

ANDREA ALFANO, ALESSANDRO PALETTO, STEFANIA SIMONCINI, ISABELLA DE MEO

*Linee guida per la gestione del legno morto in popolamenti artificiali di pino nero (*Pinus nigra* J.F. Arnold)*

Introduzione

Nella gestione forestale tradizionale il termine “legno morto” ha spesso avuto un’accezione negativa, in quanto sintomo di abbandono e cattiva gestione (RADU, 2006). In passato, questa componente dell’ecosistema forestale era percepita dai pianificatori e gestori forestali come elemento di disturbo sia dal punto di vista fitosanitario, che di prevenzione dagli incendi boschivi (MARZILIANO, 2009; STADELMANN *et al.*, 2013). Pertanto, la pratica corrente nei popolamenti forestali attivamente gestiti era quella di prelevare, nel corso delle operazioni selvicolturali, il legno morto in piedi e a terra al fine di ridurre il rischio di danni biotici e abiotici (MERGANIČOVÀ, MERGANIČ, 2010; PASTORELLA *et al.*, 2016).

Nelle foreste naturali il legno morto è il risultato della mortalità degli alberi causata dai processi di senescenza e di competizione (BEHJOU *et al.*, 2018). Inoltre, il legno morto può essere il risultato di fattori di disturbo naturale, come la recente tempesta Vaia che ha portato allo schianto di circa 8,5 milioni di m³ in 494 comuni nell’Italia nord-orientale (CHIRICI *et al.*, 2019), o antropico a seguito di interventi selvicolturali durante i quali vengono prelevati solo parzialmente i residui legnosi (DE MEO *et al.*, 2017).

Il quantitativo “ideale” di legno morto in foresta è difficile da stabilire a priori in quanto è strettamente legato alle condizioni climatiche e stagionali, alla categoria forestale, alla gestione pregressa e agli obiettivi futuri. Il secondo Inventario Forestale Na-

zionale e dei serbatoi forestali di Carbonio (INFC2005) ha stimato nei boschi italiani un volume medio di legno morto pari a 8,8 m³ ad ettaro, con valori medi per categoria forestale che variano da un massimo di 26,9 m³ a ettaro dei castagni a un minimo di circa 1 m³ a ettaro per le sugherete (GASPARINI, TABACCHI, 2011). Volumi elevati di legno morto – superiori ai 30 m³ ad ettaro – si riscontrano generalmente sia nelle aree protette, quali siti della rete Natura 2000 o riserve naturali, sia in boschi degradati caratterizzati da un abbandono gestionale (GIUNTINI *et al.*, 2017) o recentemente interessati da fattori di disturbo naturale. Pertanto, il volume di legno morto in foresta non può essere impiegato come unica variabile valutativa di un popolamento forestale, ma deve essere contestualizzato al fine di definire il quantitativo idoneo di legno morto da rilasciare in foresta per finalità ecologiche e funzionali.

A seguito dell’introduzione del concetto di Gestione Forestale Sostenibile (GFS), in occasione delle Conferenze Ministeriali per la Protezione delle Foreste in Europa (Helsinki 1993, Lisbona 1998), il ruolo del legno morto in foresta è stato ribadito ed enfatizzato, soprattutto sulla base della sua capacità di fornire habitat per la vita di numerose specie di vertebrati ed invertebrati con particolare riferimento agli insetti saproxilici (SALVADORI *et al.*, 2009; SPEIGHT, 1989; PETERKEN, 1996; STEVENS, 1997), di migliorare la fertilità del suolo (THOMAS, 2002) e, di conseguenza, facilitare la rinnovazione naturale del popolamento fornendo un substrato idoneo alla rinnovazione (HOFGAARD, 2000; VALLAURI *et al.*, 2005), di incrementare la stabilità dei versanti dal rischio idrogeolo-

gico e di diminuire l'erosione superficiale del suolo (MCCOMB, LINDERMAYER, 1999), e di stoccare temporaneamente il carbonio atmosferico (CASTAGNERI *et al.*, 2010; EDWARDS *et al.*, 2012).

Nella letteratura internazionale, esistono molteplici classificazioni del legno morto che tengono in considerazione le componenti, la soglia diametrica e il grado di decomposizione (LIGOT *et al.*, 2012). Per quanto concerne le componenti del legno morto, la classificazione più diffusa è quella impiegata negli inventari forestali nazionali, tra cui quello italiano, che ripartisce il legno morto in tre principali componenti (DI COSMO *et al.*, 2013):

- Legno morto a terra (*logs o lying deadwood*): alberi o rami a terra o con angolo di inclinazione rispetto al suolo inferiore di 45°;
- Alberi morti in piedi (*snags o standing dead trees*): alberi morti in piedi, ma anche schiantati o sradicati con un angolo di inclinazione rispetto al suolo maggiore di 45°;
- Ceppaie (*stumps*): ceppaie o alberi stroncati con altezza inferiore a 1,30 m da terra.

Per quanto riguarda la soglia diametrica, il legno morto viene solitamente suddiviso in due categorie (HARMON, SEXTON, 1996; WEGGLER *et al.*, 2012): legno morto di grandi dimensioni (*o coarse woody debris*) caratterizzato da con diametro superiore ai 10 cm; e legno morto di piccole dimensioni (*o fine woody debris*) con diametro compreso fra i 4,5 cm e i 10 cm. Generalmente, il legno morto con soglia diametrica sotto i 4,5 cm viene classificato come *very fine woody debris* (tra 4,5 cm e 2,5 cm) o imputato direttamente nella lettiera.

