



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

Alfredo Di Filippo e Gianluca Piovesan

DendrologyLab, DAFNE, Università della Tuscia

Hanno contribuito:

Michele Baliva (misurazione dendrocronologiche, redazione relazione),
Emanuele Presutti Saba (rilievi di campo), gli studenti **Luca Di Fiore** (rilievi di campo, misurazione serie dendrocronologiche) e **Michelangelo Incocciati** (rilievi di campo).

INDICE

<i>SINTESI</i>	3
<i>IN EVIDENZA</i>	5
<i>INTRODUZIONE</i>	6
Sulle foreste vetuste	6
Riconoscere una foresta vetusta	7
Il regime di disturbo e le dinamiche delle foreste naturali	8
Gli attributi delle foreste vetuste	10
L'importanza delle foreste vetuste	12
Le foreste vetuste quale laboratorio naturale per lo studio dell'impatto dei cambiamenti climatici	13
I cambiamenti climatici	14
L'impatto dei cambiamenti climatici sulle foreste: il caso delle foreste vetuste di faggio	17
<i>MATERIALI E METODI</i>	21
<i>RISULTATI</i>	24
La bioclimatologia del transetto altitudinale: i gradienti climatici ed i trend di produttività	24
La longevità del faggio e la struttura per età dei popolamenti studiati	39
Indicatori di naturalità forestale: storie auxologiche e picchio nero	46
<i>CONCLUSIONI</i>	52
<i>RINGRAZIAMENTI</i>	55
<i>BIBLIOGRAFIA</i>	56

SINTESI

Il presente studio dendroecologico ha contribuito all'inquadramento bioecologico e funzionale di alcune delle foreste a dominanza di faggio con maggior grado di naturalità all'interno del Parco delle Foreste Casentinesi, Monte Falterona e Campigna (PNFC). Si tratta di un'area di particolare interesse negli studi di biogeografia e di conservazione della natura poiché in questi territori si ritrova (Sasso Fratino) il primo esempio di riserva integrale pianificata in Italia in un contesto climatico di transizione tra il clima mediterraneo e quello temperato/alpino.

I primi risultati evidenziano una faggeta vetusta secondaria, con numerosi alberi secolari (anche di 3-4 secoli), estesa a perdita d'occhio lungo un gradiente altitudinale di quasi 1000 m di dislivello. La foresta vetusta interessa diverse unità bioclimatiche, dalla collina alla fascia altomontana. Da rilevare che lungo tutto il gradiente altitudinale si rinvencono numerosi faggi annosi le cui età sono di particolare rilievo per l'Appennino settentrionale e l'arco alpino. Inoltre, alcuni lembi di foresta in prossimità delle rupi potrebbero ospitare anche alberi più vecchi, ai limiti della longevità del faggio. 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 i segni di un 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 e montano, mentre in quello altomontano si colgono i primi segni del declino a partire dal 2003. Gli studi sull'ecologia del disturbo hanno rivelato rilasci diffusi nel corso dei secoli in primo luogo imputabili alle attività selvicolturali, ma anche interessanti picchi nella seconda metà del '700 probabilmente legati alla "*Maldà anomaly*", un periodo interessato da perturbazioni particolarmente intense. Tali disturbi sono alla base di un'articolata struttura demografica disetanea della volta arborea.

L'approfondimento tematico sull'habitat del picchio nero ha confermato le sue esigenze, che vedono nel portamento forestale con alberi dominanti dal fusto slanciato e privo di rami l'habitat riproduttivo preferenziale. Oltre che la presenza di legno morto per la nutrizione, le foreste vetuste sembrano contribuire alla conservazione di questa specie anche grazie alla presenza di strutture arboree differenziate a seconda dei differenti livelli di luminosità presenti al loro interno. Lo studio ha, inoltre, evidenziato come lo scavo dei nidi abbia impattato la crescita a partire dal 2000, data delle prime osservazioni sulla presenza del picchio nero all'interno PNFC.

I primi risultati delle ricerche dendroecologiche sottolineano, quindi, come le estese faggete vetuste delle Foreste Casentinesi racchiudano 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 Ancient Beech Forests of Germany”*.

Questo studio è stato reso possibile dalla fattiva collaborazione tra Parco Nazionale delle Foreste Casentinesi, Monte Falterona e Campigna e Corpo Forestale dello Stato (CFS) - Ufficio Territoriale per la Biodiversità di Pratovecchio. Durante le campagne di rilievo e nella discussione dei risultati si è, infatti, potuto contare sulla piena e fattiva disponibilità di personale altamente qualificato, che ha fornito il supporto logistico e una preziosa serie d'informazioni, dalle osservazioni personali alla documentazione tecnico-scientifica. Un ringraziamento speciale a Fabio Clauser che ideò e realizzò a Sasso Fratino la prima riserva naturale integrale italiana in un luogo strategico per la conservazione della natura, divenuto un laboratorio di ecologia forestale per generazioni di studiosi.

IN EVIDENZA

- Le faggete vetuste del Parco possono essere suddivise in 3 fasce fitoclimatiche altitudinali in base ai fattori climatici che ne controllano la crescita: altomontane (sopra i 1300 m slm), montane (900-1300 m), submontane (600-900 m slm).
- Le fasce fitoclimatiche individuate su base dendroecologica corrispondono alle unità individuate con studi vegetazionali da Viciani e Agostini (2008).
- Le Foreste Casentinesi sono un importante ponte biogeografico fra l'ecologia alpina e quella appenninica.
- In generale l'effetto dello stress idrico estivo è presente in modo marcato solo sotto i 1100 m; al contrario, le faggete altomontane si avvantaggiano di caldo nei mesi agosto-settembre.
- L'attuale fase climatica caldo/arida ha rallentato i ritmi di crescita arborea delle faggete montane e submontane a partire dagli anni '90, con effetti minori rinvenuti anche nelle faggete altomontane a partire dal 2003.
- La longevità massima rinvenuta dal faggio nel Parco è di circa 400 anni.
- Lungo il transetto altitudinale analizzato (600-1500 m slm), la longevità realizzata dal faggio aumenta con la quota, passando da circa 200 a 400 anni.
- La faggeta vetusta di Sasso Fratino ha mostrato un buon grado di naturalità in base agli attributi crono-funzionali analizzati.
- Il picchio nero, per scavare le proprie cavità-nido, seleziona foreste vetuste (anche in fase iniziali di sviluppo), avvantaggiandosi dell'eterogeneità ambientale generata dai processi di naturalizzazione.
- Gli alberi selezionati dal picchio per la nidificazione hanno oltre 150 anni e il tipico portamento forestale. Si ipotizza che, per sfuggire alla predazione, le cavità siano scavate a sufficiente distanza da terra e dalla chioma, con esposizioni a monte o verso salti rocciosi, circondate da alberi con chioma inserita in basso.
- Le analisi dendroecologiche suggeriscono che, perlomeno in alcune aree della Riserva Biogenetica di Campigna, l'arrivo del picchio nero potrebbe essere avvenuto già a partire dal 2000-2001.

INTRODUZIONE

Sulle foreste vetuste

Una foresta vetusta è un ecosistema caratterizzato dalla presenza di alberi annosi e dai relativi attributi strutturali, quali la necromassa e gli alberi habitat (Spies 2004). Il termine di foresta vetusta (in inglese *old-growth*) si diffuse negli Stati Uniti durante gli anni '70, quando alcuni movimenti ambientalisti degli Stati occidentali iniziarono a battersi per impedire l'abbattimento di maestose foreste e la distruzione di habitat di specie animali chiave, come ad esempio lo *spotted owl* (Di Filippo 2005).

Fino ad allora il concetto di vetustà possedeva esclusivamente connotati economici, associato ai popolamenti definiti in selvicoltura come "stramaturi" ed, in effetti, il suffisso "*growth*" del termine inglese sta ad indicare il legame con l'incremento del volume legnoso (Spies 2004).

Nel corso degli anni '80 aumentò la coscienza scientifica e sociale del ruolo ecologico svolto da questi ecosistemi, tanto che il Servizio Forestale dell'USDA, avendo il mandato di fornire un habitat adeguato alla sopravvivenza delle specie più rare e minacciate, diede la definizione riportata come base per identificare popolamenti vetusti appartenenti ai diversi tipi forestali diffusi nelle differenti ecoregioni in cui è suddiviso il paese.

In Italia l'espressione "foresta vetusta" fu introdotta, per così dire ufficialmente, nel documento a cura di Schirone e Ragno che accompagnò nel 1994 il lancio della Campagna Foreste promossa dal WWF per la salvaguardia dei boschi. In realtà i forestali studiano da decenni le foreste "vergini", ma la sostituzione del termine "vergine" o "primevo" con "vetusto" ha dato impulso a nuove campagne di studio, che hanno fornito risultati interessanti e a volte inattesi in un territorio a così antica antropizzazione (Piovesan, 1997; Paci e Ciampelli, 1996; Motta 2002; Piovesan *et al.* 2002; Di Filippo *et al.*, 2004; Piovesan *et al.*, 2005). Sebbene sul nostro territorio sia quasi impossibile rinvenire lembi di foresta vergine, come del resto in buona parte del pianeta, da studi effettuati negli ultimi due decenni, è emerso che questi popolamenti sono presenti in modo diffuso in Italia (Di Filippo *et al.* 2004a,b; Blasi *et al.* 2010), e che alcuni di essi ospitano gli alberi decidui più vecchi finora scoperti nell'emisfero boreale (Piovesan *et al.* 2005; Di Filippo *et al.* 2012).

A partire dalla seconda metà degli anni 2000 i temi dell'individuazione, studio e conservazione delle foreste vetuste italiane sono divenuti sempre più diffusi nella comunità

scientifico. Grazie a queste ricerche la preservazione delle foreste vetuste ha assunto un ruolo di primo piano nelle strategie per la conservazione della biodiversità delle aree protette (p.e. Blasi *et al.* 2010). Anche in Europa si è assistito ad un processo simile che, tra l'altro, ha portato ad un interesse diffuso del ruolo delle foreste vetuste nella conservazione della natura con interessanti contributi delle associazioni ambientaliste (p.e. Mansourian *et al.* 2013). Parallelamente sono state messe in atto iniziative finalizzate alla comunicazione e divulgazione scientifica sul ruolo delle foreste vetuste al fine di diffondere nella società quella cultura naturalistica necessaria per il raggiungimento dello sviluppo sostenibile (Alessandrini *et al.* 2008; Ziaco *et al.* 2012).

Infine va sottolineato il processo europeo "*Beech Forest a Joint Natural Heritage of Europe*" finanziato dal Ministero dell'Ambiente tedesco al fine di espandere il sito seriale UNESCO delle faggete vetuste slovacche, ucraine e tedesche a tutta Europa (Knapp e Fichtner 2012), compresa l'Italia, la quale sta partecipando attivamente per la regione biogeografica Mediterraneo centrale (Piovesan *et al.* 2011, 2012).

Riconoscere una foresta vetusta

Il segno distintivo di una foresta vetusta è costituito dalla presenza di alberi annosi. A questo proposito va considerato che, nel momento in cui si intraprende il difficile compito di definire in maniera univoca cos'è una foresta vetusta, va preferito un approccio basato su processi bioecologici piuttosto che su attributi biologici (Tyrrell 1996). Identificare come annosi alberi sulla sola base dell'età o delle dimensioni sarebbe restrittivo e poco obiettivo, perché eccessivamente vincolato ad una visione antropocentrica della natura (Frelich e Reich 2003). Inoltre, non solo non è possibile definire con precisione l'età di passaggio dalla maturità alla vetustà (Tyrrell 1996), ma spesso la longevità realizzata da una specie in una stazione può differire sensibilmente dalla sua longevità potenziale, poiché gli alberi dominanti, con l'avvento della senescenza e a causa delle chiome particolarmente esposte, diventano progressivamente più suscettibili alla carie del legno e agli agenti meteorologici. Appare quindi più conveniente definire la vetustà in relazione ai processi che la caratterizzano, ossia la senescenza e la morte di alberi dominanti, tipici dei popolamenti che si trovano "negli ultimi stadi di sviluppo strutturale, distinti dagli stadi più giovani per una varietà di attributi, che includono le dimensioni arboree, l'accumulo di grandi quantità di necromassa, la stratificazione verticale della volta arborea, la composizione specifica ed il funzionamento ecosistemico" (Spies 2004). A questo proposito è importante considerare la longevità di un albero in relazione alla fascia/zona fitoclimatica (Di Filippo *et al.* 2012).

Una foresta vetusta si riconosce quindi da una coltivata poiché gli individui dominanti muoiono a causa di disturbi naturali provocando l'accumulo di grandi quantità di necromassa (o biomassa morta, distinta dalla biomassa viva o biomassa *s.l.*) sotto forma di alberi morti in piedi oppure tronchi in piedi e a terra. I primi due costituiscono la necromassa in piedi, gli ultimi la necromassa a terra, definita anche come "detriti legnosi grezzi" (in inglese *Coarse Woody Debris*, CWD). Contemporaneamente si aprono nella volta arborea buche di dimensioni tali da non essere colmate dalla crescita degli alberi circostanti, che spesso sono già di notevoli dimensioni.

Una nuova coorte di individui può occupare il biospazio liberato, contribuendo alla progressiva eterogeneità della struttura per età e della struttura verticale e orizzontale.

In popolamenti stramaturi, cioè non più utilizzati da diversi decenni, quali la foresta Sasso Fratino, la mortalità dà avvio alla realizzazione della vera foresta vetusta, cui è associata una progressiva eterogeneizzazione strutturale. La scalarità di questo processo protratta per un lungo periodo in assenza di disturbi di forte intensità può portare a foreste strutturalmente molto complesse anche a scala di pochi ettari (Piovesan *et al.* 2005).

Il regime di disturbo e le dinamiche delle foreste naturali

Il disturbo ecologico è la forza che guida le dinamiche delle foreste naturali. Con il termine "disturbo" si definisce ogni evento, endogeno o esogeno, che alteri la struttura dell'ecosistema e la disponibilità di risorse al suo interno. Il disturbo implica l'apertura di soluzioni di continuità nella volta arborea dovuto alla morte di alberi dominanti e codominanti e la loro sostituzione ad opera di nuovi individui. Il regime di disturbo di un ecosistema è definito in base a diverse componenti fondamentali (spaziali e temporali) che lo caratterizzano:

- Tipo: riferito all'agente responsabile di disturbo (siccatà, fuoco, galaverna, vento);
- Severità: quantità di biomassa viva trasformata in necromassa;
- Intensità: unità fisica della forza espressa da ciascun agente durante un singolo evento (p.e., Joule/ha per un incendio o km/h per il vento);
- Tempo di ritorno: tempo medio che intercorre tra due eventi di disturbo successivi;
- Tempo di rotazione: tempo necessario affinché tutta la superficie occupata da un popolamento sia completamente sostituita da nuovi individui secondo il vigente regime di disturbo.

In base alla dominanza di un certo tipo di disturbo, si può definire il regime che interessa un ecosistema: ad esempio, nel regime di disturbo a buche (*gap disturbance*), prevalgono aperture generate dalla morte di uno o pochi alberi; oppure, in un regime di disturbo misto, la dinamica a buche può convivere con occasionali eventi di maggiore severità.

Poiché il disturbo costituisce una forza fondamentale nel condizionare le dinamiche strutturali di una foresta, quantificare il regime di disturbo rappresenta un passo importante verso la gestione delle risorse forestali secondo criteri selvicolturali che cerchino di imitare quanto più quelli naturali (Di Filippo 2005). In questo caso si distingue il disturbo naturale dal disturbo antropico, conseguenza della selvicoltura.

Per studiare il regime di disturbo il metodo dendroecologico rappresenta un approccio di ecologia storica fondamentale per ricostruire le dinamiche strutturali passate di ecosistemi forestali. Infatti, attraverso lo studio delle serie dendrocronologiche di ampiezze anulari è possibile ricostruire la storia auxologica del singolo albero e del popolamento in cui esso è cresciuto e, per riflesso, il regime di disturbo.

Considerando la mancanza di dati provenienti da un monitoraggio sistematico del regime di disturbo a cui sono sottoposte le nostre foreste, è evidente l'importanza del metodo dendroecologico per ottenere le informazioni relative alla variabilità naturale degli eventi di disturbo.

In seguito a un disturbo di forte severità, che provochi la morte di tutti o della maggior parte degli alberi di una foresta, si osservano col passare del tempo dei cambiamenti strutturali legati alla dominanza di differenti processi ecologici. Se consideriamo la *singola coorte*, ossia l'insieme coetaneo di alberi all'interno di una comunità arborea, che si insedia sulla superficie liberata, si possono distinguere quattro fasi che costituiscono il cosiddetto "ciclo silvologico" (Oldeman 1993; Emborg *et al.* 2000):

1. rinnovazione, o colonizzazione dello spazio liberato da parte di nuovi individui;
2. aggradazione, in cui avviene l'autodiradamento per competizione laterale in seguito al contatto tra le chiome;
3. biostatica, o matura, con sviluppo della struttura sociale;
4. degradazione, con morte degli individui dominanti.

Se, invece di considerare la singola coorte, ci poniamo a livello dell'intera *comunità arborea* presente, in seguito ad un disturbo estremamente severo le dinamiche strutturali possono essere descritte secondo i quattro stadi delineati da Frelich (2002):

1. colonizzazione (stadio corrispondente alla fase di rinnovazione);
2. autodiradamento (stadio corrispondente alla fase di aggradazione);
3. transizione demografica, in cui la degradazione della coorte dominante apre buche che, non suturabili per crescita laterale, favoriscono l'insediamento di una nuova coorte (disetaneizzazione con struttura verticale bistratificata);
4. multicoorte, in cui la progressiva apertura di buche genera disetaneità avanzata ed elevata eterogeneità strutturale (foresta pluristratificata).

Ne deriva che si possono definire foreste vetuste *quelle cenosi ricadenti negli stadi di transizione demografica e multicoorte*, in cui la morte naturale di alberi dominanti avvia il popolamento verso gli stadi strutturali più avanzati.

