

Research paper

Cambiamenti strutturali ed ecologici in cedui di leccio in Sardegna a 25 anni dal taglio di avviamento ad altofusto

Maria Chiara Manetti^{1*}, Tessa Giannini¹, Francesco Chianucci¹, Antonio Casula², Andrea Cutini¹

Ricevuto 18/11/2013 - Accettato 21/12/2013

Riassunto - In Sardegna le formazioni forestali a prevalenza di leccio (*Quercus ilex* L.) derivano in gran parte da cedui invecchiati, molti dei quali avviati all'altofusto, e rappresentano un patrimonio importante per estensione (40% delle leccete italiane), valore ambientale e turistico-ricreativo. Questo studio è stato impostato nel 1994 per analizzare, in funzione della fertilità stagionale, gli effetti del taglio di avviamento ad alto fusto su produttività, biodiversità, dinamiche strutturali e caratteri della copertura in una foresta mesofila di leccio della Sardegna meridionale. In un ceduo matricinato di leccio di circa 55 anni (al 1994), ubicato nel complesso della Foresta dei Settefratelli (Cagliari), sono state realizzate due aree sperimentali permanenti, differenti per fertilità, struttura e densità del soprassuolo. I rilievi sono stati effettuati nelle stagioni 1994-95 e 2010-11 e hanno previsto il monitoraggio delle principali variabili dendrometriche (densità e produttività), lo studio della struttura (diversità specifica e strutturale) e la stima di alcuni parametri ecologici (LAI e trasmittanza). I risultati hanno evidenziato, a 9 anni di distanza dal diradamento e in entrambe le aree, una struttura semplificata, una scarsa diversità specifica, una ridotta copertura, valori di LAI bassi e di trasmittanza piuttosto elevati. Questi caratteri sono risultati più accentuati nell'area meno fertile, dotata di una copertura contraddistinta da vuoti consistenti. Nel 2010, a fronte di un aumento consistente del numero di piante ad ettaro, è seguito un rafforzamento della struttura a gruppi e un recupero netto della copertura ma non sono state registrate variazioni della diversità verticale e specifica. Nel complesso è stata evidenziata una reazione positiva al taglio di avviamento anche se l'eccessiva riduzione della densità nell'area meno fertile non ha ancora permesso la completa ricostituzione della copertura da un punto di vista qualitativo.

Parole chiave - leccio, struttura, dinamica, copertura, conversione all'alto fusto, monitoraggio

Abstract - *Stand structure and ecological changes in holm oak coppices 25 years later the opening of thinning operations for the conversion into high forest.* Holm oak (*Quercus ilex* L.) is one of the most diffuse and economically important forest species in Sardinia, where it holds about 40% of holm oak cover in Italy. The forest type has also acquired a high ecological, recreational and landscape value over the last decades. Most of holm oak stands originated from overgrown coppice forests partly undergoing conversion into high forest. This study was set up in 1994 to analyse, as a function of site-index, the effects of conversion thinning on productivity, biodiversity, structural dynamics and canopy characteristics in an holm oak forest located in southern Sardinia. Two experimental permanent plots, differing in site index, stand structure and tree density, were established. The surveys were carried out in 1994-95 and 2010-11. The analysis included growth pattern, dynamics of stand structure and estimation of forest canopy attributes as leaf area index and canopy transmittance. Results pointed out the simplified stand structure, the poor biodiversity, the low LAI and high transmittance values 9 years after thinning implementation. These characteristics were more pronounced in the less productive area, characterised by substantial canopy gaps. 25 years after thinning implementation, both stands showed significant increase in the number of trees, strengthening of the clustered structure and high canopy recovery. Conversely, no significant changes in biodiversity and vertical structure were observed. Overall results contributed to a positive evaluation of the conversion practice based on periodical thinnings, even if the excessive reduction of tree density, mainly in the lower site-index area, did not allow yet the fully achievement of canopy recovery.

Keywords - holm oak, stand structure, stand dynamics, canopy cover, conversion into high forest, monitoring

Introduzione

L'uomo ha da sempre utilizzato le foreste con conseguenze spesso anche importanti quali la forte perdita di biodiversità e la radicale alterazione della loro funzionalità bioecologica (Thomson et al. 2006, Gardner 2010). Negli ultimi decenni, in seguito a una nuova sensibilità ambientale sono state ri-attribuite alle foreste funzioni a scala globale per lungo tempo sottaciute, dalle quali l'uomo e il pianeta possono ottenere benefici non meno importanti di quelli più strettamente produttivi. Tra questi possiamo annoverare la protezione del suolo, la regimazione e la depurazione

delle acque, la fissazione e lo stoccaggio del carbonio, la mitigazione degli effetti del riscaldamento globale e la regolazione del clima, la funzione di filtro degli elementi inquinanti, la riserva di biodiversità, la riqualificazione del paesaggio e infine il ruolo turistico-ricreativo.

Non sono sfuggite a tali dinamiche le foreste del bacino del Mediterraneo, dove l'attività antropica è stata particolarmente intensa fin dall'antichità, causandone spesso la riduzione e la frammentazione in termini di superficie o la degradazione a biocenosi semplificata. Un esempio sono le foreste di leccio (*Quercus ilex* L.) che nell'area mediterranea, secondo Quézel e Médail (2003),

¹ Consiglio per la Ricerca e la sperimentazione in Agricoltura, Forestry Research Centre, Arezzo (CRA-SEL), Italy

² Ente Foreste della Sardegna (Servizio Tecnico)

* corresponding author: mariachiara.manetti@entecra.it

ricoprono una superficie approssimativa di 6.550.000 ha, la maggior parte della quale concentrata in Spagna e Marocco ma con una consistenza importante anche in Italia (circa il 6% del totale), dove la superficie dei boschi di leccio è pari a circa 680.000 ha (INFC 2005).

Tali formazioni sono state sottoposte per secoli a sfruttamento intensivo esercitato sia attraverso il governo a ceduo per la produzione di legna da ardere e di carbone sia con il pascolo; impatti particolarmente rilevanti sono stati poi osservati in concomitanza con l'aumento demografico registrato nel XIX secolo e con il primo sviluppo industriale. Tutto ciò ha favorito processi di degradazione verso formazioni a macchia, spesso innescati o favoriti anche dalle conseguenze degli incendi.

