

DINAMICHE DI VEGETAZIONE DI PINO MUGO E FAGGIO NELL'ECOTONO DELLA *TREELINE* IN RISPOSTA AI CAMBIAMENTI CLIMATICI E DI USO DEL SUOLO SUL MASSICCIO DELLA MAJELLA

Chiara Calderaro¹, Caterina Palombo², Roberto Fracasso³, Roberto Tognetti², Marco Marchetti²

¹Dipartimento di Biologia Ambientale, Università degli Studi di Roma "La Sapienza" Roma, Italy

²Dipartimento di Bioscienze e Territorio, Università degli Studi del Molise, Pesche (IS), Italy;
caterina.palombo@unimol.it

³Corpo Forestale dello Stato, Ufficio territoriale per la biodiversità di Pescara, Pescara, Italy

Il presente studio ha avuto l'obiettivo di analizzare le dinamiche di vegetazione di *Pinus mugo* Turra subsp. *mugo* e *Fagus sylvatica* (L.) nella fascia ecotonale, tra il bosco denso di faggio e la vegetazione a *krummholz* con pino mugo nel massiccio della Majella. L'interesse per questa tematica deriva dall'ormai consolidata certezza che la muggheta sulla Majella stia ricolonizzando le radure aperte, sia verso l'alto che verso il basso, andando ad invadere superfici potenzialmente idonee allo sviluppo del faggio così come gli ecosistemi sopra il limite della vegetazione arborea. Il limite superiore del bosco (*timberline*) rappresenta un'area di transizione molto delicata, facilmente influenzabile anche dalle più piccole variazioni dovute a fattori naturali o antropici. Mediante l'utilizzo di tecnologie GIS è stato possibile confrontare in maniera dettagliata l'evoluzione delle due cenosi a contatto nell'ecotono della *timberline* durante gli ultimi 60 anni, attraverso foto-interpretazione di immagini aeree. Sono stati così individuati i quattro siti maggiormente rappresentativi della fascia di transizione faggeta-muggheta. Per entrambe le specie, sono stati raccolti parametri dendrometrici e prelevate carote legnose; le analisi dendrocronologiche hanno definito l'età dei popolamenti così come l'epoca di insediamento. Le correlazioni clima-accrescimento hanno evidenziato le risposte in termini di crescita delle piante all'attuale trend climatico. Le misurazioni degli accrescimenti anulari hanno confermato anelli più grandi nel faggio, rispetto al pino mugo, ad eccezione di un sito di campionamento posto a 2100 m s.l.m., in cui il faggio, pur avendo un'età media paragonabile a quella degli altri siti, ha un diametro medio di soli 8 cm, con accrescimento anulare medio paragonabile a quello del pino mugo.

Parole chiave: treeline, timberline, pino mugo, faggio, dendrocronologia, relazioni clima-accrescimento.

Keywords: treeline, timberline, mountain pine, beech, dendrochronology, climate-growth relationship.

<http://dx.doi.org/10.4129/2cis-cc-din>

1. Introduzione

Il limite altitudinale degli alberi è uno dei limiti ecologici più evidenti, dipendenti dallo spazio e dal tempo, dove l'impatto antropico e i fattori climatici giocano un ruolo fondamentale sugli spostamenti altitudinali di tale limite. Sulla catena alpina, il limite del bosco è una fascia occupata da arbusti prostrati che fungono da zona di transizione tra la foresta ad alberi isolati con fusti eretti e le praterie d'alta quota. Negli Appennini, dove le vette sono mediamente più basse di quelle alpine, il limite altitudinale degli alberi coincide con il limite dei boschi di latifoglie; infatti, i boschi più elevati in quota sono quelli di faggio che si aprono repentinamente sulle praterie d'alta quota.

In particolare, sul massiccio della Majella, la presenza di una cintura di vegetazione denominata "*krummholz*" dove, a causa della rigidità dei fattori climatici (vento, neve, gelo), gli alberi crescendo non riescono a mantenere la forma eretta (presentando morfologie sensibilmente ridotte e contorte rispetto a quelle tipiche

della specie, a causa di fattori di stress che ne compromettono la crescita naturale), rappresenta una caratteristica peculiare. Il massiccio della Majella rappresenta l'unico esempio in Appennino in cui la *treeline* è dominata da *krummholz* con pino mugo, e quindi un ideale caso studio. Il pino mugo cresce sopra il limite altitudinale degli alberi (*treeline*) e sulla Majella presenta il limite meridionale del suo areale di distribuzione. Trovandosi in una zona di transizione, che per definizione è sensibile anche alle più piccole variazioni ambientali, le specie di *treeline* rappresentano ottimi indicatori degli effetti dei recenti cambiamenti climatici e di uso del suolo in atto nel Bacino del Mediterraneo. I primi si riflettono in un aumento delle temperature e una diversa stagionalità delle precipitazioni, con aumento nei mesi invernali e diminuzione nei mesi estivi e autunnali; in questo modo il clima agisce direttamente sulla durata e sulle tempistiche della stagione vegetativa delle piante stesse. L'attività antropica, invece, e l'uso intenso delle risorse naturali dei secoli passati avevano ridotto

l'estensione, la complessità strutturale e funzionale delle foreste che, generalmente, si trovavano in una condizione molto lontana dalle vere cenosi naturali.

Tuttavia, oggi in Europa le foreste si stanno espandendo nelle aree coltivate ormai abbandonate a un tasso compreso tra 0.7 e 1.4% l'anno. Dal 1975 a oggi, i boschi di faggio si sono espansi sul piano subalpino a un ritmo dell'1.2% (van Gils *et al.*, 2008) e negli ultimi decenni hanno recuperato superficie e struttura, infatti, le successioni secondarie sono attualmente in fase di espansione in molte zone della penisola italiana, in particolare in quelle montane (Motta *et al.*, 2006; Boden *et al.*, 2010). Studi pregressi di dendroclimatologia, condotti sul pino mugo della Majella, hanno dimostrato significative correlazioni con le temperature massime primaverili e le precipitazioni estive (Palombo *et al.*, 2014). La muggheta avanza verso quote maggiori, ma scende anche verso quote inferiori (Palombo *et al.*, 2013), andando a invadere superfici potenzialmente idonee allo sviluppo del faggio. Il faggio, dopo aver recuperato le superfici tagliate in passato, si sta spingendo verso quote superiori. Un peso rilevante ha avuto in questo ecosistema il progressivo abbandono del pascolo d'altura.

