Realizzazione di attività di monitoraggio delle aree colpite dalla tempesta VAIA

Roma, settembre 2024

Relazione conclusiva delle attività di monitoraggio delle aree colpite dalla tempesta VAIA finanziate con le risorse del Fondo per le Foreste italiane (legge 30 dicembre 2018, n. 145) con Decreto del Ministero delle Politiche agricole e forestali n°9093602 in data 4 settembre 2020.

Coordinamento: Ministero dell'agricoltura, della sovranità alimentare e delle foreste, Direzione generale dell'economia montana e delle foreste, Comitato tecnico scientifico monitoraggio aree post tempesta VAIA, (Decreto di nomina del Capo Dipartimento DIPEISR n. 73403 del 15/02/2021; Decreto 9093602 del 4/9/2020 sul Fondo per le foreste italiane - annualità 2019). Alessandra Stefani, Enrico Pompei, Marco Fedeli, Marina Vecchio.

Gruppi di Lavoro:

Università di Padova

Elena Gazzea, Davide Marangon, Claudio Betetto, Lorenzo Marini, Andrea Battisti, Emanuele Lingua

Università di Udine

Giorgio Alberti, Luca Cadez, Paolo Treu

Regione Veneto

Silvia Majer, Daniele Savio

Provincia Autonoma di Trento

Alessandro Wolynski

Provincia Autonoma di Bolzano

Marco Pietrogiovanna, Alessandro Andriolo

Regione Lombardia

Mirko Grotti

Regione Friuli-Venezia Giulia

Rinaldo Comino, Emanuele Moro

Sommario

1. Introduzione 4
2. Monitoraggio delle dinamiche di rinnovazione naturale 6
2.1 Metodologia 6
2.2 Risultati 7
2.2.1 Rinnovazione <20 cm 15
2.2.2 Rinnovazione 20-150 cm 17
2.2.3 Rinnovazione > 150 cm 20
3. Analisi del suolo nelle aree schiantate 21
3.1 Metodologia 21
3.2 Risultati 22
4. Approfondimenti sulla biodiversità funzionale 24
4.1 Metodologia 24
4.2 Risultati 26
5. Conclusioni 32
6. Bibliografia 35
7. Appendice 1 - Parametri raccolti in campo 36
8. Appendice 2 - Database di progetto 40

1. Introduzione

La tempesta Vaia è stato un evento meteorologico estremo che ha interessato le aree alpine del nord-est della penisola tra il 28 e il 30 ottobre 2018, causando gravissimi danni sia alle infrastrutture che al patrimonio forestale delle Regioni Lombardia, Veneto, Friuli-Venezia Giulia e delle Province Autonome di Trento e Bolzano (Figura 1).

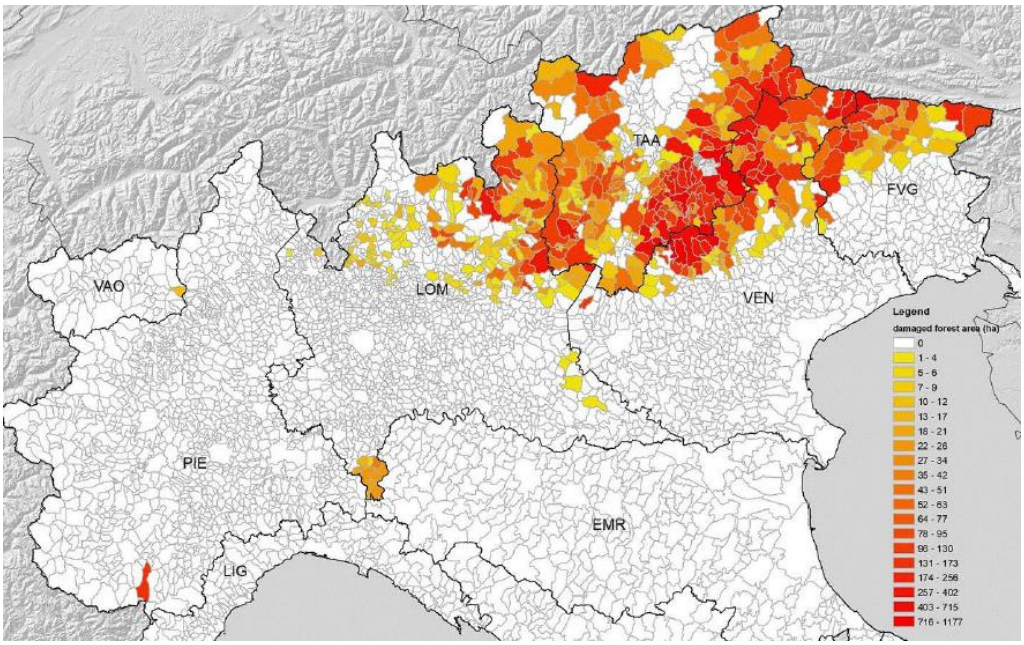

Figura 1 - Superficie forestale danneggiata dalla tempesta Vaia per comune (Chirici et al. 2019).

Da un punto di vista meteorologico la tempesta è classificata come un ciclone extratropicale, originatosi nei pressi delle isole Baleari e spostatosi sul Mar Tirreno andando a colpire in seguito la parte nord e nord-est della penisola. Tale evento è stato caratterizzato da piogge intense (fino a 715 mm di precipitazione cumulata durante l'evento nella stazione di Soffranco (BL) (ARPAV 2018) e da forti venti oltre i 120 km/h di media e con raffiche vicine ai 200 km/h (192 km/h) sul monte Cesen (TV) (ARPAV 2018). Nelle regioni del nord-est le raffiche di vento hanno causato schianti di vaste proporzioni in area montana e sub-alpina, colpendo prevalentemente peccete, piceo-abieteti e piceo-abieto-faggeti. La tempesta Vaia è stato il disturbo da vento più importante avvenuto recentemente in Italia. Si è stimato che tali schianti abbiano interessato una superficie di oltre 42.000 ettari e abbattuto 16 milioni di metri cubi di legname (MIPAAF 2021).

In relazione alla eccezionalità dell'evento e considerate le finalità di tutela, valorizzazione, monitoraggio e diffusione della conoscenza delle foreste italiane previste in applicazione del Testo unico in materia di foreste e filiere forestali, è stato avviato un progetto di monitoraggio delle aree colpite dalla tempesta Vaia e finanziato dal Fondo per le Foreste italiane (legge 30

dicembre 2018, n. 145) con Decreto del Ministero delle Politiche agricole e forestali n°9093602 datato 4 settembre 2020.

Le attività di monitoraggio hanno riguardato:

i) la dinamica di rinnovazione naturale;
ii) l'analisi del suolo nelle aree schiantate;
iii) approfondimenti sulla biodiversità funzionale.

Il monitoraggio della dinamica di rinnovazione naturale si è svolto nell'ambito di una rete di monitoraggio più ampia che ha coinvolto tutte le Regioni e Province autonome colpite dalla tempesta con la creazione di un database unico e condiviso.

2. Monitoraggio delle dinamiche di rinnovazione naturale

Alla luce degli ingenti danni registrati al patrimonio forestale, è stato elaborato un protocollo per monitorare le dinamiche di rinnovazione naturale nelle aree danneggiate dalla tempesta Vaia e successivamente esboscate. L'obiettivo è stato quello di creare un sistema di monitoraggio permanente, con aree di saggio distribuite uniformemente su tutto il territorio danneggiato dalla tempesta (Figura 1). In concerto con le amministrazioni regionali e provinciali e le Università coinvolte che hanno effettuato i monitoraggi, è stato creato un database comune per consentire l'accesso ai dati raccolti nei siti dell'intera rete di monitoraggio e per riassumere lo stato dei luoghi a tre anni dall'evento Vaia.

2.1 Metodologia

La metodologia utilizzata ha preso spunto da quella messa a punto in Svizzera (Kramer et al. 2014) dopo gli uragani Vivian (1990) e Lothar (1999), riadattata alle esigenze e alle caratteristiche delle Alpi orientali. Le aree sono state selezionate con lo scopo di poter monitorare la rinnovazione forestale nel tempo, per cui sono state scartate le zone schiantate attraversate da strutture stabili quali strade, altre infrastrutture o attività che potessero interferire con le dinamiche naturali di rinnovazione. Inoltre, le aree sono state collocate in zone accessibili, con una morfologia non troppo accidentata e una superficie sufficientemente ampia da permettere di tracciare un transetto di una lunghezza tale per cui il plot più distante fosse collocato ad almeno 80 m da tutti i margini dello schianto (Figura 2A). Pertanto, in tutte le aree, l'allestimento ed esbosco del materiale legnoso doveva essere già completato in modo da consentire l'individuazione dei margini boscati.

Il transetto di monitoraggio (Figura 2A) ha origine da un margine dell'area schiantata stabile e rappresentativo del popolamento circostante. Lungo il transetto, la copertura del suolo, ovvero tutto ciò che può ostacolare la caduta del seme al suolo, è stata registrata con misure ogni 2 m. Le classi di copertura utilizzate sono elencate in Tabella A1. La rinnovazione naturale (suddivisa in classi di altezza: minore di 20 cm; compresa tra 20 cm e 150 cm; maggiore di 150 cm) e la necromassa (con diametro maggiore di almeno 15 cm e lunghezza maggiore di 50 cm) sono stati rilevati in quattro plot di raggio 3 m e nei relativi sub-plot di raggio 0.5 m (Figura 2B), collocati a distanza crescente dal margine: il primo sul margine a 0 m, gli altri rispettivamente collocati lungo il transetto a 20 m, 40 m e 80 m. Per quanto riguarda la rinnovazione naturale sono stati raccolti dati di specie, numerosità delle piantine, presenza di danni (da brucamento o altri danni) e substrato di radicamento (suolo o legno morto). Per il rilievo del legno morto invece è stato misurato solo il fusto principale, che è stato classificato in diverse tipologie: pianta atterrata (LG), ceppaia (ST), ceppaia sradicata (STs), pianta morta in piedi (SN). Del legno morto sono state inoltre rilevate il tipo di pianta (conifera o latifoglia),

le dimensioni (in base alla tipologia) e la classe di decomposizione secondo la scala in Figura A1.

Infine, sono stati raccolti dati generali dell'area e del popolamento presente lungo i margini, come quota, pendenza, categoria forestale (Tabella A2). I rilevamenti sono stati effettuati durante il 2021. L' Università di Udine ha infine predisposto la creazione di un database unico per l'inserimento e le successive elaborazioni dei dati raccolti nelle diverse aree di studio.

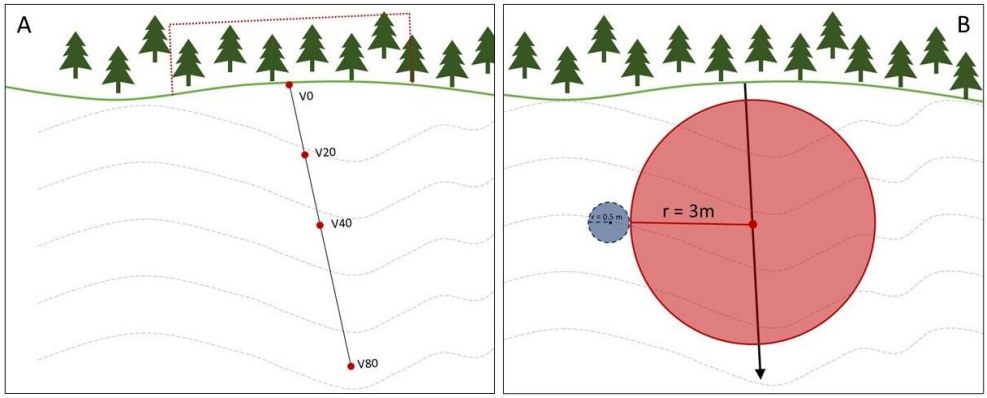

Figura 2 - A) Materializzazione del transetto all'interno dell'area schiantata, partendo dal margine. Sono evidenziati i vari plot a distanza crescente dal margine: 0 m, 20 m, 40 m, 80 m. B) Particolare del plot per il rilievo della rinnovazione: in rosso il plot di raggio 3m dove è stata rilevata la rinnovazione maggiore di 20 cm, in blu il subplot di 0.5 m di diametro dove è stata rilevata la rinnovazione inferiore ai 20 cm.

2.2 Risultati

Proporzionalmente alla superficie colpita dalla tempesta, sono stati individuati 148 siti di monitoraggio così distribuiti: 20 in regione Friuli-Venezia Giulia, 11 in regione Lombardia, 25 in regione Veneto, 32 nella Provincia Autonoma di Bolzano e 60 nella Provincia Autonoma di Trento (Figura 3, Tabella 1). L'unità operativa dell'Università di Udine ha quindi realizzato un database in Microsoft Access per l'inserimento dei dati dei rilievi e la conservazione delle foto scattate in ciascun sito di monitoraggio oltre che per l'interrogazione dei dati stessi mediante apposite query (Appendice 2).

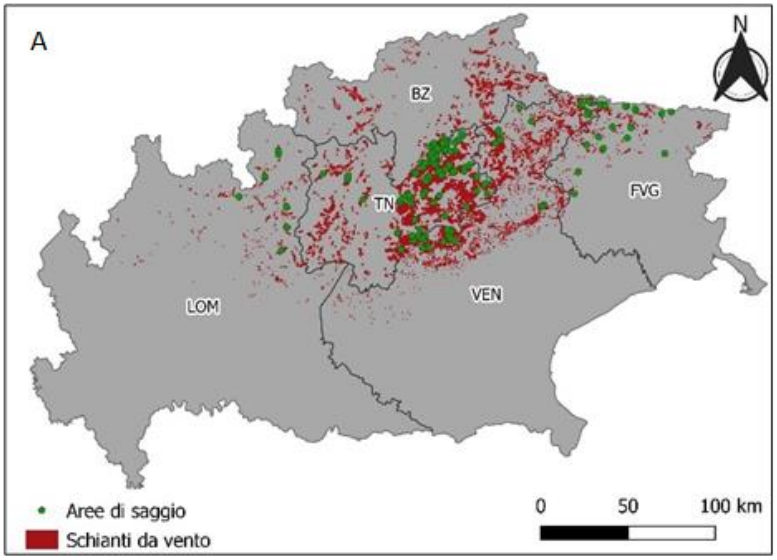

Figura 3 - Mappa rappresentante in rosso le superfici delle aree danneggiate dalla tempesta Vaia, in verde i siti di monitoraggio individuati in ogni regione e provincia autonoma.

Tabella 1 - Superficie colpita dalla tempesta Vaia (Chirici et al., 2019) e numero di siti di monitoraggio per Regione e Provincia autonoma.

