



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DELLA
Tuscia



DAFNE
DIPARTIMENTO DI SCIENZE E
TECNOLOGIE PER L'AGRICOLTURA,
LE FORESTE, LA NATURA E L'ENERGIA

Via S. Camillo de Lellis s.n.c. 01100 - Viterbo
Direzione: Tel. 0761 357581
Amministrazione: Tel. 0761 357437-554 - Fax 0761 357434

RICERCHE DENDROECOLOGICHE NEL PARCO NAZIONALE DELLE FORESTE CASENTINESI, MONTE FALTERONA E CAMPIGNA

Novembre 2015-Ottobre 2016

Alfredo Di Filippo e Gianluca Piovesan

DendrologyLab, DAFNE, Università della Tuscia

Hanno contribuito:

Michele Baliva (misurazione dendrocronologiche, redazione relazione),
Emanuele Presutti Saba, Andrea Barbieri, Luca Di Fiore (rilievi di campo).

MATERIALI E METODI

I rilievi scientifici hanno interessato 4 soprassuoli dominati dal faggio all'interno del PNFC e sono stati effettuati attraverso diverse campagne di rilievi fra novembre 2015 e settembre 2016 (Tabella 1). I dati ottenuti dai nuovi carotaggi (85 campioni) si sono andati a sommare ai campioni prelevati nel corso dei precedenti Progetti di Ricerca (173 campioni). Per quanto riguarda Sasso Fratino, è stato coperto con i campionamenti buona parte del gradiente altitudinale della Riserva, fra 1500 e 800 m slm.

Gli obiettivi dello studio sono stati:

1. Incrementare la risoluzione spaziale della rete dendroecologica già sviluppata all'interno del PNFC per comprendere la funzionalità degli ecosistemi forestali a dominanza di faggio, descrivendo i principali gradienti bioclimatici che interessano la variabilità di crescita del faggio lungo un transetto altitudinale virtuale.
2. Identificare le principali unità fitoclimatiche che caratterizzano i suddetti ecosistemi forestali sulla base dei principali fattori climatici che ne condizionano la crescita, con lo scopo di delimitare aree ecologicamente omogenee in cui analizzare le dinamiche forestali.
3. Descrivere i trend multidecennali di produttività dello strato arboreo in relazione ai cambiamenti climatici osservati negli ultimi decenni.
4. Indagare la massima longevità realizzata dal faggio a quote differenti in ecosistemi con differente grado di naturalità, ricostruendo la storia del disturbo di ciascun popolamento grazie alle curve di incremento radiale degli alberi che in esso vegetano.
5. Descrivere il grado di naturalità delle foreste studiate in base a selezionati indicatori di naturalità di tipo crono-funzionale (longevità realizzata, storie auxologiche) e correlando i risultati degli studi dendroecologici con le loro caratteristiche strutturali.

Tabella 1. Caratteristiche strutturali e geografiche dei siti campionati.

	Foresta campionata	Grado di naturalità	Quota (m slm)	Rilievo dendroecologico (numero carote)	Rilievo strutturale picchio nero (N aree di saggio)
Maggio 2014	Sasso Fratino	Vetusta	1419 (1240-1485)	25	
Settembre-Ottobre 2014	Sasso Fratino	Vetusta	1419 (1240-1485)	22	
	Burraia	Gestita	1290 (1238-1355)	22	
	Campigna	Inizio Vetustà	1046 (917-1124)	26	3
	Campo alla Sega	Inizio Vetustà	682 (610-784)	23	
Giugno-Ottobre 2015	Sasso Fratino	Vetusta	1150 (1100-1200)	23	
	Sasso Fratino	Vetusta	1419 (1240-1485)	26	
	Campo alla Sega	Inizio Vetustà	682 (610-784)	6	
Gennaio - Luglio 2016	Sasso Fratino	Vetusta	1419 (1240-1485)	29	
	Campo alla Sega	Inizio Vetustà	682 (610-784)	29	
Settembre-Novembre 2016	Sasso Fratino	Vetusta	1150 (1100-1200)	27	

RISULTATI

Bioclimatologia delle faggete del Parco: i gradienti bioclimatici ed i trend di produttività lungo il transetto altitudinale

I campionamenti, svolti nel Parco fra 600 e 1500 m slm, hanno interessato faggi dominanti/codominanti della Riserva Integrale di Sasso Fratino (circa 750-1500 m slm), l'area sottostante di Campo alla Sega fino a raggiungere le vicinanze del Lago di Ridracoli (circa 600-800 m slm), varie faggete intorno a Campigna (circa 1000-1250 m slm), la faggeta di Burraia (circa 1240-1350 m slm) (Tabella 1). L'Analisi delle Componenti Principali (PCA), svolta analizzando simultaneamente tutte le singole serie individuali di crescita degli alberi campionati sul territorio esaminato, ha mostrato che nello spazio ecologico a due dimensioni, capace di spiegare oltre l'80% della varianza di crescita osservata, esiste una componente in grado di controllare la crescita legnosa a tutte le quote, il cui peso tende ad aumentare con la quota (Fig. 1). Questo fattore è legato al fabbisogno di calore a maggio per sostenere le attività metaboliche primaverili e il

bisogno di precipitazioni a luglio per alleviare lo stress idrico nel pieno dell'estate. Esiste poi un secondo fattore, che spiega il 60% circa della varianza di crescita, che contrappone l'ecologia delle faggete di bassa quota (sotto 800 m slm) a quelle di alta quota (sopra i 1300 m slm) (Fig. 1). Il fattore climatico che principalmente contrappone faggete di bassa ed alta quota è legato ai mesi estivi, soprattutto agosto, in cui a bassa quota è molto sentito il fabbisogno di precipitazioni invernali ed estive per alleviare lo stress idrico, mentre ad alta quota il faggio è avvantaggiato dal caldo ad agosto (Fig. 2). Le faggete di alta quota mostrano anche l'effetto positivo di un aprile freddo, segnale tipico delle faggete altomontane appenniniche, per ritardare l'ingresso in vegetazione e scappare dalle gelate tardive. In base al segnale climatico presente nella variabilità di crescita legnosa (Figg. 1-2) è quindi possibile distinguere le faggete del PNFC in tre principali fasce fitoclimatiche:

- Faggeta Altomontana: al di sopra dei 1300 m slm (faggeta vetusta di Sasso Fratino; Burraia).
- Faggeta Montana: 900-1300 m slm (faggeta vetusta di Sasso Fratino; faggete di Campigna).
- Faggeta Submontana: 600-900 m slm (faggeta vetusta di Campo alla Sega).

Questa organizzazione fitoclimatica su base dendroecologica si è già confermata in accordo con quanto osservato in studi vegetazionali condotti nel Parco (vedi relazione precedente; Viciani e Agostini 2008). Da un punto delle prossime ricerche, per completare il quadro finora descritto sarebbe opportuno incrementare la replicazione dei campioni intorno alle quote di 900 m e di 1300 m slm.

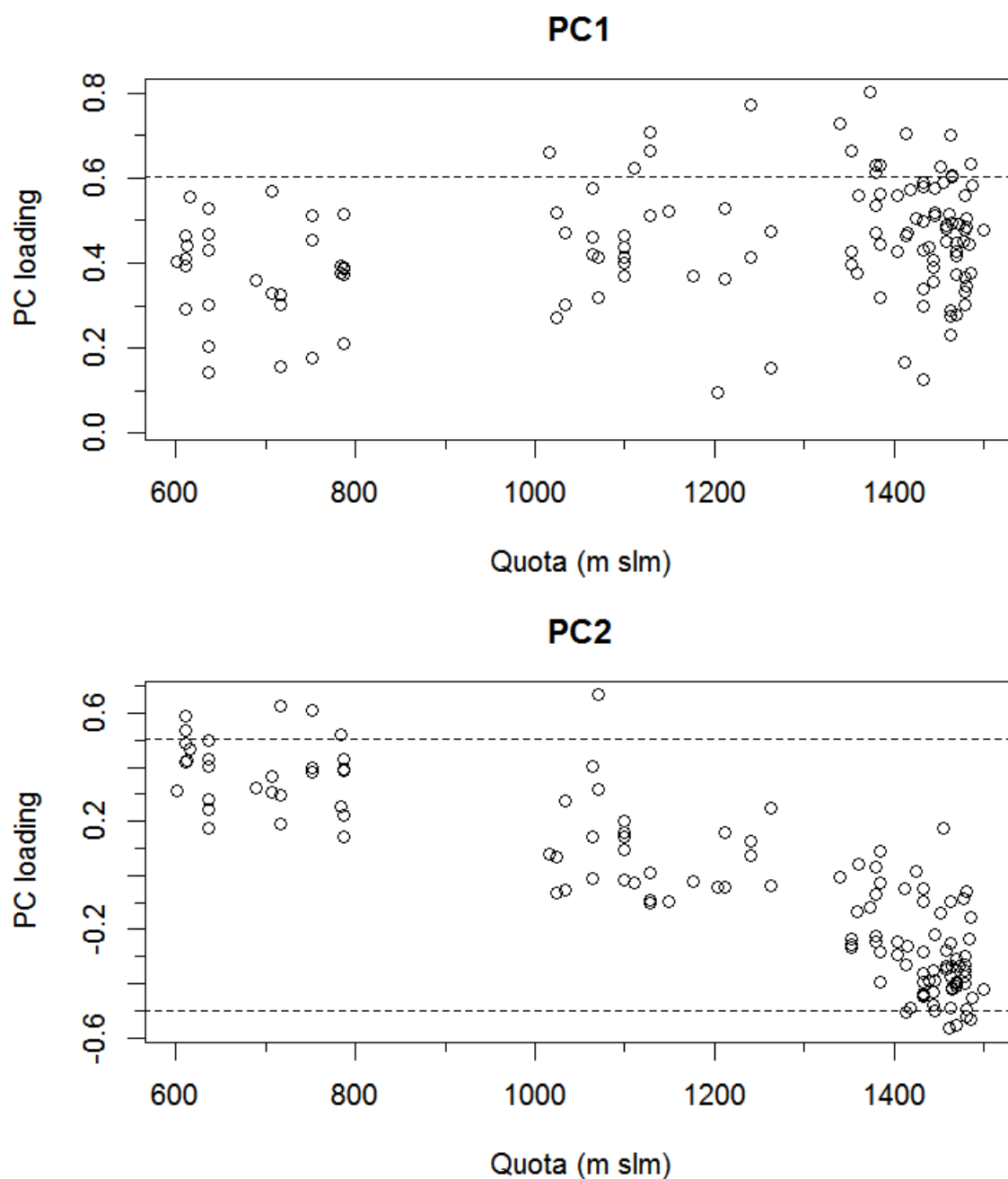
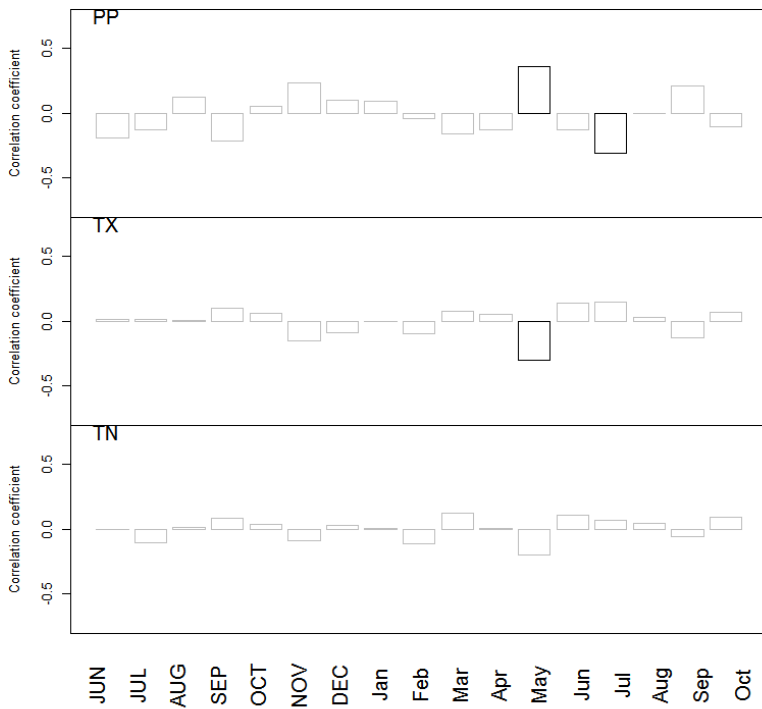


