

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Agronomia, Alimenti, Risorse naturali, Animali e Ambiente

Dipartimento di Territorio e Sistemi Agro-Forestali

CORSO DI LAUREA IN SCIENZE FORESTALI E AMBIENTALI

Tesi di Laurea in Scienze Forestali e Ambientali

**CONFRONTO TRA LE COMUNITÀ DI LEPIDOTTERI DIURNI NEI SITI
COLPITI DALLA TEMPESTA VAIA DOPO TRE E CINQUE ANNI
DALL'EVENTO**

Relatore

Prof. Lorenzo MARINI

Correlatrice

Dott.ssa Elena GAZZEA

Laureando: Luca CONTI

Matricola: 2062743

ANNO ACCADEMICO 2023/2024

INDICE

RIASSUNTO.....	5
ABSTRACT.....	6
1. INTRODUZIONE.....	7
1.1. La tempesta Vaia in Italia.....	7
1.2. L’effetto degli schianti da vento sulla biodiversità forestale.....	8
1.3. I Lepidotteri e la loro presenza sull’arco alpino.....	9
1.4. Evoluzione temporale di uno schianto da vento.....	10
1.5. Obiettivi e ipotesi dello studio.....	11
2. MATERIALI E METODI.....	12
2.1. Area di studio.....	12
2.2. Campionamento.....	13
2.3. Analisi dei dati.....	14
3. RISULTATI.....	16
3.1. Abbondanza di individui e ricchezza di specie.....	16
3.2. β -diversità delle comunità di lepidotteri tra il 2021 e il 2023.....	19
3.3. Relazione tra le β -diversità delle comunità di lepidotteri e delle specie vegetali arbustive.....	20
3.4. Relazione tra le β -diversità delle comunità di lepidotteri e delle specie vegetali floreali.....	21
3.5. Relazione tra la β -diversità delle comunità di lepidotteri e la quota.....	22
3.6. Relazione tra la β -diversità delle comunità di lepidotteri e la composizione del paesaggio.....	24
3.7. Relazione tra la ricchezza di specie di lepidotteri e la biomassa vegetale.....	29
4. DISCUSSIONE.....	30
5. CONCLUSIONI.....	35
BIBLIOGRAFIA.....	37
APPENDICE.....	40

INDICE FIGURE E TABELLE

FIGURE

Figura 1: geolocalizzazione dei siti di campionamento.....	13
Figura 2: abbondanza di individui di lepidotteri.....	16
Figura 3: ricchezza media annua di specie.....	17
Figura 4: confronto annuo delle abbondanze per ogni sito.....	18
Figura 5: confronto annuo delle abbondanze per le aree di controllo.....	19
Figura 6: correlazione tra β -diversità dei lepidotteri e degli arbusti.....	21
Figura 7: correlazione tra β -diversità dei lepidotteri e delle specie floreali.....	22
Figura 8: correlazione tra β -diversità dei lepidotteri e quota.....	23
Figura 9: correlazione tra β -diversità dei lepidotteri e paesaggio (schianti) con $r=100$	24
Figura 10: correlazione tra β -diversità dei lepidotteri e paesaggio (schianti) con $r=200$	25
Figura 11: correlazione tra β -diversità dei lepidotteri e paesaggio (schianti) con $r=500$	25
Figura 12: correlazione tra β -diversità dei lepidotteri e paesaggio (schianti) con $r=750$	26
Figura 13: correlazione tra β -diversità dei lepidotteri e paesaggio (schianti) con $r=1000$..	26
Figura 14: correlazione tra ricchezza specie di lepidotteri e biomassa vegetale (2021)...	29
Figura 15: correlazione tra ricchezza specie di lepidotteri e biomassa vegetale (2023)...	30

TABELLE

Tabella 1: valori di β -diversità considerata l'abbondanza di lepidotteri.....	19
Tabella 2: valori di β -diversità considerata la ricchezza di specie arbustive.....	20
Tabella 3: valori di β -diversità considerata la ricchezza di specie floreali.....	21

RIASSUNTO

Alla fine di ottobre 2018, la tempesta Vaia ha colpito gran parte dell'Europa centro-meridionale, creando inondazioni e schianti da vento soprattutto nelle valli alpine del Triveneto. Con il passare degli anni le zone soggette a schianti hanno incominciato dei processi di rigenerazione naturale creando habitat di transizione fra ambienti aperti e foresta di particolare interesse per organismi impollinatori quali api, farfalle e sirfide. Questo lavoro di tesi si concentra in particolare sulle comunità di lepidotteri nelle aree soggette a schianti, ponendosi come obiettivo quello di studiare come queste siano cambiate in base all'evoluzione della vegetazione. L'attività di campionamento si è svolta nei mesi di giugno, luglio e agosto 2021 e 2023 in 18 siti sull'Altopiano dei Sette Comuni (VI). Per ogni sito sono state individuate 3 aree di saggio per il campionamento della vegetazione del sottobosco e sono state posizionate due triplette di trappole "pantraps" per la cattura di insetti volatori. Gli insetti campionati sono stati identificati a livello di specie e le comunità campionate nel 2021 e nel 2023 sono state confrontate utilizzando comuni indici di biodiversità. Si è cercato poi di spiegare l'evoluzione delle comunità di lepidotteri tra i due anni presi in esame testando alcune variabili ambientali, come ad esempio il paesaggio circostante, le specie vegetali, l'altitudine e la biomassa vegetale. Nonostante il numero di specie presenti risulti molto simile tra i due anni, il numero di individui rilevati nel 2023 risulta essere nettamente superiore. Abbiamo inoltre osservato una grande diversità di composizione tra le comunità censite nel 2021 e nel 2023. Negli schianti a cinque anni dalla tempesta è stata riscontrata una presenza più frequente di specie tipiche di arbusteti più evoluti. La variabile che più di tutte ha influenzato le comunità di lepidotteri è risultata essere la quota, mentre le variabili meno rilevanti corrispondono alle β -diversità delle specie vegetali arbustive e floreali tra i due anni di campionamento. È risultato inoltre come anche la composizione del paesaggio, specialmente la presenza di estese aree interessate da schianti abbia avuto un'influenza positiva sull'evoluzione delle comunità di lepidotteri. I risultati di questo studio possono rivelarsi utili al fine di pianificare la gestione forestale nei siti schiantati, usando le comunità di lepidotteri come indicatore di biodiversità.

ABSTRACT

In October 2018, the storm Vaia hit much of central-southern Europe, affecting with floods and windthrows especially the Alpine valleys of the Triveneto, Italy. Over time, the areas subjected to windthrows have started a natural succession. This thesis focuses, in particular, on lepidopteran communities in areas subjected to windthrows, aiming to study the changes in community composition over time. The sampling activity took place in June, July and August 2021 and 2023 in 18 sites on the Altopiano dei Sette Comuni (VI). For each site, 3 plots were identified for sampling the understory vegetation and two triplets of pantraps were positioned to capture flying insects. Sampled insects were identified to species level and communities sampled in 2021 and 2023 were compared using common biodiversity indices. We then tried to explain the dynamics of the lepidopteran communities between the two years testing some environmental variables, such as the surrounding landscape, plant species, altitude, and plant biomass. Although the number of species present was very similar between the two years, the number of individuals detected in 2023 was significantly higher. We also observed large differences in butterfly composition between the two years. Given the dynamics of the plant communities towards a shrubland vegetation, the presence of species typical of forest habitats was more frequent only after five years since the storm. The variable that most influenced the lepidopteran communities was altitude, while the less relevant variables correspond to the differences in plant composition between the two years of sampling. Landscape with large cover of windthrow areas had a positive influence on the diversity of lepidopteran communities. The results of this study may prove useful for planning forest management in windthrow sites, using lepidopteran communities as indicators of biodiversity.

1. INTRODUZIONE

Le foreste in Italia rappresentano circa un terzo della superficie della nostra penisola e la loro tendenza è quella di aumentare ulteriormente ricalcando ciò che è avvenuto negli ultimi decenni. Nonostante ciò, soprattutto a causa del cambiamento climatico che sempre più influenzerà le varianti meteorologiche sul nostro pianeta, in un futuro sempre più prossimo si prevede anche un aumento di fenomeni meglio riconosciuti come disturbi abiotici, quali lunghi periodi siccitosi aventi come conseguenza brevi periodi caratterizzati da intense precipitazioni, ed episodi di forte vento sempre più simili a piccoli uragani che potrebbero essere causa di schianti su piccola o larga scala in base all'intensità del vento in foresta (Seidl et al., 2017). Tutto ciò comporterà un forte squilibrio delle dinamiche ambientali nelle quali le nostre foreste hanno sempre vissuto, fattore che comporterà una maggiore eterogeneità nel paesaggio e l'aumento di patologie ed epidemie di carattere biotico per le quali sarà sempre più difficile trovare una soluzione.

