

## L'INTERAZIONE FRA EFFETTI DEL FUOCO E PASCIONA FAVORISCE LA RINNOVAZIONE DEL FAGGIO

Davide Ascoli<sup>1</sup>, Giorgio Vacchiano<sup>1</sup>, Janet Maringer<sup>2</sup>, Francesco Fraia<sup>3</sup>, Marco Conedera<sup>3</sup>, Giovanni Bovio<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Università di Torino, DISAFA, Grugliasco (TO); d.ascoli@unito.it

<sup>2</sup>Institute for Landscape Planning and Ecology, University of Stuttgart, Germany

<sup>3</sup>WSL Swiss Fed. Res. Inst., Res. Group Insubric Ecosystems, Bellinzona, Switzerland

L'ecologia del faggio (*Fagus sylvatica* L.) in relazione al disturbo da fuoco è un tema da approfondire. Faggete percorse dal fuoco e non (controllo) sono state confrontate per rispondere a tre domande: i) in un anno di pasciona, la produzione di frutti e semi in faggete bruciate differisce dal controllo?; ii) ci sono differenze nel tasso di germinazione dei semi e nell'insediamento dei semenzali?; iii) quali fattori influiscono sulla affermazione della rinnovazione alla prima stagione vegetativa? Lo studio è stato realizzato a seguito della pasciona del 2013 in tre fustaie di faggio delle Alpi sud-occidentali interessate da incendi recenti, nell'inverno 2012 o 2013. Nell'estate 2013 sono state individuate 40 aree di saggio per sito: 10 nel controllo, e 30 nel bruciato, stratificate in base alla severità del fuoco (Bassa; Media; Alta). Nella primavera 2014, in 4 microplot (0,4x0,4 m) per area di saggio abbiamo rilevato: numero delle cupole; numero dei semi; numero dei semi germinati; numero dei semi insediati (radichetta nel suolo minerale). Nell'estate 2014, è stata rilevata la densità dei semenzali di faggio (12 microplot di 1 m<sup>2</sup> per area di saggio) e le caratteristiche del popolamento in aree di saggio circolari di 12 m di raggio. Nei plot di controllo sono stati stimati in media 448 ±38 cupole/m<sup>2</sup> e 489 ±44 semi/m<sup>2</sup> con un tasso di germinazione pari a 11%. Solo le zone caratterizzate da alta severità hanno mostrato una significativa riduzione di produzione di frutti e semi rispetto al controllo, rispettivamente pari a -75% e -63%. Nelle aree a severità media il tasso di germinazione, insediamento e affermazione sono stati significativamente più alti rispetto al controllo. In queste aree, le condizioni intermedie di riduzione della lettiera, esposizione di suolo e apertura di buche hanno favorito la rinnovazione del faggio (densità media: 86000 ±10574 semenzali/ha). Questi risultati mostrano una interessante interazione fra severità del fuoco e pasciona. Il presente studio contribuisce a comprendere l'ecologia del faggio in relazione ai disturbi e offre spunti utili per indirizzare interventi selvicolturali in faggete alpine.

*Parole chiave:* incendi, ecologia del fuoco, germinazione, *Fagus sylvatica* L.

*Keywords:* wildfire, fire ecology, germination, *Fagus sylvatica* L.

<http://dx.doi.org/10.4129/2cis-da-int>

### 1. Introduzione

Il faggio (*Fagus sylvatica* L.) è una specie tollerante l'ombra in grado di rinnovare da seme sotto copertura (Wagner *et al.*, 2010). Tuttavia, in queste condizioni la rinnovazione è poco abbondante, dispersa, con accrescimenti ridotti e un alto tasso di mortalità (Nilsson, 1985; Bernetti, 1995; Topoliantz e Ponge, 2000; Ammer, 2003; Collet *et al.*, 2008; Wagner *et al.*, 2010). L'affermazione della rinnovazione del faggio può aumentare sensibilmente a seguito di disturbi di origine antropica o naturale (Agestam *et al.*, 2003; Wagner *et al.*, 2010; Kramer *et al.*, 2014; Nagel *et al.*, 2014). Per quanto riguarda i disturbi antropici, un'ampia letteratura documenta le dinamiche di rinnovazione da seme in faggete ad alto fusto a seguito di trattamenti selvicolturali, come i tagli successivi o a scelta (Bernetti, 1995; Agestam *et al.*, 2003; Nocentini, 2009; Wagner *et al.*, 2010), e di interventi di lavorazione del suolo, come la scarificazione e la calcitazione (e.g., Bauhus *et al.*, 2004). Fra i disturbi

naturali, molti studi documentano l'abbondante rinnovazione del faggio in buche di singoli o gruppi di alberi (Motta *et al.*, 2014; Nagel *et al.*, 2014) dovute ad attacchi parassitari o schianti da vento (Collet *et al.*, 2008; Nagel *et al.*, 2010; Šebková *et al.*, 2012; Kramer *et al.*, 2014).

L'azione favorevole dei disturbi si esercita su due fasi importanti del processo di rinnovazione:

(i) l'insediamento (germinazione dei semi e radicazione delle plantule) è favorito dall'esposizione di suolo organico o minerale non compatto in seguito alla rimozione della lettiera (Harmer, 1995; Agestam *et al.*, 2003; Olesen e Madsen, 2008; Wagner *et al.*, 2010; Simon *et al.*, 2011; Silva *et al.*, 2012);

(ii) l'affermazione della rinnovazione (sopravvivenza dei semenzali a una o più stagioni vegetative) è favorita dalla apertura di buche (50-5000 m<sup>2</sup>) nella copertura delle chiome che creano condizioni di luce diffusa ma non diretta (Minotta e Pinzauti, 1996; Madsen e Larsen, 1997; Tognetti *et al.*, 1998; Ammer, 2003; Collet *et al.*,

2008; Nagel *et al.*, 2010). Quando questi effetti precedono una pasciona (produzione simultanea di grandi quantità di seme), la rinnovazione si insedia in modo particolarmente abbondante (Bernetti, 1995; Olesen e Madsen, 2008; Silva *et al.*, 2012; Drobyshev *et al.*, 2014).

Nonostante l'ecologia dei disturbi nelle faggete europee sia stata ampiamente studiata (Wagner *et al.*, 2010; Packham *et al.*, 2012; Motta *et al.*, 2014; Nagel *et al.*, 2014), gli effetti del fuoco sono poco noti.

Le faggete vengono considerate ecosistemi sensibili al fuoco, ovvero non resilienti a questo disturbo (Delarze *et al.*, 1992; Giesecke *et al.*, 2007; Packham *et al.*, 2012). Tuttavia, studi recenti hanno evidenziato una notevole capacità di rinnovazione del faggio in aree percorse dal fuoco, sia in ambiente alpino che sull'Appennino (van Gils *et al.*, 2010; Maringer *et al.*, 2012; Ascoli *et al.*, 2013). Inoltre, da anni è in corso un dibattito sul ruolo positivo che il disturbo da fuoco ha avuto nel corso dell'Olocene nel favorire l'espansione del faggio dai rifugi glaciali verso il centro e nord Europa (Clark *et al.*, 1989; Tinner e Lotter, 2006; Bradshaw *et al.*, 2010; Packham *et al.*, 2012).