Nell'applicare questi concetti alle nostre foreste, è bene distinguere tra foreste vetuste primarie e secondarie (Frelich 2002). Le *foreste vetuste primarie* sono quelle in cui struttura e dinamiche attuali sono legate esclusivamente a processi naturali. Esse sono caratterizzate da un'elevata eredità naturale, costituita da disturbo e rinnovazione naturale protratti nel tempo, testimoniata da fonti storiche e paleoecologiche. Le *foreste vetuste secondarie*, invece, portano ancora al loro interno (nella composizione e struttura del bosco, e anche nella crescita degli alberi) i segni del passato impatto antropico. Così, ad esempio, l'abbandono delle pratiche selvicolturali condurrà una fustaia coetaneiforme verso una foresta vetusta secondaria quando nelle buche, generatesi in seguito a disturbi naturali, si sarà insediata una nuova coorte (stadio di transizione demografica).

Col tempo il popolamento potrà, quindi, evolversi a fustaia (vetusta) secondaria multicoorte e poi a fustaia primaria multicoorte quando saranno morti gli alberi del ciclo più vecchio che si erano insediati in seguito ai trattamenti selvicolturali. S'intuisce che i tempi di rinaturalizzazione di un ecosistema forestale sono estremamente lunghi (da alcuni secoli fino a superare in alcuni casi il millennio) e una nuova frontiera della selvicoltura è quella di tentare di accelerare i tempi di rinaturalizzazione.

Gli attributi delle foreste vetuste

Con il passaggio alla vetustà, una comunità arborea manifesta alcune peculiarità strutturali che, essendo rare e/o assenti nei popolamenti meno evoluti (più giovani), ne permettono il riconoscimento. Dal punto di vista pratico, definire valori soglia o un campo di variazione per i principali attributi strutturali delle foreste vetuste è fondamentale per costituire un quadro

diagnostico pratico per la loro identificazione di campo, ma va sottolineato che tali attributi dipendono dalla biogeoclimatologia (Ziaco *et al.* 2012). La composizione specifica, adottata in alcune definizioni, è poco oggettiva perché la condizione di vetustà non è vincolata solo a popolamenti tardo-successionali, ma si manifesta anche attraverso i diversi stadi delle successioni forestali (ad esempio, in pioppeti e in pinete così come in faggete) ed è, anzi, condizione necessaria per il passaggio agli stadi finali. Keddy e Drummond (1996) hanno stabilito, sulla base di studi effettuati negli Stati Uniti, che valori di area basimetrica superiori a 29 m²/ha e 20 Mg/ha di necromassa possono essere considerati come controllo/norma per le foreste temperate decidue.

Anche la presenza significativa di alberi di grandi dimensioni, in cui si concentra buona parte della biomassa, è un elemento diagnostico importante. E' tuttavia evidente che in fustaie a cattedrale questi costituiscono la maggior parte degli individui presenti e la quasi totalità della biomassa, e allo stesso tempo anche in popolamenti disetanei, pur rappresentando una minima percentuale degli individui presenti, essi continuano a possedere una buona percentuale del volume vivo (Piovesan *et al.* 2005).

A fianco della componente viva, la presenza di elevate quantità di necromassa costituisce un altro elemento altamente diagnostico, segno tangibile dell'abbandono delle attività selvicolturali e dell'innescò del processo di mortalità (Wolynski 2001). Una foresta vetusta possiede una necromassa ben differenziata in individui morti in piedi, ancora integri o troncati e nelle varie fasi di degradazione, e detriti legnosi a terra, a cui sono associati determinati valori di densità e di volume. In particolare, un elemento particolarmente caratterizzante sono i grandi alberi (diametro a petto d'uomo oltre 50 cm) morti in piedi o vivi, ma provvisti di cavità, perché costituiscono i cosiddetti "alberi habitat", indispensabili alla sopravvivenza di molte specie animali.

Gli intervalli di variazione riportati per gli attributi sottendono la variabilità esistente tra diversi popolamenti, associata allo stadio del ciclo strutturale di appartenenza. Infatti, fustaie coetanee stramature all'inizio della fase di crollo sono caratterizzate da valori molto elevati di area basimetrica, dalla dominanza di alberi di grandi dimensioni, che detengono la quasi totalità del volume, mentre la necromassa può essere trascurabile, oppure presente localmente in quantità massicce in seguito ad eventi catastrofici. Con l'avanzamento della disetaneizzazione (fase di crollo) diminuisce la presenza dei grandi alberi e, di conseguenza, la biomassa (quindi l'area basimetrica) decresce fino a raggiungere un valore di quasi equilibrio, distribuendosi tra le varie classi dimensionali; anche la necromassa raggiunge nel tempo valori che rappresentano un compromesso tra i tassi di produzione e quelli di decomposizione del legno. L'acquisizione di nuovi

casi studio nel nostro paese appartenenti a vari tipi forestali e a diverse condizioni stagionali servirà a costruire nel tempo un quadro di riferimento sempre più oggettivo.

Va infine sottolineato che nello strato dominante delle foreste strutturalmente più evolute, ossia composte da specie tolleranti dell'ombra, non vi è in genere una correlazione tra diametro ed età a causa della complessità delle storie di crescita individuali, legata ai condizionamenti ambientali, alla casualità degli eventi di disturbo e ai diversi livelli di competizione che comprendono fasi di aduggiamento della durata di diversi decenni. In questi casi, la dendroecologia si è dimostrata uno strumento essenziale per definire l'età potenziale di una specie in una stazione e ricostruire i processi di crescita (Fig. 5; Di Filippo *et al.* 2004).

L'importanza delle foreste vetuste

Le foreste vetuste sono ecosistemi unici, che possiedono qualità assenti nei boschi gestiti, perché l'assenza o l'abbandono delle attività selvicolturali fanno sì che i processi naturali, altrimenti imbrigliati dall'uomo attraverso la selvicoltura, riacquistino la dominanza nel guidare le dinamiche ecosistemiche. Per questo motivo esse rappresentano il massimo esempio di naturalità nei nostri ambienti ed è evidente, quindi, l'importanza di studiarle approfonditamente e monitorarle sistematicamente non solo per comprendere i processi naturali che interessano gli ecosistemi forestali, ma anche perché costituiscono il controllo in base a cui valutare l'impatto delle attività umane sugli ecosistemi naturali e, nella fattispecie, la sostenibilità delle attuali tecniche selvicolturali.

Al loro interno la biomassa, invece di essere asportata dall'ecosistema mediante le utilizzazioni forestali, viene restituita al suolo sotto forma di legno "morto" contribuendo alla conservazione della fertilità stagionale, all'integrità dei cicli biogeochimici e del ciclo idrologico, permettendo così l'espressione di catene trofiche alquanto complesse nonché dei servizi ecosistemici che in questi ambienti si esprimono ai massimi livelli.

A questo proposito, nei resoconti dei primi naturalisti che esplorarono le foreste degli Stati Uniti orientali, sono riportate le descrizioni di foreste magnifiche con alberi di dimensioni eccezionali, le cui misure non sono state più riscontrate in seguito (Leverett 1996, citato in Di Filippo 2005). Le utilizzazioni forestali hanno determinato la perdita dei genotipi di questi alberi slanciati e maestosi e/o hanno modificato l'ambiente nemorale riducendo la fertilità e alterando i rapporti competitivi? Solo uno studio approfondito dei lembi relitti che comprenda anche una caratterizzazione genetica potrà tentare di dare una risposta a questa domanda fondamentale alla

base di ogni scelta di pianificazione ecologica del territorio. Oggi sappiamo che nelle foreste vetuste anche la fissazione dell'azoto atmosferico avviene con maggiore intensità (Izquierdo e Nüsslein, 2014). Allo stesso tempo solo nelle foreste vetuste si rinvergono gli individui prossimi alla longevità della specie (Di Filippo *et al.* 2012).

Inoltre, lo studio di questi ecosistemi consente di stimare la quantità massima di carbonio stoccabile in una foresta, aspetto molto importante nello sviluppo di modelli ecosistemici.

Dal punto di vista della conservazione della natura, questi ecosistemi sono dotati di habitat assenti nei boschi gestiti, fondamentali alla conservazione di specie animali e vegetali, soprattutto di quelle rare e/o minacciate. Ad esempio, la presenza di alberi con cavità di varie dimensioni (alla base o lungo il fusto) e di alberi morti in piedi offre siti utili per il rifugio, la nutrizione e la riproduzione di varie specie di micro e macro mammiferi o di uccelli, come picchi e gufi; la necromassa a terra è fondamentale per roditori, anfibi e rettili; nel complesso, la presenza di alberi deperienti e morti costituisce un habitat per molte specie di insetti e funghi.

Le foreste vetuste rappresentano un modello unico a cui fare riferimento nel definire i fondamenti di una selvicoltura a basso impatto ambientale, che cerchi di disturbare al minimo gli ecosistemi naturali, conservandone quanto più possibile la biodiversità e le funzioni ecosistemiche. Allo stesso tempo, nei lavori di ricostituzione boschiva, le foreste vetuste costituiscono quel punto di arrivo la cui esistenza permette di progettare e sviluppare adeguate tecniche per il ripristino della naturalità in popolamenti gestiti e modificati più o meno profondamente dall'uomo, nel tentativo di accelerare i lunghi tempi previsti dall'evoluzione naturale. A questo proposito, negli ultimi anni è in atto anche nel nostro paese una estesa ed articolata attività di ricerca finalizzata a proporre efficaci linee guida nella pianificazione ecologica del territorio forestale per tutelare gli attributi legati alla vetustà in modo tale da mitigare l'impatto dell'uomo sugli ecosistemi naturali.

Le foreste vetuste quale laboratorio naturale per lo studio dell'impatto dei cambiamenti climatici

Il dinamismo degli ecosistemi forestali può essere ascritto ai sistemi complessi, aperti e dissipativi che si evolvono lontano dall'equilibrio termodinamico. Il clima è un fattore di primo piano che incide notevolmente sulla composizione e sulla struttura di un determinato popolamento. D'altra parte, le foreste stesse possono contribuire al regime climatico di una

regione innescando processi di retroazione che complicano ulteriormente lo studio di questi sistemi complessi.

In questa nota si analizza dapprima l'impatto dei cambiamenti climatici sui popolamenti forestali, in primo luogo le foreste vetuste, quindi si passa a considerare la possibilità che ha il bosco di modificare il clima locale in relazione alla struttura. Si tratta di temi, soprattutto nel secondo caso di studio, in cui la ricerca è ancora in una fase embrionale.

Per comprendere le caratteristiche e il dinamismo degli ecosistemi forestali vi è la necessità di predisporre adeguate reti di monitoraggio che rappresentano il presupposto per ampliare le nostre conoscenze sulla funzionalità degli stessi e attuare così le strategie di mitigazione più opportune in relazione alle eventuali variazioni ambientali. I dati che derivano da tali reti permettono allo stesso tempo la verifica e lo sviluppo di modelli predittivi della risposta degli ecosistemi ai cambiamenti climatici. Tuttavia, il limite di questo approccio, basato su indicatori ambientali, sta nella necessità di disporre di campagne di monitoraggio periodiche di durata decennale.

In questo contributo si mostra come tale limite venga superato seguendo l'approccio dendrocronologico basato sullo sviluppo di reti dendroecologiche.

I cambiamenti climatici

Il clima di una regione si descrive con le analisi di parametri meteorologici (p.e. temperatura, precipitazioni, vento, umidità), rilevati con cadenza almeno giornaliera e per non meno di 30 anni consecutivi. Così, mentre le previsioni del tempo si riferiscono alle variazioni giornaliere di questi elementi, il clima di una determinata regione può essere descritto come il "tempo medio" e cioè la sua variabilità per un determinato arco temporale.

Le classificazioni climatiche raggruppano le regioni della terra con un clima simile, caratterizzato in primo luogo dal regime delle temperature e delle precipitazioni. Procedendo dall'equatore verso i poli si incontrano regioni con un clima progressivamente meno caldo; si passa così dai climi tropicali e subtropicali, caldi durante tutto l'anno, a quelli temperati, con marcata stagionalità, fino ad entrare nelle terre dai climi boreali e polari dove le temperature diminuiscono notevolmente (in inverno si toccano valori minimi molto bassi, anche inferiori a -50 °C, mentre le fresche estati sono particolarmente brevi).

Esaminando il regime pluviometrico, dai climi umidi (con precipitazioni abbondanti e persistenti per tutto l'anno) si giunge, attraverso un'ampia serie di tipi diversificati per periodo ed

intensità delle precipitazioni, a quelli aridi, che sono invece caratterizzati da livelli di precipitazioni annuali molto bassi con eventi spesso episodici. La loro distribuzione nei continenti è più complessa rispetto al variare delle temperature; così dall'equatore, in genere caratterizzato da elevati livelli di precipitazioni, si entra nella fascia subtropicale caratterizzata in vasti settori da aree desertiche (p.e. Sahara), dove le precipitazioni sono eventi eccezionali. Il variare delle precipitazioni e delle temperature determina la distribuzione sulla terra dei principali biomi.

Il clima della terra è il risultato di una complessa interazione di numerosi fattori (p.e. variabilità dell'irraggiamento del sole, precessione degli equinozi, eruzioni vulcaniche, cambiamenti geologici a lunga scala temporale, etc.) il cui mutamento può determinare delle variazioni di portata planetaria anche drammatiche, i cosiddetti cambiamenti climatici. Questi cambiamenti (ad esempio i cicli glaciali del Quaternario determinano un riassetto delle regioni climatiche e dei biomi associati, con configurazioni anche molto differenti da quelle preesistenti o attuali (ad esempio calotte di ghiaccio che scendono fino al centro dell'Europa). I cambiamenti climatici hanno in passato determinato l'estinzione di numerose specie, ma anche aperto l'opportunità per la genesi di nuove forme di vita.

Per descrivere le variazioni del clima si utilizzano grafici in cui sull'asse delle ascisse è riportato il tempo, mentre quello delle ordinate descrive lo stato del parametro climatico che si intende indagare (p.e. temperatura, precipitazioni). Il concetto di scala spaziale e temporale è centrale negli studi sui cambiamenti del clima. Le aree oggetto di studio possono interessare estensioni via via maggiori; si passa così da analisi a carattere locale (p.e. regionale) a studi di scala continentale, fino a quella emisferica o, addirittura, planetaria-globale. Lo scorrere del tempo può essere rappresentato in anni, secoli, millenni, e anche milioni di anni a seconda del fenomeno che si intende studiare. Così, ad esempio, i cicli glaciali del Quaternario per essere rappresentati necessitano di una scala di migliaia di anni. Attualmente il clima della terra viene descritto tramite una rete di stazioni meteorologiche che rilevano in continuo tutta una serie di parametri fisici. Queste stazioni sono distribuite, più o meno omogeneamente, in quasi tutte le regioni del globo, anche in quelle oceaniche. Negli ultimi decenni, inoltre, la rete terrestre viene integrata da rilevazioni di sensori montati su satelliti che ne permettono di monitorare tutta la superficie, anche le aree più remote (p.e. oceani, deserti, calotte glaciali) dove peraltro possono sorgere problemi logistici per il mantenimento di un'efficiente rete meteorologica. Andando indietro negli anni, invece, i nodi della rete si rarefanno in modo considerevole e, di conseguenza, le informazioni sul clima della terra diminuiscono notevolmente (globalmente le informazioni da

satellite sono affidabili solo a partire dagli anni '80). Nell'Ottocento si hanno dati solo per le principali città, soprattutto dell'area occidentale; nel Settecento le registrazioni strumentali non sono più disponibili dato che la strumentazione scientifica per il monitoraggio del clima nasce proprio in questo secolo. Quindi per descrivere il clima del nostro pianeta e le sue variazioni per gli anni prima dell'Ottocento abbiamo bisogno di ricorrere ai cosiddetti dati *proxy*, ossia dati racchiusi in archivi naturali, quali gli anelli degli alberi, il ghiaccio delle calotte glaciali, le barriere coralline, etc. Le variazioni climatiche vengono rivelate tramite delle complesse procedure di analisi che fanno ricorso anche ad esami chimici in cui si misura la concentrazione di determinate molecole e isotopi. Questi studi ci dicono che il clima della terra è mutevole alle diverse scale spaziali e temporali con oscillazioni, più o meno forti e regolari, a seconda del periodo di analisi e del settore terrestre analizzato. E', infatti, da sempre noto che il clima non è stabile nel tempo, ma presenta variazioni di lunghezza periodale diversa la cui conoscenza e conseguente possibilità di previsione possono risultare determinanti per il benessere o, addirittura, per la stessa vita dell'uomo sul pianeta. Oggi sembra che vi siano elementi per supporre che, accanto alle variazioni di alta frequenza che regolano le condizioni meteorologiche quotidiane, sia in atto un vero e proprio cambiamento dei cicli climatici generali che trova espressione in insoliti episodi piovosi o in lunghi periodi di siccità così come in temperature massime e minime molto lontane dalle medie stagionali. Da circa due secoli l'uomo con le sue attività (p.e. produzione di particelle di aerosol, ozono, gas con effetto serra) ha influenzato una serie di processi che possono modificare il clima non solo a scala locale, ma anche planetaria. Se da tempo, infatti, vi erano osservazioni, oggi confermate dai modelli climatici, che il disboscamento selvaggio della foresta equatoriale recava con sé siccità e carestie, in conseguenza delle alterazioni del ciclo idrologico, è soprattutto nell'ultimo cinquantennio che l'attività dell'uomo sta portando a dei cambiamenti climatici di scala planetaria. Un uso del suolo via via più impattante, la deforestazione di vaste aree, e in particolare, l'emissione nell'atmosfera di sempre maggiori quantitativi di gas (p.e. biossido di carbonio e metano derivanti in primo luogo dai combustibili fossili) hanno aumentato l'effetto serra naturale, determinando un sensibile innalzamento delle temperature, particolarmente accentuato negli ultimi anni quando, ad esempio, si sono verificate estati eccezionalmente calde in molte regioni del globo. Così, se l'effetto serra, intrappolando i raggi infrarossi, ha permesso lo sviluppo della vita sulla terra, una sua esaltazione dovuta alle attività antropiche, porterà secondo i modelli climatici a rilevanti cambiamenti, in primo luogo ad un riscaldamento globale. Gli ultimi rapporti dei climatologi ci dicono, infatti, che il riscaldamento del pianeta è ormai certo, come testimoniato

dall'aumento delle temperature globali dell'atmosfera e degli oceani, dal diffuso scioglimento dei ghiacciai sulle montagne e delle calotte polari e dall'innalzamento del livello del mare.