In Europa, le tempeste da vento sono considerate le prime agenti di disturbo per le foreste, seguite da incendi e agenti biotici (Schelhaas et al., 2003). Ne sono considerate un esempio le tempeste Vivian e Wiebke del 1990, la tempesta Lothar del 1999, la tempesta Gudrun del 2005 e la tempesta Kyrill del 2007, le quali hanno colpito in maniera non indifferente l'Europa centro-settentrionale. Un simile evento ha interessato in tempi più recenti anche l'Europa centro-meridionale, manifestando il suo raggio d'azione in Paesi quali Francia, Croazia, Austria, Svizzera e Italia, con i danni maggiori registrati in quest'ultima. Si tratta della tempesta Vaia, che tra il 26 e il 30 ottobre 2018 ha causato notevoli fenomeni quali inondazioni e schianti da vento.

1.1. La tempesta Vaia in Italia

L'Italia, specie le regioni settentrionali, ne viene interessata soprattutto nei giorni del 27, 28 e 29 ottobre. La perturbazione che ha interessato l'Italia consiste in una depressione la quale ha avuto origine nella giornata del 27 ottobre tra il Mar Baltico ed il Mar Mediterraneo occidentale, stazionando sul Golfo del Leone, sulle isole Baleari e sulla Sardegna. L'irruzione di aria fredda ha determinato l'aumento dei venti di scirocco e libeccio sulle regioni settentrionali, colpendo con maggiore intensità le vallate alpine del Triveneto, le Alpi orientali e la loro rete idrogeologica, manifestandosi più intensamente il 29 ottobre, giorno in cui le raffiche

di vento provenienti da sud si sono combinate con alcune perturbazioni locali in corrispondenza dei rilievi settentrionali.

L'evento ha interessato 494 Comuni solo in Italia, con superficie totale interessata pari a 2.306.968 ha, di cui 1.399.483 ha sono coperti da bosco. La tempesta Vaia è stata causa di schianti da vento su 42.525 ha di superficie forestale, interessando soprattutto peccete pure e piceo-faggete, con una quantità di legname a terra pari a 8,5 milioni di metri cubi. Dati questi numeri, viene tutt'ora definito come l'evento che ha avuto un maggiore impatto sugli ecosistemi forestali tra quelli registrati fino ad oggi in Italia (Chirici et al., 2019).

1.2. L'effetto degli schianti da vento sulla biodiversità forestale

Gli schianti da vento rappresentano un notevole impatto sulla biodiversità degli ecosistemi forestali, conducendoli di fatto ad uno stravolgimento totale del loro equilibrio iniziale. L'impatto più evidente è quello paesaggistico, in quanto gli schianti da vento, siano essi più o meno estesi, portano ad una frammentazione del paesaggio che è essa stessa causa di successivi impatti sul reticolo idrogeologico, sulla flora e sulla fauna, in quanto una porzione di suolo precedentemente ricoperta da foresta si tramuta in una ridotta frazione di tempo in uno spazio aperto.

Si ha quindi una notevole variazione nelle specie vegetali che popolano l'area dello schianto, con la scomparsa delle arboree ad alto fusto e di altre specie forestali di sottobosco, per lasciare spazio a specie erbacee ed arbustive più idonee agli spazi aperti, a specie arboree pioniere ed alla rinnovazione forestale delle specie che prima popolavano la superficie coinvolta.

Le conseguenze del cambio vegetazionale dell'area soggetta a schianto si riflettono notevolmente sulla fauna, in particolar modo sulle comunità di insetti di cui è composta. Bisogna però specificare che la risposta delle diverse comunità di insetti al disturbo varia a seconda delle caratteristiche delle stesse e dell'habitat di cui hanno bisogno (Viljur et al., 2022). Uno studio del 2017 di Wermelinger et al. sull'impatto degli schianti da vento sulle popolazioni di artropodi nelle foreste dell'Europa centrale sottolinea infatti come ci siano differenze evidenti per quanto riguarda la ricchezza di determinate specie di artropodi e la loro abbondanza mettendo a confronto foreste di conifere intatte e foreste disturbate. Nelle seconde le specie risultano essere il doppio di quelle presenti in aree intatte, l'abbondanza di specie indicatrici di quel determinato habitat aumenta e si registra una maggiore presenza di coleotteri facenti parte delle red-lists.

Oltre agli aspetti già citati, si possono notare differenze sostanziali anche nel caso l'area schiantata non venisse esboscata. Ad esempio, nel caso il legname atterrato venisse esboscato, la risposta in termini di rinnovazione vegetale sarebbe diversa rispetto a quella che si avrebbe se il legname venisse lasciato nel luogo dello schianto (Wermelinger et al., 2017). Confrontando invece foreste in cui il legname atterrato non è stato esboscato e foreste in cui il legname atterrato è stato esboscato, si è notato come la differenza tra i valori della β -diversità tra i due trattamenti tende a svanire con il tempo, mentre parallelamente le differenze di valore sono notevoli se si parla di insetti, soprattutto saproxilici e specie rare. Si sottolinea quindi come sia importante adottare una strategia di gestione che bilanci la quantità di aree esboscate completamente con quella di aree con il legname lasciato a terra (Georgiev et al., 2022). Questi eventi, corrispondendo a stravolgimenti totali delle caratteristiche degli ecosistemi forestali che interessano, possono essere considerati anche come occasione di ripartenza per l'ecosistema danneggiato, allargando il raggio d'azione di alcune comunità di insetti impollinatori e portando quindi un notevole beneficio a queste specie tra le quali figurano i lepidotteri, ordine preso come indicatore di biodiversità e rinnovazione dell'ecosistema per questo studio.

1.3. I Lepidotteri e la loro presenza sull'arco alpino

I lepidotteri sono uno degli ordini più ricchi di specie tra gli insetti, con centinaia di specie presenti anche in Italia, in particolar modo negli ambienti più caldi ma anche sull'arco alpino. Il ciclo vitale di un esemplare adulto solitamente dura da qualche settimana fino a 6-8 mesi, con rari esemplari (specialmente del genere *Vanessa*) che riescono a sopravvivere anche fino a 12 mesi. La longevità di alcuni individui sembra essere connessa al tipo di alimentazione, infatti tra le specie più longeve figurano quelle che annoverano nella loro dieta anche il polline dei fiori, avente alto contenuto proteico e amminoacidico. I lepidotteri rientrano infatti tra gli ordini di insetti cosiddetti *impollinatori*, ricoprendo quindi un ruolo fondamentale per la vitalità di un ecosistema. La maggior parte dei lepidotteri presenti sull'arco alpino popola le fasce occupate da prati e radure vista la presenza di specie erbacee idonee al loro ciclo vitale, ma sono anche presenti alcune specie che prediligono un habitat nettamente forestale anche solo per un singolo stadio del ciclo vitale. Ad ogni modo, anche per queste ultime gli habitat che si trovano ai margini dei boschi sono ambienti indispensabili per la loro sopravvivenza.