Figura 1. Andamento dei pesi (*loadings*) sulla prima e seconda componente principale (PC1-2) di tutte le serie individuali standardizzate dei siti campionati in funzione della quota. Linea tratteggiata: rappresenta il 75% del peso massimo assoluto sulla componente specificata. [Periodo d'analisi: 1950-2014].

CASENTINESI PC1



CASENTINESI PC2

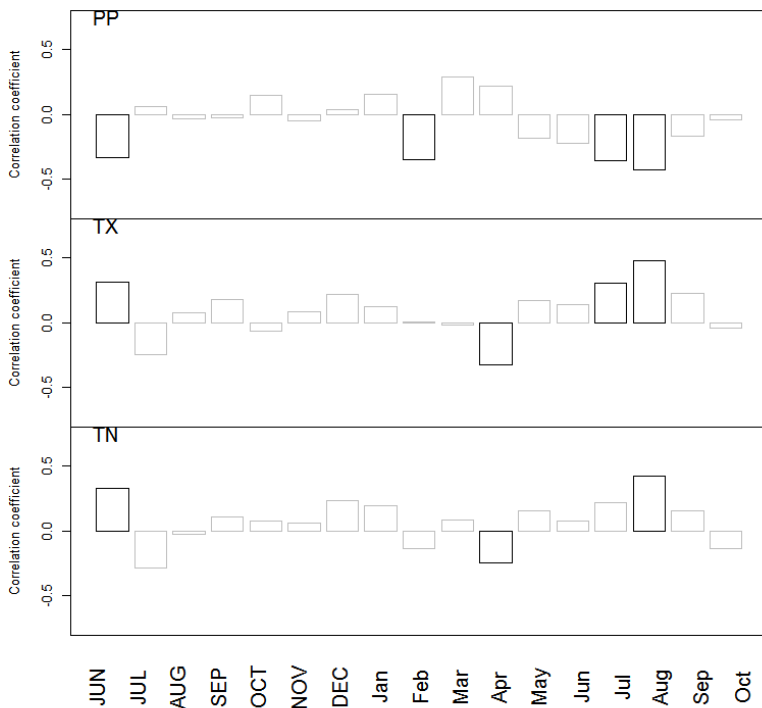


Figura 2. Funzioni di correlazione fra cronologia di punteggi (*scores*) delle prime due Componenti Principali (PC1-2) e fattori climatici mensili. Le barre con contorno nero denotano i fattori climatici significativi [PP, TX, TN: precipitazioni, temperature massime e minime; Periodo d'analisi: 1950-2014].

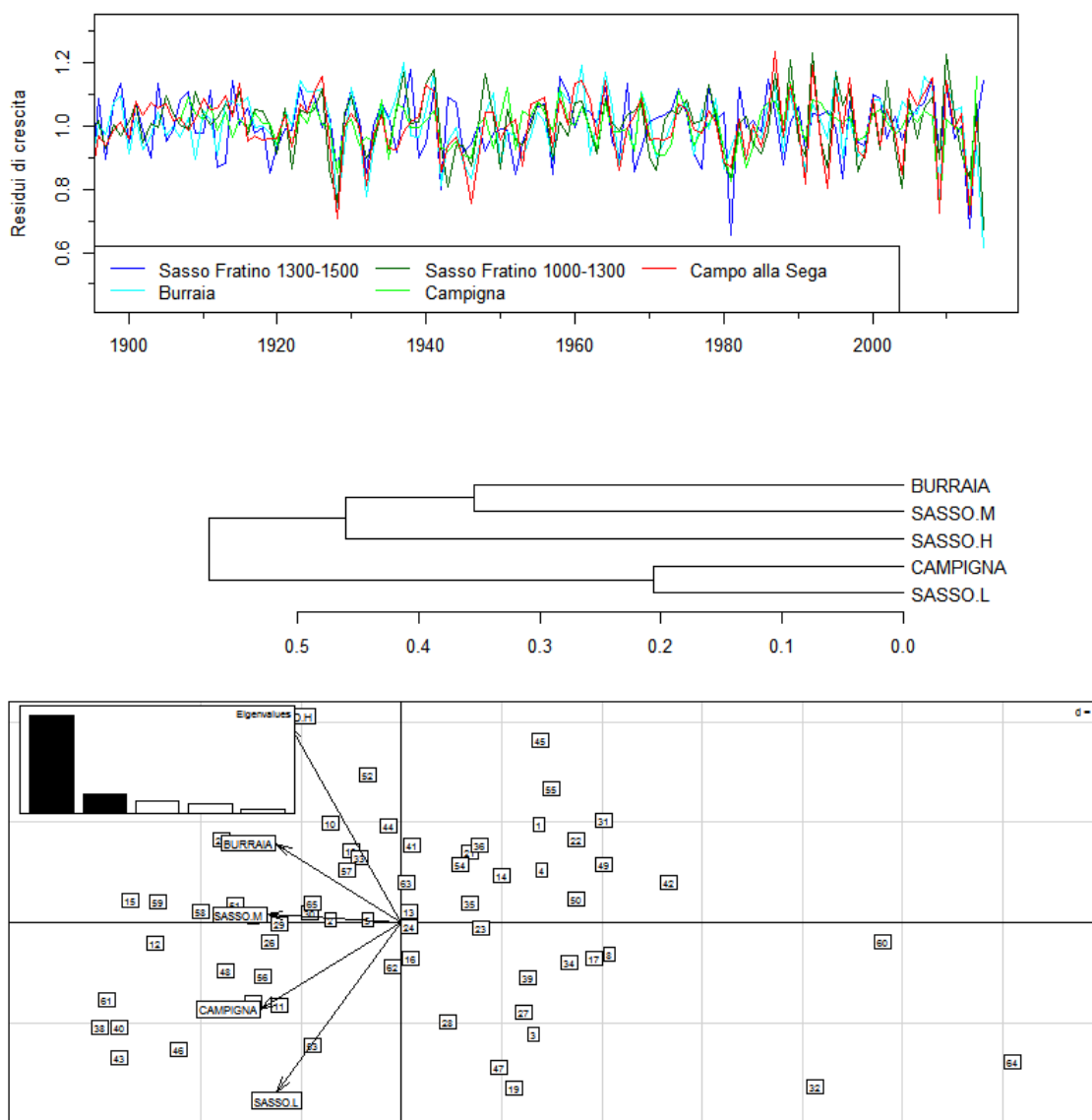


Figura 3. Organizzazione bioclimatica su base dendroecologica delle faggete del Parco Nazionale delle Foreste Casentinesi. (Alto) Cronologie standardizzate residuali che rappresentano i fattori climatici che limitano la crescita legnosa in ciascuna foresta. (Centro) Analisi gerarchica agglomerativa (*Hierarchical Cluster Analysis*), che separa/raggruppa le diverse foreste in base all'affinità del segnale climatico dominante. (Basso) Analisi delle Componenti Principali (PCA) che rappresenta la collocazione dei 5 siti nello spazio ecologico descritto dalle prime due componenti principali. [Periodo d'analisi: 1950-2014]

In conseguenza di questi risultati, sono state costruite le cronologie medie stazionali per ciascuno dei siti campionati in base alla fascia fitoclimatica di appartenenza (Fig. 3): Sasso Fratino altomontana (1300-1500 m), Burraia, Sasso Fratino montana (900-1300 m), Campigna, Sasso Fratino submontana-Campo alla Sega (600-800 m). Sono state costruite 5 cronologie stazionali utilizzando le numerose serie di crescita individuali presenti in ciascun sito (Tabella 1),

sottoponendole ai processi di amplificazione del segnale climatico (Di Filippo *et al.* 2007). L'analisi dendroclimatica delle 5 popolazioni di faggio campionate a quote diverse lungo il transetto altitudinale ha messo in evidenza come varia l'ecologia delle foreste studiate lungo il gradiente bioclimatico altitudinale. Innanzitutto, le diverse popolazioni di faggio hanno mostrato la presenza di un segnale comune che controlla parte della loro variabilità di crescita, con frequente coincidenza con i picchi minimi e massimi che rappresentano anni caratteristici di crescita (Fig. 3, in alto). Questo segnale comune è ben rappresentato dalla disposizione di tutti i 5 siti lungo la prima componente principale (PC1, asse x in basso in Fig. 3), anche se la loro disposizione lungo la seconda componente principale (PC2, asse y in basso in Fig. 3) ben descrive l'effetto della quota sulle dinamiche di crescita delle faggete del Parco. In effetti la quota condiziona fortemente le affinità fra siti: in base all'analisi gerarchica agglomerativa (*cluster analysis*, Fig. 3, al centro) Sasso Fratino altomontana è quella che bioclimaticamente si distingue di più, Burraia ha simile affinità fra le stazioni poste a quota superiore ed inferiore, mentre Campigna e Campo alla Sega mostrano un forte segnale comune (Fig. 3, in basso).