Regione o Provincia autonoma	Superficie colpita (ha)	Numero di siti di monitoraggio
Regione Friuli-Venezia Giulia	3.340	20
Regione Veneto	12.227	25
Provincia Autonoma di Trento	18.389	60
Provincia Autonoma di Bolzano	4.140	32
Regione Lombardia	4.604	11
TOTALE	**42.700**	**148**

Nei siti di monitoraggio sono stati rilevati in totale 3143 individui di rinnovazione, con una densità media di 16473 individui/ha. Sul totale degli individui, il 12.4% ha evidenziato danni da brucamento. La quantità di legno morto campionata in ogni area di saggio si aggira mediamente attorno ai 48 m^3/ha, coerente con i valori riscontrati in letteratura dopo operazioni di esbosco in contesti simili. Dati medi e suddivisi per area amministrativa sono riportati in Tabella 2. Il numero di individui risulta diminuire a mano a mano che ci si allontana dal margine, passando dai 1114 individui rilevati in totale sui plot P0, ai 608 rilevati in totale sul plot P80 (Tabella 3). Al contrario la percentuale di individui brucati risulta crescere allontanandosi dal margine (Tabella 3). Ciò può essere ricondotto a due fattori: in primo luogo lungo il margine vi è un maggior accumulo di necromassa (63.1 m^3) che può fungere da protezione alle piantine; in secondo luogo, con l'aumento dei predatori i brucatori tendono a brucare nel centro delle radure per sfuggire alla predazione.

Tabella 2 - Dati relativi al numero di individui rilevati in ciascuna regione o provincia autonoma. Dati medi di densità ad ettaro, di metri cubi ettaro di necromassa ed infine percentuale di individui brucati sul totale degli individui rilevati.

Regione/Provincia	**Individui**	**Densità (n/ha)**	**Legno morto (m^3/ha)**	**Individui brucati (%)**
BZ	705	34152	37	14.4
RL	185	13866	13.1	3.4
RV	622	19901	72.5	2.3
TN	1185	7471	44.7	15.1
FVG	446	12339	11.9	14.9
TOT	**3143**	**16473**	**47.8**	**12.5**

Tabella 3 - Numero di individui rilevati e densità media ad ettaro per ciascun plot, a distanza crescente dal margine. Sono riportati inoltre la quantità di legno morto ad ettaro, nonché il numero di individui brucati sul totale.

Distanza (m)	**Individui**	**Densità (n/ha)**	**Legno morto (m^3/ha)**	**Individui brucati (%)**
0	1114	39980	63.1	8.4
20	809	11217	49.3	13.4
40	612	8321	44	14.2
80	608	6973	34.7	17.3
TOT	**3143**	**16473**	**47.8**	**12.5**

Analizzando nel dettaglio i numeri di individui e le densità ad ettaro rilevati a diversa distanza dal margine e divisi per classe di altezza, si osserva ancora una volta una diminuzione di individui a mano a mano che aumenta la classe di altezza, nonché all'aumentare della distanza dal margine (Tabella 4). Tale evidenza è riportata anche in Figura 4A, dove si può notare come diminuisca sensibilmente la densità della rinnovazione post-Vaia all'aumentare della distanza dal margine, in particolare si ha un calo repentino tra le aree di saggio sul margine dello schianto e quelle a 20 m. Tale trend discendente continua anche per le aree successive. Questo risultato mostra l'importanza della distanza dal margine nei processi di rinnovazione naturale, dove aumentando la distanza dalle piante porta-seme si riduce la possibilità di trovare quantità di seme adeguate a sostenere la rinnovazione, specialmente in presenza di specie a seme relativamente "pesante" come abete rosso (*Picea abies* (L.) H.

Karst), abete bianco (*Abies alba* Mill.) o faggio (*Fagus sylvatica* L.). Questa limitazione chiaramente non si ritrova nell'andamento della rinnovazione già affermata, in quanto essendosi stabilita prima della tempesta in assenza del margine ha un andamento omogeneo all'aumentare della distanza.

Tabella 4 - Numero di individui, percentuale di individui brucati, densità media ad ettaro in ciascun plot a distanza crescente dal margine e divisi per classi di altezza.

Distanza (m)	**Altezza**	**Individui (n)**	**Individui brucati (%)**	**Densità (n/ha)**
0	<20 cm	439	0.0	37767
0	20-150 cm	445	19.6	1063
0	>150 cm	230	3.0	550
20	<20 cm	106	0.0	9549
20	20-150 cm	655	15.6	1575
20	>150 cm	39	10.3	93
40	<20 cm	82	0.0	7054
40	20-150 cm	503	16.1	1202
40	>150 cm	27	22.2	65
80	<20 cm	66	0.0	5678
80	20-150 cm	523	19.7	1250
80	>150 cm	19	10.5	45

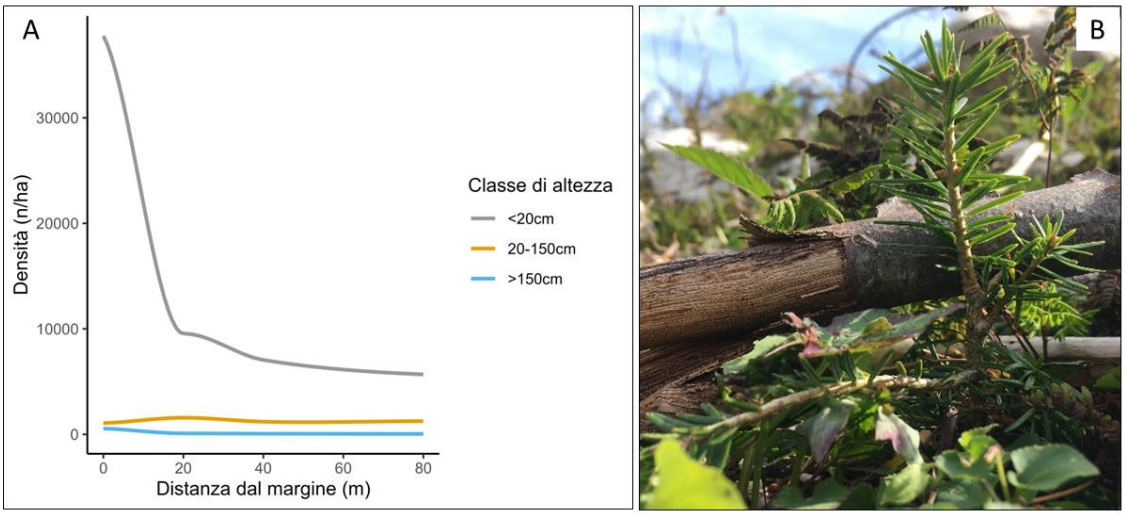

Figura 4 - A) Andamento della densità media ad ettaro per ciascuna classe di età all'aumentare della distanza dal margine. B) Abete bianco appartenente alla classe 20-150 cm.

La copertura del suolo rilevata lungo il transetto (Figura 5A) rivela mediamente una prevalenza delle graminoidi, seguite dai rovi come coperture principali. Ramaglia ed alte erbe contano per circa il 10% di copertura in media ciascuna. Suolo nudo, legno morto, erbe e carici/giuncacee risultano avere un peso compreso tra il 10% ed il 5% per classe. Le restanti classi di copertura contano singolarmente per meno del 5% di media (Figura 5).

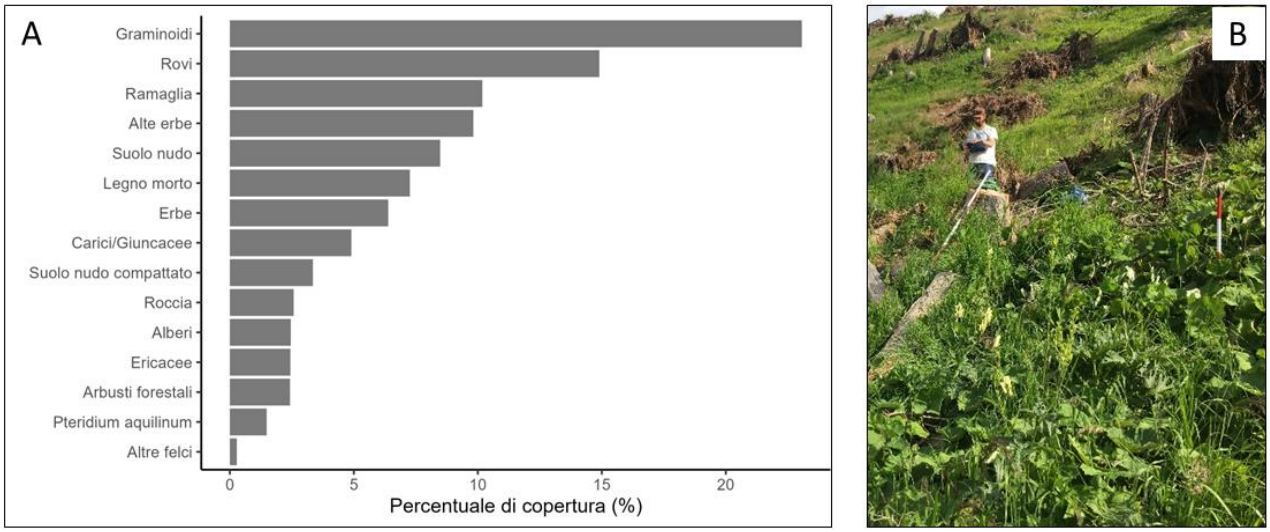

Figura 5 - A) Copertura percentuale media lungo i transetti per ciascuna classe di copertura del suolo. B) Materializzazione del transetto e fase di raccolta dati in campo.

La composizione specifica rispecchia in massima parte quella dei popolamenti precedenti, con una netta prevalenza delle specie dominanti e definitive presenti nei boschi colpiti dalla tempesta Vaia: l'abete rosso è la specie di gran lunga più rappresentata (circa 36% del totale)

seguito dall'abete bianco (11%), dal faggio (10%) e dal larice (*Larix decidua* Mill.*)* (4%). Le altre specie contano singolarmente per meno del 15% del totale e sono riportate nel grafico in Figura 6A. Unica eccezione è rappresentata dal sorbo degli uccellatori (*Sorbus aucuparia* L.) il cui numero degli individui rilevati è il 24%. Ciò è dovuto principalmente al carattere pioniere della specie, nonché alla disseminazione zoocora tramite avifauna, di conseguenza meno dipendente dalla distanza dalle piante porta-seme. Analizzando poi i dati relativi all'età delle piante è possibile vedere come vi sia una netta prevalenza di rinnovazione affermata per le specie definitive (es. abete rosso, abete bianco faggio, ecc.), mentre prevalga la rinnovazione post-Vaia per le specie pioniere (es. sorbo degli uccellatori, larice, betulla (*Betula pendula* Roth*)*, ecc.). In generale, come riportato in Figura 6B, il ruolo della pre-rinnovazione è centrale nel ricostituire la copertura del suolo risultando essere, nel breve termine, la maggior parte della rinnovazione (circa 68%).

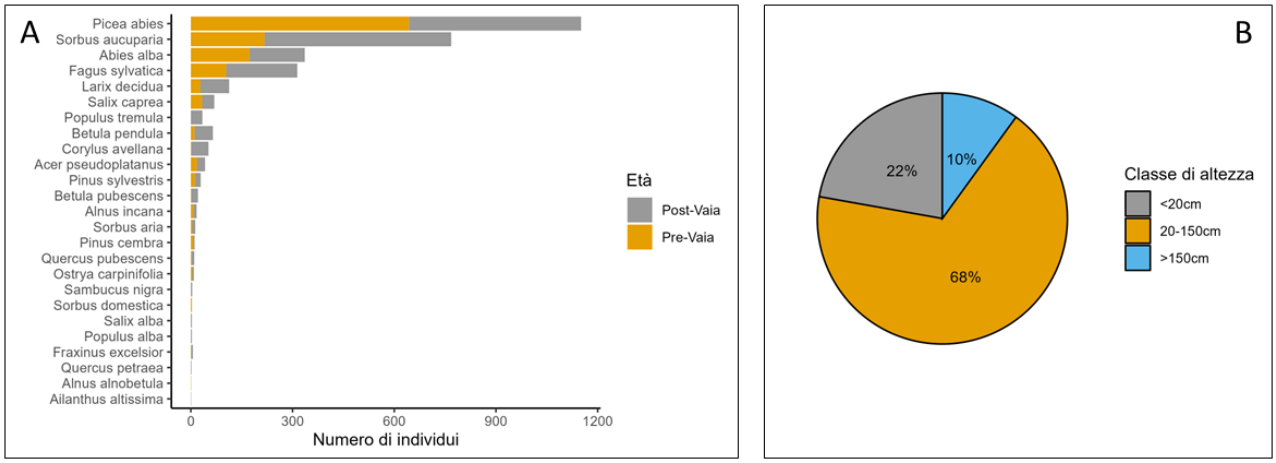

Figura 6 - A) Numero di individui rilevati per specie divisi per classe di età: rinnovazione affermata = pre-Vaia, rinnovazione nata dopo la tempesta = post-Vaia. B) Distribuzione degli individui rilevati secondo le classi di altezza.

Le categorie forestali maggiormente interessate dalla tempesta e dai conseguenti schianti da vento ricadono prevalentemente all'interno della categoria delle Peccete (53%), seguita da quelle dei Piceo-abieteti (17%) e degli Abieteti (9%) (Figura 7). Singolarmente inferiori al 5% vi sono poi in ordine: lariceti, pinete di pino silvestre, faggete, piceo-faggeti, piceo-abieti-faggeti. Le varie categorie forestali regionali sono state fatte rientrare all'interno di queste categorie, secondo la classificazione riportata da (Del Favero 2004).

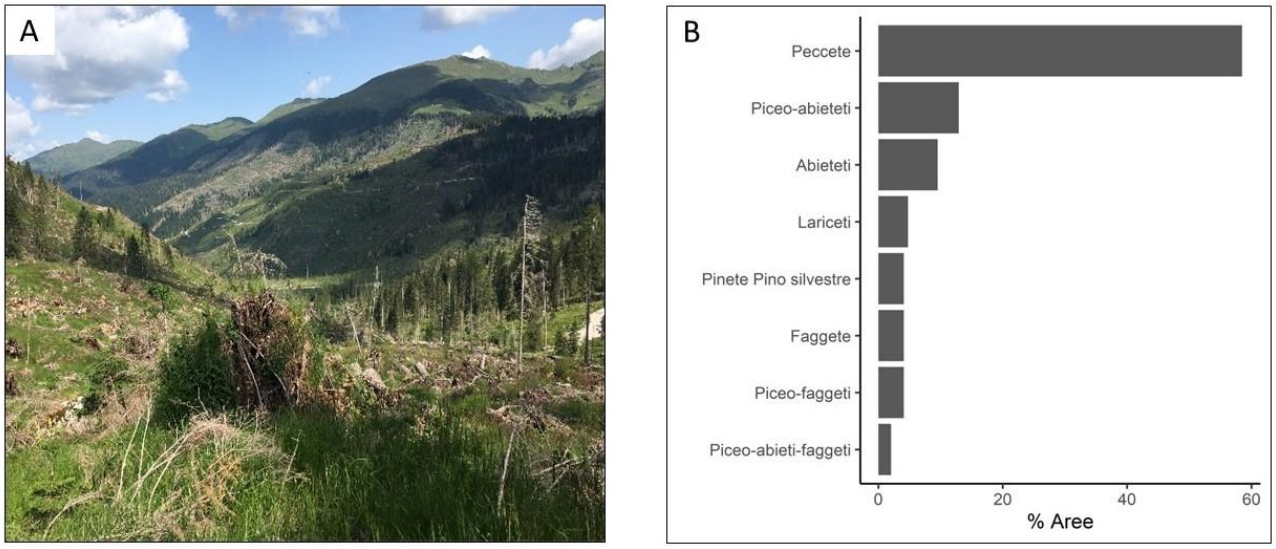

Figura 7 - A) Boschi danneggiati in Val Visdende (Santo Stefano di Cadore, BL). B) Percentuale delle aree attribuibili ad una determinata categoria forestale secondo lo schema di classificazione di Del Favero 2004.