A partire dagli anni '50 del secolo scorso è stata registrata, in particolare sulle sponde nord del Mediterraneo, una inversione di tendenza. Le profonde trasformazioni socio-economiche di questo periodo, accompagnate da un forte calo del fabbisogno di legna da ardere e la conseguente riduzione della pressione antropica, delle utilizzazioni del bosco ceduo e del pascolo, hanno diminuito l'impatto su queste formazioni e, in alcune aree, comportato l'abbandono di qualsiasi tipo di pratica culturale. Alcuni studi realizzati nel bacino del Mediterraneo hanno dimostrato che l'interruzione della ceduazione, accompagnata o meno da interventi di avviamento ad alto fusto, ha innescato successioni secondarie caratterizzate da un incremento di funzionalità, complessità strutturale e ricchezza biologica dei soprassuoli (Ducrey e Toth 1992, la Marca et al. 1995, Amorini et al. 1996a, b, Cutini e Mascia 1996, Fabbio et al. 1996, Iovino e Menguzzato 2001, Ciancio et al. 2002, Dafis e Kakouros 2006, Fabbio 2010). In aggiunta, nei cedui in conversione è stato osservato un miglioramento delle disponibilità idriche sia nel suolo che nelle piante rilasciate (Cotillas et al. 2009, Di Matteo et al. 2009) con conseguente maggior resistenza alla siccità (Borghetti e Magnani 2009, Garfi et al. 2009).

In questo contesto si inserisce anche questa ricerca, impostata nel 1994 in una foresta mesofila di leccio della Sardegna meridionale per analizzare, a distanza di 9 anni dal diradamento, gli effetti del taglio di avviamento ad alto fusto.

In Sardegna i soprassuoli a prevalenza di leccio costituiscono il 22% della superficie forestale della regione, pari a 269.702 ha, rappresentando il 40% delle leccete italiane (INFC 2005). Il 47% delle leccete è rappresentato da cedui, la maggioranza dei quali sono matricinati o composti, in evoluzione naturale a causa della sospensione del taglio periodico. Quasi il 70% dei cedui di leccio sardi si può considerare adulto o invecchiato cioè prossimo o superiore al turno (INFC 2005). I soprassuoli a prevalenza di leccio più estesi e con maggiore valore bio-ecologico sono localizzati nelle foreste di proprietà demaniale e sono attualmente gestiti dall'Ente Foreste della Sardegna secondo criteri prioritariamente naturalistici e comunque orientati verso la multifunzionalità.

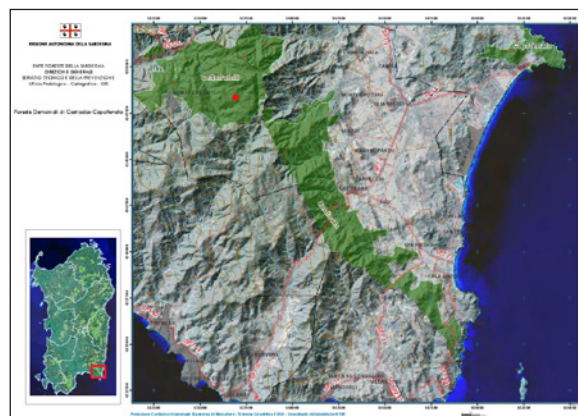


Figura 1 - Carta della Foresta Demaniale dei Settefratelli con l'ubicazione dell'area di studio (Ente Foreste della Sardegna).

Lo studio, condotto in due popolamenti di diversa fertilità stagionale in un arco temporale di 25 anni, si propone di descrivere l'evoluzione della struttura e della copertura, di valutare l'effetto del diradamento su efficienza e biodiversità dei soprassuoli, di fornire indicazioni colturali per la tutela, pianificazione e gestione attiva di tali formazioni.

Materiali e metodi

L'area di studio

L'area di studio si trova nel comprensorio della foresta demaniale dei Settefratelli (CA), uno dei luoghi più interessanti e affascinanti della Sardegna sud-orientale (regione del Sarrubus) attualmente soggetto a tutela paesaggistica, gestito dall'Ente Foreste della Sardegna ed inserito nel futuro Parco Naturale Regionale Settefratelli - Monte Genis (Fig. 1). La foresta ha una estensione di quasi 10.000 ha ed include l'omonimo massiccio montuoso costituito da affioramenti granitici modellati dall'erosione eolica e dal dilavamento che, con il tempo, hanno creato particolari formazioni morfologiche a torrioni da cui deriva il nome Settefratelli.

La lecceta, associata a elementi propri della macchia-foresta quali *Arbutus unedo*, *Phillyrea latifolia*, *Erica arborea*, *Rhamnus alaternus* e *Juniperus communis*, è la formazione forestale maggiormente diffusa. Fino alla fine del 1800 la foresta era assoggettata al regime d'uso in forma collettiva di legnatico, erbatico e ghiandatico, era mantenuta ad altofusto ed erano presenti anche leccete secolari e ultramature; solo agli inizi del secolo scorso ebbe inizio una intensa attività di taglio che si è protratta fino agli anni '50. Attualmente questi boschi sono cedui matricinati di leccio; alcuni avviati all'altofusto, altri in evoluzione naturale (Amorini et al. 1996a, b, Atzori 2004).