Il fuoco è uno dei principali fattori di disturbo in diversi ecosistemi e ha contribuito a selezionare le strategie di rinnovazione di numerose specie forestali che presentano adattamenti a specifici regimi di disturbo da fuoco (Keeley *et al.*, 2011), anche in ambienti a clima temperato e alpino (e.g., Tinner *et al.*, 2005; Vacchiano *et al.*, 2014; Valse *et al.*, 2014). Abbiamo ritenuto interessante avviare una linea di ricerca sugli effetti del fuoco in faggeta, con particolare riferimento al territorio alpino (Conedera *et al.*, 2010; Maringer *et al.*, 2012; Ascoli *et al.*, 2013). Il presente lavoro studia la dinamica di rinnovazione a breve termine del faggio a seguito di un anno di pasciona in faggete alpine interessate da incendi, e rispondere alle seguenti domande di ricerca:

- (i) in un anno di pasciona, la produzione di seme di una faggeta recentemente percorsa dal fuoco è differente da quella di una faggeta in assenza di disturbo?
- (ii) gli effetti del fuoco sulla riduzione della lettiera ed esposizione di suolo minerale, e sulla copertura arborea, sono paragonabili a quelli di altri disturbi (selvicoltura, vento)?
- (iii) la severità del fuoco è un fattore importante nel determinare l'insediamento delle plantule e l'affermazione dei semenzali di faggio?

## 2. Materiali e metodi

### 2.1 Area di studio

La ricerca è stata condotta nelle Alpi sud-occidentali, in due faggete interessate da incendi e localizzate in Val di Susa, nei comuni di Giaglione e Caprie (TO), e una in Val Vigezzo, Druogno (VB), (Fig. 1). Le principali differenze tra i siti riguardano la quota, maggiore a Giaglione, e le precipitazioni medie annue, maggiori a Druogno, e la superficie dell'incendio (Tab. 1). Per ogni sito è stato individuato un controllo non bruciato con caratteristiche simili (pendenza, quota, esposizione, densità del popolamento) e in prossimità delle aree

percorse dal fuoco, in modo da poter assumere che la produzione e la successiva predazione di semi, plantule e semenzali fossero simili nei due trattamenti. I tre popolamenti di controllo sono cedui avviati all'alto fusto (età >50 anni) dominati da piante di faggio. L'area basimetrica varia da 21 a 26 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> (Tab. 1).

Due popolamenti sono stati percorsi dal fuoco nell'inverno del 2012 (Giaglione e Druogno), il terzo nell'inverno 2013 (Caprie). Gli incendi sono di origine antropica, spinti da vento e pendenza, caratterizzati da un fronte di fiamma di superficie con intensità da bassa (<500 kW m<sup>-1</sup>) a media (500-2000 kW m<sup>-1</sup>), comportamento tipico per gli incendi invernali della fascia delle latifoglie in ambiente alpino (Valse *et al.*, 2014).

Nel 2013 si è verificata una pasciona del faggio in tutti e tre i siti studiati.

### 2.2 Disegno sperimentale

Nell'estate 2013 sono state posizionate in ogni sito 40 aree di saggio (plot): 30 plot nelle aree percorse dal fuoco e 10 plot nel controllo. Nelle aree bruciate è stata valutata in modo qualitativo la severità dell'incendio (Bassa, Media, Alta) in base alla mortalità del soprassuolo, in modo da bilanciare l'esperimento (10 plot per classe di severità).

A seguito di tagli invernali non pianificati e successivi all'insediamento dei plot, localizzati soprattutto nelle zone a maggiore severità per il recupero del legname, alcuni plot sono stati esclusi dallo studio. Di conseguenza, i rilievi sono stati realizzati in 32, 35 e 31 plot rispettivamente nei siti di Druogno, Giaglione e Caprie (Tab. 1).

### 2.3 Rilievi

Per ogni plot sono state rilevate le caratteristiche stazionali (quota, esposizione e pendenza) e l'orografia del versante (dosso, impluvio, piano). A seguito della pasciona nel 2013, all'inizio della primavera 2014 sono state misurate la produzione di seme e l'insediamento delle plantule. In ogni plot sono stati posizionati 4 microplot quadrati di 40x40 cm (0,16 m<sup>2</sup>), collocati a 8 m dal centro del plot lungo 4 assi ortogonali e inclinati di 45° rispetto alla massima pendenza, due a monte e due a valle (Fig. 2). In ciascun microplot sono state rilevate la pendenza, la copertura percentuale e la profondità della lettiera, il numero di plantule insediate – ovvero i semi germinati che al momento del rilievo presentavano radichetta nel suolo (Fig. 3a) – e sono state raccolte tutte le cupole e i semi per essere contati in laboratorio. I semi sono stati distinti in integri, danneggiati (con segni di predazione o fratture), o germinati ma con radichetta necrotizzata (Fig. 3b).

I semi integri sono stati tenuti in camera di germinazione per 50 giorni per verificarne la capacità di germinare. Le condizioni per la germinazione sono state scelte in base a protocolli indicati da Suszka *et al.* (2000): 8 ore di luce; temperatura 20°C; substrato: carta da filtro umida. Nell'estate del 2014, entro un raggio di 12 m dal centro di ogni plot è stata rilevata la percentuale di copertura del suolo classificabile come rocce, lettiera, suolo nudo, necromassa, e vegetazione non legnosa (erbe, arbusti e felci) e sono stati misurati

il diametro a 1,3 m (dbh) di tutti gli alberi con dbh >7 cm. Per ciascun individuo è stata stimata la vitalità della chioma (Schomaker *et al.*, 2007) utilizzando 4 classi (1 – albero sano con foglie su più del 75% della chioma; 2 – albero con foglie su una porzione di chioma compresa fra il 50 e 75%; 3 – albero deperiente con foglie su meno del 50% della chioma; 4 – albero morto senza foglie). Infine, è stata rilevata l'affermazione dei semenzali in 12 microplot quadrati di 100x100 cm (1 m<sup>2</sup>) collocati a una distanza di 4 e 8 m dal centro del plot secondo lo schema riportato in Figura 2.

All'interno di ciascun microplot sono stati contati tutti i semenzali di faggio nati a seguito della pasciona e la rinnovazione (altezza <30 cm) delle specie forestali pioniere e del faggio con età >1 anno. Infine, la copertura arborea è stata rilevata mediante foto emisferiche riprese a una altezza di 1 m dal suolo al centro di ogni plot.

#### 2.4 Analisi dei dati

A ciascun plot è stata assegnato un indice di severità (effetto del fuoco sulla vitalità del faggio adulto al momento del rilievo) calcolato nel seguente modo: in ogni plot è stata calcolata l'area basimetrica (m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>) degli esemplari di faggio in ognuna delle 4 classi di vitalità della chioma; quindi la vitalità media nel plot è stata ponderata sull'area basimetrica di ciascuna classe. Utilizzando questo indice di severità, i plot sono stati riassegnati a 3 gruppi di severità "Bassa", "Media", "Alta" mediante cluster analysis.

Le fotografie emisferiche sono state analizzate con il Gap Light Analyzer (GLA) per calcolare la copertura delle chiome nell'estate 2014 in ciascun plot (Frazer *et al.*, 1999).