Per quanto riguarda invece il gradiente altitudinale, si nota un andamento discendente del numero di individui rilevati all'aumentare della quota considerando il totale della rinnovazione campionata. Dividendo poi per le specie maggiormente rappresentate (abete rosso, abete bianco, larice, faggio e sorbo degli uccellatori), vi sono andamenti differenziati per ciascuna specie. Per quanto riguarda l'abete rosso ed il sorbo degli uccellatori si nota una distribuzione uniforme lungo il gradiente altitudinale, con valori leggermente inferiori ai due estremi. Il larice mostra una discreta densità a quote basse ed a quote alte, con un picco negativo a quote intermedie, attorno ai 1300 m s.l.m. L'abete bianco presenta un picco alle quote intermedie (1200-1500 m s.l.m.) sensibilmente più alto rispetto agli estremi. Infine, il faggio mostra un decremento importante all'aumentare della quota fino a circa i 1300 m s.l.m., seguito da una ripresa nel numero di individui fino circa 1600 m s.l.m. (Figura 8).

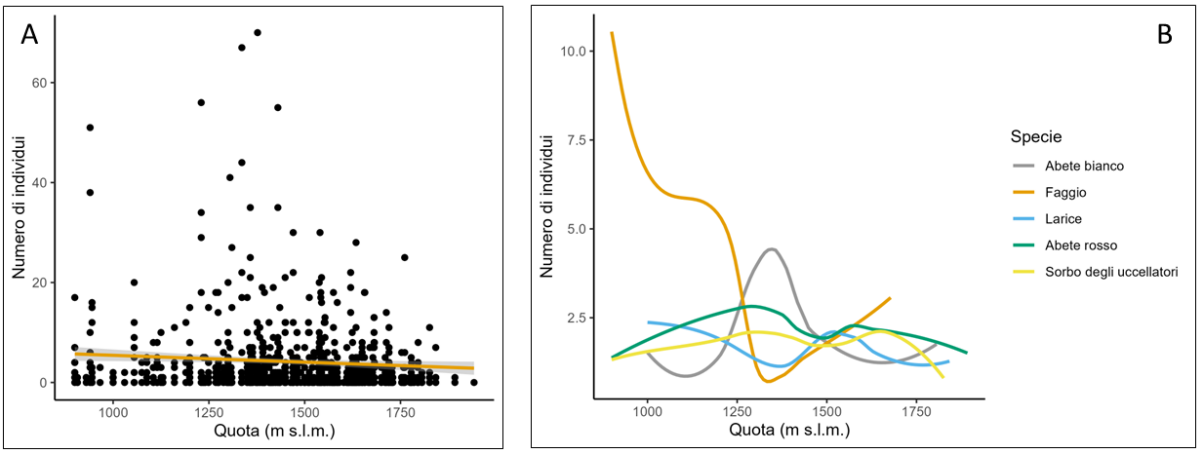

Figura 8 - A) Numerosità di individui di rinnovazione rilevati in ciascun plot in relazione alla quota. In giallo è rappresentato l'andamento discendente all'aumentare della quota. B) Andamento del numero di elementi di rinnovazione rilevati all'aumentare della quota, divisi per le specie maggiormente presenti.

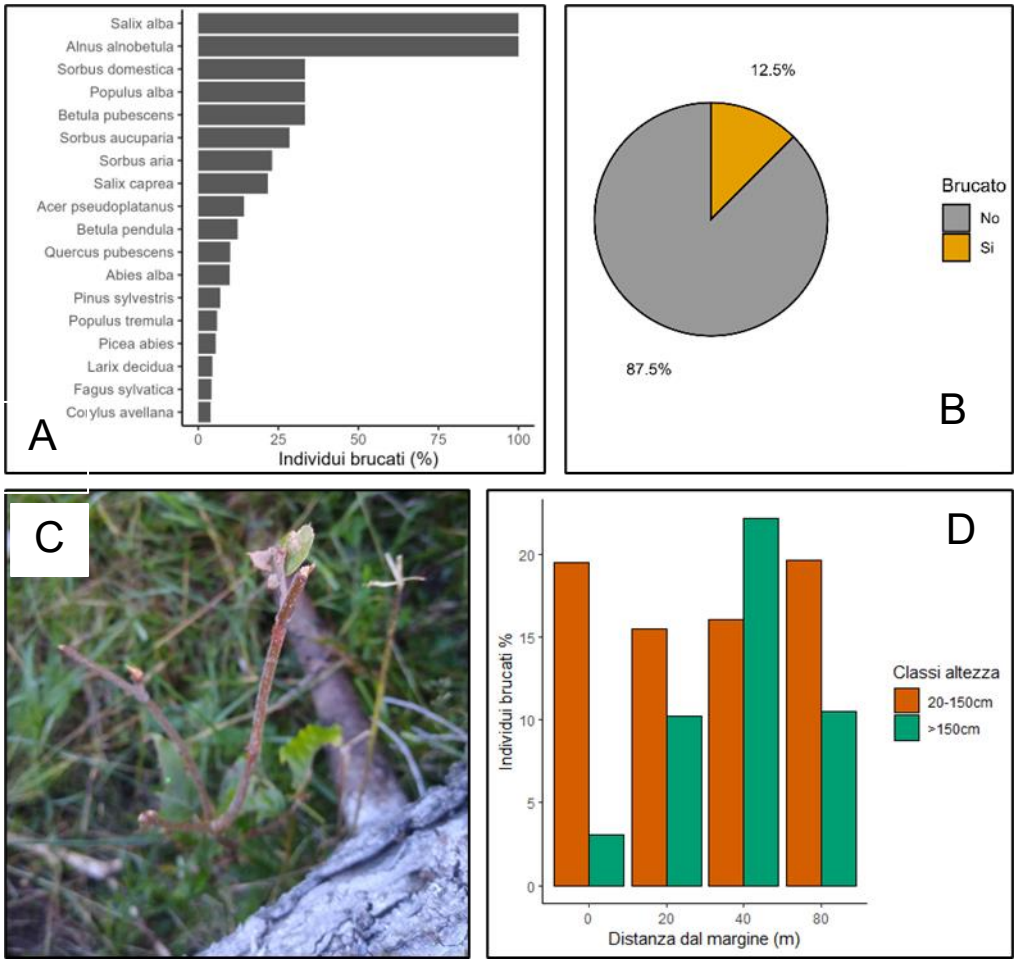

Figura 9 - A) Percentuale di individui brucati sul totale di individui rilevati per specie. B) Percentuale di individui brucati sul totale degli individui rilevati. C) Esempio di brucatura apicale su faggio. D) Percentuale cumulata di individui brucati per plot a diversa distanza dal margine suddivisi per classe di altezza.

Infine, in Figura 9 sono riportati i danni da brucamento rilevati sulla rinnovazione. Sul totale degli individui rilevati, il 12.5% presenta danni da brucamento, a fronte di un 87.5% senza danni (Figura 9B). Le specie che hanno subito più danni (Figura 9A) sono il salice bianco (*Salix alba* L.) e l'ontano verde (*Alnus alnobetula* (Ehrh.) K.Koch), con il 100% di individui brucati, anche se ne sono stati rivenuti solamente pochi esemplari (3 ed 1 rispettivamente). Per quanto riguarda le specie più rappresentate, esse presentano rispettivamente:

- abete rosso: 63 individui brucati su 1151 (5.5%)
- sorbo degli uccellatori: 219 individui brucati su 768 (28.5%)
- abete bianco: 33 individui brucati su 336 (9.8%)
- faggio: 13 individui brucati su 314 (4.1%)
- larice: 5 individui brucati su 113 (4.4%)

Diversamente da quanto ci si potrebbe aspettare, i danni da brucamento non diminuiscono all'aumentare della distanza dal margine, ma viceversa (Figura 9D). In questo caso si nota come sul totale degli individui rilevati per ciascun plot, nei plot a distanza di 40 m e 80 m dal margine si registrino le percentuali più alte di brucamento: 38.3% e 30.2% rispettivamente. Tali percentuali risultano essere minori nelle aree a 20 m dal margine (25.7%) e ancora più basse sul margine (22.6%). Ciò può essere spiegato dal maggiore accumulo di ramaglia e scarti di lavorazione sui margini delle aree esboscate per favorire il movimento dei mezzi nel centro dell'area, necromassa che può aver contribuito a proteggere e nascondere la rinnovazione dai brucatori. Un'altra causa può essere ritrovata in un probabile cambiamento nelle abitudini dei brucatori, che li porta a brucare nel centro delle chiarie in quanto risulta più agevole muoversi, nonché più facile controllare l'arrivo di eventuali predatori.

2.2.1 Rinnovazione <20 cm

La composizione specifica della rinnovazione inferiore ai 20 cm rispecchia la composizione specifica del popolamento limitrofo (o situazione pre-Vaia), mostrando anzi una spiccata preponderanza dell'abete rosso (426 individui), seguito dall'abete bianco (137 individui); queste due specie rappresentano circa l'80% del totale della rinnovazione rilevata. A seguire sono presenti le altre specie maggiormente rappresentate, ovvero faggio (36 individui), sorbo degli uccellatori (27 individui) e larice (24 individui) (Figura 10). Oltre il 96% degli individui rilevati sono stati valutati come rinnovazione stabilitasi dopo la tempesta Vaia, mentre solo il 4% come rinnovazione avanzata e per la quasi totalità appartenente alla specie abete rosso. La gran quantità di sorbo stabilitosi post-Vaia invece non compare nel grafico in Figura 10A in quanto la specie raggiunge accrescimenti maggiori nei primi anni di vita e risulta essere dunque nella categoria successiva (individui tra i 20 ed i 150 cm). L'andamento specifico in funzione della quota ricalca abbastanza fedelmente l'andamento aggregato di tutte le classi

d’altezza, con un’eccezione per quanto riguarda il larice (Figura 10B) che mostra un andamento sempre crescente all’aumentare della quota.

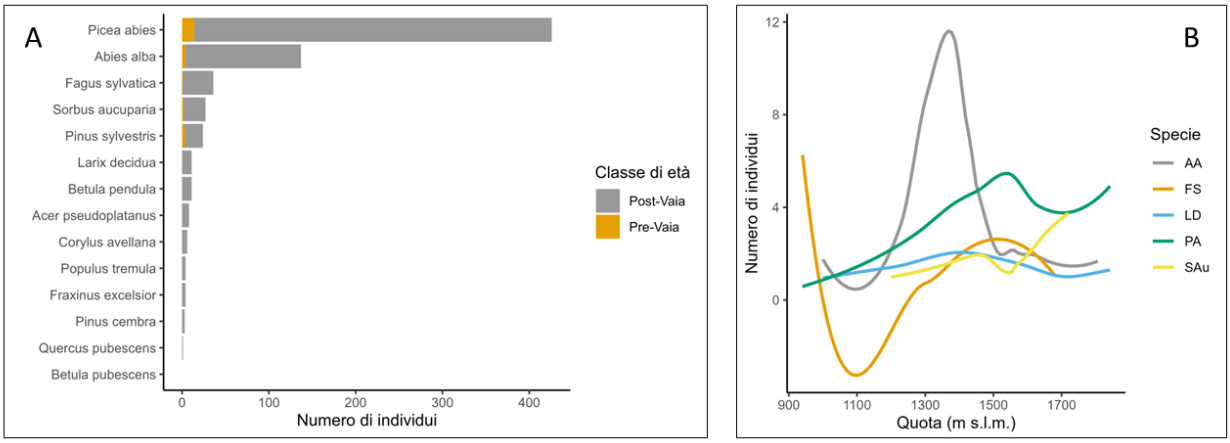

Figura 10 - A) Numero di individui rilevati per specie divisi per classe di età: rinnovazione affermata = pre-Vaia, rinnovazione nata dopo la tempesta = post-Vaia. B) Andamento del numero di individui rilevati all’aumentare della quota, diviso per le specie maggiormente presenti: AA = abete bianco, FS = faggio, LD = larice, PA = abete rosso, SAu = sorbo degli uccellatori.

La maggior parte della rinnovazione è stata rilevata all’interno di Peccete, seguite dai Piceo-abieteti ed Abieteti. Nel caso della rinnovazione inferiore ai 20 cm la maggior parte (63%) degli individui è localizzata sul margine dell’area schiantata, nel plot 0. Il resto si trova nelle altre aree, con percentuali inferiori a mano a mano che ci si allontana dal margine: 15% a 20 m, 12% a 40 m e 10% ad 80 m (Figura 11C). Analizzando la densità per ogni plot emerge una differenza significativa tra la densità lungo il margine e le restanti aree, come riportato in Figura 11D.

Per analizzare come i vari parametri rilevati influenzano il numero e la densità degli individui di rinnovazione, sono stati applicati dei modelli di regressione lineare. I risultati mostrano come la distanza dal margine influenzi negativamente la presenza di rinnovazione < 20 cm, ovvero aumentando la distanza dal margine diminuisce la quantità di rinnovazione presente, sostenendo quindi quanto emerso precedentemente. Inoltre, anche la quota ed il metodo di esbosco influenzano la presenza di rinnovazione: in particolare, l’esbosco tramite trattore e verricello e con harvester/forwarder hanno un’influenza positiva (Marangon 2023).