Nel quadro bioclimatico nazionale che si ottiene inserendo in un'HCA le faggete casentinesi nella Rete Dendroecologica Nazionale di faggete del DendrologyLab-UNITUS (Fig. 4), emerge che esse formano due unità bioclimatiche ben distinte (faggete altomontane e montane nord appenniniche, principalmente legate nel periodo d'analisi (1950-2000, comune alla maggior parte delle faggete della Rete) alle faggete alpine, soprattutto quelle delle Alpi Marittime. Questo segnale perché quest'ultime mostrano sì i segnali legati alle limitazioni termiche tipiche delle faggete alpine, ma al tempo stesso denotano una lieve presenza anche di siccità nei mesi estivi più caldi, segnale tipico delle faggete appenniniche. Questa corrispondenza richiamerebbe il ruolo biogeografico di transizione delle faggete dell'Appennino Settentrionale tra ecologia alpina ed appenninica.

Il quadro delle teleconnessioni (correlazioni fra cronologie geograficamente separate della stessa specie) con la rete dendroecologica delle faggete italiane mostra comunque un quadro bioclimatico abbastanza complesso (Figg. 5-9), data la posizione geografica di transizione dell'area di studio tra le faggete alpine e quelle appenniniche. Mentre Sasso Fratino altomontana si correla con faggete appartenenti alla corrispondente fascia sia alpina che centro-appenninica (Fig. 4), quelle montane e soprattutto quelle submontane presentano un complesso segnale climatico probabilmente legato all'esposizione settentrionale del versante che determina interessanti correlazioni, oltre che con faggete montane e submontane appenniniche ed alpine, anche con le

faggete altomontane appenniniche. Interessante la differenza fra Sasso Fratino altomontana e Burraia che, pur essendo accomunate nella stessa fascia, hanno legami differenti: il primo più con la fascia altomontana alpina, il secondo più con quella appenninica. Il legame di entrambe col faggio di Tarvisio (TRE in Fig. 4) evidenzia lo stretto legame della crescita in entrambi i siti con l'ingresso di correnti d'aria fredda da Nord-Est. Anche la fascia montana è interessante, perché Sasso Fratino continua a mantenere un maggior legame con gli analoghi siti alpini, mentre Campigna è maggiormente legata a quelli appenninici. Di notevole interesse per le ricerche future sarà approfondire in che modo la differente risposta di Sasso Fratino sia dovuta alla maggiore integrità ecosistemica o alla presenza di un mesoclima più favorevole dovuto alla vicinanza con il Lago.

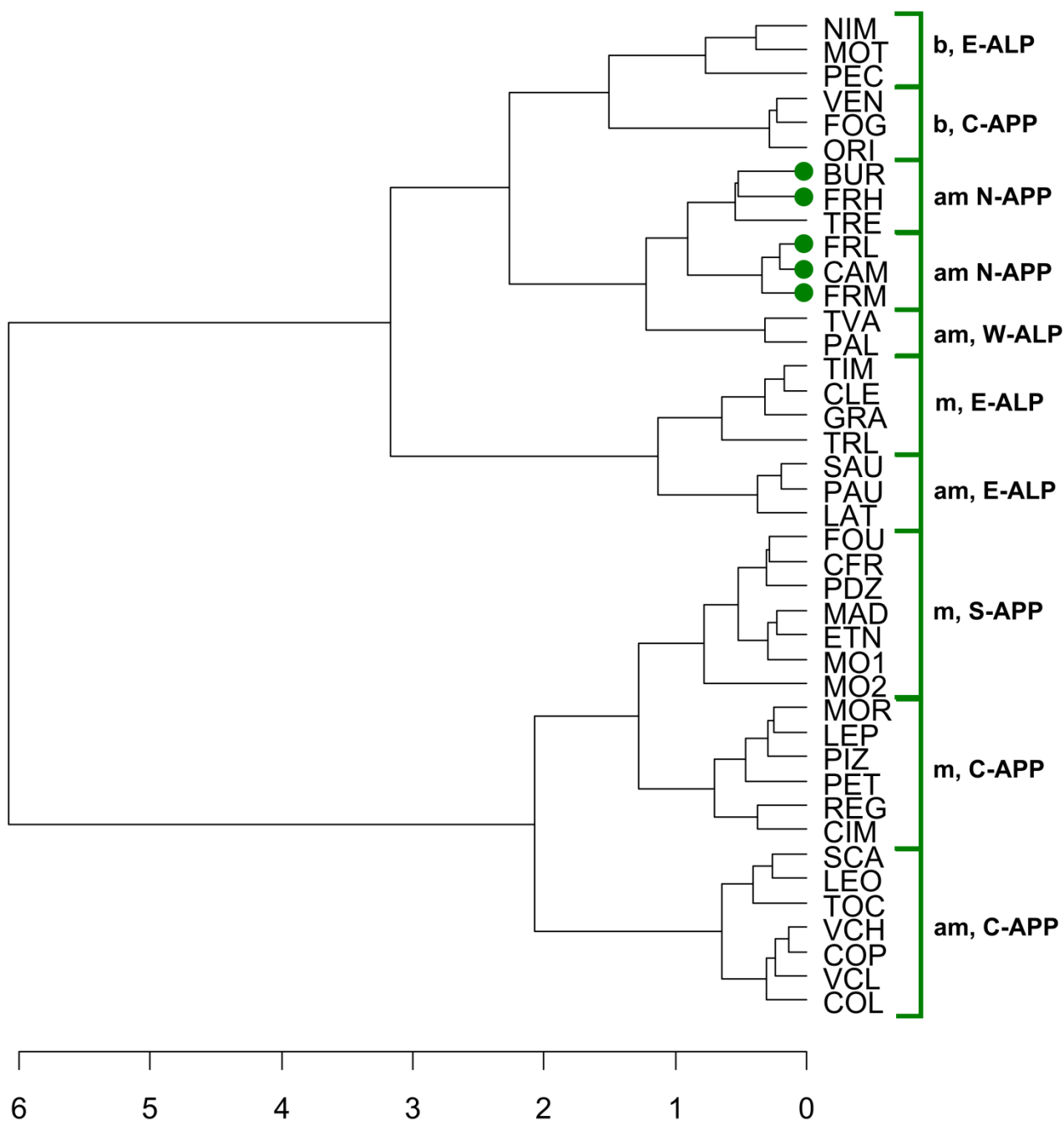


Figura 4. Rapporti bioclimatici su base dendroecologica delle faggete del Parco Nazionale delle Foreste Casentinesi (cerchi) con le faggete presenti nelle Rete Dendroecologica Nazionale DendrologyLab-UNITUS. L'analisi gerarchica agglomerativa (*Hierarchical Cluster Analysis*) separa/raggruppa le diverse foreste in base all'affinità del segnale climatico dominante. APP/ALP: Appennino/Alpi (con specifica della posizione rispetto ai punti cardinali); *b, m, am*: faggeta basale, montana, altomontana. [Periodo d'analisi: 1950-2000]

Sasso Fratino 1300-1500



Figura 5. Teleconnessioni fra il faggio di Sasso Fratino (1300-1500 m) e altre popolazioni di faggio italiane. Il colore di ogni simbolo rappresenta la significatività della correlazione (nero: $p < 0.01$; grigio: $p < 0.05$; puntini: siti non correlati). La forma di ogni simbolo rappresenta la fascia bioclimatica d'appartenenza (triangolo: faggete altomontane; cerchio: faggete montane; quadrato: faggete basali).

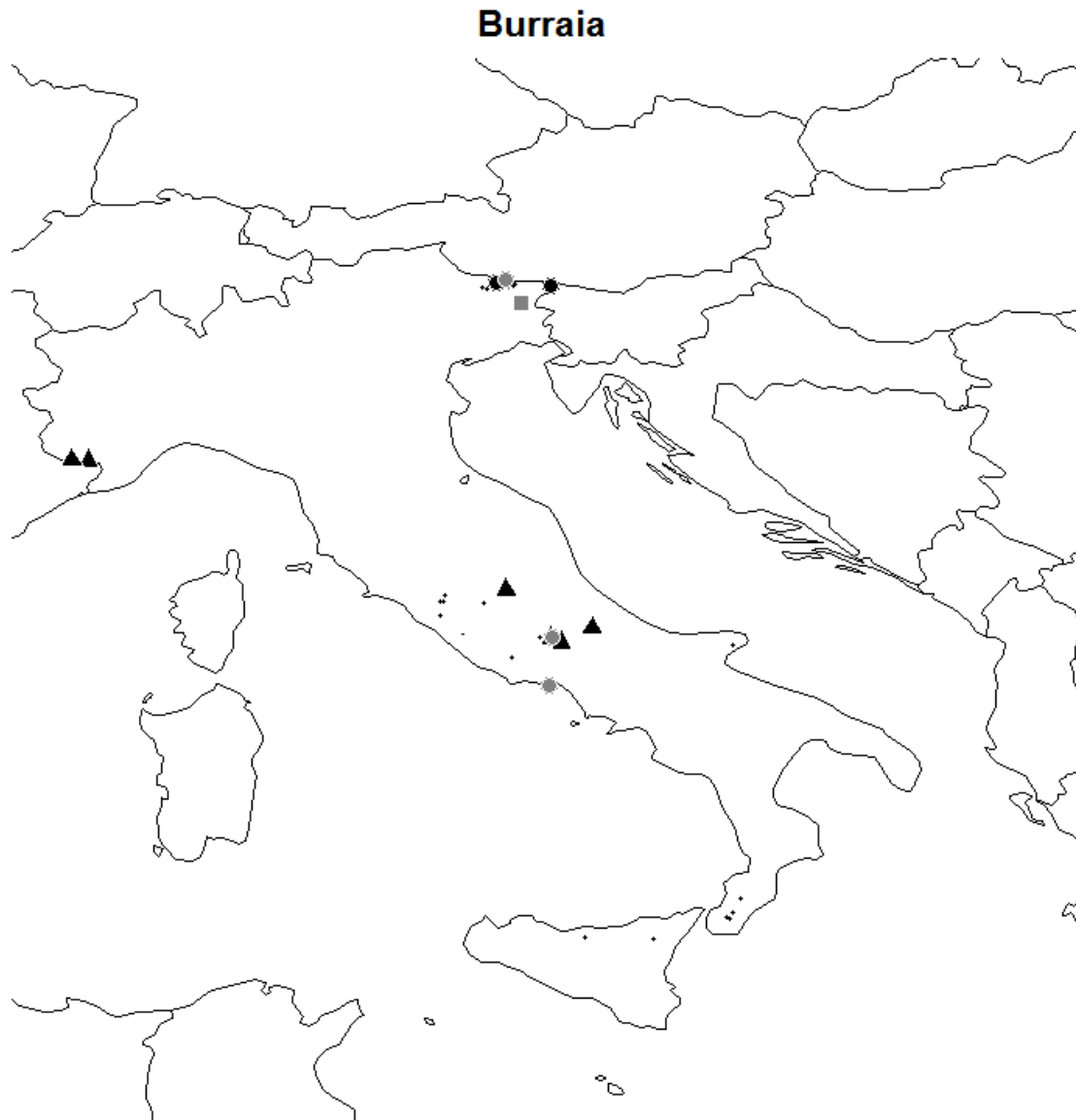


Figura 6. Teleconnessioni fra il faggio di Burraia e altre popolazioni di faggio italiane. Il colore di ogni simbolo rappresenta la significatività della correlazione (nero: $p < 0.01$; grigio: $p < 0.05$; puntini: siti non correlati). La forma di ogni simbolo rappresenta la fascia bioclimatica d'appartenenza (triangolo: faggete altomontane; cerchio: faggete montane; quadrato: faggete basali).