Inoltre, il legno morto può essere suddiviso in tre o cinque classi di decadimento sulla base del livello di decomposizione del legno (PALETTO, TOSI, 2010). La corretta assegnazione della classe di decadimento – che nella pratica usuale avviene attraverso valutazione visiva da parte di operatori esperti – rappresenta un aspetto chiave nella stima del carbonio temporaneamente stoccato in questa componente dell'ecosistema

forestale (ROCK *et al.*, 2008). In riferimento a quest'ultimo aspetto va ricordato che il legno morto è uno dei cinque pool di carbonio, così come stabilito dalle linee guida dell'*Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2003), e pertanto è di fondamentale importanza che questa componente venga costantemente inventariata e monitorata al fine di quantificarne le variazioni nel tempo (ROCK *et al.*, 2008; TEISSIER DU CROS, LOPEZ, 2009).

Sulla base di queste considerazioni, il presente studio si pone l'obiettivo di fornire delle linee guida per la quantificazione e la conseguente gestione del legno morto in popolamenti artificiali di conifere. Lo studio è stato condotto nella foresta peri-urbana di Monte Morello, in provincia di Firenze, coinvolta nel progetto LIFE14 CCM/IT/000905 "FoResMit" (*Recovery of degraded coniferous Forests for environmental sustainability Restoration and climate change Mitigation*) e caratterizzata da un'elevata quantità di legno morto sia in piedi che a terra.

Materiali e metodi

Obiettivi e struttura dell'indagine

L'obiettivo generale del progetto LIFE14 CCM/IT/000905 "FoResMit" (periodo 2015-2019) è stato quello di redigere degli indirizzi selvicolturali volti al ripristino di ecosistemi forestali degradati migliorandone la stabilità ecologica e l'effetto di mitigazione nei confronti dei cambiamenti climatici. Gli interventi selvicolturali realizzati dal progetto LIFE "FoResMit" nella foresta di Monte Morello, in località "Fonte dei Seppi", hanno riguardato principalmente l'implementazione di due diversi trattamenti selvicolturali comparandone i risultati con delle parcelle di controllo, finalizzate a monitorare l'evoluzione del bosco, all'interno delle quali non è stato eseguito alcun intervento. I due trattamenti selvicolturali testati possono essere così sintetizzati:

- *Trattamento dal basso*: consiste in un diradamento effettuato sul piano dominato con intensità di taglio moderata (rimozione del 30% degli individui). Come operazione accessoria vengono eliminati tutti gli individui morti in piedi, mentre il legno morto a terra viene interamente rilasciato.

- *Trattamento selettivo*: consiste nella selezione delle cosiddette “piante candidate”, ovvero quelle con le migliori caratteristiche fenologiche, effettuando un diradamento sui loro diretti concorrenti, che ne rappresentano un ostacolo allo sviluppo. Come operazioni accessorie vengono asportate tutte le piante morte in piedi e a terra con diametro maggiore di 30 cm, appartenenti alla prima e seconda classe di decadimento. L’obiettivo specifico di questa parte del progetto LIFE “FoResMit” è stato quello di mettere a punto una metodologia di rilevamento del legno morto pre- e post-trattamenti selvicolturali al fine di redigere delle linee guida di gestione del legno morto in popolamenti artificiali di conifere.

Area di studio

Monte Morello è il complesso montuoso di rilievi preappenninici che si elevano sulla piana Firenze-Pistoia, situati a Nord-Ovest del capoluogo fiorentino, tra i comuni di Sesto Fiorentino, Vaglia e Calenzano. Storicamente, l’intero complesso montuoso si caratterizzava per la presenza di ampie superfici boschive che, a causa della vicinanza ai centri abitati, furono soggette fin dal XII secolo ad un intenso sfruttamento – per la produzione di legname, legna ad uso energetico e carbone – che ne determinò il progressivo deterioramento. Fu così che, agli inizi del ‘900, venne avviata l’opera di rimboschimento che, a causa delle numerose interruzioni, si prorogò fino alla fine degli anni ‘70. Dal punto di vista geomorfologico, l’intero massiccio è costituito da flysch calcareo marnosi della formazione di Monte Morello, meglio conosciuta come “Alberese” (RUBELLINI, 1989), mentre i suoli possono essere annoverati fra le co-

siddette “terre brune” (BERNETTI, 1962). Il clima che caratterizza la zona è temperato con estati calde e leggermente siccitose. Le precipitazioni medie annue oscillano tra i 1100-1200 mm e la temperatura media passa da 13 a 11,2°C salendo da 400 a 700 m s.l.m. (RAFFAELLI, 1989). La vegetazione spontanea dovrebbe essere rappresentata da formazioni di latifoglie decidue, inquadrabili da un punto di vista fitosociologico nell’ordine “*Quercetalia pubescenti-petraeae*” in cui le specie arboree maggiormente caratterizzanti sono roverella, cerro e carpino nero (ARRIGONI, FOGGI, 1992). Tuttavia, il soprassuolo attuale risulta prevalentemente costituito dalle specie impiegate nei rimboschimenti, per lo più conifere. Nello specifico, l’attuale struttura verticale del bosco è quella di una fustaia adulta di pino nero (*Pinus nigra J.F. Arnold*) e pino bruzio (*Pinus brutia Ten.*) che costituiscono, con la sporadica presenza del cerro (*Quercus cerris L.*), il piano dominante. Il piano dominato, invece, è costituito da specie arboree tipiche della flora spontanea autoctona quali l’orniello (*Fraxinus ornus L.*) e dallo stesso cerro (*Quercus cerris L.*).

Negli anni successivi alla conclusione dei lavori di rimboschimento, il soprassuolo è stato sottoposto solo in maniera sporadica alle necessarie cure colturali (sfolli, diradamenti e tagli fitosanitari) (CENNI *et al.*, 1998); tale discontinuità nella gestione, unita all’inserimento delle specie impiegate in un contesto fitoclimatico diverso dal loro optimum, ha determinato fenomeni di invecchiamento precoce e mortalità di individui arborei, nonché difficoltà nella rinnovazione naturale dei popolamenti, compromettendo così quello che era uno dei fini prioritari del rimboschimento, ovvero la difesa idrogeologica (NOCENTINI, 1995).

