



PARCO
REGIONALE
BRACCIANO
MARTIGNANO

*“Cambiamenti climatici e variazioni idrometriche del lago di Bracciano:
effetti sulle dinamiche di crescita dell’habitat prioritario di faggeta termofila”*

Relazione finale

Arezzo, 22/06/2022



A cura di: **Gianluigi Mazza**

1. Introduzione

Il pSIC “Faggete di Monte Raschio e Oriolo” (IT6010034) si estende per 711.9 ettari nei Comuni di Oriolo Romano e Bassano Romano (entrambi nella provincia di Viterbo). I proposti siti d’interesse comunitario hanno visto la conclusione dell’iter di designazione comunitario nel dicembre 2016 quando, con decreto ministeriale, sono diventati ZSC (zone speciali di conservazione).

La faggeta termofila del Monte Raschio a Oriolo Romano (42.16 N – 12.14 E), all’interno del Parco Regionale di Bracciano-Martignano, rientra tra le faggete vetuste, ossia ecosistemi naturali che non hanno subito cambiamenti nel corso di molti secoli. La faggeta termofila è il tipo di formazione forestale di maggior pregio naturalistico del Parco. È classificata come habitat prioritario (9210, Faggeti degli Appennini con *Taxus* e *Ilex*) ai fini della direttiva EU Habitat ed occupa la maggior parte del pSIC IT6010034.

Nel 2017 la faggeta di Monte Raschio, ricadente nel comune Oriolo Romano è diventata patrimonio mondiale dell’Unesco per via della sua particolarità. Si tratta, infatti, di un luogo davvero particolare e di elevata importanza naturalistica, che ha la peculiarità di crescere ad una quota di circa 450 m slm mentre di solito i faggi crescono oltre 700/1000 m slm.

Monte Raschio è il sito n° 33 del patrimonio naturale UNESCO seriale “*Ancient and Primeval Beech Forests of the Carpathians and Other Regions of Europe*”. Dal punto di vista della copertura del suolo, dei 150 ha, circa 80 sono coperti dalla faggeta che è il nucleo del sito UNESCO (rappresenta lo 0,4 % del Parco). Per quanto riguarda la gestione forestale, la ASFD (Azienda di Stato per le Foreste Demaniali) sospese lo sfruttamento legnoso della faggeta ove ormai non sono state più effettuate utilizzazioni forestali almeno negli ultimi 60 anni: gli ultimi interventi sul faggio risalgono alla fine degli Anni ’50 (stagione silvana 1957-58).

La porzione di faggeta ricadente nel comune di Bassano Romano, in prevalenza proprietà dell’Università Agraria di Bassano Romano, presenta una storia selvicolturale differente. Da quanto risulta, il bosco fu intensamente e sregolatamente utilizzato in particolare nell’ultimo dopoguerra, dopodiché furono decisi dei prelievi moderati. Successivamente, a causa di una scarsità di provvigione ed una generale e marcata coetaneità, venne prescritto il trattamento a tagli successivi uniformi. Circa la regolarità e il tipo di taglio che seguirono a tale Piano d’Assestamento si hanno informazioni scarse e frammentarie – presumibilmente il ciclo dei tagli successivi in molti casi non fu completamente rispettato - comunque risulta che mentre il ceduo

castanile è stato regolarmente utilizzato fino al 1997 e il quercino fino al 1991, la fustaia ha subito prelievi fino al 1986, dopodiché sono stati omessi tutti i tagli; infine, nel 2002 due sezioni sono state oggetto di un moderato diradamento. In sintesi, ad un ventennio di forti prelievi e ad un successivo ventennio di risparmio, è seguito un altro ventennio di mancati tagli (tranne che per il ceduo). Tale fluttuazione degli interventi ha modellato peculiarmente l'intero soprassuolo. La rinnovazione in bosco si è largamente diffusa nel primo ventennio e affermata nel secondo, per poi ridursi drasticamente o interrompersi nell'ultimo. Successivamente è stato redatto il piano di assestamento forestale delle proprietà boschive dell'Università Agraria di Bassano Romano per il decennio 2005 – 2014.

In conclusione, risulta evidente come il popolamento arboreo della faggeta stia invecchiando, compromettendo la scarsa rinnovazione affermata ed impedendone di nuova; gli effetti di tale situazione potrebbero essere disastrosi nel medio e lungo periodo.

Deperimento della faggeta e cambiamenti climatici

Per quanto riguarda la faggeta depressa, la principale criticità è rappresentata dalla progressiva alterazione delle condizioni climatiche che ne hanno in passato favorito la diffusione a quote più basse di quelle ottimali.

La presenza della faggeta in quest'area è legata alle particolari condizioni pedoclimatiche. I terreni profondi e ricchi d'acqua e l'elevata umidità atmosferica dovuta alla presenza del lago di Bracciano e alla morfologia del territorio attenuano le condizioni di aridità estiva. La compensazione climatica prodotta dall'effetto del lago viene a ridursi nelle condizioni attuali di progressivo inaridimento climatico, con effetti maggiori sui versanti esposti a sud e sud-est dove l'irradiazione solare è maggiore. Infatti, le modificazioni climatiche manifestatesi negli ultimi decenni con l'aumentata frequenza di annate con intensa siccità estiva espongono più facilmente le piante a uno stato di stress idrico. In queste zone si può assistere ad alcuni nuclei di deperimento della faggeta evidenziati dall'attacco di funghi patogeni lignivori, come la *Biscognauxia nummularia*, un patogeno secondario agente di cancro corticale strettamente correlato alle condizioni d'aridità.

I cambiamenti climatici in atto si riflettono sulle dinamiche delle biocenosi forestali sotto forma di disturbo ecologico. Ad oggi infatti si registra, accanto all'aumento della temperatura, l'aumento della frequenza e durata dei periodi siccitosi, in particolare all'interno del bacino del Mediterraneo, considerato un'area particolarmente sensibile ai cambiamenti climatici.

Nel caso specifico della faggeta oggetto dello studio, l'effetto congiunto dei cambiamenti climatici e dell'eccessivo prelievo idrico potrebbe determinare forti pressioni selettive sulle formazioni forestali legate alle particolari condizioni ambientali e microclimatiche garantite dalla presenza del bacino lacustre, soprattutto laddove la capacità di resilienza alla siccità dei soprassuoli si rivelasse inadeguata alle mutate condizioni.

L'abbassamento di circa 0.5 m del livello idrometrico del lago registrato negli ultimi 50 anni (per l'effetto congiunto dell'aumento della siccità, dei prelievi irrigui e della riduzione delle precipitazioni) ha determinato una perdita di circa 28 Mm³ di acqua (Taviani and Henriksen, 2015). Gli stessi autori hanno evidenziato che:

i) i maggiori flussi idrici in uscita dal lago sono l'evaporazione e i prelievi irrigui, pari a circa 0.985 m/anno (1.78 m³/s) and 0.166 m/anno (0.3 m³/s), rispettivamente;

ii) l'abbassamento del livello idrometrico può determinare un richiamo di acqua dalle falde superficiali dei terreni circostanti. Questo flusso di acqua verso il lago e a discapito delle falde superficiali dei terreni circostanti potrebbe aumentare a causa della riduzione delle precipitazioni e dell'aumento dei periodi siccitosi e dei prelievi irrigui.

Obiettivi del progetto

Sulla base di queste evidenze scientifiche, l'impatto dei cambiamenti climatici in corso potrebbe avere un effetto negativo sulle caratteristiche microclimatiche (terreni ricchi d'acqua ed elevata umidità atmosferica) che garantiscono la sopravvivenza della faggeta in oggetto.

In questo contesto si inseriscono gli obiettivi del progetto, che si focalizzano sia sulla rinnovazione naturale, che rappresenta il futuro potenziale dei soprassuoli in esame, sia sulle piante più vecchie, in quanto sono un archivio di informazioni storiche in cui sono registrate le variazioni ambientali (e quindi climatiche) avvenute nel corso del secolo. Nel dettaglio, tali obiettivi si propongono di valutare: i) le principali caratteristiche della rinnovazione naturale sia di faggio che di altre specie concorrenti quali il cerro, ii) l'effetto delle principali variabili idroclimatiche potenzialmente correlate con le dinamiche di crescita delle due specie principali potenzialmente concorrenti, ossia faggio e cerro, e iii) la loro capacità di resistenza e resilienza all'aumentare degli eventi siccitosi.

2. Materiali e metodi

2.1 Monitoraggio della rinnovazione naturale

Il rilievo in campo della rinnovazione naturale è stato effettuato nell'autunno 2021 (settembre-ottobre-novembre). Il protocollo di monitoraggio della rinnovazione naturale ha previsto l'istallazione di aree di saggio temporanee all'interno di aperture della copertura forestale (dette comunemente buche) di varia dimensione sia di origine naturale, formatesi a seguito di schianti, o artificiale, formatesi a seguito di vecchi tagli (Figura 1). Questo approccio metodologico parte dal presupposto che all'interno delle aperture della copertura arborea la rinnovazione naturale viene favorita dalle condizioni microclimatiche che si instaurano.

L'individuazione di queste aperture è stata effettuata prima a tavolino attraverso immagini satellitari (da Google Earth) e successivamente validata in campo, confermando o spostando opportunamente i punti di campionamento e aggiungendone altri in base alle caratteristiche delle aperture (accessibilità, rappresentatività, ecc..). In alcuni casi, infatti, sono state eliminate essendo dei vecchi punti di imposto, strade o per l'impossibilità di effettuare i rilievi a causa della eccessiva copertura arbustiva, costituita principalmente da rovo.