Per convenzione negli studi sul cambiamento del clima le variazioni dei vari parametri vengono rappresentate rispetto a un periodo di riferimento (trentennio 1961-90). Poiché negli ultimi decenni, soprattutto a partire dagli anni '70, molte aree del pianeta sono state caratterizzate da aumenti considerevoli della temperatura, si parla di anomalie climatiche nelle temperature, più in particolare di anomalie positive. Ma quali sono le conseguenze del riscaldamento globale sulla funzionalità degli ecosistemi e quali rischi comportano per l'estinzione delle specie viventi? Si tratta di domande molto complesse che vanno riferite alle diverse regioni climatiche e ai diversi contesti territoriali, considerando anche le modifiche apportate dall'uomo. Va, infatti, ricordato che millenni di uso del territorio hanno in molti casi determinato considerevoli cambiamenti compositivi e strutturali nei vari ecosistemi. Così oggi l'effetto delle attività antropiche sugli ecosistemi non è più solo diretto (p.e. tagli in foresta, pascolo nelle praterie, cambiamenti nell'uso del suolo, inquinamento dei corsi d'acqua), ma anche indiretto in quanto l'uomo sta modificando, come si è detto, il clima ossia il principale fattore che regola il funzionamento dell'ecosistema.

L'impatto dei cambiamenti climatici sulle foreste: il caso delle foreste vetuste di faggio

Le foreste vetuste, in quanto ecosistemi poco o affatto disturbati dall'azione antropica, rappresentano un caso di studio in cui è possibile comprendere l'effetto dei cambiamenti climatici sulla funzionalità e sul dinamismo delle fitocenosi, ad una scala temporale molto più ampia e in condizioni ecosistemiche più evolute rispetto alle foreste normalmente utilizzate.

La dendrocronologia, in senso lato, è la scienza che si occupa della collocazione temporale degli anelli annuali di accrescimento delle piante arboree. Secondo un'accezione corrente, la dendrocronologia, è la disciplina che studia l'accrescimento degli alberi nel loro divenire e i fattori che lo condizionano nel tempo. Negli ultimi decenni la dendrocronologia si è andata via via affinando in relazione alle sue potenzialità e ai suoi campi applicativi e, in particolare, la dendroecologia, ossia lo studio dei fattori ecologici che condizionano la formazione degli anelli legnosi annuali degli alberi, è quella branca che si occupa di comprendere come le variazioni climatiche influenzino la crescita delle foreste di un determinato territorio alle diverse scale spaziali (dal singolo albero a regioni-continenti) e temporali (dalle stagioni ai secoli).

In questo contesto lo studio dendroecologico delle faggete italiane, grazie alla loro diffusione sulle Alpi e sull'Appennino, unita all'apprezzabile longevità del faggio (può raggiungere i 5-6 secoli di età), ha permesso di approfondirne la bioclimatologia e, in particolare, di indagare l'impatto di lungo periodo dei cambiamenti climatici su questi ecosistemi forestali. Inoltre l'approccio di rete sviluppato in regioni con differenti regimi climatici (da quello mediterraneo a quello temperato freddo), permette di fare delle considerazioni sulle probabili risposte delle faggete ai cambiamenti climatici. Le variazioni di crescita di alta (annuale) e bassa (pluridecennale) frequenza sono state confrontate con le variazioni del clima alla stessa scala per valutare quali siano i fattori climatici maggiormente limitanti l'accrescimento di queste foreste nelle differenti regioni bioclimatiche (alpina e appenninica) e lungo i gradienti altitudinali. Oltre alle temperature e alle precipitazioni, ottenute a partire da dati su griglia, è stata quantificata l'aridità in base ai valori del *Palmer Drought Severity Index* (PDSI).

Le ricerche dendroecologiche in corso hanno suddiviso le faggete italiane in due grandi gruppi, uno alpino e uno mediterraneo, la cui distribuzione spaziale è legata all'estensione dell'effetto dominante della siccità estiva sulla crescita. Infatti, mentre nelle faggete mediterranee il limite maggiore è posto dall'aridità nel periodo estivo, nelle alpine risulta più importante il bisogno di calore, soprattutto nell'autunno/inverno che precedono la crescita. In entrambi i gruppi l'effetto limitante del clima si articola secondo un gradiente altitudinale, parallelamente al cambiamento delle condizioni climatiche medesime con l'aumento di quota. In particolare, nel bioma mediterraneo si assiste ad un graduale restringimento del periodo interessato da siccità (maggio-agosto in collina fino luglio-agosto al limite superiore della foresta) ed al fabbisogno di calore ad inizio primavera. Nei popolamenti alpini, invece, la siccità estiva rimane relegata ai soli popolamenti collinari, mentre salendo in quota si ha un comportamento opposto, perché le faggete hanno bisogno di calore anche durante l'estate.

La stabilità delle correlazioni con i fattori climatici limitanti la crescita è stata valutata mediante il metodo delle funzioni di correlazione mobili (MCF). Si è potuta osservare un'instabilità dell'effetto di molti dei fattori operanti all'attualità, soprattutto in conseguenza dell'aumento delle temperature medie registrato nel corso degli ultimi 150 anni. Passando ad analizzare i trend di medio-lungo periodo, le variazioni pluridecennali di produttività (misurate mediante l'incremento di area basimetrica o BAI) sono state interpretate in relazione ai recenti cambiamenti climatici ed in funzione della gestione forestale pregressa. Negli ultimi decenni, in seguito al riscaldamento climatico ed all'aumento degli eventi siccitosi, molte delle faggete del bioma mediterraneo sono

state interessante da un calo della produttività. Al contrario le faggete alpine, soprattutto nella fascia montana e altomontana, si sono avvantaggiate del miglioramento termico durante la stagione vegetativa incrementando la loro produttività.

Così, con specifico riferimento all'ambiente mediterraneo, un più ampio periodo vegetativo non necessariamente implica una maggiore produttività dell'ecosistema, poiché durante l'estate l'acqua diviene un fattore limitante della crescita. Infatti, in molti contesti della regione mediterranea gli alberi stanno diminuendo i loro livelli di produttività, poiché un clima più caldo comporta una attività di evapotraspirazione più accentuata. Siccome parallelamente non si realizza un consistente aumento dei livelli di precipitazioni (anzi, in alcune regioni come l'Italia centrale vi è una diminuzione), molto spesso gli alberi subiscono danni da stress idrico che possono provocare in alcuni casi diffusi processi di deperimento su vaste aree, come nel caso dei querceti decidui collinari, dove la mortalità risulta alquanto diffusa. Per ora questi processi di deperimento con sostituzione delle specie dominanti (p.e. la lecceta che subentra alla faggeta) interessano aree limitate ma, poiché i modelli climatici prevedono per il Mediterraneo un riscaldamento addirittura più consistente di quello del secolo scorso, diversi ecosistemi forestali potrebbero collassare. Solo nella migliore delle ipotesi questi ecosistemi verranno sostituiti, in tempi brevi, da comunità più adatte a vivere in un ambiente più caldo-arido.

Infine bisogna anche considerare che un cambiamento del clima può essere accompagnato da una variazione nel regime di disturbo, ossia della modalità con cui si apre la volta arborea in seguito a mortalità naturale, che è alla base delle dinamiche strutturali delle foreste. In particolare va ricordato che un clima più arido aumenta il rischio di incendi. Nella peggiore delle ipotesi i processi di degrado della copertura vegetale stanno esponendo al rischio di desertificazione aree più o meno vaste, anche in Italia. Per alcune gruppi di animali, quali ad esempio gli anfibi e rettili, questi cambiamenti repentini del clima verso una fase arida potrebbero causare una restrizione o addirittura la perdita degli areali meridionali, nonché l'estinzione di specie endemiche.

In questo senso la velocità delle variazioni climatiche diviene un aspetto fondamentale che deve essere tenuto ben presente nelle strategie di conservazione della biodiversità. Infatti, quando un "nuovo" regime climatico è tollerabile, ossia rientra nei limiti delle risposte fisiologiche della popolazione e tende a persistere nel tempo, gli organismi viventi possono affidare alla progenie, selezionata per vivere in questo "nuovo" ambiente, il compito di perpetuare la specie.

Così ad esempio le popolazioni di specie che vivono in ambiente mediterraneo (p.e. abeti) sono più adattate a sopportare la siccità estiva rispetto a quelle che si trovano a vegetare in un

clima più fresco, quale quello delle montagne del centro Europa, dove la siccità estiva è un evento molto meno frequente. Si comprende a questo punto come la velocità con cui avviene una variazione climatica diviene un aspetto centrale del problema nella conservazione delle specie. La spinta al riscaldamento che stiamo dando potrebbe essere per molte specie troppo veloce per consentire alle popolazioni di adattarsi alle nuove condizioni climatiche. Per tutti questi motivi le aree da monitorare con maggior cura sono quelle poste al limite meridionale dell'areale di una specie o al limite altitudinale inferiore, nel caso della distribuzione lungo il versante di una montagna. Purtroppo le attuali conoscenze della risposta ai cambiamenti climatici in aree particolarmente suscettibili come quella del bacino del Mediterraneo sono scarse e frammentate, mentre gli studi per le aree più a nord sono numerosi e testimoniano inequivocabilmente marcati effetti sulle comunità. Se si passa poi ai continenti in via di sviluppo (Africa, Asia) le informazioni sono praticamente assenti.

In questo quadro le faggete del casentino, grazie alla loro posizione geografica di confine tra il pattern climatico mediterraneo e quelli continentali/alpini del nord Italia (Brunetti *et al.* 2006) rappresentano un caso di studio chiave per comprendere come le nostre foreste stanno rispondendo al *global change*.

MATERIALI E METODI

I rilievi scientifici hanno interessato 4 soprassuoli dominati dal faggio all'interno del PNFC e sono stati effettuati attraverso due campagne di rilievi: la prima svolta a maggio 2014 e la seconda a settembre-ottobre 2014 (Tabella 1).

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 Vetusta	682 (610-784)	23	

Gli obiettivi dello studio sono stati:

1. Sviluppare una rete dendroecologica per descrivere la funzionalità degli ecosistemi forestali a dominanza di faggio all'interno del PNFC, 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 per studiare 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 e con la presenza di bioindicatori quali il picchio nero.

La prima campagna di rilievi ha riguardato un campionamento dendroecologico a quote diverse della foresta di Sasso Fratino (Tabella 1). Essa ha avuto quindi significato esplorativo sulle condizioni vegetative del faggio a quote differenti e della ricerca di nuclei relitti forestali meglio conservati, in modo da avere una prima idea sulle potenzialità stagionali in termini di longevità realizzata. In questa prima fase, descritta nella Relazione Preliminare inviata al PNFC l'11/06/2014, è stata anche svolta una ricognizione e raccolta di dati dendrocronologici provenienti da precedenti campionamenti a cura di altri gruppi di ricerca (coordinati da Franco Biondi, studio condotto negli anni '80, e da Renzo Motta, studio condotto nella seconda metà del 2000), in modo da avere una comprensione quanto più accurata sulla vetustà dei popolamenti forestali in relazione alle condizioni ecologiche locali.

Nella seconda fase di rilievo (settembre-ottobre 2014) è stato intensificato il campionamento dendroecologico nella foresta di Sasso Fratino, al fine di rinvenire gli individui più vetusti presenti all'interno di questo ecosistema, e ampliare la rete di faggete campionate in modo da coprire il transetto altitudinale delle foreste a dominanza di faggio del Parco (Tabella 1). Tale intensificazione del campionamento ha permesso di sviluppare una comprensione dell'organizzazione ecologica degli ecosistemi lungo la loro distribuzione altitudinale, descrivendo i principali gradienti bioclimatici presenti al variare della quota. Si è proceduto quindi ad integrare il primo carotaggio di Sasso Fratino con il carotaggio di una faggeta di bassa quota (Campo alla Sega), di una a quota intermedia (Riserva Biogenetica di Campigna) e di una a quota medio-alta (Burraia) (Tabella 1). Inoltre, i campionamenti dendroecologici effettuati all'interno della Riserva Biogenetica di Campigna sono stati svolti in congiunzione con rilievi dendrometrici per descrivere la scelta dell'habitat di nidificazione da parte del picchio nero (*Dryocopus martius* L.), in base sia alle caratteristiche strutturali del popolamento forestale che degli individui arborei prescelti. Il rilievo strutturale, realizzato per descrivere le caratteristiche delle comunità arboree scelte dal picchio, è stato realizzato mediante aree di saggio circolari di 20 m di raggio collocate al centro di ecosistemi forestali con la presenza di faggi con cavità-nido di picchio nero. All'interno di ciascuna area sono state misurate e mappate tutte le specie arboree presenti con diametro a 1.3 m maggiore di 2.5 cm, nonché tutte le unità di necromassa in piedi o a terra con diametro (rispettivamente a 1.3 m oppure mediano) superiore a 10 cm. Per le piante sono state registrate anche la classe sociale e l'altezza d'inserzione delle chiome. Per gli alberi con presenza di nidi, sono stati misurati: altezza ed esposizione di ciascun nido sul fusto, distanza tra cavità superiore ed inserzione della chioma. Per gli alberi con cavità è stata misurata l'altezza ed è stata prelevata una

carota legnosa con trivella di Pressler per quantificarne l'età e le dinamiche di crescita. Per ogni albero con cavità è stato scelto l'albero più vicino maggiormente confrontabile in termini diametrici, su cui è stato effettuato lo stesso rilievo per un confronto immediato delle caratteristiche arboree (dimensioni, chioma, età, crescita) che hanno portato il picchio nero a scegliere un albero piuttosto che un altro.

Per quanto riguarda la foresta di Sasso Fratino, si è poi ricostruita la storia del disturbo ecologico di questo ecosistema utilizzando i rilasci di crescita, ossia aumenti sostanziali dei tassi di crescita a scala decennale conseguenti alla mortalità di piante dominanti (Di Filippo *et al.* 2004). La morte di piante dominanti libera biospazio nella volta arborea, che consente alle piante dominate di espandere la propria chioma ed aumentare notevolmente e stabilmente i loro ritmi di crescita. Questi bruschi aumenti di crescita a scala decennale possono essere identificati e datati (in questo caso è stata utilizzata la curva limite sviluppata per le faggete altomontane appenniniche) per tracciare i principali disturbi responsabili delle dinamiche strutturali delle foreste studiate. Ai rilasci si possono aggiungere anche le date di nascita delle piante carotate, per identificare le pulsazioni di rinnovazione forestale conseguenti ai disturbi ecologici.

RISULTATI

La bioclimatologia del transetto altitudinale: i gradienti climatici ed i trend di produttività

Come punto di partenza per inquadrare l'ecologia dell'area studiata e distinguere diversi tipi funzionali di foreste dominate dal faggio in base alle loro caratteristiche fitoclimatiche, sono state costruite le cronologie medie stagionali per ciascuno dei siti campionati (Fig. 1 e 2). Sono state costruite 4 cronologie stagionali (Fig. 2a) utilizzando le numerose serie di crescita individuali presenti in ciascun sito (Tabella 2, Fig. 1), sottoponendole ai processi di amplificazione del segnale climatico (Di Filippo *et al.* 2007). L'analisi dendroclimatica delle 4 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 (Fig. 2b). La quota condiziona però fortemente le affinità fra siti: mentre Sasso Fratino è quella che bioclimaticamente si distingue di più (la cronologia considera solo gli alberi al di sopra di 1350 m slm), Burraia ha simile affinità fra le stazioni poste a quota superiore ed inferiore, mentre Campigna e Campo alla Sega mostrano un forte segnale comune (Tabella 3). Anche l'analisi gerarchica agglomerativa (*cluster analysis*) delle serie individuali, servita a raggruppare tutti gli alberi campionati nelle 4 foreste in gruppi omogenei in base al loro segnale climatico, ha evidenziato l'organizzazione altitudinale delle popolazioni campionate (Fig. 3). Dai risultati delle analisi effettuate è emerso che le faggete vetuste del PNFC sono organizzate in tre principali tipi fitoclimatici:

- **Faggeta Altomontana:** al di sopra dei 1350 m slm (faggeta vetusta di Sasso Fratino).
- **Faggeta Montana:** 900-1250 m slm (faggeta vetusta di Campigna).
- **Faggeta Submontana:** 600-900 m slm (faggeta vetusta di Campo alla Sega).

Necessita di approfondimenti la caratterizzazione l'area di passaggio tra la fascia montana e l'altomontana (Burraia, 1200-1350 m slm), che per ora si connota come transitoria fra le due ecologie (Fig. 3). Questa separazione in fasce bioclimatiche altitudinali sulla base del segnale climatico che controlla la variabilità interannuale di crescita arborea trova una stupefacente corrispondenza con la zonizzazione riportata negli studi vegetazionali (Viciani e Agostini 2008).

Il quadro delle teleconnessioni (correlazioni fra cronologie geograficamente separate della stessa specie) con la rete dendroecologica delle faggete italiane risulta particolarmente complesso, data la posizione geografica di transizione dell'area di studio tra le faggete alpine e

quelle appenniniche. Mentre la faggeta altomontana (Sasso Fratino) si correla con faggete appartenenti alla corrispondente fascia alpina e 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 (Figg. 5-7).

Le analisi correlative con le serie climatiche hanno confermato tale complessità dei segnali racchiusi negli anelli legnosi. 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. 8) ed è ancora presente fino a circa 1150 m (Campigna; Fig. 9), per poi sparire nei siti posti a quote superiori nella fascia altomontana. 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).