Il seguente studio ha come obiettivo quello di analizzare le dinamiche di vegetazione di *Pinus mugo* Turra subsp. *mugo* e *Fagus sylvatica* (L.) nella fascia ecotonale di transizione tra le due cenosi, e gli effetti dei cambiamenti climatici e di uso del suolo sulla loro evoluzione nel tempo.

2. Materiali e metodi

2.1 Descrizione dell'area di studio

La Majella comprende un'area di 11 km² sopra i 2500 m: più di 30 cime superano i 2.000 metri ed il Monte Amaro con i suoi 2.793 m è la seconda vetta più alta della catena appenninica dopo il Gran Sasso. A differenza degli altri massicci dell'Appennino, che sono caratterizzati da valli glaciali, qui durante la glaciazione del Quaternario si estendeva un'ampia calotta glaciale (circa 30 km²), che copriva la porzione più alta dell'intero comprensorio Magellense e in alcuni casi presentava uno spessore di 200 m. Quindi, anche se l'intero massiccio condivide ampiamente caratteristiche vegetazionali di alta quota dell'Appennino Centrale, presenta anche caratteristiche floristiche e cenologiche peculiari, che dimostrano la differente evoluzione che quest'area ha avuto durante il Quaternario (Blasi *et al.*, 2005). La tipologia fisionomica maggiormente diffusa è la faggheta, che occupa poco meno del 30% del territorio del Parco. Essa si colloca nella fascia montana, tra i 1000 e i 1800 m di quota. Più in basso sono collocati i querceti e i boschi misti di caducifoglie termofile; più in alto, fino a 2300-2400 m s.l.m., gli arbusteti subalpini, cioè formazioni prostrate a pino mugo (*Pinus mugo* Turra subsp. *mugo*), ginepro nano (*Juniperus communis* var. *saxatilis*) o uva orsina (*Arctostaphylos uva-ursi*).

Il popolamento di pino mugo della Majella, è il più esteso di tutto l'Appennino, riveste una notevole importanza biogeografica e conservazionistica, trattandosi

di una specie rara e che ha in Abruzzo il limite più meridionale del suo areale di distribuzione.

2.2 Aree di saggio e metodi di campionamento

Il lavoro è stato condotto in aree di saggio permanenti (ADS), di forma circolare, con 40 m di diametro e centro posto nella linea di transizione tra pino mugo e faggio. Le ADS sono state realizzate in quattro diversi siti, selezionati in seguito ad analisi di foto aeree (dal 1954 al 2013), che presentano un elevato interesse ecologico e sono altamente rappresentativi della fascia di transizione faggheta-mugheta (Fig. 1).

Il primo sito "PESCOFALCONE": versante nord-orientale del M. Pescofalcone, nella Riserva Naturale Orientata (RNO) Valle dell'Orfento.

Il secondo sito "UGNI": versante settentrionale di M. Ugni, nella RNO Feudo Ugni, dove faggio e mugo si incontrano ad una quota di approssimativamente 1930 m s.l.m. In quest'area il pino mugo ha subito un grave attacco fungino.

Il terzo sito "PIANA GRANDE": situato in località Piana Grande-La Majelletta, RNO Valle dell'Orfento, attorno ai 1900 m di quota, esposizione sud-ovest. L'area è interessata da un'abbondante ricolonizzazione di pino mugo, soprattutto nelle attuali radure dove in passato era praticato il pascolo.

Il quarto sito "BLOCKHAUS" è localizzato lungo il versante sud-orientale dei grandi pascoli della Majelletta. Negli anni '50 il mugo era stato completamente tagliato, mentre un nucleo di faggio era stato lasciato integro.

Per ciascun individuo di entrambe le specie, è stata registrata la posizione nell'ADS; per gli individui di faggio, inoltre, sono stati misurati il diametro di tutte le piante con diametro superiore a 9.5 cm (eccezione è stata fatta nel sito Pescofalcone, dove la presenza del faggio è minima e minacciata da condizioni estreme per la sua crescita) e l'altezza per classi di diametro. Per ogni sito sono state prelevate carote legnose su 20 piante di faggio e 20 di pino mugo, selezionate tra quelle con diametro maggiore. Le carote legnose sono state estratte per mezzo della Trivella di Pressler a un'altezza di 1.30 m dal terreno negli individui di faggio e a livello del suolo in quelli di mugo, perpendicolarmente alla direzione del versante per evitare il più possibile il legno di reazione e per minimizzare i problemi legati all'eccentricità del tronco.

Le carote legnose sono state levigate e quindi datate, gli accrescimenti anulari misurati con una risoluzione di 0,01 mm per mezzo della Tavola LINTAB collegata a uno stereomicroscopio (ingrandimento 60x; Leica, Germany) e al software TSAPWin (Frank Rinn, Heidelberg, Germany). Tutte le cronologie individuali ricavate sono state crossdatate tra loro, separatamente per ogni specie, prima visivamente e poi statisticamente mediante il software COFECHA (Holmes, 1983; Grissino-Mayer, 2001) per evitare potenziali errori di datazione.

In seguito queste sono state standardizzate mediante il software ARSTAN 40c (Cook e Holmes, 1984) suddividendole per sito e quindi per specie. La procedura di standardizzazione ha dato origine contempo-

raneamente a una curva media standardizzata, rappresentativa del popolamento. Per ciascun sito, mediante la procedura di standardizzazione, sono stati ottenuti parametri statistici e descrittivi, quali:

- Media: indicata come ampiezza anulare media, calcolata sulla curva media standardizzata (Mean index STD). Inoltre, l'ampiezza anulare media è stata calcolata anche come media aritmetica delle ampiezze anulari medie grezze di ciascuna serie elementare (Mean ring width), in accordo con Corona (1966).