Metodologia d’indagine

L’area oggetto di studio è stata suddivisa in nove “aree di monitoraggio” della superficie di 1 ettaro ciascuna, uniformi per composizione specifica e struttura del soprassuolo.

Per ciascuna forma di trattamento selvicolturale, incluse quelle di controllo, sono state assegnate tre di queste aree di monitoraggio. Inoltre, all'interno di ciascuna di esse sono state collocate, con criterio casuale, due aree di saggio circolari, della superficie di 531 m², nelle quali sono stati eseguiti i rilievi dendrometrici sul soprassuolo e sul legno morto.



Figura 1 - Distribuzione delle aree di monitoraggio nella foresta peri-urbana di Monte Morello.

I rilievi sul legno morto sono stati effettuati in un primo momento tra ottobre e dicembre 2015 (pre-trattamenti selvicolturali) e ripetuti, in un secondo momento tra luglio e ottobre 2018 (tre anni post-trattamenti selvicolturali).

Per la componente del legno morto a terra è stato impiegato il metodo del *Line Intersect Sampling (LIS)*. Tale metodologia consiste nel posizionare, all'interno delle aree di saggio, due transect di 26 m passanti per il centro, uno in direzione Nord-Sud e l'altro in direzione Est-Ovest (WARREN, OLSEN, 1964). Per ciascun frammento di legno

morto a terra intersecato dai due transect sono stati rilevati: due diametri tra loro ortogonali, nell'esatto punto di contatto con il transect; la specie di appartenenza; la classe di decadimento impiegando il sistema internazionale a 5 classi.

I dati raccolti in campo hanno consentito la stima del volume di legno morto a terra ad ettaro attraverso l'impiego dell'algoritmo di VAN WAGNER (1968):

$$V_l = \pi^2 \sum \left(\frac{d_i^2}{8L} \right)$$

Dove:

V_l = volume legno morto a terra (m³ ha⁻¹);

L = lunghezza totale del LIS (52 m);

d_i = diametro (media delle due misure) nell' i -esima intersezione (cm).

Per quanto riguarda gli alberi morti in piedi con altezza superiore 1,30 m, sono stati rilevati: due diametri tra loro ortogonali, misurati a petto d'uomo; l'altezza dendrometrica o l'altezza di troncatura nel caso di soggetti troncati; la specie di appartenenza; la classe di decadimento riferendosi al sistema internazionale a 5 classi. I dati raccolti all'interno delle aree di saggio hanno consentito di stimare il volume degli alberi morti in piedi nel seguente modo:

$$V_s = f \cdot BA \cdot h$$

Dove:

V_s = volume legno morto in piedi (m³)

BA = area basale (m²)

f = coefficiente di forma del fusto

h = altezza ottenuta dalla curva ipsometrica (m)

Gli alberi morti in piedi con altezza inferiore a 1.30 m sono stati considerati come ceppaie. Per quest'ultima componente, sono stati rilevati i medesimi attributi degli alberi morti in piedi, fatta eccezione per i due diametri che vengono misurati in corrispondenza dell'altezza di troncatura o di taglio. I dati delle ceppaie presenti

nelle aree di saggio hanno consentito di quantificarne il volume nel seguente modo:

$$V_{st} = \frac{\pi}{4} \cdot h \cdot \left(\frac{D + d}{2} \right)^2$$

Dove:

V_{st} = volume ceppaie (m³)

h = altezza della ceppaia (m)

D = diametro massimo della ceppaia (m)

d = diametro minimo della ceppaia (m)

Al fine di capire l'efficacia dei suddetti trattamenti selvicolturali nella gestione del legno morto è stato applicato il test non-parametrico di Wilcoxon per dati appaiati. Si è optato per questo test statistico per il fatto che sono state realizzate due campagne di misurazione a distanza di tre anni nelle stesse aree di saggio. Il test non-parametrico di Wilcoxon è stato applicato separatamente su ciascuna componente del legno morto (legno morto a terra, alberi morti in piedi e ceppaie) al fine di valutare se le differenze volumetriche prima e dopo i diradamenti fossero statisticamente significative.

Risultati e discussioni

Componenti del legno morto

Il confronto tra i dati pre-trattamento del 2015 e quelli post-trattamento del 2018 mette in evidenza alcuni interessanti aspetti relativi all'evoluzione dei quantitativi di legno morto in bosco che dovranno essere tenuti in considerazione nelle future strategie di gestione forestale. Nel 2015, le aree di studio all'interno della foresta di Monte Morello facevano registrare un volume medio totale di legno morto pari a 75,10 m³ ha⁻¹ ripartito nel seguente modo: 59,90 m³ ha⁻¹ di legno morto a terra, 13,95 m³ ha⁻¹ di alberi morti in piedi e 1,25 m³ ha⁻¹ di ceppaie.