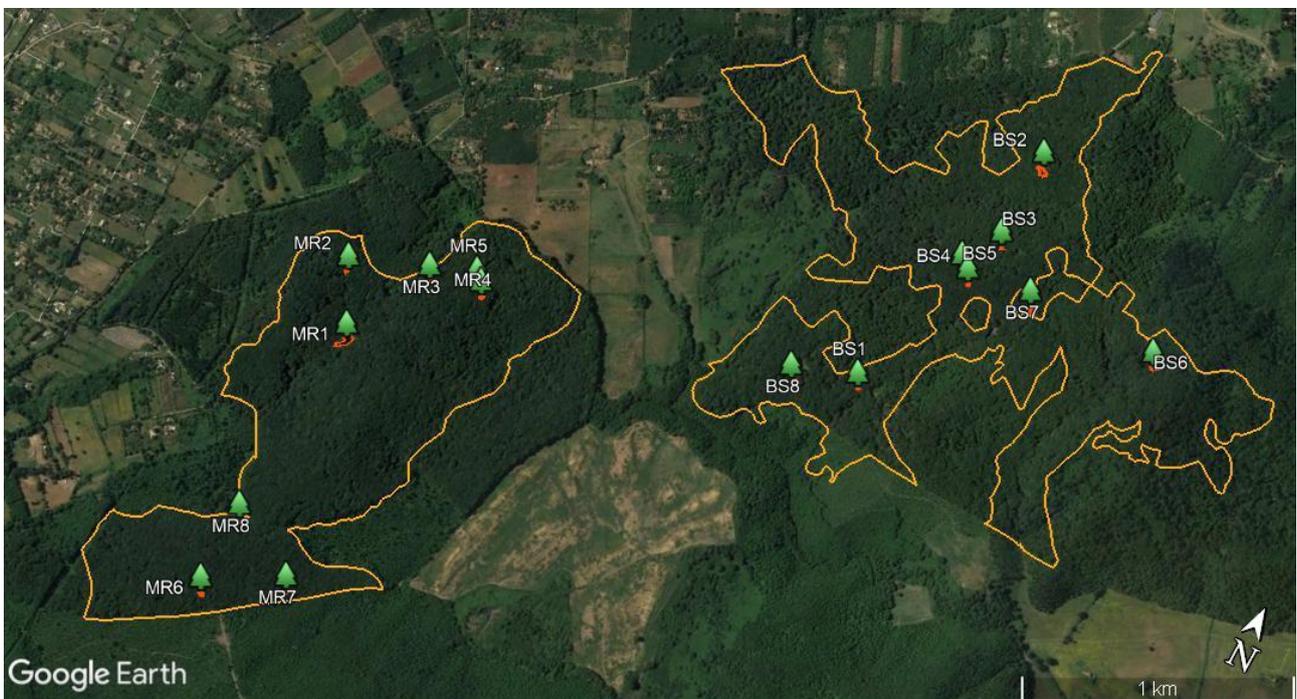


Figura 1. Rappresentazione delle aree di campionamento della rinnovazione naturale nelle due porzioni di faggeta termofila (A: Monte Raschio, B: Bassano Romano).

All' interno di ciascuna apertura sono stati realizzati due transect a croce di lunghezza variabile in base alle dimensioni delle buche e larghezza fissa pari a 1 m per il rilievo dei seguenti parametri: specie, altezza, stato vegetativo, stadio di crescita e posizione sull'asse lineare del transect (Figure 2 e 3). Lo stato vegetativo è stato valutato attraverso una stima qualitativa (buono, medio, scarso) in base al numero ed alla vigoria delle foglie presenti su ciascuna piantina (presenza di ingiallimenti, macchioline scure e parti che tendono ad accartocciarsi e a necrotizzarsi). Lo stadio di crescita è stato valutato e classificato in base alle seguenti caratteristiche: i) semenzale – piantina nata nella stagione vegetativa dell'anno corrente, presenza ancora evidente di cotiledoni o numero di foglie massimo pari a 5; ii) plantula - piantina nata massimo due stagioni vegetative precedenti, caratterizzata da un numero consistente di foglie e non superiore ai 50 cm di altezza; iii) affermata – piantina ormai affermata con presenza evidente di parti legnose e altezza superiore ai 50 cm.

Per ciascuna buca sono state determinate le seguenti caratteristiche: superficie, esposizione, stima percentuale della copertura arbustiva, orientamento dei due transect perpendicolari. È stato inoltre rilevato il numero, la specie e la posizione sociale delle piante di margine (dominante, co-dominante e dominata).



Figura 2. Esempi di schema a croce dei transect per il rilievo della rinnovazione naturale.



Figura 3. Realizzazione dei transect all'interno di ciascuna apertura e schema di rilievo della rinnovazione naturale.

2.2 Monitoraggio dendroecologico

2.2.1 Dati idro-climatici

Nel presente studio sono stati utilizzati i dati meteorologici della stazione di Bassano Romano (Piano Mola - 457 m slm). Le serie storiche dei dati meteo a partire dal 1951 sono state acquisite dalla Regione Lazio (Agenzia Regionale di Protezione Civile, Centro Funzionale Regionale) ed integrate con i dati del servizio agrometeorologico dell'agenzia Arsial (Regione Lazio) per il periodo 2004-2021. I dati relativi alle variazioni del livello idrometrico del lago di Bracciano per il periodo di riferimento 1951-20121 sono stati acquisiti on-line (<https://www.parcobracciano.it/area-protetta/monitoraggio-acque/>).

Per la caratterizzazione climatica del sito di studio è stato utilizzato anche l'indice di aridità (SPEI – *Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index*), calcolato utilizzando l'evapotraspirazione potenziale (PET) secondo la formula di *Thornthwaite*, come implementato nella libreria SPEI sviluppata nell'ambiente statistico R (Vicente-Serrano et al., 2010).

2.2.2 Prelievo e preparazione campioni legnosi

Ai fini dello studio sono stati selezionati gli alberi dominanti e/o co-dominanti con diametro maggiore in modo da avere una sequenza cronologica più lunga possibile, con buona conformazione del fusto, della chioma e senza ferite (Foto 1).

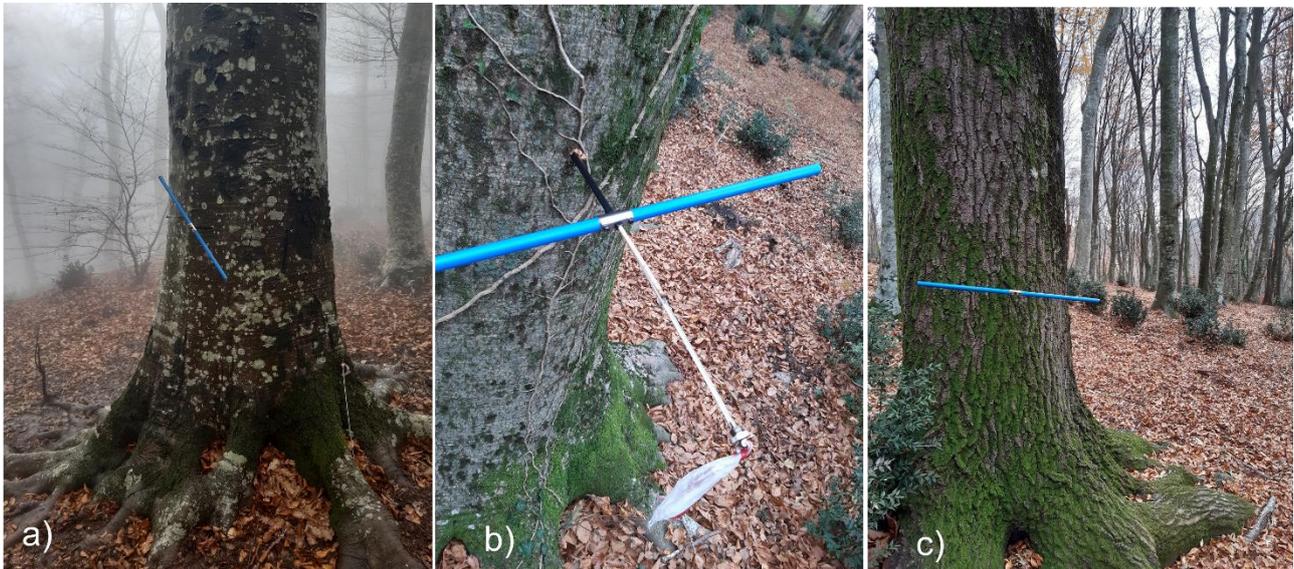


Foto 1. Piante target per il campionamento dendroecologico delle due specie principali, faggio (a, b) e cerro (c).

Per ogni pianta individuata ed in base alla conformazione del fusto, che nelle piante più vecchie di faggio non sempre ha permesso un doppio carotaggio, sono state prelevate 1 o 2 carote incrementali di 5 mm di diametro con la trivella di Pressler a circa a 1.30 m dal suolo. Il prelievo è stato eseguito in direzione perpendicolare all'inclinazione del piano di campagna, considerando l'ipotetica formazione di legno di reazione (Fritts 1976) e mirando a raggiungere il midollo. La scelta delle piante da carotare è stata effettuata per ridurre, nelle ampiezze anulari, la presenza di disturbi causati ad esempio da legno cicatriziale dovuto a ferite meccaniche, da torsioni del fusto che rendono di difficile lettura ogni ampiezza annuale, da riduzioni dell'accrescimento dovute alla competizione intraspecifica (tipiche delle piante dominate e/o sottoposte). Ogni carota prelevata è stata inserita in una cannucchia ed è stata classificata (specie, diametro della pianta, luogo di prelievo con l'individuazione del punto di riferimento sulla mappa).

La preparazione dei campioni è avvenuta secondo le procedure standard utilizzate in dendrocronologia (Fritts 1976; Schweingruber 1989). Le carote prelevate sono state montate provvisoriamente su appositi supporti in modo da impedire torsioni o curvature dovute al rapido

disseccamento. In laboratorio si è proceduto alla preparazione dei campioni. Le carote sono state trasferite su appositi supporti legnosi ed incollate con colla vinilica (Foto 2), facendo attenzione all'inclinazione delle fibre (osservabili ai due estremi della carota), che deve essere perpendicolare al supporto in modo da ottenere, dopo la levigatura, una sezione trasversale e quindi permettere un agevole conteggio e misurazione degli anelli. Le carote costituite da più segmenti sono state ricomposte e, nel caso di porzioni presentanti torsione delle fibre, la verticalità è stata ripristinata. Successivamente tutti i campioni sono stati levigati con l'apposito microtomo a slitta WSL-Core-microtome (Gärtner e Nievergelt, 2010) per facilitarne la lettura (Foto 2).

