

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali

Corso di Laurea in
Tecnologie Forestali e Ambientali

Analisi delle dinamiche di rinnovazione forestale nelle aree colpite
dalla tempesta Vaia nel comune di Cortina d'Ampezzo: il caso studio di
Ospitale

Relatore

Prof. Emanuele Lingua

Correlatore

Dott. Davide Marangon

Laureando

Federico Cattelan

Matricola n.

1223066

ANNO ACCADEMICO 2021/2022

SOMMARIO

1.	RIASSUNTO	4
2.	ABSTRACT	6
3.	INTRODUZIONE.....	8
3.1.1	Il salvage logging.....	9
3.1.2	L'opzione no intervention	10
3.2	Obiettivi	10
4.	MATERIALI E METODI	11
4.1	Inquadramento aree studio	11
4.1.1	Area Ospitale <i>no intervention</i> (OSNI)	12
4.1.2	Area Ospitale salvage logging (OSSL)	13
4.2	Rilievi in campo	14
4.3	Database	15
4.4	Analisi statistiche	16
5.	RISULTATI.....	17
5.1	Confronto con i rilievi sulla rinnovazione del 2021	24
5.2	Danni.....	28
6.	DISCUSSIONE	30
7.	CONCLUSIONI	33
	Bibliografia e sitografia	35

1. RIASSUNTO

La tempesta Vaia ha colpito molte zone delle Alpi sud-orientali con fortissimi venti che hanno superato i 200km/h, provocando l'abbattimento di circa 8 milioni di metri cubi su una superficie di oltre 42000 ha. In seguito a questo disturbo, nel 2019 è stato avviato uno studio attraverso il quale osservare e monitorare le dinamiche di rinnovazione a seguito di un disturbo da vento di questa portata. Le aree studio permanenti sono state istituite in località Ospitale nel Comune di Cortina d'Ampezzo. Le due aree analizzate sono state sottoposte a due tipologie di trattamenti: una è stata destinata ad essere lasciata a libera evoluzione (*no intervention*), mentre l'altra è stata completamente sgomberata dal materiale schiantato (*salvage logging*).

Dai rilievi è emerso come la rinnovazione di abete rosso sia fortemente preponderante in entrambe le aree. In percentuali molto minori è stata trovata rinnovazione di larice, pino silvestre e sorbo degli uccellatori.

Dal confronto tra le due aree è emerso un numero maggiore di rinnovazione nell'area *no intervention*, sia per quanto riguarda la rinnovazione totale, sia considerando i sottoinsiemi di rinnovazione non affermata (altezza ≤ 20 cm) e rinnovazione affermata (altezza > 20 cm). Si è dedotto, quindi, che la necromassa a terra è in grado di creare condizioni microclimatiche migliori per l'insediamento della rinnovazione, mentre la rimozione della necromassa tramite *salvage logging*, rende le condizioni di insediamento per la rinnovazione più difficoltose.

Un dato interessante è emerso dal confronto delle altezze tra le due aree. Considerando la rinnovazione non affermata, infatti, è risultata una differenza significativa tra le due forme di trattamento, in quanto le piante misurate nell'area *salvage logging* sono risultate significativamente più alte.

Si è svolto un confronto con i dati rilevati da Pressi nel 2021 per osservare il cambiamento del numero di rinnovazione ad un anno di distanza. È emersa una significativa diminuzione del numero di individui di rinnovazione, soprattutto nel sottoinsieme della rinnovazione non affermata, a dimostrazione della fase ancora primordiale delle dinamiche di rinnovazione, dove le piante sono fortemente sensibili ai vari stress ambientali.

È stato condotto anche uno studio sui danni presenti sulla rinnovazione, notando come l'area *no intervention* presenti una percentuale minore di danni all'interno della popolazione della rinnovazione, a dimostrazione del ruolo protettivo della necromassa sulla rinnovazione.

Con questo lavoro si è voluto continuare il lavoro iniziato nelle tesi di Marson (2019) e Pressi (2021), per cercare, assieme a studi futuri, di delineare un quadro completo sulle dinamiche di rinnovazione a seguito di un disturbo da vento, cercando, grazie al confronto tra le due aree, di capire le modalità migliori di intervento.

2. ABSTRACT

The Vaia storm hit many areas of the south-eastern Alps with very strong winds that exceeded 200km/h, causing windthrows for more than 8 million cubic meters on an area of over 42,000 ha. Following this disturbance, in 2019 a study was launched to study and monitor the regeneration dynamics after a windthrow of such magnitude. The study areas have been established in the locality of Ospitale, in the Municipality of Cortina d'Ampezzo. Two different treatments have been applied on the same area: one was destined to be left to free evolution (no intervention), while the other was totally salvage logged (salvage logging).

From the surveys it emerged that the regeneration of spruce is strongly predominant in both areas. In much smaller percentages, regeneration of larch, scots pine and rowan were found.

The comparison between the two areas revealed a greater number of regeneration individuals in the no intervention area, considering both total regeneration and the subsets of short-term regeneration (height ≤ 20 cm) and advanced regeneration (height > 20 cm). It was therefore deduced that the deadwood on the ground is able to create better microclimatic conditions for regeneration establishment, while salvage logging lead to a worst microclimatic conditions for regeneration establishment.

Interesting results emerged from the comparison of the regeneration height between the two areas. Short-term regeneration shows significant differences in height between the two treatments, since the plants measured in the salvage logging area were significantly higher.

A comparison was made with the data collected by Pressi in 2021 to observe the change in the number of regeneration one year later. A significant reduction in seedlings number has been observed, especially among the short-term regeneration, compared to the 2021 survey, showing the still primordial phase of the regeneration dynamics, where the seedlings are strongly exposed to many environmental stress.

A study was also conducted on the damage present on renovation, noting that the area without intervention presents a lower percentage of damage within the population, demonstrating the role of the deadwood.

The aim of this thesis is to continue the monitoring program begun by Marson (2019) and Pressi (2021), to try, together with future studies, to outline a complete picture on the dynamics of renovation following a wind disturbance, seeking, thanks to the comparison between the two areas, to understand the best methods of intervention. Trying to outline a

complete picture of the short-term regenerations' dynamics in the area after windstorm. In particular, I aim to identify the most appropriate management strategy between salvage logging and no intervention, taking into account regeneration necessity and dynamics.

3. INTRODUZIONE

Tra il 28 e il 30 ottobre 2018 molte zone delle Alpi sud-orientali sono state colpite da fortissimi venti che hanno superato i 200 km/h, provocando gravissimi danni alle foreste della Lombardia, del Veneto, del Trentino-Alto Adige e del Friuli-Venezia Giulia.

L'evento è stato rinominato dai meteorologi "tempesta Vaia" e ha provocato l'abbattimento di circa 8 milioni di metri cubi su una superficie di oltre 42000 ha, motivo per cui è considerato il più importante disturbo da vento avvenuto recentemente in Italia. (Motta et al., 2018).

Dal punto di vista selvicolturale, questo evento ha avuto un ruolo molto rilevante in quanto ha comportato, come già riportato, ingenti perdite di materiale legnoso, maggiori costi di utilizzazione compromettendo al contempo la pianificazione forestale e alterando il paesaggio.

Dal rapporto INFC2015 (Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi di Carbonio) si evince come la superficie forestale in Italia sia raddoppiata nell'ultimo secolo. Una delle cause sarebbe l'abbandono di molte terre un tempo coltivate, con un conseguente avanzamento del bosco lungo i suoi margini. (Conti, Fagarazzi, 2005)

Una delle chiavi di lettura dell'evento Vaia potrebbe essere proprio questa, ovvero un'elevata presenza di boschi non gestiti e con un'alta densità potrebbe essere maggiormente vulnerabile all'azione del vento. (Anyomi, Mitchell & Ruel, 2016)

Eppure, le superfici interessate dalla tempesta erano perlopiù gestite. Ci sono popolamenti maggiormente sensibili per la loro struttura e composizione, ma comunque, gli schianti dell'ottobre 2018 hanno interessato una grande varietà di categorie forestali, tipi strutturali e di piani altitudinali. Infatti, quando il vento supera una certa velocità, tutti i fattori qui sopra indicati, svolgono un ruolo marginale, essendo le forze di resistenza dell'albero molto inferiori rispetto a quelle esercitate dalla massa d'aria (Motta et al., 2018).

Gli schianti da vento sono comunque un fenomeno naturale e danno vita alla successione ecologica, ovvero il processo mediante il quale le specie si rigenerano in seguito al disturbo. Il percorso intrapreso dalla successione è influenzato dal tipo di disturbo, dal clima e dalle condizioni atmosferiche, così come dall'interazione tra le specie (Kotar, 1997). Grazie alle successioni, le foreste sono in grado di rinnovarsi e crescere. Inoltre, lo schianto di un certo numero di piante, permette di ricreare delle condizioni ottimali per la colonizzazione anche di specie che potevano essere meno competitive all'interno del popolamento pre-disturbo, portando, di conseguenza, ad un arricchimento della biodiversità dei boschi (Oheimb et al., 2007).

Non è sempre possibile, però, attendere i naturali tempi delle successioni forestali, in quanto, in certe situazioni sensibili dove il bosco possiede una funzione di protezione, c'è la necessità di tornare presto alla situazione di una buona copertura forestale.