Nel 2018, il volume totale del legno morto presente all'interno dell'area di studio è aumentato a 84,65 m³ ha⁻¹ mentre la distribuzione per componente è risultata la seguente: 73,30 m³ ha⁻¹ di legno morto a terra, 8,03 m³ ha⁻¹ di alberi morti in piedi e 3,32 m³ ha⁻¹ di ceppaie. Confrontando i dati complessivi pre- e post-diradamento si evidenzia un aumento dei volumi di legno morto del 12,7% concentrato principalmente in due componenti: legno morto a terra (+41,3%) e ceppaie (+166%). Osservando i dati per singole aree di trattamento si nota un aumento volumetrico di due delle tre componenti di legno morto nelle parcelle di controllo: il legno morto a terra è, infatti, passato da un valore medio ad ettaro di 38,19 m³ ad uno di 54,61 m³ (+43%), mentre gli alberi morti in piedi da 18,28 m³ ad uno di 21,95 m³ (+20%). Viceversa le ceppaie sono passate da un volume medio ad ettaro di 0,98 m³ ad uno di 0,88 m³ (-10%). Pertanto, i risultati comparativi tra il 2015 e il 2018 confermano quanto ipotizzato in fase progettuale: che in un popolamento artificiale di conifere in avanzato stato di degrado non soggetto a interventi selvicolturali la mortalità naturale porta ad un ulteriore accumulo di necromassa, che presumibilmente si protrarrà fino alla sostituzione delle specie del piano dominante (conifere). La sola componente di legno morto che ha fatto registrare una contrazione è quella delle ceppaie poiché non sono stati effettuati interventi selvicolturali che ne hanno aumentato il numero e volume complessivo. Nelle parcelle con trattamento dal basso, le cui linee guida prevedevano l'asportazione durante gli interventi selvicolturali delle sole piante morte in piedi, i risultati mettono in luce un aumento di due delle tre componenti di legno morto: il legno morto a terra è passato da un valore medio ad ettaro di 66,11 m³ ad uno di 77,12 m³ (+17%), mentre le ceppaie da un valore medio ad ettaro 1,29 m³ ad uno di 4,50 m³ (+250%). Gli alberi morti in piedi sono passati, invece, da un volume medio a ettaro di 9,48 m³ a 0 m³ così come previsto dalle linee guida elaborate dal progetto LIFE "FoResMit". Anche in questo caso l'aumento del legno

morto a terra è imputabile alla mortalità naturale, e in misura minore, al fatto che alcuni rami con diametro superiore a 4,5 cm siano stati lasciati in bosco a seguito del diradamento dal basso. Il notevole aumento del numero di ceppaie, e del conseguente volume medio ad ettaro, è dovuto alla rimozione di diversi soggetti del piano dominato durante il taglio di diradamento. Nelle parcelle con trattamento selettivo, dove era prevista l'asportazione della componente morta a terra (con diametro maggiore di 30 cm) appartenente alla prima e alla seconda classe di decomposizione e degli alberi morti in piedi, i risultati mettono in evidenza un aumento dei volumi medi a ettaro sia per il legno morto a terra – da 75,28 m³ a 88,17 m³ (+17,2%) – sia per le ceppaie, da 1,48 m³ a 5,18 m³ (+250%). Viceversa, per quanto riguarda gli alberi morti in piedi il volume medio a ettaro si è ridotto del 84,6% (da 13,99 m³ a 2,16 m³) così come indicato dalle linee guida previste per il trattamento selettivo. Tuttavia, i risultati evidenziano una parziale inefficacia del trattamento adottato nei confronti del legno morto in quanto la componente morta a terra anziché diminuire, come previsto dalle linee guida gestionali, è aumentata.

Trattamento selvicolturale	Pre-diradamento	Post-diradamento
Controllo	38,19	54,61
Dal basso	66,11	77,12
Selettivo	75,28	88,17

Tabella 1 - Volumi di legno morto a terra (m³ ha⁻¹) prima e dopo i trattamenti selvicolturali a Monte Morello.

Questo aspetto è dovuto presumibilmente ad una oggettiva difficoltà dell'impresa utilizzatrice ad asportare il legno morto a terra e al perdurare del fenomeno di mortalità delle piante del piano dominante. Non stupisce, invece, l'aumento del numero e dei volumi delle ceppaie legate ai tagli di diradamento effettuati dal progetto LIFE "FoResMit".

Sintetizzando i risultati pre- e post-diradamento per componente di legno morto, si osserva come il legno morto a terra sia aumentato in tutte e tre le situazioni gestionali.

Lasciato alla libera evoluzione l'aumento volumetrico è stato del 43%, mentre se sottoposto ad una parziale asportazione durante gli interventi di diradamento l'aumento è stato pari a circa il 17% sia nel caso di trattamento dal basso che selettivo. Come detto, l'aumento complessivo è in buona parte dovuto alla caduta di alberi morti in piedi che sono andati ad alimentare la componente a terra ed all'asportazione soltanto parziale di questa componente nelle parcelle trattate con diradamento selettivo.

Trattamento selvicolturale	Pre-diradamento	Post-diradamento
Controllo	18,28	21,95
Dal basso	9,48	0,00
Selettivo	13,99	2,16

Tabella 2 - Volumi degli alberi morti in piedi (m³ ha⁻¹) prima e dopo i trattamenti selvicolturali a Monte Morello.

In riferimento agli alberi morti in piedi, i risultati evidenziano un lieve aumento del volume di questa componente nelle parcelle di controllo dovuta, presumibilmente, alla mortalità delle piante del piano dominante. Viceversa, nelle parcelle gestite con diradamento dal basso è stato osservato un azzeramento del volume degli alberi morti in

piedi, mentre in quelle trattate con diradamento selettivo si è registrata una drastica diminuzione di questa componente (-84,5%). Infine, per quanto riguarda le ceppaie, i dati osservati sono pienamente in linea con quanto atteso:

nelle parcelle di controllo si è registrata una complessiva diminuzione dei volumi dovuta al processo di decomposizione; mentre nelle parcelle trattate con diradamento dal basso e selettivo si è riscontrato un aumento dei volumi dovuto alle operazioni di taglio (da 1,29 a 4,50 m³ ha⁻¹ e da 1,48 a 5,18 m³ ha⁻¹ rispettivamente).

Trattamento selvicolturale	Pre-diradamento	Post-diradamento
Controllo	0,98	0,88
Dal basso	1,29	4,50
Selettivo	1,48	5,18

Tabella 3 - Volumi delle ceppaie (m³ ha⁻¹) prima e dopo i trattamenti selvicolturali a Monte Morello.