L'effetto della siccità estiva non emerge nei popolamenti posti al di sopra dei 1200 m, dove invece risulta molto forte 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 (Fig. 10). Alle quote maggiori, il faggio di Sasso Fratino è anche caratterizzato da un effetto negativo di caldo ad aprile (Fig. 11), che potrebbe innescare una prematura fogliazione tale da esporre questa specie dal temperamento oceanico a rischi di gelate tardive. Questi segnali climatici sono tipici delle faggete altomontane appenniniche (Piovesan *et al.* 2005) con cui queste popolazioni si dimostrano in effetti correlate (Figg. 4-5). È interessante notare anche che, specialmente a Sasso Fratino, emerge un bisogno di caldo ad Agosto, fattore caratterizzante le faggete altomontane delle Alpi Orientali (Di Filippo *et al.* 2007), a cui questa faggeta in parte si correla (Fig. 4).

Questi gradienti bioclimatici altitudinali legati all'impatto della siccità estiva e del freddo primaverile, la cui importanza si smista in modo marcato intorno ai 1200-1300 m s.l.m., sottolineano l'interesse biogeografico delle foreste studiate in considerazione del fatto che:

- popolazioni di faggio poste agli estremi del transetto altitudinale hanno risposte biologiche opposte nei confronti degli stessi fattori climatici (caldo/precipitazioni estive), quindi dinamiche ecologiche potenzialmente divergenti nei confronti dell'attuale riscaldamento climatico;
- la correlazione delle popolazioni di quota sia con faggete appenniniche sia con quelle alpine dimostra l'importante ruolo biogeografico svolto dal territorio ricadente nel PNFC come punto di transizione tra l'ecologia alpina e quella appenninica (Di Filippo *et al.* 2007; Carrer *et al.* 2010).

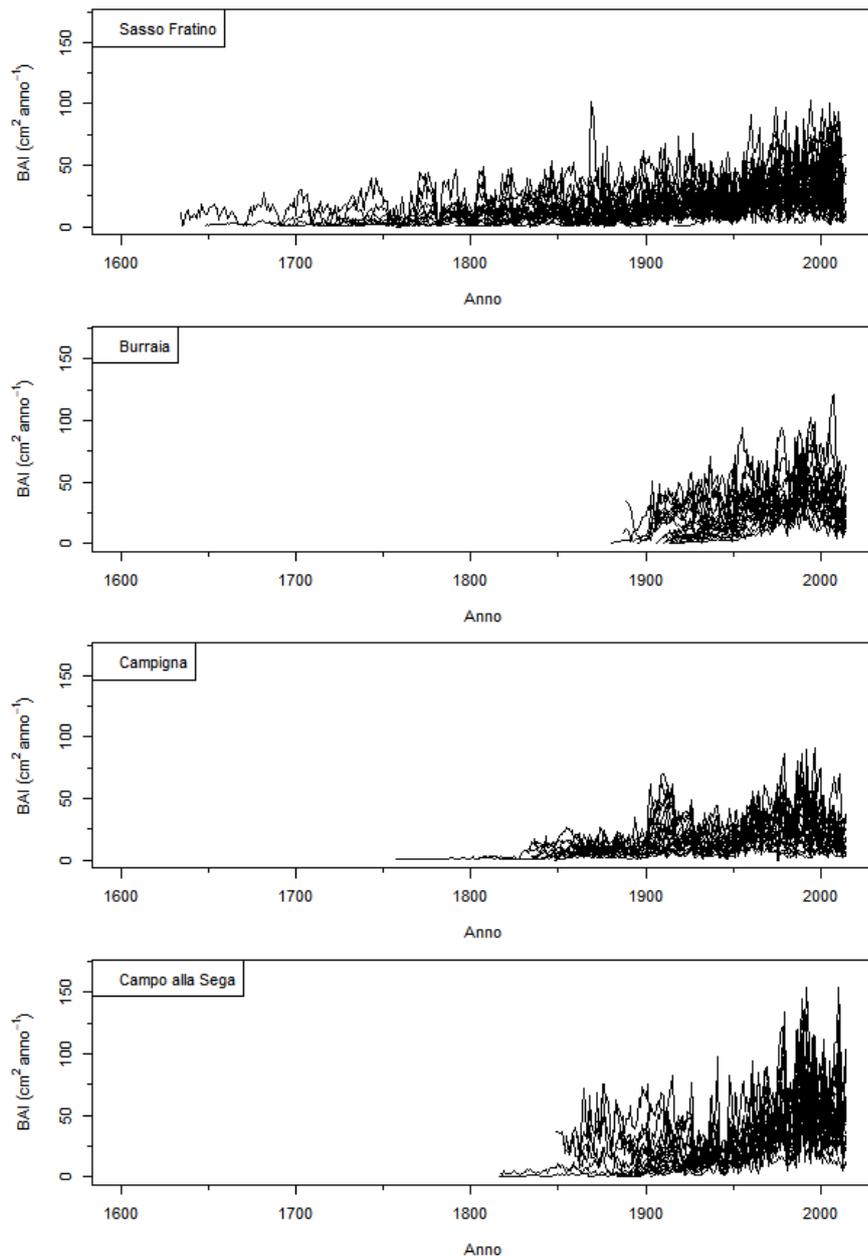
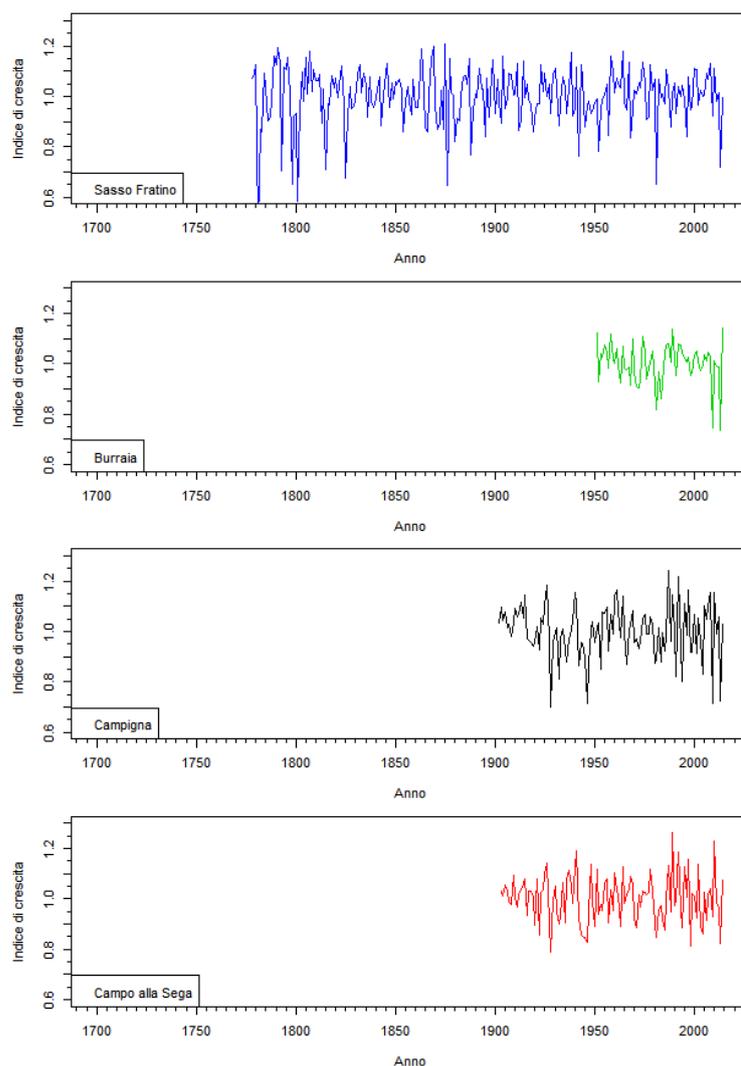


Figura 1. Serie individuali di incremento di area basimetrica (BAI) in ciascun sito. Ciascun grafico mostra la numerosità campionaria, la copertura temporale dei campioni e la variabilità di crescita all'interno di ciascun sito.

(a)



(b)

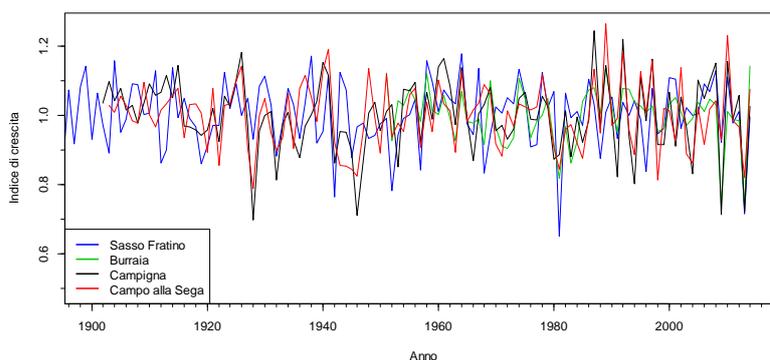


Figura 2. Cronologie stagionali di BAI standardizzate per i diversi siti oggetto di studio. La variabilità di crescita è indicizzata in seguito al processo di standardizzazione dendroclimatica e rappresenta la porzione di variabilità di crescita controllata dal clima. (a) Cronologie mostrate nella loro interezza nel periodo validato in base all'EPS. (b) Particolare delle cronologie nel periodo 1900-2013.

Tabella 2. Affinità fra il segnale climatico che controlla la variabilità di crescita di ciascun sito.
 Correlazione fra cronologie standardizzate dei 4 siti campionati a quote diverse. Le stazioni sono state ordinate in senso altitudinale.

	Sasso Fratino	Burraia	Campigna	Campo alla Sega
Sasso Fratino		0.47	0.35	0.32
Burraia	0.47		0.52	0.56
Campigna	0.35	0.52		0.72
Campo alla Sega	0.32	0.56	0.72	

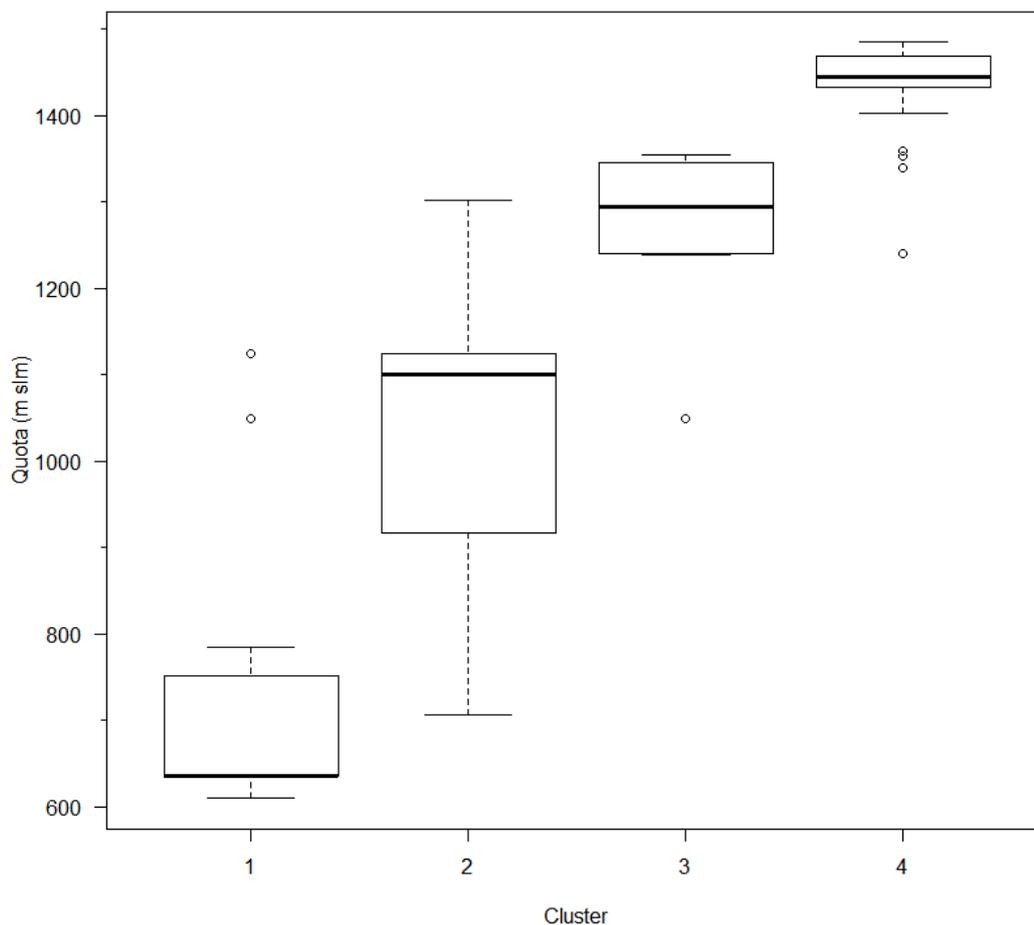


Figura 3. Estensione altitudinale delle fasce bioclimatiche identificate in base al segnale dendroclimatico.
 Alberi con simile segnale climatico (anche condiviso fra stazioni diverse) sono stati raggruppati mediante una *cluster analysis* (o analisi gerarchica agglomerativa; distanza: Pearson, metodo di agglomerazione: Ward) e rappresentati in funzione della quota (N = 100 alberi interdatati).



Figura 4. Teleconnessioni fra il faggio di Sasso Fratino 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 5. 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).



Figura 6. 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 7. Teleconnessioni fra il faggio di Campo alla Sega 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).

CAMPO ALLA SEGA

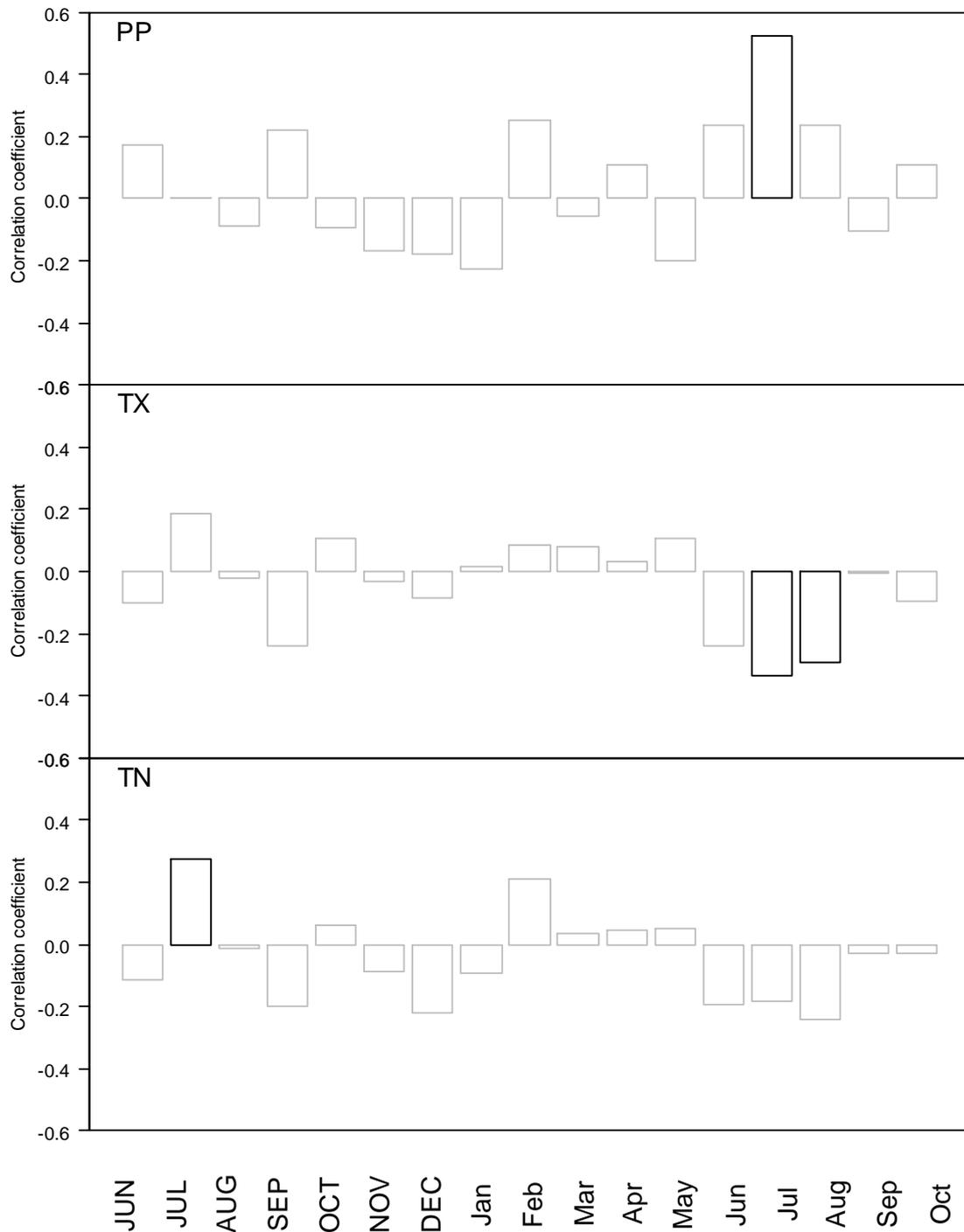


Figura 8. Campo alla Sega. Funzioni di correlazione *bootstrap* tra cronologia standardizzata e precipitazioni (PP), temperature massime (TX) e temperature minime (TN). Margine nero: fattori che influenzano significativamente ($p < 0.05$) la crescita