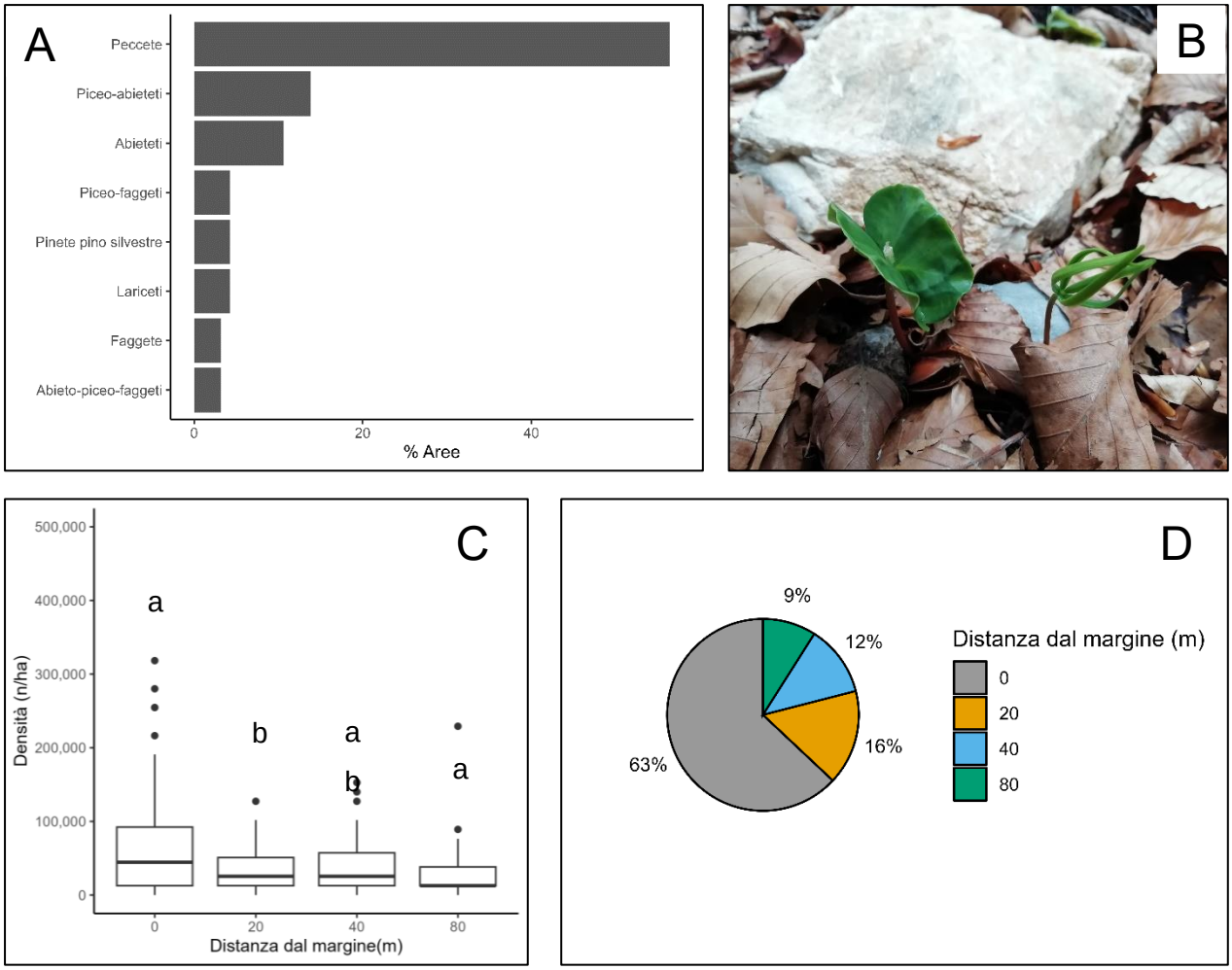

Figura 11 - A) Percentuale delle aree attribuibili ad una determinata categoria forestale secondo lo schema di classificazione di Del Favero 2004. B) Rinnovazione di faggio ed abete rosso, Asiago (VI). C) Differenze della densità ad ettaro tra i plot a diversa distanza dal margine. Le lettere indicano i risultati del Test di Tuckey HSD Post-Hoc, dove a lettere diverse corrisponde una differenza significativa. D) Percentuale di individui rilevati a seconda della distanza dal margine dello schianto

2.2.2 Rinnovazione 20-150 cm

All'interno di questa seconda classe di altezza, la composizione specifica della rinnovazione presente è leggermente differente dal contesto generale: in particolare si nota una preponderanza di sorbo degli uccellatori come specie più presente (737 individui, 35%), seguito poi dalle specie che risultano più presenti nel conteggio totale del monitoraggio, ovvero: abete rosso 555 individui (27 %), faggio 255 individui (12%), abete bianco 167 individui (8%), larice 81 individui (4%) (Figura 12A). In particolare, si nota come la maggior parte del sorbo presente ricada nella generazione insediatasi dopo la tempesta, mostrando accrescimenti importanti delle piante di questa specie nei primi anni. Per le altre specie, al contrario, in questa classe di altezza è preponderante il ruolo della rinnovazione affermata, che in totale rappresenta il 58.6%.

Il numero di individui presenti in relazione alla quota riportato in Figura 12B mostra corrispondenza con l'andamento generale, con una drastica diminuzione del faggio all'aumentare della quota ed un andamento tendenzialmente costante per le altre specie. Solo l'abete rosso mostra un andamento più irregolare, ma con un trend costante e discendente a quote molto elevate (>1700 m s.l.m.). Tale andamento è da attribuire alle diversità stazionali ed alla diversità dei vari popolamenti colpiti, che, prima della tempesta Vaia, possedevano caratteristiche diverse e dinamiche di rinnovazione anche molto eterogenee.

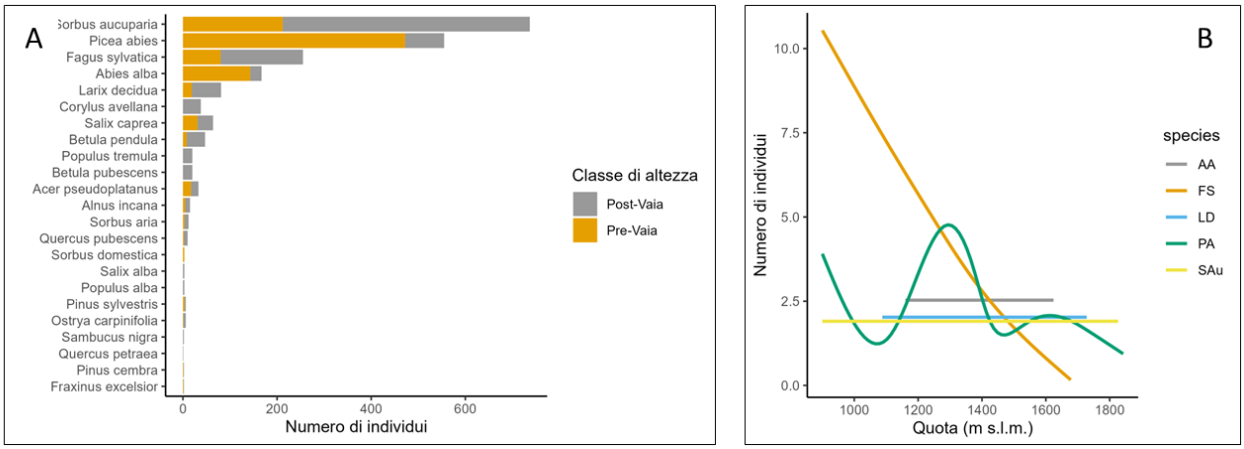

Figura 12 - A) Numero di individui rilevati per specie divisi per classe di età: rinnovazione affermata = pre-Vaia, rinnovazione nata dopo la tempesta = post-Vaia. B) Andamento del numero di individui rilevati all'aumentare della quota, diviso per le specie maggiormente presenti: AA = abete bianco, FS = faggio, LD = larice, PA = abete rosso, Sau = sorbo degli uccellatori.

In accordo con quanto visto in precedenza anche all'interno di questa classe di altezza la maggior parte delle aree in cui sono stati effettuati i rilievi ricadono all'interno della categoria forestale delle Peccete (56%), seguita dai Piceo-abieteti (13%) e dagli Abieteti (11%) (Figura 13A). La restante parte rappresenta meno del 20% del totale. In questa classe di altezza non si notano differenze significative tra i vari plot posti a distanza crescente dal margine dello schianto. Come riportato dal grafico in Figura 13C, si nota un'uniformità nei valori di densità a diverse distanze dal margine. Tale risultato era atteso, in quanto la rinnovazione rilevata in questa classe di altezza, fatta eccezione per il sorbo degli uccellatori, risulta stabilitasi prima della tempesta. Anche il grafico in Figura 13D supporta questa evidenza, mostrando una ripartizione delle piante molto simile tra i quattro diversi plot.

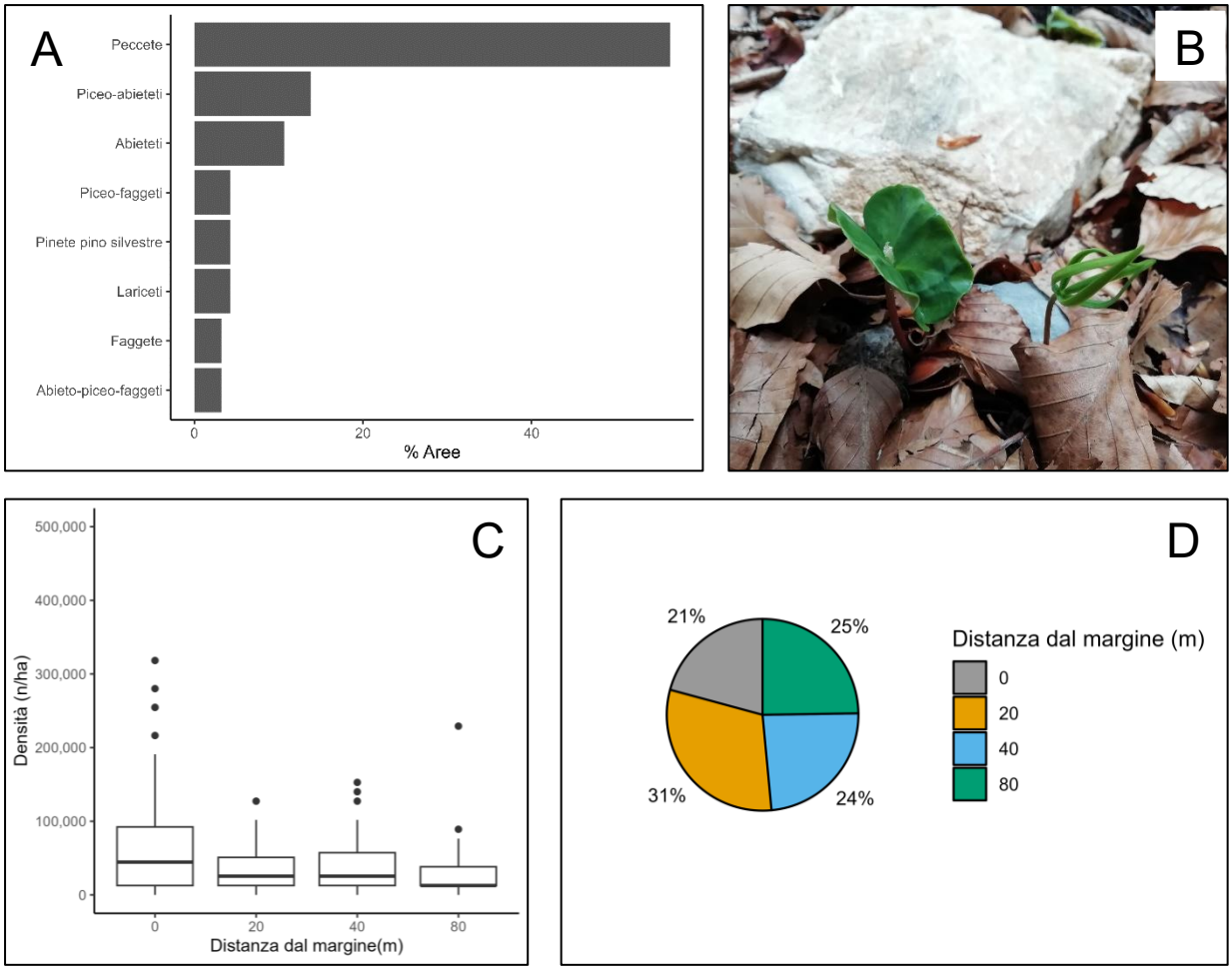

Figura 13 - A) Percentuale delle aree attribuibili ad una determinata categoria forestale secondo lo schema di classificazione di Del Favero 2004. B) Rinnovazione di abete rosso su microsito favorevole e rialzato (Asiago, (VI)). C) Differenze della densità ad ettaro tra i plot a diversa distanza dal margine. Le lettere indicano i risultati del Test di Tuckey HSD Post-Hoc, dove a lettere diverse corrisponde una differenza significativa. D) Percentuale di individui rilevati a seconda della distanza dal margine dello schianto.

I modelli di regressione lineari applicati assieme all'analisi della varianza hanno mostrato che, come per la rinnovazione < 20 cm, la distanza dal margine e la quota hanno un'influenza negativa sulla rinnovazione. Inoltre, anche la struttura coetaneiforme del popolamento influenza negativamente la presenza di rinnovazione. In aggiunta, una presenza importante di necromassa comporta una riduzione della presenza di rinnovazione, probabilmente dovuta ad un effetto pacciamante della stessa, che impedisce al seme di raggiungere il suolo ma allo stesso tempo non è abbastanza degradata per fungere da substrato di germinazione. Infine anche in questo caso il metodo di esbosco influenza significativamente la presenza di rinnovazione, ma in questa classe di altezza il metodo che risulta significativamente positivo è il metodo misto gru a cavo harvester/forwarder (Marangon 2023).

2.2.3 Rinnovazione > 150 cm

Per quanto riguarda gli individui più alti di 150 cm sono stati classificati tutti come nati prima della tempesta Vaia. Anche in questo caso la distribuzione specifica ricalca quella generale, con una spiccata predominanza dell'abete rosso con 170 individui (57%), seguito dall'abete bianco con 32 individui (11%) e dal faggio con 23 individui (8%). Le altre specie sono presenti singolarmente per meno del 5% (Figura 14A). Le piante in questa categoria di altezza rappresentano due gruppi di individui differenti: da un lato la rinnovazione affermata già presente con un elevato numero di individui con diametri relativamente piccoli; dall'altro un gruppo di piante che rappresentano le piante mature sopravvissute allo schianto sia come individui isolati all'interno dell'area danneggiata sia come piante appartenenti al margine neo-formato e rilevate nei plot 0, con diametri maggiori ma presenti in minor numero (Figura 14B).