Il test non-parametrico di Wilcoxon mette in evidenza delle differenze statisticamente significative per quanto concerne le parcelle trattate con diradamento dal basso sia per il volume degli alberi morti in piedi ($\alpha=0,05$, $p=0,031$) sia per le ceppaie ($\alpha=0,05$, $p=0,031$). Viceversa, per le parcelle trattate con diradamento selettivo si evidenzia una differenza statisticamente significativa unicamente per il volume degli alberi morti in piedi ($\alpha=0,05$, $p=0,031$). Non si evidenziano, invece, delle differenze statisticamente significative nei volumi di legno morto a terra. I risultati del test non-parametrico di Wilcoxon non fanno altro che confermare la bontà degli interventi realizzati sulla componente gli alberi morti in piedi. Il test evidenzia invece che il diradamento selettivo ha raggiunto, per quanto riguarda la gestione del legno morto a terra, un'efficacia parziale non riuscendo ad asportare in modo significativo il legno morto a terra delle prime due classi di decadimento.

prelevare, in particolare, il legno morto a terra della seconda classe di decadimento.

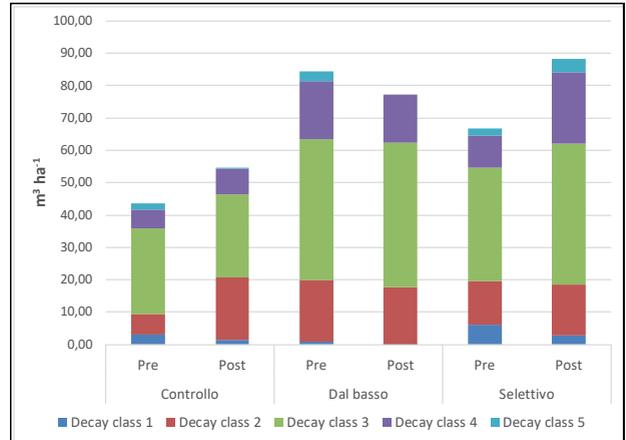


Figura 2 - Distribuzione dei volumi ($m^3 ha^{-1}$) del legno morto a terra per classi di decomposizione e per trattamento selvicolturale.

Classi di decadimento del legno morto

Al fine di meglio comprendere l'efficienza dei trattamenti selvicolturali si è ritenuto opportuno analizzare le variazioni dei volumi di legno morto anche sulla base alla distribuzione per classi di decadimento. In riferimento al legno morto a terra (Figura 2), i risultati mostrano come complessivamente prima dei diradamenti il 54% del volume fosse concentrato nella terza classe di decadimento e il 20% nella seconda classe di decadimento. A seguito dei diradamenti la situazione non è sostanzialmente cambiata con il 52% del volume nella terza e il 24% nella seconda classe di decadimento. Più interessanti sono i risultati riscontrati nelle parcelle trattate con diradamento selettivo dove, a seguito delle indicazioni del protocollo di gestione, il legno morto della prima classe di decadimento è sceso dal 9,3% al 3,3%, mentre quello della seconda classe di decadimento è passato dal 20,0% al 17,6% del totale. Questi dati mettono in luce una chiara difficoltà dell'impresa di utilizzazione boschiva nel

Per gli alberi morti in piedi, i risultati pre-trattamento selvicolturale mostrano come il volume sia quasi completamente concentrato nelle prime tre classi di decadimento (Figura 3): 32,2% nella prima, 34,6% nella seconda, 32,2% nella terza classe di decadimento. Questa dinamica è fisiologica poiché gli alberi morti in piedi tendono, con il trascorrere degli anni, a perdere di integrità e a cadere, passando così alla componente morta a terra. A seguito dei diradamenti si è contratta soprattutto la prima classe di decadimento passando al 5,4% del volume complessivo degli alberi morti in piedi, mentre per le altre due classi di decadimento si sono registrate variazioni meno significative.

Osservando i dati nelle parcelle di controllo, si evince come il volume degli alberi morti in piedi sia passato da una distribuzione più equilibrata nelle prime tre classi di decadimento (21,6% prima, 31,7% seconda, 45,9% terza) ad una più concentrata nella seconda classe di decadimento (1% prima, 75,8% seconda, 23,2% terza).

Nelle parcelle trattate con diradamento dal basso vi è una totale assenza di alberi mor-

ti in piedi in tutte le classi, poiché non vi è stata nuova mortalità successivamente al trattamento. Viceversa, nelle aree sottoposte a trattamento selettivo vi è una modesta rappresentanza di individui appartenenti alla prima e alla seconda classe di decadimento ($2,16 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ distribuiti per il 50,1% nella prima e per il 45,6% nella seconda classe di decadimento), proprio a causa dei fenomeni di mortalità avvenuti post-trattamento.

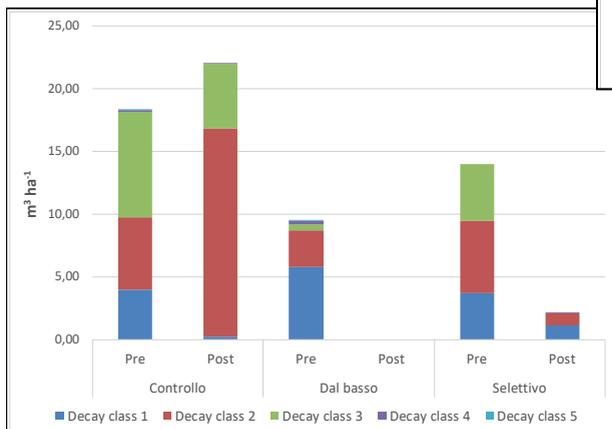


Figura 3 - Distribuzione dei volumi ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$) degli alberi morti in piedi per classi di decomposizione e per trattamento selvicolturale.

In riferimento alle ceppaie (Figura 4), i risultati mostrano come nelle parcelle di controllo il volume delle ceppaie sia principalmente concentrato nella terza e quarta classe di decadimento (rispettivamente 50,0% e 30,7% pre-trattamento e 35,8% e 26,9% post-trattamento) a conferma della presenza di ceppaie già senescenti nel periodo pre-trattamento. Nelle parcelle diradate, si nota, invece, un volume considerevole soprattutto nella seconda classe di decadimento ($3,28 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ nelle parcelle trattate con diradamento dal basso e $3,73 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ in quelle trattate con diradamento selettivo). Questo fatto è dovuto al taglio di diradamento che è stato eseguito tre anni prima dei rilievi, pertanto le ceppaie non si presentano più integre.