1.4. Evoluzione temporale di uno schianto da vento

Essendo la tempesta Vaia molto recente, non esiste al momento nessuno studio che abbia trattato l'evoluzione temporale degli schianti da vento originatisi. Nonostante ciò, uno studio effettuato sulle foreste boreali di abete rosso della Central Forest Reserve in Russia riporta come si siano rigenerate a distanza di decine di anni alcune superfici forestali soggette a schianto da vento (Ulanova, 2000). Si ritiene doveroso specificare la differenza in termini morfologici dell'area di studio in Russia rispetto a quella italiana, vista l'elevata pendenza del terreno nelle aree colpite in quest'ultima, fattore che però non determina in linea di massima uno stravolgimento totale delle dinamiche di rinnovazione forestale. Lo studio rimarca l'importanza della topografia del terreno nella possibilità che l'albero sia soggetto a sradicamento o meno, sottolineando come questo sia più occorrente in soggetti situati su tumulti piuttosto che in soggetti situati in porzioni di terreno più affossate. A seguito di uno sradicamento, la struttura del suolo può impiegare dai 100 ai 200 anni per ritornare alle condizioni iniziali, arrivando anche a 300 anni nei casi più estremi. Il ruolo dello sradicamento nel mantenere stabili le strutture delle popolazioni di alberi e sottobosco nelle comunità forestali è stato ritenuto molto importante, tanto che la rinnovazione è risultata essere più persistente in aree dove erano presenti i tumulti originatisi a seguito dello sradicamento e gli alberi sono stati lasciati a terra, piuttosto che in aree di foresta indisturbata. Si è notato inoltre un aumento di ricchezza di specie erbacee floreali in corrispondenza delle aree soggette a schianto vista l'apertura dello spazio sovrastante e la movimentazione del terreno a causa dello sradicamento delle piante, nonché l'avvento di specie erbacee ed arboree pioniere a ripopolare l'area. Come risultato, quest'ultima ha assunto le caratteristiche di una foresta a struttura multi-stratificata vista la maggiore biodiversità vegetale al suo interno e la diversa età degli individui al suo interno. La formazione di praterie pioniere e, in seguito, di arbusteti più evoluti, ha contribuito inoltre ad aumentare l'eterogeneità dell'habitat che una volta era sottobosco, con l'avvento di molteplici specie erbacee caratteristiche degli habitat sopra citati. L'impatto che questa trasformazione ha sulle popolazioni di insetti non è però sempre uguale da una comunità all'altra. Parlando ad esempio di ricchezza specifica di ragni, è stato appurato come questa sia solo minimamente influenzata da un habitat abbandonato come lo può essere uno schianto da vento piuttosto che da un habitat come le praterie semi-naturali (Nardi, Marini, 2021).

Gli studi proposti nel corso del capitolo riportano risultati attinenti alla rinnovazione vegetale in seguito ad eventi meteorologici simili alla tempesta Vaia, nonché all'impatto che questi stravolgimenti dell'ecosistema causano alla biodiversità animale, ma in quasi tutti gli studi non sono mai citati i lepidotteri come comunità analizzata. Pertanto questo studio si pone la finalità di colmare il vuoto nella ricerca quando si parla di impatti degli schianti da vento sulle comunità di lepidotteri.

1.5. Obiettivi e ipotesi dello studio

L'obiettivo di questo lavoro di tesi consiste nello studiare come cambiano le comunità di lepidotteri in base all'evoluzione delle aree di schianto negli anni.

L'ipotesi formulata inizialmente vede le comunità di lepidotteri aumentare in termini di ricchezza di specie e abbondanza di individui tra i due anni presi in considerazione, data anche l'ipotetica evoluzione positiva dell'ecosistema e l'aumento delle specie floristiche pioniere nelle aree di schianto. Le comunità di lepidotteri sono messe in relazione a fattori che ipoteticamente ne hanno variato le caratteristiche, quali la ricchezza di specie floristiche e arbustive, la composizione del paesaggio attorno di cui fanno parte le aree interessate da schianti da vento e la quota di ogni sito di campionamento.

2. MATERIALI E METODI

2.1. Area di studio

Durante la fase pianificatoria dello studio si è deciso di scegliere come macroarea campione l'Altopiano dei Sette Comuni, un altopiano in provincia di Vicenza con estensione pari a 560,1 km² e altitudine media di 1317 m.s.l.m. (con punte minima e massima pari a 87 e 2341 m.s.l.m.), racchiuso tra i bacini idrografici dei fiumi Astico ad ovest e Brenta ad est. Si è deciso di condurre le analisi in quest'area geografica in quanto l'Altopiano dei Sette Comuni risulta essere una tra le zone più colpite dalla tempesta Vaia nell'ottobre del 2018, soprattutto la fascia più a nord del massiccio, con presenza principalmente di schianti da vento con elevata estensione. Successivamente, in questa macroarea d'indagine sono stati individuati 18 siti di campionamento equamente distribuiti su tutta la superficie dell'altopiano, di cui 16 situati in spazi aperti conseguenti a schianti da vento e 2 individuati come aree di controllo all'interno di popolamenti forestali misti o puri (piceo-faggete o peccete pure) con caratteristiche simili a quelle delle zone in seguito colpite dalla tempesta. Nella ricerca di questi si è tenuto conto di tre aspetti principali:

- i siti devono essere il più possibile facilmente raggiungibili da una strada carrozzabile, così da evitare lunghi tragitti a piedi per raggiungere l'area e risparmiare tempo e fatica per il trasporto dell'attrezzatura necessaria;
- non troppo lontano dal sito deve esserci uno spazio aperto con il minor impatto antropico possibile, come ad esempio una radura all'interno della foresta o un prato non tagliato;
- il terreno deve essere idoneo a consentire all'operatore di effettuare in sicurezza le operazioni di raccolta dati;
- la superficie deve essere stata interamente esboscata dalle piante atterrate, lasciando sul posto unicamente le ceppaie.



Figura 1: geolocalizzazione dei siti di campionamento distribuiti su larga parte dell'area dell'Altopiano dei Sette Comuni (VI)

2.2. Campionamento

Il campionamento nei siti individuati è stato svolto nel 2021 e nel 2023. L'attività di campionamento è stata svolta dall'ultima settimana di giugno all'ultima settimana di agosto, effettuando quattro rilievi di campionamento a distanza di due settimane l'uno dall'altro. Per ciascun sito sono stati individuati tre plots con superficie di 10 m² ognuno. Le aree di saggio sono servite per effettuare un censimento dettagliato di tutte le specie vegetali erbacee, arbustive e arboree pioniere situate al loro interno. Nei siti di campionamento sono state posizionate inoltre delle trappole, le cosiddette pantraps, le quali, avendo come finalità principale la cattura di insetti impollinatori e volatori in generale, sono composte ognuna da due vaschette di plastica tonde sovrapposte l'una all'altra così da limitare il più possibile i danni causati dalla grandine e appoggiate sul terreno, alle quali sono stati fatti due piccoli fori nella parte alta per consentire la fuoriuscita dell'acqua in eccesso in caso di forti precipitazioni durante il periodo di campionamento. All'interno delle pantraps sono stati versati del glicole diluito al 75% con acqua per facilitare la conservazione degli insetti nel miglior stato possibile durante le due settimane in cui le trappole erano lasciate incustodite, e del sapone neutro per ridurre la tensione dell'acqua. Ogni due settimane le trappole sono state svuotate del loro contenuto, trattenendo gli insetti e riponendoli in provette falcon contenenti soluzione alcolica diluita con acqua al 75% al fine di conservarli fino al momento delle analisi in laboratorio. Una volta svuotato il contenuto delle trappole, il processo iniziale di riempimento con glicole diluito e sapone è stato ripetuto ad ogni campionamento, fatta eccezione per l'ultimo, nel

quale le trappole sono poi state rimosse. Successivamente ai rilievi in campo sono state effettuate le attività di laboratorio presso il dipartimento DAFNAE al Campus di Agripolis dell'Università di Padova, durante le quali sono stati suddivisi gli insetti trovati all'interno delle trappole negli ordini di appartenenza per poi essere inviati ad esperti per il riconoscimento delle specie. Per una descrizione dettagliata dei siti di campionamento si faccia riferimento all'Appendice.

2.3. Analisi dei dati

Si è proceduto all'analisi dei dati raccolti tramite il software Excel, mettendo prima in relazione i dati raccolti su abbondanza di individui e ricchezza di specie tra il 2021 e il 2023 e poi andando ad indagare nel dettaglio mediante tabella Pivot l'abbondanza di individui e la ricchezza di specie sito per sito, per poi confrontare con maggiore precisione i dati dei due anni considerati. Successivamente è stata calcolata la β -diversità tra gli stessi siti a distanza di due anni considerando le comunità di lepidotteri e poi si è cercato di motivare il valore numerico della β -diversità di ciascun sito in relazione alle variabili prese in considerazione quali quota, β -diversità delle specie arbustive e floreali e composizione del paesaggio in un raggio di 100 m, 200 m, 500 m, 750 m e 1000 m dal punto di geolocalizzazione del sito, mediante modelli di regressione lineare. I valori numerici riferiti al paesaggio si intendono come percentuali di paesaggio individuato come schianto da vento e come spazio aperto, riferite alla composizione del paesaggio attorno al punto di geolocalizzazione del sito di campionamento. Come variabili di paesaggio sono state considerate lo schianto da vento, lo spazio aperto e la foresta, anche se ai fini dell'analisi sono state considerate solo le prime due voci vista la finalità dello studio. Nell'ultima analisi effettuata sono state messe in correlazione la ricchezza di specie di lepidottero e la biomassa vegetale per ogni sito nei due anni analizzati per approfondire un'eventuale relazione tra le due variabili.