Proprio a tal proposito, a seguito di un forte disturbo naturale come Vaia, tra le strategie di gestione post-disturbo adottate, una delle più comuni è rispondere all'evento con l'esbosco di tutto il materiale schiantato, ovvero il *salvage logging* (Bottero, Garbarino, Long & Motta, 2013).

Eppure, non sempre questa è l'unica possibilità d'intervento; infatti, andando ad asportare tutto il materiale legnoso, si va ad eliminare la funzione di protezione del suolo svolta dalla necromassa, rendendo il terreno molto più soggetto a fenomeni gravitativi. Una possibilità può essere quella di non intervenire, lasciando che la superficie colpita segua i naturali tempi delle dinamiche forestali.

In zone particolarmente sensibili per la funzione di protezione svolta dal bosco, un'alternativa potrebbe essere quella di lasciare a terra il materiale schiantato e in contemporanea andare a rimboschire, in modo da accelerare i normali tempi di rinnovazione delle foreste (Wohlgemuth, Schwitter, Bebi, Sutter & Brang, 2017).

3.1.1 Il salvage logging

Il *salvage logging* è la pratica di esbosco in un'area boschiva colpita da un disturbo naturale. Queste operazioni hanno certamente un ruolo importante a livello economico; infatti, uno degli obiettivi è quello di recuperare tutto il materiale schiantato salvando l'investimento. Al contempo si devono considerare le possibili conseguenze da un punto di vista ecologico di queste operazioni. Infatti, tali lavorazioni possono alterare ed asportare la necromassa, avente un ruolo fondamentale per le successioni forestali.

Inoltre, queste operazioni possono andare ad intaccare e modificare gli equilibri già duramente provati dal disturbo naturale, andando a modificare gli habitat, alterando la composizione del popolamento e, talvolta, facilitando l'ingresso di specie invasive (Lindenmayer & Noss, 2006).

3.1.2 L'opzione no intervention

Tra le strategie di gestione a seguito di un disturbo naturale, c'è anche l'opzione del non intervento. Come già detto, questo può avere una grande importanza nel caso di foreste di protezione: infatti il materiale schiantato aumenta la rugosità data dall'altezza efficace del materiale a terra rispetto al suolo (Wohlgemuth, Schwitter, Bebi, Sutter, & Brang, 2017); inoltre, la necromassa ha un ruolo nell'impedire la formazione di strati continui nevosi i quali potrebbero dar vita a fenomeni valanghivi, nel bloccare fenomeni di caduta massi e nel contrastare i danni da brucamento alla rinnovazione. Infatti, le piante schiantate possono andare ad ostacolare determinate specie di ungulati. Da una ricerca svolta in Svizzera dopo le tempeste Lothar e Vivian, si è visto come il cervo sia una specie che difficilmente si inoltra all'interno delle aree schiantate, mentre, a differenza, il camoscio non si lascia ostacolare da questo fattore (Wohlgemuth, Schwitter, Bebi, Sutter & Brang, 2017). Infine, si deve tenere conto di come la necromassa sia di fondamentale importanza per la biodiversità forestale e, una volta avvenuta la decomposizione del legno, fornisca un substrato favorevole alla rinnovazione (Motta, 2020).

3.2 Obiettivi

L'obiettivo di questa tesi è quello di comprendere le dinamiche di rinnovazione forestale in seguito ad un disturbo da vento, proseguendo il monitoraggio svolto nelle precedenti tesi Marson 2019 e Pressi 2021.

In particolare, i rilievi si sono svolti all'interno di due aree di monitoraggio permanenti sottoposte a due diverse modalità di gestione: *salvage logging* e *no intervention*. L'obiettivo è quello di vedere se le due diverse modalità di gestione hanno effetti significativamente diversi sulle dinamiche di rinnovazione nelle due aree, anche considerando l'influenza della necromassa sulla rinnovazione.

4. MATERIALI E METODI

4.1 Inquadramento aree studio

Le aree di studio si trovano nel comune di Cortina d'Ampezzo. Il territorio ampezzano è, per la maggior parte, di proprietà regoliera e si sviluppa prevalentemente nel bacino della Val Boite, lungo la Valle d'Ampezzo, intorno ai massicci dolomitici delle Tofane, del Cristallo, della Croda Rossa e del Sorapis.

Le aree permanenti trattate sono state concesse dalle Regole d'Ampezzo e si trovano nel distretto regoliere di Ospitale.

Il distretto di Ospitale presenta uno sviluppo altimetrico che va da 1050 a 2250 m s.l.m. e si ubica a Sud della Croda Rossa e coincide con lo spartiacque che da Cimabianche, sale al Cristallo, scende al Passo Tre Croci e si congiunge con il Sorapis.

All'interno di questo distretto sono state individuate le due aree studio permanenti con diversa tipologia di intervento post Vaia: area non esboscata, indicata con la sigla OSNI (*Ospitale No Intervention*) e un'area esboscata indicata con la sigla OSSL (*Ospitale Salvage Logging*).

4.1.1 Area Ospitale *no intervention* (OSNI)

L'area OSNI (Ospitale *no intervention*) (figura 2.1) si trova all'interno della particella forestale 245/A e nel Piano di Assestamento del 2004 è descritta come una pineta di pino silvestre endalpica con abete rosso. Si tratta, infatti, di un popolamento misto comprendente per lo più pino silvestre e abete rosso, accompagnati da larice e pino cembro subordinati. Nella parte soprastante il rifugio Ospitale si trova della rinnovazione di abete rosso. Questa corrisponde alla parte più fertile dell'area. Più a monte il terreno diviene più ripido e superficiale, perdendo di fertilità. In questa area si trovano per lo più esemplari di pino silvestre. Si notano movimenti franosi e fenomeni di colate detritiche dovute alla pendenza (figura 2.2). La pendenza media, infatti, si aggira attorno i 30°.



Figura 2.1: Area Ospitale *No intervention*



Figura 2.2: movimenti franosi nell'area OSNI

4.1.2 Area Ospitale salvage logging (OSSL)

L'area sottoposta ad esbosco (OSSL) (Figura 2.3) si trova nella particella 243. Questa particella è caratterizzata da una pecceta altimontana su substrati carbonatici e pineta di pino silvestre endalpica con abete rosso. La pendenza è sicuramente minore rispetto all'area descritta in precedenza; questa si aggira mediamente attorno ai 9°. Per questo motivo i fenomeni franosi e valanghivi risultano quasi assenti.

Il popolamento forestale è costituito in larga parte da una giovane perticaia di abete rosso, con alberi stentati e con scarso valore produttivo.



Figura 2.3: Area Ospitale salvage logging

4.2 Rilievi in campo

I rilievi per la raccolta dei dati si sono svolti nel mese di settembre 2022. Le attività hanno avuto luogo nelle aree di studio permanenti allestite tra luglio e novembre 2019 in occasione di una collaborazione tra l'Università degli Studi di Padova e le Regole d'Ampezzo (Marson, 2019; Pressi, 2021).

Nel 2019 sono state, dapprima, delimitate le aree di studio attraverso dei pali di un'altezza di 2 metri. All'interno delle aree si sono sistemati dei punti fissi, indicati sempre con dei picchetti numerati. Per ogni area sono stati individuati 25 punti fissi disposti in maniera uniforme sulla superficie, utilizzati in questa tesi come punti centrali di aree di saggio con un raggio di 4 metri. I picchetti presentano un numero progressivo, quindi, da 1 a 25. Questi punti sono stati, nei lavori precedenti a questo, geolocalizzati.

Come già accennato, i rilievi si sono svolti all'interno di aree circolari con raggio pari a 4 metri. All'interno di ogni area di saggio (25 aree nell'area *No intervention* e 25 in quella *Salvage logging*) sono state rilevate tutte le piante forestali presenti, indicando il numero di piante per specie, l'altezza di ogni singola pianta ed eventuali danni come disseccamenti e/o danni da brucatura.

La perimetrazione è stata svolta tramite cordella metrica. In ogni area di saggio è stata rilevata tutta la rinnovazione non affermata (<20 cm) e affermata (>20 cm), fino a piante con un'altezza di 2 metri, altezza massima indicata da diverse PMPF come Marche e Piemonte per la rinnovazione affermata (novellame), nonché per mantenere uniformità col protocollo utilizzato durante le precedenti fasi del monitoraggio.

Per ogni pianta si è identificata la specie, misurata l'altezza da terra e annotati eventuali danni come disseccamenti o danni da brucatura.

4.3 Database

Una volta raccolti i dati, è stato creato un file di lavoro con Microsoft Excel tramite cui sono stati raggruppati tutti i dati. Sono stati creati due diversi fogli di lavoro, uno per l'area OSSL e uno per l'area OSNI, ed è stato possibile così analizzare la numerosità delle piante divise per le due aree, per specie, per altezza e svolgere eventuali analisi sullo stato di salute delle piante rilevate. (Tabella 2.1).

La rinnovazione, come già accennato, è stata suddivisa in due categorie: rinnovazione non affermata, quella con un'altezza ≤ 20 cm e la rinnovazione affermata, la rinnovazione con un'altezza maggiore di 20 cm.

Questa scelta è stata presa anche per dare una continuità nel tempo ai lavori pubblicati nelle Tesi di Marson nel 2019 e di Pressi nel 2021, i quali hanno utilizzato proprio questo valore di 20 cm per distinguere le due tipologie di rinnovazione, in modo tale da poter fare un confronto dei dati nel tempo utilizzando valori analoghi.

