

Effetti del trattamento selvicolturale su caratteristiche della copertura, produzione di lettiera e di seme in cedui di faggio in conversione[§]

Andrea Cutini^{1*}, Francesco Chianucci¹, Tessa Giannini¹

Accettato il 15 novembre 2010

Riassunto – Si riportano i risultati di uno studio sugli effetti di due opzioni selvicolturali per la conversione ad altofusto di cedui di faggio (*Fagus sylvatica* L.). Lo studio, durato 18 anni, ha preso in esame popolamenti di circa 65 anni di età situati sul rilievo pre-appenninico dell'Alpe di Catenaiola (Arezzo) analizzando le caratteristiche della copertura, la produzione di lettiera e di seme. Nel campo sperimentale di Buca Zamponi il popolamento è stato sottoposto a taglio di avviamento e due successivi diradamenti di media-forte intensità (DIR). Nel vicino campo sperimentale dell'Eremo della Casella il popolamento è stato sottoposto a taglio di avviamento, diradamento e taglio di sementazione anticipato (TS). In entrambi i casi, le due opzioni selvicolturali sono state confrontate con la tesi di controllo dell'evoluzione del ceduo per via naturale. I risultati hanno messo in evidenza l'elevata produttività dei popolamenti esaminati con valori medi di lettiera totale, lettiera fogliare e LAI rispettivamente di 5 Mg ha⁻¹, 3 Mg ha⁻¹ e 6 m²m⁻², dimostrando che il faggio è una specie in grado di reagire anche a precedenti cicli di sfruttamento intensivo e di rispondere positivamente alla scelta della conversione a fustaia. L'andamento crescente in funzione dell'età della produzione di lettiera e del valore di LAI, la rilevanza della componente fogliare (65-70%) nella lettiera totale, stanno ad indicare come questi soprassuoli siano ancora in una fase molto dinamica. In entrambi i casi il trattamento applicato ha prodotto ricadute positive rispetto agli obiettivi prefissati. Nella tesi DIR, gli effetti del trattamento si sono manifestati negli anni successivi all'intervento con differenze significative per lettiera totale, LAI e trasmittanza. Differenze destinate tuttavia ad attenuarsi o annullarsi a circa 8-10 anni dall'ultimo diradamento. Effetti più marcati si sono invece registrati nel caso del taglio di sementazione anticipato non solo rispetto alla tesi di controllo ma anche alla tesi DIR. Infatti, la tesi TS presenta valori medi di LAI e di trasmittanza pari a 1.97 m²m⁻² e 24.8% contro 4.22 m²m⁻² e 7.89% della tesi DIR. Il taglio di sementazione ha favorito lo sviluppo delle chiome dei soggetti rilasciati, a beneficio della produzione di seme che nella tesi TS rappresenta il 25% della produzione di lettiera totale, valore molto superiore non solo a quello dell'area di controllo ma anche a quanto misurato nell'area DIR (8%). In sintesi, l'opzione del taglio di sementazione anticipato (TS) trova fondamento più su considerazioni collegate alla pianificazione forestale che su motivazioni di ordine ecologico-colturale. Più appropriata ai fini della conversione dei cedui di faggio è risultata l'opzione fondata su diradamenti di moderata-forte intensità e frequenza intorno ai 15 anni (DIR). Il trattamento si prefigura come lo strumento capace di accelerare e orientare il processo di conversione, garantendo nel contempo ricadute positive sia sotto il profilo ecologico che economico.

Parole chiave: *avviamento ad altofusto, diradamenti, taglio di sementazione, LAI, trasmittanza.*

Abstract – Effect of the silvicultural treatment on canopy properties, litter and seed production in beech coppices under conversion to high forest. European beech (*Fagus sylvatica* L.) is widely distributed in Italy where it covers 1035103 ha, mainly concentrated in the mountainous areas at altitudes above 900 m. The major part is represented by high forest often issued from the conversion of coppice woods, which in the past was the silvicultural system most widely applied mainly to provide fire wood. The social changes occurred in the second half of the last century –fire wood market crisis and the increasing importance of environmental issues- enhanced the conversion into high forest of large areas previously managed as coppice by means of different silvicultural treatments and practices. Nevertheless, the environmental benefits of this choice were not adequately investigated. Results of annual measurements (1992-2009) made in a beech coppice stand aged 65 are here reported. The study area is located on the Alpe di Catenaiola, a pre-Appennine outcrop close to Arezzo (Central Italy). Variables strictly related to stand productivity and dynamics such as annual litter and seed production, leaf area index (LAI) and transmittance (PAR) were measured in the research area of Buca Zamponi to estimate the effects of two theses, natural evolution (TEST) and conversion into high forest (DIR). Three thinnings were undertaken in the latter thesis in 1972, 1987 and 2002. Additional theses of natural evolution (CONTR) and advance seed cutting (TS) were added in 2002 in a nearby study area (Eremo della Casella). Results showed the high productivity of coppice stands, under conversion to high forest, with mean values of annual total litter, leaf litter and leaf area index of 5 Mg ha⁻¹, 3 Mg ha⁻¹ and 6 m²m⁻², respectively. These findings confirm both the prompt response of beech to intensive thinning cycles and the reliability of undertaking coppice conversion into high forest. Furthermore, the positive trend observed in the ecological parameters and the high consistency of leaf fraction, highlight the still juvenile phase in progress in these stands. These results will be investigated further because of their significance in stands aged over 60. The applied silviculture produced positive outcomes in all the tested theses. Annual total litter, leaf area index and transmittance showed significant differences comparing DIR and TEST. The gap tends to vanish within 8-10 years after thinning occurrence. Seed cutting (TS) produced on the contrary heavy and lasting differences compared with all the theses. Leaf area index and transmittance were 1.97 m²m⁻² and 24.8 % in TS vs. 4.22 m²m⁻² and 7.89% in DIR. Seed cutting increased also the development of stand canopy and hastened seed production. The amount of seed production in TS was higher than in DIR representing 25% of total litter production. The DIR thesis resulted to be more appropriate for coppice conversion into high forest. Silvicultural practices hasten the conversion process and allow both ecological and economic returns throughout the conversion cycle by the repeated intermediate harvestings that amount to 250-300 m³ha⁻¹ at the age of 60. A 15 yrs time

[§] Andrea Cutini ha impostato e diretto la ricerca e coordinato la stesura del presente lavoro.

¹ CRA-SEL Centro di Ricerca per la Selvicoltura, Arezzo.

* Autore corrispondente andrea.cutini@entecra.it

is recognized as the optimal interval between moderate to heavy thinnings. The complementary thesis of undertaking an advance seed cut (TS) relies more on management planning criteria than on ecologically-based issues.

Key words: coppice conversion into high forest, thinnings, seed cutting, LAI, transmittance.

F.D.C. 53: 232. 311: 176. 1: Fagus sylvatica

Premessa

Il faggio (*Fagus sylvatica* L.) è una delle specie forestali di maggiore interesse a livello europeo. Nel nostro Paese, secondo l'Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio - INFC (2007), occupa 1035103 ha, pari all'11.8% delle superfici boscate (MiPAAF 2007). E' presente nell'arco alpino e prealpino e lungo gli Appennini, con intensità e modalità legate alle esigenze ecologiche della specie (HOFMANN 1991). In Toscana è la specie predominante nelle aree boscate della dorsale appenninica al di sopra dei 900 m di altitudine. In tutto si tratta di 72.262 ha in massima parte di origine agamica, di cui oltre 11.000 ha rappresentati da fustaie transitorie (MiPAAF *op. cit.*), originate per lo più da boschi cedui convertiti ad altofusto tra la fine dell'800 e gli inizi del '900. Tale situazione è comune a molte regioni dell'Italia settentrionale e centrale; al sud, dove il governo a fustaia del faggio ha una tradizione più radicata, si registra una maggiore diffusione dell'altofusto.

Nel complesso ben oltre la metà dei boschi di faggio è, a tutt'oggi, di origine agamica. Ciò è la conseguenza dal fatto che per secoli il legno di faggio ha rappresentato una risorsa fondamentale per l'economia delle popolazioni montane. Negli ultimi decenni la ridotta richiesta di legna da ardere ha determinato una progressiva riduzione delle utilizzazioni o addirittura l'abbandono. Gran parte di questi popolamenti sono attualmente cedui invecchiati e, in minor misura, fustaie transitorie. Quest'ultime sono frutto della scelta, operata a partire dagli anni '60, di convertire ad altofusto i cedui di proprietà pubblica delle zone sommitali dell'Appennino, opzione adottata in base sia a motivazioni di ordine ambientale che economico (AMORINI e FABBIO 1986; CIANCIO 1990; AMORINI e FABBIO 1991; AMORINI *et al.* 1998; CUTINI e HAINY 2006). Tali soprassuoli, oltre che svolgere un'importante funzione idrogeologica (HOLSCHER *et al.* 2001) e paesaggistica, sono caratterizzati in genere da una buona provvigione legnosa (BIANCHI 1981). Inoltre, l'avviamento a fustaia è presupposto per l'instaurarsi di una buona attività biologica del suolo, garanzia di formazione

di un abbondante e strutturato strato umifero, elemento particolarmente importante nelle formazioni vegetazionali del limite altitudinale anche al fine di un regolato deflusso delle acque (AMORINI e GAMBÌ 1979).

Parte di questi soprassuoli sono stati interessati da tagli di avviamento, mentre in alcuni casi il popolamento è stato lasciato all'evoluzione naturale. E se molto si è dibattuto sul se e come procedere alla conversione ad altofusto (HOFMANN 1963; GAMBÌ 1968; AMORINI e GAMBÌ *op. cit.*; BIANCHI e HERMANIN 1988; AMORINI e FABBIO 1991; AMORINI *et al.* 1995; CIANCIO *et al.* 2006) ancora oggi non sono stati sufficientemente indagati gli effetti che la scelta della conversione con le sue varianti, ha su alcuni importanti processi ecologici.

In questo scenario il presente lavoro intende analizzare gli effetti di due diverse opzioni selvicolturali su caratteristiche della copertura, produzione di lettiera e di seme di popolamenti di faggio di origine agamica in avanzata fase di conversione. Infatti, se gli effetti dei principali fattori ambientali e, più in generale, dei cambiamenti climatici sulle variabili sopra richiamate sono stati oggetto di numerosi contributi (MATTEUCCI *et al.* 1999; LEBRET *et al.* 2001; LEBOURGEOIS *et al.* 2005; LEUSCHNER *et al.* 2006; MEIER e LEUSCHNER 2008), risultano invece piuttosto rare le analisi sul ruolo esercitato su di esse dal trattamento selvicolturale, in particolare nei popolamenti di origine agamica.