Secondo la Carta dei Suoli della Sardegna (1991) si tratta di paesaggi posti su rocce intrusive del Paleozoico e relativi depositi di versante, aree con forme da aspre a subpianeggianti, al di sotto di 800-1.000 m s.l.m., con prevalente copertura arbustiva ed arborea; i suoli da sabbioso-franchi a franco-sabbioso-argillosi, permeabili, da subacidi ad acidi, sono da poco profondi a profondi e

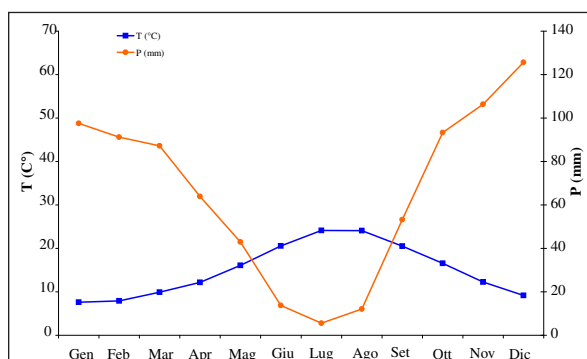


Figura 2 - Diagramma termo-pluviometrico della stazione Campuomu (380 m s.l.m., Burcei - CA) relativo al periodo 1922-2011.

presentano a tratti elevata pietrosità, eccesso di scheletro e forte pericolo di erosione. Il contenuto di sostanza organica è moderato (3%) e l'*humus* è di tipo mull da anellidi (Delogu e Passino 1983).

Per la descrizione del clima si dispone dei dati termopluviometrici della stazione di Campuomu (Idrografico di Cagliari, Regione Autonoma della Sardegna) posta presso la Caserma Forestale a 380 m s.l.m.. La temperatura media annua (periodo di osservazione 1924-2011) è di 15,1° C; il regime pluviometrico è tipicamente mediterraneo con 793 mm di pioggia annui (periodo di osservazione 1922-2011) e precipitazioni concentrate nel periodo autunno-inverno, mentre i mesi estivi sono fortemente siccitosi (Fig. 2).

Le aree di studio sono ubicate in località Acqueddas, ad una quota media di 765 m s.l.m., in una zona di altopiano, con una morfologia lievemente ondulata e poco acclive (3-5%). Oltre al leccio sono presenti corbezzolo in posizione generalmente dominata, e fillirea e alaterno con ruolo accessorio. Il soprassuolo attuale deriva da un ceduo matricinato avviato all'altofusto nel 1985, a 46 anni di età, con un diradamento selettivo di tipo misto. Il diradamento applicato (comunicazione orale) ha previsto sia l'intervento selettivo sulle singole ceppaie di leccio rilasciando 1-2 polloni migliori, sia la riduzione della densità delle specie associate.

Metodo

Nel 1994 furono realizzate due aree di saggio perma-

nenti di 2.500 m² differenti per fertilità, struttura e densità (area A1 - N 39°16'34" E 9°25'54" e area A2 - N 39°16'27" E 9°25'48").

Il protocollo sperimentale (rilievi nel 1994-95 e nel 2010-11) ha previsto il monitoraggio delle principali variabili dendrometriche (diametro, altezza totale, altezza dominante, numero di piante ad ettaro, area basimetrica), lo studio della struttura tramite la realizzazione, in entrambe le aree di saggio, di due transetti (750 m²), e la stima di alcuni parametri ecologici (LAI e trasmittanza).

Tutte le piante vive sono state numerate, è stata rilevata la circonferenza ad 1,30 m e la posizione sociale secondo 4 classi (D = dominante, I = intermedia, d = dominata, s = sottoposta). Nei transect è stata determinata la posizione topografica di ogni individuo, misurata l'altezza totale e quella di inserzione della chioma, l'area di insidenza della chioma secondo 8 raggi ortogonali, e rilevate le chiome delle piante esterne ma parzialmente ricadenti nel transect. L'elaborazione dei dati ha previsto la valutazione dell'altezza dominante e della copertura (grado di copertura e ricoprimento), la quantificazione della densità, dell'area basimetrica e del relativo incremento corrente, la stima della biomassa anidra attraverso l'uso di specifiche relazioni allometriche (Brandini e Tabacchi 1996), la determinazione di indici di diversità specifica e strutturale (Tab. 1).

All'inizio (1995) e alla fine (2011) del periodo di osservazione sono state effettuate misure di indice di area fogliare (LAI - Leaf Area Index) e di trasmittanza (radiazione solare trasmessa al suolo in percentuale rispetto a quella incidente il piano delle chiome), variabili caratteristiche della copertura forestale e capaci di evidenziare l'evoluzione della dinamica strutturale e la risposta agli interventi selvicolturali (Cutini 1994b e 1996, Cutini et al. 1998, Cutini et al. 2003). Le misure sono state effettuate mensilmente nel periodo di massima espansione fogliare, in corrispondenza di 9 punti distribuiti con criterio geometrico-sistematico in entrambe le aree di saggio. Per la stima dell'indice di area fogliare è stato utilizzato il Plant Canopy Analyser LAI 2000 (Li-Cor Lincoln NE USA); il rilievo è stato condotto in condizioni di radiazione diffusa (prossimità dell'alba o del tramonto) applicando un *cap* di 90° al sensore. La misura della radiazione fotosinteticamente attiva (PAR-

Tabella 1 - Caratteristiche degli indici di diversità scelti.

Descrizione indice	Formula con legenda	Bibliografia
Indice di diversità specifica di Shannon (SH), calcolato sia sul numero di fusti (SH-N) sia sui valori di area basimetrica (SH-G) relativi a ciascuna specie.	$SH = \sum (-\log_2 p_i) * p_i$ $p_i = n_i/N \text{ o } g_i/G,$ $n_i = \text{numero di individui della specie } i,$ $g_i = \text{area basimetrica della specie } i,$ $N = \text{numero totale di individui},$ $G = \text{area basimetrica totale}$	Shannon 1948
Indice di diversità verticale (VE)	$VE = \sum ((-\ln C_i) * C_i / \ln(ps))$ $C_i = \text{copertura relativa a ciascun piano sociale considerato},$ $ps = \text{numero di piani sociali}$	Neumann e Starlinger 2001
Indice di diversità orizzontale (CI)	$CI = S^2/X$ $S^2 = \text{varianza},$ $X = \text{media del numero di piante presenti all'interno delle subaree}$	Strand 1953, Cox 1971

Tabella 2 - Acqueddas - Foresta dei Settefratelli - Aree A1 e A2. Principali parametri dendrometrici rilevati nel 1994 e nel 2010, natalità (%N) e incremento corrente (Ic) relativi al periodo di monitoraggio.