Diverse variabili descrittive della produzione di seme, dell'insediamento e dell'affermazione del faggio (Tab. 2) sono state calcolate per i 3 gruppi di severità e il controllo, e confrontate mediante analisi della varianza (ANOVA) e test post-hoc (LSD). Quando necessario, le variabili sono state trasformate (log<sub>10</sub> o radice quadrata) per assicurare la normalità della distribuzione e l'omogeneità della varianza fra i 4 gruppi. Per l'impossibilità di calcolare tutte le variabili (es., rapporti quando denominatore = 0), alcuni plot sono stati esclusi dall'ANOVA (controllo: 2 plot; Alta: 3 plot; Media: 1 plot; Bassa: 3 plot) e dalle analisi successive.

### 3. Risultati

La cluster analysis basata sull'indice di severità ha ridistribuito i plot in modo non bilanciato nelle 3 classi di severità del fuoco (Tab. 2). La copertura misurata con il GLA nell'estate 2014 è risultata inversamente correlata all'indice di severità (r=0,76). Similmente, sono risultate inversamente correlate la copertura (r=0,63) e la profondità della lettiera (r=0,58). Diversamente, la perdita percentuale in area basimetrica (il rapporto fra l'area basimetrica in classi di vitalità 3-4 e l'area basimetrica complessiva), e la copertura della vegetazione non legnosa (erbe, arbusti e felci) sono risultate positivamente correlate all'indice di severità (rispettivamente: r=-0,97; r=-0,71).

L'ANOVA ha evidenziato differenze significative fra le classi di severità e il controllo non bruciato per quanto riguarda la lettiera e la copertura del popolamento (Tab. 2), mostrando come le differenze fra la severità "Bassa" e il controllo siano deboli, e come nella classe di severità "Media" si abbiano condizioni intermedie fra il controllo e la severità "Alta".

L'ANOVA ha evidenziato differenze significative anche per quanto riguarda la produzione di semi, l'insediamento delle plantule e l'affermazione dei semenzali di faggio (Fig. 4). In particolare:

(i) le aree a severità "Alta" presentano una produzione significativamente inferiore di cupole ( $F=14,5$ ;  $p<0,001$ ) e semi ( $F=10,6$ ;  $p<0,001$ ), in confronto alle altre classi di severità e al controllo, che invece non presentano differenze fra loro;

(ii) i semi germinati e le plantule insediate sono significativamente più numerosi nelle aree a severità "Media" e "Bassa" rispetto alla severità "Alta" e al controllo;

(iii) la densità di semenzali è risultata significativamente più alta ( $F=26,4$ ;  $p<0,001$ ) nelle aree a severità "Media" rispetto alla severità "Alta" e al controllo, mentre le aree a severità "Bassa" hanno mostrato valori intermedi;

(iv) il tasso di germinazione ( $F=7,7$ ;  $p<0,001$ ) e insediamento ( $F=11,2$ ;  $p<0,001$ ) delle plantule è significativamente più alto nelle aree bruciate rispetto al controllo ed è risultato maggiore nelle aree a severità "Alta";

(v) il tasso di affermazione dei semenzali è risultato maggiore nella severità "Media" ( $F=3,0$ ;  $p<0,036$ ), mentre non ci sono differenze fra le aree a severità "Alta" e "Media" e il controllo.

### 4. Discussione

Il presente studio mostra come il faggio sia in grado di rinnovare dopo il disturbo da fuoco, confermando le osservazioni di lavori precedenti (van Gils *et al.*, 2010; Maringer *et al.*, 2012; Ascoli *et al.*, 2013). Rispetto allo stato dell'arte, questo è il primo lavoro che quantifica la produzione di cupole e semi dopo un anno di pasciona in faggete percorse dal fuoco. La densità media delle cupole ( $468 \pm 40$  m<sup>-2</sup>) e dei semi ( $500 \pm 44$  m<sup>-2</sup>) nelle aree a severità "Bassa" a "Media", e nel controllo è comparabile con quella osservata dopo annate di pasciona in faggete europee non percorse dal fuoco (Nilsson, 1985; Nilsson e Wastljung, 1987; Topoliantz e Ponge, 2000; Övergaard *et al.*, 2007; Olesen e Madsen, 2008; Silva *et al.*, 2012; Heroldová *et al.*, 2013). Nonostante il fuoco determini necrosi dei tessuti alla base del fusto, distacco della corteccia, ingresso di funghi saprofiti e parziale disseccamento della chioma (Conedera *et al.*, 2010), gli individui adulti di faggio hanno prodotto cupole e semi. Studi precedenti hanno osservato pascione particolarmente abbondanti in faggete soggette a stress per condizioni stazionali sfavorevoli, siccità o tagli (Innes, 1994; Topoliantz e Ponge, 2000; Cutini *et al.*, 2009; Silva *et al.*, 2012), concludendo che il faggio alloca risorse nella riproduzione come strategia per far fronte a condizioni limitanti. Il nostro studio conferma la

capacità del faggio di allocare risorse nella produzione di semi nonostante lo stato di deperimento, anche in seguito al disturbo da fuoco. Esistono tuttavia dei limiti a questa capacità di reazione. Dove la severità del fuoco è “Alta”, la produzione si abbassa in modo significativo, mostrando che esiste un valore soglia di trauma oltre il quale il faggio non ha risorse sufficienti per una produzione abbondante di cupole e semi. Nonostante la stessa quantità di seme prodotta, il tasso di germinazione e insediamento del faggio nelle aree controllo è stato inferiore rispetto alle aree bruciate. Come osservato in studi precedenti (Nilsson, 1985; Innes, 1994; Silva *et al.*, 2012), questo risultato conferma l'assenza di una relazione lineare fra la quantità di semi prodotta e l'abbondanza della rinnovazione. Similmente a quanto avviene a seguito di altri disturbi (Topoliantz e Ponge, 2000; Collet *et al.*, 2008; Nagel *et al.*, 2010; Kramer *et al.*, 2014) i nostri risultati confermano che anche dopo il fuoco le condizioni microstazionali create dal disturbo svolgono un ruolo fondamentale nell'assicurare l'insediamento delle plantule. Il maggiore numero di plantule si è insediato in condizioni di disturbo intermedio della lettiera; infatti, le plantule di faggio prediligono una lettiera sciolta che consente alla radichetta di raggiungere il suolo velocemente (Bernetti, 1995; Harmer, 1995; Wagner *et al.*, 2010). Viceversa, in una lettiera profonda e compatta, la radichetta incontra ostacoli e rischia di rompersi e seccare prima di raggiungere il suolo (Olesen e Madsen, 2008; Simon *et al.*, 2011; Silva *et al.*, 2012). Di conseguenza, il fuoco consumando la lettiera ed esponendo il suolo organico o minerale crea condizioni favorevoli all'insediamento del faggio. Un risultato interessante ha riguardato il più alto tasso di germinazione e insediamento delle plantule nelle aree a maggiore severità, dove la copertura e la profondità della lettiera erano fortemente ridotte. La germinazione del faggio può essere favorita dalle maggiori variazioni di umidità e temperatura che si verificano in un ambiente più esposto a seguito dell'apertura della copertura e riduzione della lettiera (Agestam *et al.*, 2003). Inoltre, il consumo della lettiera riduce il pericolo di infezione fungine ai semi e di predazione da parte di insetti e roditori che scavano gallerie nell'humus (Wagner *et al.*, 2010). Per quanto riguarda il maggiore tasso di insediamento, l'esposizione di suolo minerale aumenta la possibilità per le plantule di radicare velocemente (Harmer, 1995; Agestam *et al.*, 2003; Olesen e Madsen, 2008). Infine, non è da escludere un'azione positiva del fuoco nel ridurre gli effetti inibitori della lettiera del faggio (fitotossicità; auto-tossicità DNA) (Mazzoleni *et al.*, 2014) sulla sua stessa rinnovazione. Similmente a quanto avviene a seguito di tagli e disturbo da vento (Minotta e Pinzauti, 1996; Tognetti *et al.*, 1998; Topoliantz e Ponge, 2000; Ammer, 2003; Nagel *et al.*, 2010), i nostri risultati confermano che il disturbo da fuoco a un livello di severità intermedio distanzia le chiome e crea aperture nella copertura che favoriscono l'affermazione dei semenzali. Al contrario, queste condizioni non si verificano nelle aree a severità “Bassa”, e nelle