I soprassuoli oggetto di studio sono stati sottoposti in un caso a taglio di avviamento e due successivi diradamenti e, nell'altro, a taglio di avviamento, diradamento e taglio di sementazione anticipato. Attraverso un'analisi comparata delle modificazioni indotte dalla scelta di conversione e delle sue varianti, vengono analizzate le ricadute sotto il profilo bio-ecologico di tali scelte e valutati alcuni risvolti di carattere gestionale.

Le indagini hanno preso in considerazione alcune variabili come l'indice di area fogliare (LAI), la trasmittanza (radiazione solare non intercettata dalle chiome e trasmessa al suolo, espressa in percentuale di quella incidente sopra il piano delle chiome), la produzione di lettiera totale e per componenti e la produzione di seme. Variabili tra le più comunemente studiate per lo stretto legame con la produttività e dinamica di un

ecosistema forestale e per la loro sensibilità, intesa come capacità di risposta a disturbi di varia natura, compreso il trattamento selvicolturale (BRAY e GORHAM 1964; REICHLER 1981; CANNELL 1982; GHOLZ 1982; WARING 1983; VOGT *et al.* 1986).

L'attenzione per la produzione di seme è motivata da alcune criticità tipiche del faggio, quali il ritardato raggiungimento della maturità e il comportamento irregolare della fruttificazione che in genere caratterizza i popolamenti di origine agamica (SUSZKA *et al.* 2000), elementi che possono condizionare fortemente la rinnovazione naturale e, quindi, l'esito finale del processo di conversione.

Materiale e metodi

I popolamenti oggetto di studio si trovano nell'Alpe di Catenaiola (500-1414 m s.l.m.), complesso forestale esteso circa 2400 ha e costituito, nelle zone a maggiore altitudine, da faggete di origine agamica derivanti da tagli di avviamento ad altofusto. Il comprensorio è in gran parte demanio della Regione Toscana, gestito dalla Comunità Montana del Casentino, ed inserito dal 1996 nell'Oasi di Protezione Faunistica della Provincia di Arezzo (circa 1700 ha). Al suo interno sono presenti due campi sperimentali situati in località Buca Zamponi (Chitignano - AR) ed Eremo della Casella (Chiusi della Verna - AR) e realizzati a partire dagli anni '70 dall'allora Istituto Sperimentale per la Selvicoltura di Arezzo.

La stazione meteorologica di "La Verna", posta ad una altitudine di 1128 m s.l.m., distante 6 km dalle parcelle sperimentali ed inclusa nel Servizio Idrologico Nazionale (Pisa), è caratterizzata da una piovosità annuale di 1224.4 mm (periodo di riferimento 1992-2005) ed una temperatura media annua di 9.5°C (periodo di riferimento 2000-2005). Lo strato geologico è costituito da scisti argillosi alternati a marne ed arenarie fini che danno origine ad un suolo bruno ma non pienamente evoluto.

Campo sperimentale Buca Zamponi

Il protocollo sperimentale permanente è intitolato a "Germano Gambi" ed è stato realizzato al fine di studiare diverse opzioni di conversione ad alto fusto di cedui di faggio; i dati dendrometrici relativi riportati in questo studio sono tratti da Amorini *et al.* (2010), lavoro al quale si rimanda per gli eventuali approfondimenti. L'area (43° 40' N, 11° 55' E) si trova ad un'alti-

tudine di 1000 m s.l.m., ha esposizione Sud-Ovest e una pendenza compresa tra il 15 e il 30 %. Il soprassuolo, all'epoca dell'impianto del protocollo sperimentale (1972), era costituito da un ceduo puro e coetaneo di faggio di 27 anni, caratterizzato da una matricinatura irregolare e da una buona fertilità (altezza dominante 11.2 m); il numero di polloni era 7518 ha⁻¹ con una area basimetrica pari a 27.40 m²ha⁻¹. Nella primavera del 1973 un'area (area 2, cfr. AMORINI *et al.* 2010) è stata sottoposta a taglio di avviamento ad altofusto con diradamento dal basso (DIR) che ha asportato circa il 70% dei polloni presenti e il 37 % dell'area basimetrica, riducendo la densità a 2222 polloni ha⁻¹ e l'area basimetrica a 17.30 m² ha⁻¹; l'altra area (area 1 cfr. AMORINI *et al.* 2010), con funzioni di controllo, è stata lasciata in evoluzione naturale (TEST). Ciascuna area sperimentale ha una superficie di 5000 m².

Successivamente l'area diradata è stata interessata da due tagli intercalari effettuati nel 1987 (a 42 anni) e nel 2002 (a 57 anni), entrambi di tipo selettivo e di moderata-forte intensità. In particolare, l'intervento del 1987 ha asportato il 66% del numero di polloni presenti, pari al 44% dell'area basimetrica, riducendo la densità a 706 polloni ha⁻¹ e l'area basimetrica a 19.7 m²ha⁻¹; l'entità del diradamento del 2002 è stata invece del 41% in numero di polloni, corrispondente al 29% dell'area basimetrica, riducendo la densità a 414 polloni ha⁻¹ e l'area basimetrica a 23.8 m²ha⁻¹. Per maggiori dettagli sul protocollo sperimentale, le caratteristiche dei popolamenti e gli effetti sotto il profilo selvicolturale si rimanda a AMORINI e FABBIO (1986) e AMORINI *et al.* (2010).

Campo sperimentale Eremo della Casella

Il campo sperimentale (43° 39' N, 11° 55' E) si trova ad una altitudine di 1000 m s.l.m. ed è costituito da un soprassuolo transitorio di faggio di circa 65 anni, originato da un taglio di avviamento e da un successivo diradamento. Le indagini hanno preso avvio nel 2002 allorché furono realizzate due aree permanenti, di cui una di 2600 m² lasciata come area di controllo (CON-TR) e l'altra di 10000 m² sottoposta a taglio di semenzatura anticipato (TS). La prima area si caratterizzava per la presenza di 419 individui ha⁻¹, di cui 288 polloni e 131 matricine, per un'area basimetrica complessiva di 34.6 m²ha⁻¹; l'area trattata invece presentava 519 individui ha⁻¹, di cui 391 polloni e 123 matricine, per un'area basimetrica complessiva di 33.3 m² ha⁻¹. L'intervento, che ha asportato il 79% del numero di alberi

pari al 56% dell'area basimetrica totale, riducendo la densità a 108 individui (61 polloni e 47 matricine), per un'area basimetrica complessiva di 14.7 m² ha⁻¹, aveva l'obiettivo di rilasciare i soggetti migliori con buon portamento e forma della chioma, eliminando i principali competitori, ivi comprese numerose vecchie matricine con chiome molto sviluppate e eccessivamente ramosi (CUTINI *et al.* 2007).

Metodi

In entrambi i campi sperimentali sono state effettuate indagini su produzione annuale di lettiera e di seme, LAI e trasmittanza.

La stima della produzione annuale di lettiera e del seme è stata effettuata posizionando, in ogni area di studio, con criterio sistematico-geometrico, da 9 a 15 trappole di metallo, quadrate e di 0.25 m² di superficie, all'altezza di 1 m dal suolo. Il materiale, raccolto mensilmente durante il periodo autunnale, è stato portato in laboratorio dove si è proceduto alla suddivisione nelle varie componenti (foglie di faggio, foglie di altre specie accessorie, rami, faggioline, cupole e altro) ed alla determinazione della biomassa anidra (CUTINI 1994a). Con riferimento alla componente legnosa, si sottolinea che tale metodo non permette di stimare il contributo dei rami di maggiori dimensioni. Per le aree di Buca Zamponi sono disponibili dati a partire dal 1992, mentre per l'Eremo della Casella dal 2003.

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 *et al.* 1998; CUTINI *et al.* 2003; CUTINI e VARALLO 2006). I rilievi, condotti nel periodo giugno-settembre con frequenza mensile, sono stati effettuati 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 eliminando l'anello zenitale più esterno (58°), in analogia con quanto proposto da altri autori (DUFRENE e BREDÀ 1995; CUTINI *et al.* 1998). La serie di dati ottenuti è stata infine mediata per ogni singolo anno. I dati sono disponibili a partire dal 1999 per le aree di Buca Zamponi e dal 2003 per quelle dell'Eremo della Casella.

Con procedure analoghe a quelle descritte per le stime di LAI sono state effettuate anche misurazioni di radiazione fotosinteticamente attiva (PAR) secondo metodi già ampiamente sperimentati (CUTINI 1994b; CUTINI 1996). Per le misure di PAR sono stati utilizzati

ceptometri di vario tipo (Sunfleck SF 80, AccuPAR model PAR-80 e LP-80 -Decagon Devices Inc., Pullman, WA, USA). I valori di trasmittanza sono stati ottenuti mettendo in relazione le misure effettuate sottocopertura nelle varie tesi, con quelle di riferimento fatte in aree prive di copertura. I valori di trasmittanza sono disponibili a partire dal 1992 per le aree di Buca Zamponi e dal 2003 quelle dell'Eremo della Casella.

I dati raccolti sono stati sottoposti al test *t* di Student per campioni indipendenti utilizzando il software Statistica (StatSoft, Inc. Tulsa, OK, USA). Per l'area di Buca Zamponi il test *t* è stato effettuato non solo sull'intera serie temporale ma anche considerando separatamente il periodo prima dell'ultimo intervento di diradamento e quello successivo.

Risultati

Campo sperimentale Buca Zamponi

I valori annuali e le relative statistiche di base di produzione di lettiera totale e per singole componenti, di LAI e di trasmittanza dell'area trattata (DIR) e dell'area in evoluzione naturale (TEST) sono riportati in Tabella 1.

L'area DIR presenta valori di lettiera totale che variano da un minimo di 2.619 ad un massimo di 5.762 Mg ha⁻¹, mentre la lettiera fogliare di faggio va da un minimo di 1.747 ad un massimo di 4.555 Mg ha⁻¹. La produzione di seme registra annate con fruttificazione nulla e annate di pasciona (1994, 2007) con una produzione massima di 0.335 Mg ha⁻¹. La produzione media di seme per l'intero periodo è risultata pari a 0.086 ± 0.024 Mg ha⁻¹.