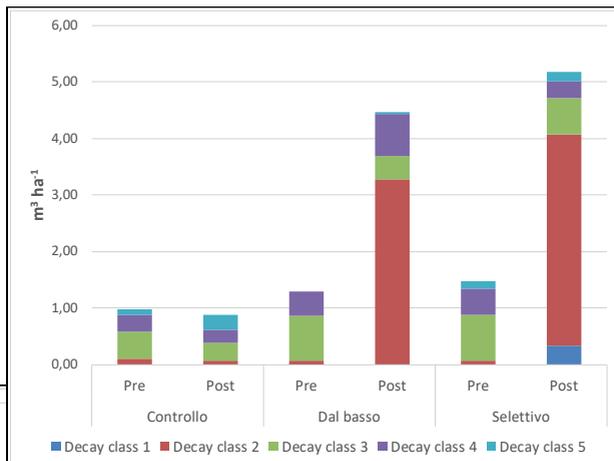


Figura 4 - Distribuzione dei volumi ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$) delle ceppaie per classi di decomposizione e per trattamento selvicolturale.

Conclusioni

I risultati del presente studio evidenziano la complessità della gestione del legno morto in rimboschimenti di conifere degradati. Se il legno morto ha un impatto positivo – sulla conservazione della biodiversità, sulla protezione del suolo e sulla regimazione delle acque – nelle foreste gestite o in equilibrio ecologico, situazione differente si osserva nelle foreste degradate come quella di Monte Morello. Il soprassuolo oggetto di studio è attualmente composto in larga parte da pino nero e pino bruzio, specie resinose e, di conseguenza, potenzialmente infiammabili. In un contesto climatico come quello di Monte Morello, caratterizzato da estati calde e siccitose, questo aspetto sommato ad un'elevata presenza di legno morto, sia di piccole sia di grandi dimensioni, fa sì che la prevenzione degli incendi boschivi diventi di interesse prioritario. Inoltre, è importante evidenziare come nell'area di studio i fenomeni di mortalità risultino in costante crescita non solo a causa dell'età avanzata del soprassuolo, ma anche per problemi di natura fitopa-

tologica favoriti dalle condizioni di stress del popolamento che, essendo composto perlopiù da conifere tipiche del piano montano, soffre fortemente il contesto climatico in cui vegeta che è quello del Castanetum caldo con marcata aridità estiva. Da queste considerazioni risulta evidente che in un ecosistema così fragile, i quantitativi di legno morto presenti siano decisamente in eccesso rispetto a quelli sufficienti per finalità ecologiche e per la buona funzionalità dell'ecosistema.

Dunque, la scelta più opportuna sarebbe quella di abbinare alle cure colturali l'asportazione parziale del legno morto in eccesso delle prime classi di decadimento. In conclusione, si può asserire che in popolamenti artificiali di pino nero il legno morto svolge un ruolo chiave nel migliorare la fertilità del suolo e favorire la rinnovazione naturale delle latifoglie autoctone. Inoltre, il legno morto a terra svolge un'importante ruolo di protezione dall'erosione superficiale e di regimazione delle acque che i popolamenti degradati stanno progressivamente perdendo a causa dell'abbandono colturale. Tuttavia, quantitativi superiori ai 30-40 m³ ha⁻¹ rappresentano un problema sia per la percorribilità dell'area a fini turistico-ricreativi, sia per la protezione dal rischio di incendi boschivi. In tal senso, i gestori forestali si dovrebbero concentrare sull'asportazione del legno morto a terra di piccole dimensioni per ridurre il rischio di incendi boschivi e di quello di grosse dimensioni nelle zone più frequentate turisticamente.

BIBLIOGRAFIA

- ARRIGONI P.V., FOGGI B. (1992). *Carta della vegetazione del Monte Morello (Provincia di Firenze) 1:25.000*. Firenze: Università degli Studi di Firenze, S.E.L.C.A..
- BERNETTI G. (1962). *Osservazioni sull'influenza della vegetazione sul terreno nei rimboschimenti di Monte Morello*. Atti del Congresso Nazionale sui rimboschimenti e sulla ricostituzione dei boschi degradati, Firenze 12-15 aprile 1961. Vol. II Comunicazioni e interventi, pp. 99-110
- BEHJOU F.K., LO MONACO A., TAVANKAR F., VENANZI R., NIKOOY M., MEDERSKI P.S., PICCHIO R. (2018). *Coarse Wo-*

ody Debris Variability Due to Human Accessibility to Forest. Forests, 9: 509.