no disturbate (controllo) dove il maggior ombreggiamento limita l'affermazione del faggio (Bernetti, 1995; Madsen e Larsen, 1997). Il minor tasso di affermazione nelle aree a severità “Alta” è invece dovuto probabilmente alla competizione di erbe, arbusti e felci (Maringer *et al.*, 2012; Ascoli *et al.*, 2013), a un maggior danno meccanico per erosione, e alle condizioni più xeriche e di luce diretta che danneggiano i semenzali di faggio (Minotta e Pinzauti, 1997; Tognetti *et al.*, 1998; Agestam *et al.*, 2003). La densità media di semenzali nelle aree a severità “Media”, pari a  $86.000 \pm 10574$  semenzali ha<sup>-1</sup>, è comparabile a quella osservata in un anno di pasciona in assenza di protezione di brucature nella stagione vegetativa successiva a tagli di sementazione e lavorazioni del suolo come la scarificazione (Madsen e Larsen, 1997; Agestam *et al.*, 2003; Olesen e Madsen, 2008). Densità simili sono state osservate anche a seguito di schianti da vento dopo un anno di pasciona (Simon *et al.*, 2011).

## 5. Conclusioni

Come osservato a seguito di tagli o schianti da vento (e.g., Wagner *et al.*, 2010; Nagel *et al.*, 2014), anche nel caso di incendi la severità del disturbo è un fattore importante per la rinnovazione del faggio. Il livello di severità è quindi un aspetto che il selvicoltore deve valutare in modo tempestivo per decidere se e quali misure adottare negli anni successivi il disturbo (Conedera *et al.*, 2010; Ascoli *et al.*, 2013; Kramer *et al.*, 2014; Vacchiano *et al.*, 2014).

Nel presente lavoro, la severità è stata quantificata a 1-2 anni dall'incendio utilizzando un indice basato sulla vitalità della chioma.

Altre variabili sono risultate correlate all'indice di severità (perdita di area basimetrica, apertura delle chiome, copertura e profondità della lettiera). Al fine di fornire uno strumento per valutare gli effetti del fuoco in faggeta, proponiamo come indice di severità la “perdita di area basimetrica”, ovvero il rapporto fra l'area basimetrica degli alberi morti e deperenti (<50% chioma viva) e quella totale del popolamento. Sulla base di questi risultati e di studi precedenti (Conedera *et al.*, 2010), suggeriamo dei valori soglia dell'indice per distinguere le classi di severità a 1-3 anni dall'incendio: severità “Bassa” <10%; “Media” 10-40%; “Alta” >40%. In un anno di pasciona, il disturbo recente del fuoco pregiudica la fruttificazione del faggio solo parzialmente e solo in caso di severità elevata; inoltre, favorisce condizioni microstazionali adatte alla germinazione, insediamento e affermazione della rinnovazione del faggio sin dalla prima stagione vegetativa post-incendio. Recenti studi sul disturbo da vento (Kramer *et al.*, 2014; Nagel *et al.*, 2014) sostengono che eventi infrequenti ma con effetti marcati sulla struttura del bosco hanno un ruolo di primo piano nelle dinamiche di rinnovazione delle faggete temperate.

I nostri risultati dimostrano che anche il disturbo da fuoco è un importante fattore ecologico che influisce sulle faggete alpine favorendo la rinnovazione da seme a livelli intermedi di severità. Come suggerito per gli schianti da

vento (Nagel *et al.*, 2014) pensiamo che le dinamiche spaziali e temporali di apertura delle buche possano fornire spunti interessanti per lo sviluppo di trattamenti selvicolturali che mirano a diversificare la struttura delle faggete (e.g., Cutini *et al.*, 2009; Berretti *et al.*, 2014).

Lo stato attuale delle conoscenze non ci permette di capire in che misura la strategia di rinnovazione osservata in questo e altri studi (van Gils *et al.*, 2010; Maringer *et al.*, 2012; Ascoli *et al.*, 2013) sia un adattamento al disturbo da fuoco, o sia un caso di esattamento o “adattamento apparente” (*sensu* Keeley *et al.*, 2011), per cui i tratti funzionali del faggio sarebbero stati selezionati da altri disturbi (e.g., vento; neve) che presentano effetti simili a quelli del fuoco. Ulteriori ricerche dovranno approfondire gli effetti specifici del fuoco sul sistema faggeta, come il ruolo dei residui di carbone nella mobilitazione dei nutrienti e sul loro utilizzo da parte del popolamento adulto nella fase di fruttificazione, e della rinnovazione in fase di affermazione. Un tema affascinante introdotto dal presente studio riguarda l’effetto positivo sulla rinnovazione di faggio che deriva dall’interazione fra pasciona ed effetti del fuoco.

In diverse specie in cui la riproduzione è legata al disturbo da fuoco è stata osservata un’interazione positiva fra pasciona e fuoco (O’Dowd e Gill, 1984; Peters *et al.*, 2005; van Mantgem *et al.*, 2006; Pouden *et al.*, 2014), anche in alcune *Fagaceae* come *Quercus rubra* L. e *Quercus montana* Willd. (Abrams e Johnson, 2013). Inoltre, per alcune specie i fattori che innescano la

pasciona favoriscono anche la probabilità di incendi naturali come l’accumulo di combustibili morti (Keeley e Bond, 1999), periodi siccitosi ed elevate temperature (Selås *et al.*, 2002; Williamson e Ickes, 2002), o elevate precipitazioni seguite da alte temperature (Wright *et al.*, 2014). Diversi studi hanno dimostrato come la pasciona nel faggio sia innescata da elevate precipitazioni due anni prima della fruttificazione e da alte temperature e siccità l’anno precedente (Piovesan e Adams, 2001; Drobyshev *et al.*, 2014). Piovesan e Adams (2005) riflettono sul vantaggio evolutivo della pasciona nel faggio e sostengono che i fattori che innescano la pasciona creano anche condizioni favorevoli per la rinnovazione (“*Environmental prediction hypothesis*”): lo stress idrico induce mortalità localizzata e trasparenza delle chiome che a loro volta portano a condizioni di luce diffusa utili all’affermazione dei semenzali. A questa, si potrebbe affiancare l’ipotesi che i fattori che favoriscono la pasciona nel faggio aumentano anche la probabilità che si verifichino incendi. Abbondanti precipitazioni portano a un accumulo di biomassa, sia per le condizioni favorevoli alla produzione vegetale sia per l’assenza di incendi (Bifulco *et al.*, 2014; Wright *et al.*, 2014); se il periodo di accumulo è seguito da una stagione eccezionalmente calda e secca, la biomassa diventa disponibile per la combustione e si possono verificare incendi di grandi dimensioni (O’Donnell *et al.*, 2011).