Per quanto riguarda il calcolo della β -diversità dei siti di campionamento, ossia la variazione interna nella composizione della comunità per quanto riguarda i lepidotteri, sono state prese in considerazione le abbondanze dell'anno 2021 e del 2023 di uno stesso sito e da qui si è proceduto al calcolo del valore di β -diversità per ogni sito, corrispondente ad un numero decimale compreso tra 0 e 1. L'analisi è stata eseguita per verificare la presenza di eventuali differenze tra le due annate prese in considerazione. Essendo il dato in questione

basato sull'abbondanza di individui per ogni sito, per calcolare i valori si è optato per l'utilizzo dell'indice di Bray-Curtis, riportato nella formula sottostante:

$$b_{a,b} = \frac{\sum |n_{ij} - n_{i'j}|}{N_a + N_b}$$

In fase preliminare di analisi, dopo aver esaminato le specie censite in laboratorio nel 2023, si è optato per effettuare in primis il confronto tra la β -diversità dei siti tra gli anni 2021 e 2023 considerando la ricchezza di specie vegetali arbustive e floreali al loro interno, in quanto nel 2023 è cresciuta l'abbondanza di individui appartenenti a specie che prediligono habitat riconducibili ad arbusteti evoluti. I valori sono stati calcolati mediante l'indice di Jaccard, come qui riportato, in quanto non è stata presa in considerazione l'abbondanza degli individui, bensì la presenza di specie in ogni sito:

$$\beta_{cc} = \frac{b+c}{a+b+c}$$

3. RISULTATI

3.1. Abbondanza di individui e ricchezza di specie

In seguito all'analisi e alla suddivisione in comunità degli individui raccolti nelle trappole durante il periodo di campionamento, il numero di individui appartenenti alla comunità dei lepidotteri nel 2023 è pari a 199. Il valore, una volta paragonato con quello ottenuto nel 2021, risulta essere nettamente superiore, in quanto nel 2021 sono stati campionati 143 esemplari di lepidotteri.

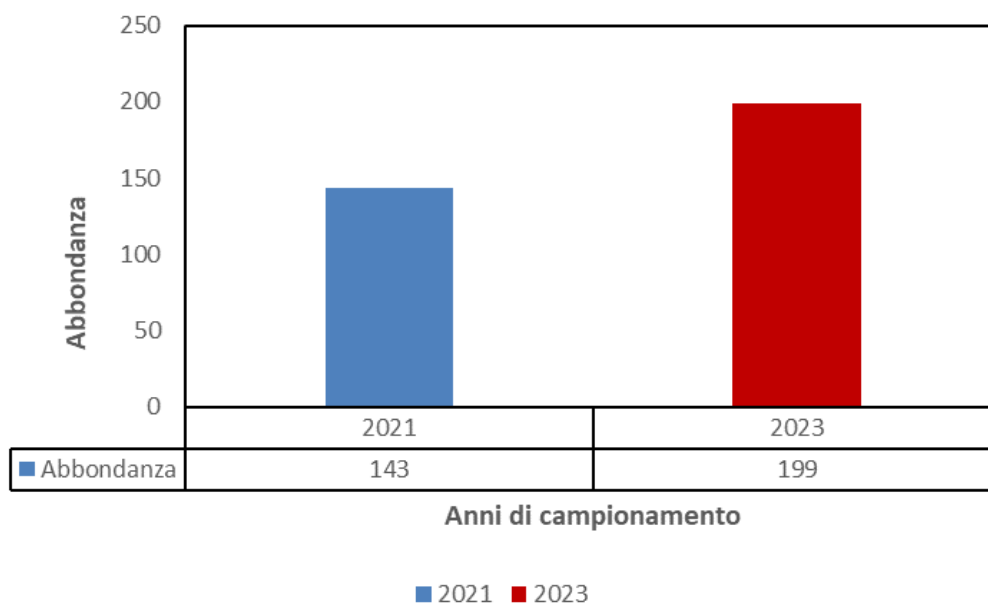


Figura 2: confronto in termini di abbondanza di individui appartenenti alla comunità dei lepidotteri nel 2021 e nel 2023

Per quanto riguarda invece la ricchezza di specie, è emerso come nel 2023, nonostante il maggior numero di individui censiti rispetto al 2021, le specie di lepidottero riconosciute sono risultate essere 23, ossia due in meno rispetto al 2021, anno in cui sono state censite 25 specie. Nell'ultimo anno è anche diminuito da 5 a 4 il numero medio di specie presenti all'interno di ogni sito, come dimostrato in Figura 3.

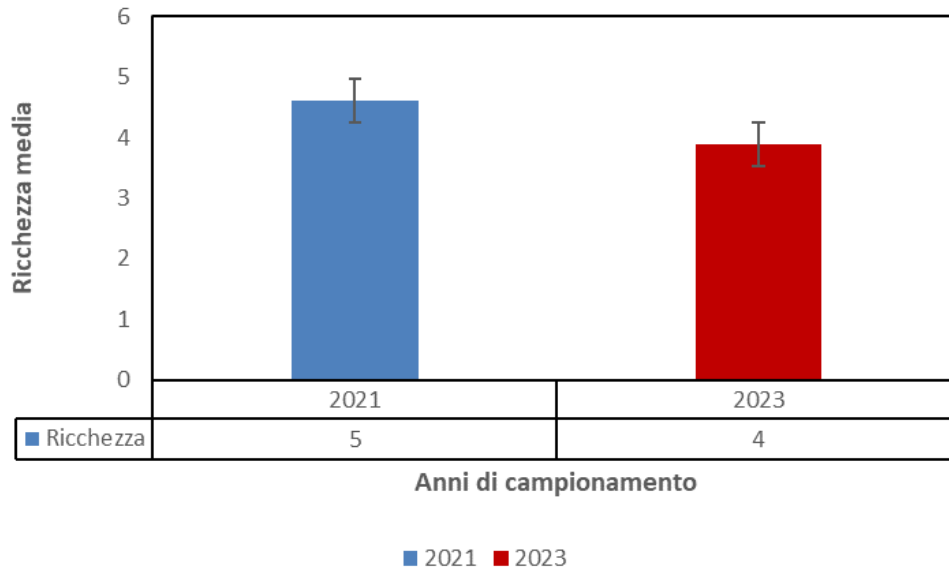


Figura 3: media del numero di specie di lepidotteri presenti all'interno di ogni sito nel 2021 e nel 2023

Nella Figura 4 sono invece riportate le abbondanze nel dettaglio per ogni singolo sito. Osservando il grafico si evince come nel 2023 i siti dove è stato censito il maggior numero di individui siano il 14, il 15 ed il 16, tutti e tre situati nell'area geografica della Piana di Marcesina. Nel 2021, invece, i siti che hanno visto una maggiore presenza di individui di lepidottero sono stati l'1, il 2 ed il 6, situati tutti geograficamente molto lontani dai siti con maggiore abbondanza nel 2023.