Nel database sono state utilizzate le seguenti voci per indicare le diverse specie rilevate:

- PA: *Picea abies* (L.) – Abete rosso
- AA: *Abies alba* (Mill.) – Abete bianco
- LD: *Larix decidua* (Mill.) – Larice
- PS: *Pinus sylvestris* (L.) – Pino silvestre
- SA: *Sorbus aucuparia* (L.) – Sorbo degli uccellatori

id_plot	Area	Plot	Data	specie	Altezza	brucato	disseccamenti	danni	note
OSNI_1	OSNI	1	22/09/2022	PS	70				
OSNI_1	OSNI	1	22/09/2022	PS	122				
OSNI_1	OSNI	1	22/09/2022	PS	30				
OSNI_1	OSNI	1	22/09/2022	PS	80				
OSNI_1	OSNI	1	22/09/2022	PS	92				
OSNI_1	OSNI	1	22/09/2022	PS	10				
OSNI_1	OSNI	1	22/09/2022	PA	12				
OSNI_1	OSNI	1	22/09/2022	PA	19				
OSNI_1	OSNI	1	22/09/2022	PA	19				
OSNI_1	OSNI	1	22/09/2022	PA	20				
OSNI_1	OSNI	1	22/09/2022	PA	21				
OSNI_1	OSNI	1	22/09/2022	PA	24				
OSNI_1	OSNI	1	22/09/2022	PA	25				
OSNI_1	OSNI	1	22/09/2022	PA	30				

Tabella 2,1: esempio di una sezione del database dove per ogni pianta sono specificati in ordine: codice identificativo dell'area di saggio "id_plot", la data in cui è stata rilevata, la specie, l'altezza ed eventuali danni da brucamento, disseccamenti o danni in generale. Le caselle indicate come "area" e "plot" sono state utilizzate per creare il codice identificativo.

4.4 Analisi statistiche

Per le analisi statistiche è stato utilizzato il programma Microsoft Excel e il software Past (versione 4.09).

Sono stati effettuati dei confronti tra le due aree prese in esame (*No intervention* e *salvage logging*), considerando il numero totale di piante, le piante di altezza uguale o inferiore ai 20 cm (rinnovazione non affermata) e le piante superiori ai 20 cm (rinnovazione affermata). I confronti sono stati svolti sui valori di numerosità e altezza di piante, calcolando la differenza tra i due trattamenti.

Per capire se è presente una differenza significativa tra le due tipologie di trattamenti sono stati eseguiti i seguenti test statistici:

- Il test del Chi-quadrato per le analisi sulla numerosità, che utilizza le proporzioni tra le componenti dei due gruppi considerati. Se dal test risulta un $p > 0,05$, significa che le due frequenze sono statisticamente uguali e, quindi, si accetta l' H_0 , ovvero le due variabili categoriche sono indipendenti.
- Il t-test, per le rielaborazioni sulle altezze, utilizzando come valore di riferimento la media dei due campioni considerati. In questo caso, con valori di p-value $< 0,05$, si deve rifiutare l'ipotesi nulla, in altri termini, i due campioni sono statisticamente e significativamente diversi tra loro.

Sono inoltre stati eseguiti dei confronti con i dati di numerosità della rinnovazione rilevata nel 2021 da Pressi. I confronti si sono effettuati sulle piante di rinnovazione non affermata e affermata, applicando anche in questo caso un test Chi-quadrato, cercando l'esistenza di una differenza statisticamente significativa nella numerosità delle piante rilevate negli anni.

Infine, sono stati effettuati dei confronti tra le due aree, *no intervention* e *salvage logging*, sulla quantità di rinnovazione presentante danni.

5. RISULTATI

Un primo confronto è stato effettuato osservando la numerosità tra le due aree (Fig. 3.1) e come questa sia rappresentata nel sottoinsieme di rinnovazione non affermata (Fig. 3.2) e in quello di rinnovazione affermata (Fig. 3.3).

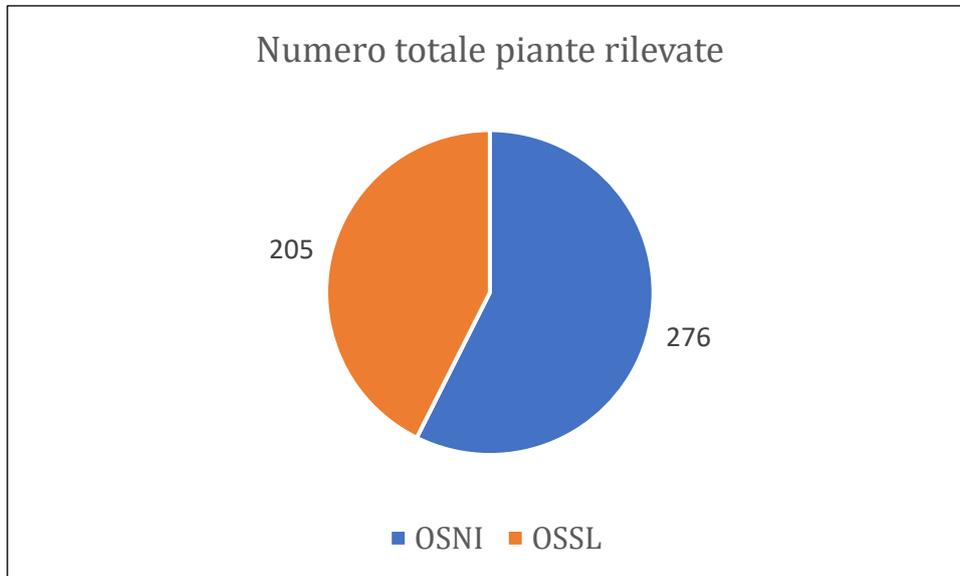


Figura 3.1: totale delle piante rilevate divise per le due aree studio

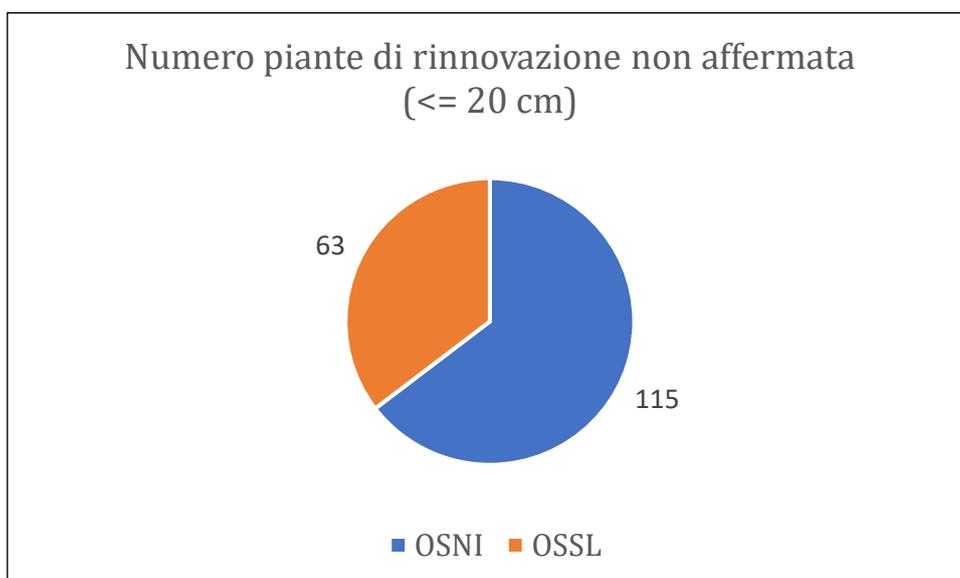


Figura 3.2: numerosità della rinnovazione non affermata (altezza <=20cm) rilevata divisa nelle due aree di studio

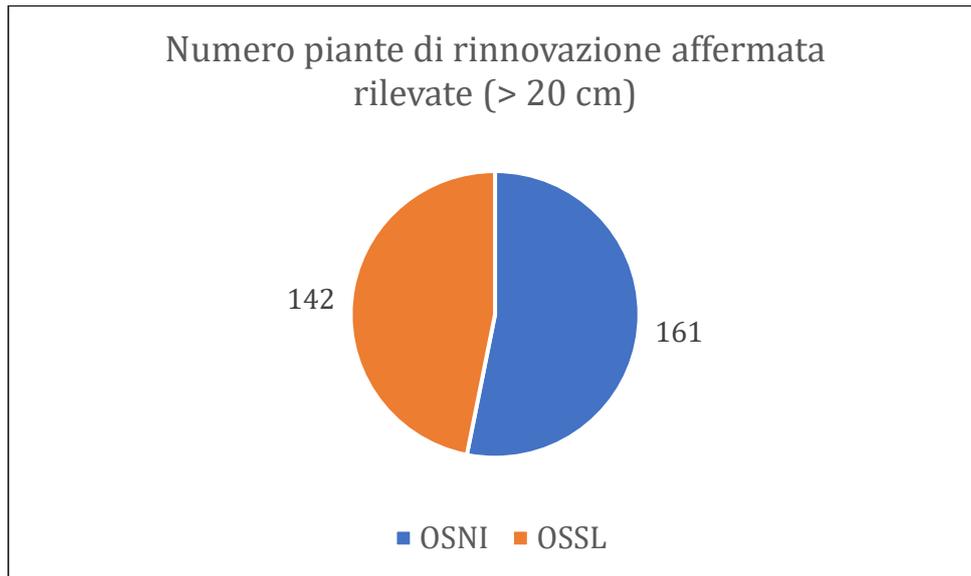


Figura 3.3: numerosità della rinnovazione affermata (altezza >20cm) rilevata divisa nelle due aree studio

Tra le due aree analizzate si denota una differenza poco marcata considerando le piante rilevate in totale; infatti, sono state misurate 205 piante nell'area *salvage logging* e 276 piante nell'area *no intervention*.