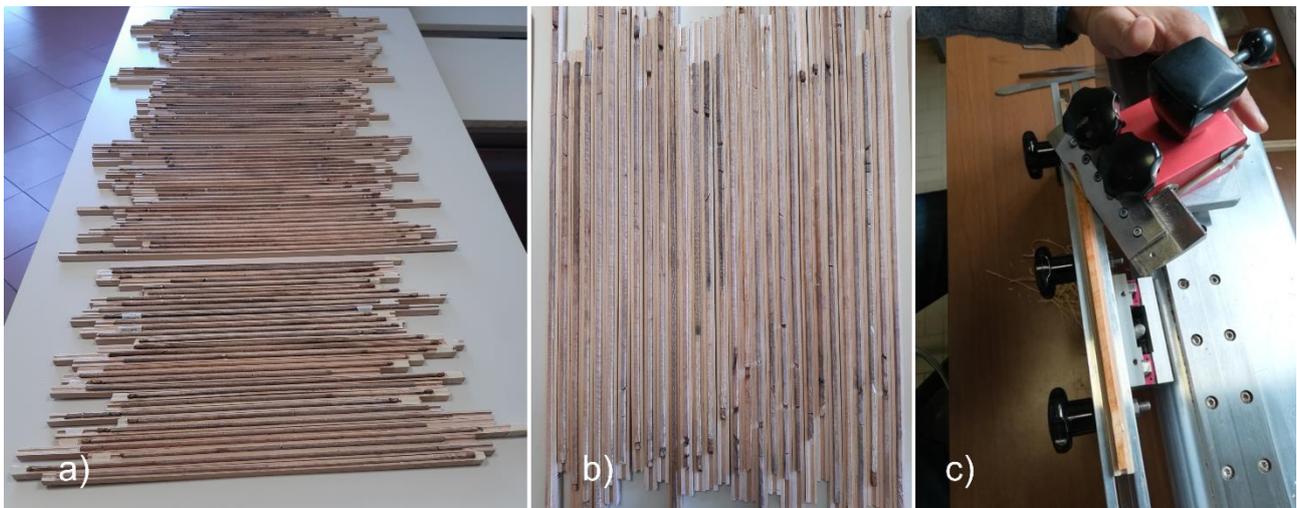


Foto 2. Carote negli appositi supporti legnosi (a, b). Microtomo per la levigatura (c).

La misurazione dell'ampiezza anulare è stata effettuata (con la precisione di 0,01 mm) con il sistema ottico semi-automatico LINTAB™, costituito da un binocolare con crocefilo ed un piano mobile i cui spostamenti, corrispondenti alle ampiezze anulari espresse in 1/100 mm, vengono registrati dal software collegato TSAP-Win (Time Series Analysis and Presentation, TSAP, Frank Rinn, Heidelberg, Germany).

2.2.3 Analisi dendrocronologia e dendroclimatica

La prima fase di elaborazione dei dati di ampiezze anulari ha riguardato il *cross-dating* o "datazione incrociata". Le correzioni di eventuali errori di misurazione sono state effettuate con approccio statistico, mediante le funzioni *corr.rwl.seg*, *corr.series.seg* e *ccf.series.rwl* del pacchetto statistico di R "dplR - Dendrochronology Program Library in R" (Bunn, 2010).

La sincronizzazione tra le serie individuali è stata valutata attraverso il test non parametrico Glk – *Gleichlaeufigkeit*, ritenendo buone quelle serie la cui cross-datazione ha un valore di Glk > 65% (0.65). Il Glk considera l'aumento o la diminuzione delle pendenze di ampiezze anulari successive che vanno nella stessa direzione tra due cronosequenze, e le quantifica rispetto alla lunghezza totale delle serie cronologiche.

I dati di incremento corrente di raggio sono stati trasformati in incremento corrente di area basimetrica (BAI – *basal area increment*), attraverso la seguente formula implementata nel pacchetto statistico di R “dplR” (Biondi and Qeadan, 2008; Bunn, 2008):

$$BAI_t = \pi (w_t^2 + 2w_tR_{(t-1)})$$

Dove w_t è l'ampiezza anulare annuale e $R_{(t-1)}$ è la misura del raggio all'inizio dell'incremento annuale. Tale parametro biometrico, infatti, essendo una misura di superficie (bidimensionale) è significativamente più rappresentativo delle dinamiche di crescita di biomassa (che è una misura tridimensionale) rispetto al solo raggio, che è invece una misura lineare (unidimensionale).

A partire dalle curve medie sono state, quindi, calcolate le statistiche descrittive relative ai principali parametri dendrocronologici quali l'ampiezza anulare media (M); la sensibilità media (SM), calcolata secondo la formula dell'equazione 2 presente in Biondi and Qeadan (2008):

$$SM = \frac{n}{n-1} \frac{\sum_{t=2}^n |w_t - w_{t-1}|}{\sum_{t=1}^n w_t}$$

dove n è la lunghezza totale della serie, w è l'ampiezza anulare e $t=1, 2, \dots, n$ è l'anno. Tale equazione tiene conto dell'influenza del trend biologico tipico delle serie dendrocronologiche e di altre caratteristiche quali le deformazioni causate da ferite o altre ingiurie, che possono incidere sulla sensibilità. Questo parametro misura la variazione media di ampiezza fra due anelli successivi di una determinata serie (Fritts, 1976) e biologicamente evidenzia le capacità reattive della pianta alle variazioni interannuali dei fattori ecologici presenti. È stato calcolato, infine, il coefficiente di autocorrelazione di 1° ordine, che misura l'influenza di un anno sulla crescita dell'anno successivo.

L'influenza del clima e delle fluttuazioni del livello idrometrico sull'accrescimento delle due specie principali oggetto dello studio (faggio e cerro) è stata valutata attraverso la significatività dei

coefficienti di correlazione di Pearson (r) tra le serie di incrementi di area basimetrica e le variabili idro-climatiche (precipitazione, temperatura, SPEI e livello idrometrico). Le variabili climatiche sono state testate a diverse scale temporali, per valutare l'effetto sia di segnali ad alta frequenza (a breve termine) quali quelli mensili e/o stagionali che a bassa frequenza (a lungo termine) quali ad esempio l'effetto di uno o più anni precedenti l'anno di formazione dell'anello legnoso. Nel dettaglio, le variabili mensili vanno da ottobre dell'anno precedente alla formazione dell'anello legnoso fino a novembre dell'anno corrente; quelle stagionali sono state suddivise in due gruppi (3 e 6 mesi) a partire da ottobre dell'anno precedente fino a novembre dell'anno corrente e spostate ogni volta di un mese fino a coprire tutto l'intervallo temporale considerato.

Per valutare l'effetto delle condizioni climatiche e le variazioni del livello idrometrico degli anni precedenti sull'accrescimento, sono stati considerati i valori annuali a partire da quattro anni precedenti la formazione dell'anello, per valutare l'effetto cumulato di cinque anni consecutivi delle variabili climatiche considerate. Ciò permette di valutare l'effetto prolungato di particolari condizioni climatiche sfavorevoli, quali ad esempio più anni consecutivi siccitosi.

Infine, nel valutare l'effetto di eventi climatici estremi (es: annate particolarmente siccitose) sulle dinamiche di crescita delle piante, definiti in base alla soglia del 90th e 95th percentile, sono stati calcolati i seguenti indici:

- Resistenza (R_t) = VAR_0/VAR_{pre}
- Resilienza (R_s) = VAR_{pre}/VAR_{post}
- Recupero (R_c) = VAR_{post}/VAR_0

Dove 'VAR' è la variabile climatica di interesse, '0' è l'anno in cui si verifica l'evento estremo, 'pre' e 'post' sono gli anni prima e dopo l'evento climatico estremo, considerando un numero tale di anni precedenti e successivi da evitare la sovrapposizione degli anni critici.

2.3 Analisi statistica

Le differenze significative tra i vari parametri della rinnovazione e tra le medie degli incrementi di area basimetrica delle due specie coesistenti (faggio e cerro) nei periodi individuati sono state valutate attraverso statistiche parametriche e non parametriche (analisi della varianza – ANOVA e confronti multipli; Wilcoxon test per due campioni indipendenti), dopo aver verificato la normalità dei dati con i test di *Kolmogorov-Smirnov* e *Shapiro-Wilk*. L'influenza del clima sull'accrescimento è

stata valutata attraverso la significatività dei coefficienti di correlazione di *Pearson (r)* o *Spearman (rho)* tra le serie incrementali e le precipitazioni mensili, dopo aver testato la normalità dei dati.

3. Risultati

3.1 Monitoraggio della rinnovazione naturale

In totale sono state effettuate 16 aree di saggio, 8 per ciascuno dei due siti di studio. In generale, nella parte di faggeta ricadente nel comune di Bassano Romano, è stata rilevata una maggiore presenza di rinnovazione naturale sia di faggio che di cerro, che rappresenta la seconda specie arborea più rilevante all'interno del SIC. Al contrario, le altre specie di latifoglie sono risultate in maggior numero nell'area di faggeta di Monte Raschio. Il protocollo di rilievo della rinnovazione ha, infatti, distinto il cerro dalle altre latifoglie in quanto rappresenta la specie concorrente potenziale per il faggio, soprattutto in previsione di una intensificazione delle condizioni siccitose, essendo quest'area nel suo *optimum* climatico. Le altre latifoglie rilevate nel corso del monitoraggio sono state: carpino nero (*Osryta carpinifolia* Scop.), olmo campestre (*Ulmus minor* Mill.), olmo montano (*Ulmus glabra* Huds.), acero campestre (*Acer campestre* L.), acero di monte (*Acer pseudoplatanus* L.), orniello (*Fraxinus ornus* L.), ciliegio (*Prunus Avium* L.) e castagno (*Castanea sativa* Mill.).

In totale, sono state rilevate 1631 piantine di rinnovazione appartenenti alle diverse specie presenti. Il numero di piante ad ettaro della rinnovazione di faggio nell'area di Bassano (BS) è risultato circa tre volte superiore rispetto a quello di Monte Raschio (MR), come si evince dalla seguente tabella:

ID Buca	T1 (m)	T2 (m)	N° ha ⁻¹			Altezza (cm)		
			FS	QC	Altro	FS	QC	Altro
BS1	30.5	20.8	3.4	–	2.2	22.5	–	24
BS2	38.0	30.0	10.1	2.7	–	10.3	7.7	–
BS3	38.5	17.5	9.4	0.1	–	54.1	35	–
BS4	32.0	21.3	7.8	–	–	8.2	–	–
BS5	31.0	26.2	11.7	–	0.6	47.8	–	105
BS6	42.7	39.0	50.8	–	3.7	14	–	22.4
BS7	34.0	27.6	1.2	3.8	0.0	21	10.9	–
BS8	31.0	27.0	11.6	0.2	2.8	44.8	16.5	43.9

MR1	30.5	43.0	11.8	–	–	24.6	–	–
MR2	37.6	25.5	2.6	0.1	4.4	14.8	22	129
MR3	38.5	30.5	6.0	–	0.2	13.2	–	19.5
MR4	29.1	20.5	3.2	–	0.1	12.4	–	240
MR5	52.0	38.6	4.0	–	–	20	–	–
MR6	29.7	15.8	3.1	–	–	24.4	–	550
MR7	34.6	16.0	0.4	0.1	2.3	11.4	15.5	66.2
MR8	23.5	13	0.5	–	1.4	14.9	–	14.1
TOT	Bassano (BS)		736.1	50.2	70.9	28.3	10.3	36.3
	M. Raschio (MR)		242.7	2.2	101.8	19.0	17.7	73.9

FS: *Fagus sylvatica*, **QC:** *Quercus cerris*, **Altro:** altre latifoglie. **T1** e **T2:** transect.