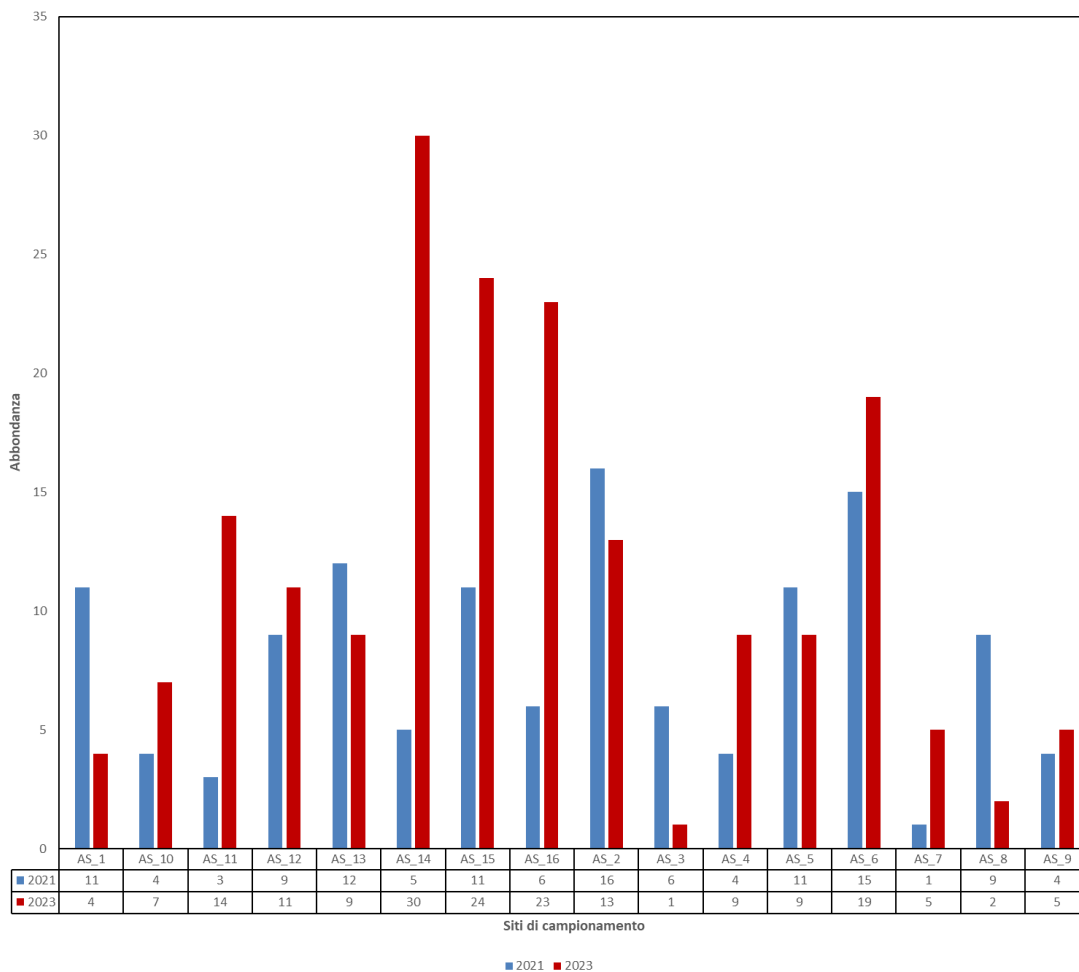


Figura 4: confronto tra le abbondanze di individui di lepidotteri nel 2021 e nel 2023 all'interno dei siti di campionamento localizzati in corrispondenza degli schianti da vento

Nella Figura 4 sono riportati i dati relativi all'abbondanza esclusivamente dei siti di campionamento situati negli schianti da vento. Per finalità di confronto, nel grafico sottostante vengono riportati i valori dell'abbondanza nei due anni esaminati per quanto riguarda le due aree di controllo AS_co1 e AS_co2.

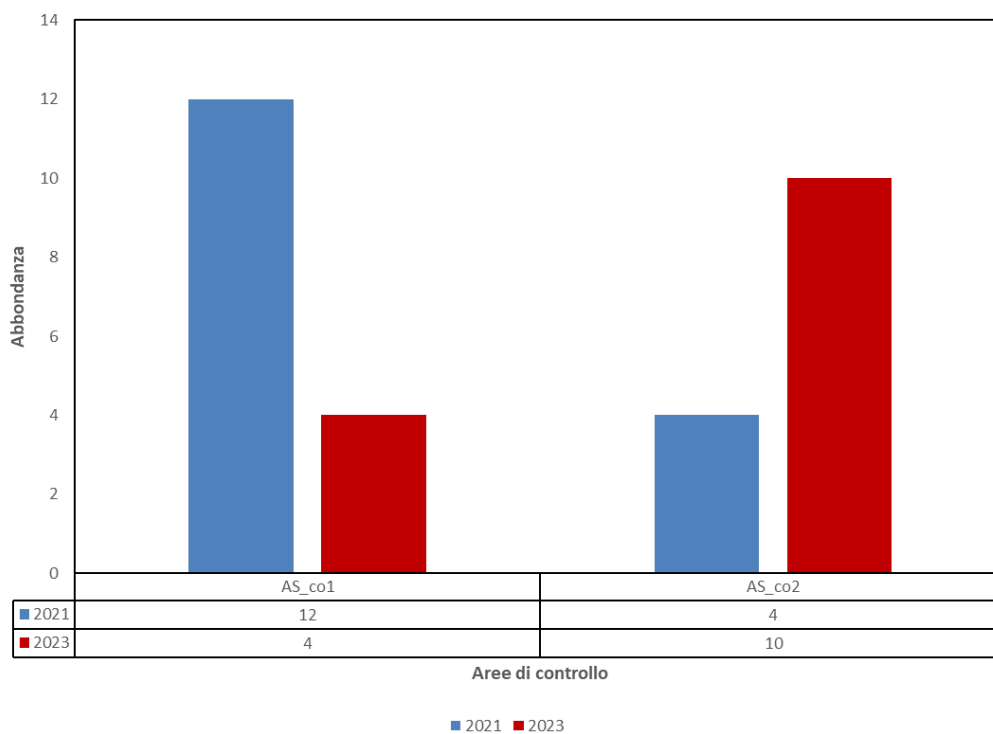


Figura 5: confronto tra le abbondanze di individui di lepidotteri nel 2021 e nel 2023 all'interno dei siti di campionamento individuati come aree di controllo

3.2. β -diversità delle comunità di lepidotteri tra il 2021 e il 2023

I valori di β -diversità ottenuti considerando le specie e l'abbondanza di lepidotteri campionati sono riportati nella tabella seguente (Tabella 1).

Sito	β -diversità considerando le specie di lepidotteri
AS_1	1
AS_2	0.72
AS_3	1
AS_4	0.8
AS_5	0.6
AS_6	0.94
AS_7	1
AS_8	0.82
AS_9	0.78
AS_10	1
AS_11	1
AS_12	1
AS_13	0.86
AS_14	0.83
AS_15	0.89
AS_16	0.72
AS_co1	1
AS-co2	1

Tabella 1: valori di beta-diversità considerata l'abbondanza di individui di lepidottero per ogni sito

Osservando la Tabella 1 si può notare quanto i valori di β -diversità siano elevati, fattore che evidenzia l'enorme differenza nella presenza o meno di determinate specie dal 2021 al 2023 e la differenza in termini di abbondanza. Dai calcoli si evidenzia come il minimo non risulti mai essere sotto lo 0,6, ben sei siti presentino valore di β -diversità pari a 1 e la media dei valori sia pari a 0,87. Tra i siti aventi β -diversità pari a 1 figurano AS_1, AS_3, AS_7, AS_10, AS_11 e AS_12.

3.3. Relazione tra le β -diversità delle comunità di lepidotteri e delle specie vegetali arbustive

I valori di β -diversità ottenuti considerando le specie vegetali arbustive sono riportati nella tabella seguente.

Sito	β -diversità considerando le specie vegetali arbustive
AS_1	0.29
AS_2	0.14
AS_3	0
AS_4	0
AS_5	0.67
AS_6	0.5
AS_7	0.45
AS_8	0.27
AS_9	0
AS_10	0.5
AS_11	0.67
AS_12	0.67
AS_13	0.25
AS_14	0.2
AS_15	0.25
AS_16	0
AS_co1	0.33
AS-co2	0.13

Tabella 2: valori di beta-diversità considerata la ricchezza di specie vegetali arbustive per ogni sito

Avendo ora a disposizione i valori della β -diversità tra gli anni 2021 e 2023 sia considerando l'abbondanza di specie di lepidotteri che la ricchezza di specie vegetali arbustive per ogni sito, si è proceduto rappresentando graficamente la correlazione tra i due valori, come illustrato nel grafico sottostante.

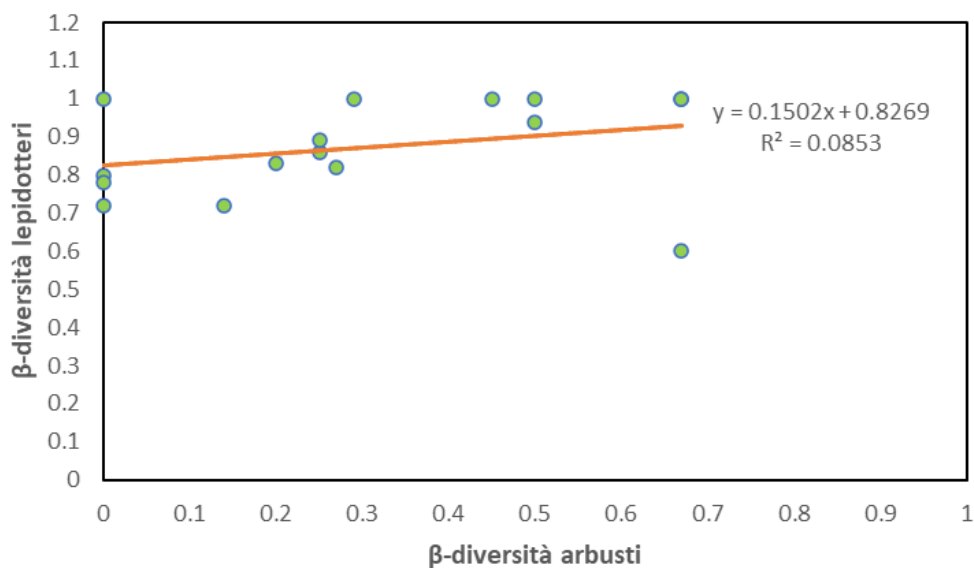


Figura 6: rappresentazione grafica della correlazione tra le beta-diversità per ogni sito considerate l'abbondanza di individui appartenenti alle comunità di lepidotteri e la ricchezza di specie vegetali arbustive

Osservando la Figura 6, anche grazie alla linea di tendenza, si può notare come all'aumentare del valore della β -diversità tra i siti considerando le comunità di lepidotteri corrisponda un leggero aumento del valore della β -diversità tra i siti considerando le specie vegetali arbustive.