Tabella 1. Caratteristiche dei tre siti studiati. Valori medi ( $\pm$ ES) di esposizione (Esp.), pendenza (Pend.), quota (Quota), precipitazioni medie annue dell’ultimo decennio (Precip.), area basimetrica del faggio prima dell’incendio (Area bas.). Vengono riportate anche la data (Data IB) e superficie (Sup. IB) dell’incendio, e le condizioni meteo durante l’incendio: precipitazione cumulata nei 30 giorni precedenti (Pr. 30 gg), temperatura massima dell’aria (T. max), velocità delle raffiche di vento (Ven.) (Dati: Arpa Piemonte). Vengono infine riportati il numero di plot in cui sono stati eseguiti i rilievi.

Table 1. Study sites characteristics. Mean values ( $\pm$ SE) for aspect (Esp.), slope (Pend.), elevation (Quota), mean annual precipitation in the last decade (Precip.), beech basal area before fire (Area bas.). Wildfire date (Data IB) and area (Sup. IB), and meteorological conditions during the fire event: cumulative rainfall in the last 30 days before fire (Pr. 30 gg), maximum air temperature (T. max), wind gust speed (Ven.) (Data: Arpa Piemonte). The last column reports the number of plots at each study site.

Sito (Comune)	Substrato Litologico	Esp. ( $^{\circ}$ N)	Pend. (%)	Quota (m s.l.m.)	Precip. (mm)	Area bas. ( $m^2 ha^{-1}$ )	Data IB (g/m/a)	Sup. IB (ha)	Pr.30gg / T.max / Ven. (mm / $^{\circ}C$ / $km h^{-1}$ )	N. plot
Druogno	Gneiss	150 $\pm$ 4	59 $\pm$ 2	1131 $\pm$ 6	1460	26 $\pm$ 2	26/03/12	9,5	82 / 6 / 52	32
Giaglione	Gneiss	125 $\pm$ 7	67 $\pm$ 2	1430 $\pm$ 8	880	23 $\pm$ 2	31/03/12	40,5	17 / 21 / 38	35
Caprie	Gneiss	162 $\pm$ 9	70 $\pm$ 2	1085 $\pm$ 11	1014	21 $\pm$ 1	16/01/13	16,7	2 / 2 / -	31

Tabella 2. Valori medi ( $\pm$ ES) di alcune variabili strutturali del popolamento adulto e della copertura al suolo nel controllo non bruciato e nelle tre classi di severità (Bassa, Media, Alta). Lettere diverse indicano differenze significative ( $p < 0,005$ ) evidenziate dall’ANOVA e dal test post-hoc LSD.

Table 2. Mean values ( $\pm$ SE) of some structural variables of the adult beech stand, and of soil cover in the unburnt control plots and in areas burnt with different fire severities (Low, Medium, High). Different letters show significant differences ( $p < 0.005$ ) as evidenced by the ANOVA and post-hoc (LSD) tests.

Classe severità	Indice severità	Area bas. vitalità 1-2 ( $m^2 ha^{-1}$ )	Area bas. vitalità 3-4 ( $m^2 ha^{-1}$ )	Perdita area bas. (%)	Copertura chiome 2014 (%)	Copertura non-legnose (%)	Copertura lettiera (%)	Profondità lettiera (mm)	N. plot
Controllo	0,4 $\pm$ 0,05 a	22,9 $\pm$ 1,2 a	1,1 $\pm$ 0,3 a	5 a	88 $\pm$ 1 a	3 $\pm$ 1 a	66 $\pm$ 5 a	40,1 $\pm$ 3,3 a	30
Bassa	0,7 $\pm$ 0,04 b	20,8 $\pm$ 1,3 a	3,5 $\pm$ 0,6 b	14 a	85 $\pm$ 1 b	9 $\pm$ 3 ab	65 $\pm$ 4 a	36,8 $\pm$ 3,5 ab	27
Media	1,4 $\pm$ 0,09 c	14,6 $\pm$ 1,7 b	11,3 $\pm$ 1,4 c	42 b	81 $\pm$ 1 c	16 $\pm$ 4 b	50 $\pm$ 5 a	28,2 $\pm$ 1,9 b	24
Alta	2,3 $\pm$ 0,11 d	2,6 $\pm$ 1,3 c	18,5 $\pm$ 3,4 d	89 c	69 $\pm$ 1 d	67 $\pm$ 6 c	7 $\pm$ 3 b	16,3 $\pm$ 3,6 c	17

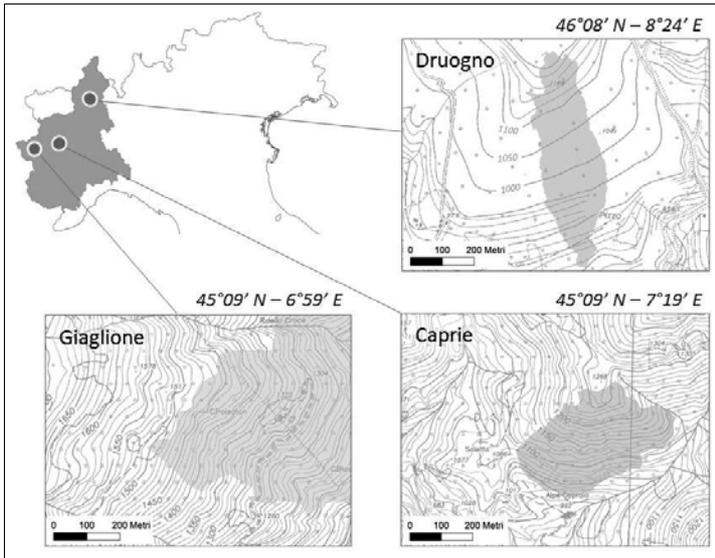


Figura 1. Localizzazione e coordinate dei tre siti studiati con area interessata dall'incendio in grigio (Fonte: Corpo Forestale dello Stato).

Figure 1. Geographical position and study sites maps showing the fire area in grey (Fonte: Corpo Forestale dello Stato).

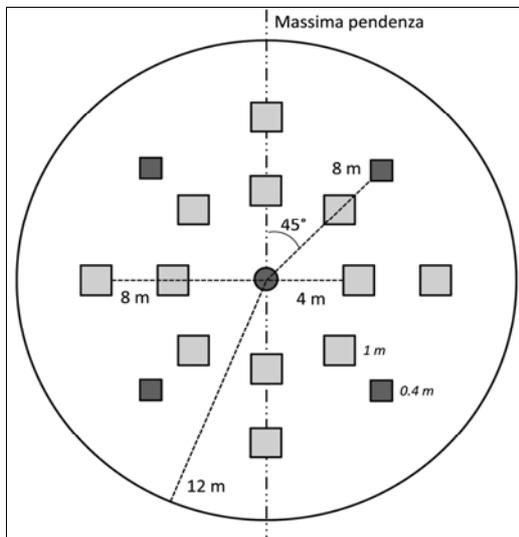
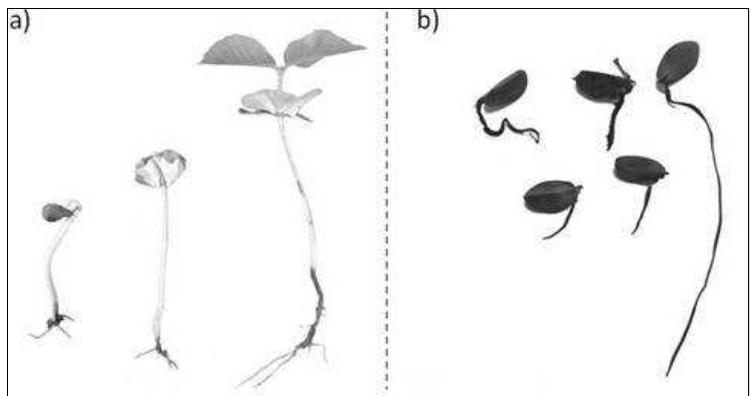


Figura 2. Schema dell'area di saggio. Centro del plot (cerchio grigio scuro). Microplot per il rilievo dei semi e dell'insediamento delle plantule (quadrati in grigio scuro di 0,4 m di lato). Microplot per il rilievo dei semenzali affermati (quadrati in grigio chiaro di 1 m di lato). Plot per il rilievo del popolamento adulto (area compresa nel cerchio nero esterno). Le linee tratteggiate rappresentano le distanze dal cento del plot.