Anche la presenza del cerro è risultata maggiore nell'area di Bassano, nonostante fosse concentrata principalmente in due buche (BS7 e BS2). Al contrario, le altre specie di latifoglie rilevate nel corso del monitoraggio sono risultate maggiormente concentrate nella porzione di faggeta di Monte Raschio.

Il numero di piante ad ettaro in base allo stadio di sviluppo, per quanto riguarda il faggio segue la stessa tendenza generale, con una presenza significativamente maggiore nell'area di Bassano per tutti gli stadi evolutivi, in particolare le piantine affermate (148 vs. 8). Considerando, invece, rinnovazione potenziale quella minore a 50 cm di altezza e affermata quella maggiore o uguale, per le altre specie (escluso il cerro per sua la bassissima presenza nell'area di Monte Raschio) le piantine affermate sono, in percentuale, maggiori nell'area di Monte Raschio (Figura 4).

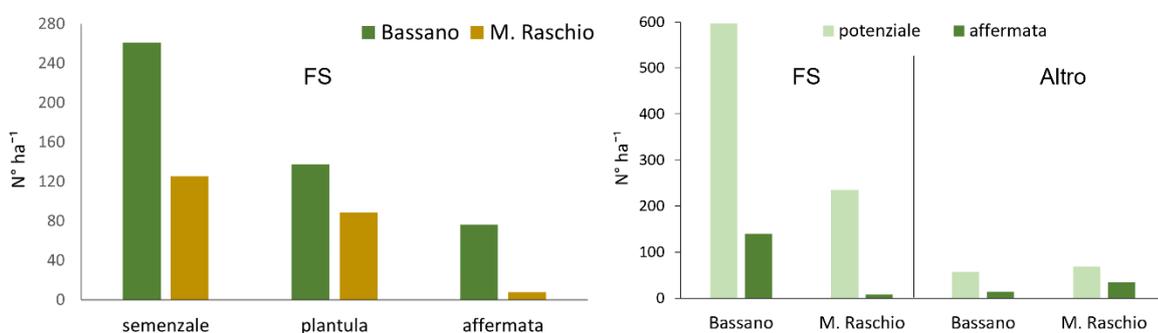


Figura 4. Numero di individui ad ettaro di faggio (FS) per ciascuno dei tre stadi di sviluppo e considerando soltanto la distinzione tra rinnovazione potenziale (< 50 cm di H) e affermata (>= 50 cm di H).

Nonostante il maggior numero delle altre specie di latifoglie fosse concentrato più nell'area di Monte Raschio, gli indici di diversità specifica sono risultati maggiori in quella di Bassano:

<i>Indici di diversità specifica</i>	Bassano Romano	Monte Raschio
<i>Shannon</i>	6.80	5.58
<i>Simpson</i>	1.00	0.99

Per quanto riguarda l'altezza, che è un parametro importante in quanto determina la capacità di affermazione della rinnovazione naturale, quella della rinnovazione di faggio è risultata maggiore nell'area di Bassano ($P < 0.001$), mentre quella delle altre specie è risultata maggiore nell'area di Monte Raschio ($P < 0.001$). Confrontando le altezze per ciascuno stadio evolutivo, il valore medio delle altezze delle piantine affermate è significativamente maggiore nell'area di Bassano (79.9 vs. 54.7 cm, $P < 0.001$). Per il cerro non è stato possibile effettuare un confronto statistico per sua la bassissima presenza nell'area di Monte Raschio.

Il monitoraggio dello stato vegetativo ha evidenziato una maggiore percentuale di individui in buone condizioni di crescita soprattutto nell'area di Bassano, sia per quanto riguarda il faggio (41.6 vs. 29.5 %) che, in misura minore, le altre specie di latifoglie (59.4 vs. 53.6 % - Figura 5). Al contrario, nell'area di Monte Raschio è stata osservata una maggiore percentuale di individui che presentano uno scarso stato vegetativo, mentre confrontando quello medio non ci sono differenze significative. Anche in questo caso, per le altre specie di latifoglie non si considera il cerro per sua la bassissima presenza nell'area di Monte Raschio.

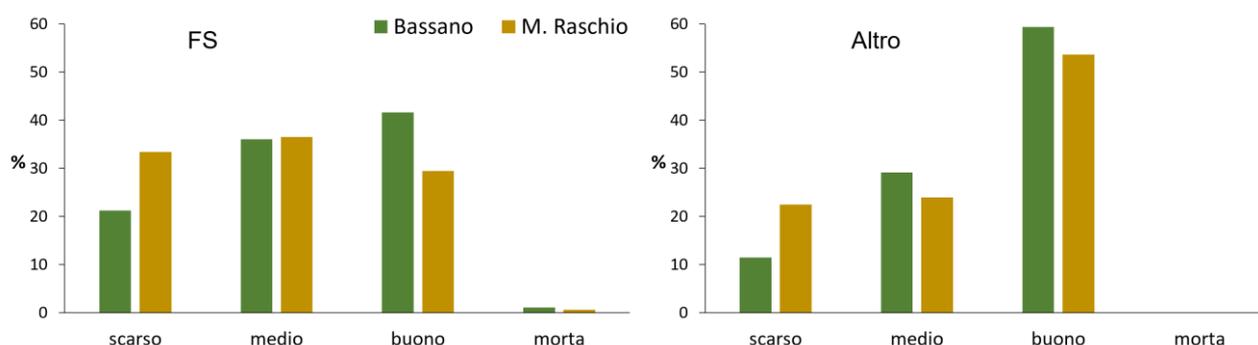
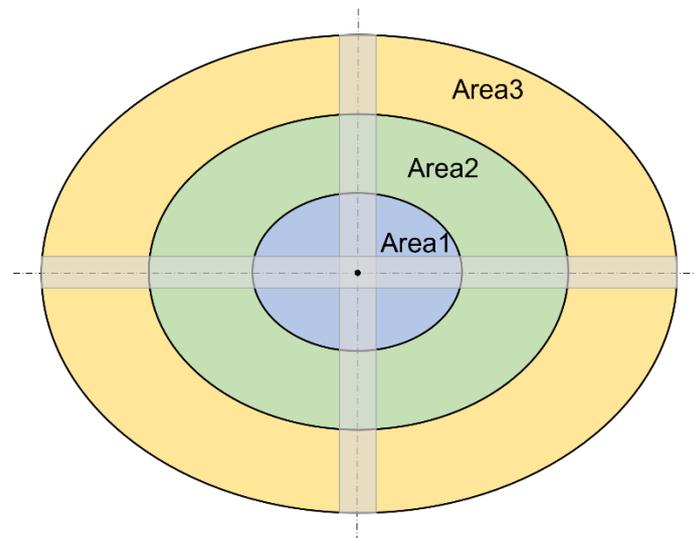


Figura 5. Percentuale di individui di faggio (FS) ed altre specie (Altro) per ogni classe qualitativa dello stato vegetativo di crescita.

All'interno delle buche, la distribuzione della rinnovazione di faggio è stata suddivisa in base alla distanza dal centro, al fine di distinguere e quantificare la sua presenza tra la zona centrale rispetto e quella più marginale, lungo i bordi della buca stessa. Tale raggruppamento è stato effettuato suddividendo l'intera buca in tre aree concentriche: una centrale, e due corone circolari concentriche ad $1/3$ e $2/3$ di distanza dal centro, rispettivamente, come illustrato nel seguente schema:



In generale, considerando i valori medi, la maggior densità di rinnovazione del faggio è stata rinvenuta nell'area3, la più esterna, e secondariamente in quella intermedia (area2), mentre nell'area centrale è stato osservato il minor numero di piantine. L'analisi della varianza (ANOVA) indica infatti una differenza significativa tra le tre aree ($F = 3.15$, $P < 0.05$), in particolare tra l'area3 e l'area1 ($P < 0.05$). Questo pattern è però molto più evidente nell'area di Bassano rispetto a Monte Raschio, come si evince dalla Figura 6. A Bassano, infatti, il numero di piantine di faggio per metro quadro nell'area più esterna dal centro è circa 1.3 volte maggiore rispetto a quello dell'area 2 (anche se non significativo), e circa 2 volte maggiore rispetto all'area centrale ($P < 0.05$). Nell'area di Monte Raschio, invece, questo pattern non appare così netto; infatti, non è stata trovata nessuna differenza significativa tra le tre aree. In ogni caso, sommando le aree più esterne la densità della rinnovazione è comunque maggiore rispetto a quella rilevata nel centro della buca.

Rispetto all'esposizione delle buche, la densità della rinnovazione ha evidenziato un pattern opposto: nelle zone più centrali (area1) è risultata maggiore in quelle esposte a nord (+32.7%), mentre nelle zone di margine (area 3) è risultata maggiore nelle buche a prevalente esposizione sud/sud-est (+37.9%).

Inoltre, la maggiore densità di rinnovazione nelle zone di margine rispetto a quelle centrali nelle buche esposta prevalentemente a sud/sud-est è risultata significativa (Wilcoxon test, $P < 0.05$), anche se il numero di confronti non è elevato (10 buche con esposizione sud/sud-est e 6 nord/nord-ovest).