CAMPIGNA

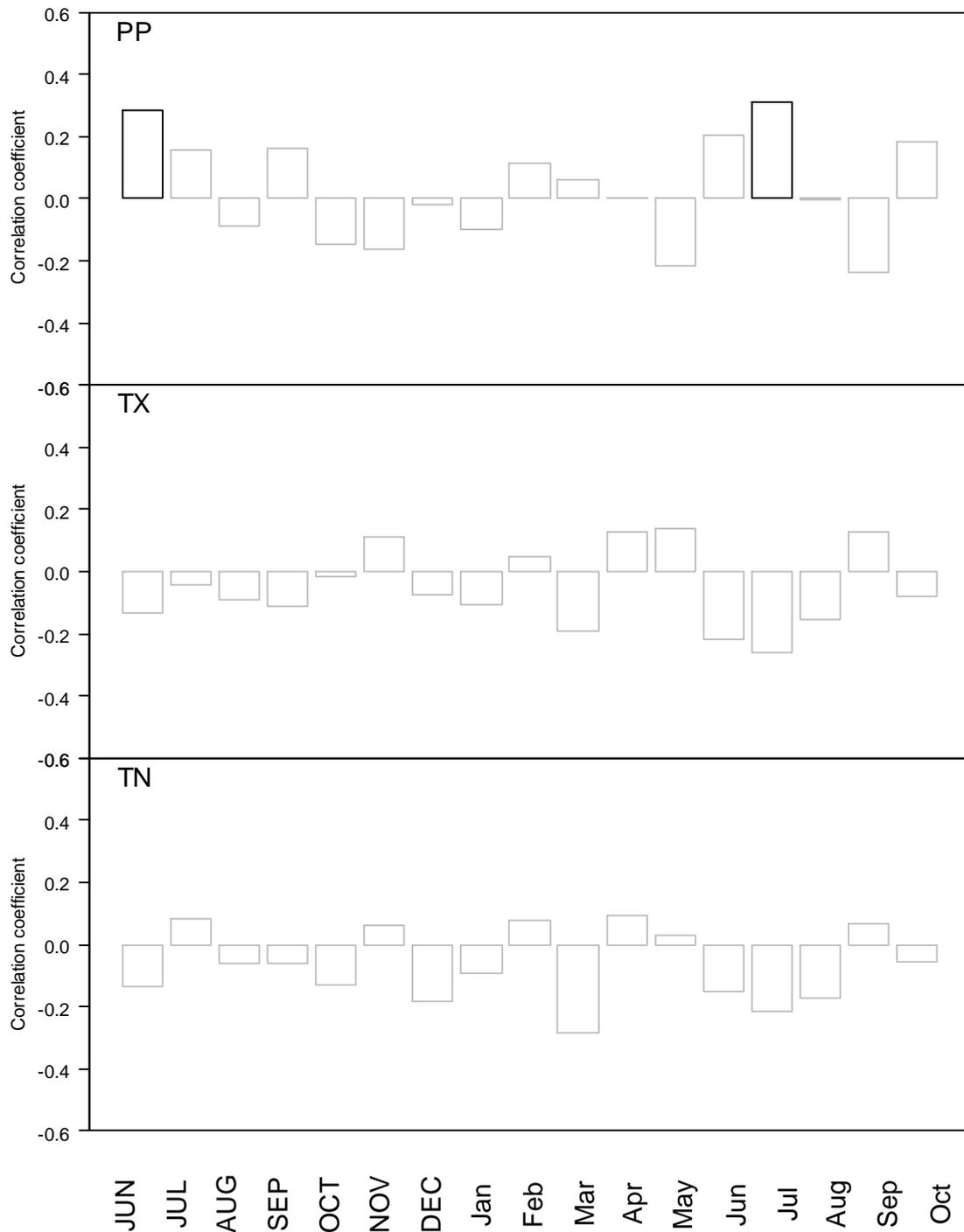


Figura 9. Campigna. Funzioni di correlazione *bootstrap* tra cronologia standardizzata e precipitazioni (PP), temperature massime (TX) e temperature minime (TN). Margine nero: fattori che influenzano significativamente ($p < 0.05$) la crescita

BURRAIA

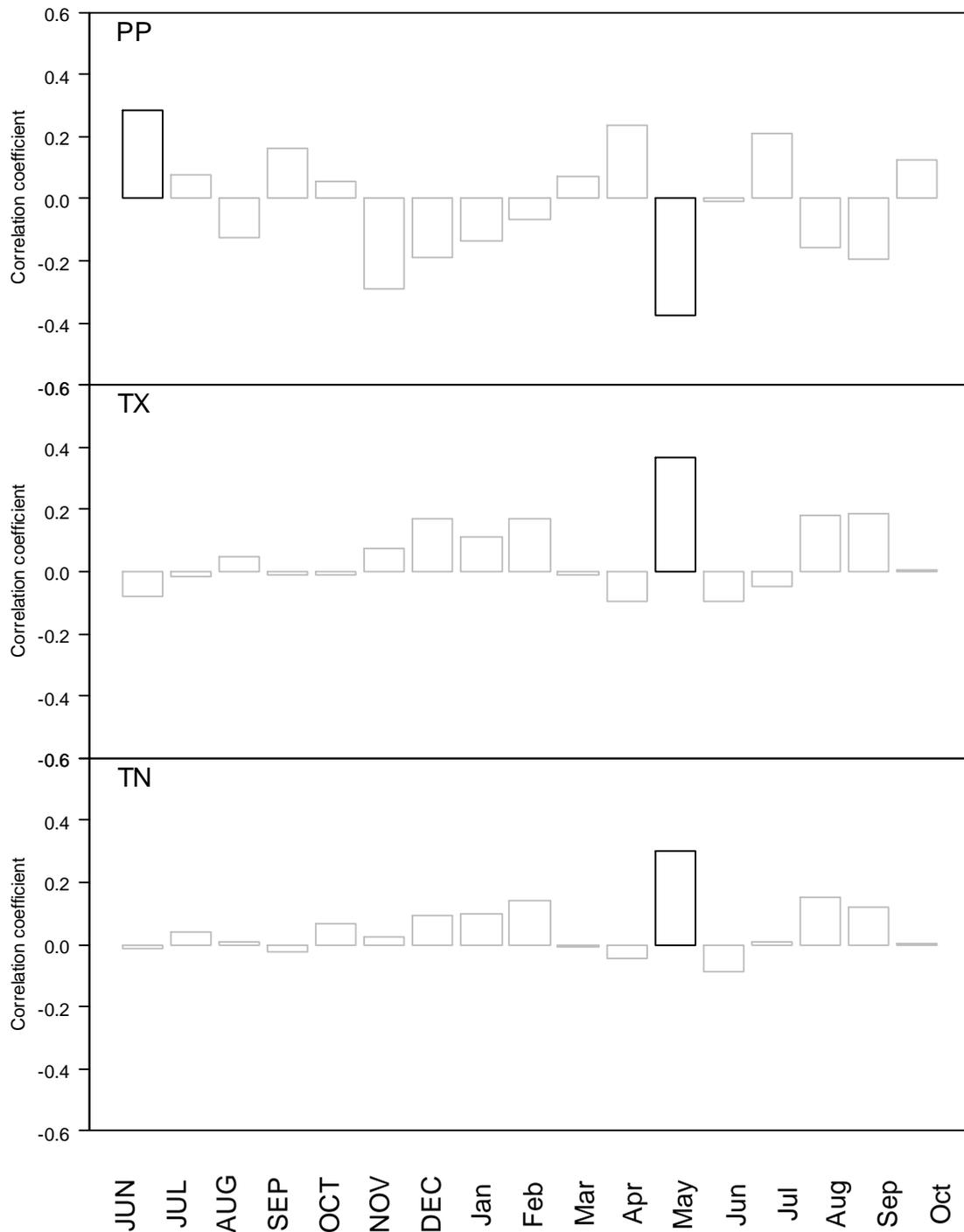


Figura 10. Burraia. Funzioni di correlazione *bootstrap* tra cronologia standardizzata e precipitazioni (PP), temperature massime (TX) e temperature minime (TN). Margine nero: fattori che influenzano significativamente ($p < 0.05$) la crescita

SASSO FRATINO

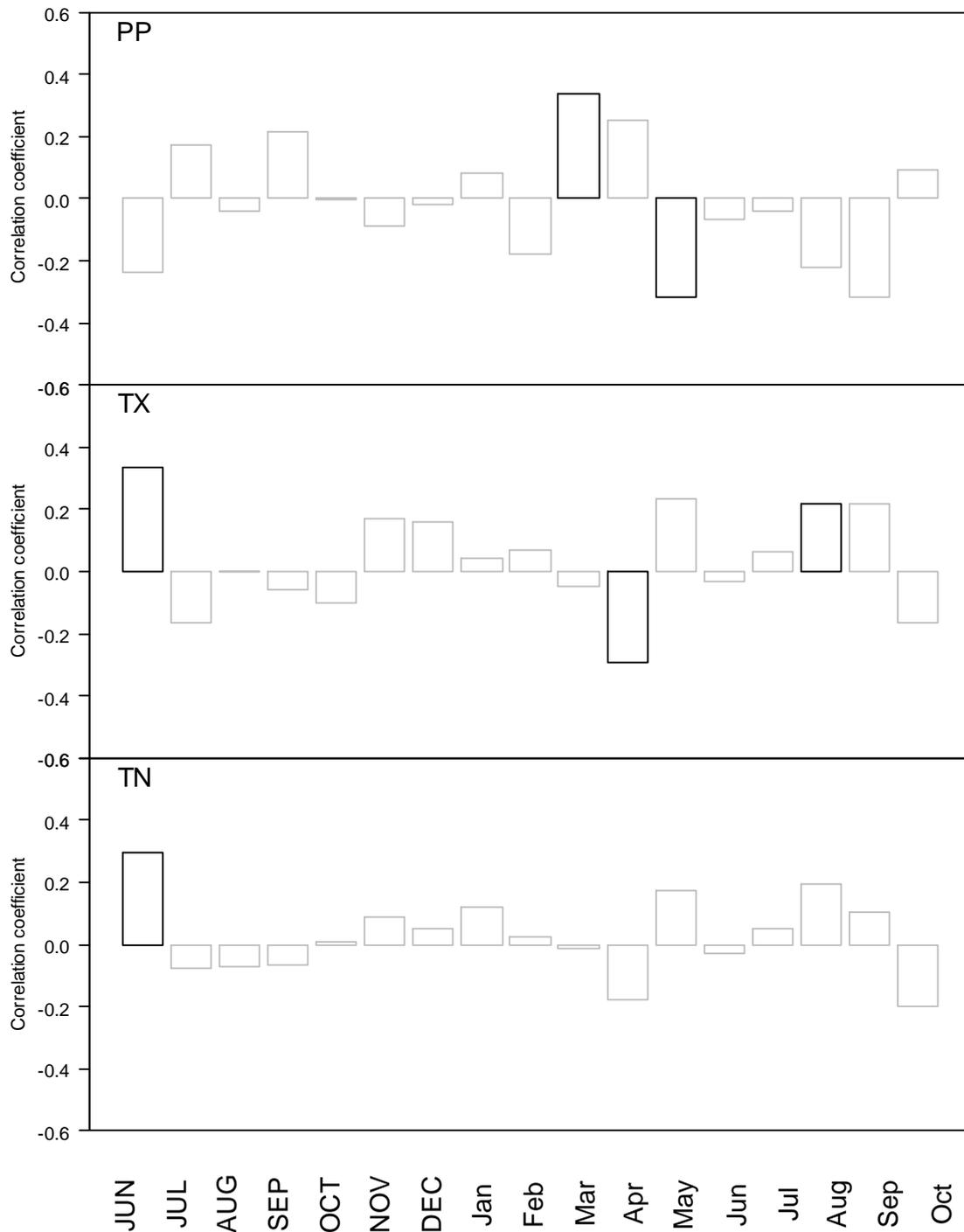


Figura 11. Sasso Fratino. Funzioni di correlazione *bootstrap* tra cronologia standardizzata e precipitazioni (PP), temperature massime (TX) e temperature minime (TN). Margine nero: fattori che influenzano significativamente ($p < 0.05$) la crescita.

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 sono maggiori a quote inferiori, dove si raggiungono picchi di 120-150 cm²/anno, e diminuiscono di circa 1/3 alle quote superiori (Figg. 1 e 12). Campigna mostra produttività inferiori rispetto a quanto atteso e probabilmente, oltre che all'impatto negativo dei nidi di picchio (vedi paragrafi successivi), anche la notevole acclività stagionale può avere un ruolo. All'interno di ciascun sito i livelli di crescita sono risultati comunque molto variabili (Fig. 1).

Tabella 3. Campionamento e statistiche dendrocronologiche. BAI: incremento di area basimetrica medio nel periodo analizzato; AR1: coefficiente di autocorrelazione di primo ordine. Nelle celle con più dati sono riportati i valori medi registrati e, tra parentesi, minimo e massimo. Statistiche calcolate nel periodo comune 1955-2013.

SITO	N CAROTE	CAROTE DATATE	DIAMETRO (cm)	ETA' MAX	BAI (cm ² anno ⁻¹)	SENSITIVITA' MEDIA	AR1
SASSO FRATINO	48	43	69 (49.5-102)	381	29.4 (11.0-56.2)	0.31 (0.20-0.45)	0.66 (0.37-0.84)
BURRAIA	22	22	60 (43.5-78.5)	135	34.5 (18.3-69.2)	0.21 (0.15-0.29)	0.76 (0.59-0.94)
CAMPIGNA	24	21	57 (37.5-79)	258	25.2 (6.7-41.0)	0.27 (0.16-0.35)	0.78 (0.58-0.87)
CAMPO ALLA SEGA	23	21	68 (49-106)	199	44.2 (16.6-76.2)	0.30 (0.21-0.48)	0.67 (0.40-0.84)

Le popolazioni campionate nella Riserva di Campigna sembrano rappresentare un'eccezione, essendo dotati di una produttività relativamente bassa in relazione alla quota, probabilmente da mettere in relazione a specifiche condizioni stagionali (p.e. minore fertilità dovuta ad elevata acclività).

Per quanto riguarda i trend di produttività media dei popolamenti forestali posti a quote diverse è emerso che tutti i popolamenti al di sotto dei 1300 m slm hanno culminato il loro incremento tra fine anni 80 e la prima metà degli anni 90. 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. Sasso Fratino fa eccezione a questo quadro, poiché 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. Tuttavia la presenza di una culminazione nel 2003, in cui è

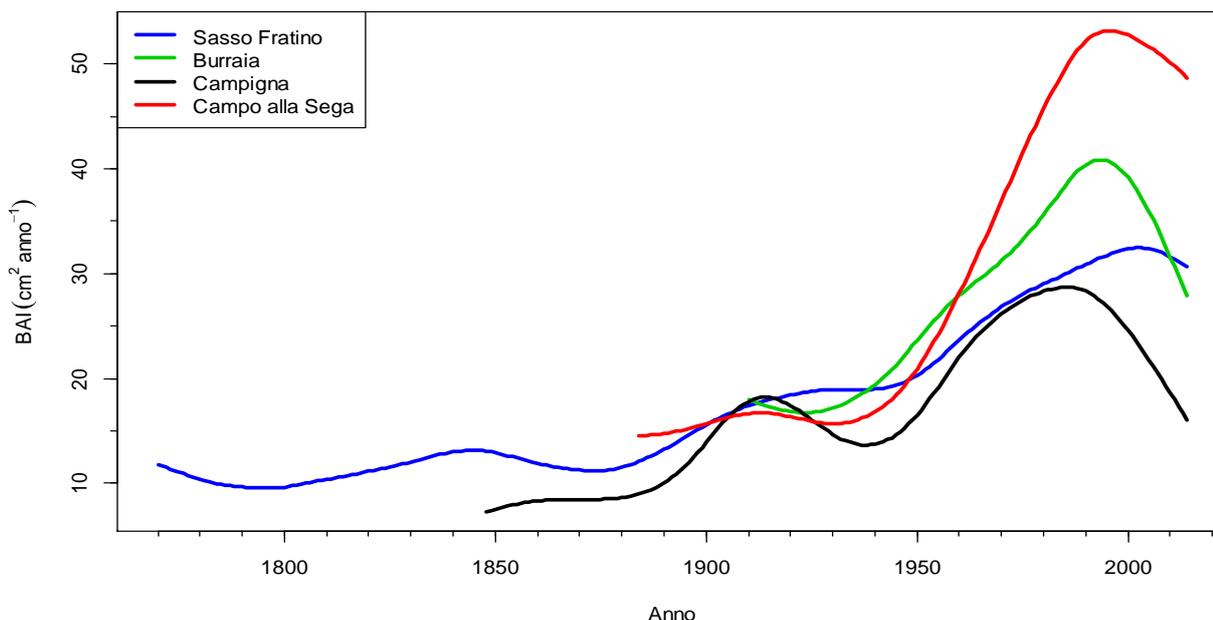


Figura 12. Trend medio di crescita multidecennale dell'incremento di area basimetrica (BAI) per ciascuna popolazione. Curve ottenute filtrando le cronologie grezze con *spline* cubiche (periodo = 50 anni).

stato osservato uno dei massimi estremi di siccità/caldo della storia recente, evidenza che anche a quote superiori sta cominciando a farsi sentire l'effetto della siccità, emerso circa un decennio prima a quote inferiori ai 1250 m. Il fatto che ciò non sia evidente anche nelle relazioni clima-crescita a scala annuale è da mettere in relazione al periodo di riferimento usato per le analisi dendroclimatiche (1955-2003), scelto in quanto comune a tutti i siti studiati e per la disponibilità di dati climatici con sufficiente completezza. Successive analisi saranno necessarie per fare chiarezza su tale punto, anche perché in un recente lavoro di comparazione ecofisiologica non viene rilevato un declino di BAI a Sasso Fratino (Tognetti *et al.* 2014). Fino agli inizi degli anni 70, infatti, il nostro clima è stato interessato da una fase particolarmente fresca ed umida, per poi passare all'attuale fase climatica arida dagli anni 90 in poi (Brunetti *et al.* 2006). Emerge quindi che con l'attuale

riscaldamento climatico, l'effetto negativo della siccità estiva possa incominciare ad avere un ruolo, seppur limitato, anche sui popolamenti posti alle quote maggiori. Va inoltre evidenziato che sempre nel 2003 anche le comunità di uccelli delle Foreste Casentinesi hanno manifestato interessanti cambiamenti demografici (Pruscini *et al.* 2009).

