



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).

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 rinvencono 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*.