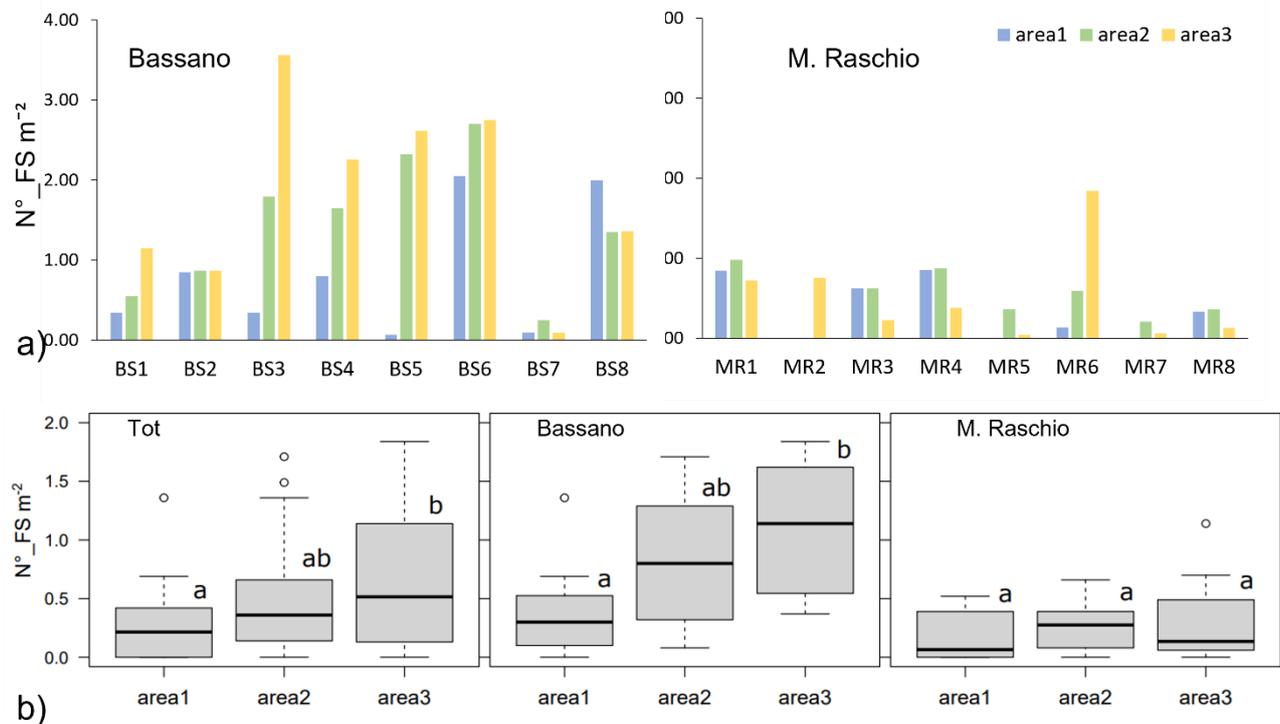


Figura 6. Numero di individui di faggio (FS) per metro quadro nelle tre aree all'interno di ciascuna buca (a). Boxplot del numero di individui di faggio per metro quadro in totale e singolarmente a Bassano e Monte Raschio. Lettere diverse indicano differenze significative (area1 vs. area3: $P < 0.05$ in totale e $P < 0.01$ per la faggeta di Bassano) (b).

3.2 Caratterizzazione climatica

Nell'area di studio il clima è tipicamente mediterraneo (Figura 7), con una piovosità media annua (periodo 2004-2021) di circa 1088 mm, concentrata nei mesi autunno-invernali ed una temperatura media annua da 13.9 °C. Luglio e agosto, con 37.4 e 31.1 mm rispettivamente, sono risultati i mesi con le minori quantità di precipitazioni, mentre novembre e dicembre quelli più piovosi, con una media di precipitazioni superiore ai 130 mm.

A partire dagli anni Cinquanta, le precipitazioni sono rimaste invariate e non hanno subito trend significativi, mentre è stato osservato un aumento significativo ($P < 0.001$) della temperatura a partire degli anni Ottanta.

Questo aumento significativo della temperatura ha molto probabilmente influenzato l'aumento delle condizioni siccitose verificatosi nello stesso periodo di tempo, come evidenziato dall'indice SPEI, soprattutto aumentando il suo effetto cumulato per più anni successivi (es: da 1 a 3 anni - Figura 7). L'indice SPEI a 3 anni, infatti, negli ultimi 20 anni circa (2001-2021) è passato rispetto al ventennio precedente da circa -0.02 a -0.23.

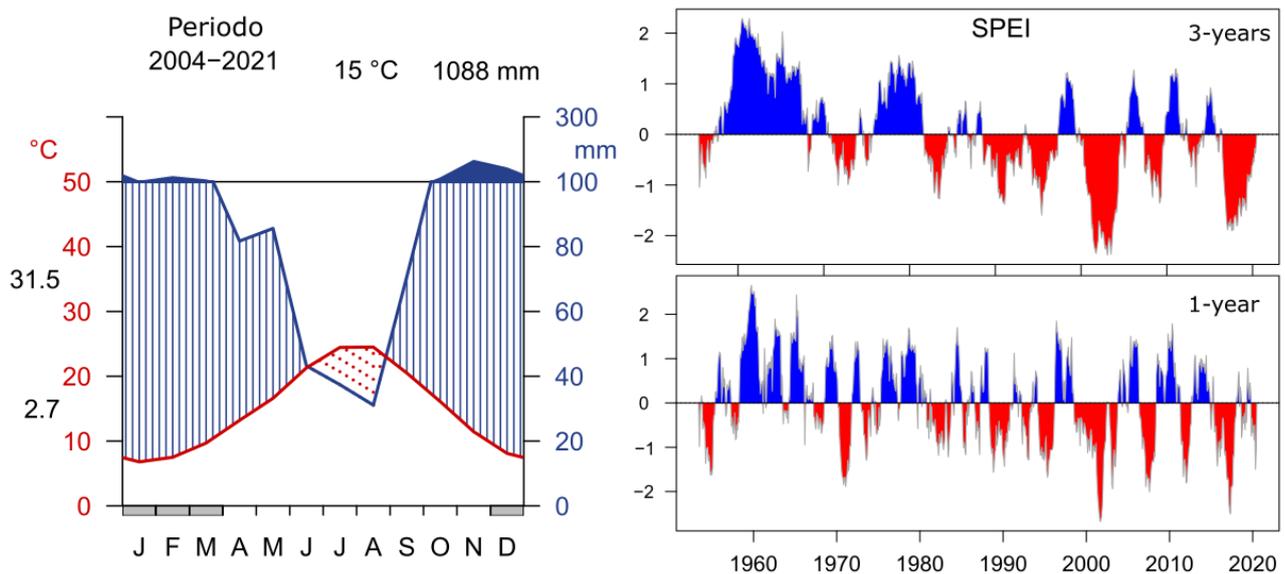


Figura 7 – Diagramma termo-pluviometrico di *Walter & Lieth* caratteristico dell'area di ubicazione geografica dei laghi di Bracciano e Martignano. L'area ombreggiata al centro indica il periodo di aridità. In alto sono indicate la temperatura media annua e la precipitazione annua. Sull'asse y la temperatura media dei massimi e dei minimi. Il grafico a destra indica l'andamento annuale e la media di tre anni dell'indice SPEI.

3.3 Monitoraggio dendroecologico

3.3.1 Analisi dendrocronologia e dinamiche di crescita

In totale sono stati campionati 20 alberi di faggio e 15 di cerro nell'area di Bassano e 19 di faggio e 15 di cerro in quella di Monte Raschio. Per quanto riguarda le dimensioni degli individui campionati, quelli più grossi erano presenti a Monte Raschio, sia per il faggio ma soprattutto per il cerro. Questa caratteristica è ancora più evidente considerando gli incrementi di area basimetrica, come si evince dalla tabella 1. Le serie incrementali delle due specie variano da un numero minimo di anelli annuali di circa 60 anni ad un massimo di 108, misurati per il faggio nella porzione di SIC di Monte Raschio, dove si registrano le cronologie più lunghe di questa specie. Per il cerro, il numero

di anni minimo misurato risulta nell'area di Monte Raschio, mentre in quella di Bassano le cronologie di faggio e cerro presentano un numero di anelli annuali molto simile (Tabella 1).

La sensibilità media è risultata minore per il cerro, con valori molto simili nelle due aree (0.238 e 0.239). Al contrario il faggio, soprattutto a Monte Raschio ha mostrato i valori più alti, con una media di 0.287, suggerendo, in generale, una maggiore sensibilità alle variazioni dei fattori ambientali in grado di influenzare l'accrescimento.

Tabella 1. Principali statistiche dendrocronologiche delle due specie studiate. DBH range: range diametrico degli individui dominanti e codominanti carotati, incremento di area basimetrica medio (M.BAI) \pm deviazione standard (DS), Gleichläufigkeit (Glk – Schweingruber 1988), sensibilità media (SM) e autocorrelazione di 1° ordine (AC1), calcolati sull'intera lunghezza delle cronologie grezze di incrementi di area basimetrica.

	Bassano		Monte Raschio	
	<i>F. sylvatica</i>	<i>Q. cerris</i>	<i>F. sylvatica</i>	<i>Q. cerris</i>
Ampiezza temporale	1932-2021	1932-2021	1916-2021	1937-2021
N° anni				
(max \div min)	(90 \div 59)	(90 \div 60)	(108 \div 60)	(85 \div 54)
(media \pm DS)	77 \pm 8	79 \pm 10	81 \pm 14	71 \pm 9
N° carote/N° alberi	33/20	25/15	29/19	25/16
DBH range (cm)	70.0 \div 100.3	70.0 \div 92.3	70.7 \div 109.5	71.0 \div 114.6
M.BAI \pm DS (cm ²)	46.7 \pm 21.4	44.7 \pm 19.6	51.2 \pm 23.8	58.5 \pm 21.6
Glk	0.68	0.69	0.67	0.70
SM	0.257	0.238	0.287	0.239
AC1	0.65	0.66	0.63	0.53

A livello di specie, l'andamento delle curve di crescita risulta molto simile e ben sincronizzato, con una correlazione molto significativa sia per il faggio ($\rho = 0.89$, $P < 0.001$) che per il cerro ($\rho = 0.83$, $P < 0.001$). Confrontando i due siti, inoltre, l'andamento delle curve di incremento di area basimetrica delle due specie coesistenti mostra un pattern temporale simile (Figura 8). A partire dagli anni '50 e tralasciando i primi 20-30 anni in cui la crescita è fortemente influenzata dal trend biologico legato alla fase giovanile, in entrambi i siti il faggio ha un tasso di crescita maggiore rispetto a quello del cerro fino ai primi anni Novanta.

Successivamente si osserva un cambio di tendenza, in cui la curva di crescita dell'incremento di area basimetrica del cerro è maggiore rispetto a quella del faggio e questa differenza mostra un

trend crescente fino agli ultimi anni delle cronologie. Questo cambio di tendenza è caratterizzato da due periodi in cui il cerro mostra dei picchi di crescita con interposto un periodo di decremento (Figura 8). Nell'area di Monte Raschio, nel primo periodo il cerro ha evidenziato un incremento di crescita, in termini di area basimetrica, di circa il 20.1% in più rispetto al faggio ($P < 0.01$); incremento che nel secondo periodo è diventato ancora più significativo (+ 28.3%, $P < 0.001$). Nell'area di Bassano, invece, questa differenza diventa significativa solo nel secondo periodo, a partire dagli anni 2005-2007, in cui il cerro ha evidenziato un incremento di crescita di circa il 24.6% in più rispetto al faggio ($P < 0.001$).