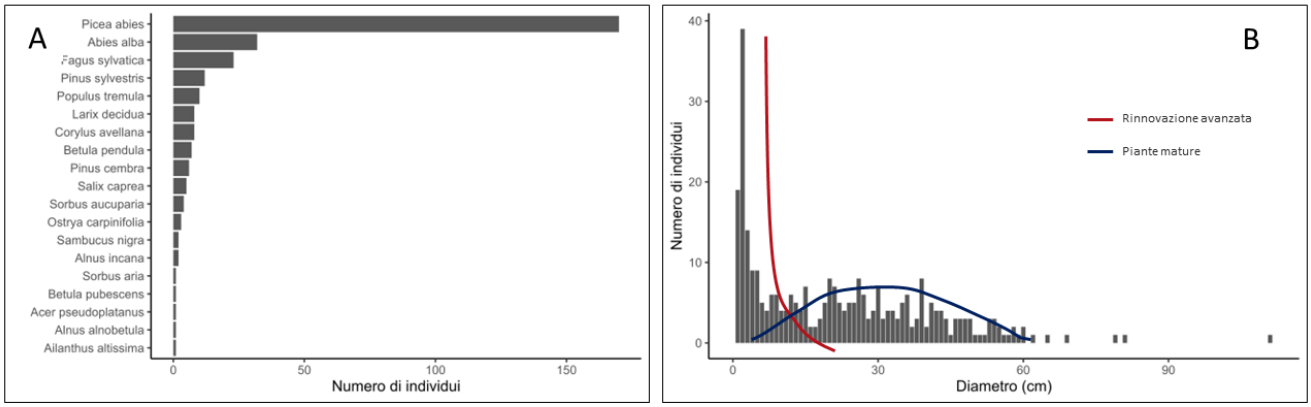

Figura 14 - A) Numero di individui per specie rilevati. B) Numero di individui rilevati in relazione al diametro. In rosso è rappresentato l'andamento degli alberi con diametro minore classificati come rinnovazione avanzata, in blu l'andamento degli alberi classificati come individui maturi sopravvissuti allo schianto.

3. Analisi del suolo nelle aree schiantate

L'Università di Udine, oltre a raccogliere i campioni di suolo come previsto nel protocollo di rilievo nelle aree di studio di sua competenza, ha proceduto a ricevere e stoccare i campioni di suolo raccolti dalle altre amministrazioni provinciali e regionali per le successive analisi (carbonio organico, pH, capacità di scambio cationico)**.**

3.1 Metodologia

All'interno di ogni area di saggio predisposta lungo il transetto per il monitoraggio della rinnovazione naturale (Figura 2B), è stato prelevato un campione di suolo fino alla profondità di 30 cm (Figura 15). Il campione è stato prelevato con carotatore e dopo aver asportato la lettiera fresca. La carota prelevata è stata quindi separata in orizzonte minerale ed orizzonte organico di cui è stato misurato lo spessore. I campioni sono stati conservati in sacchetti di plastica per le successive analisi.

Figura 15 - Carota di suolo dove è evidente la differenza cromatica tra orizzonte organico più scuro e orizzonte minerale con colorazione più chiara e variegata (foto: Paolo Treu).

Successivamente alle operazioni di rilievo in campo sono state eseguite in laboratorio le analisi dei suoli per determinare la densità apparente ed il contenuto di carbonio organico e azoto. Le prime operazioni sono state l'essiccazione dei campioni in stufa a 60° C per due giorni, al fine di eliminare l'umidità presente, e la pesatura dei campioni in seguito a setacciatura per eliminare lo scheletro >2 mm e i residui vegetali (legno o radici), al fine di calcolare la densità apparente (rapporto tra peso secco della terra fine ed il volume di suolo prelevato) (Figura 16).

Figura 16 – Campioni di suolo essiccati in stufa.

Sono stati quindi prelevati dei sotto-campioni che sono stati macinati tramite mulino a palle, con lo scopo di uniformare la granulometria. In seguito, un'aliquota di suolo setacciato (circa 4 mg) è stata inserita in capsula di argento ed i campioni sono stati acidificati tramite HCl per eliminare gli eventuali carbonati presenti. L'acido residuo è stato fatto evaporare ponendo i campioni su piastra riscaldata, le capsule sono state poi chiuse a formare una pallina. Le capsule così sigillate sono quindi state inserite nel carosello di un analizzatore elementale Vario MICRO cube per le analisi del carbonio organico e dell'azoto. Su un'altra aliquota di suolo è poi stato determinato il pH. L'unità operativa di Udine si è fatta carico di eseguire le analisi per tutti i campioni raccolti nelle Regioni e Province Autonome del progetto.

3.2 Risultati

Lo spessore dell'orizzonte organico è sempre inferiore a quello dell'orizzonte minerale fatta eccezione per le faggete, dove l'orizzonte organico è più spesso e l'orizzonte minerale è quasi assente a causa della natura del substrato (calcari affioranti). Nelle altre categorie forestali, lo spessore dei due orizzonti non mostra variazioni significative (Figura 17). Il contenuto di carbonio nell'orizzonte organico (21.3±1.5%) è mediamente più alto rispetto a quello dell'orizzonte minerale (4.3±0.3%), mentre la densità apparente del suolo è maggiore nell'orizzonte minerale (814±61 kg m^{-3}) piuttosto che in quello organico (301±25 kg m^{-3}). Mediamente, lo stock complessivo di carbonio nel suolo (0-30 cm) è abbastanza uniforme tra le categorie forestali considerate con una media di 114±6 tC ha^{-1}, fatta eccezione per i piceo-faggeti che mostrano i valori più bassi (83±13 tC ha^{-1}) (Figura 18).

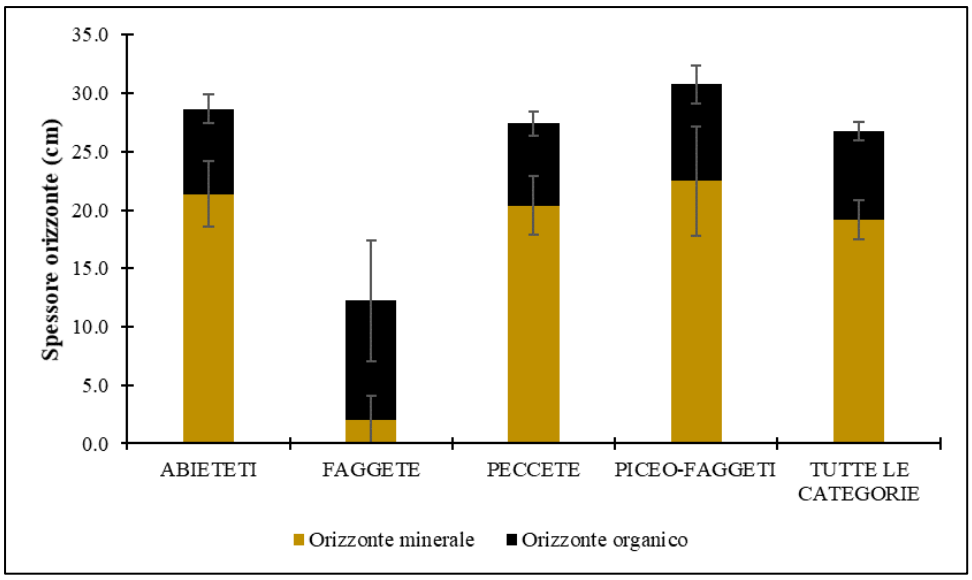

Figura 17 – Spessore dell'orizzonte organico e dell'orizzonte minerale del suolo nelle diverse categorie forestali. Le barre verticali indicato l'errore standard (abieteti = 24; faggete = 8; peccete = 36; piceo-faggeti = 12; tutte le categorie = 80 aree di saggio).

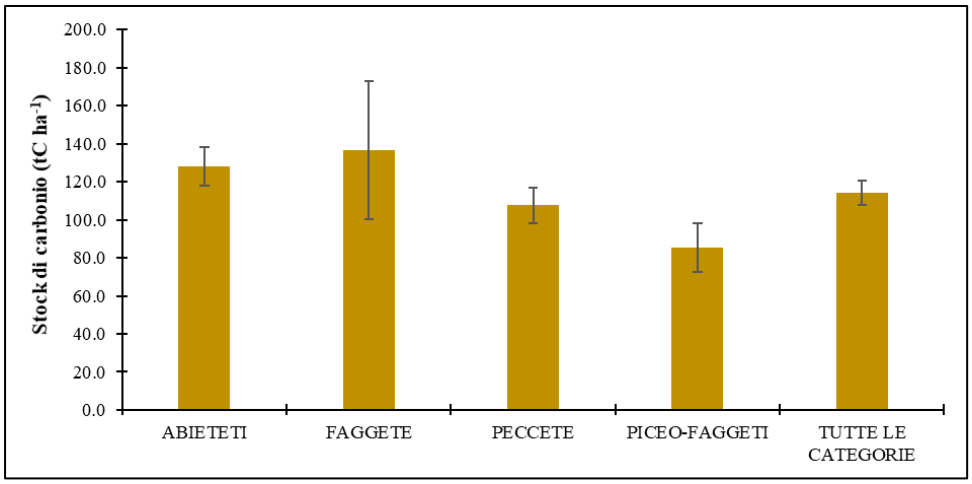

Figura 18 – Stock di carbonio nel suolo (0-30 cm). Le barre verticali indicano l'errore standard (abieteti = 19; faggete = 4; peccete = 23; piceo-faggeti = 7; tutte le categorie = 53 aree di saggio).

4. Approfondimenti sulla biodiversità funzionale

Il monitoraggio della biodiversità è stato condotto nei siti colpiti dalla tempesta Vaia nella Regione Veneto. In particolare, sono stati studiati la flora vascolare del sottobosco e i principali gruppi di artropodi impollinatori e predatori.

4.1 Metodologia

Sono state identificate quattro macroregioni maggiormente colpite dalla tempesta in cui concentrare le attività di monitoraggio: l'altopiano di Asiago (Val d'Assa e Marcesina); le Prealpi Bellunesi (Nevegal), l'Alto Cadore (Val Visdende) e l'Alto e il Basso Agordino. In seguito ad un sopralluogo per verificare l'idoneità e l'eterogeneità dei siti, sono stati selezionati 35 siti schiantati ed esboscati e 6 controlli in foresta, per un totale di 41 siti di campionamento (Figura 19). Poiché la maggior parte degli schianti è stata esboscata prima dell'inizio del progetto di monitoraggio, non è stato possibile includere schianti non esboscati nello studio. L'effetto del disturbo quindi, si intende cumulativo della tempesta Vaia e delle successive operazioni di esbosco.

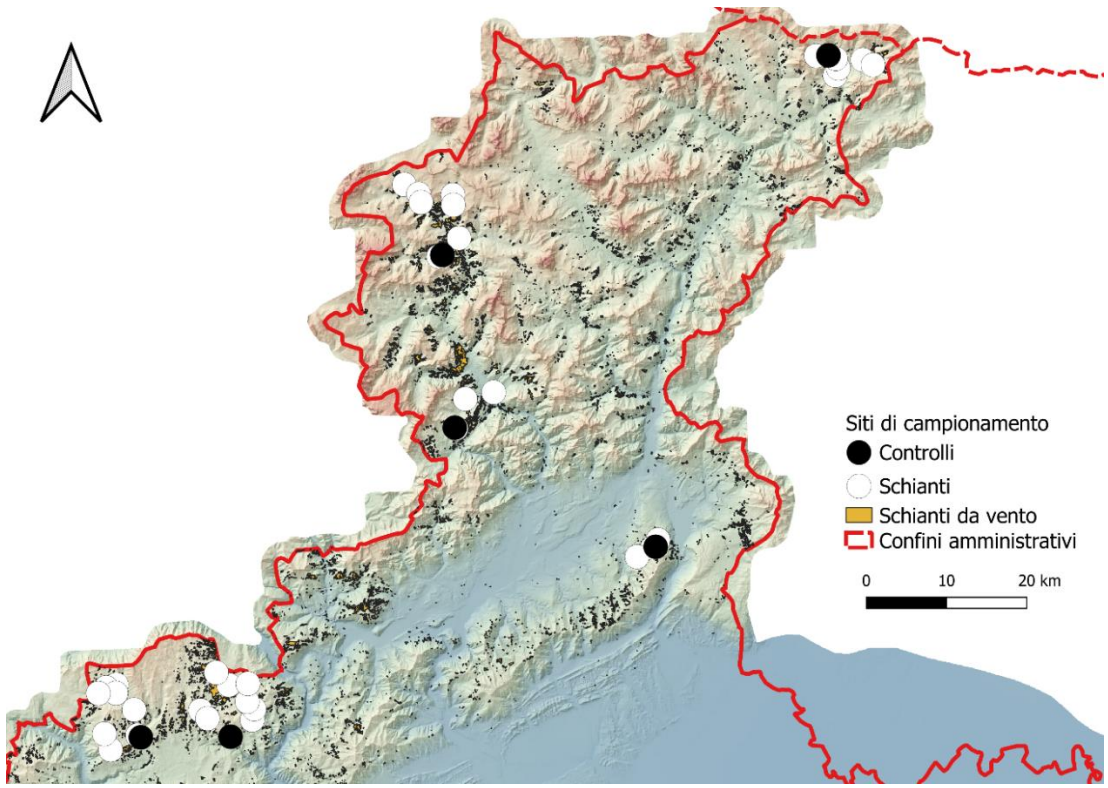

Figura 19 - Mappa di distribuzione dei siti di campionamento per il monitoraggio della biodiversità di vegetazione e artropodi nelle zone colpite dalla tempesta Vaia in Veneto

I dati sono stati raccolti seguendo un protocollo di campionamento elaborato al fine di studiare l'evoluzione biologica degli ecosistemi forestali interessati dagli schianti. Sono stati quindi scelti i metodi di campionamento più idonei in base all'ecologia dei gruppi oggetto del monitoraggio (Figura 20): flora vascolare del sottobosco, artropodi impollinatori e artropodi predatori. La raccolta dei dati è stata effettuata durante il 2021.

Il rilievo della comunità vegetale è stato effettuato in tre plot permanenti di dimensione 5x5 metri individuati all'interno di ogni sito di campionamento. I plot sono stati scelti lontani dai margini boschivi e in modo da rappresentare lo schianto. Per ogni plot è stata stimata a vista la copertura vegetale in percentuale. All'interno di ogni plot sono state identificate tutte le specie vascolari erbacee, arbustive e arboree e per ognuna di esse è stata stimata la biomassa relativa. Il rilievo delle specie arboree ha permesso anche l'individuazione della rinnovazione naturale presente.

Gli insetti impollinatori sono stati campionati mediante l'uso di trappole del tipo "pantraps". In ogni sito sono state posizionate 2 triplette di pantraps, ognuna composta da una pantrap bianca, una gialla e una blu, per attirare un maggior numero di specie. Le trappole sono state riempite con glicole propilenico diluito al 75% e sapone per piatti biodegradabile. Dopo circa 14 giorni il materiale caduto nelle trappole è stato prelevato e trasferito in provette contenenti alcol diluito al 75%. Dopo il prelievo del materiale, le trappole sono state nuovamente riempite con il glicole. Il campionamento degli impollinatori è stato ripetuto tre volte durante la stagione estiva in tutti i siti (41) nel 2021.