- CHIRICI G., GIANNETTI F., TRAVAGLINI D., NOCENTINI S., FRANCINI S., D'AMICO G., CALVO E., FASOLINI D., BROLL M., MAISTRELLI F., TONNER J., PIETROGIOVANNA M., OBERLECHNER K., ANDRIOLO A., COMINO R., FAIDIGA A., PASUTTO I., CARRARO G., ZEN S., CONTARIN F., ALFONSI L., WOLYNSKI A., ZANIN M., GAGLIANO C., TONOLLI S., ZOANETTI R., TONETTI R., CAVALLI R., LINGUA E., PIROTTI F., GRIGOLATO S., BELLINGERI D., ZINI E., GIANELLE D., DALPONTE M., POMPEI E., STEFANI A., MOTTA R., MORRESI D., GARBARINO M., ALBERTI G., VALDEVIT F., TOMELLERI E., TORRESANI M., TONON G., MARCHI M., CORONA P., MARCHETTI M. (2019). *Stima dei danni della tempesta "Vaia" alle foreste in Italia*. Forest@, 16: 3-9.
- CASTAGNERI D., GARBARINO M., BERRETTI R., MOTTA R. (2010). *Site and stand effects on coarse woody debris in montane mixed forests of Eastern Italian Alps*. Forest Ecology and Management 260: 1592-1598.
- CENNI E., BUSSOTTI F., GALEOTTI L. (1998). *The decline of a Pinus nigra Arn. reforestation stand on a limestone substrate: the role of nutritional factors examined by means of foliar diagnosis*. Annales des sciences forestières, 55: 567-576.
- DE MEO I., AGNELLI A.E., GRAZIANI A., KITIKIDOU K., LAGOMARSINO A., MLIOS E., RADOGLUO K., PALETTO A. (2017). *Deadwood volume assessment in Calabrian pine (Pinus brutia Ten.) peri-urban forests: Comparison between two sampling methods*. Journal of Sustainable Forestry, 36: 666-686.
- DI COSMO L., GASPARINI P., PALETTO A., NOCETTI M. (2013). *Deadwood basic density values for national-level carbon stock estimates in Italy*. Forest Ecology and Management, 295: 51-58.
- EDWARDS D., JAY M., JENSEN F.S., LUCAS B., MARZANO M., MONTAGNÉ C., PEACE A., WEISS G. (2012). *Public preferences for structural attributes of forests: towards a Pan-European perspective*. Forest Policy & Economics, 19: 12-19.
- GASPARINI P., TABACCHI G. (2011). *L'Inventario Nazionale delle Foreste e dei serbatoi forestali di Carbonio INFC 2005*. Secondo inventario forestale nazionale italiano. Metodi e risultati. Ministero delle Politiche Agricole, Alimentari e Forestali, Corpo Forestale dello Stato, Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura, Unità di ricerca per il Monitoraggio e la Pianificazione Forestale. Edagricole, Milano, pp. 653.
- GIUNTINI F., DE MEO I., GRAZIANI A., CANTIANI P., PALETTO A. (2017). *Stima del volume di legno morto in rimboschimenti di pino nero (Pinus nigra J.F. Arnold) in Toscana: confronto tra casi studio*. Dendronatura, 1: 19-28.
- HARMON M.E., SEXTON J. (1996). *Guidelines for measurements of woody detritus in forest ecosystems*. Seattle: University of Washington.
- HOFGAARD A. (2000). *Structure and regeneration pattern in a virgin Picea abies forest in northern Sweden*. Journal of Vegetation Science, 4: 601-608.

INFC (2015). Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio. Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali, Ispettorato Generale - Corpo Forestale dello Stato. Consiglio per la Ricerca e Sperimentazione in Agricoltura Unità di ricerca per il Monitoraggio e la Pianificazione Forestale.

IPCC (2003). Good practice guidance for land use, land use change and forestry. Institute for Global Environmental Strategies, Hayama. http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf_files/GPG_LULUCF_FULL.pdf

LIGOT G., LEJEUNE P., RONDEUX J., HÉBERT J. (2012). *Assessing and Harmonizing Lying Deadwood Volume with Regional Forest Inventory Data in Wallonia (Southern Region of Belgium)*. The Open Forest Science Journal, 5: 15-22.

MARZILIANO P.A. (2009). *Analisi quali-quantitativa della necromassa in cedui invecchiati di leccio (Quercus ilex L.) del Gargano*. Forest@-Journal of Silviculture and Forest Ecology, 6(1), 19.

MCCOMB W., LINDENMAYER D. (1999). *Dying, dead, and down trees*. In: MALCON L, HUNTER JR (eds), *Maintaining Biodiversity in Forest Ecosystems*, Cambridge University Press, England, pp. 335-372.

MERGANIČOVÁ K., MERGANIČ J. (2010) *Coarse woody debris carbon stocks in natural spruce forests of Babia hora*. Journal of Forest Science, 56: 397-405.

NOCENTINI S. (1995). *La rinaturalizzazione dei rimboschimenti*. Una prova sperimentale su pino nero e laricio nel complesso di Monte Morello (Firenze). L'Italia Forestale e Montana, 4: 425-435.

PALETTO A., TOSI V. (2010). *Deadwood density variation with decay class in seven tree species of the Italian Alps*. Scandinavian Journal of Forest Research, 25: 164-173.

PASTORELLA F., SANTONI S., NOTARO S., PALETTO A. (2016). *La percezione sociale del paesaggio forestale in Trentino-Alto Adige: casi di studio a confronto*. Forest@, 13: 73-89.

PETERKEN G.F. (1996). *Natural Woodland: Ecology and Conservation in Northern Temperate Regions*. Cambridge University Press, Cambridge, 522 pp.

RADU S. (2006). *The ecological role of deadwood in natural forests*. Journal of Nature Conservation, 3: 137-41.

RAFFAELLI M. (1989). *Indagine preliminare sulla flora di Monte Morello (Toscana Centro-Settentrionale)*. In: «L'ambiente. Problematiche e prospettive, idee e contributi per una politica ambientale». Atti del 1° convegno sullo stato dell'ambiente a Sesto Fiorentino. Edizioni Medicea, Firenze. pp. 277-323.

ROCK J., BADECK F.W., HARMON M.E. (2008). *Estimating decomposition rate constants for European tree species from literature sources*. European Journal of Forest Research, 127: 301-313

RUBELLINI P. (1989). *Circolazione idrica e sorgenti dell'a-*

rea collinare del Comune di Sesto Fiorentino. In: «L'ambiente. Problematiche e prospettive, idee e contributi per una politica ambientale». Atti del 1° convegno sullo stato dell'ambiente a Sesto Fiorentino. Edizioni Medicea, Firenze. pp. 309-323.

SALVADORI G., BIANCHI L., CALAMINI G. (2009). *Interventi culturali e necromassa legnosa al suolo: il caso delle fagete Casentinesi*. Forest@, 6: 39-49.

SPEIGHT M.C.D. (1989). *Les invertébrés saproxyliques et leur protection*. Conseil de l'Europe, Collection Sauvegarde de la nature, 42: 77 pp.