Figure 2. Scheme showing the displacement of sampling units. Plot centre (dark grey dot). Microplot to assess seeds and seedlings emergence (dark grey quadrates of 0.4 m). Microplot to assess established seedlings (light grey quadrates of 1 m). Plot to assess the adult stand (area within the external dark circle). Dashed lines represent distances from the plot centre.

Figura 3. a) Semi di faggio germinati con radichetta attecchita e cotiledoni sviluppati con successo; b) Semi di faggio germinati ma che presentano necrosi della radichetta.

Figure 3. a) Beech seeds that germinated and successfully rooted and developed cotyledons; b) Beech seeds that germinated but with partial or complete necrosis of the root.



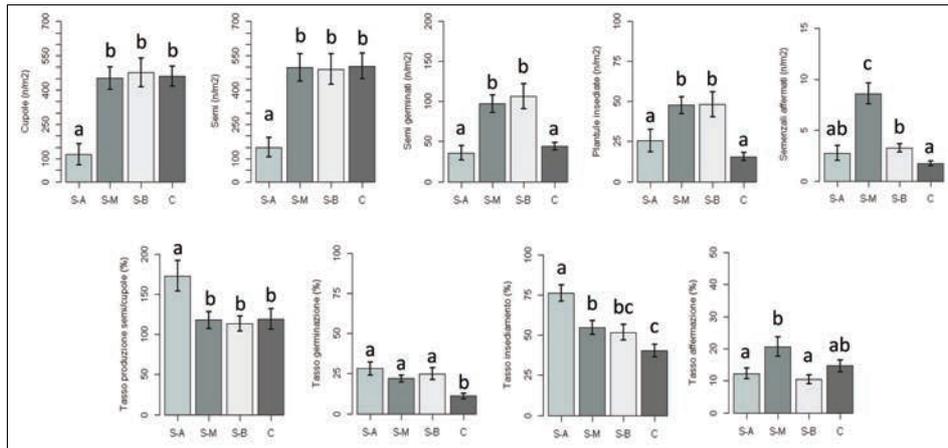


Figura 4. Valori medi ( $\pm$ ES) delle seguenti variabili: (sopra) cupole m<sup>-2</sup>; semi m<sup>-2</sup>; semi germinati m<sup>-2</sup>; plantule insediate m<sup>-2</sup>; semenzali affermati m<sup>-2</sup>; (sotto) tasso di produzione semi per cupole (semi/cupole); tasso germinazione (semi germinati/semi); tasso di insediamento (plantule insediate/semi germinati); tasso di affermazione (plantule affermate/semenzali insediati). Lettere diverse indicano differenze significative ( $p < 0,05$ ) evidenziate dall'ANOVA e dai test post-hoc (LSD).

Figura 4. Mean values ( $\pm$ SE) of the following variables: (upper part of the graph) cupules m<sup>-2</sup>; seeds m<sup>-2</sup>; germinated seeds m<sup>-2</sup>; emerged seedlings m<sup>-2</sup>; established seedlings m<sup>-2</sup>; (lower part of the graph) rate between seeds and cupules (seeds/cupules); germination rate (germinated seeds/seeds); emergence rate (emerged seedlings/germinated seeds); establishment rate (established seedlings/emerged seedlings). Different letters show significant differences ( $p < 0.05$ ) as evidenced by ANOVA and post-hoc (LSD) tests.

## SUMMARY

### The interaction between fire effects and masting favors beech regeneration

Fire ecology of beech (*Fagus sylvatica* L.) is still poorly understood. We analyzed regeneration dynamics in burned and unburned beech stands to answer to the following questions: i) do burned and unburned stands differ in cupules and seed production in a mast year?; ii) do they differ in seed germination rate and seedling recruitment rate?; iii) which factors promote seedling establishment in the first year? We selected three beech stands in the SW Alps recently burned in winter of either 2012 or 2013; the year 2013 was a beech mast year. In summer 2013 we established 30 plots per stand, which we stratified according to fire severity (low; medium; high) based on canopy cover by the surviving trees. Another 10 plots per stand were assigned to a control treatment (unburned). In spring 2014, we measured in 4 subplots (0.4x0.4 m) the following variables: number of cupules, number of seeds, number of germinated seeds, number of recruited seedlings (i.e., rooted in mineral soil). In summer 2014, we assessed stand characteristics in 12-m circular plots, and the seedling establishment in 12 subplots (1x1 m). Unburned stands had 448  $\pm$ 38 cupules/m<sup>2</sup> and 489  $\pm$ 44 seeds/m<sup>2</sup>; seed germination rate was 11%. In comparison to the control, production of cupules and seeds was lower only under high fire severity (-75% and -63%, respectively). Medium severity plots showed no such reduction, and exhibited significantly higher germination and recruitment rates in comparison to the control. At these sites, intermediate

disturbance of litter and canopy cover favored beech regeneration (86000  $\pm$ 10574 seedlings/ha). These results point to a mechanism linking fire severity and masting. Such insight on beech disturbance ecology should inform silviculture in Alpine beech stand.

## BIBLIOGRAFIA

- Abrams M.D., Johnson S.E., 2013 – *The impacts of mast year and prescribed fires on tree regeneration in oak forests at the Mohonk Preserve, Southeastern New York, USA*. Natural Areas Journal, 33 (4): 427-434. <http://dx.doi.org/10.3375/043.033.0405>
- Agestam E., Ekö P.M., Nilsson U., Welander N.T., 2003 – *The effects of shelterwood density and site preparation on natural regeneration of Fagus sylvatica in southern Sweden*. Forest Ecology and Management, 176 (1): 61-73. [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-1127\(02\)00277-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00277-3)
- Ammer C., 2003 – *Growth and biomass partitioning of Fagus sylvatica L. and Quercus robur L. seedlings in response to shading and small changes in the R/FR-ratio of radiation*. Annals of Forest Science, 60 (2): 163-171. <http://dx.doi.org/10.1051/forest:2003009>
- Ascoli D., Castagneri D., Valsecchi C., Conedera M., Bovio G., 2013 – *Post-fire restoration of beech stands in the Southern Alps by natural regeneration*. Ecological Engineering, 54: 210-217. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.01.032>
- Bauhus J., Vor T., Bartsch N., Cowling A., 2004 – *The effects of gaps and liming on forest floor decomposition and soil C and N dynamics in a Fagus sylvatica forest*.