Le differenze sono più marcate considerando la rinnovazione non affermata: in questo caso la rinnovazione dell'area NI ha un numero quasi doppio (115 piante) rispetto alla rinnovazione dell'area SL (63 piante).

Situazione più equilibrata, invece, considerando solo la rinnovazione affermata, avendo misurato 142 piante nell'area *salvage logging* e 161 piante nell'area *no intervention*.

Si è poi proceduto andando ad analizzare più nel dettaglio la distribuzione delle specie rilevate nelle due aree studio, per quanto riguarda la numerosità e l'altezza media, considerando sia il campione totale delle piante rilevate, sia la suddivisione tra la rinnovazione non affermata e quella affermata.

L'abete rosso (*Picea abies* (L.) H. Karst) è certamente la specie presente con maggior frequenza tra le piante rilevate sia nell'area *salvage logging* (Fig. 3.4), sia nell'area *no intervention* (Fig. 3.5) mentre la presenza di altre specie risulta essere di molto inferiore. Le altre specie rilevate sono state larice (*Larix decidua* Mill.), pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.), sorbo degli uccellatori (*Sorbus aucuparia* L.), abete bianco (*Abies alba* Mill.).

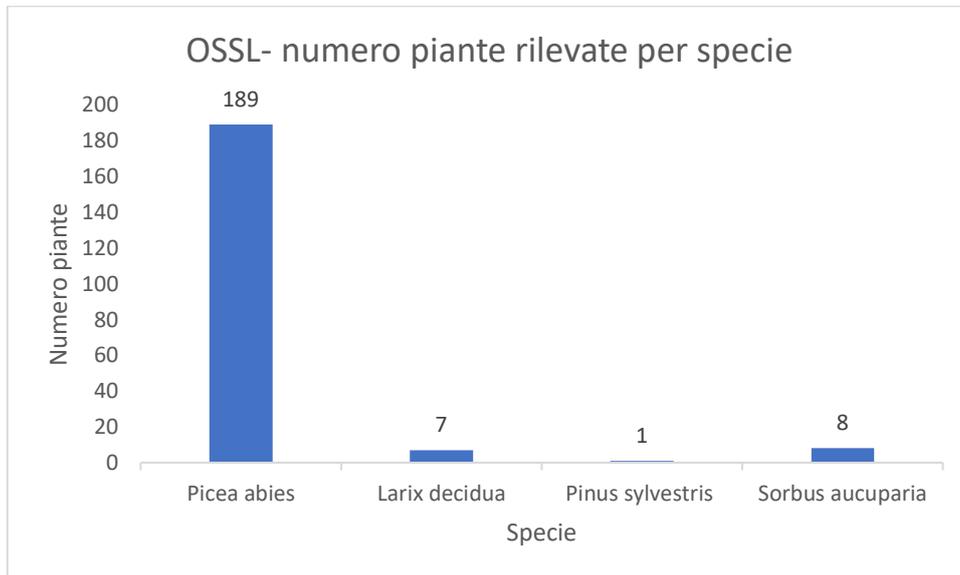


Figura 3.4: abbondanza specifica in zona *salvage logging*

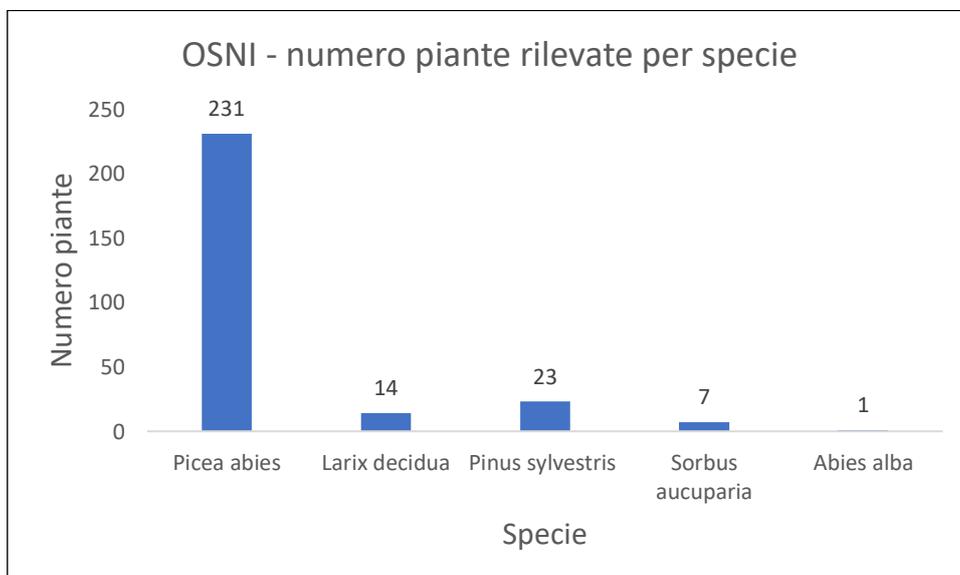


Figura 3.5: abbondanza specifica in zona *no intervention*

È stato poi svolto un confronto tra le due aree analizzate (*salvage logging* e *no intervention*) suddividendo la rinnovazione non affermata (Fig. 3.6) e la rinnovazione affermata (Fig. 3.7). Una differenza notevole si è trovata tra il numero di *abeti rossi* non affermati dove la differenza è di 29 piante tra l'area NI e l'area SL.

Differenza considerevole tra le due aree anche nel numero di piante di pino silvestre per quanto riguarda la rinnovazione non affermata, dove si è trovata un'unica pianta nell'area *salvage logging* contro le 15 dell'area *no intervention*.

Differenza riscontrata anche nel numero di larici presenti nelle due aree: 7 nell'area *salvage logging* e 13 nell'area *no intervention*.

Differenza minore, invece, per quanto riguarda i sorbi non affermati.

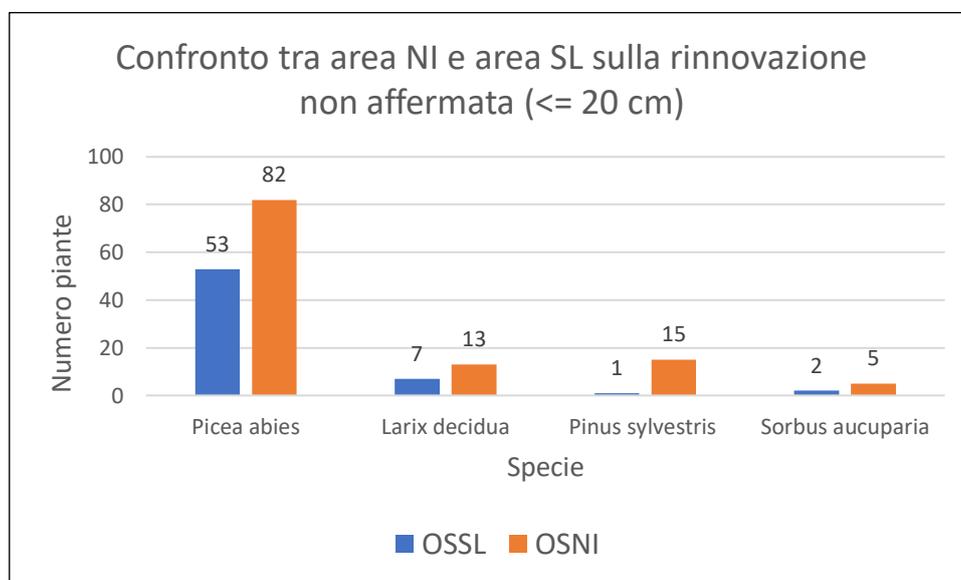


Figura 3.6: confronto della rinnovazione non affermata tra l'area *no intervention* (OSNI) e l'area *salvage logging* (OSSL)

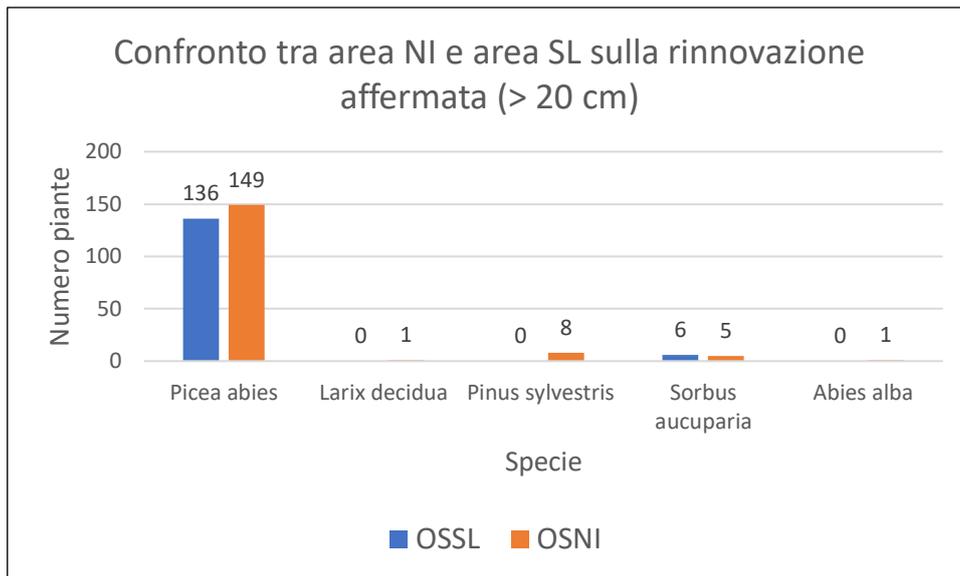


Figura 3.7: confronto della rinnovazione affermata tra l'area *no intervention* (OSNI) e l'area *salvage logging* (OSSL)

Per verificare l'effettiva esistenza significativa di una differenza tra le due aree studio nella proporzione delle specie tra l'opzione *no intervention* e quella *salvage logging*, è stato effettuato un test Chi-quadrato (Tab. 3.1).