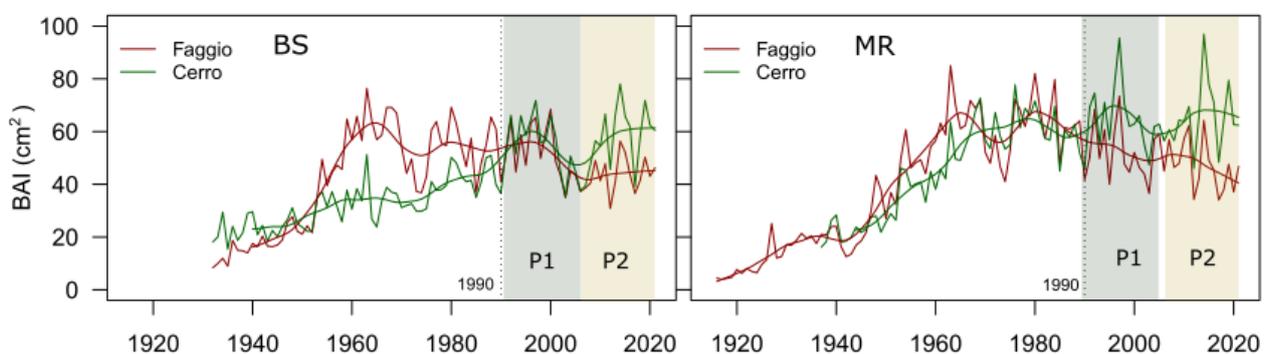


Figura 8 – Andamento delle cronologie medie di incremento di area basimetrica (BAI), grezze ed interpolate con una funzione di *smoothing*, di faggio e cerro nelle due aree di studio, Bassano (BS) e Monte Raschio (MR). In basso è riportato il numero di piante incluse nelle cronologie.

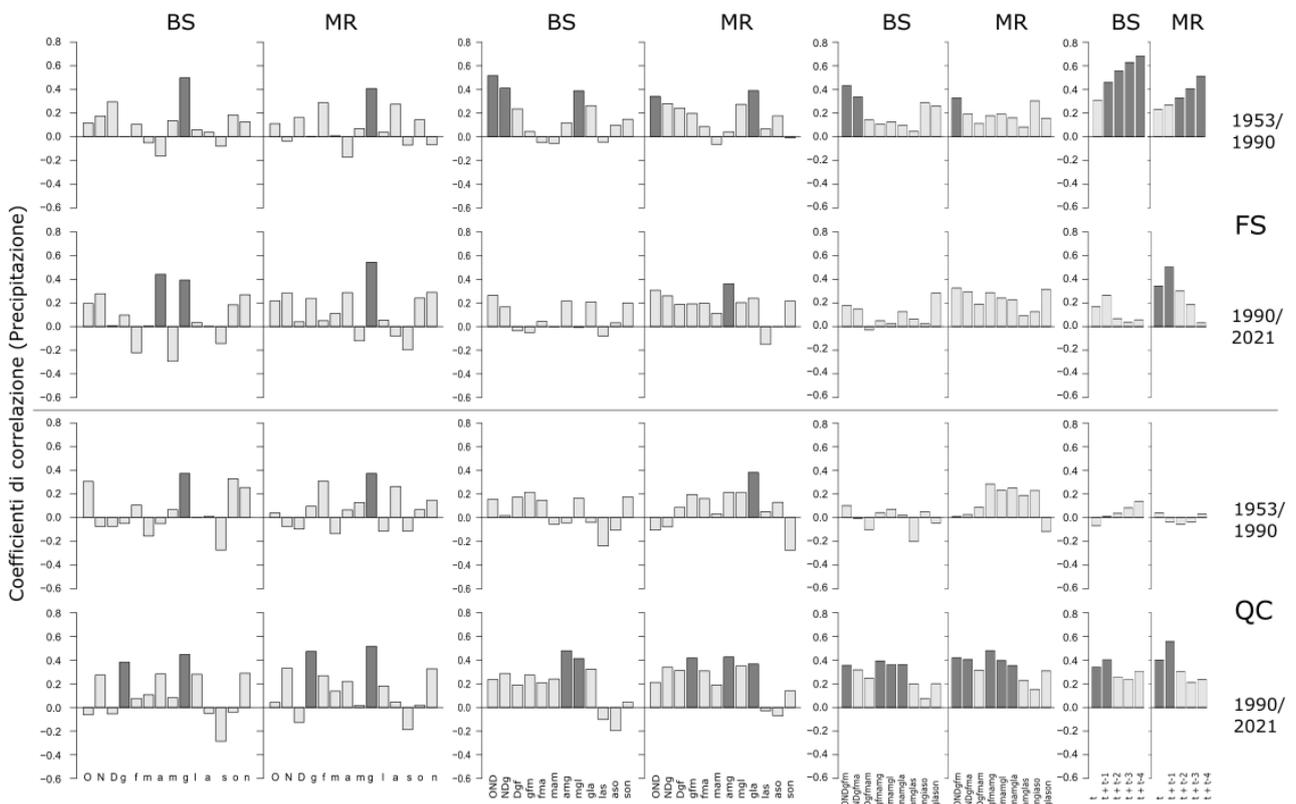
3.3.2 Analisi delle relazioni clima-accrescimento

L'effetto delle principali variabili climatiche correlate con l'accrescimento è stato analizzato in funzione delle dinamiche di crescita delle due specie studiate. Per questo motivo, le relazioni clima-accrescimento sono state condotte in due periodi, prima e dopo il 1990. Considerando che dopo il 1953 non sono stati osservati trend di crescita significativi legati all'età, tali periodi sono stati così suddivisi: 1953-1990 e 1991-2021.

In entrambi i siti di studio, l'effetto delle precipitazioni presenta un pattern contrastante tra le due specie e nei due periodi temporali di riferimento. Per quanto riguarda il faggio, infatti, le correlazioni significative tra accrescimento radiale e precipitazioni negli ultimi decenni (1991-2021) si riducono drasticamente rispetto al primo periodo 1953-1990, mentre per il cerro si osserva il fenomeno contrario (Figura 9). Questo pattern è più significativo passando dai valori di

precipitazione mensili a quelli stagionali ed annuali. Nel dettaglio, a scala mensile giugno è risultato la principale variabile climatica che influenza positivamente l'accrescimento, sia per il faggio che per il cerro in entrambi i siti, rimanendo sempre significativo. Il cerro, inoltre, nel secondo periodo ha mostrato correlazioni positive con le precipitazioni di gennaio.

Passando alla scala stagionale, nel periodo 1991-2021 il faggio perde le correlazioni significative autunno-invernali e quelle tardo primaverili-estive, mentre per il cerro diventano significative quelle primaverili e, considerando la pioggia cumulata per sei mesi, anche quelle autunno-invernali. Osservando infine le variabili annuali, ossia la pioggia accumulata per più anni consecutivi, si osserva ancora nel faggio una riduzione significativa del loro effetto positivo sull'accrescimento, mentre per il cerro iniziano ad avere un effetto positivo, in particolare quelle annuali e quelle accumulate a partire dall'anno precedente la formazione dell'anello (Figure 9).



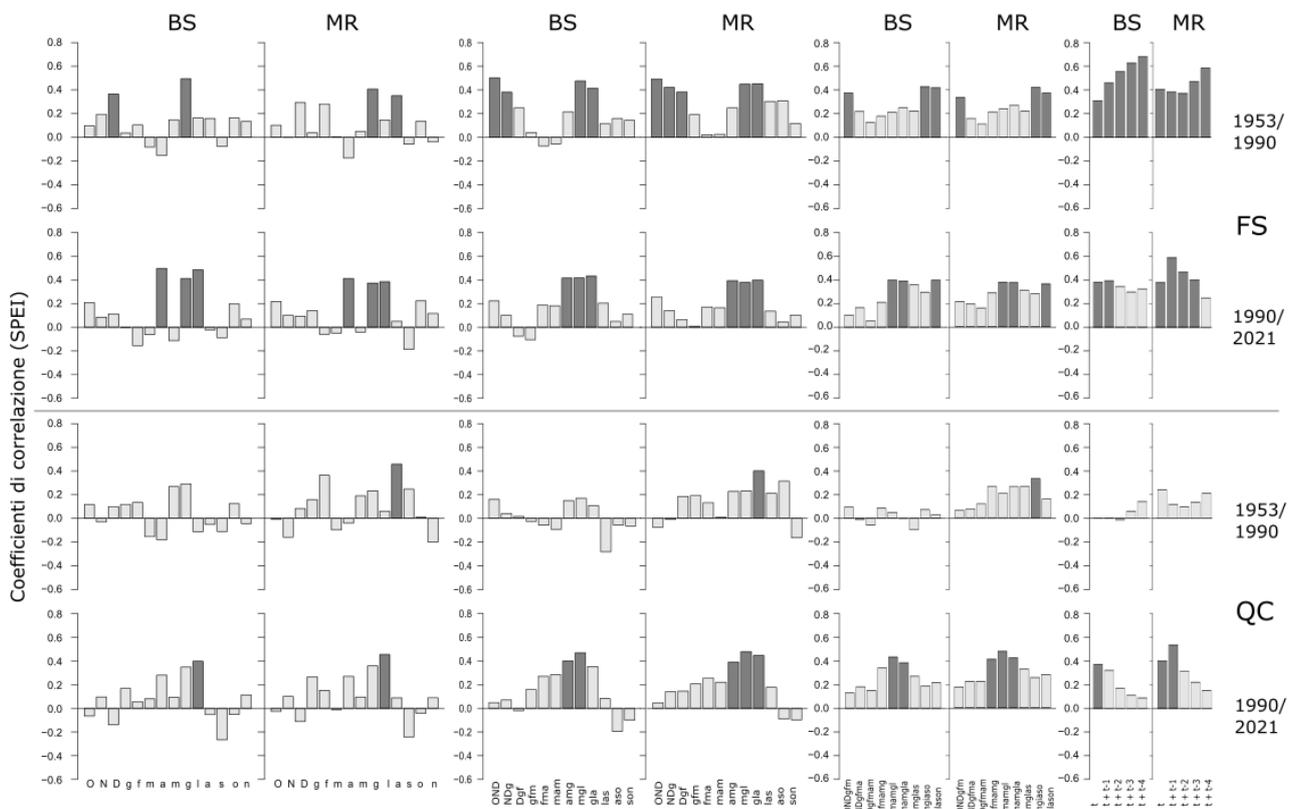
Legenda variabili climatiche																																						
O	N	D	g	f	m	a	m	g	l	a	s	o	n	OND	NDg	Dgf	gfm	fma	mam	amg	mgl	gla	las	aso	son	ONDgfm	NDgfm	Dgfmam	gfmamg	fmgiamg	mamgias	mgiaso	giason	t	t+t-1	t+t-2	t+t-3	t+t-4

Figura 9 – Coefficienti di correlazione a scala mensile, stagionale (3 e 6 mesi) ed annuale, considerando sia l'anno corrente (t) che l'effetto cumulato fino a 4 anni precedenti (t + t-4), come indicato nel box "Legenda variabili climatiche", tra la **precipitazione** e l'incremento di area basimetrica delle cronologie medie di faggio (FS) e cerro (QC) nell'area di Bassano (BS) e Monte

Raschio (MR). Le lettere in maiuscolo si riferiscono all'anno precedente, quelle in minuscolo all'anno corrente. I valori significativi sono evidenziati in grigio scuro.