Nell'area TEST i valori di lettiera totale oscillano tra 3.757 e 6.373 Mg ha⁻¹; la componente fogliare, riferita al solo faggio, varia da 2.534 a 4.069 Mg ha⁻¹. Anche in questo caso si registrano annate con fruttificazione nulla e annate di pasciona (1994, 2002, 2007) con una produzione massima di 0.329 Mg ha⁻¹. La produzione media di seme per l'intero periodo è stata di 0.117 ± 0.026 Mg ha⁻¹.

Nel complesso l'area in evoluzione naturale presenta una serie di dati caratterizzata da minore variabilità, come stanno ad indicare i valori del CV (Tabella 1). I valori medi di produzione di lettiera sono in genere superiori a quelli dell'area trattata. Dal confronto statistico su tutto il periodo di osservazione emergono differenze significative per la variabile lettiera totale, la quale presenta valori medi nell'area TEST di 5.207

$\pm 0.185 \text{ Mg ha}^{-1}$ contro $4.276 \pm 0.208 \text{ Mg ha}^{-1}$ dell'area DIR (Tabella 1). Ciò è per lo più dovuto alle foglie delle specie accessorie e alla componente rami, variabili per le quali si osservano differenze significative. Le foglie

Tab. 1 - Buca Zamponi: produzione annuale di lettiera totale e per componenti, valori di LAI e di trasmittanza e statistiche di base relative all'intero periodo di osservazione (1992-2009), e ai periodi prima e dopo il diradamento (anno 2002).

Buca Zamponi: total and main components of litter production, leaf area index (LAI, transmittance and basic statistics for the whole observation period (1992-2009) and for the period before and after the last thinning (2002).

anno	tesi	foglie faggio Mg ha ⁻¹	foglie acces Mg ha ⁻¹	rami Mg ha ⁻¹	faggiolo Mg ha ⁻¹	cupole Mg ha ⁻¹	altro Mg ha ⁻¹	totale Mg ha ⁻¹	LAI m ² m ⁻²	trasm %
1992	TEST	3.335	0.429	1.170	0.097	0.230	0.054	5.315		2.96
	DIR	3.100	0.032	0.596	0.081	0.243	0.011	4.063		5.37
1993	TEST	3.214	0.395	1.159	0.001	0.037	0.052	4.858		0.71
	DIR	2.652	0.031	0.636	0.001	0.013	0.013	3.346		2.23
1994	TEST	3.276	0.479	1.103	0.250	0.690	0.034	5.832		0.73
	DIR	3.157	0.119	0.827	0.299	0.714	0.019	5.135		1.41
1995	TEST	2.871	0.315	0.841	0.012	0.093	0.000	4.132		1.75
	DIR	2.975	0.022	0.525	0.010	0.069	0.000	3.602		5.17
1996	TEST	3.362	0.440	1.221	0.104	0.010	0.025	5.163		0.76
	DIR	4.440	0.035	0.693	0.003	0.018	0.003	5.192		2.16
1997	TEST	2.657	0.395	0.733	0.030	0.034	0.431	4.279		0.65
	DIR	2.579	0.033	0.301	0.000	0.000	0.264	3.178		1.26
1998	TEST	3.505	0.387	0.365	0.100	0.274	0.002	4.634		0.30
	DIR	3.166	0.068	0.152	0.055	0.130	0.000	3.572		0.98
1999	TEST	3.822	0.414	1.020	0.155	0.358	0.087	5.856	6.92	0.87
	DIR	3.695	0.182	0.400	0.209	0.528	0.000	5.015	6.70	0.39
2000	TEST	3.840	0.439	0.531	0.001	0.023	0.037	4.871	5.35	0.50
	DIR	3.682	0.032	0.510	0.000	0.002	0.000	4.226	4.74	0.69
2001	TEST	3.425	0.192	0.777	0.259	0.619	0.096	5.368	5.39	1.16
	DIR	4.555	0.154	0.546	0.137	0.370	0.000	5.762	5.23	0.67
2002	TEST	3.317	0.430	1.640	0.329	0.535	0.122	6.373	5.99	0.43
	DIR	2.751	0.015	1.671	0.134	0.485	0.000	5.056	5.66	0.66
2003	TEST	3.686	0.478	0.790	0.049	0.312	0.010	5.325	5.68	1.34
	DIR	2.737	0.042	1.298	0.013	0.072	0.002	4.164	4.13	12.81
2004	TEST	2.534	0.226	0.338	0.136	0.474	0.050	3.757	4.52	2.34
	DIR	1.747	0.142	0.232	0.093	0.405	0.000	2.619	2.33	16.74
2005	TEST	3.479	0.027	1.548	0.037	0.202	0.481	5.774	6.42	1.82
	DIR	3.616	0.266	1.364	0.020	0.140	0.088	5.495	3.63	11.49
2006	TEST	4.069	0.334	0.278	0.005	0.073	0.036	4.796	6.37	1.17
	DIR	3.125	0.038	0.097	0.011	0.054	0.088	3.413	4.40	7.33
2007	TEST	3.470	0.497	1.476	0.312	0.850	0.025	6.631	5.90	1.54
	DIR	3.136	0.022	0.145	0.335	0.880	0.000	4.518	5.07	8.11
2008	TEST	3.743	0.376	0.484	0.017	0.072	0.000	4.692	6.67	1.79
	DIR	3.690	0.053	0.183	0.032	0.072	0.000	4.030	5.24	4.36
2009	TEST	3.750	0.543	0.719	0.205	0.525	0.322	6.064	6.22	0.55
	DIR	3.497	0.010	0.607	0.116	0.331	0.012	4.573	4.71	1.63
media	TEST	3.409	0.378	0.900	0.117	0.301	0.104	5.207	5.95	1.19
	DIR	3.239	0.072	0.599	0.086	0.251	0.028	4.276	4.71	4.64
es	TEST	0.096	0.029	0.099	0.026	0.062	0.035	0.185	0.22	0.17
	DIR	0.158	0.017	0.105	0.024	0.062	0.015	0.208	0.36	1.15
CV	TEST	11.9	33.0	46.6	95.4	86.8	143.0	15.0	11.6	61.1
	DIR	20.7	98.7	74.6	120.3	105.0	234.5	20.6	24.0	104.8
test t	val.	0.92	9.04	2.08	0.85	0.56	1.98	3.35	3.09	-2.97
	p.	ns	***	*	ns	ns	ns	**	**	**
media prima diradamento	TEST	3.331	0.389	0.892	0.101	0.237	0.082	5.031	5.91	0.98
	DIR	3.400	0.071	0.519	0.080	0.209	0.031	4.309	5.58	1.91
es	TEST	0.336	0.044	0.122	0.030	0.079	0.039	0.511	0.42	0.24
	DIR	0.384	0.019	0.077	0.032	0.078	0.025	0.493	0.48	0.56
CV	TEST	11.1	21.0	32.7	95.2	105.9	154.9	11.7	12.4	77.7
	DIR	20.1	83.3	37.6	131.5	120.7	265.0	21.0	14.9	92.6
test t	val.	-0.29	9.99	3.36	0.47	0.28	7.06	2.11	0.59	-1.59
	p.	ns	***	*	ns	ns	ns	*	ns	ns
media dopo diradamento	TEST	3.506	0.364	0.909	0.136	0.380	0.131	5.427	5.97	1.51
	DIR	3.037	0.074	0.700	0.094	0.305	0.024	4.234	4.22	8.92
es	TEST	0.161	0.060	0.199	0.047	0.095	0.062	0.344	0.29	0.21
	DIR	0.225	0.031	0.228	0.038	0.101	0.014	0.322	0.41	1.95
CV	TEST	13.0	46.5	61.9	96.8	70.3	134.9	17.9	12.1	37.6
	DIR	20.9	120.1	92.1	115.5	93.8	167.8	21.5	23.6	57.9
test t	val.	0.92	6.69	0.93	0.73	0.60	1.75	2.89	3.76	-3.77
	p.	ns	***	ns	ns	ns	ns	*	**	**

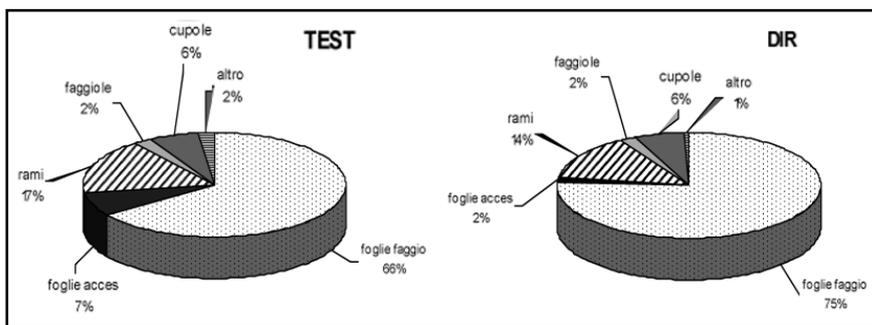


Fig. 1 - Buca Zamponi: confronto tra le due tesi relativamente alla ripartizione della lettiera nelle principali componenti. Valori percentuali riferiti alla media del periodo 1992-2009.
Buca Zamponi: comparison of litter composition between the two theses. Mean percentage values referred to the period 1992-2009.

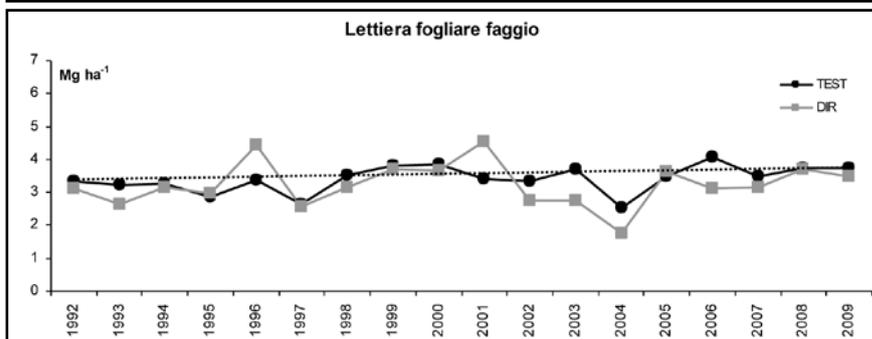


Fig. 2 - Buca Zamponi: andamento della produzione annuale di lettiera di faggio nelle due tesi (TEST e DIR). La linea di tendenza è riferita alla tesi TEST.
Buca Zamponi: comparison between beech leaf litter production in the TEST and DIR plots. The trendline is referred to TEST plot.