		AREA A1				AREA A2			
		1994	2010	%N	Ic	1994	2010	%N	Ic
Numero ad ettaro (n ha⁻¹)	Leccio	1044	1068	2		808	832	3	
	Corbezzolo	268	608	56		416	1984	79	
	Altre	16	40	60		40	96	58	
	Totale	1328	1716	23		1264	2912	57	
Area basimetrica ad ettaro (m² ha⁻¹)	Leccio	29,1	41,2		0,76	20,0	30,2		0,64
	Corbezzolo	2,9	3,1		0,02	4,8	8,4		0,23
	Altre	0,1	0,2		0,01	0,3	0,2		0,00
	Totale	32,1	44,5		0,78	25,1	38,8		0,86
Diametro medio (cm)	Leccio	18,8	22,2		0,21	17,8	21,5		0,23
	Corbezzolo	11,7	8,0		-0,23	12,1	7,3		-0,30
	Altre	8,5	6,9		-0,10	9,6	5,6		-0,25
	Totale	17,5	18,1		0,04	15,9	13,0		-0,18
Altezza media (m)		10,9	14,2		0,21	6,8	9,7		0,18
Biomassa epigea ad ettaro (Mg ha⁻¹)	Leccio	140,3	301,8		10,10	73,5	185,8		7,02
	Corbezzolo	10,4	10,4		0,00	17,3	27,5		0,64
	Altre	0,3	0,5		0,01	1,0	0,7		-0,02
	Totale	151,0	312,7		10,11	91,9	214,0		7,64

Photosynthetically Active Radiation) per la determinazione della trasmittanza è stata effettuata utilizzando ceptometri (Sunfleck SF-80, AccuPAR model PAR-80 e LP-80, Decagon Devices Inc. Pullman, WA, USA); il rilievo è stato condotto in condizioni di radiazione diretta (mezzogiorno), mettendo in relazione le misure sottocopertura con quelle di riferimento effettuate in aree aperte (Cutini 1994b e 1996).

Infine sono stati determinati il LWR (*leaf weight ratio*) ossia il rapporto tra LAI e biomassa anidra epigea totale, ed il RGR (*relative growth rate*, modificato per il popolamento) dato dal rapporto tra incremento corrente periodico di biomassa anidra e indice di area fogliare (LAI).

Risultati

Le principali caratteristiche dendrometriche delle aree oggetto di studio sono riportate in Tab. 2. Nel 1994 (Fabbio et al. 1996) gli indicatori analizzati avevano evidenziato sia la differente fertilità delle due aree, sia il ruolo principale svolto dal leccio (91 e 80% dell'area basimetrica complessiva nell'area 1 e 2 rispettivamente). La quercia presentava il contributo maggiore nel piano dominante, mentre il corbezzolo e le altre specie mantenevano una presenza accessoria, limitata allo strato arboreo dominato.

Nel 2010 dopo 25 anni dal diradamento, si osserva un aumento consistente del numero di piante ad ettaro in entrambe le aree (A1 +23% e A2 +57%) ma particolarmente evidente nell'area 2 dove il corbezzolo si è notevolmente diffuso (natalità pari al 79%); l'abbondanza del leccio è invece rimasta immutata in ambedue i casi. Per quanto riguarda l'area basimetrica complessiva nell'ultimo inventario si osservano valori di 44,5 m² ha⁻¹ nell'area A1 e di 38,8 m² ha⁻¹ nell'area A2; il contributo del leccio è preponderante in entrambe le aree con valori di 41,2 m² ha⁻¹ nella A1 (quasi il 93% dell'area basimetrica totale) e di 30,2 m² ha⁻¹ nella A2 (quasi il 78% dell'area basimetrica totale); il corbezzolo

invece mantiene un ruolo complementare rispetto alla quercia, ma maggiore nell'area A2 (8,4 m² ha⁻¹ ossia circa il 21% dell'area basimetrica totale).

L'incremento corrente di area basimetrica registrato tra i due inventari (1994 e 2010) è risultato di 0,77 m² ha⁻¹ an⁻¹ nell'area A1, quasi completamente a carico del leccio (0,76 m² ha⁻¹ an⁻¹), simile ma leggermente inferiore rispetto all'A2 (0,86 m² ha⁻¹ an⁻¹) dove peraltro il contributo del corbezzolo è rilevante (0,23 m² ha⁻¹ an⁻¹). Il diametro medio del leccio aumenta nel periodo considerato in entrambe le aree (A1=0,21 cm an⁻¹ e A2=0,18 cm an⁻¹), mentre sia il corbezzolo sia le altre specie subiscono una riduzione del valore diametrico medio per l'ingresso di nuove piccole piante.

La biomassa epigea per unità di superficie, relativa al 2010, presenta valori maggiori nell'area A1 (A1=312,7 Mg ha⁻¹ e A2=214,0 Mg ha⁻¹), ad indicare una maggiore produttività e fertilità (Tab. 3), che si mantiene e si incrementa nel tempo. Ciò è confermato dall'altezza dominante (Hd), che evidenzia valori maggiori nell'area A1 (10,9 m nel 1994 e 16,7 m nel 2010) rispetto all'area A2 (9,4 m nel 1994 e 14,4 m nel 2010).

Anche gli indici di diversità strutturale (Tab. 3) sottolineano bene le differenze tra le due aree. Sul piano orizzontale è stata riscontrata una maggiore omogeneità

Tabella 3 - Acqueddas - Foresta dei Settefratelli - Aree A1 e A2. Alcuni indici e parametri di diversità strutturale e specifica analizzati: fertilità (Hd), diversità sul piano orizzontale (CI) e verticale (VE), grado di copertura (C) e ricoprimento (R), diversità specifica (SH-N e SH-G).