(a) Chi squared - Rinnovazione totale			
Rows, columns:	2, 5	Degrees freedom:	4
Chi2:	17,671	p (no assoc.):	0,001431
Monte Carlo p :	0,0012		

(b) Chi squared - Rinnovazione non affermata			
Rows, columns:	2, 5	Degrees freedom:	3
Chi2:	6,9691	p (no assoc.):	0,072889
Monte Carlo p :	NA		

(c) Chi squared - Rinnovazione affermata			
Rows, columns:	2, 5	Degrees freedom:	4
Chi2:	9,1495	p (no assoc.):	0,05747
Monte Carlo p :	0,0214		

Tabella 3.1: test Chi-quadrato effettuati sulla differenza di numerosità della rinnovazione tra lo zona OSNI e la zona OSSL. In (a) i risultati del test effettuati sul campione totale, in (b) i risultati sulla rinnovazione non affermata e in (c) i risultati sulla rinnovazione affermata.

Sono state osservate differenze di numerosità significative, con 3 gradi di libertà e con un valore di $p\text{-value} < 0,05$, nel totale della rinnovazione rilevata. Per quanto riguarda la numerosità di rinnovazione non affermata e affermata, le differenze non risultano significative con un $p\text{-value} > 0,05$.

Passando ad analizzare le altezze della rinnovazione totale (Fig. 3.8), della rinnovazione non affermata e della rinnovazione affermata (Fig. 3.9), si è voluto andare a verificare o meno se tra le due aree di studio ci fossero differenze significative in base alla forma di trattamento, andando ad applicare un test t (Tab. 3.2).

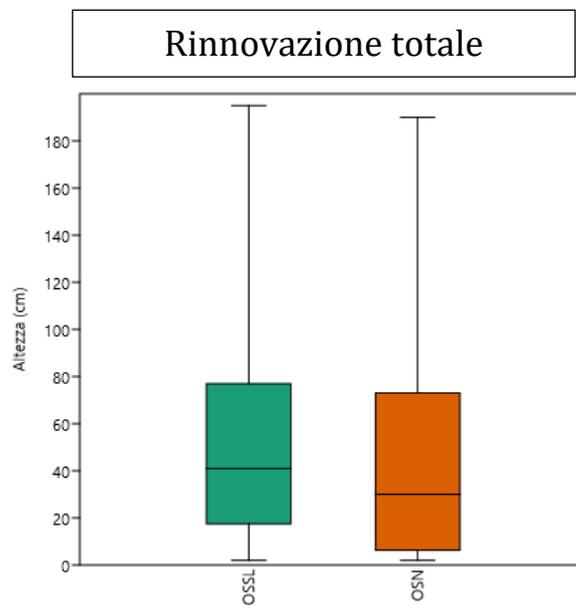


Figura 5.8: confronto tra le altezze delle piante rilevate in zona OSNI e OSSO.

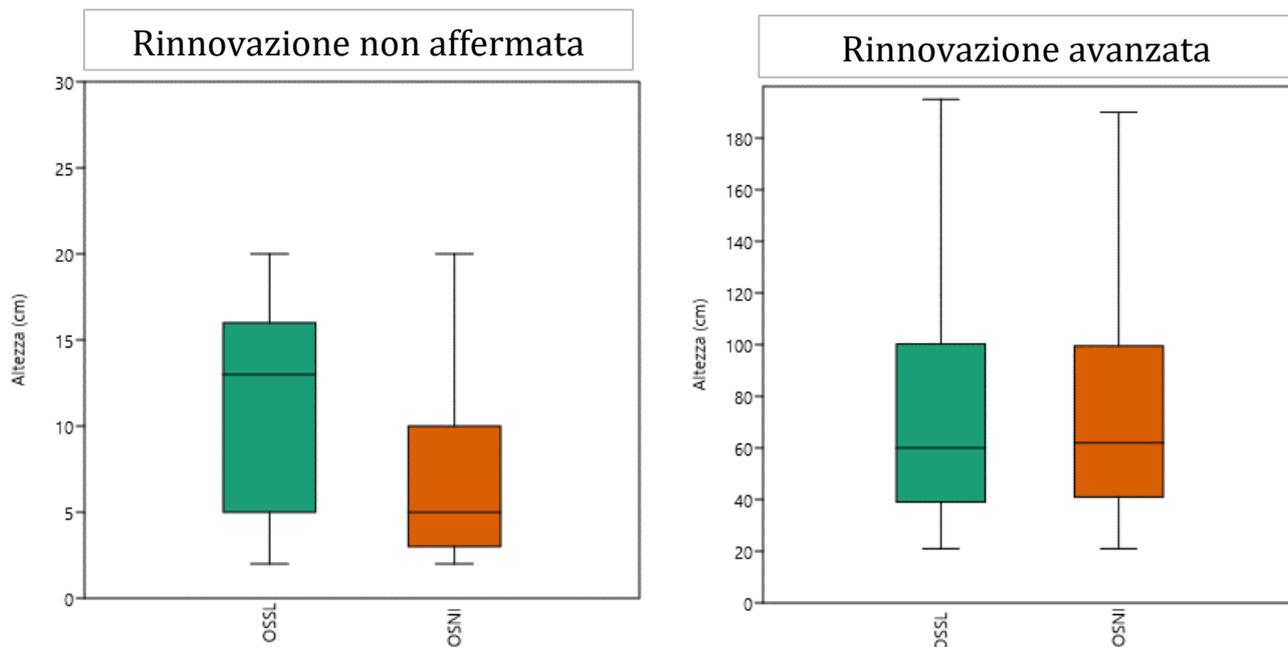


Figura 3.9: confronto tra le altezze delle piante rilevate in zona OSNI e OSSL. A sinistra, il grafico sulla rinnovazione non affermata e a destra quello sulla rinnovazione affermata (avanzata).

Test t sulla media dell'altezza (cm)					
	Media area OSNI	Media area OSSL	Diff. tra media	t	p-value
Totale	46,66	55,05	8,40	1,9444	0,0524
Rinnovazione non affermata	7,27	11,60	4,33	4,9289	1,9002E-06
Rinnovazione affermata	74,79	74,33	0,46	0,0916	0,9273

Tabella 3.2: test t sulle medie delle altezze della rinnovazione

Come intuibile anche dalle Figura 3.9, dai test t svolti sulle medie delle altezze, una differenza significativa è risultata tra le due aree per quanto riguarda la rinnovazione non affermata con un p-value<0,05.

Per quanto riguarda, invece, la rinnovazione totale e la rinnovazione affermata, non sono risultate differenze significative tra le medie delle altezze delle due aree trattate.

5.1 Confronto con i rilievi sulla rinnovazione del 2021

Sono stati confrontati i dati rilevati in occasione di questa tesi con i dati registrati nel 2021, in modo da poter portare avanti il monitoraggio iniziato nel 2019 e osservare quindi l'evoluzione della situazione. È stato svolto un primo confronto sulla rinnovazione con altezza inferiore o uguale ai 20 cm, sono stati confrontati i valori registrati sia per le singole specie che per il totale, i valori rilevati sono quindi rapportati alla numerosità all'ettaro (Tab. 3.3).

Altezza <= 20 cm							
Area	Specie	2021		2022		Differenza	
		n° piante	n° /ha	n° piante	n° /ha	n° piante	n° /ha
OSNI	Picea abies	288	2293	82	653	-206	-1640
	Larix decidua	0	0	13	104	13	104
	Pinus sylvestris	19	151	15	119	-4	-32
	Abies alba	0	0	0	0	0	0
	Sorbus aucuparia	3	24	5	40	2	16
	Totale	310	2468	115	916	-195	-1553
OSSL	Picea abies	222	1768	53	422	-169	-1346
	Pinus sylvestris	3	24	1	8	-2	-16
	Sorbus aucuparia	5	40	2	16	-3	-24
	Larix decidua	0	0	7	56	7	56
	Totale	230	1831	63	446	-174	-1385

Tabella 3.3: confronto tra la rinnovazione con altezza inferiore ai 20 cm del 2021 e del 2022.

La rinnovazione non affermata in entrambe le aree ha dimostrato una diminuzione molto interessante, come anche graficamente mostrato nella Figura 3.10. La differenza più grande la si nota con la rinnovazione di abete rosso, dove, a seguito dei rilievi svolti, è stata calcolata una perdita di 1640 piante/ettaro nell'area *no intervention* e 1346 piante/ettaro nell'area *salvage logging*.

Un altro dato degno di nota è la comparsa in entrambe le aree di rinnovazione di larice, il quale, nel 2021, non presentava alcun esemplare di rinnovazione.