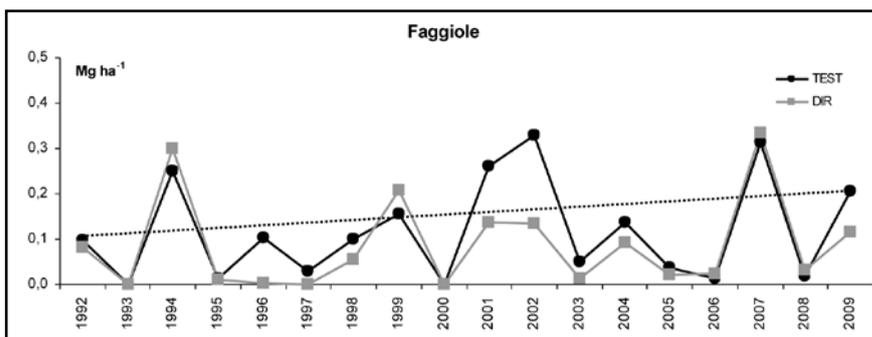


Fig. 3 - Buca Zamponi: andamento della produzione annuale di seme di faggio nelle due tesi (TEST e DIR). La linea di tendenza è riferita alla tesi TEST.
Buca Zamponi: comparison between beech seed production in the TEST and DIR plots. The trendline is referred to TEST plot.

di faggio invece presentano valori medi molto simili nelle due tesi (TEST $3.409 \pm 0.096 \text{ Mg ha}^{-1}$; DIR $3.239 \pm 0.158 \text{ Mg ha}^{-1}$). Analoghi risultati si registrano anche per i due periodi, quello prima (1992-2001) e quello dopo (2002-2009) l'ultimo intervento di diradamento.

L'analisi comparata della ripartizione percentuale della lettiera mette in evidenza alcune differenze: quelle più rilevanti sono relative alle foglie di faggio e ai rami che rappresentano il 75% e il 14% della lettiera totale nell'area DIR, contro il 66% e il 17% nell'area TEST (Figura 1). In compenso nell'area TEST si registra una maggiore incidenza delle foglie delle specie accessorie. Nel complesso l'equilibrio tra i tre principali macro aggregati - foglie, rami e frutti - non risulta alterato, con valori che in entrambe le tesi si attestano rispettivamente intorno al 75, 14-17 e 8%.

Del resto anche l'analisi delle serie storiche dei valori di produzione di lettiera fogliare di faggio non mette in evidenza discrepanze rilevanti (Figura 2).

L'andamento delle spezzate è sostanzialmente coincidente, fatti salvi gli effetti dell'ultimo diradamento che, a partire dal 2002, determinano una riduzione dei valori nell'area DIR. Tale riduzione permane anche nel 2003 e 2004 - annate caratterizzate da estremi siccitosi - mentre dal 2005 si osserva un significativo recupero. Da registrare il trend positivo della produzione di lettiera fogliare in funzione dell'età del popolamento (Figura 2), fenomeno che caratterizza anche la produzione di lettiera totale (Tabella 1).

Anche le serie storiche relative alla produzione di seme hanno un andamento sostanzialmente analogo, con valori spesso coincidenti tra le due tesi e con un trend positivo in funzione dell'età del popolamento (Figura 3). Le coincidenze si verificano sia nelle annate di produzione pressoché nulla (8 su 18 anni di osservazione), sia in quelle di piena pasciona (3 annate). E' interessante osservare come alla forte siccità registrata nel 2003 faccia seguito una annata di

mezza-pasciona, a conferma della probabile relazione esistente tra fruttificazione e aridità.

Per quanto riguarda le stime di LAI si osservano valori compresi tra 2.33 e 6.70 m^2m^{-2} (media $4.71 \pm 0.36 m^2m^{-2}$) per l'area DIR e tra 4.52 e 6.92 m^2m^{-2} (media $5.95 m^2m^{-2} \pm 0.22 m^2m^{-2}$) per l'area TEST (Tabella 1). Le differenze tra le due tesi, anche in questo caso con valori superiori per l'area TEST, sono risultate molto significative ($p < 0.01$) sia in riferimento a tutto il periodo di osservazione (1999-2009), sia in seguito al diradamento (2003-2009). Nel periodo antecedente l'ultimo intervento (1999-2002) non si evidenziano differenze significative (Tabella 1).

Dall'analisi comparata delle serie storiche relative ai valori di LAI si può evincere come a partire da un primo periodo caratterizzato da valori sostanzialmente coincidenti tra le due tesi (1999-2002) si passi a una fase in cui si manifestano gli effetti del diradamento (2003-2004); successivamente, si registra un progressivo recupero nell'area DIR rispetto all'area TEST (Figura 4).

Come atteso, l'area DIR è caratterizzata da una maggiore presenza di radiazione al suolo rispetto all'area TEST (Tabella 1). Il confronto statistico ha evidenziato differenze molto significative ($p < 0.01$)

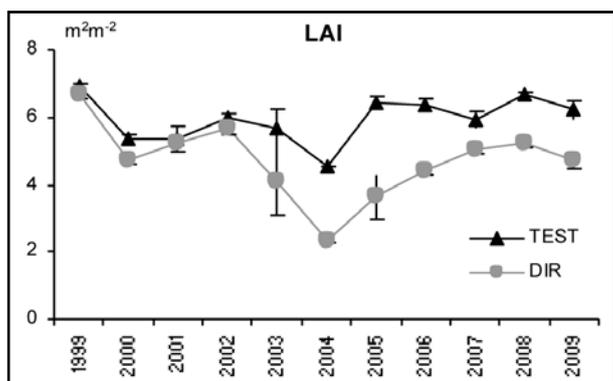


Fig. 4 - Buca Zamponi: andamento dei valori medi (\pm es) di LAI nelle due tesi (TEST e DIR).
Buca Zamponi: comparison between mean (\pm se) LAI values in the TEST and DIR plots.

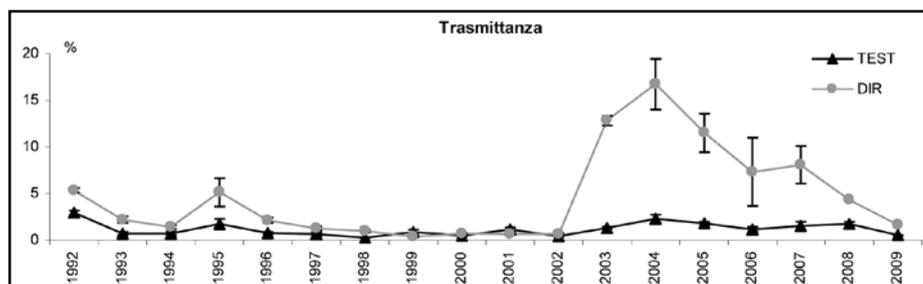


Fig. 5 - Buca Zamponi: andamento dei valori medi (\pm se) di trasmissanza nelle due tesi (TEST e DIR).
Buca Zamponi: comparison of mean (\pm se) transmittance values in the TEST and DIR plots.

con valori medi di 4.64 ± 1.15 % per l'area DIR e di 1.19 ± 0.17 % per l'area TEST. Anche in questo caso, differenze significative sono state osservate per il periodo successivo all'ultimo intervento (2003-2009) ma non per quello antecedente.

L'analisi comparata delle serie storiche relative ai valori di trasmittanza ha un andamento analogo e opposto rispetto a quello del LAI. Ad un primo periodo (1992-2002) caratterizzato da valori di trasmittanza ridotti e sostanzialmente coincidenti tra le due tesi, segue (2003-2004) un forte innalzamento dei valori di trasmittanza nell'area DIR in conseguenza dell'intervento di diradamento (Figura 5). A partire dal 2005 si registra una progressiva riduzione dei valori di trasmittanza che, nel 2009, tornano ad essere sostanzialmente coincidenti tra le due tesi.

Campo sperimentale Eremo della Casella

I valori annuali e le relative statistiche di base di produzione di lettiera totale e per singole componenti, di LAI e di trasmittanza dell'area sottoposta a taglio di sementazione (TS) e dell'area di controllo (CONTR) sono riportati in Tabella 2.

L'area TS presenta valori di lettiera totale che variano da un minimo di 1.377 ad un massimo di 5.901 $Mg ha^{-1}$, mentre la lettiera fogliare di faggio va da un minimo di 0.990 ad un massimo di 2.707 $Mg ha^{-1}$. La produzione di seme registra annate con fruttificazione nulla (2003, 2005, 2008) e annate di pasciona (2004, 2007, 2009) con una produzione massima di 0.841 $Mg ha^{-1}$. La produzione media di seme del periodo è di $0.259 \pm 0.129 Mg ha^{-1}$.

Nell'area CONTR i valori di lettiera totale oscillano tra 4.189 e 6.872 $Mg ha^{-1}$, mentre la lettiera fogliare di faggio va da un minimo di 3.350 ad un massimo di 4.245 $Mg ha^{-1}$. Anche in questo caso si osservano annate con fruttificazione nulla (2003, 2005, 2008) e annate di pasciona (2004, 2007, 2009) con una produzione massima di 0.590 $Mg ha^{-1}$. La produzione media di seme del periodo è di $0.118 \pm 0.087 Mg ha^{-1}$.