	AREA A1		AREA A2	
	1994	2010	1994	2010
Altezza dominante Hd (m)	10,9	16,7	9,4	14,4
Diversità orizzontale (CI)	0,61	1,53	1,53	7,08
Diversità verticale (VE)	0,25	0,32	0,55	0,52
Copertura (C %)	80	89	62	98
Ricoprimento (R %)	125	126	109	172
Diversità specifica (SH-N)	0,92	1,09	1,12	0,96
Diversità specifica (SH-G)	0,44	0,39	0,87	0,99

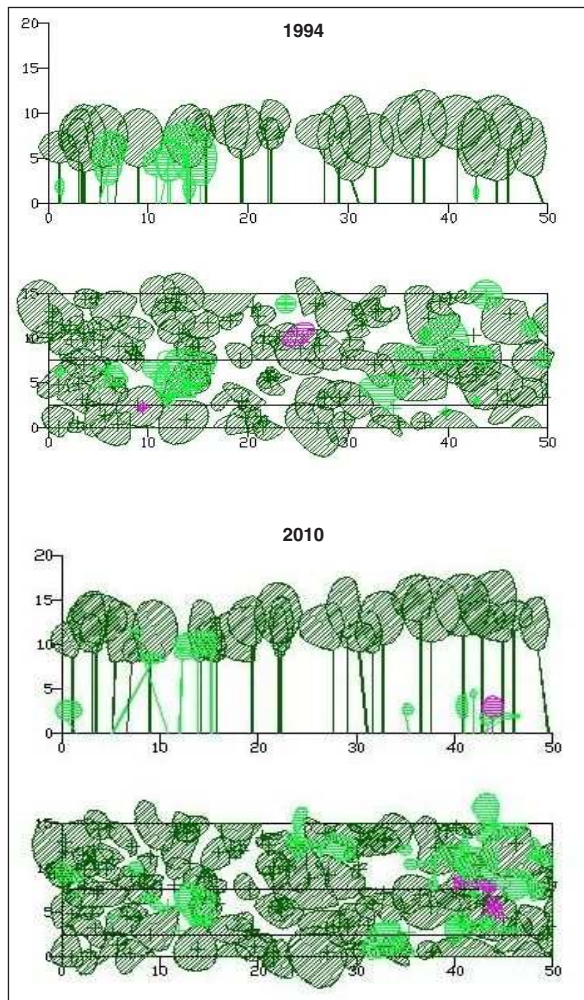


Figura 3 - Foresta dei Settefratelli - Acqueddas. Visualizzazione della struttura orizzontale e verticale del transect 1 nel 1994 e nel 2010 (■ *Quercus ilex*; ■ *Arbutus unedo*; ■ altre specie).

strutturale nell'area A1 ($CI = 0,61$ e $1,53$), e una struttura a gruppi, già evidente nel 1994 ma ancora più accentuata in seguito alle dinamiche evolutive occorse in 25 anni, nell'area A2 ($CI = 1,53$ e $7,08$). La struttura sul piano verticale è risultata tendenzialmente monoplana in entrambe le aree e gli inventari, anche se una maggior articolazione è stata registrata nella A2. Il grado di copertura si mantiene relativamente costante nell'area A1 ($C = 80\%$ e 89%) ed indica una chiusura pressoché completa già nel 1994 (Fig. 3). Nel primo inventario l'area A2 (Fig. 4) era contraddistinta dalla presenza di ampi vuoti ($C = 62\%$), che sono stati poi completamente colonizzati ($C = 98\%$ nel 2010). Il grado di ricoprimento (R) segue lo stesso trend mantenendo valori elevati e simili nel tempo nell'area A1 ($R = 125\%$ e 126%) e accrescendosi notevolmente nell'area A2 ($R = 109\%$ e 172%), in seguito alla diversa presenza e distribuzione spaziale del leccio e del corbezzolo. La diversità specifica calcolata sia in funzione del numero di piante che dell'area basimetrica non è molto elevata in entrambe le aree e non subisce significative variazioni tra i due inventari. Le principali differenze possono essere attribuite al diverso peso e ruolo che il leccio e il corbezzolo hanno assunto nel tempo nelle due aree. Nell'area A1 il leccio risulta preponderante sia in termini numerici che in area basimetrica e i rapporti

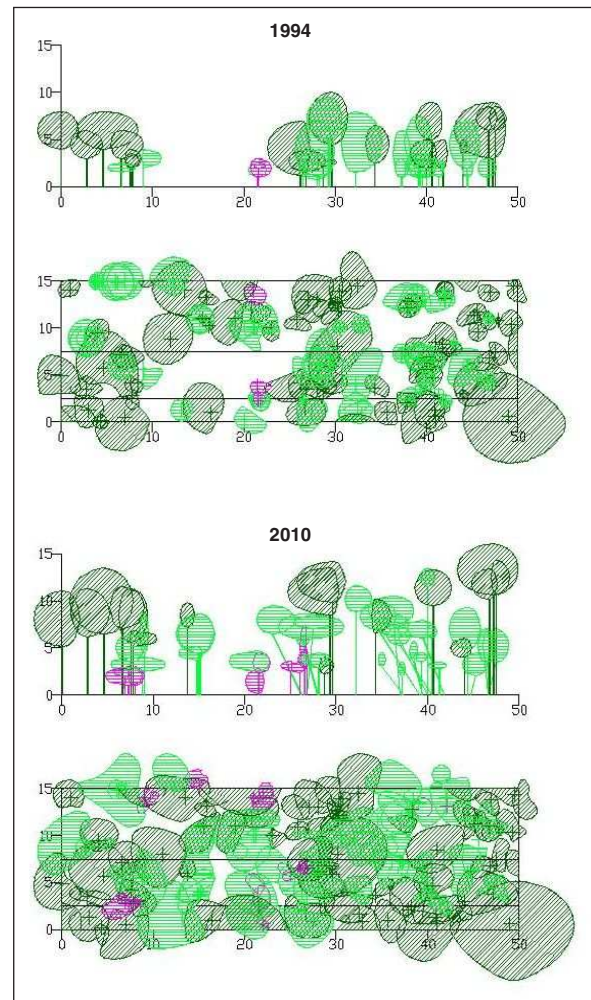


Figura 4 - Foresta dei Settefratelli - Acqueddas. Visualizzazione della struttura orizzontale e verticale del transect 2 nel 1994 e nel 2010 (■ *Quercus ilex*; ■ *Arbutus unedo*; ■ altre specie).

tra le specie si mantengono costanti nel tempo. Nell'area A2 invece il peso relativo del leccio si riduce fortemente in termini numerici e leggermente anche in area basimetrica con il conseguente aumento del corbezzolo e in definitiva del valore di SH-G nel 2010.

