli indici considerati dai fattori ambientali e dai trattamenti selvicolturali.

Ulteriori ricerche, estese ad un maggior numero di popolamenti di età e condizioni ecologiche e selvicolturali diverse, consentiranno di definire i rapporti quantitativi che intercorrono tra LAI, PAR, produzione di lettiera e produzione legnosa.