Anche per quanto riguarda l'indice di aridità SPEI, si osserva un pattern contrastante non tanto a livello di sito ma tra le due specie e nei due periodi temporali di riferimento.

Per il faggio, il cui accrescimento risentiva negativamente delle condizioni siccitose molto più del cerro già nel primo periodo 1953-1990, si è intensificato l'effetto negativo di quelle primaverili (aprile a livello mensile e aprile-maggio-giugno – amg, a livello stagionale) e quelle primaverili-estive, considerando i valori di sei mesi. Al contrario, l'effetto negativo dell'aridità invernale è svanito, così come quello delle condizioni siccitose prolungate per 4-5 anni consecutivi precedenti l'anno di formazione dell'anello (Figura 10). Per il cerro, invece, l'effetto negativo sull'accrescimento dovuto all'aumento dell'aridità verificatosi negli ultimi decenni è stato molto più significativo. Mentre nel primo periodo 1953-1990, infatti, questo effetto negativo era quasi trascurabile, successivamente le condizioni siccitose nel mese di luglio, quelle a scala stagionale da maggio a luglio, e anche quelle annuali che includono l'anno precedente hanno influenzato negativamente l'accrescimento radiale (Figura 10).



Anche per il cerro il recente aumento delle temperature ha avuto un maggiore effetto negativo sull'accrescimento rispetto al periodo precedente (1953-1990), in particolare a livello mensile, nel mese di giugno, e stagionale, da maggio a giugno e fino ad agosto. Al contrario del faggio, l'effetto cumulato dell'aumento di temperatura sia a livello semestrale che annuale, non ha influenzato in modo significativo l'accrescimento (Figura 11). Il cerro, inoltre, ha evidenziato correlazioni positive tra incremento di area basimetrica e aumento delle temperature invernali, in particolare nel mese di gennaio e da dicembre dell'anno precedente fino a inizio primavera, Dgf - gfm (Figura 11).

3.3.3 Influenza dell'umidità e del livello idrometrico del lago

Partendo dal presupposto che la presenza del faggio in quest'area marginale di faggeta a bassa quota è legata alle particolari condizioni microclimatiche, tra cui l'elevata umidità atmosferica dovuta alla presenza del lago di Bracciano, è stato valutato l'effetto sull'accrescimento sia delle variazioni del livello idrometrico del lago a scala annuale che quello dell'umidità dell'aria registrata dalla stazione di Bassano Romano (Piano Mola - 457 m slm) per il periodo 2004-2021.

Per quanto riguarda le variazioni del livello idrometrico del lago, i risultati hanno evidenziato un pattern contrastante ma soprattutto dal punto di vista temporale. In generale, infatti, anche se il faggio sembra essere maggiormente correlato con livello idrometrico del lago, l'aspetto più significativo è la riduzione delle correlazioni per entrambe le specie, soprattutto per le variazioni del livello idrometrico degli anni precedenti a quello della formazione dell'anello (Figura 12).

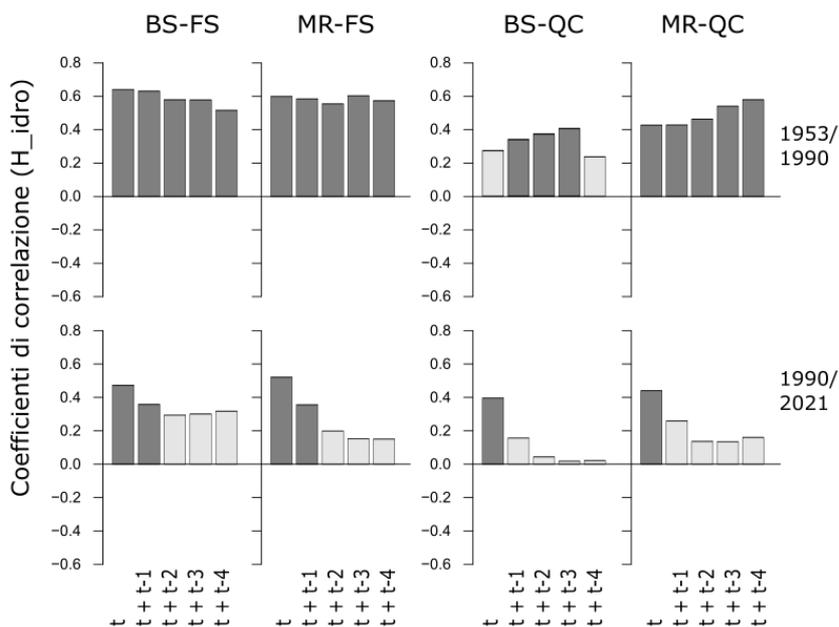


Figura 12 – Coefficienti di correlazione a scala annuale, considerando sia l'anno corrente (t) che l'effetto cumulato fino a 4 anni precedenti ($t + t_{-4}$), tra il **livello idrometrico del lago** di Bracciano e l'incremento di area basimetrica delle cronologie medie di faggio (FS) e cerro (QC) nell'area di Bassano (BS) e Monte Raschio (MR). I valori significativi sono evidenziati in grigio scuro.

Considerando l'umidità dell'aria, invece, è risultato un pattern contrastante soprattutto a livello di specie, con una maggiore correlazione significativa con l'accrescimento del cerro. Nel dettaglio, sono risultate significative soprattutto le correlazioni con l'umidità estiva, in particolare nel mese di luglio, giugno-luglio-agosto e il mese di gennaio (comune ad entrambe le specie in entrambi i siti). Per il cerro, inoltre, è risultata significativa l'umidità non solo annuale ma anche i valori medi fino a 1-2 anni precedenti (Figura 13).

Negli ultimi anni, in particolare nel periodo 2010-2021, l'umidità dell'aria ha mostrato correlazioni significative con il livello idrometrico nel periodo estivo, in particolare nei mesi di luglio e a livello stagionale da luglio ad agosto ($P < 0.05$).

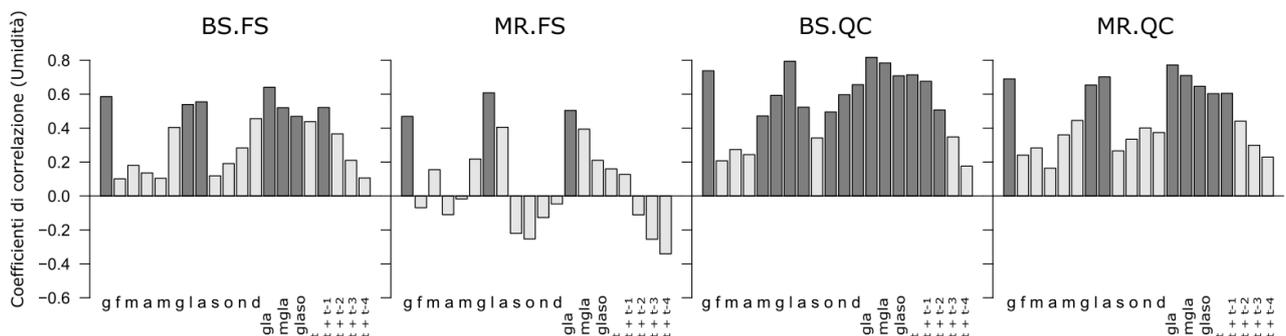


Figura 13 – Coefficienti di correlazione tra l'**umidità media dell'aria** e l'incremento di area basimetrica delle cronologie medie di faggio (FS) e cerro (QC) nell'area di Bassano (BS) e Monte Raschio (MR). I valori significativi sono evidenziati in grigio scuro.

3.4 Dinamiche di crescita in risposta agli estremi climatici

Considerando come estremi climatici quei valori annuali dell'indice di aridità SPEI superiori ai due percentili 90th (anni critici: 1971, 1985, 2001, 2003, 2007, 2012, 2017) e 95th (anni critici: 2001, 2003, 2007, 2017), le variazioni di accrescimento quantificate attraverso gli indici di resistenza, resilienza e recupero hanno evidenziato, in generale, un pattern abbastanza simile tra le due specie e i due siti (Figura 14). In entrambi i siti, sia il faggio che il cerro hanno ridotto

l'accrescimento durante l'anno critico rispetto agli anni di riferimento precedenti (resistenza - R_t), senza evidenziare mediamente differenze significative. Riguardo la resilienza (R_s), ossia la capacità di raggiungere i livelli di crescita precedenti l'anno critico, il faggio ha mostrato ancora valori sempre negativi in entrambi i siti, anche se in questo caso ridotti rispetto a quelli dell'indice di resistenza. Al contrario, il cerro a Bassano ha evidenziato dei valori dell'indice di resilienza positivi e a Monte Raschio è rimasto su valori trascurabili. Per quanto riguarda la capacità di recupero dell'accrescimento (R_c), ossia l'incremento relativo di crescita rispetto al decremento raggiunto durante l'anno critico, sia il faggio che il cerro hanno evidenziato valori positivi. In questo caso, per quanto riguarda le due specie, il cerro ha mostrato valori superiori rispetto al faggio soprattutto nel sito di Bassano (+ 75.0 %; Monte Raschio: + 39.2 %). Confrontando i due siti, la capacità di recupero dell'accrescimento dopo l'estremo climatico è risultata maggiore per entrambe le specie a Bassano, anche se in modo molto più significativo per il cerro (+ 38.6 %) che per il faggio (+ 12.7 %). Considerando infine l'entità dell'anno critico, passando dal 90th al 95th percentile (quindi annate molto più siccitose), la capacità di recupero del faggio si è in media ridotta sia a Bassano che a Monte Raschio (- 30.0 %), mentre per il cerro questa riduzione è stata molto più sostenuta (- 2.9 %) (Figura 14).