Relativamente ai parametri ecologici, in Fig. 5 si riportano graficamente i dati di indice di area fogliare (LAI) stimati nelle due aree a inizio e fine periodo di studio. Nel 1995, i valori di indice di area fogliare erano modesti (pari a $2,56 \pm 0,16 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ e $2,35 \pm 0,18 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ rispettivamente nell'area A1 e A2) e senza differenze significative tra le due aree. A distanza di 16 anni, il LAI risulta raddoppiato nell'area A1 ($5,16 \pm 0,34 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$) e incrementato del 60% nella A2 ($5,86 \pm 0,12 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$), anche se permane l'assenza di differenze significative tra le due aree. In maniera analoga si comporta la trasmittanza (Fig. 6) che si riduce da $10,17 \pm 2,21 \%$ (A1) e $10,17 \pm 0,98 \%$ (A2) registrata nel 1995 a $2,91 \pm 0,70 \%$ e $3,17 \pm 0,56 \%$ rispettivamente nell'area A1 e A2 nel 2011.

I valori di Leaf Weight Ratio (LWR) sono risultati costanti nel tempo e, unitamente a quelli del Relative Growth Rate (RGR), definiscono la maggior efficienza in termini di allocazione delle risorse dell'area A1 (Tab. 4), caratterizzata da valori inferiori di LWR ($1,6$ contro $2,7$ dell'area A2 nel

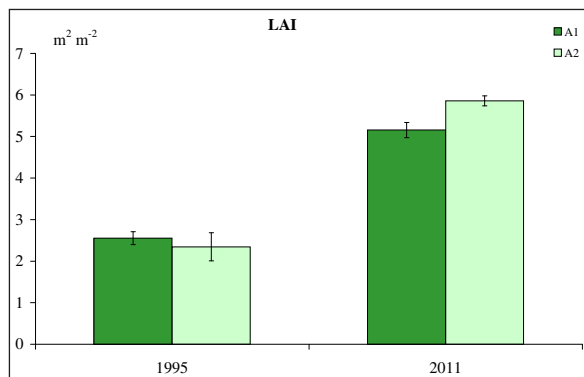


Figura 5 - Foresta dei Settefratelli - Acqueddas. Indice di area fogliare (LAI), relativo agli anni 1995 e 2011 nelle due aree (A1 e A2).

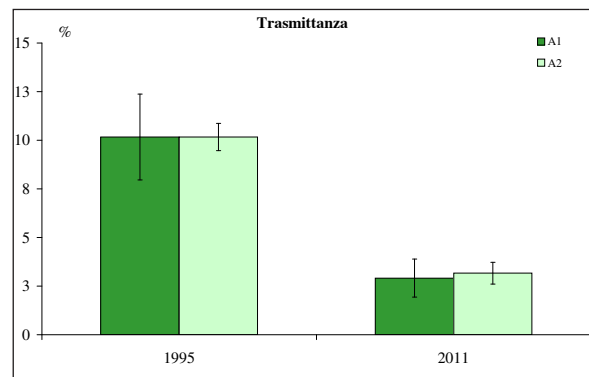


Figura 6 - Foresta dei Settefratelli - Acqueddas. Trasmissione (%) media annua relativa agli anni 1995 e 2011 nelle due aree (A1 e A2).

2010) e maggiori di RGR (2,6 contro 1,9).

Discussione e conclusioni

Le principali variabili dendrometriche (densità e area basimetrica) analizzate collocano i popolamenti oggetto di studio nel *range* di variazione registrato da Gracia e Retana (1996) per popolamenti spagnoli strutturalmente simili. Valori maggiori sono stati invece rilevati in un ceduo invecchiato di 55 anni del Gargano (Marziliano 2009) e in cedui avviati ad alto fusto nella Foresta di Is Cannoneris (Amorini et al. 1996a, b, Bertini et al. 2012). Quest'ultima peraltro si caratterizza per tassi di accrescimento superiori (Amorini et al. 1996a) a quelli riscontrati in questo studio per la maggior fertilità stazionale. Coerentemente con gli indicatori dendrometrici, pure i valori di biomassa sono tendenzialmente collocati al di sopra dei valori medi osservati in altre aree del Mediterraneo (Retana et al. 1992, Mayor e Rodà 1993, Huc e Ducrey 1996, Amorini et al. 1996a, b, Bonin e Romane 1996, Enjbal et al. 1996).

Anche i valori di LAI sono risultati superiori a quelli riscontrati in un ceduo di leccio di 30 anni dopo 10 anni dal diradamento (Huc e Ducrey 1996) e simili a quelli rilevati in due popolamenti puri di leccio siti nel nord-est della Spagna (Sala et al. 1994).

Le differenze tra le aree in termini di fertilità stazionale ed intensità del taglio di avviamento hanno condizionato quantitativamente e qualitativamente le dinamiche evolutive del soprassuolo.

Nel 1994, a distanza di 9 anni dal primo intervento di diradamento i dati hanno evidenziato in entrambe le aree, una struttura estremamente semplificata, una scarsa diversità specifica, una ridotta copertura, valori di LAI bassi e di trasmittanza piuttosto elevati in considerazione delle caratteristiche della specie. Questi caratteri sono risultati più accentuati nell'area A2, meno fertile e dotata di una copertura contraddistinta da vuoti consistenti. I valori degli indici di diversità strutturale hanno evidenziato popolamenti tendenzialmente monoplani ed una modalità di aggregazione sul piano orizzontale regolare nell'area A1 e a gruppi nella A2.