- Deviazione standard (SD): fornisce una stima dello scarto dalla media, quindi può indicare il grado di omogeneità dei dati nell'ambito della cronologia considerata.

- Sensitività media (MS): esprime la misura della variabilità nelle ampiezze di anelli adiacenti e riflette la capacità potenziale di risposta a variazioni climatiche di breve termine (Gentilesca e Todaro, 2008); maggiore è il valore della MS, maggiore sarà l'influenza, sulla specie, esercitata dai fattori climatici e quindi più alto sarà anche il contenuto di informazioni all'interno delle cronologie (Corona, 1966). Dall'analisi della MS è possibile determinare il grado d'influenza dei fattori ambientali su una determinata specie in una determinata area; infatti, una specie si definisce sensitiva quando il valore di MS supera lo 0.25, in caso contrario la specie è definita compiacente.

- Expressed Population Signal (EPS): fornisce una stima indicativa dell'affidabilità della cronologia quantificando la variabilità comune in tutte le serie anulari di un particolare sito: se tutti gli alberi sono influenzati da simili variabili climatiche, tale informazione può essere utilizzata come un'informazione climatica (Briffa e Jones, 1990). L'EPS è, inoltre, utilizzato per indicare il livello di coerenza della serie in dendrocronologia (Wigley *et al.*, 1984); un valore di EPS superiore a 0.85 è considerato come il valore soglia generalmente accettato per una cronologia affidabile.

Le cronologie medie standardizzate sono state poi utilizzate per svolgere analisi preliminari di correlazione clima-accrescimento tramite l'analisi funzione di correlazione (CF), utilizzando il pacchetto BootRes (Zang e Biondi, 2013) sviluppato per R (R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria).

3. Risultati

3.1 Analisi strutturale dei plot

Un'analisi multitemporale è stata condotta su foto aeree del Volo Base IGM 1954/56 (Palombo, 2009), foto aeree del Volo Comunità Montana PHF 1978 e del Volo Italia Alta Quota 1988/1989, consultabili sul Geoportale della Regione Abruzzo, e ortofoto del 2000 e 2013 disponibili su piattaforme WEB a livello internazionale.

Mediante l'utilizzo di tecnologie GIS, è stato possibile confrontare in maniera dettagliata l'evoluzione delle due cenosi a contatto nell'ecotono della *timberline* durante gli ultimi 50-60 anni.

Mediante il confronto diacronico delle foto aeree, è stato possibile analizzare evidenti modificazioni del paesaggio, in particolar modo dovute all'abbandono di pratiche antropiche, quali il taglio e il pascolo, quindi a

processi naturali di ricolonizzazione delle comunità vegetali verso altitudini maggiori o minori.

I principali parametri strutturali dei popolamenti di faggio sono riportati in Tabella 1, da cui emerge la grande variabilità intraspecifica del faggio nel caso di condizioni di crescita avverse.

In PESCOFALCONE il faggio arriva a quota 2100 m s.l.m. con "lingue" di vegetazione completamente circondate da pino mugo. L'altezza media dei faggi non supera i 4 metri, indice di condizioni di crescita in ambiente estremo. Durante i campionamenti è stato possibile controllare lo stato della rinnovazione: la mugheta è molto densa, gli esemplari di mugo sono già tutti adulti e non vi è spazio per la rinnovazione, il faggio invece presenta una scarsissima rinnovazione sotto copertura.

In UGNI il faggio e mugo si incontrano ad una quota di circa 1930 m s.l.m. In quest'area il pino mugo ha subito un grave attacco di patogeni (visibile secondo schemi circolari) che, in pochi anni, ha portato alla morte di alcuni tra gli individui più grandi, lasciando piccole radure favorevoli allo sviluppo del faggio. Nel 1954, il faggio era stato completamente tagliato lungo tutto il versante nord nord-est di monte Ugni, mentre il mugo ha subito meno il devastante impatto antropico soprattutto nel versante occidentale. Nel corso degli anni, il faggio ha rioccupato completamente le superfici pregresse, raggiungendo il contatto con il mugo. In questa situazione, durante i campionamenti è stato possibile riscontrare un'abbondante ricolonizzazione di faggio verso quote superiori, quindi verso la mugheta, che non presenta una copertura compatta e continua.

PIANA GRANDE è situato attorno ai 1900 m di quota con esposizione sud-ovest. La faggeta non ha subito tagli prima del 1954 e con la dendrocronologia è stato appurato che non è stata tagliata anche in seguito, le ceppaie sono risultate essere molto grandi e con un buon numero di polloni per ceppaia (da 4 a 9). Il pino mugo presentava una distribuzione piuttosto irregolare e ridotta negli anni fra il '50 e '90, interessante ed evidente è invece la capacità ricolonizzatrice del mugo nei pascoli e principalmente nei ghiaioni sovrastanti la vegetazione tra il 2007 e il 2013.

In quest'area, durante i campionamenti, è stato possibile riscontrare un'abbondante rinnovazione: le piantule di 2-4 anni di faggio sono concentrate in particolar modo sotto la copertura di individui adulti di faggio, le giovani piante più adulte invece emergono dalla mugheta; il mugo ugualmente presenta un'abbondante rinnovazione, distribuita in prevalenza nelle radure, nei pascoli e principalmente su ghiaioni e roccia frantumata. In quest'area le due cenosi non sono compenetranti, ma separate da una fascia aperta di pascolo, condizione ideale per esaminare l'avanzamento delle due specie in direzioni opposte.

BLOCKHAUS è localizzato lungo il versante sud-orientale dei grandi pascoli della Majelletta, a 1770 m s.l.m. Nelle immagini del 1954, sono evidenti i segni lasciati dai tagli, sia nel mugo (linee verticali fatte con ramaglie di scarto), sia nel faggio (punti rappresentanti le matricine rilasciate). In pochi anni il mugo ha ricolonizzato facilmente e rapidamente gran parte del

soprasuolo, anche se in alcune aree presenta ancora una scarsa copertura. Durante i campionamenti, è stato possibile riscontrare un'abbondante rinnovazione, soprattutto di faggio, sotto copertura; sono stati, inoltre, registrati diversi individui giovani, nati da seme, con diametro di 10-15 cm e di circa 30 anni distribuiti regolarmente nell'ADS. La mugheta è risultata piuttosto densa, sebbene fossero presenti alcune radure in cui la rinnovazione di pino di mugo era già presente.