STADELMANN G., BUGMANN H., MEIER F., WERMELINGER B., BIGLER C. (2013). *Effects of salvage logging and sanitation felling on bark beetle (Ips typographus L.) infestations*. Forest Ecology and Management, 305: 273-281

STEVENS V. (1997). *The ecological role of coarse woody debris: an overview of the ecological importance of CWD in BC forests*. British Columbia Ministry of Forests Research Program, Working Paper 30, 32 p.

TEISSIER DU CROS R., LOPEZ S. (2009). *Preliminary study on the assessment of deadwood volume by French national forest inventory*. Annals of Forest Science, 66: 302

THOMAS J.W. (2002). *Dead wood: from forester's bane to environmental boon*. In: LAUDENSLAYER W.F., SHEA P.J., VALENTINE B.E., WEATHERSPOON C.P., LISLE T.E. (eds.), *Proceedings of the Symposium on the Ecology and Management of Dead Wood in Western Forests*.

VALLAURI D., ANDRÉ J., DODELIN B., EYNARD-MACHET R., RAMBAUD D. (2005). *Bois mort et à cavités. Une clé pour des forêts vivantes*. Editions Tec & Doc, Paris, pp. 405.

VAN WAGNER C.E. (1968). *The line intersect method in forest fuel sampling*. Forest Science, 14: 20-26.

WARREN W.G., OLSEN P.F. (1964). *A line intersect technique for assessing logging waste*. Forest Science, 13: 267-276.

WEGGLER K., DOBBERTIN M., JÜNGLING E., KAUFMANN E., THÜRIG E. (2012). *Dead wood volume to dead wood carbon: the issue of conversion factors*. European Journal of Forest Research, 131: 1423-1438.

Andrea Alfano

Centro di ricerca per l'Agricoltura e l'Ambiente
Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi
dell'economia agraria (CREA), Firenze.
E-mail: andrea.alf33@gmail.com

Alessandro Paletto

Centro di ricerca per le Foreste e il Legno
Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi
dell'economia agraria (CREA), Trento.
E-mail: alessandro.paletto@crea.gov.it

Stefania Simoncini

Centro di ricerca per la Difesa e la Certificazione
Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi
dell'economia agraria (CREA), Firenze.
E-mail: stefania.simoncini@crea.gov.it

Isabella De Meo

Centro di ricerca per l'Agricoltura e l'Ambiente
Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi
dell'economia agraria (CREA), Firenze.
E-mail: isabella.demeo@crea.gov.it

PAROLE CHIAVE: *gestione forestale sostenibile; rimboschimenti; classi di decadimento; foresta di Monte Morello (Regione Toscana).*

RIASSUNTO

La gestione del legno morto nell'ecosistema forestale rappresenta, come enfatizzato dalle Conferenze Ministeriali per la Protezione delle Foreste in Europa, uno dei temi chiave della Gestione Forestale Sostenibile (GFS). Questo aspetto assume un rilievo ancora maggiore nei rimboschimenti artificiali di conifere dove la corretta gestione del legno morto – sia in termini quantitativi che qualitativi – è di fondamentale importanza per migliorare la struttura e la funzionalità di questi ecosistemi. Il presente studio si è focalizzato sull'analisi delle variazioni dei volumi di legno morto nella foresta di Monte Morello (provincia di Firenze) a seguito di due differenti interventi selvicolturali (diradamento dal basso e diradamento selettivo). I risultati pre-diradamento hanno messo in risalto l'abbondante presenza di legno morto (volume medio totale di 75,10 m³ ha⁻¹ ripartito in 59,90 m³ ha⁻¹ di legno morto a terra, 13,95 m³ ha⁻¹ di alberi morti in piedi e 1,25 m³ ha⁻¹ di ceppaie), da attribuirsi alle condizioni di instabilità del popolamento mai sottoposto agli opportuni tagli intercalari e dunque, in condizione di degrado ed abbandono colturale. Nel corso dei diradamenti il legno morto della prima e seconda classe di decadimento è stato rimosso e impiegato per la produzione di bioenergia. Tuttavia, nonostante la rimozione parziale del legno morto in eccesso, i risultati evidenziano un aumento dei volumi di legno morto a terra (volume medio totale di 84,65 m³ ha⁻¹ ripartito in 73,30 m³ ha⁻¹ di legno morto a terra, 8,03 m³ ha⁻¹ di alberi morti in piedi e 3,32 m³ ha⁻¹ di ceppaie) a causa di un elevato tasso di mortalità delle conifere del piano dominante.

ABSTRACT

The deadwood management in forest ecosystem is a key aspect for the Sustainable Forest Management (SFM) as emphasized by Ministerial Conference for the Protection of Forests in Europe. This aspect is even more important in the artificial reforestation of conifers where the management of deadwood – both in quantitative and qualitative terms – is of fundamental importance to improve the structure and functionality of these ecosystems. This study analysed the changes of deadwood volume in the Monte Morello forest (province of Florence) following two silvicultural treatments (thinning from below, selective thinning). The pre-thinning results highlighted the abundant amount of deadwood (average value of 75,10 m³ ha⁻¹ divided in 59,90 m³ ha⁻¹ of lying deadwood, 13,95 m³ ha⁻¹ of standing dead trees, and 1,25 m³ ha⁻¹ of stumps) due to the conditions of stand instability and advanced state of degradation. During thinning, deadwood of first and second decay classes has been removed and used for the bioenergy production. Despite the partial removal of deadwood, the results show an increase of lying deadwood volume (average value of 84,65 m³ ha⁻¹ divided in 73,30 m³ ha⁻¹ of lying deadwood, 8,03 m³ ha⁻¹ of standing dead tree, and 3,32 m³ ha⁻¹ of stumps) due to a high mortality rate of the dominant conifers.

KEYWORD: *sustainable forest management; reforestation; decay classes; Monte Morello forest (Tuscany region).*