3.4. Relazione tra le β -diversità delle comunità di lepidotteri e delle specie vegetali floreali

Sono stati calcolati i valori di β -diversità per tutti i siti di campionamento localizzati in aree di schianto. Nella Tabella 3 vengono esposti i valori calcolati.

Sito	β -diversità tra le specie vegetali floreali
AS_1	0.32
AS_2	0.22
AS_3	0.54
AS_4	0.59
AS_5	0.39
AS_6	0.56
AS_7	0.35
AS_8	0.32
AS_9	0.44
AS_10	0.36
AS_11	0.19
AS_12	0.51
AS_13	0.35
AS_14	0.48
AS_15	0.43
AS_16	0.34

Tabella 3: valori di beta-diversità considerata la ricchezza di specie vegetali floreali per ogni sito

Si è proceduto rappresentando graficamente la correlazione tra i valori della β -diversità dei lepidotteri e delle specie floreali nei due anni di campionamento 2021 e 2023, come illustrato nel grafico sottostante.

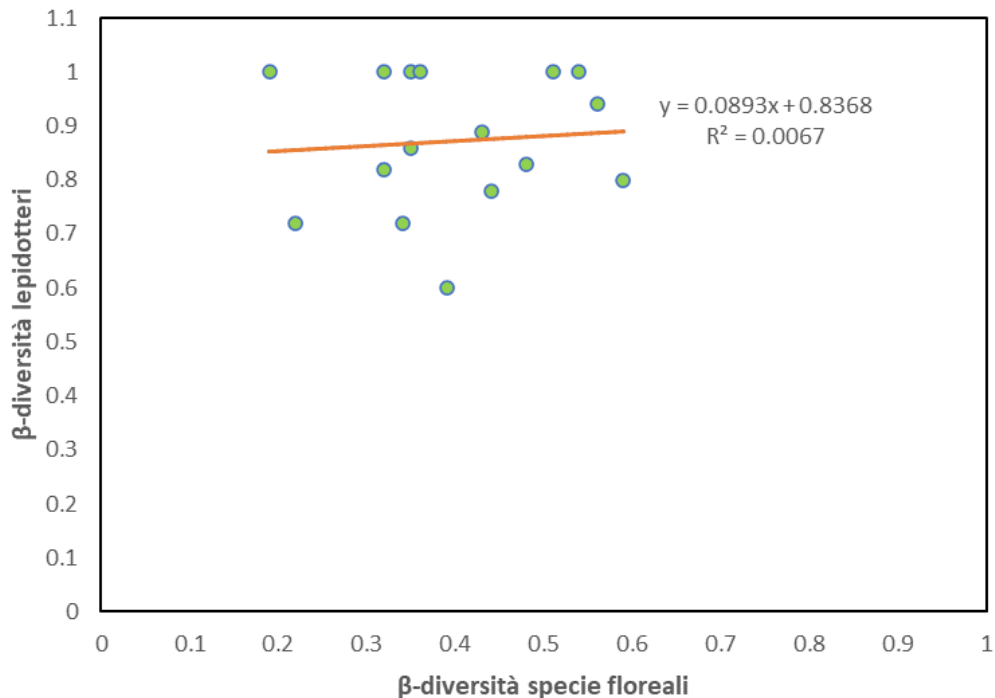


Figura 7: rappresentazione grafica della correlazione tra le beta-diversità per ogni sito considerate l'abbondanza di individui appartenenti alle comunità di lepidotteri e la ricchezza di specie vegetali floreali

Osservando il grafico, anche grazie alla linea di tendenza, si può notare come all'aumentare del valore della β -diversità tra i siti considerando le comunità di lepidotteri non corrisponda un notevole aumento del valore della β -diversità tra i siti considerando le specie vegetali floreali, rendendo quindi probabilmente non significativa la relazione tra queste due variabili.

3.5. Relazione tra la β -diversità delle comunità di lepidotteri e la quota

Un altro fattore che si è scelto di prendere in considerazione è stata la quota dei vari siti di campionamento. Nella tabella sottostante sono riportati i valori, espressi in m.s.l.m., riferiti alla quota dei punti in cui ogni sito di campionamento è stato geolocalizzato.

Sito	Quota (m.s.l.m.)
AS_1	1470
AS_2	1625
AS_3	1182
AS_4	1140
AS_5	1541
AS_6	1554
AS_7	1255
AS_8	1327
AS_9	1435
AS_10	1591
AS_11	1396
AS_12	1357
AS_13	1378
AS_14	1349
AS_15	1417
AS_16	1425

Tabella 4: quota dei siti di campionamento nel punto di geolocalizzazione di ognuno

Avendo ora a disposizione i valori della β -diversità tra gli anni 2021 e 2023 considerando l'abbondanza di specie di lepidottero e la quota in m.s.l.m. per ogni sito, la relazione tra la β -diversità delle comunità di lepidotteri e la quota dei siti di campionamento si può vedere in Figura 7.

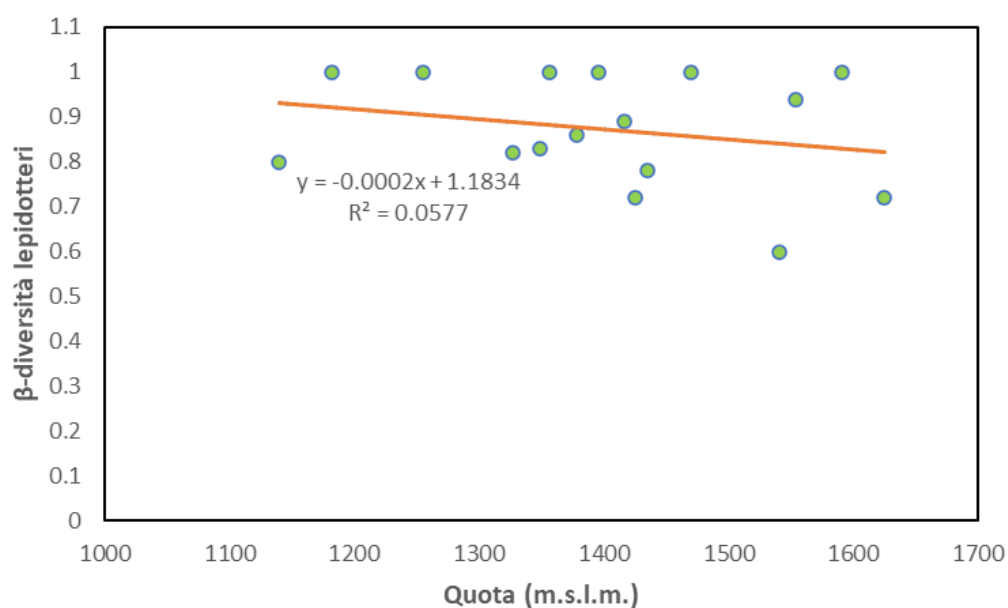


Figura 8: rappresentazione grafica della correlazione tra la beta-diversità considerata l'abbondanza di individui appartenenti alle comunità di lepidotteri e la quota dei siti di campionamento

Osservando il grafico, anche grazie alla linea di tendenza, si può notare come all'aumentare del valore della quota dei siti di campionamento corrisponda una leggera diminuzione del valore della β -diversità tra i siti considerando le comunità di lepidotteri, di fatto invertendo

la tendenza precedente creatasi con i valori di β -diversità considerando le specie vegetali arbustive e floreali.