Nel complesso l'area di controllo presenta valori

Tab. 2 - Eremo della Casella: produzione annuale di lettiera totale e per componenti, valori di LAI e di trasmittanza e statistiche di base.
 Eremo della Casella: total and main components of litter production, leaf area index (LAI), transmittance and basic statistics.

anno	tesi	foglie faggio Mg ha ⁻¹	foglie acces Mg ha ⁻¹	rami Mg ha ⁻¹	faggiolo Mg ha ⁻¹	cupole Mg ha ⁻¹	altro Mg ha ⁻¹	totale Mg ha ⁻¹	LAI m ² m ⁻²	trasm %
2003	TS	0.990	0.089	0.203	0.010	0.067	0.018	1.377	1.11	40.99
	CONTR	4.245	0.087	0.383	0.014	0.051	0.003	4.782	5.16	2.60
2004	TS	2.441	0.218	0.265	0.446	1.219	0.299	4.889	1.47	34.64
	CONTR	3.822	0.081	1.760	0.074	0.342	0.638	6.717	4.70	1.82
2005	TS	2.349	0.124	0.140	0.011	0.141	0.105	2.870	1.73	18.36
	CONTR	3.568	0.074	0.453	0.000	0.004	0.090	4.189	6.29	1.04
2006	TS	2.238	0.170	0.487	0.064	0.285	0.407	3.650	2.08	24.15
	CONTR	3.553	0.160	0.759	0.010	0.054	0.588	5.124	6.43	1.35
2007	TS	2.192	0.210	0.443	0.396	0.888	0.264	4.392	2.35	19.85
	CONTR	3.666	0.160	1.318	0.131	0.413	0.306	5.995	6.62	0.85
2008	TS	2.707	0.174	0.137	0.043	0.198	0.139	3.397	2.40	15.56
	CONTR	3.822	0.067	0.745	0.010	0.058	0.158	4.861	6.41	0.70
2009	TS	2.633	0.181	0.243	0.841	1.688	0.315	5.901	2.62	20.06
	CONTR	3.350	0.102	0.971	0.590	1.185	0.674	6.872	6.43	0.77
media	TS	2.221	0.167	0.274	0.259	0.641	0.159	3.782	1.97	24.80
	CONTR	3.718	0.105	0.913	0.118	0.301	0.269	5.506	6.01	1.30
es	TS	0.235	0.019	0.057	0.129	0.258	0.053	0.598	0.22	3.85
	CONTR	0.116	0.016	0.199	0.087	0.172	0.095	0.421	0.31	0.28
CV	TS	25.9	27.6	50.9	122.4	98.6	62.0	38.7	27.9	38.0
	CONTR	7.7	37.7	53.5	180.0	140.0	79.9	18.7	12.5	53.1
test t	val	-6.17	2.72	-3.33	0.97	1.18	1.10	-2.54	11.46	-6.58
	p	***	*	**	ns	ns	ns	*	***	**

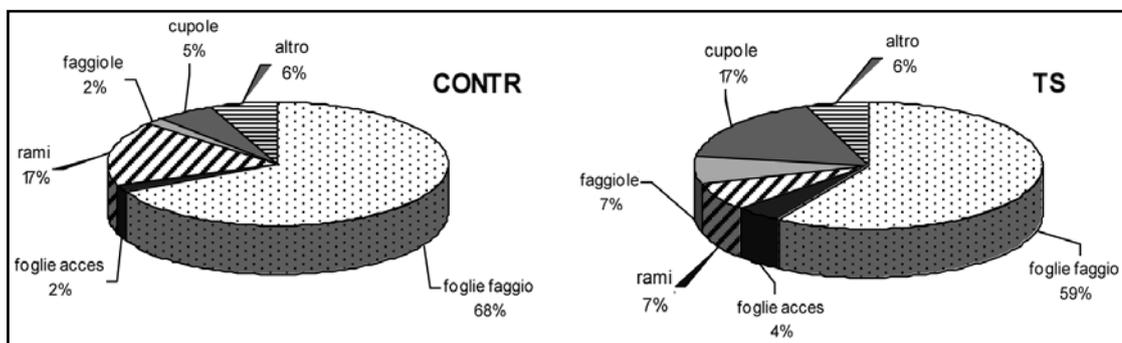


Fig. 6 - Eremo della Casella: confronto tra le due tesi relativamente alla ripartizione della lettiera nelle principali componenti.
 Eremo della Casella: comparison of litter composition between the two theses.

medi superiori a quelli dell'area sottoposta a taglio di sementazione, fatte salve le categorie foglie delle specie accessorie e, dato rilevante, faggiolo e cupole che presentano valori medi nell'area TS più che doppi rispetto all'area CONTR. Dai confronti statistici emergono differenze significative ($p < 0.05$) per le componenti lettiera totale e foglie delle specie accessorie, molto significative ($p < 0.01$) per i rami, e altamente significative ($p < 0.001$) per le foglie di faggio (Tabella 2).

Dall'analisi della composizione percentuale della lettiera si nota in maniera inequivocabile l'influenza del trattamento sulla rilevanza delle varie componenti (Figura 6). Nell'area TS faggiolo e cupole rappresentano circa un quarto della lettiera totale, rispetto al 7% dell'area CONTR. All'opposto, nell'area CONTR hanno maggior peso le componenti foglie e rami che costituiscono rispettivamente il 70% e il 17% della lettiera totale, valori che scendono a 63% e 7% nell'area TS.

Il confronto tra le serie storiche relative alla produzione annuale di seme consente di apprezzare

le coincidenze sia per quanto riguarda le annate di produzione scarsa o nulla, sia per quelle di pasciona (Figura 7). Anche in questo caso, così come osservato a Buca Zamponi, all'annata di aridità del 2003 fa seguito

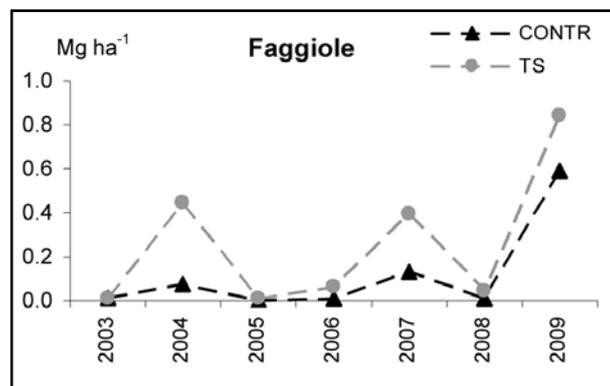


Fig. 7 - Eremo della Casella: andamento della produzione annuale di seme di faggio nelle due tesi (TS e CONTR). La linea di tendenza è riferita alla tesi CONTR.
 Eremo della Casella: comparison between beech seed production in the CONTR and TS plots. The trendline is referred to CONTR plot.

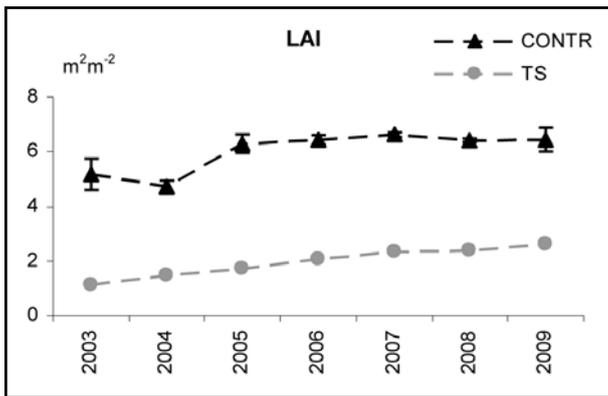


Fig. 8 - Eremo della Casella: andamento dei valori medi (\pm es) di LAI nelle due tesi (CONTR e TS).

Eremo della Casella: comparison between mean (\pm se) LAI values in the CONTR and TS plots.

una annata di elevata produzione di faggiola. Seppure il test t non abbia evidenziato differenze significative, dall'analisi delle spezzate emerge come il trattamento determini valori superiori di produzione di seme, in particolare nelle annate di pasciona.

Anche in questo caso l'analisi delle serie storiche di LAI consente di apprezzare l'effetto del trattamento (Figura 8). L'entità del taglio di sementazione determina una brusca caduta del LAI che nell'area TS nel 2003 presenta valori pari a circa un quinto rispetto a quelli dell'area CONTR. Successivamente si osserva un progressivo recupero del popolamento trattato. Nel complesso le differenze di LAI tra le due tesi sono altamente significative ($p < 0.001$) con valori medi di $6.01 \pm 0.31 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ per l'area CONTR e di $1.97 \pm 0.22 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ per l'area TS (Tabella 2).

Come per il protocollo di Buca Zamponi, anche in questo caso si osserva un andamento analogo e opposto delle serie storiche dei valori di trasmittanza rispetto a quello del LAI. L'entità del taglio di sementazione è confermata dalla elevata quantità di luce trasmessa a terra - valore medio del periodo nell'area TS di $24.80 \pm 3.85 \%$ contro $1.30 \pm 0.28 \%$ dell'area CONTR - con differenze statisticamente significative (Tabella 2). A conforto di quanto osservato per i valori di LAI, anche l'analisi delle serie storiche dei valori di trasmittanza evidenzia un progressivo recupero della copertura dell'area TS, che da valori intorno al 40% nel 2003 passa a valori intorno al 20% a fine periodo di osservazione (Figura 9).

Discussione

La concomitante disponibilità di risultati relativi

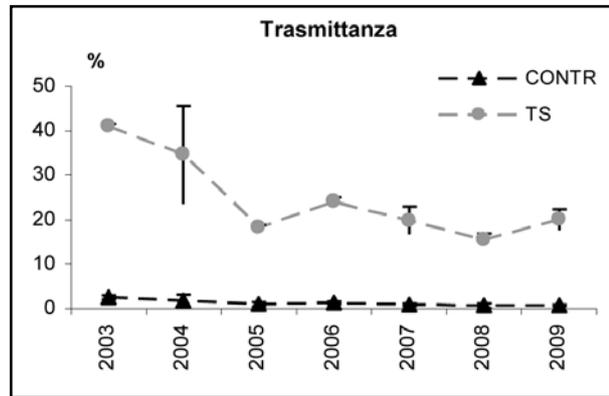


Fig. 9 - Eremo della Casella: andamento dei valori medi (\pm se) di trasmittanza nelle due tesi (CONTR e TS).

Eremo della Casella: comparison of mean (\pm se) transmittance values in the CONTR and TS plots.

ad una pluralità di variabili ecologiche strettamente correlate alla produttività, al funzionamento e alla dinamica di un soprassuolo (GHOLZ *op. cit.*; WARING *op. cit.*; BOLSTAD e GOWER 1990; CHASON *et al.* 1991; CUTINI 2002; DOBBERTIN *et al.* 2000; LEUSCHNER *et al. op. cit.*) e, cosa ancor più rara, di un periodo di osservazione molto lungo (1992-2009), consente di svolgere un'analisi articolata e approfondita degli effetti che la scelta della conversione, con le sue varianti, ha sui soprassuoli di faggio di origine agamica. Peraltro, fatte salve alcune componenti che intrinsecamente sono soggette a una maggiore aleatorietà quali semi e rami, i coefficienti di variazione delle variabili di maggiore peso quali foglie di faggio, 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. op. cit.*) 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 2002).