Gli artropodi predatori sono stati campionati mediante l'uso di trappole a caduta "pitfall". In ogni sito sono state posizionate 3 trappole riempite con glicole propilenico diluito al 70% e sapone per piatti biodegradabile. Dopo circa 14 giorni, in concomitanza con il recupero delle pantraps, il materiale caduto all'interno delle trappole è stato recuperato e trasferito in alcol diluito al 75%. Come per il campionamento degli artropodi impollinatori, anche la raccolta degli artropodi predatori è stato ripetuto tre volte durante la stagione estiva in tutti i siti (41) nel 2021.

Una parte importante delle attività svolte in seguito ai campionamenti estivi è stata dedicata all' organizzazione, alla preparazione e all'identificazione del materiale entomologico raccolto. Il materiale raccolto è stato diviso nei seguenti ordini e famiglie: i) artropodi impollinatori: imenotteri apoidei; lepidotteri; ditteri sirfidi; ditteri tachinidi; ii) artropodi predatori: araneidi; opilioni; coleotteri carabidi; coleotteri stafilinidi. L'identificazione delle specie è stata affidata ad esperti.

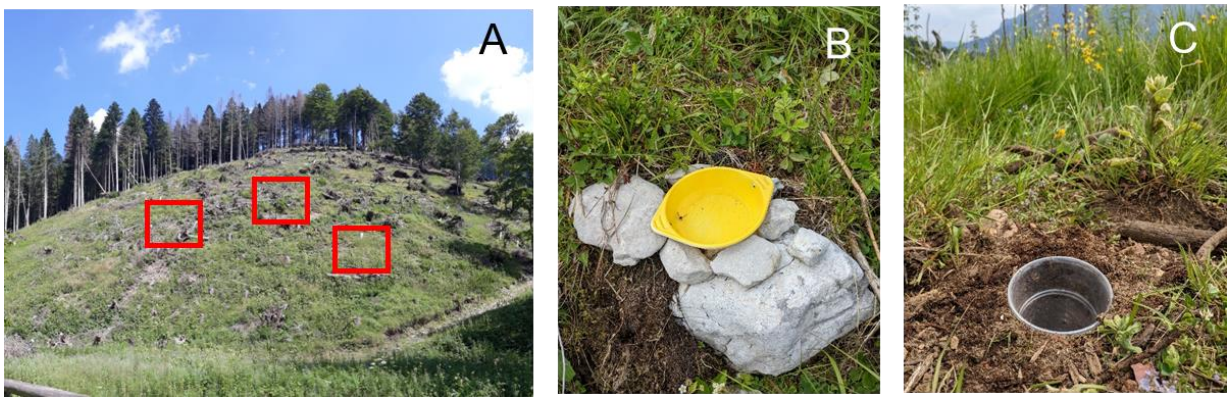

Figura 20 - Metodi di campionamento della vegetazione (A), degli artropodi impollinatori (B) e degli artropodi predatori (C)

4.2 Risultati

Nei 41 siti campionati nel 2021 sono state identificate in totale 329 specie di piante vascolari. Nei siti colpiti dalla tempesta Vaia sono state identificate 310 specie vegetali, mentre nei controlli in foresta sono state identificate 102 specie vegetali. Le specie di piante più comuni nei siti colpiti dalla tempesta sono state specie tipiche di ambienti disturbati, quali: *Rubus idaeus.* (presente nel 91% dei siti campionati), *Fragaria vesca* (89%), *Epilobium montanum* e *Veronica officinalis* (86%). Le specie più comuni nei controlli in foresta sono state invece specie tipiche di pecceta come: *Lonicera nigra*, *Oxalis acetosella*, *Picea abies*, *Hieracium murorum*, *Maianthemum bifolium*, *Vaccinium myrtillus* (presente nel 83% dei controlli campionati).

In Figura 21 è riportato il totale del numero di individui per ogni gruppo di artropodi campionati durante i rilievi dell'anno 2021. Nella maggior parte dei casi, l'ordine di grandezza degli individui campionati è delle migliaia. Tutti gli individui appartenenti ai seguenti gruppi sono stati identificati a livello di specie: imenotteri apoidei (api), sirfidi, lepidotteri, tachinidi e ragni. Si riportano di seguito alcuni risultati generali circa il numero di individui, il numero di specie e le specie più abbondanti nei siti colpiti dalla tempesta e nei siti di controllo: i) imenotteri apoidei (api) – sono stati identificati in tutto 3184 individui di imenotteri apoidei appartenenti a 125 specie diverse. Tutte le specie identificate sono state osservate nei siti colpiti dalla tempesta Vaia, mentre nei controlli in foresta sono state trovate soltanto 14 delle specie totali. La specie di api più comune nei siti schiantati è stata *Apis mellifera* (1124 individui). Escludendo l'ape mellifera, la specie di ape selvatica più comune è stata *Hylaeus confusus* (363 individui). Sono stati inoltre identificati 663 individui di bombi appartenenti a 19 specie diverse; ii) sirfidi – sono stati identificati in tutto 1417 individui di sirfidi appartenenti a 60 specie diverse, 56 delle quali sono state osservate nei siti affetti dalla tempesta Vaia. Nei controlli in foresta sono state trovate invece soltanto 18 delle specie totali. La specie di sirfidi più comune nei siti colpiti dalla tempesta è stata *Xylota segnis* (598 individui); tachinidi – sono stati identificati in tutto 307

individui appartenenti a 60 specie diverse di ditteri tachinidi, 52 delle quali sono state osservate negli schianti. Nei siti in foresta sono state osservate 12 specie di tachinidi e un totale di 38 individui. La specie più abbondante nei siti affetti dalla tempesta è stata *Catharosia pygmaea* (56 individui); iv) lepidotteri: sono stati identificati 375 individui di lepidotteri appartenenti a 48 specie diverse. Tutte le specie identificate sono state osservate nei siti affetti dalla tempesta Vaia, mentre nei controlli in foresta sono state trovate 8 delle specie totali. Le specie di farfalle più comuni nei siti colpiti dalla tempesta sono state *Aglais urticae* (52 individui), *Hesperia comma* (41), *Pieris napi* (29); v) ragni – sono stati identificati in tutto 5703 individui di araneidi appartenenti a 75 specie diverse. Di queste, 71 specie sono state osservate nei siti affetti dalla tempesta Vaia mentre nei controlli in foresta sono state trovate soltanto 16 delle specie totali. Del totale delle specie campionate, 59 specie sono state trovate esclusivamente nei siti schiantati, 4 soltanto nei siti forestali, mentre 12 specie sono state trovate in entrambi gli habitat. La specie più comune nei siti colpiti dalla tempesta è stata *Pardosa riparia* (4183 individui).

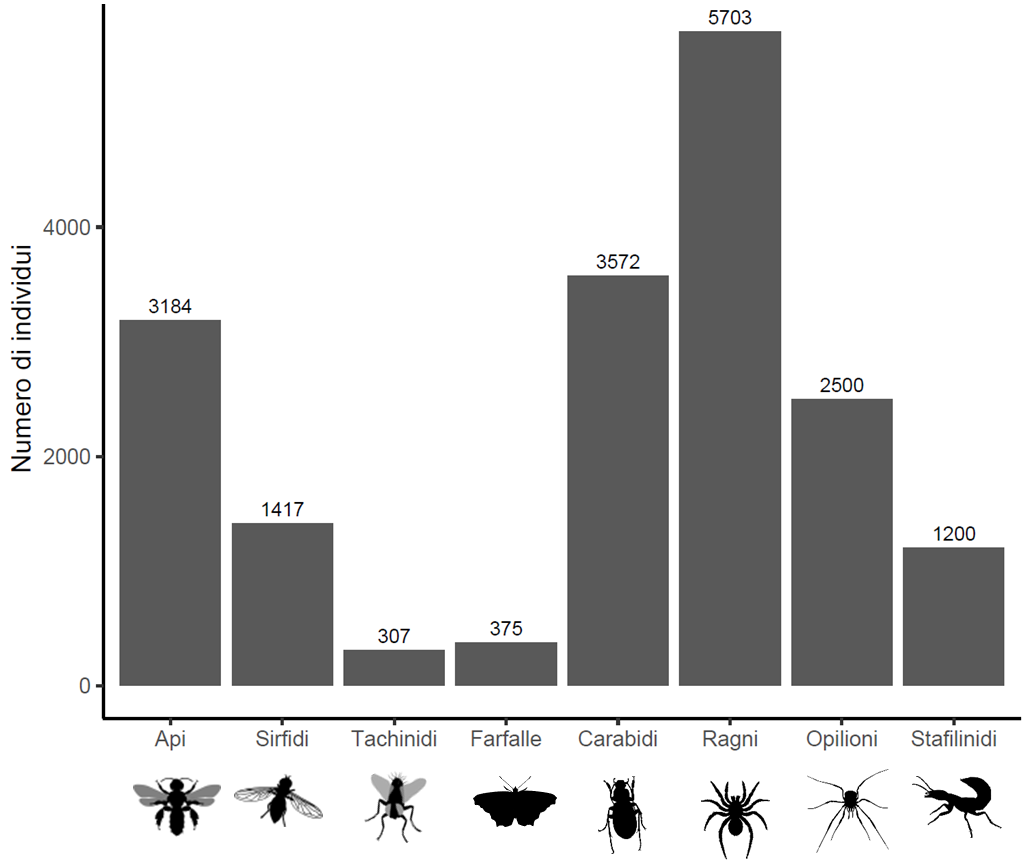

Figura 21 — Numero di individui totale campionato per ogni gruppo nei 41 siti di campionamento individuati

I dati raccolti hanno permesso di effettuare delle analisi di confronto tra schianti e foresta. La diversità (numero di specie) di tutti i gruppi studiati è risultata significativamente più alta negli schianti rispetto ai controlli in foresta (Figura 22). Si è osservato quindi un aumento locale di biodiversità di piante e di artropodi nei siti colpiti dalla tempesta rispetto alle formazioni boschive preesistenti. Questo risultato è probabilmente dovuto alla creazione, con gli schianti, di spazi aperti molto eterogenei, i quali offrono agli organismi una diversità di risorse e habitat molto maggiore rispetto alle precedenti formazioni boschive, omogenee e chiuse dal punto di vista strutturale, permettendo a molte più specie di insediarsi o di utilizzare questi ambienti.

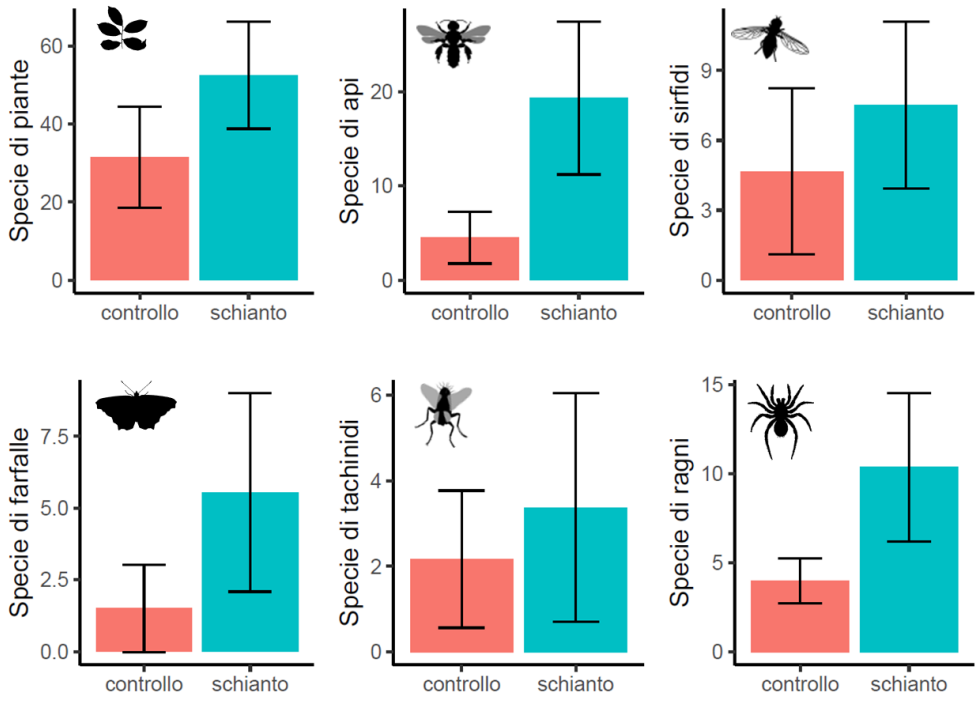

Figura 22 - Confronto tra il numero di specie campionato nei siti di controllo e nei siti di schianto per ogni gruppo studiato (media e deviazione standard).

I risultati precedenti indicano un aumento della biodiversità locale negli schianti. Per verificare l'esistenza di gruppi indicatori di biodiversità negli schianti è stata costruita una matrice di correlazione tra il numero di specie di tutti gli organismi campionati (Figura 23). Questo permette di valutare l'esistenza di un organismo indicatore generale di biodiversità (specie *flagship*) negli schianti. I risultati indicano che la biodiversità degli organismi impollinatori varia in modo simile ma non è stato evidenziato un gruppo rappresentativo di tutti gli altri. Questo risultato può essere spiegato dal ruolo funzionale degli impollinatori, che li raggruppa in termini di esigenze di habitat e risorse. Tuttavia, i gruppi di impollinatori studiati hanno delle caratteristiche ecologiche diverse, proprie di ogni gruppo, per le quali si distinguono dagli altri impollinatori (ad esempio per i siti di nidificazione) e per cui non è possibile una

generalizzazione. Dai risultati ottenuti non è stata evidenziata inoltre una correlazione tra la diversità degli impollinatori e la diversità locale di piante, risorse a loro indispensabili. A tre anni dall'evento Vaia i siti di schianto sono habitat relativamente nuovi ed è probabile che gli impollinatori sfruttino in modo opportunistico le risorse fiorali presenti localmente, arrivando da altri habitat vicini. La diversità di piante invece è risultata positivamente correlata alla diversità di artropodi predatori come i ragni. Una maggiore diversità nella vegetazione indica una maggiore eterogeneità nella struttura dell'habitat (presenza di arbusti, piante di diversa dimensione) che permette di ospitare specie con esigenze diverse. Inoltre, il risultato può essere collegato alla diversità di prede presenti in schianti molto eterogenei, come quelli ricchi in specie vegetali.