Sasso Fratino 1000-1300



Figura 7. Teleconnessioni fra il faggio di Sasso Fratino (1000-1300 m) e altre popolazioni di faggio italiane. Il colore di ogni simbolo rappresenta la significatività della correlazione (nero: $p < 0.01$; grigio: $p < 0.05$; puntini: siti non correlati). La forma di ogni simbolo rappresenta la fascia bioclimatica d'appartenenza (triangolo: faggete altomontane; cerchio: faggete montane; quadrato: faggete basali).

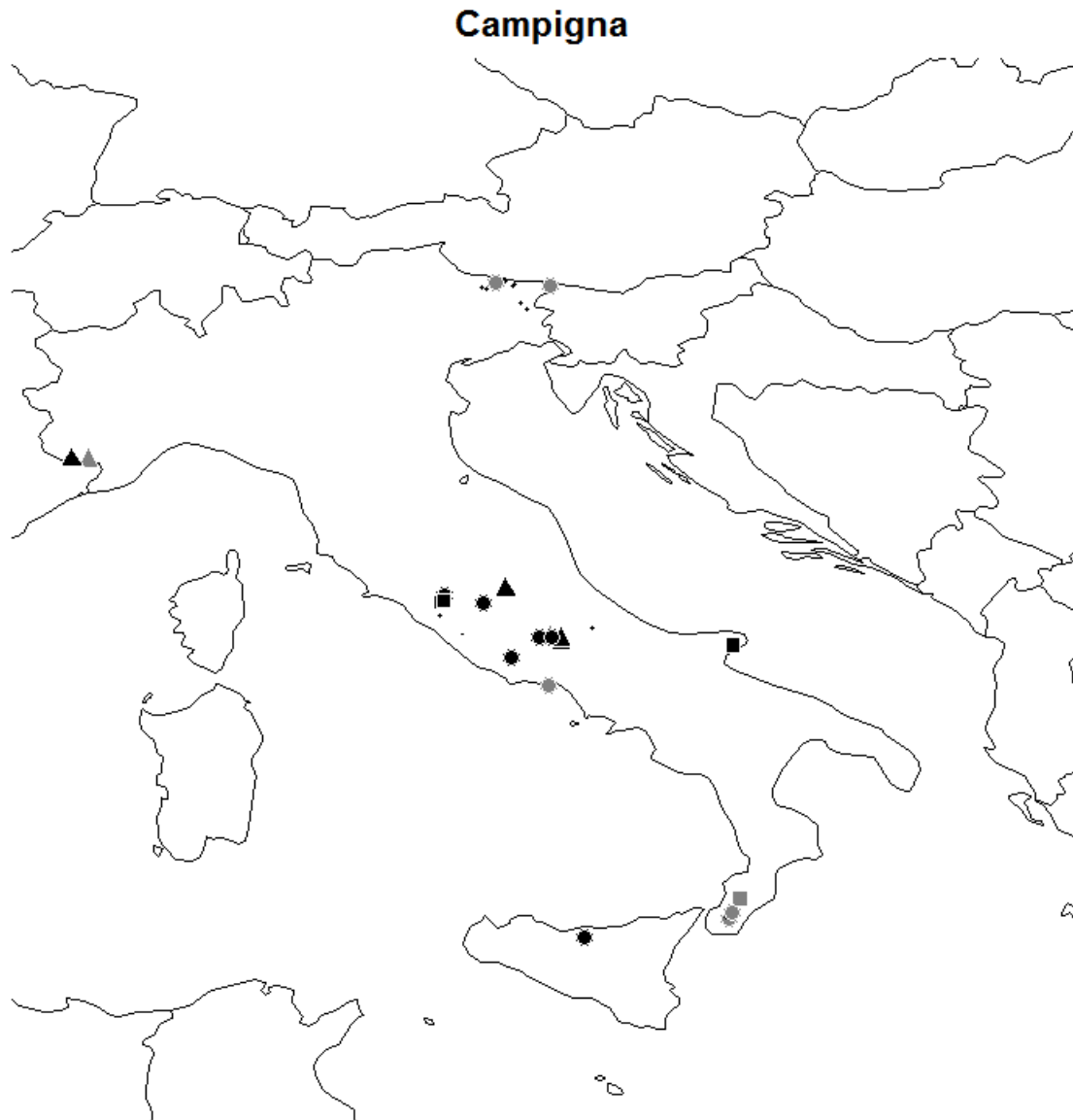


Figura 8. Teleconnessioni fra il faggio di Campigna e altre popolazioni di faggio italiane. Il colore di ogni simbolo rappresenta la significatività della correlazione (nero: $p < 0.01$; grigio: $p < 0.05$; puntini: siti non correlati). La forma di ogni simbolo rappresenta la fascia bioclimatica d'appartenenza (triangolo: faggete altomontane; cerchio: faggete montane; quadrato: faggete basali).

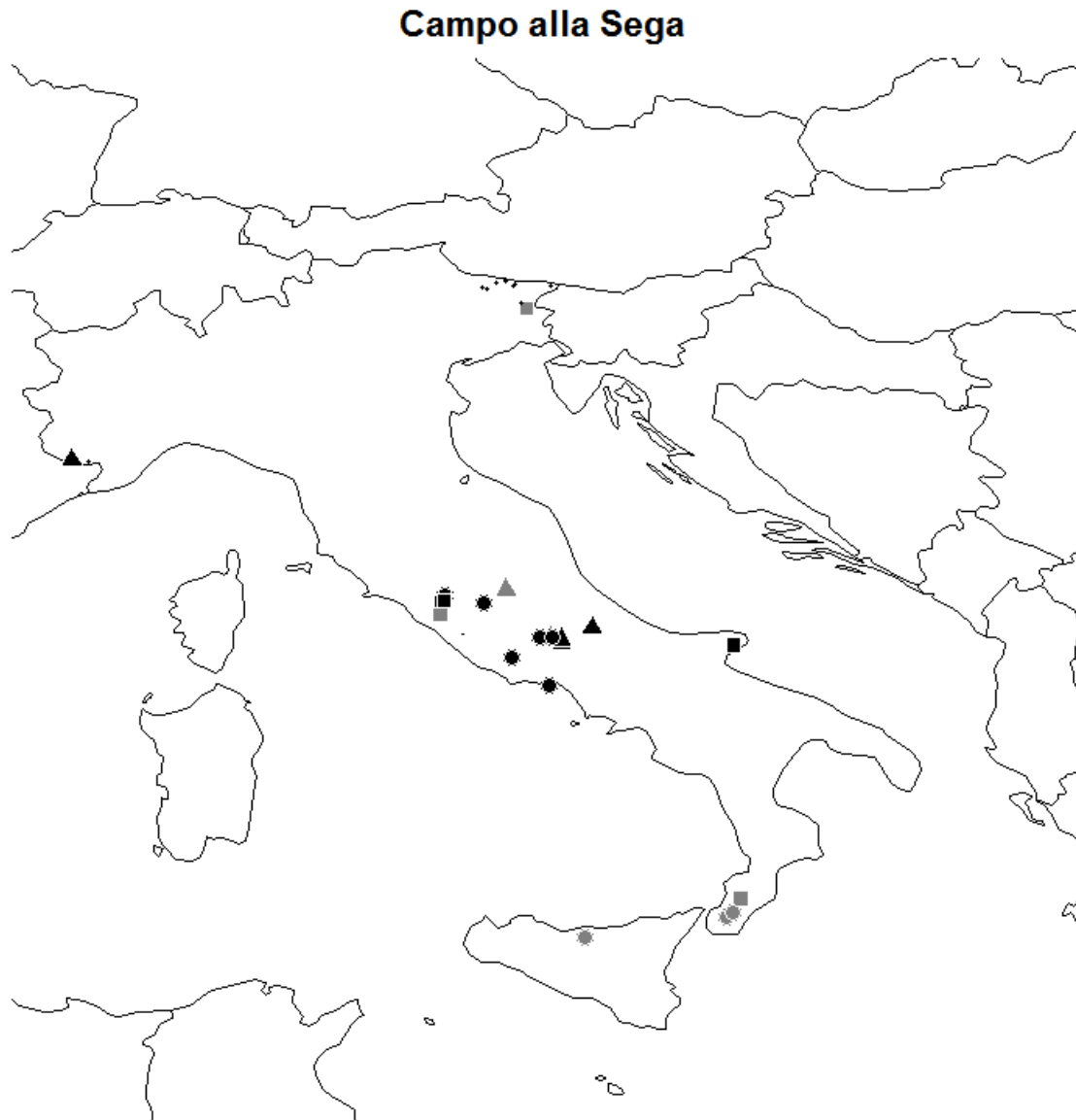


Figura 9. Teleconnessioni fra il faggio di Sasso Fratino - Campo alla Sega (600-800 m) e altre popolazioni di faggio italiane. Il colore di ogni simbolo rappresenta la significatività della correlazione (nero: $p < 0.01$; grigio: $p < 0.05$; puntini: siti non correlati). La forma di ogni simbolo rappresenta la fascia bioclimatica d'appartenenza (triangolo: faggete altomontane; cerchio: faggete montane; quadrato: faggete basali).