I risultati relativi alle tesi di controllo evidenziano l'elevata produttività dei popolamenti esaminati, nonché l'assenza di sostanziali differenze tra i due campi sperimentali. Gli scostamenti tra i valori medi di lettiera fogliare, lettiera totale e LAI sono inferiori al 10%, confermando la sostanziale omogeneità tra i due popolamenti, peraltro avvalorata anche dai riscontri di carattere dendrometrico (CUTINI *et al.* 2007; AMORINI *et al.* 2010). Ciò costituisce la necessaria premessa per confronti non solo con le rispettive aree di controllo ma anche tra le due tesi di trattamento.

I valori di produzione di lettiera totale e fogliare - maggiori rispettivamente di 5 Mg ha^{-1} e 3 Mg ha^{-1} - sono al di sopra di quanto riportato in letteratura per le

foreste temperate (BRAY e GORHAM *op. cit.*; O'NEIL e DE ANGELIS 1981; CANNELL *op. cit.*). Analoga considerazione può essere fatta per il LAI (CANNELL *op. cit.*; SCURLOCH *et al.* 2001). Peraltro, va sottolineato che i valori medi osservati ($6 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$), essendo stati ottenuti tramite LAI-2000, rappresentano, con buona probabilità, una sottostima di quelli reali (CUTINI *et al.* 1998).

La produttività dei popolamenti di faggio dell'Alpe di Catenaiia può essere meglio apprezzata anche dal confronto con altre faggete italiane ed europee. I valori medi di produzione di lettiera riscontrati sono superiori a quelli riportati per faggete di 90-115 anni dell'Appennino pistoiese (GREGORI e MICLAUS 1985) e a quelli medi di faggete italiane inserite nel programma UE di monitoraggio intensivo delle foreste CONECO-FOR (CUTINI 2002). Dall'analisi dei risultati le faggete dell'Alpe di Catenaiia sono più assimilabili a quelle mediterranee montane (Calabria e Foresta Umbra), che non a quelle dell'Italia settentrionale e centrale (CUTINI 2002). I valori sono inoltre superiori a quelli riportati da MATTEUCCI *et al.* (*op. cit.*) per varie faggete europee di età compresa tra 47 e 200 anni, a quelli di cedui di faggio del sud-est dell'Inghilterra (ANDERSON 1973) e di faggete oceaniche della Bretagna di 83-147 anni (LEBRET *et al. op. cit.*). D'altra parte i valori di LAI, pur elevati rispetto ad altri popolamenti europei, sono risultati inferiori a quelli medi riscontrati in uno studio condotto su 23 faggete della Germania settentrionale (LEUSCHNER *et al. op. cit.*).

Quanto emerso, oltre che contribuire ad un corretto inquadramento di queste faggete, consente di affermare che i popolamenti oggetto di studio sono stati in grado di recuperare pienamente sotto il profilo della produttività e della funzionalità, nonostante lo sfruttamento intensivo cui sono stati sottoposti fino a qualche decennio fa (AMORINI e FABBIO 1986; CUTINI 1999). Ciò peraltro conferma la bontà della scelta, a suo tempo operata sulla base degli elementi allora disponibili, di avviare questi popolamenti ad altofusto (AMORINI e GAMBÌ *op. cit.*).

L'analisi della composizione percentuale della lettiera, riferita alle aree di controllo, consente di affermare che quelli oggetto di studio sono popolamenti che, seppure caratterizzati da fertilità elevata, sono ancora lontani dallo stadio di maturità. Le percentuali di lettiera fogliare osservate (65-70%), pur inferiori a quelle di altri popolamenti (ANDERSON *op. cit.*; GREGORI e MICLAUS *op. cit.*; LEBRET *et al. op. cit.*; CUTINI 2002), sono ancora lontane dai valori indicativi di foreste

mature (KIRA e SHIDEI 1967).

Il lungo periodo di osservazione ha consentito di apprezzare le variazioni della produzione di lettiera e di LAI in funzione dell'età del popolamento. Elemento degno di nota è il trend in crescita della lettiera fogliare e totale e del LAI. Infatti, studi su popolamenti di latifoglie di età superiore ai 40 anni mostrano, al contrario, valori di lettiera e di LAI stabili o tendenti a una leggera diminuzione (RAUNER 1976; JARVIS e LEVERENZ 1983). Tale risultato potrebbe essere ascrivibile ad un effetto positivo generato dall'aumento della concentrazione della CO_2 atmosferica, come riscontrato in altri studi sulla produttività e l'accrescimento delle foreste temperate europee (HASENAUER *et al.* 1999; PACHAURI *et al.* 2007; LINDNER *et al.* 2010). Tuttavia, data la notevole complessità del fenomeno e le relazioni con le variabili ambientali, sono necessari ulteriori approfondimenti.

Anche per la produzione di seme si osserva in generale un trend positivo in funzione dell'età, come peraltro riportato anche da altri Autori (LEBRET *et al. op. cit.*; GENET *et al.* 2009). E' noto che il faggio raggiunge tardi la piena fruttificazione, alternando annate con produzione scarsa o addirittura nulla ad annate di pasciona, in genere con frequenza irregolare (SUSZKA *et al. op. cit.*). Ciò nondimeno, i risultati ottenuti evidenziano come già tra 50 e 60 anni si possano registrare annate di pasciona o di buona produzione di seme, in linea con quanto osservato anche in altri studi (OSWALD 1984; GENET *et al. op. cit.*). La ciclicità della produzione di seme, seppure presente, mostra una certa plasticità con annate di pasciona che si susseguono ad intervalli di 3-5 anni. In corrispondenza di queste annate cresce il contributo in termini percentuali delle componenti riproduttive (PIOVESAN e BERNABEI 1997). Tuttavia il maggiore investimento nella produzione di seme non va a discapito delle altre componenti. Ne consegue che, in concomitanza con le annate di pasciona, si registrino anche picchi di produzione di lettiera totale. Salvi gli opportuni approfondimenti, data anche la complessità dei fenomeni e l'intreccio con le variabili ambientali, dai risultati emerge che il bilanciamento avvenga piuttosto l'anno successivo a quello della pasciona, allorché si registrano una produzione di seme scarsa o nulla e, soprattutto, valori di produzione di lettiera totale inferiori alla media.

Per quanto riguarda gli effetti del trattamento sulle caratteristiche dei soprassuoli, il diradamento effettuato in località Buca Zamponi nel 2002 ha rappresentato il terzo intervento in ordine cronologico

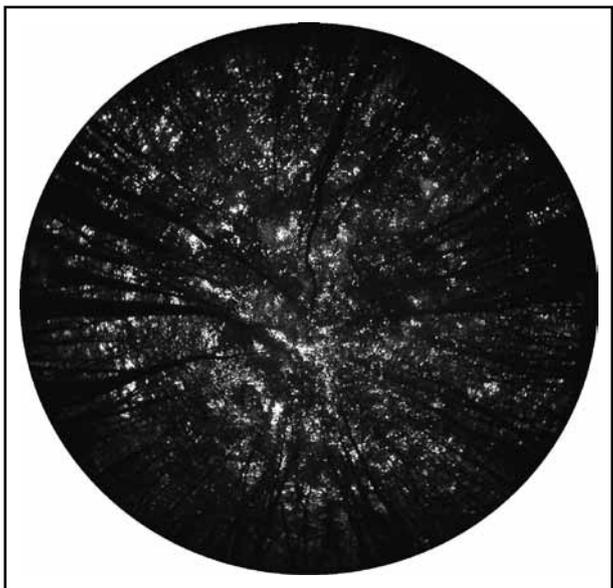


Foto 1 - Buca Zamponi: immagine emisferica dell'area a ceduo in evoluzione naturale (TEST) - anno 2010.

Buca Zamponi: hemispherical image of coppice stand under natural evolution (TEST) - 2010.

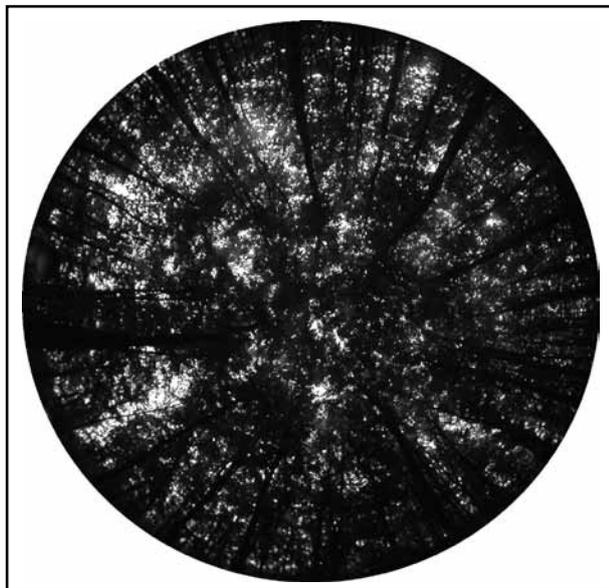


Foto 2 - Buca Zamponi: immagine emisferica dell'area a ceduo sottoposta a diradamento (DIR) - anno 2010.

Buca Zamponi: hemispherical image of the coppice stand - thinned thesis (DIR) - 2010.

che ha interessato il popolamento. Tutti e tre i prelievi sono risultati di moderata-forte intensità, asportando dal 30 al 50% dell'area basimetrica (AMORINI e GAMBI *op. cit.*; AMORINI e FABBIO 1986; AMORINI *et al.* 2010). Ciò nonostante, il popolamento ha mostrato notevoli capacità di recupero, come evidenziato in particolare dall'andamento della produzione di lettiera fogliare, del LAI e della trasmittanza. Limitando l'analisi dei dati al periodo prima dell'ultimo diradamento emerge come tali variabili non presentino differenze significative tra le due tesi. Differenze significative che invece si manifestano nel periodo successivo per il LAI e la trasmittanza, ma non per la lettiera fogliare. Tale risultato trova una possibile spiegazione in una diversa strutturazione delle chiome degli alberi rilasciati e in una differente aggregazione del fogliame nei popolamenti trattati rispetto a quelli in evoluzione (SMOLANDER e STENBERG 1996; BRÉDA 2003; CUTINI e HAJNY *op. cit.*; MACFARLANE *et al.* 2007). Non si osservano invece differenze significative per quanto riguarda la produzione di seme.