Per le altre specie rilevate non vi sono differenze degne di nota nella numerosità degli individui di rinnovazione, con una piccola diminuzione delle piante di pino silvestre in

entrambe le aree; situazione abbastanza stabile per il sorbo, il quale presenta un leggero aumento (+2 piante) nell'area OSNI ed una piccola diminuzione nell'area OSSL (-3 piante).

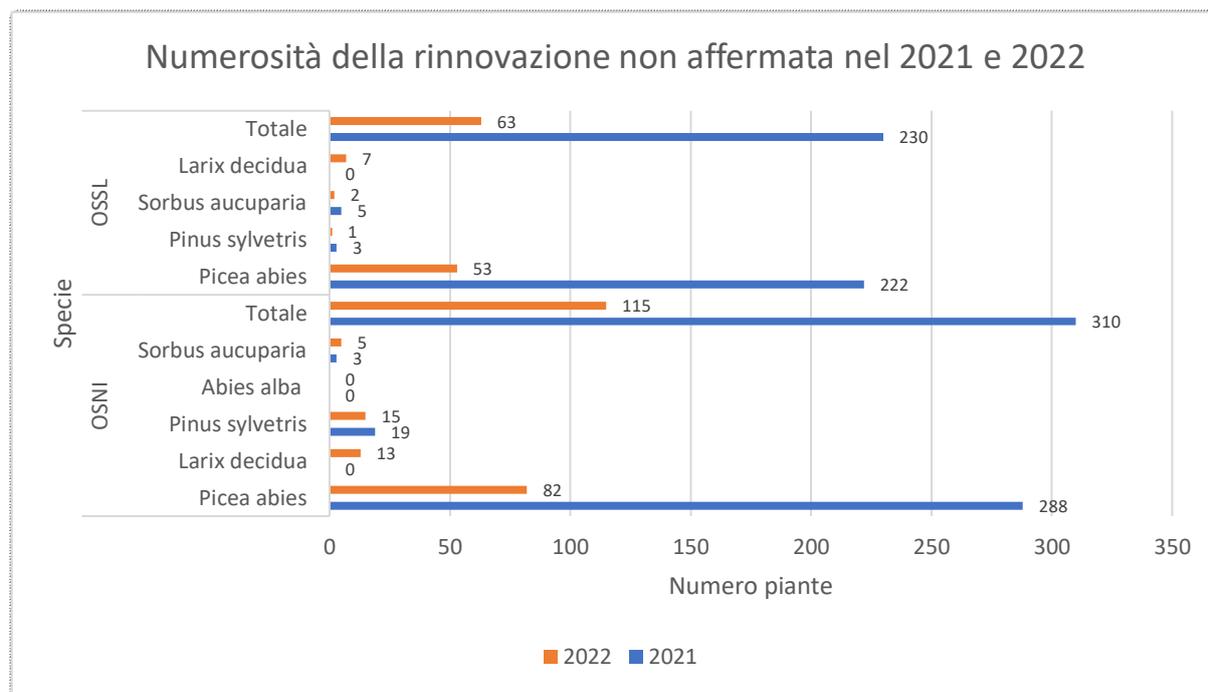


Figura 3.10: confronto tra la rinnovazione con altezza inferiore/uguale ai 20 cm rilevata nel 2021 e 2022 per le aree *no intervention e salvage logging*.

Per confermare una significativa differenza nella numerosità delle specie tra il 2021 e 2022 è stato effettuato un test del Chi-quadrato sulle due aree studio (Tab. 3.4).

Chi squared - OSNI rinnovazione non affermata 2021-2022				Chi squared-OSSL rinnovazione non affermata 2021-2022			
Rows, columns:	5, 2	Degrees freedom:	3	Rows, columns:	4, 2	Degrees freedom:	3
Chi2:	49,643	p (no assoc.):	<0.000001	Chi2:	26,601	p (no assoc.):	7,14E-06
Monte Carlo p :	NA			Monte Carlo p :	0,0002		

Tabella 3.4: test Chi-quadrato effettuato sulla differenza della rinnovazione non affermata tra il 2021 e il 2022. A sinistra il test riferito all'area OSNI e a destra il test riferito all'area OSSL.

In entrambe le aree è stato osservato un p-value < 0,05, per cui è stato possibile affermare statisticamente la presenza di una differenza significativa tra i due gruppi.

Si è proceduto, poi, con effettuare il medesimo confronto sull'abbondanza specifica e sul totale della rinnovazione affermata, con un'altezza superiore ai 20 cm (Tab. 3.5).

Altezza > 20 cm							
Area	Specie	2021		2022		Differenza	
		n° piante	n° /ha	n° piante	n° /ha	n° piante	n° /ha
OSNI	Picea abies	165	1313	149	1186	-16	-127
	Larix decidua	0	0	1	8	1	8
	Pinus sylvestris	9	72	8	64	-1	-8
	Abies alba	0	0	1	8	1	8
	Sorbus aucuparia	0	0	5	40	5	40
	Totale	174	1385	164	1306	-10	-79
OSSL	Picea abies	177	1409	136	1083	-41	-326
	Pinus sylvestris	8	64	0	0	-8	-64
	Sorbus aucuparia	4	32	6	48	2	16
	Totale	189	1505	142	1131	-47	-374

Tabella 3.5: confronto tra la rinnovazione con altezza superiore ai 20 cm del 2021 e 2022.

Anche in questo caso si nota una diminuzione delle piante in entrambe le aree (Fig. 3.11), in particolare nella specie abete rosso. La differenza più marcata la si trova nell'area *salvage logging* con una differenza, rispetto al 2021, di 41 piante.

Nell'area *no intervention* la situazione, per quanto riguarda il larice, il pino silvestre e l'abete bianco è pressoché stabile. Si nota un aumento di sorbo degli uccellatori di 5 piante rispetto al 2021. La differenza più significativa la si ha, anche in questo caso, con l'abete rosso, dove si è registrata una perdita di 16 piante rispetto al 2021.

Nell'area *salvage logging*, invece, oltre alla perdita di abete rosso, c'è una accentuata diminuzione di pino silvestre (-8), con una perdita di tutti gli esemplari misurati nel 2021; infine, un leggero aumento dei sorbi (+2).

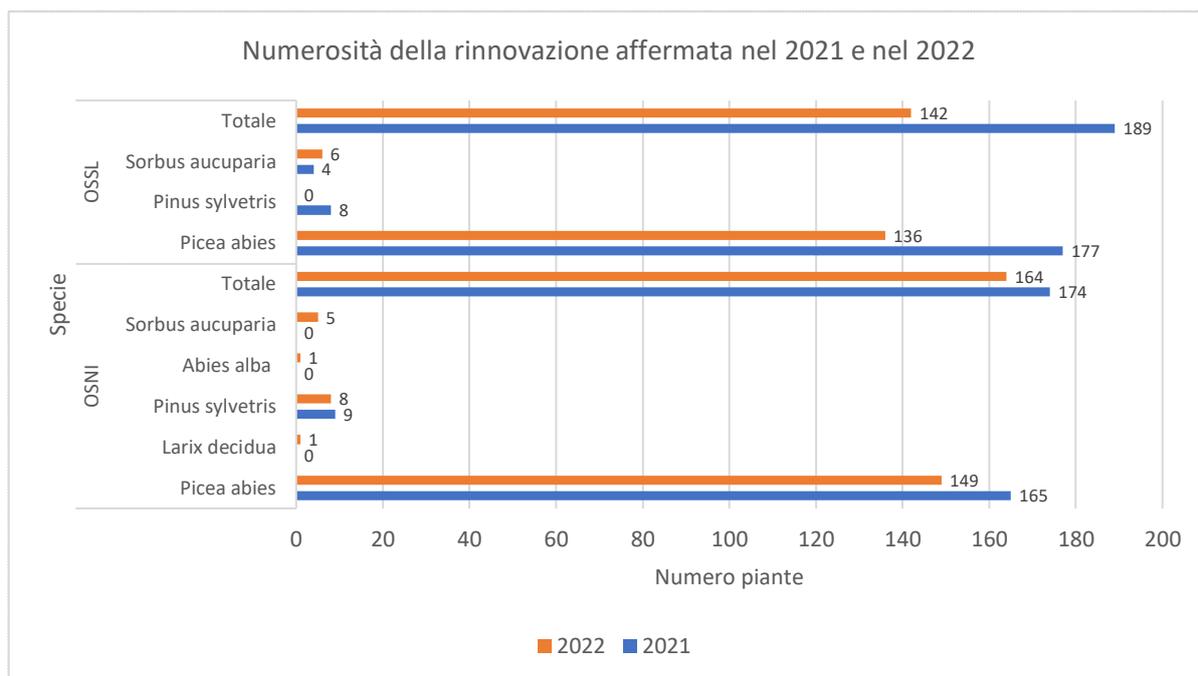


Figura 3.11: confronto tra la rinnovazione con altezza superiore ai 20 cm rilevata nel 2021 e nel 2022 per le aree OSNI e OSSL.

Anche in questo caso è stato applicato il test del Chi-quadrato per vedere se nelle due aree ci fosse una differenza significativa nella numerosità delle specie tra il 2021 e il 2022 (Tab. 3.6).

Tabella 3.6: test Chi-quadrato sulla differenza della rinnovazione affermata tra il 2021 e il 2022. A sinistra il test riferito all'area OSNI e a destra il test riferito all'area OSSL.