3.2 Analisi dendrocronologiche

La datazione e la misurazione dei campioni di pino mugo hanno presentato diverse difficoltà: in alcune carote sono stati riscontrati anelli mancanti o fluttuazioni di densità; in altri casi è stato impossibile misurare gli anelli di accrescimento degli ultimi anni, a causa di ampiezze anulari troppo piccole ovvero per la presenza di legno di compressione.

I siti UGNI e PIANA GRANDE presentano le cronologie più lunghe per il faggio (Tab. 2). Gli individui di pino mugo più vetusti sono stati campionati nel sito PESCOFALCONE, a testimonianza dell'impatto antropico quasi nullo in un'area così poco accessibile, a differenza del sito BLOCKHAUS, dove il mugo negli anni '50 continuava a subire tagli rasi per la produzione di carbone.

Nei grafici in Figura 2 sono state messe a confronto le cronologie medie grezze (raw) dei quattro siti sia per il faggio che per il pino mugo, per analizzare la variabilità delle curve nel lungo periodo legata al trend biologico dovuto all'età, alle dimensioni della pianta, e ad eventuali altre cause non climatiche che sono state rimosse dalla standardizzazione.

Come evidenziato dalle cronologie medie grezze del faggio, PIANA GRANDE e UGNI sono i siti che presentano le cronologie più lunghe (dal 1897 e 1911 rispettivamente), mentre PESCOFALCONE è quello che presenta le cronologie più brevi (dal 1921).

Per quanto riguarda il mugo invece le cronologie più lunghe sono presenti in UGNI e PESCOFALCONE, mentre BLOCKHAUS e PIANA GRANDE hanno cronologie più recenti. Da questa analisi risulta che il pino mugo presenta un numero di campioni maggiore negli anni più recenti, mentre pochi sono gli individui vetusti. Ciò è probabilmente dovuto alla natura del popolamento, ma a volte è ricollegabile anche all'incertezza del campionamento e alla difficoltà di datazione e misurazione.

Sempre in Fig. 2 emerge che il faggio ha generalmente accrescimenti anulari che oscillano su un valore medio superiore a 1 mm, il mugo invece a 0.5 mm, il pino mugo infatti, a parità di età con il faggio, raggiunge a malapena i 10 cm di diametro. Eccezione però sono i faggi campionati nel sito PESCOFALCONE, in quest'ADS infatti i faggi, pur avendo un'età media paragonabile a quelli presenti nel sito BLOCKHAUS, hanno un diametro medio di soli 8 cm, oscillando su un valore medio di 0.5 mm.

La standardizzazione delle curve elementari ottenute per il pino mugo e il faggio è stata realizzata con l'interpolazione mediante una cubic smoothing spline di 25 anni. In Tabella 3 sono elencati i principali para-

metri statistici e descrittivi delle cronologie medie per ciascun sito e specie.

Una prima analisi di correlazione clima-accrescimento (Fig. 3) dimostra il potenziale effetto delle variabili climatiche sull'accrescimento anulare delle due specie. Le funzioni di correlazione sono state calcolate separatamente per ogni mese, da marzo dell'anno precedente (lettere minuscole) a Ottobre dell'anno in corso (lettere maiuscole).

Nel faggio, le correlazioni significative si verificano in periodi diversi in base al sito di campionamento. Le precipitazioni correlano significativamente e positivamente con il mese di giugno, ma anche con alcuni mesi autunnali (settembre, ottobre) e invernali (gennaio, febbraio). Le temperature invece non seguono un pattern preciso e per alcuni siti non mostrano risultati significativi.

Nel mugo, le precipitazioni correlano significativamente principalmente con i mesi tardo-primaverili ed estivi (maggio-agosto), le temperature massime e minime correlano significativamente positivamente con i mesi primaverili (marzo-maggio) e negativamente con quelli estivi di luglio e settembre.

4. Discussione

L'analisi multitemporale attraverso la fotointerpretazione di immagini aeree ha messo in evidenza come l'espansione della mugheta e della faggeta dal 1954 al 2007 abbia coinvolto soprattutto zone prive di vegetazione, comprese nel range altitudinale ottimale per le due specie. In particolare, le quote massime occupate dalla mugheta hanno subito un progressivo aumento nel tempo, così come le quote minime sono sempre più scese verso valle (Palombo *et al.*, 2014), allo stesso modo il faggio si sta espandendo verso i pascoli abbandonati, ma anche nella vegetazione adiacente di pino mugo, grazie ad un'abbondante presenza di rinnovazione.

- Nel sito PESCOFALCONE, il faggio sta crescendo in condizioni ambientali e climatiche estreme, presenta il classico portamento di piante che crescono al limite del bosco (altezza ridotta e tronchi contorti). In questo sito, la rinnovazione di faggio si sta affermando, ma molto lentamente, sono, infatti, presenti solo pochissime piantule di faggio sotto copertura. Il mugo in questa situazione non ha le condizioni idonee per la rinnovazione, essendo la formazione compatta e densa, ma si sta espandendo verso superfici a quota maggiore, chiudendo le radure presenti e colonizzando i ghiaioni sovrastanti. In questo sito, l'attività antropica in passato non ha alterato fortemente lo sviluppo naturale della vegetazione presente.

- Nel sito UGNI, le pessime condizioni di salute del pino mugo stanno lasciando spazio al faggio. In questo sito, sebbene il faggio si trovi già al limite altitudinale potenziale di vegetazione, le radure create nel mugo e la protezione del mugo stesso sulle piantule di faggio permettono a quest'ultimo di attecchire e di sviluppare nuovi individui. Ciò avviene nella zona di contatto faggio-mugo, mentre, a quote maggiori, il mugo stesso sta richiudendo le radure e le aree aperte causate dalla

morte di individui per l'attacco fungino. In questo sito, l'attività antropica ha alterato in passato lo sviluppo della vegetazione, in particolare del faggio.