Nel complesso la sequenza colturale definita dal taglio di avviamento e dai due successivi diradamenti di moderata-forte intensità, pur determinando, come prevedibile, una maggiore eterogeneità strutturale, resa evidente da valori più elevati del coefficiente di variazione (DAVI *et al.* 2008), non ha dato origine a squilibri in termini di produttività e di caratteristiche della copertura (Foto 1 e 2). Gli effetti del trattamen-

to, anche quando sono risultati significativi, si sono manifestati negli anni immediatamente successivi al taglio, tendendo progressivamente ad attenuarsi e pressoché ad annullarsi a 8–10 anni dall'ultimo intervento. E' su queste basi che si può esprimere un giudizio positivo sul trattamento fin qui adottato e, allo stesso tempo, prefigurare un modulo colturale incentrato su diradamenti di moderata-forte intensità e frequenza intorno a 15 anni. Modulo che, oltre a non pregiudicare gli equilibri strutturali e funzionali del popolamento, è interessante anche per le ricadute di carattere economico, avendo già permesso di ricavare, è bene ricordarlo, una massa di 60 m³ ha⁻¹ a 27 anni e di circa 100 m³ ha⁻¹ rispettivamente a 42 e 57 anni (AMORINI e GAMBI *op. cit.*; AMORINI e FABBIO 1986; AMORINI e FABBIO 1991; AMORINI *et al.* 1995; AMORINI *et al.* 2010).

Diversi sono invece gli effetti del taglio di semenzatura anticipato. Il tipo e l'intensità dell'intervento, che ha asportato circa 4/5 delle piante presenti e il 60% dell'area basimetrica (CUTINI *et al.* 2007), hanno prodotto cambiamenti più evidenti sulle caratteristiche dei soprassuoli (Foto 3). Oltre alla maggiore variabilità strutturale, resa palese dal coefficiente di variazione (DAVI *et al. op. cit.*), i valori di lettiera fogliare e totale, di LAI e di trasmittanza sono risultati significativamente differenti da quelli dell'area di controllo.

Anche in questo caso, comunque, il popolamento ha mostrato capacità di reazione, nonostante il breve periodo trascorso dal taglio. Le variabili sopra citate,

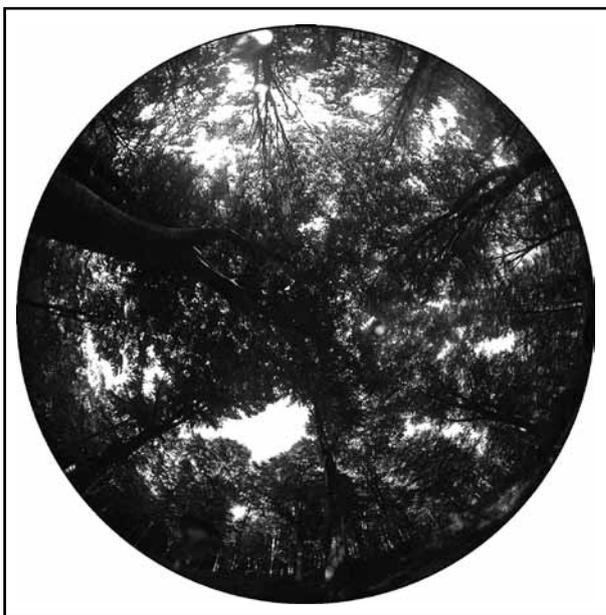


Foto 3 - Eremo della Casella: immagine emisferica dell'area a ceduo sottoposta a taglio di sementazione anticipato (TS) - anno 2010.
Eremo della Casella: hemispherical image of the coppice stand - advance seed cutting thesis (TS) - 2010.

infatti, evidenziano un costante recupero negli anni, pur restando significativamente inferiori al testimone. Di contro, il soprassuolo trattato si è caratterizzato per una maggiore fruttificazione, soprattutto in corrispondenza delle annate di pasciona. Dall'analisi delle serie storiche si può desumere come l'area di intervento mostri un andamento più regolare e una produzione superiore al controllo con punte (+375%) proprio nelle annate di pasciona. Tali annate condizionano complessivamente il comportamento delle variabili nel periodo di osservazione, con effetti più marcati nell'area sottoposta a trattamento. In quest'ultima la percentuale di biomassa fogliare e legnosa si riduce dall'82% in annate di scarsa produzione di seme al 54% in occasione di annate di pasciona, a fronte di un parallelo incremento (dal 6 al 36%) della componente riproduttiva. Similmente nel testimone si assiste ad una riduzione della biomassa fogliare e legnosa dal 92% in annate di scarsa fruttificazione, fino al 76% in annate di pasciona e, parallelamente, ad un aumento (dall'1 al 13%) della componente riproduttiva. Tuttavia, si ritiene che, anche in considerazione della giovane età dei popolamenti (SUSZKA *et al. op. cit.*) e, soprattutto, del breve periodo di tempo intercorso dal taglio, non siano emerse differenze significative tra le due tesi.

In sintesi si può affermare che il trattamento, come peraltro atteso, ha inequivocabilmente creato una forte discontinuità rispetto all'area di controllo, diffe-

renziandosi significativamente anche dal trattamento applicato a Buca Zamponi. La drastica riduzione dei livelli di competizione ha prodotto una diversa organizzazione del popolamento. In particolare, la rilevante disponibilità di spazio e di risorse resesi accessibili ha consentito un notevolmente sviluppo delle chiome dei soggetti rilasciati. Di ciò ne ha beneficiato la componente riproduttiva - faggioline e cupole - che rappresenta circa il 25% della produzione di lettiera totale, valore molto al di sopra non solo di quello dell'area di controllo, ma anche di quanto osservato a Buca Zamponi nell'area trattata (8%). Area, quest'ultima, che presenta valori medi di LAI e trasmittanza rispettivamente di circa $4 \text{ m}^2\text{m}^{-2}$ e l'8% contro i $2 \text{ m}^2\text{m}^{-2}$ e il 25% che si registrano nel taglio di sementazione anticipato. In tal senso il trattamento applicato nell'area dell'Eremo della Casella ha determinato effetti più marcati rispetto a quelli osservati a Buca Zamponi. Effetti individuabili nella maggior produzione di seme e nella maggior quantità di radiazione disponibile al suolo, elementi che precostituiscono condizioni favorevoli all'insediamento della rinnovazione naturale, centrando quindi le finalità colturali previste.

Conclusioni

La pluralità e la rilevanza delle variabili esaminate da un lato e, dall'altro, le diverse opzioni colturali poste a confronto sono elementi che consentono di fornire un contributo non trascurabile in termini conoscitivi e di indicazioni per il trattamento dei cedui di faggio in conversione. Il tutto è avvalorato dalla durata dello studio che ha consentito di disporre di risultati affidabili e di poter apprezzare in maniera compiuta gli effetti del trattamento applicato.

In primo luogo è emerso come il faggio sia specie in grado di reagire positivamente anche a lunghi cicli di sfruttamento intensivo come quelli che hanno caratterizzato i cedui oggetto di studio 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.

Pur essendo in presenza di popolamenti di oltre 60 anni, le variabili correlate alla produttività del popolamento mostrano un andamento crescente in funzione dell'età. Tale aspetto, meritevole di ulteriori approfondimenti, unito alla rilevanza della componente fogliare nella lettiera sta ad indicare come i

soprasuoli in questione siano ancora in una fase estremamente dinamica. Del resto, anche gli indicatori relativi alla produzione di seme stanno a dimostrare che, se i popolamenti in questione sono entrati in una fase in cui tale fenomeno non è episodico, si è tuttavia distanti da condizioni di piena maturità.

Le forti analogie tra i popolamenti dei due campi sperimentali hanno consentito di valutare gli effetti del trattamento non solo rispetto a popolamenti in evoluzione naturale ma anche di mettere a confronto due diversi moduli colturali, uno basato su taglio di avviamento e periodici diradamenti e, l'altro, su taglio di avviamento, un diradamento e taglio di sementazione anticipato. In entrambi i casi il trattamento applicato ha prodotto ricadute positive rispetto agli obiettivi prefissati, con effetti di carattere transitorio nel primo caso. Effetti molto più marcati si sono invece registrati nel caso del taglio di sementazione anticipato.

Fatta salva una maggiore regolarità nelle serie annuali, non sono emerse differenze a livello di fruttificazione. Pur non essendo statisticamente significativa, in ragione anche del non lungo periodo di osservazione, la produzione media di seme nel taglio di sementazione è circa il doppio di quella dell'area non trattata.

Nel complesso i popolamenti oggetto di studio mostrano una notevole dinamicità che li colloca in una fase ancora lontana dalla piena maturità e, quindi, dal compimento del processo di conversione a fustaia per via naturale. In merito a ciò i risultati dello studio consentono di affermare che l'opzione del taglio di sementazione anticipato deve trovare fondamento più su considerazioni collegate alla pianificazione forestale che non su motivazioni di ordine ecologico o selvicolturale. In altre parole, pare opportuno prendere in esame tale opzione laddove si sia in presenza di complessi di notevole estensione con età e caratteristiche omogenee. In questi casi l'applicazione mirata di tale tipo di intervento può contribuire ad una maggiore differenziazione strutturale, con popolamenti in stadi evolutivi differenziati al momento del completamento del processo di transizione a fustaia.

Particolarmente appropriata è risultata l'altra opzione selvicolturale testata. Come già verificato per altre specie e laddove sussistano le condizioni di fertilità per procedere all'avviamento, interventi energici e ripetuti non pregiudicano le capacità di recupero della copertura forestale e della produttività del soprassuolo (CUTINI e HAJNY *op. cit.*). Nonostante la reiterata e forte riduzione di densità operata dagli in-

terventi, i soprassuoli mostrano un pronto e pressoché totale recupero della copertura e della produttività. Ciò consente di valutare positivamente per i cedui di faggio in conversione un modulo colturale incentrato su diradamenti di moderata-forte intensità e frequenza intorno ai 15 anni. Il trattamento, in questo caso, si prefigura come strumento per accelerare e orientare il processo di conversione, garantendo nel contempo positive ricadute sia sotto il profilo ecologico che economico, nel caso specifico rappresentate da circa 250-300 m³ di massa intercalare (AMORINI *et al.* 2010). Processo di conversione che tuttavia si delinea come 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.