3.6. Relazione tra la β -diversità delle comunità di lepidotteri e la composizione del paesaggio

In questo caso è stato deciso di testare il rapporto tra i valori della β -diversità tra gli anni 2021 e 2023 basati sull'abbondanza di individui appartenenti alle comunità di lepidotteri e la composizione del paesaggio circostante ad ognuno dei siti di campionamento. I valori percentuali sono stati calcolati poligonando l'uso del suolo utilizzando le più recenti immagini satellitari e le stime sono state calcolate su superfici aventi raggio pari a 100 m, 200 m, 500 m, 750 m e 1000 m dal punto di geolocalizzazione del sito di campionamento. Qui di seguito vengono riportati gli scatter-plot rappresentanti graficamente il rapporto tra i valori di β -diversità basati sulle comunità di lepidotteri e la percentuale di schianti nel paesaggio come precedentemente illustrato.

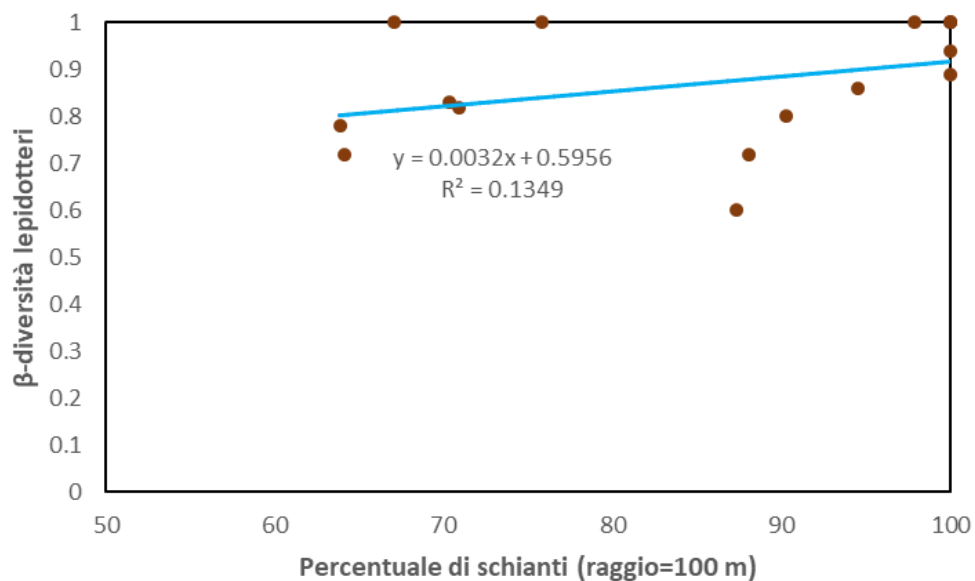


Figura 9: rappresentazione grafica della correlazione tra la beta-diversità delle comunità di lepidotteri e la composizione del paesaggio inteso come aree interessate da schianto attorno ai siti di campionamento ponendo $r=100$ m

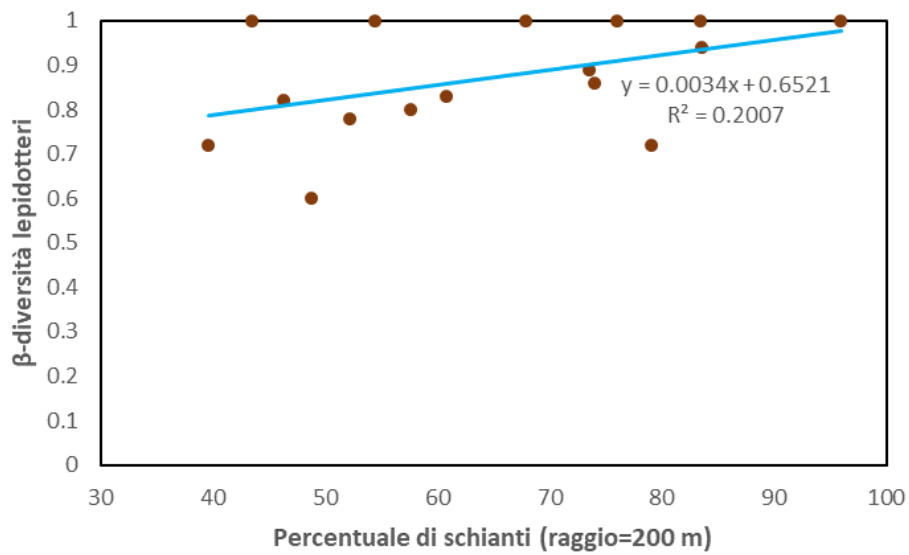


Figura 10: rappresentazione grafica della correlazione tra la beta-diversità delle comunità di lepidotteri e la composizione del paesaggio inteso come aree interessate da schianto attorno ai siti di campionamento ponendo $r=200\text{ m}$

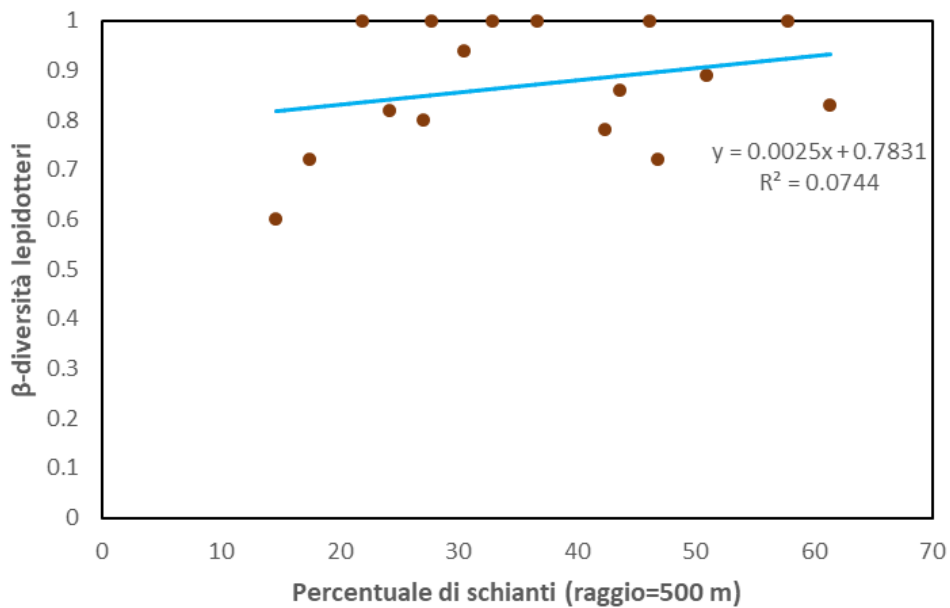


Figura 11: rappresentazione grafica della correlazione tra la beta-diversità delle comunità di lepidotteri e la composizione del paesaggio inteso come aree interessate da schianto attorno ai siti di campionamento ponendo $r=500\text{ m}$

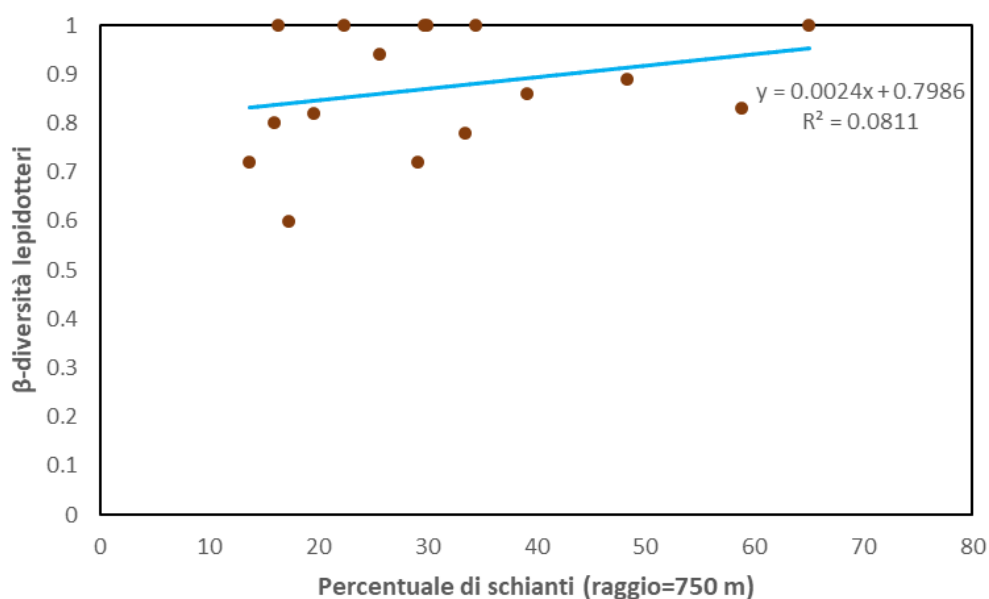


Figura 12: rappresentazione grafica della correlazione tra la beta-diversità delle comunità di lepidotteri e la composizione del paesaggio inteso come aree interessate da schianto attorno ai siti di campionamento ponendo $r=750$ m