- Nel sito PIANA GRANDE, le dinamiche faggio-mugo risultano leggermente alterate dalla presenza di un'ampia superficie aperta tra le due cenosi. Vi sono, comunque, individui di faggio adulti ben sviluppati a ridosso della muggheta; questi esemplari fungono da dispersori di seme e quindi da tutori alle nuove piante di faggio, che stanno subentrando alla muggheta. Nonostante il consistente carico nevoso al quale sono sottoposte annualmente le piante, l'elasticità del mugo consente una buona protezione delle piantine sottostanti. Ne sono esempio gli individui di faggio isolati che emergono dalla muggheta. In questo sito l'attività antropica, legata principalmente al pascolo, ha apportato importanti modifiche al pattern di distribuzione della muggheta, mentre il faggio ha subito meno gli effetti dell'uomo.

- Nel sito BLOCKHAUS l'attività antropica ha invece determinato lo stato attuale della vegetazione, il mugo completamente tagliato negli anni '50 sta recuperando le superfici perse in passato. Infatti, l'espansione della muggheta sta riguardando principalmente radure e ghiaioni al di sopra della vegetazione densa e compatta. Nella zona di contatto faggio-mugo, il faggio ha buone possibilità di colonizzare nuove superfici a ridosso della muggheta, per gli stessi meccanismi già illustrati negli altri siti. Un peso rilevante ha, quindi, il cambiamento d'uso del suolo dell'area indagata e il progressivo abbandono del pascolo d'altura che per secoli è stato praticato sulla Majella.

L'attività antropica del passato ha condizionato fortemente le dinamiche di vegetazione delle due cenosi nella fascia subalpina, avendone alterato la distribuzione naturale tramite tagli, pascolo e incendi. Le cronologie medie grezze presentano una buona sincronicità degli andamenti, risultato questo che conferma la coerenza delle cronologie e, quindi, la possibilità di condurre analisi dendrocronologiche in condizioni limite come quelle della treeline. Eccezione è fatta dalla cronologia del PESCOFALCONE, che nonostante presenti diversi punti in comune con le altre cronologie, mostra un trend di crescita differente.

I valori di sensitività media sono tutti al di sopra del valore soglia di 0.25, è quindi possibile definire il pino mugo e il faggio nella treeline sul massiccio della Majella quali specie sensibili ai fattori climatici e ambientali.

Il valore più alto di 0.4 è stato ottenuto per il faggio del sito PESCOFALCONE dove l'intervento antropico è

nullo e la crescita delle piante è fortemente influenzata dai fattori climatici, ostili per la crescita del faggio.

Il valore minimo di sensitività media per il faggio è stato ottenuto nel sito UGNI, dove il faggio ha subito gli effetti del taglio fino agli anni '50.

I valori di EPS superano in molti casi limite minimo di 0.85, oppure sono lievemente inferiori, a dimostrazione della coerenza e affidabilità delle cronologie ottenute. L'evoluzione della *treeline* sulla Majella è strettamente correlata al clima maggiormente nei mesi primaverili e autunnali; in particolare, le alte temperature di Maggio e Luglio e le precipitazioni del mese di Giugno determinano una correlazione positiva di crescita radiale del pino mugo indicando l'influenza del clima mediterraneo di questo ecosistema forestale. Tuttavia, l'alta radiazione solare e un suolo carsico, che presenta alta permeabilità, potrebbero indurre una forte evaporazione con conseguente perdita di acqua o incapacità a trattenerla per la fessurazione del suolo di natura calcarea, spiegando quindi l'influenza negativa delle temperature estive sulla crescita delle piante.

La presenza di sufficiente umidità atmosferica rappresenta il fattore determinante per la crescita e lo sviluppo del faggio, soprattutto negli ambienti di vetta dove la permanenza di un livello sufficiente di umidità primaverile (con bassa evapotraspirazione) rappresenta un fattore decisivo per la vita della specie. Giugno è il mese che correla meglio con questi dati.

5. Conclusioni

L'abbandono delle attività antropiche e un progressivo aumento delle temperature probabilmente trasformeranno il paesaggio nuovamente. Questi fattori, insieme alla gestione forestale dell'area protetta, possono innescare processi dinamici nella vegetazione finalizzati al recupero della naturalità delle formazioni vegetali.

I dati e i campioni raccolti nel presente studio, oltre ad illustrare un quadro generale delle dinamiche vegetazionali in atto alle alte quote del massiccio della Majella, sono propedeutici a studi successivi:

- Mediante un approccio dendro-anatomico sarà possibile approfondire i meccanismi fisiologici che caratterizzano le piante al limite altitudinale del loro areale.

- Correlazioni clima-accrescimento con funzioni di correlazione a finestra mobile, al fine di interpretare le risposte, in termini di crescita, di faggio e pino mugo agli attuali trend climatici e come questi variano nel tempo.

Tabella 1. Principali parametri strutturali registrati per i popolamenti di faggio nei quattro diversi siti di campionamento.
 Table 1. Principal structural features referred to beech stands in four sampling sites.

| SITO | N. ceppaie | N. medio polloni per ceppaia | N. piante/ha | Diametro max (cm) | Diametro medio \pm dev. st (cm) | Altezza media (m) |
|--------------|------------|------------------------------|--------------|-------------------|-----------------------------------|-------------------|
| PESCOFALCONE | 17 | 1.23 | 135 | 13 | 8.5 \pm 1.7 | 4 |
| UGNI | 31 | 4 | 247 | 34 | 15.4 \pm 5.2 | 14.25 |
| PIANA GRANDE | 8 | 5 | 64 | 32 | 15.3 \pm 6.1 | 11.5 |
| BLOCKHAUS | 16 | 6 | 127 | 31 | 17.3 \pm 6.1 | 12.5 |

Tabella 2. Risultati delle analisi dendrocronologiche: età media e massima dei popolamenti suddivisi per sito e per specie, con relativa ampiezza anulare media.