- Canadian Journal of Forest Research 34, (3): 509-518. <http://dx.doi.org/10.1139/x03-218>
- Bernetti G., 1995 – *Selvicoltura speciale*. UTET, Torino, pp. 415.
- Berretti R., Motta R., Wolynski A., Altare D., Raviglione M., Stola F., 2014 – *Trattamenti irregolari per la valorizzazione delle faggete*. Sherwood, 207: 5-8.
- Bifulco C., Rego F., Dias S., Stagge J.H., 2014 – *Assessing the association of drought indicators to impacts. The results for areas burned by wildfires in Portugal*. In: *Advances in Forest Fire Research*, Viegas D.X. (ed.), Coimbra University press, Coimbra, pp. 1054-1060.  
[http://dx.doi.org/10.14195/978-989-26-0884-6\\_115](http://dx.doi.org/10.14195/978-989-26-0884-6_115)
- Bradshaw R.H.W., Kito N., Giesecke T., 2010 – *Factors influencing the Holocene history of Fagus*. *Forest Ecology and Management*, 259 (11): 2204-2212. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2009.11.035>
- Clark J.S., Merkt J., Muller H., 1989 – *Post-glacial fire, vegetation, and human history on the northern alpine forelands, south-western Germany*. *Journal of Ecology*, 77 (4): 897-925.  
<http://dx.doi.org/10.2307/2260813>
- Collet C., Piboule A., Leroy O., Frochet H., 2008 – *Advance Fagus sylvatica and Acer pseudoplatanus seedlings dominate tree regeneration in a mixed broadleaved former coppice-with-standards forest*. *Forestry*, 81 (2): 135-150.  
<http://dx.doi.org/10.1093/forestry/cpn004>
- Conedera M., Lucini L., Valse E., Ascoli D., Pezzatti G.B., 2010 – *Fire resistance and vegetative recruitment ability of different deciduous trees species after low- to moderate-intensity surface fires in southern Switzerland*. In: Viegas, D.X (Ed.): *Proceedings of the VI International Conference on Forest Fire Research*, Coimbra, Portugal.
- Cutini A., Chianucci F., Giannini T., 2009 – *Effetti del trattamento selvicolturale su caratteristiche della copertura, produzione di lettiera e di seme in cedui di faggio in conversione*. *Annali Centro Ricerche Selvicoltura*, 36: 109-124.
- Delarze R., Caldelari D., Hainard P., 1992 – *Effects of fire on forest dynamics in southern Switzerland*. *Journal of Vegetation Science*, 3 (1): 55-60.  
<http://dx.doi.org/10.2307/3235998>
- Drobyshev I., Niklasson M., Mazerolle M.J., Bergeron Y., 2014 – *Reconstruction of a 253-year long mast record of European beech reveals its association with large scale temperature variability and no long-term trend in mast frequencies*. *Agricultural and Forest Meteorology*, 192: 9-17.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.02.010>
- Frazer G.W., Canham C.D., Lertzman K.P., 1999 – *Gap Light Analyzer (GLA), Version 2.0: Imaging Software to Extract Canopy Structure and Gap Light Transmission Indices from True-Colour Fisheye Photographs*. Users Manual and Program Documentation.
- Giesecke T., Hickler T., Kunkel T., Sykes M.T., Bradshaw R.H., 2007 – *Towards an understanding of the Holocene distribution of Fagus sylvatica L*. *Journal of Biogeography*, 34 (1): 118-131.  
<http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2699.2006.01580.x>
- Keeley J.E., Bond W.J., 1999 – *Mast flowering and semelparity in bamboos: the bamboo fire cycle hypothesis*. *The American Naturalist*, 154 (3): 383-391. <http://dx.doi.org/10.1086/303243>
- Keeley J.E., Bond W.J., Bradstock R.A., Pausas J.G., Rundel P.W., 2011 – *Fire in Mediterranean ecosystems: ecology, evolution and management*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 522.  
<http://dx.doi.org/10.1017/CBO9781139033091>
- Kramer K., Brang P., Bachofen H., Bugmann H., Wohlgemuth T., 2014 – *Site factors are more important than salvage logging for tree regeneration after wind disturbance in Central European forests*. *Forest Ecology and Management*, 331: 116-128.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2014.08.002>
- Harmer R., 1995 – *Natural regeneration of broad-leaved trees in Britain: III Germination and establishment*. *Forestry*, 68 (1): 1-9.  
<http://dx.doi.org/10.1093/forestry/68.1.1-b>
- Heroldová M., Suchomel J., Purchart L., Čepelka L., 2013 – *Beech-mast crop evaluation in Kněžyně forest complex (Beskydy Mts, Czech Republic) as a food supply for granivorous rodents*. *Beskydy*, 6 (1): 27-32.  
<http://dx.doi.org/10.11118/beskyd201306010027>
- Innes J.L., 1994 – *The occurrence of flowering and fruiting on individual trees over 3 years and their effects on subsequent crown condition*. *Trees*, 8 (3): 139-150. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00196638>
- Madsen P., Larsen J.B., 1997 – *Natural regeneration of beech (Fagus sylvatica L.) with respect to canopy density, soil moisture and soil carbon content*. *Forest Ecology and Management*, 97 (2): 95-105.  
[http://dx.doi.org/10.1016/S0378-1127\(97\)00091-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-1127(97)00091-1)
- Maringer J., Wohlgemuth T., Neff C., Pezzatti G.B., Conedera M., 2012 – *Post-fire spread of alien plant species in a mixed broad-leaved forest of the Insubric region*. *Flora*, 207 (1): 19-29.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.flora.2011.07.016>
- Mazzoleni S., Bonanomi G., Incerti G., Chiusano M.L., Termolino P., Mingo A., Senatore M., Giannino F., Carteni F., Rietkerk M., Lanzotti V., 2014 – *Inhibitory and toxic effects of extracellular self-DNA in litter: a mechanism for negative plant-soil feedbacks?* *New Phytologist* (in stampa).  
<http://dx.doi.org/10.1111/nph.13121>
- Minotta G., Pinzauti S., 1996 – *Effects of light and soil fertility on growth, leaf chlorophyll content and nutrient use efficiency of beech (Fagus sylvatica L.) seedlings*. *Forest Ecology and Management*, 86 (1): 61-71.  
[http://dx.doi.org/10.1016/S0378-1127\(96\)03796-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-1127(96)03796-6)
- Motta R., Garbarino M., Berretti R., Bjelanovic I., Borgogno Mondino E., Čurović M., Keren S., Meloni F., Nosenzo A., 2014 – *Structure, spatio-temporal dynamics and disturbance regime of the mixed beech-silver fir-Norway spruce old-growth forest of Biogradska Gora (Montenegro)*. *Plant Biosystems* (in stampa).  
<http://dx.doi.org/10.1080/11263504.2014.945978>