Le analisi correlative con le serie climatiche a a livello di singola foresta hanno confermato la complessità dei segnali racchiusi negli anelli legnosi (Figg. 10-14). In particolare, salendo da quote inferiori a quelle superiori si nota che l'effetto della siccità estiva sia massimo nella zona submontana a Campo della Sega (Fig. 14) ed è ancora presente fino a circa 1200 m nelle faggete di Campigna (Fig. 13), per perdere di significatività nei siti posti a quote superiori. Luglio è il mese in cui l'effetto della siccità si palesa in maniera più intensa, ma alle quote inferiori (Campo alla Sega) emerge un effetto di durata maggiore, che si prolunga anche ad agosto. Il variare di tali segnali climatici con la quota, ma soprattutto la centralità del mese di luglio risultano evidenti nelle analisi sull'utilizzazione del regime idrico del suolo e del rapporto P-PE elaborati con il programma Global Bioclimatic Belts (Gonnelli e Bottacci 2009). Interessante notare che a parità di quota, la faggeta vetusta di Sasso Fratino risponde meno alla siccità, probabilmente grazie alla maggior strutturazione del popolamento ed allo sviluppo del suolo rispetto alle faggete di Campigna, generalmente fustaie transitorie o fustaie alterate da tagli passati. E' anche possibile che sia presente un effetto mitigatore del Lago di Ridracoli sulle faggete di Sasso Fratino.

Con l'aumento della quota emerge l'azione limitante delle temperature primaverili, resa evidente da una correlazione diretta con le temperature di maggio e da un effetto negativo delle precipitazioni dello stesso mese (Figg. 5-7). Nella fascia più strettamente altomontana che caratterizza Sasso Fratino al di sopra dei 1300 m, emerge una serie di interessantissimi segnali climatici legati al fabbisogno termico – bisogno di freddo ad aprile per evitare i danni da gelate tardive, bisogno di caldo a maggio per sostenere il metabolismo primaverile e, soprattutto, effetto positivo/negativo di temperature/precipitazioni di fine estate. Quest'ultimo fattore lega direttamente la faggeta di quota di Sasso Fratino all'ecologia delle faggete altomontane delle Alpi Orientali, fatto che fa emergere che il ruolo di ponte biogeografico delle faggete casentinesi fra Alpi ed Appennino è in realtà esplicito grazie alla differenza ecologica lungo il gradiente ecologico coperto dalle faggete sull'Appennino Settentrionale .

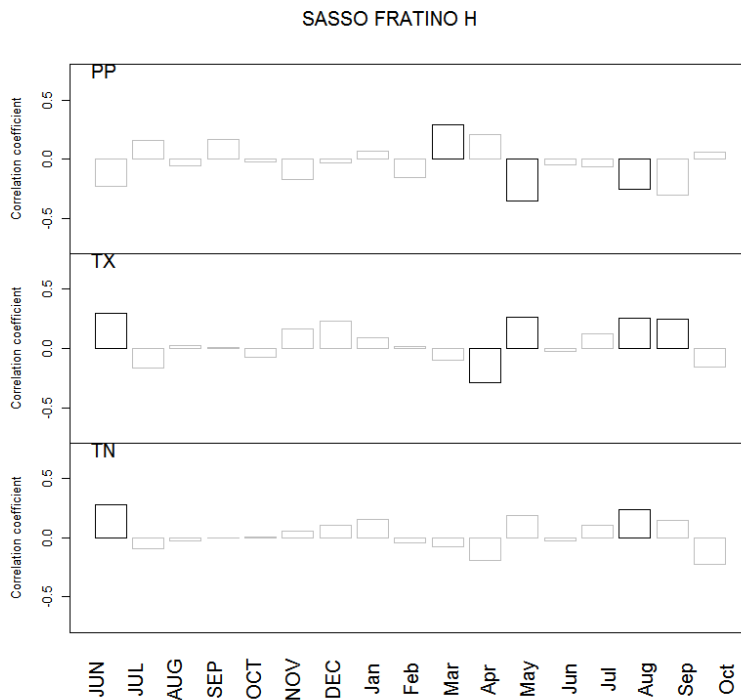


Figura 10. Funzioni di correlazione fra la cronologia standardizzata della faggeta di Sasso Fratino (1300-1500) e fattori climatici mensili. Le barre con contorno nero denotano i fattori climatici significativi [PP, TX, TN: precipitazioni, temperature massime e minime; Periodo d’analisi: 1950-2014].

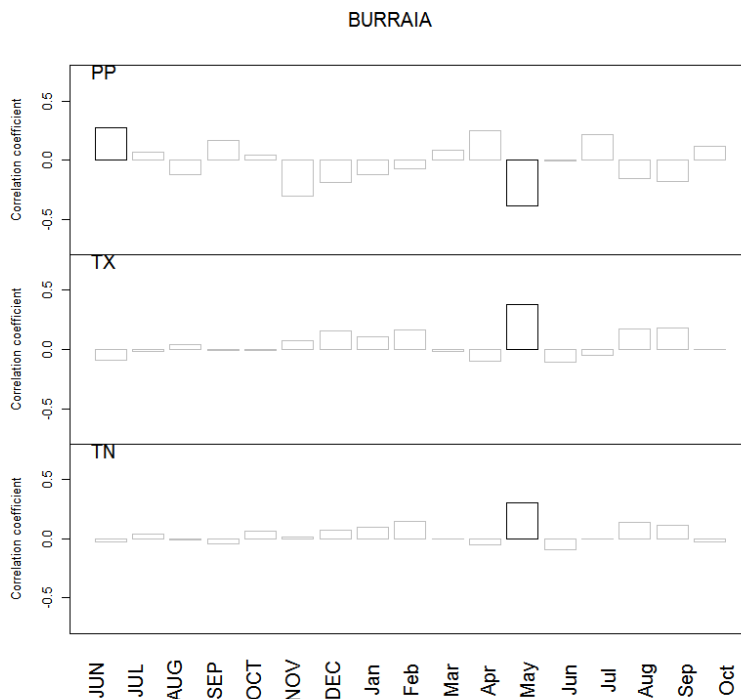


Figura 11. Funzioni di correlazione fra la cronologia standardizzata della faggeta di Sasso Fratino (1300-1500) e fattori climatici mensili. Dettagli in didascalia Fig. 10.

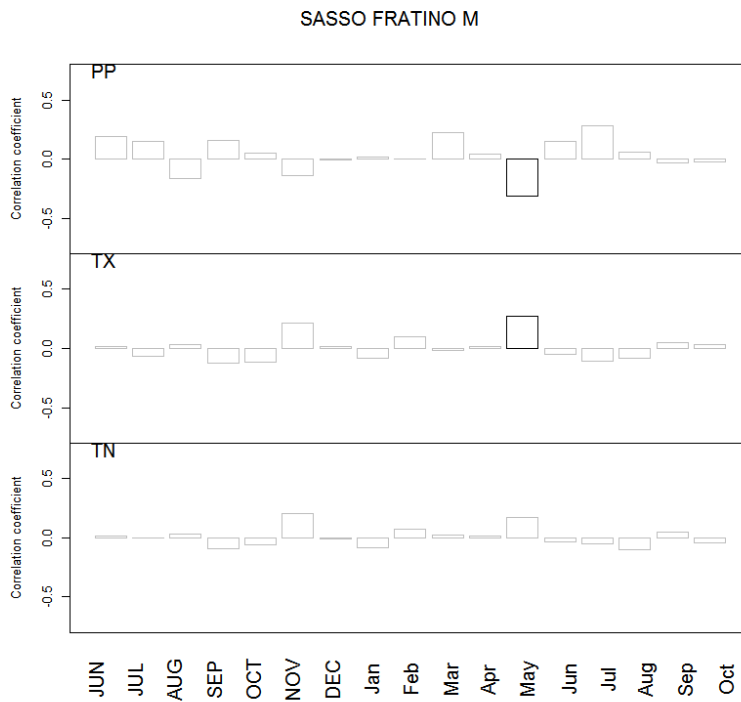


Figura 12. Funzioni di correlazione fra la cronologia standardizzata della faggeta di Sasso Fratino (1000-1300) e fattori climatici mensili. Dettagli in didascalia Fig. 10.

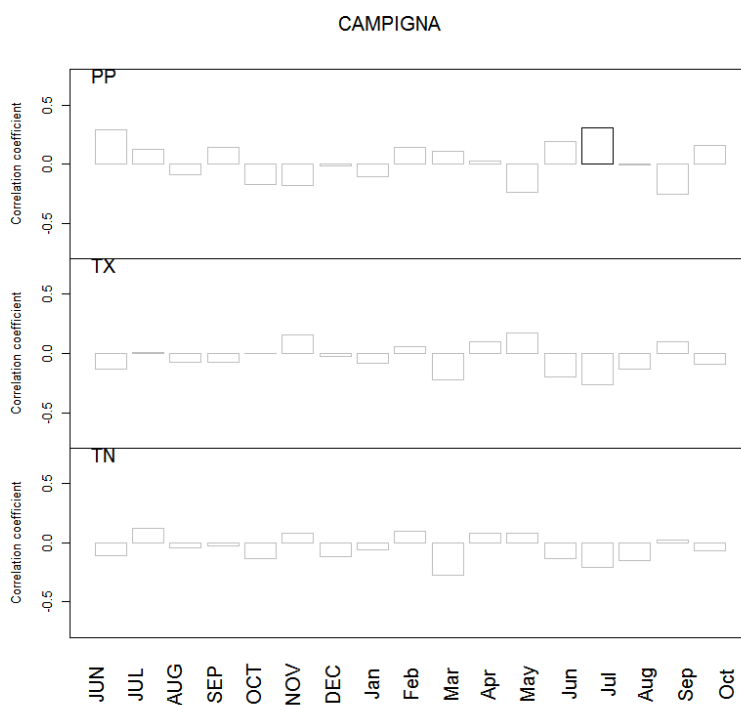


Figura 13. Funzioni di correlazione fra la cronologia standardizzata della faggeta di Campigna e fattori climatici mensili. Dettagli in didascalia Fig. 10.

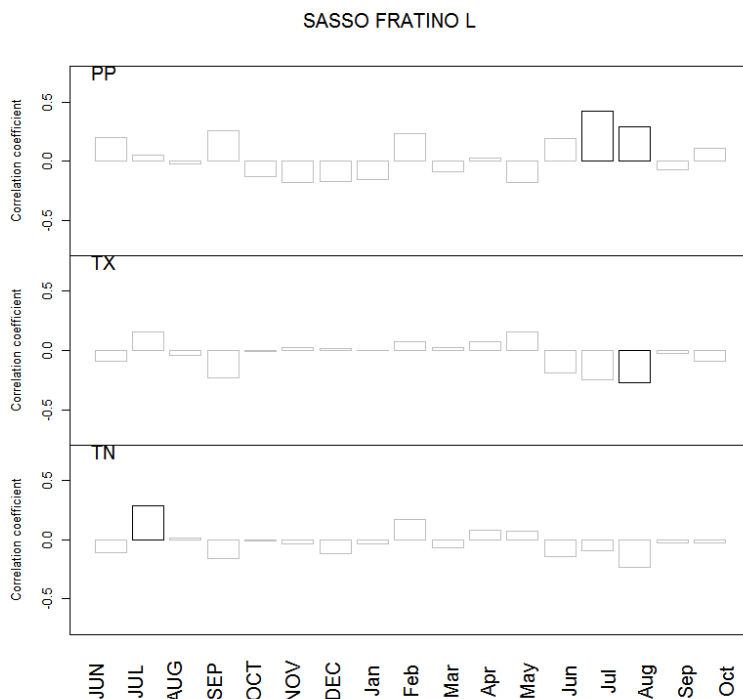


Figura 14. Funzioni di correlazione fra la cronologia standardizzata della faggeta di Campo alla Sega - Sasso Fratino (600-800) e fattori climatici mensili. Dettagli in didascalia Fig. 10.