La longevità del faggio e la struttura per età dei popolamenti studiati

I campionamenti dendroecologici hanno portato alla scoperta dei faggi più vecchi finora datati nel PNFCC, con diversi individui che superano i 350 anni di età ed alcuni che rasentano i 400 anni di età (Tabella 4) espandendo così la singola presenza di un albero di circa 400 anni (rinvenuto da Franco Biondi negli anni 80) ad un nutrito contingente di alberi plurisecolari.

Tabella 4. Principali parametri cronologici delle faggete casentinesi. I descrittori dell'età degli alberi dominanti sono calcolati usando solo i campioni che raggiungevano il centro della pianta (SD: deviazione standard; RANGE: campo di variazione; RANGE3: campo di variazione tra la media delle 3 osservazioni maggiori e quella delle 3 minori; AGE5: media dell'età dei 5 alberi più vecchi).

	Media	SD	RANGE	RANGE3	AGE5	Età Max
Sasso Fratino	215	75	257	220	321	381
Burraia	109	11.5	41	34	126	135
Campigna	169	28.6	126	88	206	258
Campo alla Sega	136	29.4	112	91	177	199

La struttura per età dei popolamenti analizzati descrive popolamenti con caratteristiche abbastanza differenti. In Figura 13 è rappresentato il rapporto età-diametro per ogni foresta studiata utilizzando esclusivamente le carote in cui il centro del fusto fosse raggiunto con sufficiente approssimazione. Gli studi sulla longevità sono fortemente limitanti da diversi fattori tra cui la presenza di individui senescenti con diffusa carie del legno e l'eccentricità dei fusti per cui, per poter esprimere un giudizio sull'età del popolamento, vi è bisogno di effettuare un approfondito campionamento dendroecologico.

Il sito di Burraia, con struttura più profondamente antropizzata, è caratterizzato da una struttura disetanea abbastanza lineare, con una stretta dipendenza fra dimensioni ed età. Il sito di Campigna è invece maggiormente rappresentato da una coorte di individui di età compresa fra i 150 ed i 200 anni che copre tutte le classi dimensionali campionate, e in cui spicca un singolo

individuo di 258 anni. Questa struttura per età rappresenta un popolamento coetaneiforme con presenza di lembi forestali meglio conservati, in cui la presenza della mortalità di alberi dominanti segna la transizione a strutture vetuste (transizione demografica). Una struttura più avanzata si rinviene a Campo della Sega, in cui si rileva il passaggio alle strutture più articolate con un dinamismo di transizione dalla fase biostatica (fustaia monoplana a cattedrale) a quella di degradazione (mortalità diffusa di piante dominanti, apertura di buche e articolazione del profilo).

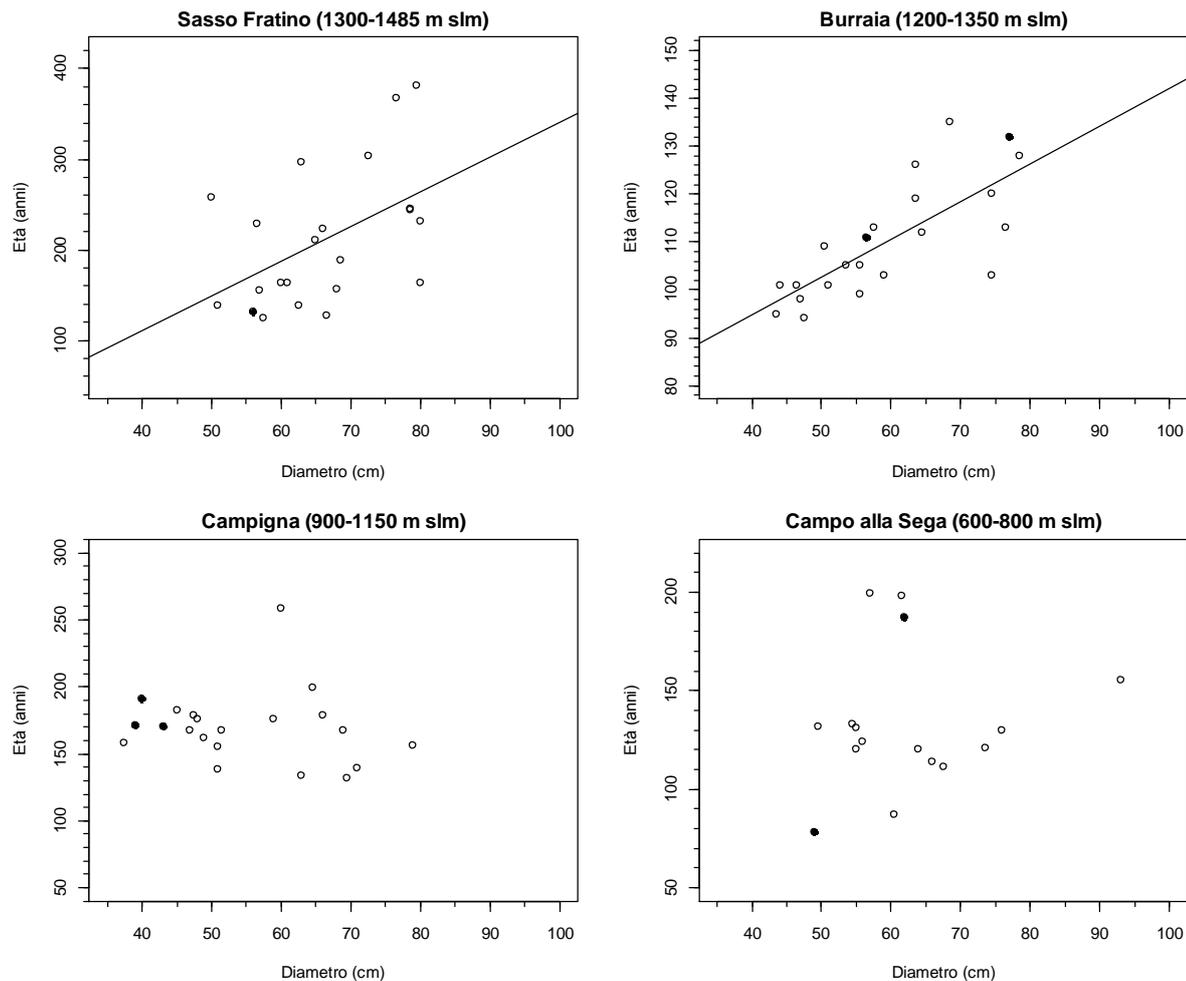


Figura 13. Relazioni diametro-età per i diversi siti campionati. Le rette sono rappresentate solo in caso di regressione significativa.

Inoltre, qui è stato rinvenuto un nucleo di individui vetusti (in località Fontana del Maresciallo) distinto dal resto del popolamento, con la caratteristica che gli alberi più vecchi sono quelli dotati di diametri intermedi. Le piante adiacenti a questi individui, pur presentando diametri di 80-100 cm, presentavano età minori sia perché caratterizzate da tassi di crescita più rapidi (poiché vegetanti in condizioni microtopografiche più vantaggiose, p.e. lontano da netti displuvi o

banchi di rocce affioranti), sia perché maggiormente interessate dal fenomeno di carie legnosa e quindi destinate a schiantare più precocemente. Quest'ultima eventualità sottende la possibilità di rinvenire alberi ancora più vecchi in località Fontana del Maresciallo. Per quanto riguarda la faggeta di Sasso Fratino, emerge una foresta disetanea con struttura per età che presenta solo una debole relazione età-diametro, in cui ancora una volta gli individui più vecchi non sono i più grandi. Gli alberi carotati fra i 90 e i 100 cm di diametro, non rappresentati in figura in quanto la carota non raggiungeva il centro della pianta, si attestano infatti intorno ai 200-230 anni e quindi con differenza di un secolo e oltre da quelli più vecchi.

La foresta di Sasso Fratino è quella che ha mostrato un maggiore campo di variazione di età presenti all'interno dello strato dominante (diametro ≥ 40 cm), il che testimonia l'elevato grado di disetaneità presente all'interno di questa foresta vetusta in cui nuclei più giovani di età intorno ai 2 secoli si alternano a tratti spiccatamente vetusti con alberi di 3-4 secoli. Questo dato è tanto più evidente se si confronta il campo di variazione rilevato nel presente studio (Tabella 4) con i dati riportati nella letteratura scientifica (età di 175 anni in Tognetti *et al.* 2014). Spostandoci poi in altri tratti delle Foreste Casentinesi emerge una notevole differenza come evidenzia la comparazione con il sito di Burraia, foresta posta a quota immediatamente inferiore, ma con struttura che porta ancora un'importante legame con la gestione selvicolturale.

Allo stesso tempo è importante notare anche come nel popolamento vetusto di bassa quota di Campo alla Sega siano stati rinvenuti alberi di circa 200 anni, fatto che esalta l'importanza di questa foresta che si pone come ecosistema ospitante i faggi più vetusti finora datati in Italia centro-meridionale a queste quote. Analoghi popolamenti vetusti vegetanti a queste quote o inferiori in Italia centrale (p.e. Monte Raschio nel comune di Oriolo Romano e Monte Venere nel Comune di Caprarola) non superano i 100-150 anni, mentre sulle Alpi non è stato finora possibile identificare popolamenti con alberi di tale età. Per quanto riguarda la Riserva di Campigna, nei tratti di foresta vetusta è emerso, tra diversi alberi di età intorno ai 200 anni, anche un individuo di 258 anni posto a quota 1050 m, che sottolinea ulteriormente il valore ecologico delle foreste presenti nel PNFC, considerando che le altre faggete vetuste finora descritte a queste quote montane non superano i 220-230 anni (Piovesan *et al.* 2010). Quindi lungo il transetto altitudinale di circa 1000 m si ritrovano alberi prossimi alla longevità della specie che rendono le foreste Casentinesi un unicum di estremo interesse nella conservazione della natura. In generale è da notare come la longevità realizzata dal faggio tenda a raddoppiare lungo il transetto analizzato, passando da 200 a 400 anni salendo di circa 1000 m (Fig. 14). Questo fenomeno, già descritto per

le faggete appenniniche e alpine (Di Filippo *et al.* 2012), è da imputarsi al legame inverso tra longevità e tassi di crescita: le piante vivono di più in ambienti che deprimono la crescita quali le stazioni di quota e/o i litosuoli. In questo senso gli ambienti di rupe della fascia altomontana si configurano come i luoghi ideali dove ricercare gli alberi più vecchi della Riserva. Nel presente studio, infatti, gli alberi più vecchi sono stati spesso trovati in prossimità delle aree più scoscese dove, tra l'altro, tali alberi nei secoli passati sono stati probabilmente risparmiati dal taglio per evitare problemi di dissesto idrogeologico. La presenza di nuclei particolarmente vetusti andrebbe quindi rilevata puntualmente e studiata in modo più approfondito – anche in termini di biodiversità - al fine di garantirne il loro insostituibile ruolo nella conservazione della natura.

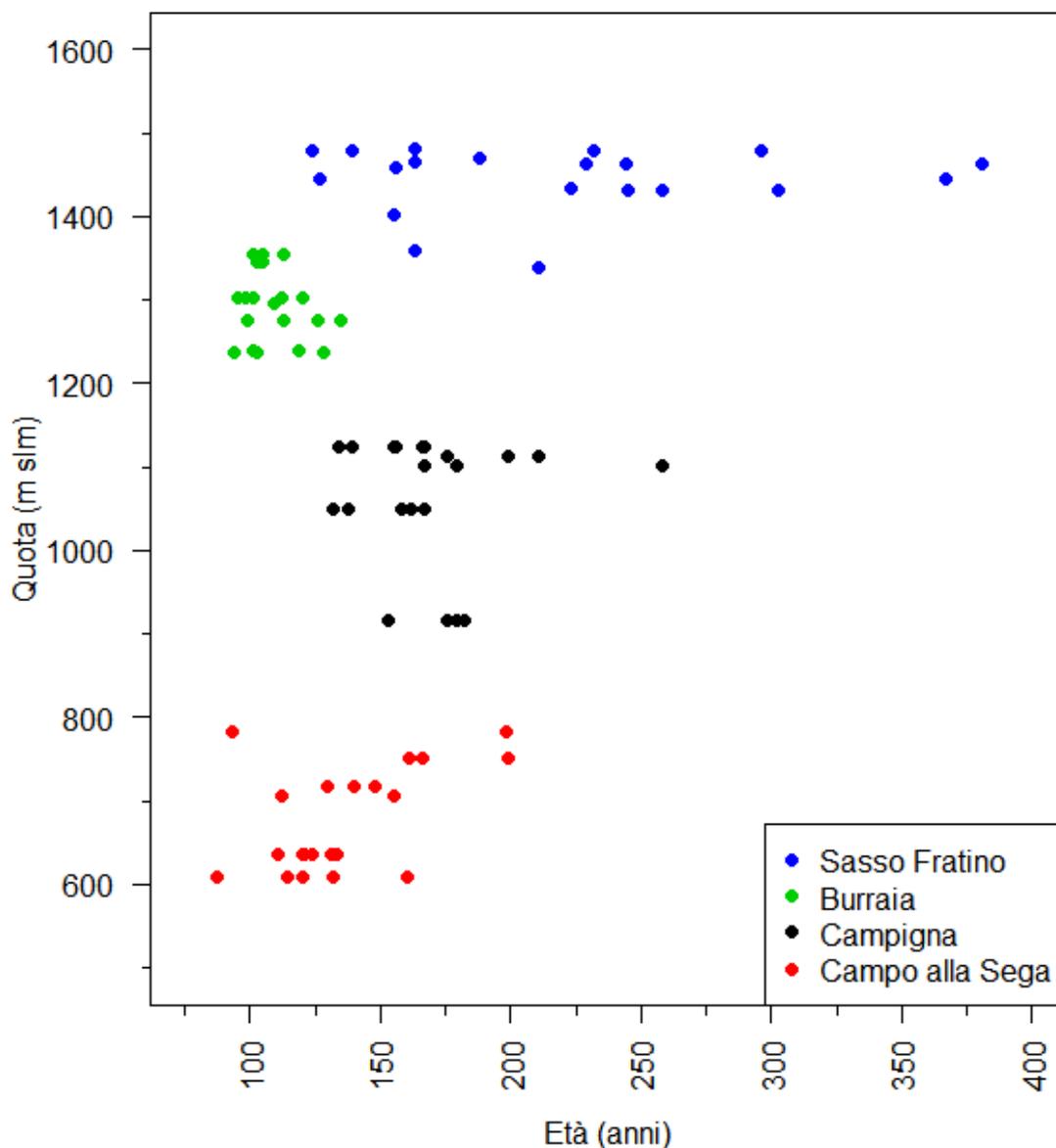


Figura 14. Relazione quota-età per singoli alberi campionati nei 4 siti. Sono stati utilizzati solo le carote che raggiungevano il centro della pianta.

Una spiegazione del legame inverso tra crescita e longevità viene dalla teoria metabolica. Questa relazione è dovuta al fatto che tassi di crescita inferiori sono il risultato di un metabolismo più lento, che porta con sé i vantaggi di un minor stress ossidativo sulle cellule, ma anche minor spese di riparazione in caso di traumi. D'altro canto dimensioni minori rendono l'albero meno suscettibile ai disturbi da vento o siccità.

In questo caso di studio, così come in altri transetti altitudinali di faggete analizzate tra Alpi ed Appennini, emerge che la quota, attraverso le differenze fenologiche, esercita un'azione chiave sulle aspettative di vita del faggio. E' quindi normale attendersi una diversa aspettativa di vita da specie forestali vegetanti a quote differenti. Inoltre va sottolineato che, poiché alle quote inferiori la morte degli alberi avviene prima, si assiste ad una notevole accelerazione del *turnover* demografico: grazie ad una crescita più veloce e quindi ad una più precoce mortalità degli alberi dominanti si assiste a tempi più veloci di rinaturalizzazione (p.e. generazione di attributi legati alla vetustà, come la formazione di alberi morti in piedi e a terra, microhabitat, etc.).