Nel 2010, 25 anni dopo il taglio di avviamento, è stato

registrato un aumento consistente del numero di piante ad ettaro in ambedue le aree, particolarmente marcato nell'area A2 dove il corbezzolo ha colonizzato la maggior parte dei vuoti nella copertura che si erano creati con l'intervento di diradamento. Ciò ha provocato un rafforzamento della struttura a gruppi, mentre non ha influenzato né la diversità sul piano verticale né la diversità specifica, relativamente modesta ma comunque in linea con quella riscontrata in altri popolamenti cedui di leccio invecchiati (la Marca et al. 1995, Manetti et al. 2009). Al contrario, nell'area A1, più fertile e caratterizzata da una minore riduzione di densità, la copertura è prevalentemente costituita dal leccio con un basso indice di stratificazione verticale. La chiusura quasi totale del piano delle chiome in entrambe le aree è sottolineata dai parametri della copertura analizzati che hanno evidenziato una netta riduzione della trasmittanza e un aumento consistente sia dell'indice di area fogliare sia del grado di sovrapposizione delle chiome. Anche se il trattamento applicato ha ridotto la copertura arborea in entrambe le aree, e in modo particolare nell'area A2 oltretutto anche meno fertile, il recupero dopo 25 anni è stato analogo e ciò conferma alcuni risultati precedentemente ottenuti (Amorini et al. 1996a, b, Fabbio et al. 1996, Cutini 2002), ovvero che la maggiore entità di prelievo non incide in modo sostanziale sui caratteri della copertura arborea a lungo termine.

Infine anche i risultati riguardanti il Leaf Weight Ratio (LWR) e il Relative Growth Rate (RGR) indicano una migliore efficienza nell'uso delle risorse nell'area A1 per la prevalenza della biomassa legnosa rispetto alla quantità di foglie (Cutini 1994a).

Nel complesso i risultati hanno evidenziato la reazione positiva del popolamento al taglio di avviamento in termini di accrescimento e di recupero della copertura in entrambe le aree, anche se l'eccessiva riduzione della den-

Tabella 4 - Acqueddas - Foresta dei Settefratelli. Valori percentuali di Leaf Weight Ratio (LWR) e Relative Growth Rate (RGR) registrati nelle due aree.

	Area A1	Area A2
LWR 1994	1,7	2,6
LWR 2010	1,6	2,7
RGR	2,62	1,84

sità nell'area A2 non ha permesso la completa ricostituzione della copertura da un punto di vista qualitativo.

In conclusione si può affermare che la politica del taglio di avviamento può essere perseguita anche in situazioni di produttività non ottimali, modulando l'intensità e la modalità di prelievo in funzione delle condizioni stazionali, della fertilità e della composizione specifica della componente arborea e arbustiva.

Ringraziamenti

Gli autori ringraziano gli anonimi revisori per i suggerimenti che hanno contribuito a migliorare la prima stesura del lavoro.

Bibliografia

- AA.VV. 1991 - *Carta dei Suoli della Sardegna*. Aru A., Baldaccini P., Vacca A. (a cura di). RAS-Università di Cagliari, Cagliari.
- Amorini E., Bruschini S., Cutini A., Fabbio G., Manetti MC. 1996a - *Studi su struttura e processi ecologici in popolamenti di leccio della Sardegna meridionale*. Comunicazione di ricerca ISAFA, Trento, 96/1: 35-48.
- Amorini E., Bruschini S., Cutini A., Fabbio G., Manetti MC. 1996b - *Silvicultural treatment of holm oak (Quercus ilex L.) coppices in Southern Sardinia: thinning and related effects on stand structure and canopy cover*. Annali Istituto Sperimentale per la Selvicoltura XXVII: 167-176.
- Atzori P. 2004 - *Interventi selvicolturali di avviamento all'alto fusto di cedui mediterranei: analisi strutturali ed osservazioni ecofisiologiche*. Tesi di Laurea, UNITUS, 109 p.
- Bertini G., Fabbio G., Piovosi M., Calderisi M. 2012 - *Densità di biomassa e necromassa legnosa in cedui invecchiati di leccio in Sardegna e di faggio in Toscana*. Forest@ 9: 108-129.
- Bonin G., Romane F. 1996 - *Chêne vert et chêne pubescent. Histoire, principaux groupements, situation actuelle*. Forêt Méditerranéenne XVII (3): 119-128.
- Borghetti M., Magnani F. 2009 - *Controllo dell'uso dell'acqua negli ecosistemi forestali*. In: Ciancio O. (a cura di) "Atti Terzo Congresso Nazionale di Selvicoltura per il miglioramento e la conservazione dei boschi italiani" Taormina, 16-19 ottobre 2008. Accademia Italiana di Scienze Forestali, Firenze, Volume I: 442-446.
- Brandini P., Tabacchi G. 1996 - *Modelli di previsione del volume e della biomassa per i polloni di leccio e di corbezzolo in boschi cedui della Sardegna meridionale*. Comunicazioni di ricerca ISAFA, 96/1: 59-69.
- Ciancio O., Iovino F., Menguzzato G. 2002 - *Prove sperimentali di avviamento a fustaia con il metodo del rilascio intensivo di allievi: i cedui di leccio in Aspromonte (Calabria)*. In: "Il bosco ceduo in Italia", Ciancio O., Nocentini S. eds., Accademia Italiana di Scienze Forestali, Firenze: 325-342.
- Cotillas M., Sabaté S., Gracia C., Espelta J.M. 2009 - *Growth response of mixed mediterranean oak coppices to rainfall reduction. Could selective thinning have any influence on it?* Forest Ecology and Management 258: 1677-1683.
- Cox F. 1971 - *Dichtebestimmung und Strukturanalyse von Pflanzenpopulationen mit Hilfe der Abstandsmessungen*. Mitt. Bundesforschungsanst. Forst und Holz Zeitschrift 87 (X): 1-182.
- Cutini A. 1994a - *Indice di area fogliare, produzione di lettiera ed efficienza di un ceduo di cerro in conversione*. Annali Istituto Sperimentale per la Selvicoltura XXIII: 147-166.
- Cutini A. 1994b - *La stima del LAI con il metodo delle misure di trasmittanza in popolamenti diradati e non diradati di cerro*. Annali Istituto Sperimentale per la Selvicoltura XXIII: 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. 2002 - *Litterfall and Leaf Area Index in the CONECOFOR Permanent Monitoring Plots*. Journal of Limnology 61 (1): 62-68.
- Cutini A., Mascia V. 1996 - *Silvicultural treatment of holm oak (Quercus ilex L.) coppices in Southern Sardinia: effects of thinning on water potential, transpiration and stomatal conductance*. Annali Istituto Sperimentale per la Selvicoltura XXVII: 47-53.
- 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., Giulietti 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*. Annali CRA - Istituto Sperimentale per la Selvicoltura XXXI: 95-107.
- Dafis S., Kakouros P. 2006 - *Guidelines for the rehabilitation of degraded oak forests*. Greek Biotope/Wetland Centre, Therni, 40 p.
- Delogu G., Passino AM. 1983 - *I suoli su substrati acidi in Sardegna. Nota IV. I suoli Del Massiccio dei Sette Fratelli*. Studi Sassaressi, Sez. III, Annali Facoltà di Agraria Università di Sassari XXX: 45-56.
- Di Matteo G., De Angelis P., Scarascia Mugnozza G. 2009 - *Risposte ecofisiologiche dopo interventi di conversione ad alto fusto*. In: Ciancio O. (a cura di) "Atti del Terzo Congresso Nazionale di Selvicoltura per il miglioramento e la conservazione dei boschi italiani" Taormina, 16-19 ottobre 2008. Accademia Italiana di Scienze Forestali, Firenze, Volume I: 482-487.
- Ducrey M., Toth J. 1992 - *Effects of clearing and thinning on height growth and girth increment in holm oak coppices (Quercus ilex L.)*. Vegetatio 99-100: 365-376.
- Enjalbal M., Grandjanny M., Maistre M., Perret P., Romane F., Shater Z. 1996 - *The holm oak (Quercus ilex L.) radial growth facing the rainfall unpredictability. An example in Southern France*. Annali Istituto Sperimentale per la Selvicoltura XXVII: 31-37.
- Fabbio G., Manetti MC., Puxeddu M. 1996 - *La lecceta: un ecosistema "in riserva"*. In: Atti VI Congresso Nazionale S.It.E., 17: 139-143.
- Fabbio G. 2010 - *Il ceduo tra passato e attualità: opzioni culturali e dinamica dendro-auxonomica e strutturale nei boschi di origine cedua*. In: Carraro V., Anfodillo T. (a cura di): Atti del 46° corso "Gestione multifunzionale e sostenibile dei boschi cedui: criticità e prospettive", S. Vito di Cadore (BL), 7-10 giugno 2010. Dipartimento Territorio e Sistemi agro-forestali Centro Studi per l'Ambiente Alpino, Università degli Studi di Padova: 27-45.
- Gardner TA. 2010 - *Monitoring forest biodiversity: improving conservation through ecologically responsible management*. Earthscan, London UK.