La produttività media dei popolamenti forestali posti a quote diverse, misurata mediante l'incremento di area basimetrica (BAI, dall'inglese *Basal Area Increment*) (Tabella 3), ha mostrato che gli incrementi di crescita non sempre sono maggiori a quote inferiori, come atteso (Fig. 15). All'interno di ciascun sito i livelli di crescita sono risultati molto variabili, e si possono raggiungere picchi di 80-100 cm²/anno (riquadro in Fig. 15).

Per quanto riguarda i trend di produttività media dei popolamenti forestali posti a quote diverse è emerso che tutti i popolamenti esaminati hanno culminato il loro incremento tra fine anni 80 e inizi 2000. Queste culminazioni riflettono l'inaridimento climatico, realizzato a partire dagli anni 80 e progressivamente inasprito dagli anni 90 fino all'attualità, soprattutto per quanto riguarda le condizioni che interessano la stagione vegetativa (Piovesan *et al.* 2008). A questa culminazione è poi seguito un calo di produzione più o meno marcato fino a periodi recenti. Il declino di produzione legnosa è stato notevolmente più sentito alle quote intermedie e nei siti maggiormente gestiti (Campigna e Burraia, ma anche Sasso Fratino montana). Le cadute meno marcate si sono osservate a bassa quota (Campo alla Sega) e a Sasso Fratino altomontana, che

mantiene un andamento crescente più a lungo per poi culminare nel 2003 (anno con estate particolarmente anomala) quando il proprio BAI sembra aver iniziato un lento declino. Questa ritardata culminazione è da mettere in relazione alla particolare bioclimatologia di quota della stazione, in cui l'effetto della siccità non appare nel periodo indagato. E' invece interessante la capacità dei faggi di bassa quota di non declinare eccessivamente la crescita, il che potrebbe far pensare che siamo di fronte a genotipi particolarmente ben adattati al clima arido, proprio per la loro collocazione. Il fatto che invece a cadere di più siano le faggete della fascia intermedia (montana), fa pensare che l'inaridimento negli ultimi decenni sia stia espandendo a quote superiori, non pienamente adattate al cambiamento climatico. Inoltre, interessante dal punto di vista gestionale, è che sono proprio le faggete maggiormente alterate in suolo e struttura a causa dei tagli passati che sembrano mostrare una maggiore sofferenza in termini di crescita.

La longevità del faggio e gli indicatori crono-funzionali di naturalità forestale

I campionamenti dendroecologici hanno portato alla scoperta di alcuni fra i faggi più vecchi finora in Europa (circa 515 anni; Fig.). Con i campionamenti di questo Progetto di Ricerca sono state scoperti 4 faggi che superano abbondantemente i circa 400 anni di età scoperti precedentemente, sia da questo Laboratorio che altri ricercatori (Franco Biondi negli anni 80). Questa scoperta dimostra l'esistenza di un nutrito contingente di alberi plurisecolari nella Riserva Integrale di Sasso Fratino.

Notevole è anche la presenza di alberi con oltre 200 anni a quote basso montane – collinari (parte bassa di Sasso Fratino e Campo alla Sega, fatto non comune nelle faggete vetuste alpine ed appenniniche a simile quota, dove le età massime rinvenute si attestano intorno ai 150 anni.

Per quanto riguarda gli indicatori di naturalità che connotano le faggete indagate, si sono calcolati i principali indicatori crono-funzionali che meglio indicano lo stato di avanzamento delle faggete vetuste (Di Filippo et al. 2016). Questi indicatori sono definiti crono-funzionali perché basati sulla datazione dendroecologica di processi ecologici registrati dalle serie di crescita legnosa degli alberi e sulla quantificazione della loro intensità. In Tabella 2 è riportato il campo di variazione dei principali indicatori crono-funzionali identificati da Di Filippo et al. (2016) per le faggete vetuste primarie e secondarie altomontane, montane e submontane.

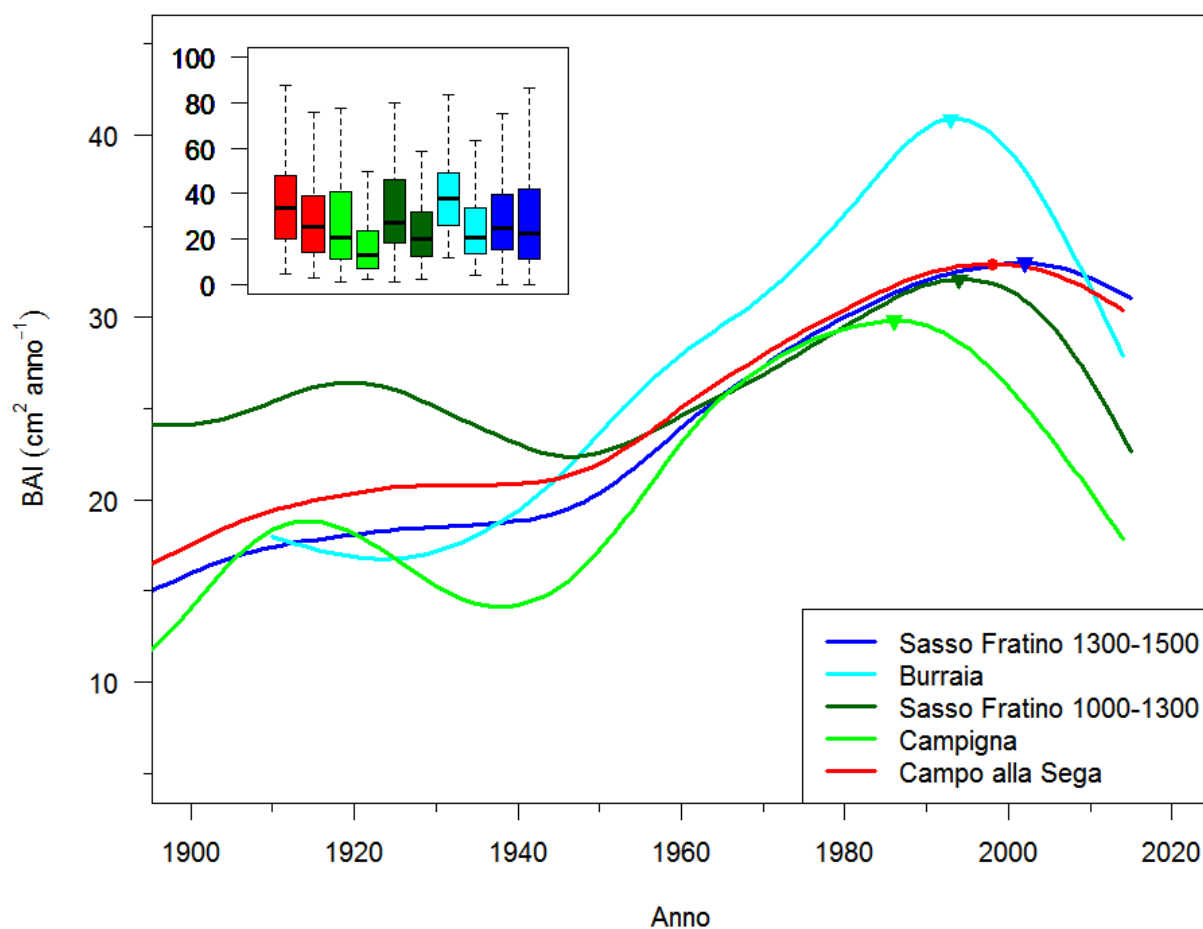


Figura 15. Cronologie stazionali grezze di incremento di area basimetrica (BAI) di ciascuna foresta durante gli ultimi 115 anni. Le cronologie sono state filtrate con *splines* cubiche (periodo= 50 anni) per amplificare la variabilità di crescita di bassa frequenza. I simboli sono collocati nel punto di culminazione dell'incremento legnoso (triangolo con punta verso basso/alto: decremento/incremento significativo fra picco e attualità; cerchio: trend di crescita non significativa). Riquadro: *boxplots* della distribuzione del BAI dei 5 anni a cavallo del massimo (a sinistra) e del periodo (2009-2014, a destra) per ogni sito.