Un altro fattore che consente una maggiore longevità nelle foreste naturali è l'aduggiamento prolungato (Di Filippo *et al.* 2012), che si manifesta come periodi di soppressione della crescita (per convenzione identificati come periodi in cui la crescita rimane per almeno 4-5 anni consecutivi sotto i 0.5 mm/anno). Queste fasi di soppressione sono identificabili in Fig. 15 con quelle storie auxologiche in cui la crescita rimane a bassi livelli per molti decenni per poi incrementare solo in tarda età (Piovesan *et al.* 2005). Gli alberi con questa storia di crescita sono generalmente i più longevi (Di Filippo *et al.* 2012). Con l'esclusione del sito più antropizzato di Burraia, questa tipologia auxologica è presente in tutti i siti ed è ben individuabile nella porzione più a destra di ciascun grafico di Figura 15, dove sono presenti le piante più vecchie. Da notare tuttavia che gli alberi più vecchi a Sasso Fratino si caratterizzano per processi di crescita sostenuta nelle fase giovanili seguiti da soppressione tardiva (Fig. 16), probabilmente legati all'effetto di disturbi atmosferici quali le tempeste di ghiaccio, galaverna, etc. Questa dinamica auxologica rinvenuta nelle piante più vecchie di Sasso Fratino è unica ed opposta rispetto a quanto conosciuto sui meccanismi predisponenti la longevità della specie (crescita estremamente ridotta in fase giovanile, anche per 100-200 anni, poi sostenuta nelle fasi di vita allo stato dominante; Di Filippo *et al.* 2012), e sottolinea ancora una volta la sua notevole plasticità nell'adattarsi non solo a mutevolissime condizioni ambientali, ma anche a resistere a danni fisici particolarmente impattanti. Gli studi sull'ecologia del disturbo (Fig. 17) hanno infatti evidenziato, insieme ad una serie di rilasci di probabile origine antropica, diversi picchi di disturbo di probabile climatica. Alcuni

di questi eventi, riconducibili alle fasi di disturbo del 1770, 1830-40 e 1880-90, sono infatti risultati sincronizzati con faggete vegetanti in un simile contesto bioclimatico

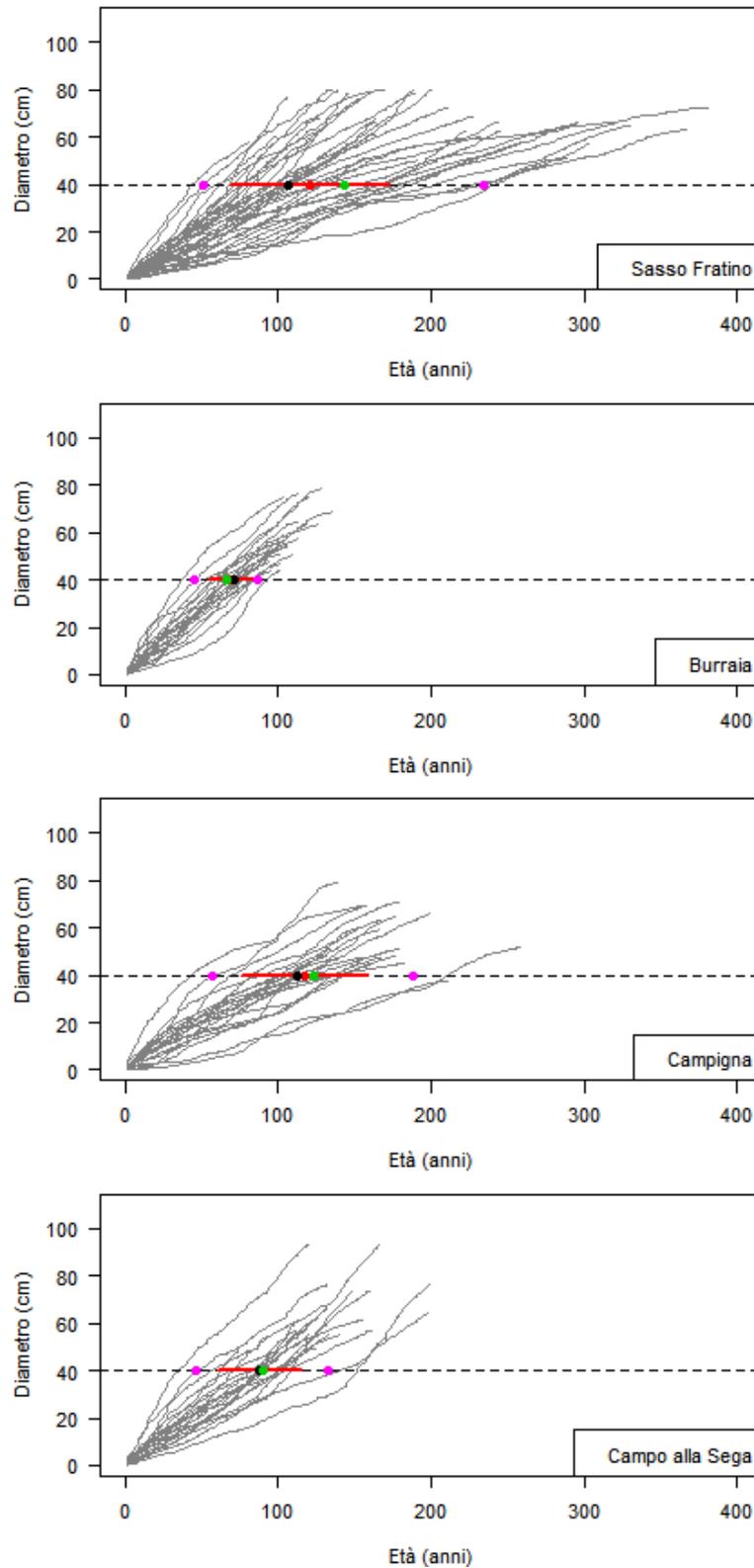


Figura 15. Storie auxologiche. Aumento di dimensioni diametriche del singolo albero ricostruito in funzione dell'età.

(faggete altomontane appenniniche) poste a centinaia di km di distanza, come le faggete di Monte Terminillo e Parco Nazionale d'Abruzzo, Lazio e Molise (Piovesan *et al.* 2005). Tra questi eventi va sottolineata l'importanza del picco di rilasci/reclutamento del 1770, da mettere in relazione con un'anomala fase climatica a fine '700 (anomalia climatica di Maldà), caratterizzata da un aumento di frequenza/intensità degli uragani atlantici e di tempeste invernali nel Mar Adriatico. E' inoltre interessante notare che a queste ondate di mortalità diffusa a Sasso Fratino hanno fatto seguito

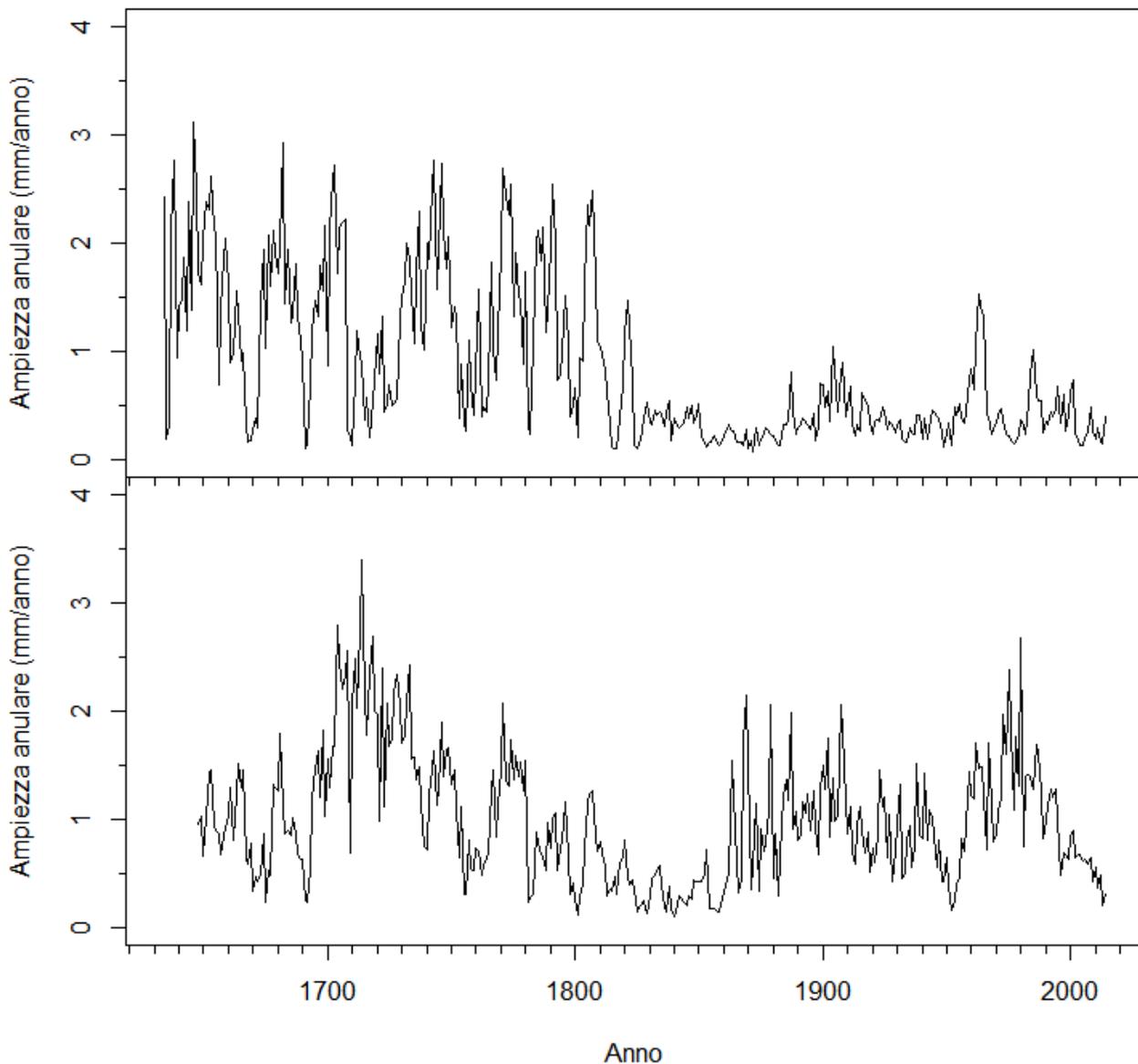


Figura 16. Incremento radiale delle due piante più vecchie campionate a Sasso Fratino.

ondate di rinnovazione (reclutamento) nei decenni immediatamente seguenti (Fig. 17). Questo evento rappresenta quindi un disturbo naturale che ha caratterizzato la struttura della foresta di Sasso Fratino, apportando una chiara eredità naturale (alberi morti, affermazione di una nuova

coorte) ancora evidente nell'attuale struttura. In Fig. 17 si può notare che, partire dagli anni 60, questa foresta presenti solo disturbi di bassa severità, tipici della dinamica a piccole buche che domina all'interno delle faggete vetuste primarie (Di Filippo *et al.* 2004). Questo fatto testimonia come le politiche di tutela integrale abbiano concesso a questo ecosistema di ristabilire le proprie dinamiche naturali, tracciando le pulsazioni di disturbo che hanno alterato la volta arborea.

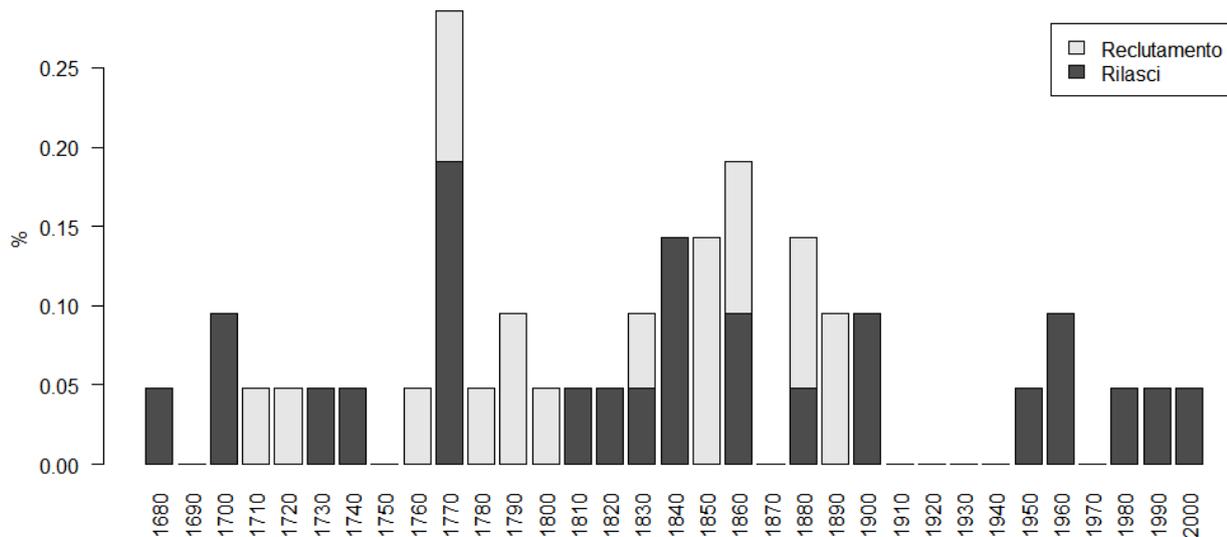


Figura 17. Storia del disturbo di Sasso Fratino. Percentuale di rilasci di crescita e di reclutamento (nascita delle piante campionate) organizzati per decennio.

Indicatori di naturalità forestale: storie auxologiche e picchio nero

Lo studio strutturale e dendroecologico delle foreste della Riserva Biogenetica di Campigna in cui sono stati rinvenuti i nidi di picchio nero (*Dryocopus martius* L.) ha messo in evidenza alcune importanti peculiarità relative alla scelta dell'habitat riproduttivo da parte di questa specie. Da un punto di vista strutturale, i tre popolamenti forestali analizzati (Poggio Termini, Ripa la Donna e Secchiete) hanno mostrato una struttura biostatica con un principio di fase di degradazione (Fig. 18). Questo stato si palesa con strutture prevalentemente monoplane nello strato dominante in cui l'inizio di fenomeni localizzati di mortalità di alberi dominanti consente l'affermazione in buca di nuove coorti che avviano lo stadio di transizione demografica (inizio della fase di foresta vetusta). Questo stadio è caratterizzato da distribuzioni di frequenza di tipo bimodale, evidenti

soprattutto a Secchiete e Poggio Termini (Fig. 18). A Ripa la Donna la dinamica è meno palese solo perché l'apertura della buca per mortalità è più recente.

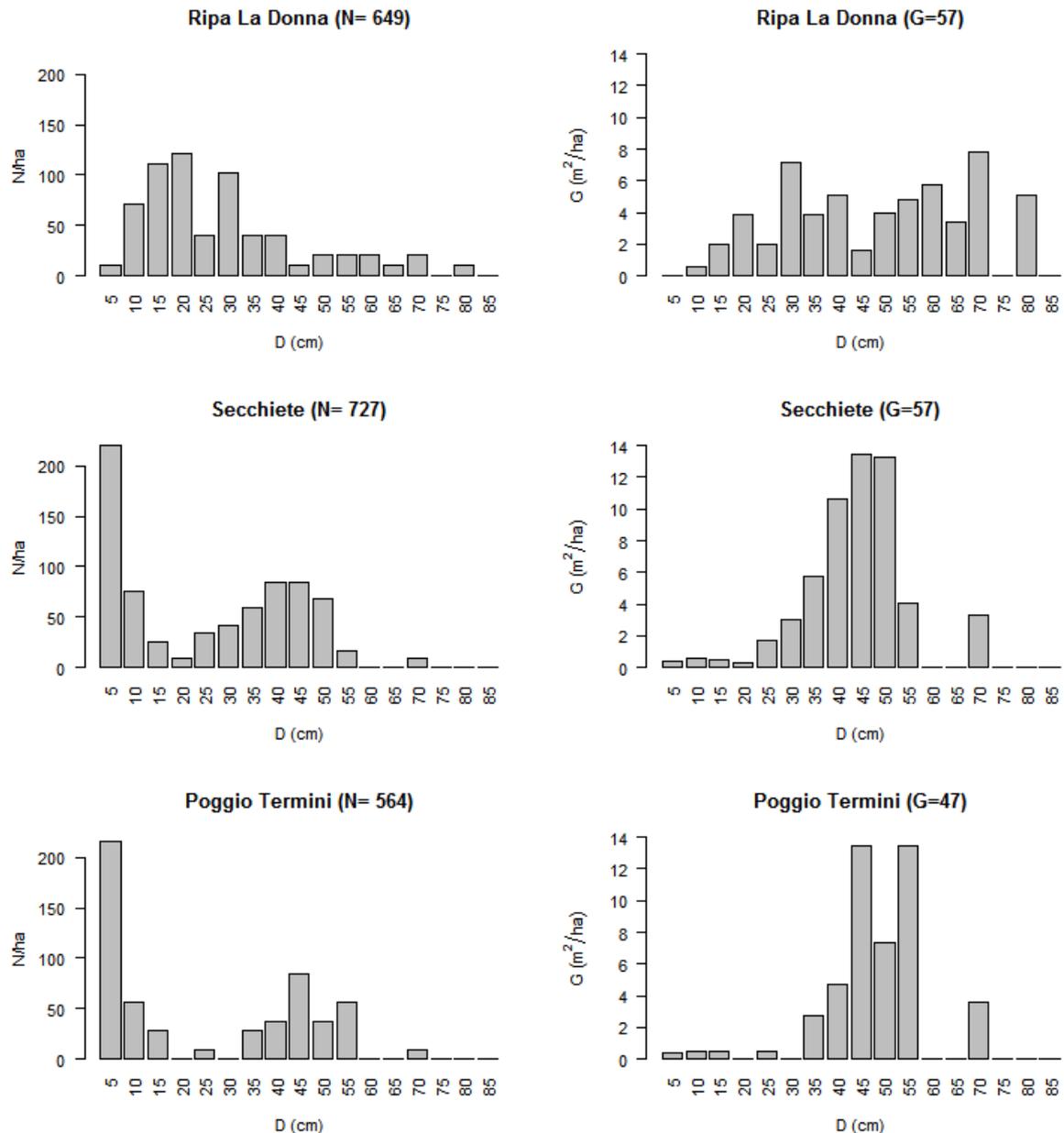


Figura 18. Distribuzione per classi diametriche della densità arborea e dell'area basimetrica (G) per le tre stazioni campionate nella Riserva di Campigna. Tra parentesi è riportato il valore totale ad ettaro.

L'analisi dei faggi con cavità-nido sul fusto ha permesso un'ulteriore caratterizzazione rispetto agli studi precedenti (Ceccarelli *et al.* 2008) delle strutture arboree più congeniali alla

nidificazione di questa specie. Da un punto di vista dimensionale le piante selezionate per la nidificazione mostrano caratteri intermedi, oscillando intorno a diametri di circa 50 cm e altezze di 28 m (Fig. 19).