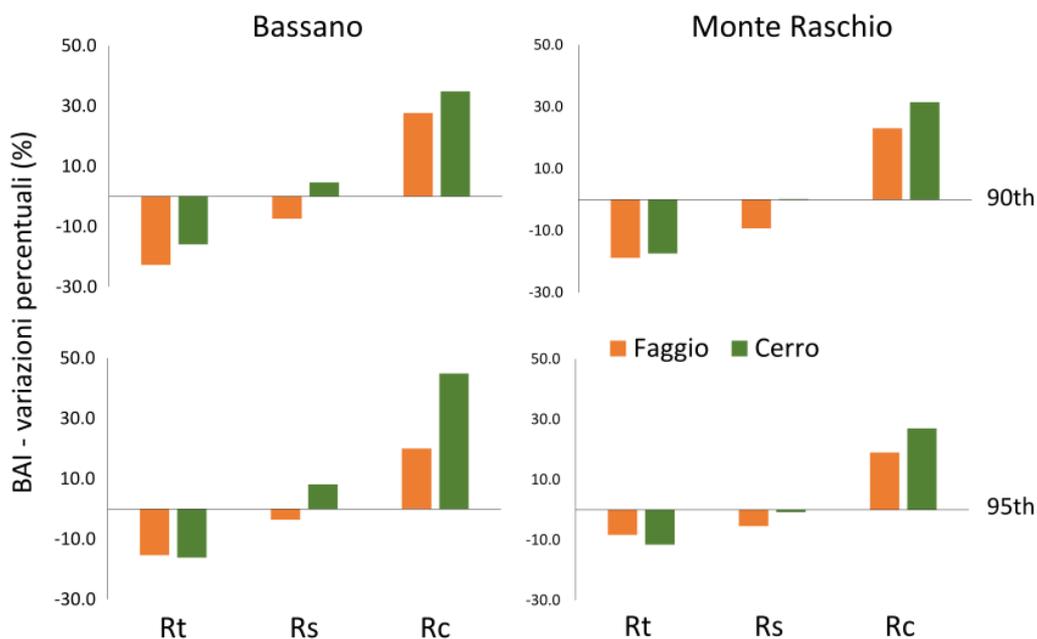


Figura 14 – Variazioni percentuali dell'incremento di area basimetrica in funzione dei tre indici di stabilità dell'accrescimento: resistenza (R_t), resilienza (R_s) e recupero (R_c), calcolati in risposta a valori annuali estremi dell'indice di aridità SPEI, superiori al 90th e 95th percentile.

4. Discussione e conclusioni

4.1 Monitoraggio della rinnovazione naturale

In generale, per quanto laborioso e difficoltoso a causa della presenza di roveti (a volte folti e di altezze significative), l'approccio metodologico per il monitoraggio della rinnovazione naturale all'interno delle buche ha permesso di evidenziare risultati interessanti. Inoltre, il rilievo della rinnovazione all'interno di buche sia di origine naturale (schianti, Monte Raschio) che artificiale (schianti e tagli, Bassano Romano), rende più simile il confronto tra le due porzioni di faggeta.

Dai rilievi effettuati nelle due aree di faggeta termofila depressa ricadenti nel pSIC IT6010034, è risultata una maggiore presenza del faggio nell'area di Bassano Romano rispetto a quella di Monte Raschio (sito UNESCO), sia in totale che per lo stadio di sviluppo di piantine affermate. La stessa tendenza è stata osservata per quanto riguarda lo stato vegetativo di crescita, con una maggiore presenza di individui in buone condizioni di crescita vegetativa sia di faggio che delle altre specie di latifoglie rilevate nel corso del monitoraggio.

Questi risultati preliminari, inoltre, evidenziano un importante pattern spaziale sulla presenza della rinnovazione all'interno della buca, con un maggior numero di individui per metro quadro concentrato più verso i margini nelle esposizioni più calde e soleggiate (sud/sud-est). Al contrario, nelle buche con esposizioni più fresche (a prevalenza nord) non sembra esserci una differenza significativa tra margini e centro della buca. Questo aspetto, però, andrebbe ulteriormente approfondito, in particolare considerando molti più punti di campionamento (buche) per avere un confronto statistico più significativo.

Infine, al netto di un effetto probabilmente trascurabile della gestione passata, in quanto in entrambe le faggete il protocollo di rilievo è stato implementato all'interno di buche, un'analisi più approfondita delle caratteristiche micro-stazionali potrebbe essere di maggior ausilio per una migliore comprensione delle differenze osservate.

Questi risultati preliminari potrebbero essere indicativi di una scarsa potenzialità di rinnovazione di alcuni soprassuoli in evidente fase di invecchiamento, e supportare una pianificazione più appropriata delle faggete depresse, per la conservazione di questo habitat prioritario di particolare interesse naturalistico.

4.2 Monitoraggio dendroecologico

L'analisi delle dinamiche temporali di crescita ha evidenziato come il faggio intorno ai primi anni '90 ha subito una inversione di tendenza caratterizzata da livelli di crescita inferiori rispetto al cerro. Questa riduzione del faggio rispetto al cerro, però, mentre nella porzione di faggeta di Monte Raschio è subito significativa, nell'area di Bassano all'inizio è stata molto sostenuta, diventando significativa a partire dal 2007.

Le variazioni climatiche recenti hanno sicuramente contribuito a questa inversione di tendenza delle dinamiche di crescita delle due specie. Per il faggio, la riduzione delle correlazioni con le precipitazioni a scala stagionale ed annuale, potrebbe indicare una riduzione nell'utilizzo della riserva idrica che si accumula nel suolo a seguito delle precipitazioni stagionali e degli anni precedenti a quello di formazione dell'anello. Il faggio, quindi, sembrerebbe essere dipendente principalmente dalle piogge dell'anno corrente ed in particolare a quelle dei mesi di aprile e giugno. Per il cerro, al contrario, le correlazioni a scala stagionale ed annuale aumentano, indicando un maggiore utilizzo di questa ulteriore riserva idrica stoccata nel suolo, oltre alla pioggia caduta durante la stagione vegetativa corrente, stimolando e favorendo in modo più significativo l'accrescimento. Tra l'altro il cerro sembra utilizzare maggiormente anche l'umidità dell'aria, come si evince dalle correlazioni, incrementando quindi rispetto al faggio il range di risorse idriche disponibili.

Il maggiore utilizzo delle risorse idriche legate alle piogge di lungo termine, per il cerro può essere correlato anche all'aumento significativo dell'influenza esercitata da una maggiore aridità, come indicato dalle correlazioni con l'indice SPEI. Ciò avrebbe potuto spingere il cerro ad utilizzare un più ampio range di risorse idriche, oltre a quelle immediate come appunto la pioggia caduta durante la stagione vegetativa dell'anno di formazione dell'anello.

L'aumento significativo della temperatura, che è un fenomeno ormai noto e registrato in tutto il bacino del Mediterraneo, ha avuto un effetto negativo sull'accrescimento molto più evidente nel faggio, in particolare per il periodo estivo e nel lungo termine, considerando più anni consecutivi.

Il faggio, quindi, a partire dagli anni '90 ha subito maggiormente il cambiamento delle condizioni climatiche rispetto al cerro, evidenziando una riduzione più significativa dell'accrescimento, una capacità di recupero dell'accrescimento dopo un evento siccitoso estremo minore rispetto al cerro ed una minore resilienza.

Infine, un aspetto interessante, che però necessiterebbe di ulteriori approfondimenti, è stato la riduzione significativa delle correlazioni tra accrescimento e livello idrometrico del lago di Bracciano per entrambe le specie. Come osservato da Taviani and Henriksen (2015), l'abbassamento del livello idrometrico può determinare un richiamo di acqua dalle falde superficiali dei terreni circostanti. Questo flusso di acqua verso il lago e a discapito delle falde superficiali dei terreni circostanti potrebbe aumentare a causa della riduzione delle precipitazioni e dell'aumento dei periodi siccitosi e dei prelievi irrigui, riducendo la disponibilità di questa risorsa idrica per le specie arboree forestali.

Di conseguenza, la conservazione di questo importante ecosistema forestale di faggeta termofila, che già è intaccato in modo significativo dai recenti cambiamenti climatici in particolare per quanto riguarda la specie target cioè il faggio, è molto probabilmente anche legata ad una gestione sostenibile della risorsa idrica lacustre.

Ringraziamenti

Vorrei ringraziare particolarmente il Dott. Salvatore Mineo per il supporto logistico nella individuazione delle aree all'interno dell'intera faggeta, per i rilievi in campo e per le utili informazioni relative all'aspetto amministrativo (gestione forestale). Ringrazio, inoltre, il ricercatore del CREA-FL (Arezzo) Ugo Chiavetta per l'aiuto nello svolgimento dei rilievi in campo.

Bibliografia

- Biondi, F., Qeadan, F., 2008. A theory-driven approach to tree-ring standardization: defining the biological trend from expected basal area increment. *Tree-Ring Res.* 64 (2):81–96.
- Bunn, A.G., 2008. A dendrochronology program library in R (dplR). *Dendrochronologia* 26, 115–124.
- Bunn, A.G., 2010. Statistical and visual crossdating in R using the dplR library. *Dendrochronologia* 28 (4), 251–58.
- Fritts, H.C., 1976. *Tree rings and climate*. Academic, San Diego, California, pp. 567.
- Gärtner H, Nievergelt D (2010) The core-microtome. A new tool for surface preparation on cores and time series analysis of varying cell parameters. *Dendrochronologia* 28: 85–92. Doi: 10.1016/j.dendro.2009.09.002.
- Schweingruber, F.H., 1989. *Tree rings: basics and applications of dendrochronology*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 273 pp.
- Taviani, S., Henriksen, H.J., 2015. The application of a groundwater/surface model to test the vulnerability of a deep lake in the vicinity of Roma, Italy to climatic and water use stresses. *Hydrogeol. J.* 23(7), 1481–1498.
- Vicente-Serrano, S.M., Beguer'a, S., López-Moreno, J.I., 2010. A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *J. Clim.* 23, 1696–1718.