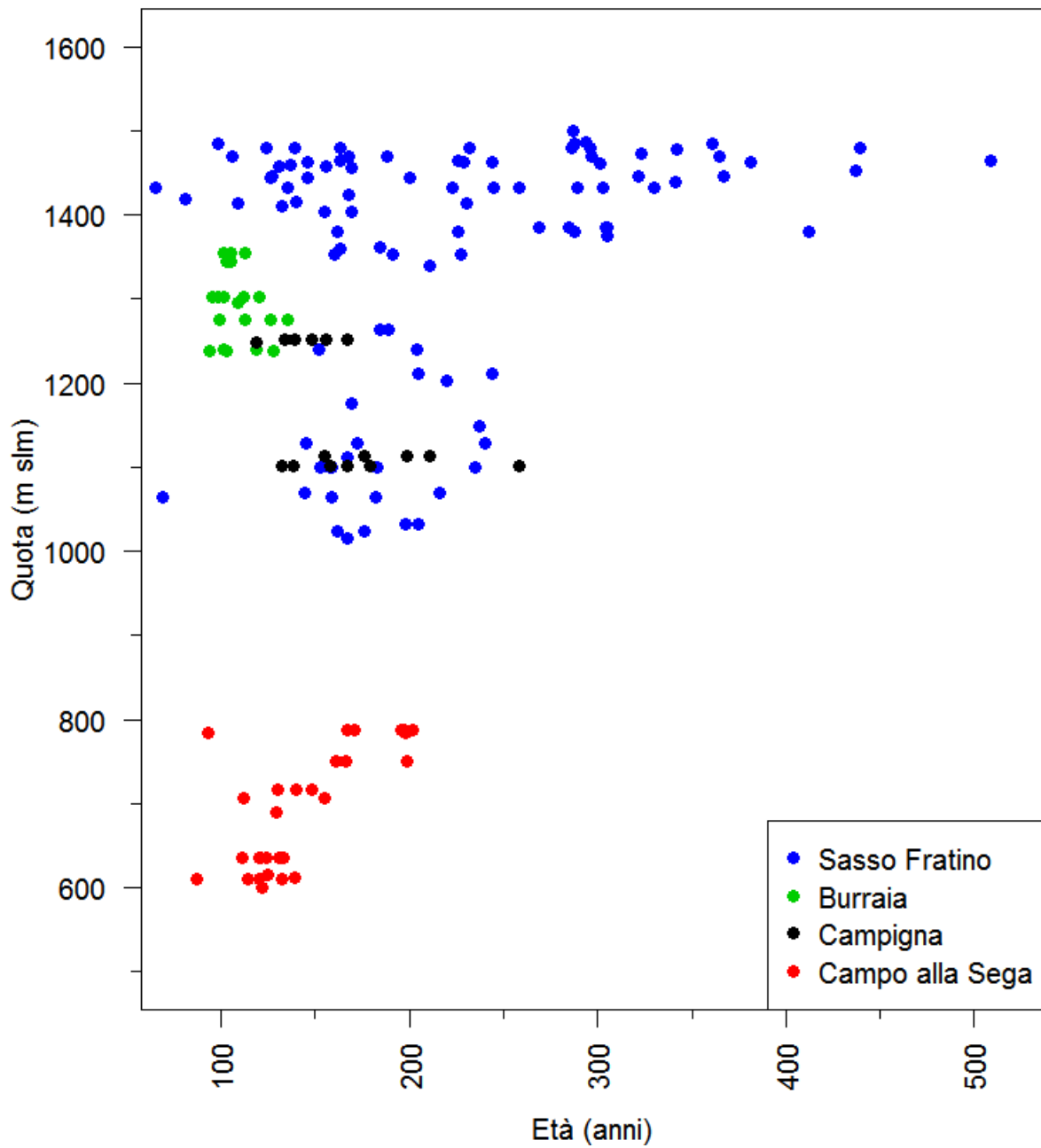


Figura 16. Relazione quota-età per singoli alberi campionati nei 4 siti. Sono stati utilizzati solo le carote che raggiungevano il centro della pianta.

Tabella 2. Intervallo di variazione dei principali attributi crono-funzionali delle faggete vetuste a seconda fascia bioclimatica: alto montana; montana; basale. OG1 e OG2: foresta vetusta primaria o secondaria (da Di Filippo *et al.* 2016).

	Metric	Unit	High-mountain		Mountain	Low-elevation
			OG1	OG2	OG2	OG2
SCI	Gini Coefficient	-	74-80	56-65	39-58	37-42
AI	MEAN	years	312-385	216-308	136-284	83-110
	RANGE3	years	322-371	105-257	74-199	49-57
	AGE3	years	514-528	342-435	185-320	114-132
	MAX	years	548-559	348-520	220-351	115-136
GHI	AuxoRANGE3	years	266-268	110-185	70-95	46-74
	AuxoSLOW3	years	360-397	242-309	100-243	66-106
DSI	Rel1Yr.D	-	82-90	83-90	53-79	68-73
	SupN.5	n	4.0-5.2	3.0-4.4	1.2-3.0	1.4-1.6
	SupL.5	years	70-117	49-77	14-36	10-21

SCI: Structural Complexity Indices. AI, GHI, DSI: Age, Growth History, Disturbance-Suppression Indicators.

Tabella 3. Indicatori crono-funzionali delle faggete campionate nel PNFC disposte secondo la fascia bioclimatica: altomontana; montana; basale. OG1 e OG2: foresta vetusta primaria o secondaria (da Di Filippo *et al.* 2016). In grassetto: nero, valori nel campo di variazione delle faggete vetuste secondarie; rosso, valori nel campo di variazione delle faggete vetuste primarie.

SITO	Media	SD	RANGE	RANGE3	AGE3	AGE5	MAX
<i>Faggete altomontane</i>							
Sasso Fratino 1300-1500	233	96	444	380	462	436	509
Burraia	109	12	41	34	130	126	135
<i>Faggete montane</i>							
Sasso Fratino 1000-1300	182	37	175	121	240	235	244
Campigna	166	31	139	94	223	206	258
<i>Faggete submontane</i>							
Campo alla Sega	143	32	115	112	201	200	202

I valori rinvenuti nelle faggete vetuste del PNFC (Tabella 3) hanno dimostrato che a tutte le quote le foreste di Sasso Fratino (fino a Cmapo alla Sega) possiedono valori tipici di faggete vetuste secondarie. Per taluni aspetti, anche le faggete meglio conservate di Campigna mostrano buoni valori, a denotare la presenza di alberi vetusti in un paesaggio alterato da tagli successivamente. Notevole è il fatto che la faggeta di Sasso Fratino mostra il valore di RANGE3, che descrive la variabilità della struttura per età dello strato dominante, in linea con i valori osservati negli unici due esempi di faggete vetuste primarie rinvenute in Italia.

CONCLUSIONI

Il presente studio dendroecologico ha fornito un inquadramento bioecologico e funzionale delle Foreste Casentinesi, Monte Falterona e Campigna. Si tratta di un'area di studio di particolare interesse negli studi di biogeografia e di conservazione della Natura, grazie alla presenza di Sasso Fratino, il primo esempio di riserva integrale pianificata in Italia, ed ad una collocazione geografica caratterizzata da un contesto climatico di transizione tra clima mediterraneo e quello temperato/alpino.

I primi risultati evidenziano una faggeta vetusta secondaria, con numerosi tratti altomontani ospitanti alberi plurisecolari (anche di 3-4 secoli). In questa fascia bioclimatica la presenza di alcuni lembi di foresta particolarmente integra in prossimità delle rupi potrebbe ospitare anche alberi più vecchi – addirittura di 5-6 secoli - ai limiti della longevità del faggio. Va, inoltre, sottolineato che lungo tutto il gradiente altitudinale si rinvencono numerosi faggi con età secolare di tutto rilievo per l'Appennino settentrionale e l'arco alpino.

La faggeta vetusta risulta quindi estesa a perdita d'occhio lungo un gradiente altitudinale di circa 1000 m di dislivello. Grazie al regime di riserva integrale nelle diverse unità bioclimatiche, dalla collina alla fascia altomontana, stanno avvenendo processi di articolazione della struttura – transizione demografica – al punto che gli aspetti più diversificati si presentano con una bistratificazione in seguito all'apertura di buche nella volta arborea (Bianchi *et al.* 2011). Va sottolineato che, scendendo di quota, ampi tratti della foresta acquistano un aspetto monumentale di particolare rilievo grazie alla loro maggiore fertilità (Bianchi *et al.* 2011). In questi luoghi il maggiore tasso di crescita dovrebbe rendere più veloce i processi di articolazione strutturale. In generale, dato il regime di conservazione presente, nei prossimi decenni la

complessità strutturale tenderà ad aumentare e quindi il mosaico delle diverse fasi del ciclo strutturale diverrà composto da tessere via via più fini. Poiché la spiccata diversificazione strutturale tipica delle faggete vetuste sottende una marcata eterogeneità degli ambienti naturali, ciò garantisce anche la conservazione della flora nemorale (Sabatini *et al.* 2014).

Dal punto di vista bioclimatico si confermano risposte di transizione tra l'ecologia mediterranea e quella dei climi temperati senza siccità estiva dove le temperature primaverili ed estive divengono il principale fattore limitante la crescita. Tuttavia nell'ultimo ventennio si rilevano segni di inaridimento del clima come testimoniato dalla caduta dell'incremento dell'area basimetrica la cui culminazione è avvenuta agli inizi degli anni 90 nell'orizzonte submontano / montano mentre i primi segni in quello altomontano si sono manifestati nel 2003. Future analisi permetteranno di comprendere se tali risposte siano imputabili al *global warming*. D'altro canto gli studi sull'ecologia del disturbo hanno evidenziato rilasci diffusi nei secoli in primo luogo imputabili alle attività selvicolturali, ma anche interessanti picchi probabilmente legati alla "Maldà anomaly", un periodo caratterizzato da perturbazioni particolarmente intense. Tali disturbi continui e diffusi nel tempo sono alla base di un'articolata struttura demografica disetanea della volta arborea, poiché lo schianto/abbattimento degli alberi nella foresta determina il rilascio di quelli soppressi e l'insediamento delle nuove coorti.

Sebbene i cambiamenti climatici hanno da sempre determinato alterazioni nella struttura e funzionalità degli ecosistemi, i modelli climatici suggeriscono che, anche se in un futuro prossimo si riuscirà a stabilizzare la concentrazione dei gas serra nell'atmosfera, il riscaldamento del clima dovuto all'azione dell'uomo durerà per secoli a causa dei tempi associati ai processi climatici e alle varie retroazioni in gioco. Vi sono consistenti indizi che l'uomo abbia anche alterato il regime delle precipitazioni esaltando in alcune regioni gli eventi estremi, pure in relazione all'intensità dei venti. Tutto ciò si traduce in importanti modifiche del regime di disturbo tanto che i vari ecosistemi, a causa del cambiamento climatico operato dall'uomo, sono e saranno sempre più esposti a sollecitazioni drammatiche. Così, ad esempio, venti di maggiore intensità possono determinare più diffusi schianti di alberi, alterando così in modo considerevole la struttura, la composizione e la funzionalità delle foreste. La dendroecologia può in questo senso dare un contributo nel comprendere la risposta funzionale degli ecosistemi al variare del clima. Questi, in breve, i motivi per cui risulta importante sviluppare reti di monitoraggio degli ecosistemi, basate su indicatori e indici in grado di descriverne la funzionalità soprattutto, per quanto attiene al monitoraggio forestale, prendendo esplicitamente in considerazione gli ultimi lembi di foresta

vetusta sopravvissuti. In tal modo sarà meno difficile comprendere gli effetti dei cambiamenti climatici, ridurre l'impatto dell'uomo sulle risorse rinnovabili e certificarne, dove attuato, il loro corretto uso.

L'approfondimento tematico sull'habitat del picchio nero, ha confermato le sue esigenze di alberi dominanti dal fusto slanciato e privo di rami, collocati all'interno di foreste vetuste, anche se nello stadio iniziale di naturalizzazione. Lo studio ha, inoltre, evidenziato come lo scavo dei nidi abbia impattato la crescita a partire dal 2000, data delle prime osservazioni della specie nel Parco.

I primi risultati delle ricerche dendroecologiche sottolineano, quindi, come le estese fagete vetuste delle Foreste Casentinesi racchiudono caratteri bioecologici unici a scala continentale, che ne hanno permesso la candidatura nel processo di espansione del sito seriale Unesco "*Primeval Beech Forests of the Carpathians and the Ancient Beech Forests of Germany*". I risultati emersi nel presente studio permettono di comprendere più a fondo i processi dinamici che interessano il ritorno alla vetustà di un vasto comprensorio forestale dalle caratteristiche uniche nello scenario europeo. Inoltre, la particolare posizione geografica di transizione al limite della mediterraneità ha fatto emergere evidenze dendroclimatiche di notevole interesse nel monitoraggio degli impatti del *global change* sulle foreste. Questi primi risultati saranno oggetto nei prossimi mesi di analisi più approfondite e, quindi, di specifiche pubblicazioni scientifiche.