Chi squared - OSNI rinnovazione affermata 2021-2022			
Rows, columns:	5, 2	Degrees freedom:	4
Chi2:	7,5849	p (no assoc.):	0,10802
Monte Carlo p:	0,0609		

Chi squared - OSSL rinnovazione affermata 2021-2022			
Rows, columns:	3, 2	Degrees freedom:	2
Chi2:	7,2429	p (no assoc.):	0,026744
Monte Carlo p:	0,023		

Il test Chi-quadrato effettuato ha mostrato una differenza significativa con un p-value > 0,05 solo per l'area soggetta a *salvage logging*. Nessuna differenza significativa, invece, nell'area *no intervention*.

5.2 Danni

Oltre che al rilievo di specie e altezza della rinnovazione, si è proceduto con il rilevare la presenza di eventuali danni sulle piante in entrambe le aree trattate (Fig. 3.12). Nell'area *salvage logging* sono state individuate 31 piante presentanti danni, mentre 25 piante danneggiate sono state rilevate nell'area *no intervention*.

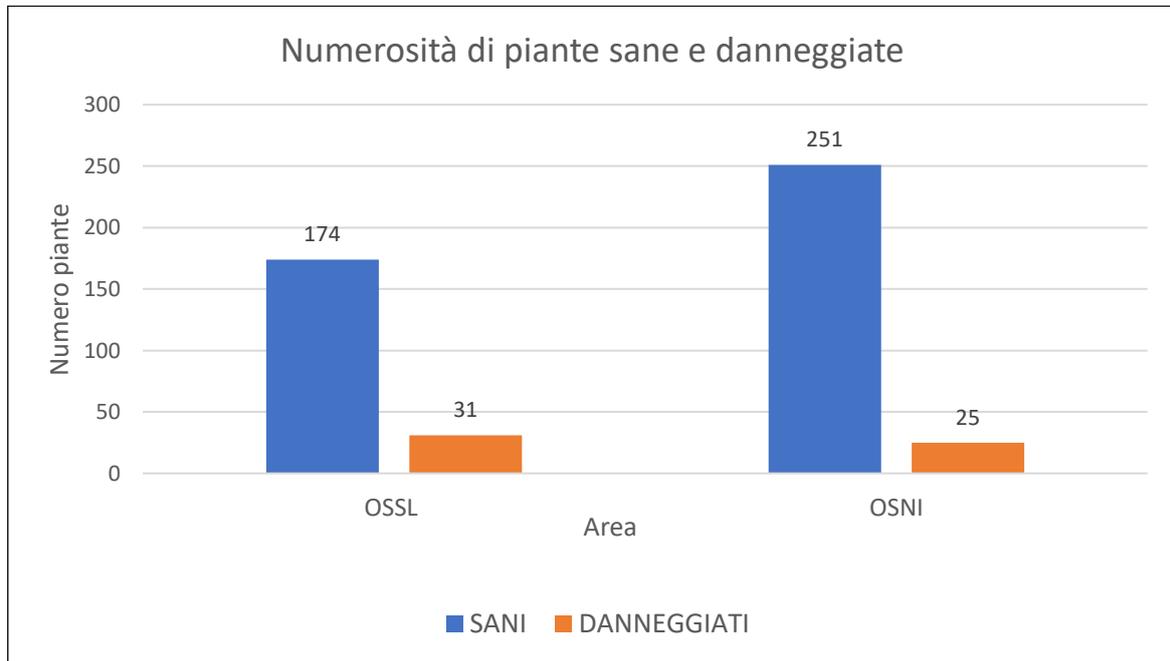


Figura 3.12: abbondanza di piante sane o danneggiate rilevate nelle due aree.

Si è voluto, infine, analizzare le specie più danneggiate sempre suddividendole nelle due aree OSNI e OSSL (Fig. 3.13). La specie presentante più danni è certamente l'abete rosso. Nell'area *salvage logging* sono stati trovati anche 4 sorbi degli uccellatori presentanti danni.

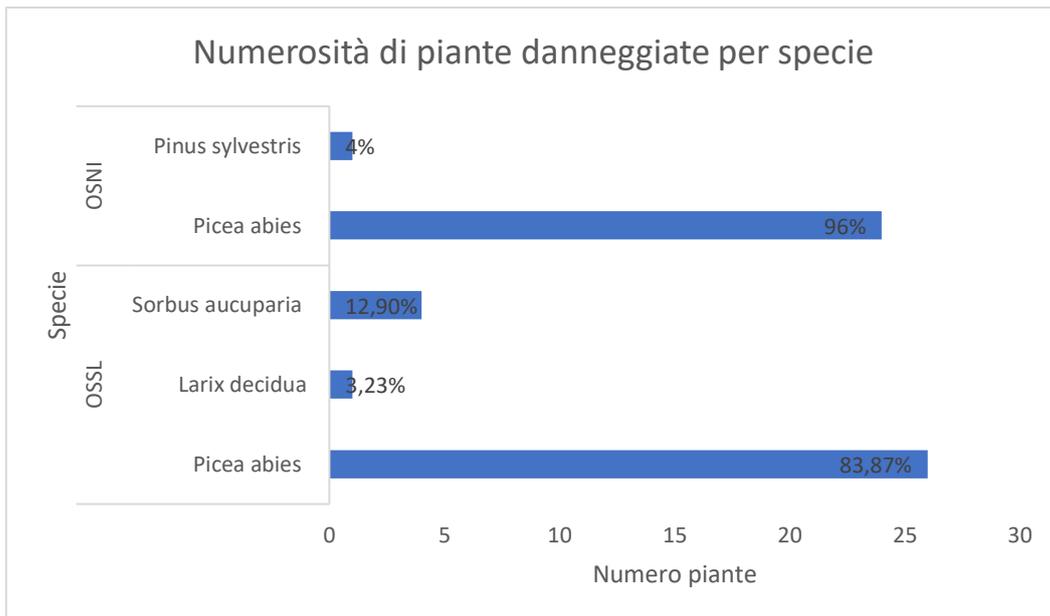


Figura 3.13: numero di piante per specie presentanti danni.

6. DISCUSSIONE

Le due aree di studio analizzate hanno permesso di portare avanti il monitoraggio delle dinamiche di rinnovazione che si sono instaurate a seguito di un disturbo da vento, ovvero la tempesta Vaia del 2018.

Da un primo confronto sulla numerosità totale delle piante di rinnovazione è stato notato un numero maggiore nell'area *no intervention*, sia considerando la rinnovazione totale sia i sottoinsiemi di rinnovazione non affermata e affermata. Il numero maggiore di rinnovazione in quest'area andrebbe a confermare gli studi condotti da Ramming et al. (2007) sul ruolo del legno morto sulle dinamiche di rinnovazione. Infatti, si è visto come il legno morto possa fungere da microsito favorevole alla germinazione. Inoltre, le ceppaie e gli alberi schiantati, in stadi di decomposizione avanzata, possono rappresentare una fonte di biomassa disponibile per lo sviluppo delle piante, liberando nutrienti e fungendo da substrato preferenziale per la rinnovazione (Bujoczek et al., 2015).

Considerata la composizione dei boschi nelle quali sono inserite le due aree analizzate, ovvero peccete secondarie altimontane, la quasi totalità di rinnovazione di abete rosso non ha sorpreso. Discreta, nell'area *no intervention*, la presenza del pino silvestre, specie pioniera e del larice, in grado di vivere in terreni superficiali (Da Roch, Caudullo, Tinner & de Rigo, 2016). La presenza di questi individui può essere collegata all'esistenza di movimenti franosi e fenomeni di colate dovute alla pendenza, osservati durante i rilievi. Il numero di piante di queste specie è, però, molto contenuta rispetto all'abete rosso. Infatti, per trovare una composizione con un gran numero di specie pioniere, il sito dovrebbe essere interessato da disturbi frequenti e meno localizzati, al contrario invece di quanto avviene nella particella analizzata (Kuuluvainen & Juntunen, 1998).

Nell'area *salvage logging*, invece, si sono rilevate meno piante di rinnovazione rispetto all'area appena descritta; anche in questo caso la rinnovazione è quasi del tutto di abete rosso. Si segnala un piccolo numero di larici rilevati quasi totalmente lungo il percorso di piste forestali utilizzate per l'esbosco, a confermare la capacità della pianta di vivere in terreni smossi e superficiali (Da Roch, Caudullo, Tinner & de Rigo, 2016).

Il numero di sorbi misurati è simile nelle due aree d'esame e occupa una percentuale ridotta sul totale della rinnovazione.

In entrambe le aree, comunque, la rinnovazione è composta nella quasi totalità da abete rosso e le altre specie faticano ad affermarsi. La motivazione andrebbe proprio ricercata nella

composizione dei boschi prima del disturbo: nelle aree trattate, infatti, si trovavano peccete secondarie altimontane.

Interessanti risultati sono stati osservati andando a confrontare l'altezza media tra le due aree studio, osservando come l'altezza media della rinnovazione non affermata sia maggiore nell'area *salvage logging*: questo dato va a contrastare quanto rilevato da Fidej et al. (2016), secondo cui la crescita delle piante dovrebbe essere più rapida nelle zone *no intervention*. La motivazione di questo dato può essere ricercata nel numero molto maggiore di piante alte alcuni cm, considerata rinnovazione dell'anno, rilevata nell'area *no intervention*; nell'area *salvage logging*, invece, è stato trovato un numero esiguo di rinnovazione dell'anno, per cui la media è stata condizionata da piante con età e altezze maggiori.