Table 2. Dendrocronological analysis results: mean and maximum age of beech and mountain pine stands in four sampling sites.

| Sito | <i>Faggio</i> | | | <i>Pino mugo</i> | | |
|--------------|-------------------------|-------------|---------------------------|-------------------------|-------------|---------------------------|
| | Età media ± dev. st. | Età massima | Ampiezza anulare media | Età media ± dev. st. | Età massima | Ampiezza anulare media |
| Pescofalcone | 73±15 anni | 91anni | 0.481 mm | 69± 19 anni | 99 anni | 0.621 mm |
| Ugni | 85 ± 11 anni | 102 anni | 1.228 mm | 69 ± 12 anni | 93 anni | 0.595 mm |
| Piana Grande | 70 ± 23 anni | 116 anni | 1.072 mm | 53 ± 13 anni | 83 anni | 0.835 mm |
| Blockhaus | 70 ± 20 anni | 92 anni | 1.177 mm | 53 ± 13 anni | 74 anni | 0.727 mm |

Tabella 3. Parametri statistici descrittivi degli accrescimenti anulari, ottenuti mediante standardizzazione con ARSTAN, di faggio e pino mugo nei 4 siti di campionamento. * = calcolato su 24 anni con 12 anni di overlap; (mean) = media dei valori ≥ 0.85.

Table 3. Descriptive statistical parameters of ring width, elaborated by ARSTAN standardization, of beech and mountain pine in four sampling sites. * = obtained for 24 years with 12 years overlapping; (mean) = average of all values ≥ 0.85.

| <i>Parametri Statistici Faggio</i> | <i>Pescofalcone</i> | <i>Ugni</i> | <i>Piana Grande</i> | <i>Blockhaus</i> |
|------------------------------------|---------------------|--------------|---------------------|------------------|
| Total years | 93 | 103 | 117 | 95 |
| Mean raw ring width (mm) | 0.481 | 1.228 | 1.072 | 1.177 |
| Mean index STD | 0.984 | 0.994 | 0.981 | 0.982 |
| Standard deviation (SD) | 0.246 | 0.211 | 0.222 | 0.180 |
| Expressed Population Signal (EPS)* | 0.857 (2002) | 0.926 (mean) | 0.899 (mean) | 0.828 (2002) |
| <i>Parametri Statistici Mugo</i> | <i>Pescofalcone</i> | <i>Ugni</i> | <i>Piana Grande</i> | <i>Blockhaus</i> |
| Total years | 100 | 96 | 83 | 75 |
| Mean raw ring width (mm) | 0.621 | 0.595 | 0.835 | 0.727 |
| Mean index STD | 0.998 | 0.996 | 0.991 | 0.989 |
| Standard deviation (SD) | 0.180 | 0.176 | 0.249 | 0.212 |
| Expressed Population Signal (EPS)* | 0.880 (mean) | 0.713 (1956) | 0.810 (1988) | 0.881 (1998) |



Figura 1. Localizzazione dei quattro siti di campionamento individuati come maggiormente rappresentativi della fascia di transizione faggeta-mugheta. In arancione i limiti amministrativi dei comuni con relativa denominazione. In bianco i nomi e la localizzazione delle 4 aree.

Figure 1. Location of the four study sites (PESCOFALCONE, UGNI, PIANA GRANDE, BLOCKHAUS – white circular) in the MNP on the basis of the aerial orthophoto; in grey, municipality boundaries and relative names.