In sintesi queste prime ricerche dendroecologiche condotte nelle Foreste vetuste Casentinesi confermano il loro ruolo di laboratorio naturale (Bianchi *et al.* 2011), con caratteristiche uniche a tal punto da essere considerato nell'attuale processo di espansione del sito seriale Unesco "*Primeval Beech Forests of the Carpathians and the Ancient Beech Forests of Germany*".

BIBLIOGRAFIA

Alessandrini A, Blasi S, Di Filippo A, Piovesan G, Ziaco E (2008). Alla scoperta di una foresta vetusta: la faggeta di Soriano nel Cimino - Il sentiero Natura -. p. 1-65, VITERBO:EDIZIONI SETTE CITTA', ISBN: 978-88-7853-130-7

Bianchi L, Bottacci A, Calamini G, Maltoni A, Mariotti B, Quilghini G, Salbitano F, Tani A, Zoccola A, Paci M (2011). Structure and dynamics of a beech forest in a fully protected area in the northern Apennines (Sasso Fratino, Italy). *iForest* 4: 136-144. - doi: 10.3832/ifor0564-004

Bianchi L, Bottacci A, Calamini G, Maltoni A, Mariotti B, Quilghini G, Salbitano F, Tani A, Zoccola A, Paci M (2011). Structure and dynamics of a beech forest in a fully protected area in the northern Apennines (Sasso Fratino, Italy). *iForest* 4: 136-144. - doi: 10.3832/ifor0564-004.

Bottacci A. (ed.) 2009 - La Riserva naturale integrale di Sasso Fratino: 1959-2009. 50 anni di conservazione della biodiversità. CFS/UTB Pratovecchio: 39-46.

Brunetti, M., Maugeri, M., Monti, F. & Nanni, T. (2006). Temperature and precipitation variability in Italy in the last two centuries from homogenised instrumental time series. *International Journal of Climatology*, 26: 345-381.

Carrer, M., Nola, P., Motta, R., Urbinati, C. (2010) Contrasting tree-ring growth to climate responses of *Abies alba* toward the southern limit of its distribution area. *Oikos*, 119: 1515-1525.

Ceccarelli, P., Agostini, N., Milandri M., Bonora, M. (2008). Il Picchio nero, *Dryocopus Martius* (Linnaeus, 1758) nel Parco Nazionale delle Foreste Casentinesi. *Quad. Studi Nat. Romagna*, 27: 143-154 dicembre 2008, ISSN 1123-6787.

Di Filippo A., Piovesan G. e B. Schirone, 2004. Le foreste vetuste: criteri per l'identificazione e la gestione. Atti del XIV Congresso Nazionale della Società Italiana di Ecologia (Siena, 4-6 Ottobre 2004). In: Carlo Gaggi, Valentina Nicolardi e Stefania Santoni (editori), "Ecologia. Atti del XIV Congresso Nazionale della Società Italiana di Ecologia (Siena, 4-6 ottobre 2004)".

Di Filippo A., 2005. Le foreste vetuste: ecosistemi chiave per la conservazione della biodiversità e lo sviluppo di una selvicoltura a basso impatto ambientale. *Linea Ecologica*, 2: 22-25.

Di Filippo A., Biondi F., Cûfar K., de Luis M., Grabner M., Maugeri M., Presutti Saba E., Schirone B. e G. Piovesan, 2007. Bioclimatology of beech (*Fagus sylvatica* L.) in the Eastern Alps: spatial and altitudinal climatic signals identified through a tree-ring network. *Journal of Biogeography*, published online, 34 (11), 1873-1892.

Di Filippo A, Biondi F, Maugeri M, Schirone B, Piovesan G (2012). Bioclimate and growth history affect beech lifespan in the Italian Alps and Apennines. *Global Change Biology*, vol. 18, p. 960-972, ISSN: 1354-1013, doi: DOI: 10.1111/j.1365-2486.2011.02617.

Emborg J., Christensen M., Heilmann-Clausen J., 2000. The structural dynamics of Suserup Skov, a near-natural temperate deciduous forest in Denmark. *Forest Ecology and Management*, 126: 173-189.

Frelich L.E., 2002. *Forest dynamics and disturbance regime: studies from temperate evergreen-deciduous forests*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Frelich L.E. e Reich P.B., 2003. Perspectives on development of definitions and values related to old-growth forests. *Environ. Rev.*, 11: S9–S22.

Gonnelli V. e Bottacci A. (2009). Il clima di Sasso Fratino. In: Bottacci A. (ed.) 2009 -La Riserva naturale integrale di Sasso Fratino: 1959-2009. 50 anni di conservazione della biodiversità. Pp. 39-46. CFS/UTB Pratovecchio.

Izquierdo, J.A., Nüsslein, K., 2014. Variation in diazotrophic community structure in forest soils reflects land use history. *Soil Biology and Biochemistry*, 80, pp. 1-8.

Keddy P.A. e C.G. Drummond, 1996. Ecological properties for the evaluation, management, and restoration of temperate deciduous forest ecosystems. *Ecological Applications* 6: 748- 762.

Knapp H.G. e Fichtner A. (2012). Beech Forest; Joint Natural heritage of Europe (2). vol. BFN-Skripten 327, p. 125-140, BONN - BAD GODESBERG:German Federal Agency for Nature Conservation (BfN, ISBN: 978-3-89624-062-0, International Academy for Nature Conservation Isle of Vilm, Germany, November 10-14, 2011.

Mansourian, S., Rossi, M. and Vallauri, D., 2013. *Ancient Forests in the Northern Mediterranean: Neglected High Conservation Value Areas*. Marseille: WWF France, 80 p

Motta R., 2002. Old-growth forests and silviculture in the Italian Alps: the case-study of the strict reserve of Paneveggio (TN). *Plant Biosystems*, 136: 223-232.

Oldeman R.A.A., 1993. *Sugli ecosistemi forestali: quattro principi silvologici*. Lettura tenuta all'Accademia italiana di Scienze Forestali. Firenze, 1-10.

Paci M. e Ciampelli F., 1996. Risposta della vegetazione all'apertura di gap nella Riserva Naturale Integrale di Sasso Fratino. *Monti e Boschi*, 47: 50-58.

Piovesan G., 1997. *Analisi di problemi assestamentali nella foresta montana dell'Appennino Centrale*. Tesi di Dottorato. Università degli Studi della Tuscia.

Piovesan G., Di Filippo A., Alessandrini A., Biondi F. e B. Schirone, 2005. Structure, dynamics, and dendroecology of an Apennine old-growth beech forest. *Journal of Vegetation Science*, 16: 13-28.

Piovesan G., Biondi F., Di Filippo A., Alessandrini A., Maugeri M. (2008) Drought-driven growth reduction in old beech (*Fagus sylvatica* L.) forests of the central Apennines, Italy. *Global Change Biology*: vol. 14, n° 6, pp. 1265-1281.

Piovesan G., Alessandrini A., Baliva M., Chiti T., D'Andrea E., De Cinti B., Di Filippo A., Hermanin L., Lauteri M., Scarascia Mugnozza G., Schirone B., Ziaco E., Matteucci G. (2010) Structural patterns, growth processes, carbon stocks in an Italian network of old-growth beech forests *Italia Forestale e Montana (Italian Journal of Forest and Mountain Environments)*: vol. 65, n° 5, pp. 557-590.

Piovesan G, Franco Biondi, Alfredo Di Filippo, Bartolomeo Schirone, Emanuele Ziaco, Franco Pedrotti (2012). The Apennines Beech Network. In: Hans D. Knapp and Andreas Fichtner. *Beech Forest; Joint Natural heritage of Europe (2)* . vol. BFN-Skripten 327, p. 125-140, BONN - BAD GODESBERG:German Federal Agency for Nature Conservation (BfN, ISBN: 978-3-89624-062-0, International Academy for Nature Conservation Isle of Vilm, Germany, November 10-14, 2011

Piovesan G, Alessandrini A, Biondi F., Di Filippo A., Schirone B., Ziaco E., (2011). Bioclimatology, growth processes, longevity and structural attributes in an italian network of old-growth beech forests spreading from the Alps to the Apennines. In: *Beech forests - a joint natural heritage of Europe*. BfN-Skripten 297. Vilm, Putbus, 19/10/2010-20/10/2010, vol. 297, p. 173-192, BONN - BAD GODESBERG:German Federal Agency for Nature Conservation (BfN, ISBN: 978-3-89624-032-3

Pruscini F., Tellini Florenzano G., Buvoli L., Santolini R., 2009. La banca dati mito2000 come strumento per prevedere gli effetti dei cambiamenti climatici sulle specie comuni nidificanti. *Alula XVI (1-2)*: 312-314

Sabatini, F. M., Burrascano, S., Tuomisto, H., & Blasi, C. (2014). Ground layer plant species turnover and Beta diversity in southern-European old-growth forests. *PloS one*, 9(4), e95244.

Spies T.A., 2004. Ecological concepts and diversity of old-growth forests. *Journal of Forestry*, 102: 14-20.

Tognetti R, Lombardi F, Lasserre B, Cherubini P, Marchetti M (2014) Tree-Ring Stable Isotopes Reveal Twentieth-Century Increases in Water-Use Efficiency of *Fagus*

sylvatica and *Nothofagus* spp. in Italian and Chilean Mountains. PLoS ONE 9(11): e113136. doi:10.1371/journal.pone.0113136

Tyrrell L.E., 1996. National forests in the Eastern Region: land allocation and planning for old growth. In: M.B. Davis (ed.) "Eastern old-growth forests. Prospects for rediscovery and recovery", pp. 245-273, Island Press, Washington DC, US.

Viciani D., Agostini N., 2008. La carta della vegetazione del parco nazionale delle foreste casentinesi, monte falterona e campigna (appennino tosco-romagnolo): note illustrative. Quad. Studi Nat. Romagna, 27: 97-134

Wolynski A., 2001. Significato della necromassa legnosa in bosco in un'ottica di gestione forestale sostenibile. Sherwood, 67: 5-12.

Ziaco E, Alessandrini A, Blasi S, Di Filippo A, Dennis S, Piovesan G (2012). communicating old-growth forest through an educational trail . biodiversity and conservation, vol. 31, p. 131-144, issn: 0960-3115, doi: 10.1007/s10531-011-0170-5