Molto significativi i risultati derivati dal confronto dei dati con la rinnovazione rilevata nel 2021 (Pressi, 2021). Si è potuta constatare una forte perdita di rinnovazione in entrambe le aree, soprattutto considerando le piante non affermate. Certamente la tempesta Vaia ha provocato un aumento repentino dello stress idrico, causato dall'aumento di calore conseguente alla maggior radiazione solare diretta incidente. Le foreste possono impiegare anche più di 10 anni per riprendersi da queste situazioni di stress (Fu et al., 2017). Se a questo si aggiunge la siccità e il caldo che hanno colpito il Nord Italia nell'estate 2022 (Arpav, 2022), si capisce bene come le giovani piante, con un apparato radicale superficiale, possano aver sofferto un forte stress idrico, intensificato anche dalla superficialità del terreno e l'esposizione delle aree studiate.

La differenza tra le due annate di rinnovazione affermata è stata più contenuta; infatti, le piante aventi più di un paio d'anni hanno un apparato radicale più sviluppato che può aver ridotto lo stress idrico (Borghetti et al. 2021).

Si è analizzata, infine, la presenza di eventuali danni nella rinnovazione, siano questi danni generali, disseccamenti o danni da brucatura. Ne è risultata una situazione abbastanza simile ma, osservando il totale, la percentuale maggiore di rinnovazione che presenta danni la si è trovata nell'area *salvage logging*. Degli studi effettuati sulle foreste temperate, infatti, hanno dimostrato come il legno morto garantisca riparo alla rinnovazione, mentre, nelle zone *salvage logging*, l'assenza di chiome e necromassa, implica un'assenza di protezione per la rinnovazione (Rammig et al. 2007).

Vista l'ampia presenza di rinnovazione di abete rosso nell'area, la maggior parte di piante presentanti danni appartengono proprio a questa specie.

Interessante, però, la presenza di diversi sorbi con danni per lo più da brucamento nella zona *salvage logging*. Infatti, come riportato in alcuni studi, il sorbo è una specie particolarmente appetita dagli ungulati, tanto da essere ricercata e brucata sin dai primissimi stadi di sviluppo (Motta, 2003).

La necromassa, oltre che a svolgere un importante ruolo nella formazione di un microsito adatto alla rinnovazione, ha la capacità di ostacolare alcune specie di ungulati. Come dimostrato da Wolgemuth et al. (2017), il cervo difficilmente si inoltra nelle aree schiantate, mentre il camoscio, a differenza, non si lascia ostacolare da questo fattore.

7. CONCLUSIONI

In questo lavoro si è voluto continuare il monitoraggio iniziato da Marson nel 2019 e Pressi nel 2021 per l'osservazione dell'evoluzione delle dinamiche forestali in aree colpite dalla tempesta Vaia e sottoposte a due trattamenti differenti: *no intervention*, dove le aree sono state lasciate a libera evoluzione, e *salvage logging*, ovvero l'esbosco e lo sgombero di tutto il materiale schiantato.

I dati raccolti in campo hanno presentato una situazione molto variabile e proprio per questo motivo sarà importante ritornare nelle aree analizzate nei prossimi anni e continuare a svolgere rilievi annuali, in modo da avere più dati per comprendere appieno l'evoluzione delle dinamiche forestali. Si è visto, infatti, come nel giro di un anno sia stato perso un gran numero di piante di rinnovazione, andando a confrontare i dati raccolti in questo lavoro con quelli presentati da Pressi nel 2021.

Per quanto riguarda il confronto tra le due aree sottoposte a diverso trattamento, ci sono state delle differenze significative tra le due aree, ma anche in questo caso sarà interessante vedere l'evoluzione della situazione.

In generale, considerando sia la rinnovazione totale, sia i sottoinsiemi comprendenti la rinnovazione non affermata e la rinnovazione affermata, si è potuto constatare una presenza sempre maggiore di rinnovazione nell'area *no intervention*. Probabilmente, la differenza verrà più accentuata in futuro, quando la necromassa presente in quest'area inizierà a decomporsi e contribuirà alla formazione di un substrato favorevole alla rinnovazione.

Le differenze constatate in questo studio potrebbero essere ricondotte a studi effettuati in ambienti colpiti da incendi boschivi, dove si è visto che il *salvage logging* influenza il microclima nei micrositi di rinnovazione aumentando la temperatura del suolo e riducendone l'umidità, mentre in aree *no intervention*, la presenza della necromassa, svolge un ruolo facilitante nel miglioramento delle condizioni microclimatiche per la rigenerazione (Marcolin, Marzano, Vitali, Garbarino, & Lingua, 2019).

Da tenere monitorata, in futuro, anche la situazione dei danni sulla rinnovazione, per capire nel tempo il ruolo che può svolgere la necromassa nella protezione delle piante da vari fenomeni come, ad esempio, la brucatura.

L'auspicio di questo lavoro di tesi è quello di poter, assieme agli studi già svolti e che si svolgeranno in futuro, aiutare a comprendere meglio le dinamiche di rinnovazione a breve

termine che si susseguono a seguito di disturbi, in questo caso da vento, con lo scopo di poter attuare forme di gestione dei fondi forestali in modo sempre migliore.

Bibliografia e sitografia

- Anyomi, K. A., Mitchell, S. J., & Ruel, J. C. (2016). Windthrow modelling in old-growth and multi-layered boreal forests. *Ecological Modelling*, 327, 105-114.
- ArpaVeneto (2022). Agrometeo Mese n°11 Estate (giugno-agosto 2022). Tratto da Arpa Veneto: <https://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/agrometeo/file-e-allegati/bollettino-mese/2022/sintesi-2022/Estate%202022.pdf>.
- Bottero, A., Garbarino, M., Long, J. N., & Motta, R. (2013). The interacting ecological effects of large-scale disturbances and salvage logging on montane spruce forest regeneration in the western European Alps. *Forest Ecology and Management*, 19-28.
- Borghetti, M., Colangelo, M., Ripullone, F., & Rita, A. (2021). Ondate di siccità e calore, spunti per una selvicoltura adattativa. *Forest@-Journal of Silviculture and Forest Ecology*, 18(1), 49.
- Bujoczek L., Bujoczek M., Banaś J., Zięba S. (2015). Spruce regeneration on woody microsites in a subalpine forest in the western Carpathians. *Silva Fennica*. Volume 49.
- Calabria, R. (2008). Prescrizioni di massima e di polizia forestale. *Dipartimento Agricoltura Foreste e Forestazione, Regione Calabria*.
- Conti, G., & Fagarazzi, L. (2007). Avanzamento del bosco in ecosistemi montani: "sogno degli ambientalisti o incubo per la società"? *Cause, aspetti ed impatti di una delle principali trasformazioni ambientali, territoriali e paesistiche del XX secolo in Italia*, 1-20.
- Da Ronch, F., Caudullo, G., Tinner, W., & de Rigo, D. (2016). *Larix decidua* and other larches in Europe: distribution, habitat, usage and threats.
- Fidej G., Rozman A., Nagel T.A., Dakskobler I., Diaci J. (2016). Influence of salvage logging on forest recovery following intermediate severity canopy disturbances in mixed beech dominated forests of Slovenia. *iForest - Biogeosciences and Forestry*. Volume 9, Issue 3.
- Fu Z., Li D., Hararuk O., Schwalm C., Luo Y., Yan L., Niu S. (2017). Recovery time and state change of terrestrial carbon cycle after disturbance. *Environmental Research Letters*. Volume 12.
- INFC 2015. <https://www.inventarioforestale.org/it/>
- Kuuluvainen T., Juntunen P. (1998). Seedling establishment in relation to microhabitat variation in a windthrow gap in a boreal *Pinus sylvestris* forest. *Journal of Vegetation Science*. Volume 9, Issue 4.
- Lindenmayer, D. B., & Noss, R. F. (2006). Salvage logging, ecosystem processes, and biodiversity conservation. *Conservation Biology*, 949-958.
- Marcolin, E., Marzano, R., Vitali, A., Garbarino, M., & Lingua, E. (2019). Post-Fire Management Impact on Natural Forest Regeneration through Altered Microsite Conditions. *Forests*, 1014

- Motta, R. (2020). Perché dobbiamo aumentare la quantità di necromassa nelle nostre foreste? Quanta necromassa dobbiamo rilasciare?. *Forest@-Journal of Silviculture and Forest Ecology*, 17(1), 92.
- Motta R., Ascoli D., Corona P., Marchetti M., Vacchiano G. (2018). Selvicoltura e schianti da vento: il caso della “tempesta Vaia”. *FOREST@*. Volume 15.
- Motta, R. (2003). Ungulate impact on rowan (*Sorbus aucuparia* L.) and Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) height structure in mountain forests in the eastern Italian Alps. *Forest ecology and management*, 181(1-2), 139-150.
- Oheimb, G. v., Friedel, A., Bertsch, A., & Härdtle, W. (2007). The effects of windthrow on plant species richness in a Central European beech forest. *Plant Ecology*, 47-65.
- Rammig A., Fahse L., Bebi P., Bugmann H. (2007). Wind disturbance in mountain forests: simulating the impact of management strategies, seed supply, and ungulate browsing on forest succession. *Forest Ecology and Management*. Volume 242.
- Wohlgemuth, T., Schwitter, R., Bebi, P., Sutter, F., & Brang, P. (2017). Post-windthrow management in protection forests of the Swiss Alps. *European journal of forest research*, 136(5-6), 1029-1040.