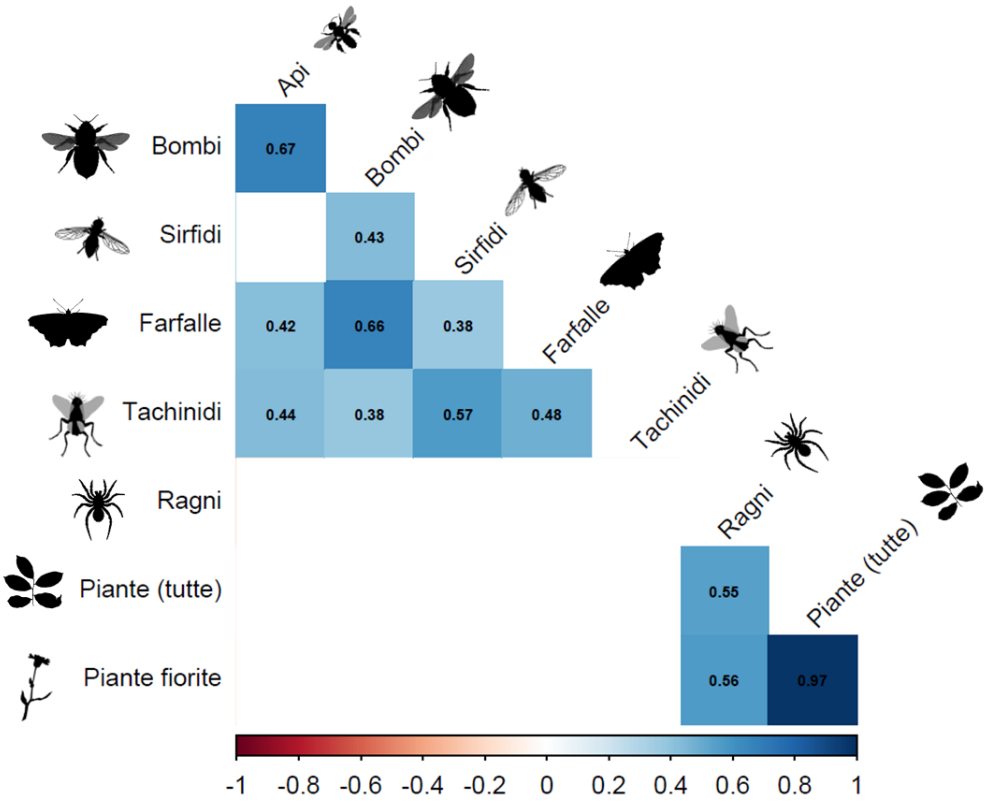

Figura 23 - Matrice di correlazione tra il numero di specie di ogni gruppo studiato

I risultati precedenti indicano che gli schianti ospitano generalmente più biodiversità di piante e artropodi rispetto ai siti in foresta. L'analisi dei dati rispetto alle variabili ambientali permette di identificare le caratteristiche degli schianti che ospitano più biodiversità dei gruppi di interesse. Per quanto riguarda la diversità della vegetazione, è stata trovata una relazione negativa con la pendenza del sito schiantato (Figura 24), probabilmente legato ad una mineralizzazione del suolo più lenta rispetto ai siti pianeggianti e che influenza la fertilità stazionaria e, di conseguenza, la ricchezza di specie vegetali.

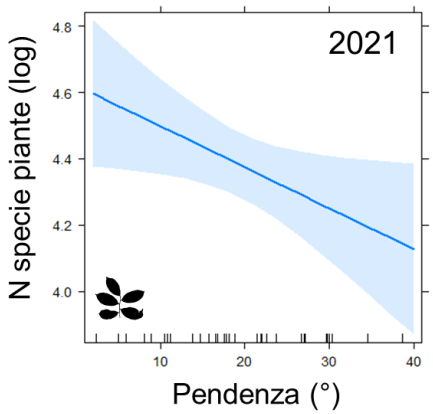

Figura 24 - Relazione tra numero di specie di piante e pendenza del sito di schianto

Oltre a fattori locali come la pendenza del sito, la diversità di piante negli schianti dipende anche dall'altitudine. È stato trovato in media un numero maggiore di specie di rinnovazione naturale a basse quote e un numero maggiore di specie di piante erbacee fiorite ad alte quote. Questo risultato suggerisce la graduale transizione verso l'arbusteto a basse quote, con la crescita di più specie di alberi, anche di latifoglie. Alle alte altitudini invece, la rinnovazione naturale fatica ad insediarsi e persistono specie vegetali erbacee tipiche di spazi aperti in quota (Figura 25).

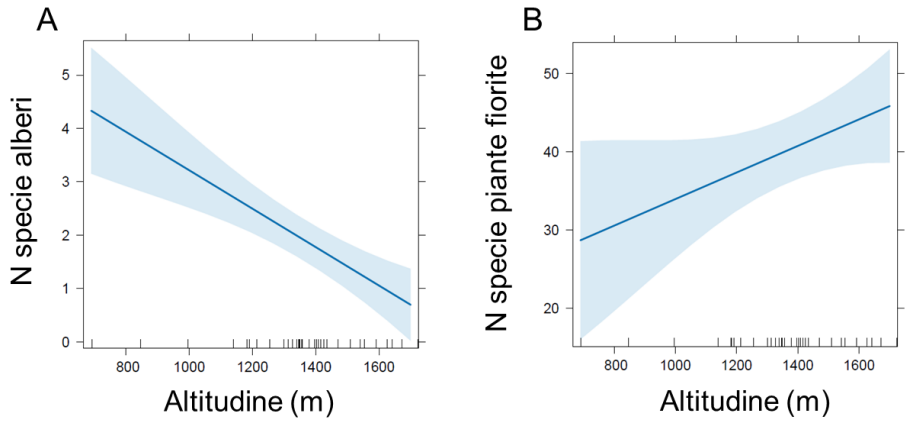

Figura 25 - Relazione tra numero di specie di rinnovazione naturale (A) e di piante fiorite (B) con l'altitudine nei siti di schianto

Per quanto riguarda la biodiversità degli artropodi, sono state trovate delle relazioni positive e consistenti tra i gruppi campionati con fattori che agiscono su larga scala, come l'altitudine (Figura 26). I risultati sono concordi a quelli pubblicati in letteratura scientifica e indicano una maggiore diversità di specie ad alte quote.

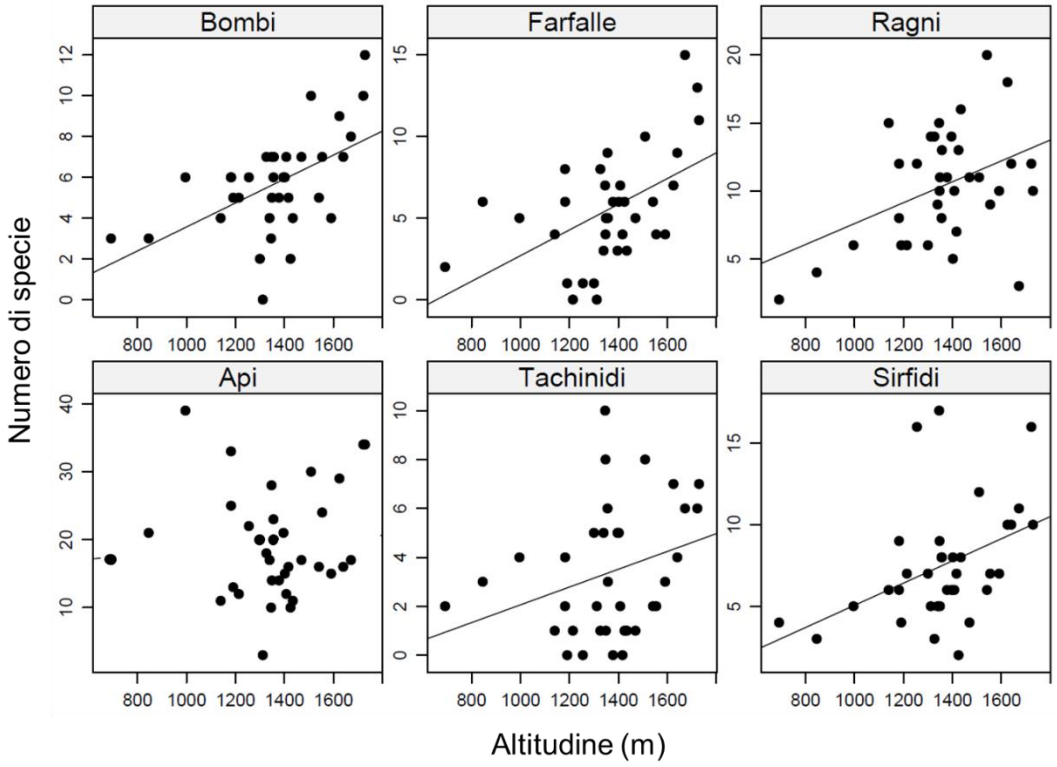

Figura 26 - Relazioni tra la diversità di specie campionate negli schianti e la quota dei siti di schianto

Infine, è stato analizzato come la diversità delle specie di artropodi vari con la presenza di altri schianti nel paesaggio intorno al sito campionato. Le analisi non hanno evidenziato relazioni significative con la percentuale di schianti presenti in un'area di raggio 1 km, ad indicare che la biodiversità degli artropodi aumenta localmente indipendentemente dalla dimensione dello schianto.

5. Conclusioni

L'obiettivo di questo lavoro è stato realizzare una rete di aree di monitoraggio all'interno del territorio colpito dalla tempesta Vaia, per studiare nel tempo le dinamiche di rinnovazione naturale e le dinamiche di biodiversità. In primo luogo, va sottolineato come il tempo zero da cui partire con il monitoraggio è da considerarsi la fine dei lavori di allestimento ed esbosco del materiale schiantato e non l'evento Vaia. Tali interventi, infatti, agiscono come un secondo disturbo che insiste su un'area già disturbata dagli schianti da vento, andando a modificare ulteriormente l'ecosistema.

Per quanto riguarda la rinnovazione naturale, la distanza dal margine, o più in generale la distanza da nuclei di piante mature capaci di disseminare, risulta essere uno dei principali fattori che ne influenzano la presenza nel breve periodo oggetto di questa analisi. Al crescere della distanza dal margine la quantità di seme che riesce a raggiungere il suolo diminuisce significativamente, riducendo così le probabilità di insediamento della rinnovazione naturale. Questo vale in particolar modo per le specie con seme "pesante" come abete rosso, abete bianco e faggio, ma influenza anche specie più pioniere come ad esempio il larice. La distanza non sembra essere invece un fattore limitante per le specie a disseminazione zoocora come il sorbo degli uccellatori, le quali possono invece trarre vantaggio dalla presenza di necromassa utilizzata come posatoio dagli uccelli. Tale influenza della distanza sulla disponibilità di seme può risultare decisiva nel definire aree dove intervenire prioritariamente con i rimboschimenti: in particolare aree distanti da margini porta-seme più di 40 m, in linea con i valori riportati in letteratura (Gratzer and Waagepetersen 2018), possono risultare difficilmente raggiungibili da una quantità di seme sufficiente a sostenere la rinnovazione naturale. Emerge inoltre il ruolo cruciale svolto nel breve termine dalla rinnovazione avanzata sopravvissuta ai disturbi.

La composizione specifica della rinnovazione rispecchia abbastanza fedelmente la composizione dei popolamenti precedenti, al netto di un leggero incremento di alcune specie pioniere (es.: sorbo degli uccellatori) comunque in linea con le dinamiche naturali attese. Questo suggerisce che allo stato attuale vi sia, in primo luogo, una discreta disponibilità di seme di tali specie; in secondo luogo, che vi siano ancora le condizioni favorevoli all'insediamento e alla crescita di queste specie. Nella gestione delle aree schiantate è però necessario tenere conto delle criticità e delle fragilità che queste specie, abete rosso in primis, presentano (suscettibilità agli schianti da vento, alla siccità ed infine alle infestazioni di bostrico tipografo). In questo contesto può essere opportuno favorire una maggior diversità specifica e strutturale dei popolamenti futuri.

I dati relativi ai danni da brucamento non registrano valori particolarmente elevati, suggerendo danni contenuti al momento del monitoraggio. Tuttavia il brucamento dei semenzali rappresenta un fattore limitante da tenere in considerazione, in particolar modo per le specie ritenute più appetibili (es.: abete bianco, sorbi, salicacee). Potrebbe quindi essere necessario mettere in atto strategie per mitigare la pressione dei brucatori sui semenzali, valutando localmente la strategia migliore. In tal senso la presenza di ramaglia o detriti legnosi in generale, vicino o addirittura sopra la rinnovazione, mostra una certa efficacia nel proteggere le piantine dal brucamento (Marangon et al. 2022).

La tempesta Vaia ha rappresentato un disturbo naturale che ha fortemente impattato i paesaggi forestali del Nord-est d'Italia, influenzando negativamente la maggior parte dei servizi ecosistemici di approvvigionamento, di regolazione, di supporto, sociali e culturali legati alle foreste. Tuttavia, i risultati del monitoraggio sulla biodiversità di piante e artropodi evidenziano il ruolo ecologico fondamentale di questi disturbi nel creare eterogeneità in paesaggi molto omogenei e nel riallocare le risorse disponibili favorendo una diversità maggiore di organismi. A tre anni dalla tempesta Vaia, la biodiversità di piante e artropodi aumenta localmente in tutti i siti colpiti dalla tempesta e successivamente disturbati dai macchinari di esbosco rispetto alla biodiversità tipicamente forestale che si trova nei siti non disturbati. Nonostante l'aumento in numero di specie di tutti i gruppi di piante e artropodi campionati emergono delle differenze tra i vari gruppi per le quali non è possibile dedurre la diversità dei singoli gruppi di organismi. Tali differenze sono legate all'ecologia delle specie. Infatti, la biodiversità presente negli schianti è influenzata sia da fattori locali, ad esempio la topografia del terreno, la fertilità del suolo e la presenza di risorse utili sia agli artropodi impollinatori (piante fiorite) che ai predatori (prede) sia da fattori che agiscono su una scala più ampia, ad esempio l'altitudine. In particolare, la biodiversità di impollinatori sembra essere influenzata soprattutto da fattori che hanno in primo luogo determinato la diversità degli organismi negli ambienti montani, mentre non sono influenzati dalla biodiversità di risorse fiorali presenti localmente. A tre anni dalla tempesta quindi, gli organismi impollinatori non sembrano essersi adattati alle nuove condizioni locali create dagli schianti ma sembrano utilizzare questi ambienti in maniera opportunistica. Al contrario, la biodiversità degli artropodi predatori, come i ragni, risulta essere influenzata anche dai fattori locali come la diversità di piante, le quali possono indicare sia una maggiore eterogeneità degli habitat, sia una maggiore disponibilità di prede. Dunque, gli artropodi camminatori, come i predatori, sembrano adattarsi molto più velocemente alle nuove condizioni ambientali create dalla tempesta rispetto ad organismi volatori. Per studiare l'evoluzione temporale delle relazioni tra la diversità di artropodi locale e i fattori ambientali è fondamentale il monitoraggio della biodiversità negli anni successivi, soprattutto data la rapida evoluzione di questi nuovi

ambienti. Un risultato comune a tutti i gruppi di artropodi studiati è stato l'aumento locale di diversità indipendentemente dalla percentuale di schianti presenti nel paesaggio, ad indicare proprio l'importanza degli schianti nel creare nuovi ambienti eterogenei utilizzabili da una diversità di organismi normalmente non presenti in ambienti forestali.