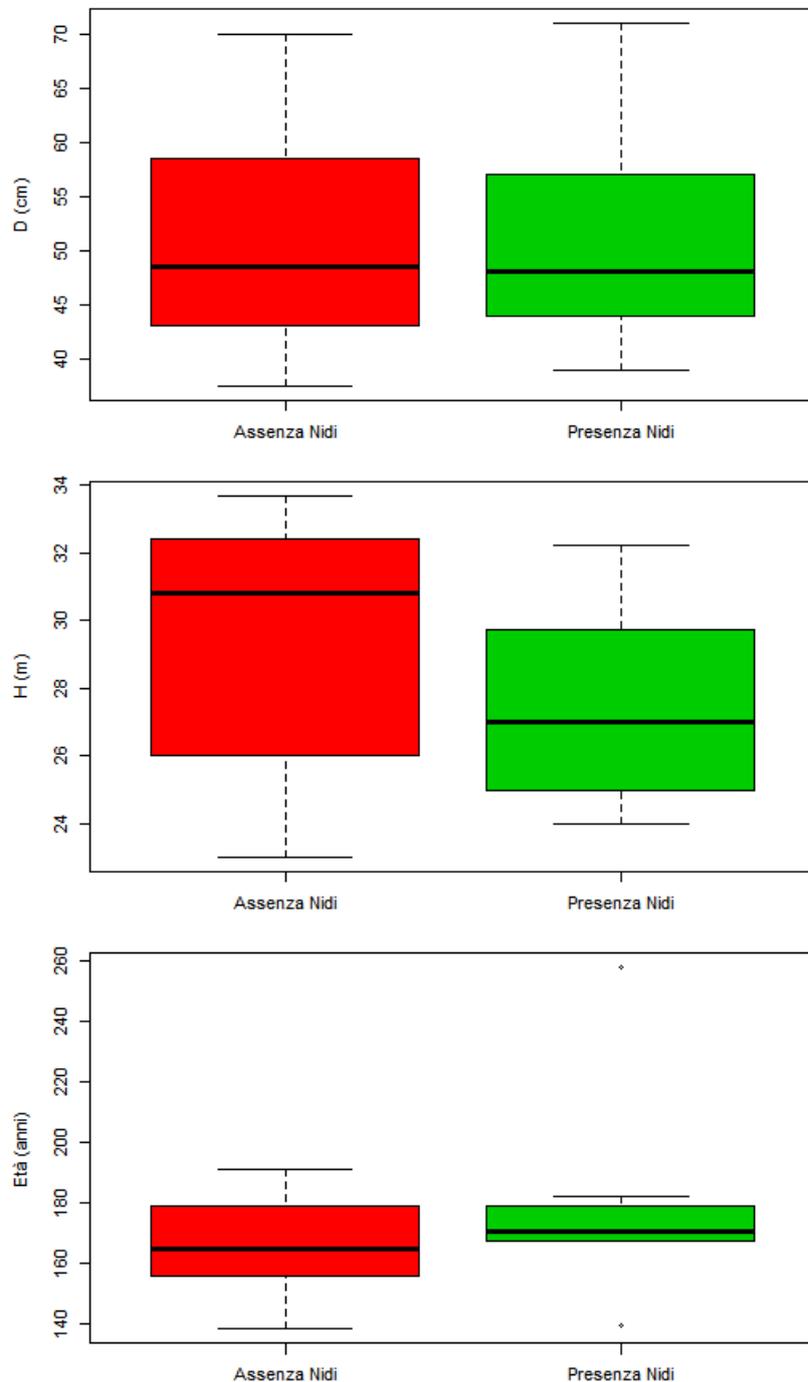


Figura 19. Confronto fra caratteristiche strutturali e cronologiche dei faggi in presenza/assenza di nidi di picchio nero. Le differenze non sono risultate significative in base al test t di Student.

Pure per quanto riguarda l'età le piante selezionate per la nidificazione non sono risultate in media particolarmente vetuste, anche se gli alberi scelti avevano sempre oltre 170 anni (tranne un albero di 140 anni; Fig. 17). Anche se la pianta più vecchia carotata a Campigna aveva un nido (258 anni; Fig. 17). Inoltre, i faggi con cavità-nido non sono risultati statisticamente diversi in termini di diametro, altezza ed età rispetto a piante immediatamente adiacenti di stesse dimensioni ma prive di nidi (Fig. 19). E' da sottolineare invece che il picchio nero predilige faggi con chioma inserita in alto, soprattutto se nel terzo superiore del fusto (80% dei casi osservati; Fig. 20). Le piante con ramificazione presente in basso, anche se solo con rami epicormici, sono infatti scartate. Questa osservazione viene avvalorata dal fatto che, invece, le piante prive di cavità intorno a quelle studiate hanno mediamente chioma inserita fino a 2/3, e solo nel 25% dei casi nel terzo superiore (Fig.20).

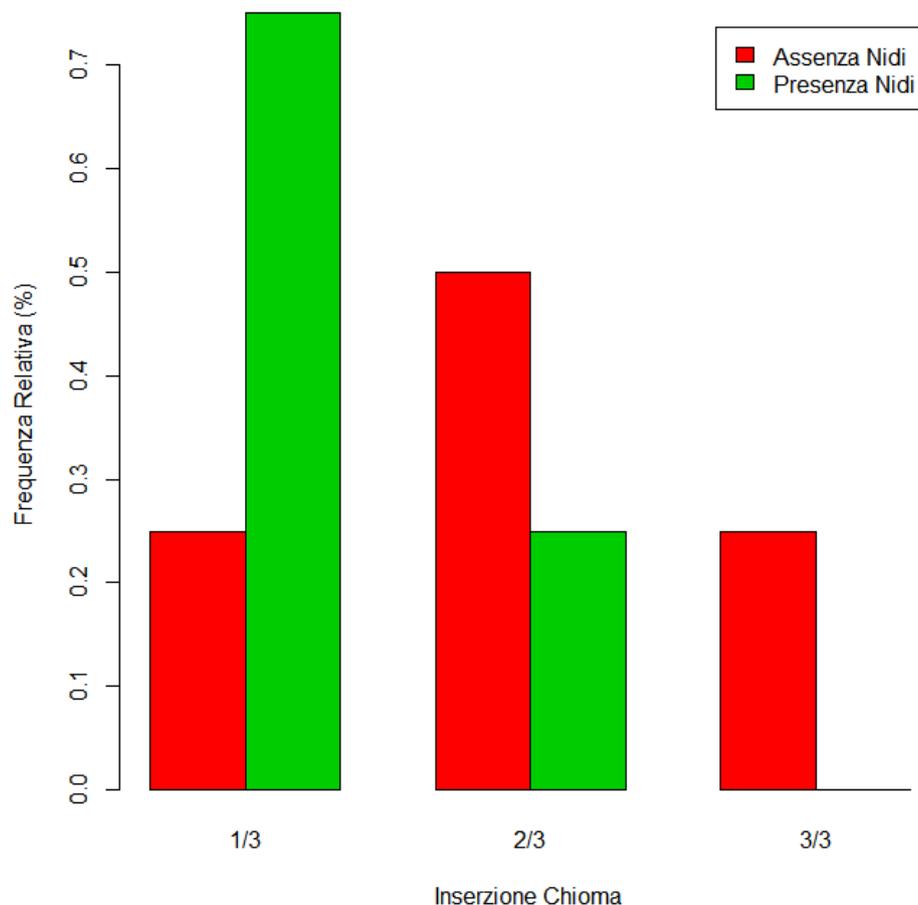


Figura 20. Confronto fra l'altezza d'inserzione della chioma in faggi con presenza/assenza di nidi di picchio nero. L'inserzione della chioma è stata distinta in 3 categorie, a seconda che la ramificazione raggiungesse 1/3, 2/3 o 3/3 dell'altezza dell'albero a partire dall'alto.

Le cavità sono spesso presenti in numero di 1, più raramente 2-3 fino ad un massimo di 5. In alcuni casi sono presenti, a fianco delle cavità completate, anche alcune semplicemente abbozzate e poi interrotte. Le cavità possono essere collocate ad altezze diverse (in genere comprese fra 6 e 10 m), ma mediamente sono poste intorno agli 8 m (Fig. 21). Una simile distanza è mediamente mantenuta rispetto all'inserzione della chioma (9 m). I nostri risultati mostrano che il picchio nero seleziona per la nidificazione non alberi particolarmente grandi, ma alberi di media dimensione, almeno 150 anni di età, e portamento tipicamente forestale (fusto slanciato e chioma inserita in alto), scavando le cavità ad un'adeguata distanza di sicurezza sia da terra che dalla chioma.

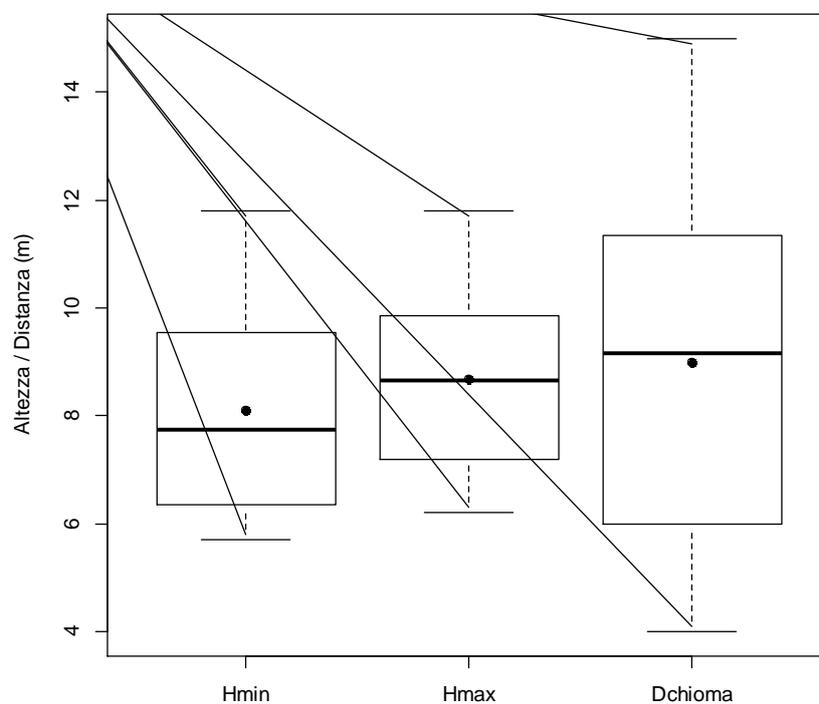


Figura 21. Altezza di inserzione da terra e distanza dall'inserzione della chioma dei nidi di picchio. I boxplots rappresentano la variabilità dell'altezza minima (Hmin) e massima (Hmax) sul fusto dei faggi campionati, nonché la loro distanza minima dall'inserzione della chioma (Dchioma). Il puntino nero rappresenta la media di ogni misurazione.

Questo consentirebbe di minimizzare le potenziali intrusioni da eventuali predatori che possono arrampicarsi lungo il fusto o discendere da branche sovrastanti. La variabilità di altezza da terra e distanza dall'inserzione della chioma può essere spiegata tenendo presente la notevole variabilità topografica esistente tra e all'interno dei siti indagati, spesso caratterizzati da aree

molto acclivi e balzi di roccia. Da sottolineare inoltre come nella maggior parte dei casi analizzati i nidi fossero spesso esposti a monte, rispetto all'esposizione del versante, oppure verso vicini balzi rocciosi o zone particolarmente dense di alberi di medie dimensioni. Queste osservazioni, congiunte al fatto che gli alberi circostanti hanno spesso la chioma inserita in basso, supporta la descrizione di un animale particolarmente prudente che tende a collocare il nido in posizioni difficilmente avvistabili da una certa distanza e nel punto del fusto meno raggiungibile dal suolo o dai rami. In questo contesto i principali predatori di questa specie sembrano essere l'astore, la martora e la faina. L'eterogeneità topografica, unita all'eterogeneità strutturale delle foreste vetuste, diventa quindi caratteristica fondamentale per la sopravvivenza del picchio nero. In particolare la diversità strutturale delle foreste naturali, o in corso di naturalizzazione come quelle studiate, intesa non solo come mosaico complesso di diverse fasi strutturali, ma anche come diversità delle singole strutture arboree (p.e. chiome con inserzione variabile lungo il fusto) legate alla presenza di un ambiente luminoso variegato (comunità arboree chiuse, alternate a buche di diversa luminosità a seguito di mortalità naturale). Naturalmente la vetustà dell'ecosistema va ulteriormente a supportare anche la fase di nutrizione della specie, mediante la presenza di numerosi alberi morti in piedi. Eccezione a queste argomentazioni è il nido di Ripa la Donna, ben visibile a notevole altezza sul fusto di un faggio dominante ed esposto a valle del versante. Questa visibilità sembra in contraddizione con le considerazioni sopra esposte, ma può essere giustificata dallo schianto di un albero di grandi dimensioni immediatamente a valle della cavità, che potrebbe aver improvvisamente esposto un nido precedentemente nascosto.

Confrontando la storia di crescita di piante con e senza nidi, ma simili in diametro (Fig. 19), è emerso che le piante scavate dal picchio crescevano più velocemente fino agli anni 2000-2001 ($p < 0.01$, test t di Student), dopodiché i loro incrementi sono precipitati a livelli inferiori di circa $1/3$ (Fig. 22). Questo fatto fa supporre che l'arrivo della specie possa essere collocata intorno al 2000-2001 anche per la Riserva di Campigna (Ceccarelli *et al.* 2008), perlomeno per alcuni dei nidi nelle diverse località studiate. Infatti datare l'inizio di stabili e persistenti brusche perdite di crescita arborea, sebbene non uniformemente osservate su tutte le piante con cavità, offre la possibilità di tracciare le dinamiche temporali della colonizzazione del territorio da parte del picchio nero. La brusca caduta di crescita successiva alla nidificazione mostra infatti che la nidificazione ha un impatto negativo sulla fisiologia idraulica delle piante (rimozione di xilema e floema), come sembrerebbe testimoniato dalle minori altezze realizzate dalle piante scavate (Fig. 19). Inoltre, sarebbe interessante verificare se la maggior ampiezza anulare posseduta dalle piante scavate sia

anche un prerequisito per la scelta della pianta da parte del picchio, che potrebbe preferire piante con legno meno denso (meno anelli per spessore perforato) al fine di garantirsi una maggior facilità di scavo. Questa considerazione è supportata dalla presenza di cavità solo abbozzate insieme ad altre completamente realizzate sui fusti studiati. Le tesi qui esposte necessitano di approfondimento mediante ulteriori campionamenti che saranno realizzati nel prossimo futuro.

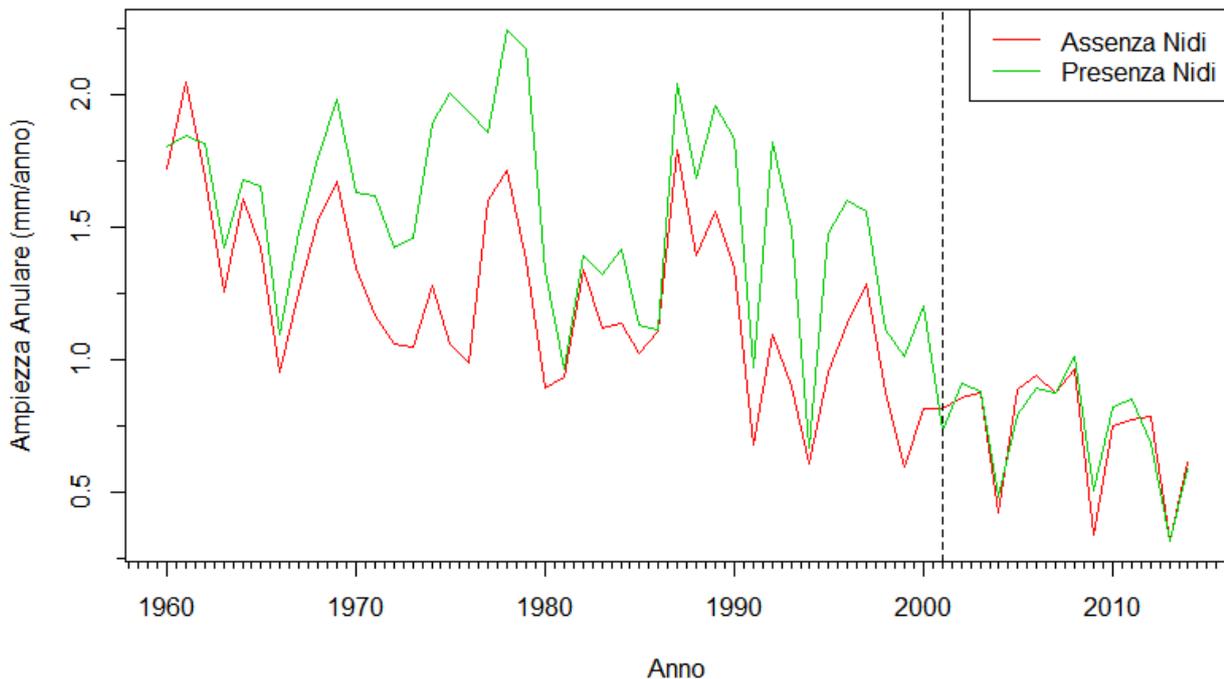


Figura 22. Incremento radiale medio di faggi con e senza nidi di picchio nero. La linea tratteggiata denota l'anno (2001) oltre il quale la crescita dei due gruppi di faggi ha cessato di essere statisticamente diversa. I faggi con nidi crescevano significativamente di più prima del 2000-2001, anno di primo rinvenimento del picchio nero nel Parco, ma hanno poi perso in velocità di crescita in seguito allo scavo dei nidi.

D'altro canto è importante che le ricerche future contribuiscano a far luce sui periodi di perdita di produttività, quali quello verificatosi nella fascia montana durante gli anni 90, e la relativa connessione degli stress idrici con la moria di abete bianco che potrebbe aver generato quelle risorse trofiche che hanno fatto espandere il picchio nero in quest'area (Nevio Agostini, osservazione personale).

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 rinvenivano 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 faggete 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*".

RINGRAZIAMENTI

Un contributo fondamentale a vario titolo per gli aspetti tecnico-scientifici e logistici è stato fornito da: Dr. Nevio Agostini e Dr. Davide Alberti, dall'UTB di Prato Vecchio Dr. Giovanni Quilghini, Dr. Barbara Rossi, Pierpaolo Ceccarelli. Un ringraziamento speciale ad Dr. Antonio Zoccola che ha dato un contributo fondamentale nelle campagne di rilievo nella Riserva di Sasso Fratino dimostrando una inusuale abnegazione al lavoro e una spiccata professionalità tecnico-scientifica per ciò che concerne le discipline forestali.

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