- Nagel T.A., Svoboda M., Rugani T., Diaci J., 2010 – *Gap regeneration and replacement patterns in an old-growth Fagus-Abies forest of Bosnia-Herzegovina*. Plant Ecology, 208 (2): 307-318.  
<http://dx.doi.org/10.1007/s11258-009-9707-z>
- Nagel T.A., Svoboda M., Kobal M., 2014 – *Disturbance, life history traits, and dynamics in an old-growth forest landscape of southeastern Europe*. Ecological Applications, 24 (4): 663-679.  
<http://dx.doi.org/10.1890/13-0632.1>
- Nilsson S.G., 1985 – *Ecological and evolutionary interactions between reproduction of beech Fagus sylvatica and seed eating animals*. Oikos, 44 (1): 157-164. <http://dx.doi.org/10.2307/3544057>
- Nilsson S.G., Wastljung U., 1987 – *Seed predation and cross-pollination in mast-seeding beech (Fagus sylvatica) patches*. Ecology, 68 (2): 260-265.  
<http://dx.doi.org/10.2307/1939256>
- Nocentini S., 2009 – *Structure and management of beech (Fagus sylvatica L.) forests in Italy*. iForest, 2 (3): 105-113.
- O'Dowd D.J., Gill A.M., 1984 – *Predator satiation and site alteration following fire: mass reproduction of alpine ash (Eucalyptus delegatensis) in south-eastern Australia*. Ecology, 65 (4): 1052-1066.  
<http://dx.doi.org/10.2307/1938313>
- O'Donnell A.J., Boer M.M., McCaw W.L., Grierson P.F., 2011 – *Climatic anomalies drive wildfire occurrence and extent in semi-arid shrublands and woodlands of southwest Australia*. Ecosphere, 2 (11): art. 127.
- Olesen C.R., Madsen P., 2008 – *The impact of roe deer (Capreolus capreolus): seedbed, light and seed fall on natural beech (Fagus sylvatica) regeneration*. Forest Ecology and Management, 255 (12): 3962-3972.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2008.03.050>
- Övergaard R., Gemmel P., Karlsson M., 2007 – *Effects of weather conditions on mast year frequency in beech (Fagus sylvatica L.) in Sweden*. Forestry, 80 (5): 555-565.  
<http://dx.doi.org/10.1093/forestry/cpm020>
- Packham J.R., Thomas P.A., Atkinson M.D., Degen T., 2012 – *Biological flora of the British Isles: Fagus sylvatica*. Journal of Ecology, 100 (6): 1557-1608.  
<http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2745.2012.02017.x>
- Peters V.S., Macdonald S.E., Dale M.R., 2005 – *The interaction between masting and fire is key to white spruce regeneration*. Ecology, 86 (7): 1744-1750.  
<http://dx.doi.org/10.1890/03-0656>
- Piovesan G., Adams J.M., 2001 – *Masting behaviour in beech: linking reproduction and climatic variation*. Canadian Journal of Botany, 79 (9): 1039-1047. <http://dx.doi.org/10.1139/b01-089>  
<http://dx.doi.org/10.1139/cjb-79-9-1039>
- Piovesan G., Adams J.M., 2005 – *The evolutionary ecology of masting: does the environmental prediction hypothesis also have a role in mesic temperate forests?* Ecological Research, 20 (6): 739-743.  
<http://dx.doi.org/10.1007/s11284-005-0096-z>
- Pounden E., Greene D.F., Mchaletz T., 2014 – *Non-serotinous woody plants behave as aerial bank species when a late-summer wildfire coincides a mast*. Ecology and Evolution, 4 (19): 3830-3840.  
<http://dx.doi.org/10.1002/ece3.1247>
- Schomaker M.E., Zarnoch S.J., Bechtold W.A., Latelle D.J., Burkman W.G., Cox S.M., 2007 – *Crown-Condition Classification: a guide to data collection and analysis*. USDA, GTR-SRS-102, Asheville, pp. 82.
- Šebková B., Šamonil P., Valtera M., Adam D., Janík D., 2012 – *Interaction between tree species populations and windthrow dynamics in natural beech-dominated forest, Czech Republic*. Forest Ecology and Management, 280: 9-19.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2012.05.030>
- Selås V., Piovesan G., Adams J.M., Bernabel M., 2002 – *Climatic factors controlling reproduction and growth of Norway spruce in southern Norway*. Canadian Journal of Forest Research, 32: 217-225.  
<http://dx.doi.org/10.1139/x01-192>
- Silva E.D., Mazzella P.R., Legay M., Corcket E., Dupouey J.L., 2012 – *Does natural regeneration determine the limit of European beech distribution under climatic stress?* Forest Ecology and Management, 266: 263-272.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2011.11.031>
- Simon A., Gratzer G., Sieghardt M., 2011 – *The influence of windthrow microsites on tree regeneration and establishment in an old growth mountain forest*. Forest Ecology and Management, 262 (7): 1289-1297.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2011.06.028>
- Suszka B., Muller C., Bonnet-Masimbert M., 2000 – *Semi di latifoglie forestali: dalla raccolta alla semina*. Calderini-Edagricole Editore, Milano, pp. 322.
- Tinner W., Conedera M., Ammann B., Lotter A.F., 2005 – *Fire ecology north and south of the Alps since the last ice age*. Holocene, 15 (8): 1214-1226.  
<http://dx.doi.org/10.1191/0959683605hl892rp>
- Tinner W., Lotter A.F., 2006 – *Holocene expansions of Fagus sylvatica and Abies alba in Central Europe: where are we after eight decades of debate?* Quaternary Science Reviews, 25 (5): 526-549.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.quascirev.2005.03.017>
- Tognetti R., Minotta G., Pinzauti S., Michelozzi M., Borghetti M., 1998 – *Acclimation to changing light conditions of long-term shade-grown beech (Fagus sylvatica L.) seedlings of different geographic origins*. Trees, 12 (6): 326-333.  
<http://dx.doi.org/10.1007/PL00009719>  
<http://dx.doi.org/10.1007/s004680050158>
- Topoliantz S., Ponge J.F., 2000 – *Influence of site condition on the serviva of Fagus sylvatica seedings in an old-growth beech forest*. Journal of Vegetation Science, 11 (3): 369-374.  
<http://dx.doi.org/10.2307/3236629>
- Vacchiano G., Stanchi S., Marinari G., Ascoli D., Zanini E., Motta R., 2014 – *Fire severity, residuals and soil legacies affect regeneration of Scots pine in the Southern Alps*. Science of the Total Environment, 472: 778-788.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.11.101>
- Valese E., Conedera M., Held A.C., Ascoli D., 2014 – *Fire, humans and landscape in the European Alpine region during the Holocene*. Anthropocene (in stampa).  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ancene.2014.06.006>

- van Gils H., Odoi J.O., Andrisano T., 2010 – *From monospecific to mixed forest after fire? An early forecast for the montane belt of Majella, Italy.* Forest Ecology and Management, 259 (3): 433-439.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2009.10.040>
- van Mantgem P.J., Stephenson N.L., Keeley J.E., 2006 – *Forest reproduction along a climatic gradient in the Sierra Nevada, California.* Forest Ecology and Management, 225 (1): 391-399.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2006.01.015>
- Wagner S., Collet C., Madsen P., Nakashizuka T., Nyland R.D., Sagheb-Talebi K., 2010 – *Beech regeneration research: from ecological to silvicultural aspects.* Forest Ecology and Management, 259 (11): 2172-2182.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2010.02.029>
- Williamson G.B., Ickes K., 2002 – *Mast fruiting and ENSO cycles-does the cue betray a cause?* Oikos, 97 (3): 459-461.  
<http://dx.doi.org/10.1034/j.1600-0706.2002.970317.x>
- Wright B.R., Zuur A.F., Chan G.C., 2014 – *Proximate causes and possible adaptive functions of mast seeding and barren flower shows in spinifex grasses (Triodia spp.) in arid regions of Australia.* The Rangeland Journal, 36 (3): 297-308.  
<http://dx.doi.org/10.1071/RJ13104>