6. Bibliografia

ARPAV, centro meteorologico di Teolo. 2018. ‘Maltempo in Veneto : Pioggia e Vento Eccezionali’.

Chirici, G, F Giannetti, D Travaglini, S Nocentini, S Francini, G D’Amico, E Calvo, et al. 2019. ‘Forest Damage Inventory after the “Vaia” Storm in Italy’. *Forest@ - Rivista Di Selvicoltura Ed Ecologia Forestale* 16 (1): 3–9. https://doi.org/10.3832/efor3070-016.

Del Favero, R. 2004. *I Boschi delle Regioni Alpine Italiane - Tipologia, Funzionamento, Selvicoltura*.

Gratzer, G., Plenge Waagepetersen R. 2018. Seed dispersal, microsites or competition-what drives gap regeneration in an old-growth forest? An application of spatial point process modelling. *Forests* 9 (5). https://doi.org/10.3390/f9050230.

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* 331:116–28. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.08.002.

Marangon, D. 2023. Short-term regeneration dynamics after windstorm : interaction between disturbance legacies , management strategies and restoration practices. *PhD Thesis* University of Padova.

Marangon, D., Marchi N., Lingua E. 2022. Windthrown elements: a key point improving microsite amelioration and browsing protection to transplanted seedlings. *Forest Ecology and Management* 508 https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120050.

Motta, R, Ascoli D., Corona P., Marchetti M., Vacchiano G. 2018. Selvicoltura e schianti da vento. Il caso della “Tempesta Vaia”. *Forest@ - Journal of Silviculture and Forest Ecology* 15: 94. https://doi.org/10.3832/efor2990-015.

7. Appendice 1 - Parametri raccolti in campo

Tabella A 1 - Categorie di copertura del suolo e relativa descrizione utilizzate durante i rilievi in campo.

Copertura del suolo	**Descrizione**
Piante forestali	indicare il codice INFC della specie
Arbusti forestali	indicare il codice INFC della specie
Pteridium aquilinum	*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn
Altre felci	felci a cespo con tante fronde unite in un cespo basale, ben distinguibili dalla felce aquilina, che ha fronde con un gambo unico ben sviluppato.
Rovi	sotto questo nome si raggruppano in senso lato tutti i vari rovi, incluso il lampone (*Robus idaeus*), che a volte può compenetrarsi ad esse.
Ericacee	*Vaccinium myrtillus*, *Rhododendron spp.*, *Erica spp.*, *Calluna spp.*
Graminoidi	soprattutto *Poa spp.*, *Calamagrostis spp.*, *Luzula spp.,* ecc.
Carici, giuncacee	
Erbe	Tutto ciò che compone l'insieme delle specie di piccola-media taglia, tanto a foglia larga, quanto a foglia sottile, che vegetano ordinariamente nel sottobosco di varie tipologie forestali e che riflettono condizioni ecologiche più o meno separabili, ma ordinariamente nemorali. In altri termini tutto ciò che non è dominato da una fisionomia caratterizzante ed uniforme.
Alte erbe	Associazioni di erbe lussureggianti ad *Adenostyles spp.*, *Aconitum spp.*, *Cicerbita spp*., ecc., tipiche delle pendici alto montane e subalpine umide e le formazioni nitrofile e di rapida mineralizzazione ad *Epilobium angustifolium* delle schiarite e delle aree schiantate. Nel gruppo potrebbero rientrare peraltro anche ordinarie formazioni ad ortica (*Urtica dioica*) ed altre insolite presenze, recentemente osservate dopo gli schianti, come quelle massicce dei generi *Verbascum spp.*, *Galeopsis spp., Senecio spp.,* ecc.

Briofite	
Suolo nudo	Viene considerato tale anche in presenza di ramaglia fine, laddove questa non costituisca uno strato compatto in grado di impedire l'attecchimento e lo sviluppo del seme.
Suolo nudo compattato	Come sopra, laddove sia chiaramente visibile un compattamento (sentieri, piste temporanee di esbosco).
Ramaglia	Ramaglia di diametro inferiore ai 15 cm che costituisce uno strato spesso e continuo tale da impedire l'attecchimento e lo sviluppo del seme.
Legno morto	Legno di diametro superiore a 15 cm, in grado potenzialmente di costituire esso stesso un futuro substrato di germinazione delle plantule.
Roccia	

Tabella A 2 - Parametri dell'area di saggio rilevati per ogni transetto.

Parametri	**Descrizione**
Data rilievo	Data del rilievo
Provincia	Provincia
ID_area	Codice identificativo dell'area (es.: TN05_VD)
Comune	Comune amministrativo
Località	Toponimo relativo alla località
Proprietà	Proprietario dell'area interessata dal transetto
Coordinate punto 0	Coordinata GPS N e coordinata GPS E
Azimut transetto	Azimut del transetto nel verso del rilievo (0--> 80)
Tipo transetto	Tipo transetto in relazione alla direzione: andamento verticale (V, vertical) o orizzontale (H, horizontal), con direzione verso valle (D, downhill) o monte (U, uphill), verso destra (R, right) o verso sinistra (L, left). Es.: VD=vertical downhill, HL= horizontal left
Quota transetto	Quota del punto 0 del transetto
Tipo forestale	Tipologia forestale secondo la nomenclatura regionale
Direzione margine	Direzione del margine (es.: 45°-235°)
Struttura margine	Articolata/monoplana
Composizione margine	Percentuale per specie presenti. Es.: 70% abete rosso, 30% larice

Figura A 1 - Classi di decomposizione del legno morto.

8. Appendice 2 - Database di progetto

Database relazionale costituito da 10 tabelle legate tra loro attraverso l'identificativo del sito, del rilievo[1] e/o del transetto (Figura A2). Il database consente di inserire i dati rilevati in epoche diverse in modo che possa essere utilizzato anche per le future campagne di monitoraggio.

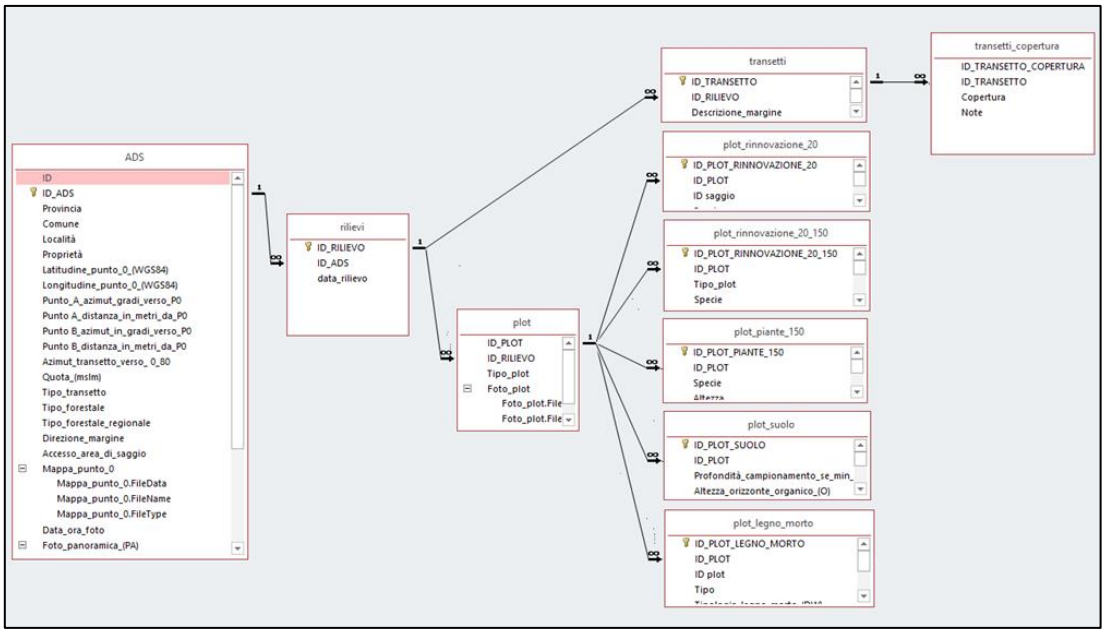

Figura A 2 - Struttura del database di progetto.

Per la compilazione sono state realizzate diverse maschere in cui l'operatore può facilmente inserire i dati rilevati, anche attraverso l'utilizzo di menù a tendina, e in cui può caricare le immagini scattate in campo in modo che siano opportunamente salvate (Figura A3, A4, A5).

[1] Con rilievo qui si intende un rilievo temporale (campagna di rilievo) durante il monitoraggio.

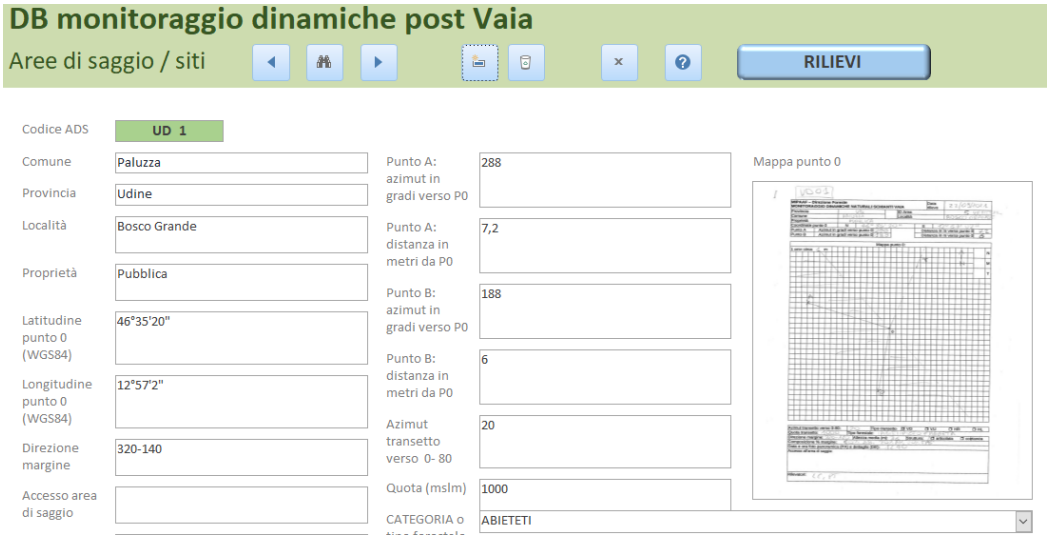

Figura A 3 - Maschera per l'inserimento dei dati relativi al sito di rilievo ed alla relativa mappa.

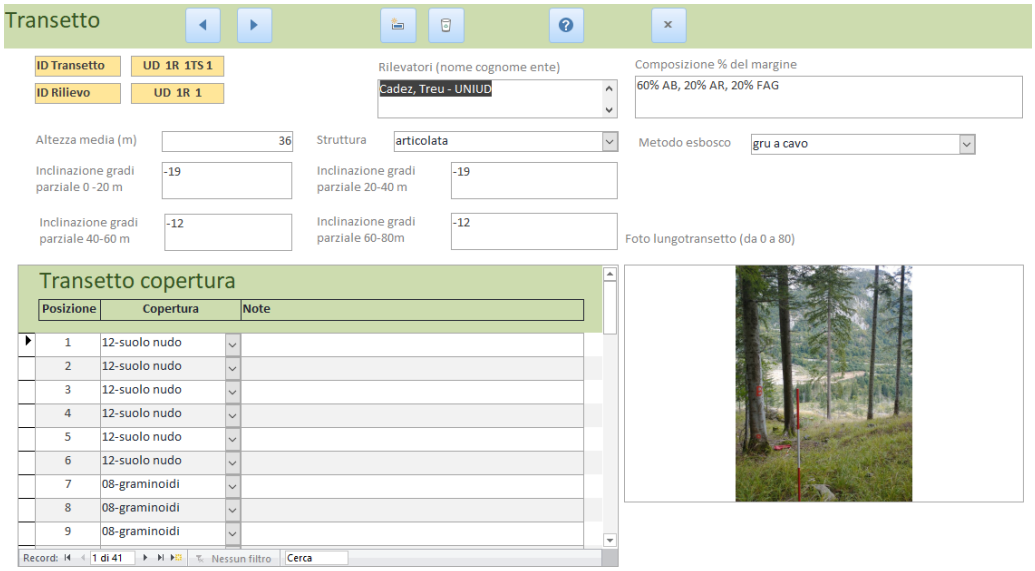

Figura A 4 - Maschera di inserimento dei dati relativi alle caratteristiche del transetto ed ai rilievi lungo il transetto.

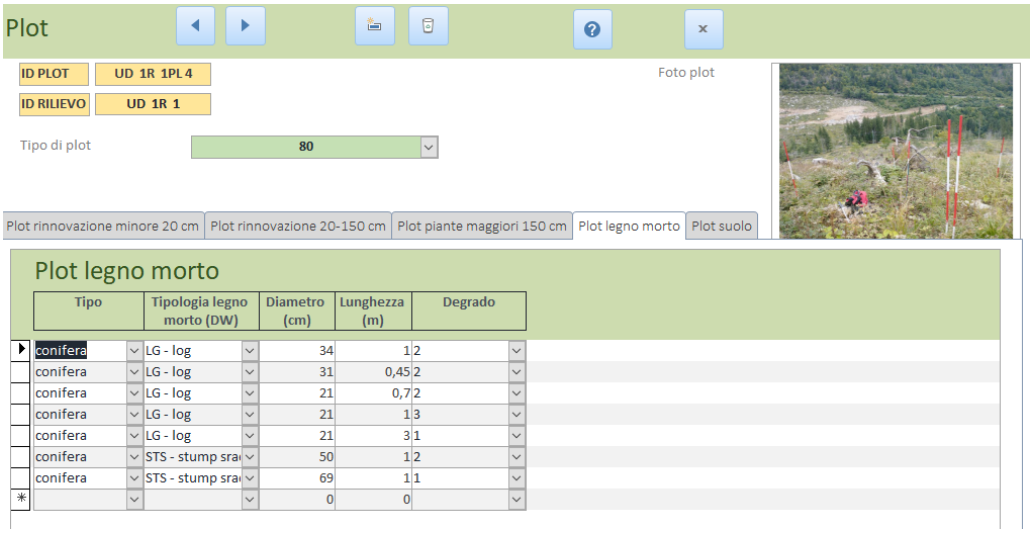

Figura A 5 - Maschera per l'inserimento dei dati relativi al rilievo all'interno di un plot.

Sono anche state predisposte delle query per consentire una facile estrazione dei dati relativi alle caratteristiche del transetto, ai substrati lungo il transetto, alle caratteristiche della rinnovazione e del legno morto nonché al contenuto di carbonio ed azoto del suolo ed al pH.