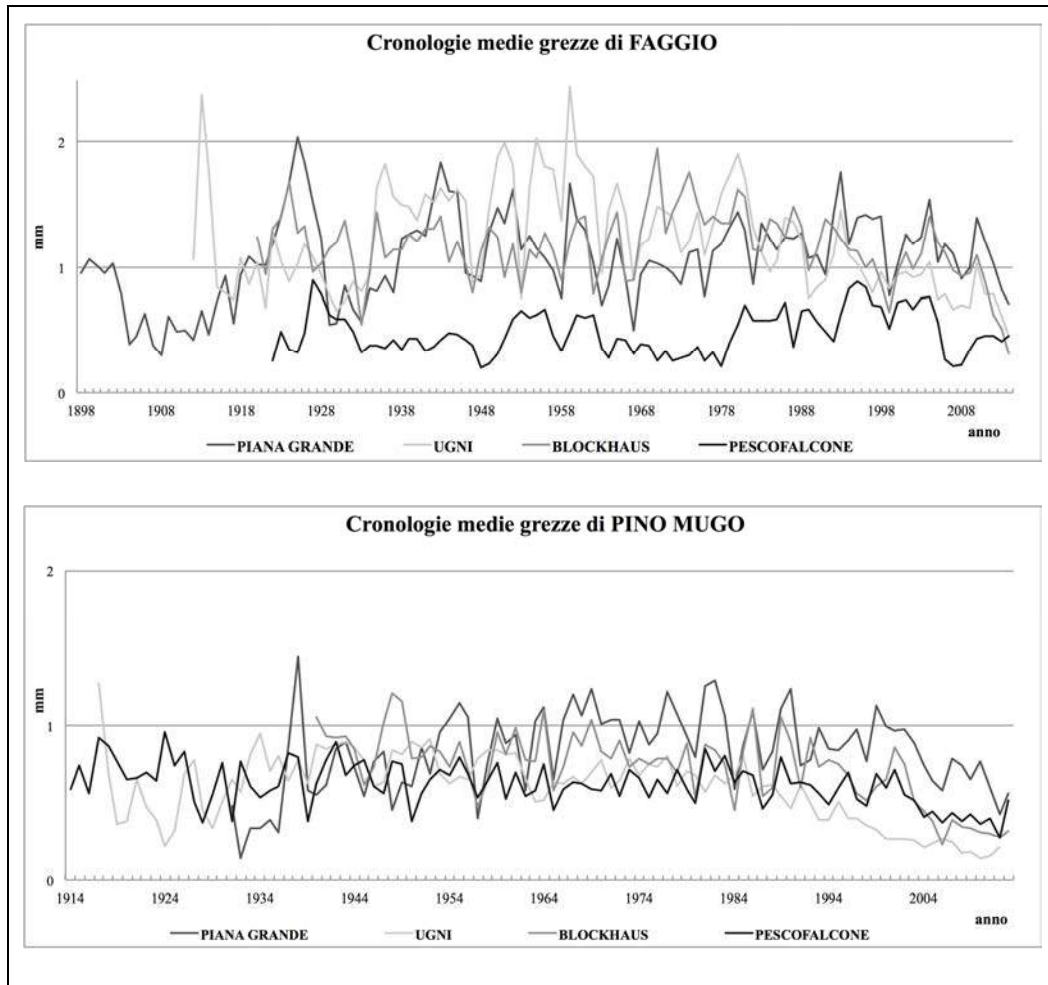
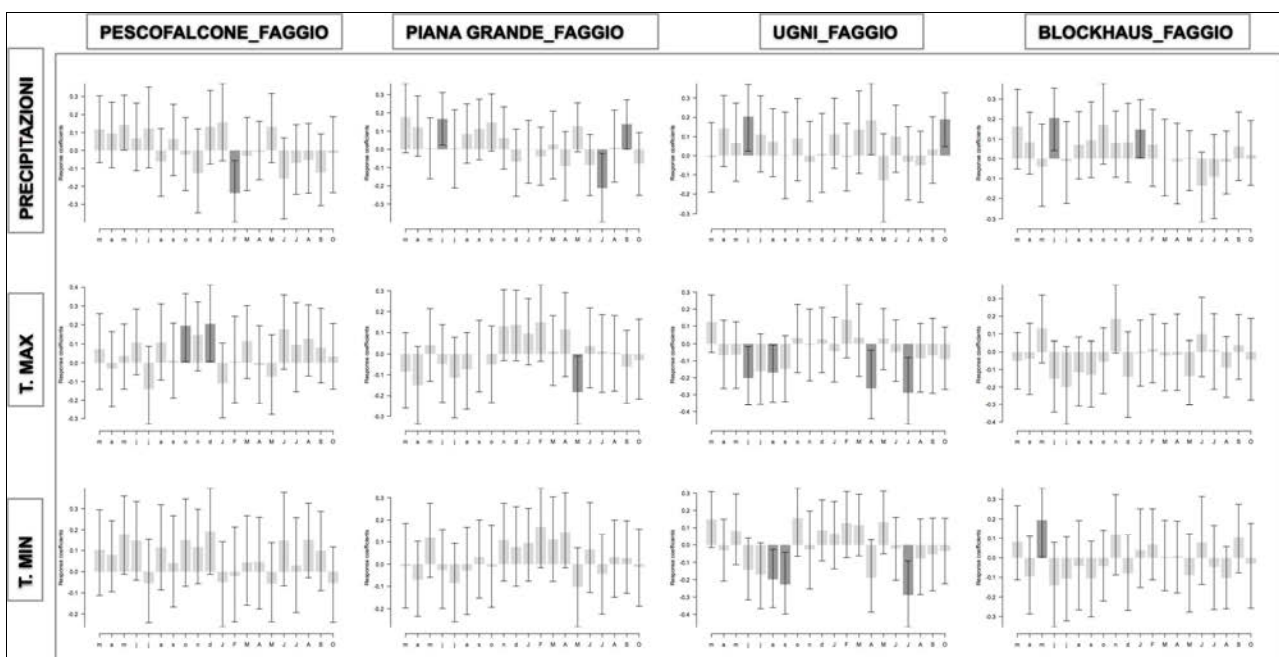
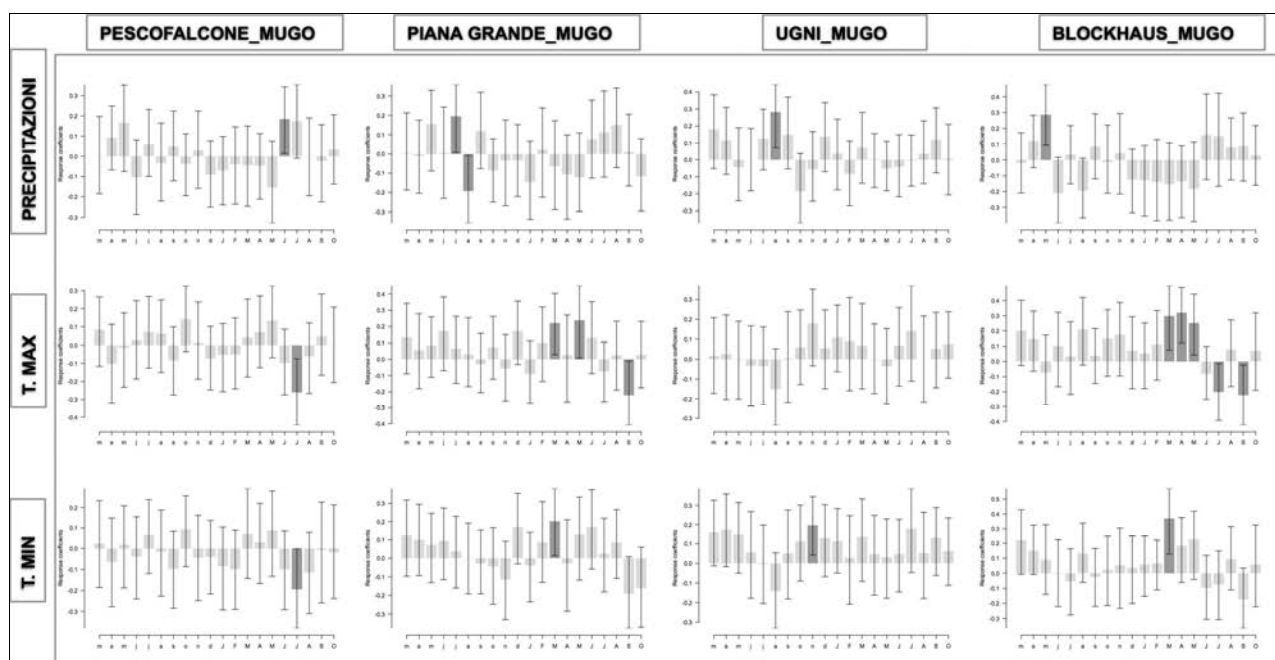


Figura 2. Cronologie medie grezze rappresentanti l'andamento dell'accrescimento radiale (in mm) di faggio (sopra) e pino mugo (sotto) per i 4 siti analizzati.
 Figure 2. Mean raw chronologies of radial growth (mm) of beech (above) and mountain pine (below) in four sampling site.