Ringraziamenti

Gli Autori ringraziano il personale di ruolo del C.R.A.-Centro di Ricerca per la Selvicoltura di Arezzo -Umberto Cerofolini, Luigi Mencacci- impegnato per quasi due decenni nei rilievi e nella raccolta dati necessari per la realizzazione di questa ricerca e i tanti che hanno collaborato per periodi più brevi e tra i quali meritano una menzione Mario Ceccarelli, Claudia Becagli, Elisa Castellucci, Simona Bartolucci, Alessandro Fois, Alessandro Bitini e Michele Lorenzoni. Un sentito ringraziamento va infine ad un anonimo Revisore per i preziosi suggerimenti forniti.

Bibliografia citata

- AMORINI E., GAMBÌ G. 1979 - *Il metodo dell'invecchiamento nella conversione dei cedui di faggio*. Ann. Ist. Sper. Selv. Arezzo, VIII (1977): 21-42.
- 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. 1991 - *Ricerche sull'invecchiamento dei cedui: riflessi sul trattamento di conversione*. Lit. For. Mont., XLV (3): 193-204.
- AMORINI E., FABBIO G., TABACCHI G. 1995 - *Le faggete di origine agamica: evoluzione naturale e modello colturale per l'avviamento ad alto fusto*. In: Atti del seminario "Funzionalità dell'ecosistema faggeta" (Giannini R. ed). Progetto CNR - Raisa, Accademia Italiana di Scienze Forestali, Firenze, pp. 331-345.
- AMORINI E., BRUSCHINI S., CUTINI A., DI LORENZO M.G., FABBIO G. 1998 - *Treatment of Turkey oak (Quercus cerris L.) coppice. Structure, biomass and silvicultural options*. Ann. Ist. Sper. Selv. Arezzo, XXVII (1996): 121-129.

- AMORINI E., FABBIO G., BERTINI G. 2010 - *Dinamica del ceduo oltre turno ed avviamento ad alto fusto dei cedui di faggio. Risultati del protocollo "Germano Gambi" sull'Alpe di Catenaiola (Arezzo)*. Ann. CRA-SEL. Arezzo, vol.36: 151-172.
- 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.
- BIANCHI M. 1981 - *Le fustaie di faggio di origine agamica della Toscana: tavola di produzione per i boschi coetanei*. Ann. Acc. It. Sci. For., 30: 247-284.
- 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, 25 p.
- 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.
- 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, 391 p.
- CHASON 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.
- CIANCIO O. 1990 - *La gestione del bosco ceduo: analisi e prospettive*. L'It. For. Mont., 1: 5-10.
- CIANCIO O., CORONA P., LAMONACA A., PORTOGHESI L., TRAVAGLINI D. 2006 - *Conversion of clearcut beech coppices into high forests with continuous cover: A case study in central Italy*. Forest Ecology and Management, 224: 235-240.
- CUTINI A. 1994 a - *Indice di area fogliare, produzione di lettiera ed efficienza di un ceduo di cerro in conversione*. Ann. Ist. Sper. Selv. Arezzo, XXIII (1992): 147-166.
- CUTINI A. 1994 b - *La stima del LAI con il metodo delle misure di trasmittanza in popolamenti diradati e non diradati di cerro*. Ann. Ist. Sper. Selv. Arezzo, XXIII (1992): 167-181.
- CUTINI A. 1996 - *The influence of drought and thinning on leaf area index estimates from canopy transmittance method*. Annales des Sciences Forestières, 53: 595-603.
- CUTINI A. 1999 - *Ricerche su produttività e funzionalità di popolamenti di origine agamica*. In: Atti II Congresso SISEF, Bologna, 2: 131-134.
- CUTINI A. 2002 - *Litterfall and Leaf Area Index in the CONECONFOR permanent monitoring plots*. In: "Long-term ecological research in Italian forest ecosystem", vol. 61 (Suppl. 1): 62-68.
- 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., GIULETTI V., VARALLO A. 2003 - *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. Arezzo, XXXI (2000): 95-107.
- CUTINI A., HAJNY M. 2006 - *Effetti del trattamento selvicolturale su produzione di lettiera, caratteristiche della copertura ed efficienza di un ceduo di cerro in conversione*. Ann. Ist. Sper. Selv. Arezzo, XXXIII (2002-2004): 133-142.
- CUTINI A., VARALLO A. 2006 - *Estimation of foliage characteristics of isolated trees with the Plant Canopy Analyzer LAI-2000*. Current Trends in Ecology, 1: 49-56.
- CUTINI A., BARTOLUCCI S., AMORINI E. 2007 - *Gestione dei boschi cedui di caducifoglie e relazione con gli ungulati selvatici*. In "Valorizzazione agro - forestale e faunistica dei territori di collina e montagna" a cura di LUCIFERO M., GENGHINI M., Istituto Nazionale Fauna Selvatica, Ministero delle Politiche agricole, alimentari e forestali, St.e.r.n.a., Toscanella di Dozza (BO): 287-304.
- DAVI H., BARET F., HUC R., DUFRÈNE E. 2008 - *Effect of thinning on LAI variance in heterogeneous forests*. Forest Ecology and Management, 256: 890-899.
- DOBBERTIN M., ANDREASSEN K., NEUMANN M., SOMOGYI Z. 2000 - *Forest growth*. Report of the External Panel of Forest Growth, 17 p.
- DUFRÈNE E., BRÉDA N. 1995 - *Estimation of deciduous forest leaf area index using direct and indirect methods*. Oecologia, 104: 156-162.
- GAMBI G. 1968 - *Le conversioni dei cedui in altofusto sull'Appennino Tosco-Emiliano*. Ann. Acc. Naz. di Agric., III serie, LXXVIII: 1-49.
- GENET H., BRÉDA N., DUFRÈNE E. 2009 - *Age-related variation in carbon allocation at tree and stand scales in beech (Fagus sylvatica L.) and sessile oak (Quercus petraea (Matt.) Liebl.) using a chronosequence approach*. Tree Physiology, 30: 177-192.
- 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 faggetta dell'Appennino pistoiese: sostanza organica al suolo e produzione di lettiera*. Annali dell'Istituto Sperimentale di Studio e Difesa del Suolo, XVI: 105-118.
- HASENAUER H., RAMAKRISHN R. N., SCHADAUER K., RUNNING S. W. 1999 - *Forest growth response to changing climate between 1961 and 1990 in Austria*. Forest Ecology and Management 122: 209-219.
- HOFMANN A. 1963 - *La conversione dei cedui di faggio*. Ann. Acc. It. Sci. For., 12: 145-164.
- HOFMANN A. 1991 - *Il faggio e le faggete in Italia*. Ministero dell'Agricoltura e delle Foreste - Corpo Forestale dello Stato. Collana Verde 81, 140 p.

- HOLSCHER D., SCHADE E., LEUSCHNER C. 2001 - *Effects of coppicing in temperate deciduous forests on ecosystem nutrient pools and soil fertility*. Basic and Applied Ecology, 2: 155-164.
- 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., SHIDEY T. 1967 - *Primary production and turnover of organic matter in different forest ecosystems of the western Pacific*. Japanese Journal of Ecology, 17: 70-87.
- LEBOURGEOIS F., BRÉDA N., ULRICH E., GRANIER A. 2005 - *Climate-tree-growth relationships of European beech (Fagus sylvatica L.) in the French Permanent Plot Network (RENECOFOR)*. Trees, 19 (4): 385-401.
- 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.
- MACFARLANE C., HOFFMAN M., EAMUS D., KERP N., HIGGINSON S., MCMURTRIE R., ADAMS M. 2007 - *Estimation of leaf area index in eucalypt forest using digital photography*. Agricultural and Forest Meteorology, 143: 176-188.
- MATTEUCCI G., DE ANGELIS P., DORE S., MASCI A., VALENTINI R., SCARASCIA MUGNOZZA G. 1999 - *Il bilancio del carbonio delle faggete: dall'albero all'ecosistema*. In: Scarascia Mugnozza G. (ed.), Ecologia strutturale e funzionale di faggete italiane, Edagricole: 133-183.
- MEIER I.C., LEUSCHNER C. 2008 - *Leaf size and leaf area index in Fagus sylvatica forests: competing effects of precipitation, temperature, and nitrogen availability*. Ecosystems, 11: 655-669.
- MINISTERO DELLE POLITICHE AGRICOLE ALIMENTARI E FORESTALI 2007 - *INFC- Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio 2005*. MiPAAF - Ispettorato Generale - Corpo Forestale dello Stato, CRA - Istituto Sperimentale per l'Assessment Forestale e per l'Alpicoltura, Trento.
- 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.
- OSWALD H. 1984 - *Floraison, pollinisation et frutification chez le hêtre (Fagus sylvatica L.)*. In: "Pollinisation et productions végétales" (eds. P. Pesson and J. Louveaux). INRA, Nancy, France: 243-258.
- PACHAURI R. K., REISINGER A. 2007 - *Climate change 2007: Synthesis Report*. Contribution of Working Group I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, Geneva, Switzerland, 104 p.
- 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*. L'Italia Forestale e Montana, 6: 444-459.
- RAUNER J. 1976 - *Deciduous forests. Vegetation and atmosphere 2*. Monteith Ed., Academic press, London: 241-264.
- REICHLE D. E. 1981 - *Dynamic properties of forest ecosystems*. International Biological Programme, Vol. 23, Cambridge University Press, Cambridge, 683 p.
- SCURLOCH, J. M. O., ASNER, G. P., GOWER, S. T. 2001 - *Worldwide historical estimates of Leaf Area Index 1932-2000*. ORNL/TM, 2001, 268 p.
- SMOLANDER H., STENBERG P. 1996 - *Response of LAI-2000 estimates to changes in plant surface area index in a Scots pine stand*. Tree Physiology, 16: 345-349.
- SUSZKA B., MULLER C., BONNET-MASIMBERT M. 2000 - *Semi di latifoglie forestali. Dalla raccolta alla semina*. Calderini Edagricole, Bologna, 324 p.
- VOGT K. A., GRIER C. C., VOGT D. J. 1986 - *Production, turnover, and nutrient dynamics of above- and belowground detritus of world forests*. Advances in Ecological Research, 15: 303-377.
- WARING R. H. 1983 - *Estimating forest growth and efficiency in relation to canopy leaf area*. Advances in Ecological Research, 13: 327-354.