- Garfi V., Iovino F., Pellicone G. 2009 - *Influenza della densità del popolamento sulle variazioni di umidità del suolo in rimboschimenti di Pino d'Aleppo*. In: Ciancio O. (a cura di) "Atti del Terzo Congresso Nazionale di Selvicoltura per il miglioramento e la conservazione dei boschi italiani" Taormina, 16-19 ottobre 2008. Accademia Italiana di Scienze Forestali, Firenze, Volume I: 503-510.
- Gracia M., Retana J. 1996 - *Effect of site quality and thinning management on the structure of holm oak forests in northeast Spain*. Annals of Forest Science 53: 571-584.
- Huc R., Ducrey M. 1996 - *Ecophysiological response to thinning in a Quercus ilex L. coppice stand*. Annali Istituto Sperimentale per la Selvicoltura XXVII: 39-45.
- INFC 2005 - *Inventario Nazionale delle Foreste e dei serbatoi forestali di Carbonio*. Gasparini P., Tabacchi G. (a cura di). MiPAAF, Isp. Gen. - CFS, CRA-MPF. Bologna, Edagricole - Il Sole 24 ore, 2011.
- Iovino F., Menguzzato G. 2001 - *Valorizzazione colturale dei boschi cedui dell'Italia meridionale*. L'Italia Forestale e Montana 5: 362-376.
- la Marca O., Marziliano P.A., Moretti N., Pignatti G. 1995 - *Dinamica strutturale e floristica in un ceduo di leccio*. Annali Accademia Italiana Scienze Forestali XLIV: 235-256.
- Manetti MC., Bartolucci S., Bertini G., Piussi P., Sani L. 2009 - *Dinamiche naturali in formazioni forestali a prevalenza di leccio nel Parco Regionale della Maremma*. Forest@ 6: 186-198.
- Marziliano P.A. 2009 - *Analisi quali-quantitativa della necromassa in cedui invecchiati di leccio*. Forest@ 6: 19-28.
- Mayor X., Rodà F. 1993 - *Growth response of holm oak (Quercus ilex L.) to commercial thinning in the Montseny mountains (NE Spain)*. Annales des Sciences Forestières 50 (3): 247-256.
- Neumann M., Starlinger F. 2001 - *The significance of different indices for stand structure and diversity in forests*. Forest Ecology and Management 145: 91-106.
- Quézel P., Médail F. 2003 - *Écologie et Biogéographie des Forêts du Bassin Méditerranéen*. Paris: Elsevier, Collection Environnement.
- Retana J., Riba M., Castell C., Espelta JM. 1992 - *Regeneration by sprouting of holm-oak (Quercus ilex) stands exploited by selection thinning*. Vegetatio 99-100: 355-364.
- Sala A., Sabatè S., Gracia C., Tenhunen JD. 1994 - *Canopy structure within a Quercus ilex forested watershed: variations due to location, phenological development, and water availability*. Trees 8: 254-261.
- Shannon CE. 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.
- Strand L. 1953 - *Mal for fordelingen av individer over et område*. Det Norske Skogforsoksvesen 42: 191-207.
- Thompson J.R., Johnson K.N., Lennette M., Spies T.A., Bettinger P. 2006 - *Historical disturbance regimes as a reference for forest policy in a multiowner province: a simulation experiment*. Canadian Journal of Forest Research 36: 401-417.