(a)



(b)

Figura 3. Correlazioni clima accrescimento tra le cronologie medie standardizzate di faggio (a) e pino mugo (b) di ciascun sito e le precipitazioni medie mensili, temperature massime e minime, ottenute dalla griglia CRU TS3.22. Per il periodo da marzo del precedente anno (lettere minuscole) a Ottobre per l'anno in corso (lettere maiuscole). Le barre scure indicano un coefficiente significativo con $P < 0.05$, le linee rappresentano il 95% di intervallo di confidenza.

Figure 3. Bootstrap correlation values between mean tree ring indexed chronologies of beech (a) and mountain pine (b) and total monthly precipitation, mean maximum and minimum monthly temperature obtained by CRU TS3.22 grid dataset. Correlations were calculated separately for each month for the period from March of the previous year (lowercase letters) to October of the current year (uppercase letters). The dark bars indicate a significant coefficient at $P < 0.05$, lines represent 95% confidence interval.

SUMMARY

Mountain pine and beech at the treeline: vegetation dynamics with climate and land-use changes on the Majella massif

The present study focused on vegetation dynamics of *Pinus mugo* Turra subsp. *mugo* and *Fagus sylvatica* (L.) at the ecotone between dense forest and *krummholz* on the Majella massif. On the Majella massif, abundant mountain pine regeneration was observed simultaneously with abandonment of summer pastoralism, above the beech forest. Timberline was confirmed a sensitive transitional belt, even if minor changes due to natural and anthropic factors occurred. The interpretation of historic photographs indicated that areas that are now covered by closed mountain pine and beech forest, were covered by scattered vegetation in the mid of the twentieth century. The considerable expansion of mountain pine and beech, especially in large areas, which have been grazed or cut until recently, was probably due to the abandonment of human activities in these marginal lands. Dendrochronological analysis defined the age and the pattern of growth of both species. Beech annual rings were wider than mountain pine rings, except where the environmental conditions hampered beech growth (at 2100 m a.s.l.). Climate-growth relationships were analyzed by correlation functions and highlighted the influence of climatic variable on beech and mountain pine growth at the ecotone and the differences between the two species.

REFERENCES

- Blasi C., Di Pietro R., Pelino G., 2005 – *The vegetation of alpine belt karst-tectonic basins in the Central Apennines*. Plant Biosystems, 139: 357-385.
<http://dx.doi.org/10.1080/11263500500350150>
- Boden S., Pyttel P., Eastaugh C.S., 2010 – *Impacts of climate change on the establishment, distribution, growth and mortality of Swiss stone pine (Pinus cembra L.)*. iForest-Biogeosciences and Forestry, 3: 82-85.
- Briffa K.R., Jones P.D., 1990 – *Basic chronology statistics and assessment*. In: Cook ER, Kairiukstis LA eds. Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Sciences (International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, NL, pp.137-152.
- Cook E.R., Holmes R.L., 1984 – *Program ARSTAN users manual*. Laboratory of Tree Ring Research, University of Arizona, Tucson, AZ, US.
- Corona E., 1966 – *Oscillazioni e discordanze nelle serie anulari*. Monti e Boschi, 2: 27-34.
- Gentilella T., Todaro L., 2008 – *Crescita radiale e risposte climatiche dell'abete bianco (Abies alba Mill.) in Basilicata*. Forest@, 5: 47-56.
- Grissino-Mayer H.D., 2001 – *Evaluating crossdating accuracy: a manual and tutorial for the computer program COFECHA*. Tree-ring Research, 57: 205-221.
- Holmes R.L., 1983 – *Computer assisted quality control in tree-ring dating and measurement*. Tree-Ring Bulletin, 43: 69-78.

- Motta R., Morales M., Nola P., 2006 – *Human land-use, forest dynamics and tree growth at the treeline in the Western Italian Alps*. Ann For Sci, 63: 739-747. <http://dx.doi.org/10.1051/forest:2006055>
- Palombo C., 2009 – *Influenze delle variazioni d'uso del suolo e dei cambiamenti climatici sulle dinamiche dei popolamenti di pino mugo della Majella*. Tesi di Laurea Specialistica, Università degli Studi del Molise, Campobasso, Italia.
- Palombo C., Chirici G., Marchetti M., Tognetti R., 2013 – *Is land abandonment affecting forest dynamics at high elevation in Mediterranean mountains more than climate change?* Plant Biosystems, 147: 1-11.
- Palombo C., Battipaglia G., Cherubini P., Chirici G., Garfi V., Lasserre L., Lombardi F., Marchetti M., Tognetti R., 2014 – *Warming-related growth responses at the southern limit distribution of mountain pine (Pinus mugo Turra ssp. mugo)*. Journal of Vegetation Science, 25: 571-583. <http://dx.doi.org/10.1080/11263504.2013.772081>
- van Gils H., Batsukh O., Rossiter D., Munthali W., Liberatoscioli E., 2008 – *Forecasting the pattern and pace of Fagus forest expansion in Majella National Park, Italy*. Applied Vegetation Science, 11: 539-546. <http://dx.doi.org/10.3170/2008-7-18568>
- Wigley T.M.L., Briffa K.R., Jones P.D., 1984 – *On the average value of correlated time series with application in dendroclimatology and hydrometeorology*. Journal of Climate and Applied Meteorology, 23: 201-221. [http://dx.doi.org/10.1175/15200450\(1984\)023<0201:OTAVOC>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/15200450(1984)023<0201:OTAVOC>2.0.CO;2)
- Zang C., Biondi F., 2013 – *Dendroclimatic calibration in R: the bootRes package for response and correlation function analysis*. Dendrochronologia, 31: 68-74. <http://dx.doi.org/10.1016/j.dendro.2012.08.001>