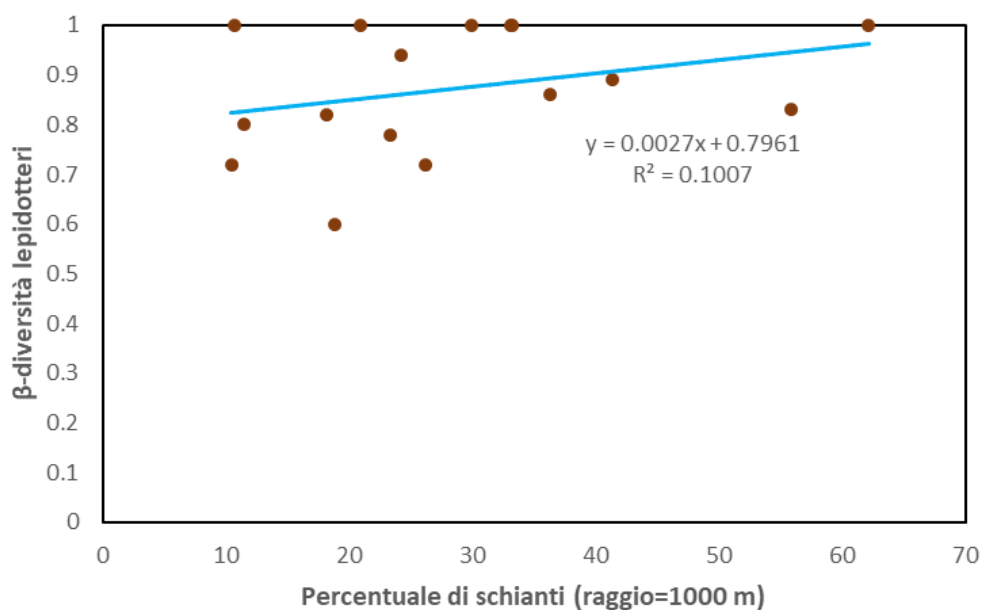


Figura 13: rappresentazione grafica della correlazione tra la beta-diversità delle comunità di lepidotteri e la composizione del paesaggio inteso come aree interessate da schianto attorno ai siti di campionamento ponendo $r=1000$ m

Osservando le figure è evidente la diminuzione percentuale dei valori della variabile di paesaggio “schianti” all’aumentare del raggio. Per quanto riguarda la superficie interessata da spazi aperti, la relazione risulta essere opposta, pertanto è stata riportata solo quella

esistente tra la β -diversità delle comunità di lepidotteri e la superficie interessata da schianti da vento. Osservando anche le linee di tendenza, per ogni scala considerata si può notare come all'aumentare del valore percentuale riferito alla superficie interessata da schianto da vento, aumenti anche il valore della β -diversità riferita alle comunità di lepidotteri. Approfondendo più dettagliatamente le analisi riguardanti la composizione del paesaggio, sono stati calcolati i valori medi percentuali riconducibili alle superfici interessate da schianti da vento e da spazi aperti e la loro relazione con le comunità di lepidotteri. I risultati sono qui sotto esposti raggio per raggio.

- Ponendo un raggio di 100 m dal sito di campionamento, il valore medio percentuale riconducibile alla superficie di terreno interessata da schianti da vento risulta essere pari all'86% del totale, con cinque siti aventi valori pari al 100%. Di contro, il valore medio percentuale di spazi aperti risulta essere pari al 7% del totale, con nove siti aventi valori pari allo 0%. Come prevedibile, quindi, minore è il raggio e maggiore è la superficie di terreno identificabile come schianto da vento, essendo i siti di campionamento posizionati all'interno di aree schiantate ed esboscate e possibilmente abbastanza lontani da altri ecosistemi quali gli spazi aperti e la foresta. Entrando nel dettaglio dell'analisi, è stato notato come all'aumentare della percentuale di superficie identificabile come schianto da vento segue un aumento anche della β -diversità riferita all'abbondanza di individui di lepidotteri. Al contrario invece, all'aumentare della percentuale di superficie identificabile come spazi aperti segue una diminuzione della β -diversità riferita all'abbondanza di individui di lepidotteri, corrispondendo ad una relazione inversamente proporzionale tra i due fattori considerati.
- Ponendo un raggio di 200 m dal sito di campionamento, il valore medio percentuale riconducibile alla superficie di terreno interessata da schianti da vento risulta essere pari al 65% del totale, con nessun sito di qui in avanti avente valore pari al 100%. Di contro, il valore medio percentuale di spazi aperti risulta essere pari al 14% del totale, con quattro siti aventi valori pari allo 0%. Entrando nel dettaglio dell'analisi, è stato notato come anche in questo caso all'aumentare della percentuale di superficie identificabile come schianto da vento segue un aumento anche della β -diversità riferita all'abbondanza di individui di lepidotteri. Al contrario invece, all'aumentare della percentuale di superficie identificabile come spazi aperti segue una diminuzione della β -diversità riferita all'abbondanza di individui di lepidotteri, corrispondendo nuovamente ad una relazione inversamente proporzionale tra i due fattori considerati.

- Ponendo un raggio di 500 m dal sito di campionamento, il valore medio percentuale riconducibile alla superficie di terreno interessata da schianti da vento risulta essere pari al 36% del totale, mentre il valore medio percentuale di spazi aperti risulta essere pari al 18% del totale, con un solo sito avente valore pari allo 0%. Entrando nel dettaglio dell'analisi, è stato notato come anche in questo caso all'aumentare della percentuale di superficie identificabile come schianto da vento segue un aumento anche della β -diversità riferita all'abbondanza di individui di lepidotteri. Al contrario invece, all'aumentare della percentuale di superficie identificabile come spazi aperti segue una diminuzione della β -diversità riferita all'abbondanza di individui di lepidotteri, corrispondendo nuovamente ad una relazione inversamente proporzionale tra i due fattori considerati.
- Ponendo un raggio di 750 m dal sito di campionamento, il valore medio percentuale riconducibile alla superficie di terreno interessata da schianti da vento risulta essere pari al 31% del totale, mentre il valore medio percentuale di spazi aperti risulta essere pari al 19% del totale, con un solo sito avente valore pari allo 0%. Di qui in poi la differenza percentuale tra le due componenti del paesaggio tende sempre più ad assottigliarsi, con valori sempre più vicini l'uno all'altro man mano che il raggio aumenta. Entrando nel dettaglio dell'analisi, è stato notato nuovamente come anche in questo caso all'aumentare della percentuale di superficie identificabile come schianto da vento segue un aumento anche della β -diversità riferita all'abbondanza di individui di lepidotteri. Al contrario invece, all'aumentare della percentuale di superficie identificabile come spazi aperti segue una diminuzione della β -diversità riferita all'abbondanza di individui di lepidotteri, corrispondendo nuovamente ad una relazione inversamente proporzionale tra i due fattori considerati.
- Ponendo un raggio di 1000 m dal sito di campionamento, corrispondente alla lunghezza maggiore in cui è stata effettuata la stima visiva sulle componenti paesaggistiche di cui stiamo trattando, il valore medio percentuale riconducibile alla superficie di terreno interessata da schianti da vento risulta essere pari al 29% del totale, mentre il valore medio percentuale di spazi aperti risulta essere pari al 19% del totale. Entrando nel dettaglio dell'analisi, è stato notato nuovamente come anche in quest'ultimo caso all'aumentare della percentuale di superficie identificabile come schianto da vento segue un aumento anche della β -diversità riferita all'abbondanza di individui di lepidotteri. Al contrario invece, all'aumentare della percentuale di superficie

identificabile come spazi aperti segue una diminuzione della β -diversità riferita all'abbondanza di individui di lepidotteri, corrispondendo anche in questo caso ad una relazione inversamente proporzionale tra i due fattori considerati.

3.7. Relazione tra la ricchezza di specie di lepidotteri e la biomassa vegetale

Come ultima analisi è stato deciso di testare un'eventuale correlazione tra una variabile dipendente quale la ricchezza di specie di lepidotteri per ogni sito ed una variabile indipendente quale la biomassa vegetale per ogni sito. I risultati sono riportati in Figura 14 per l'anno 2021 ed in Figura 15 per l'anno 2023.

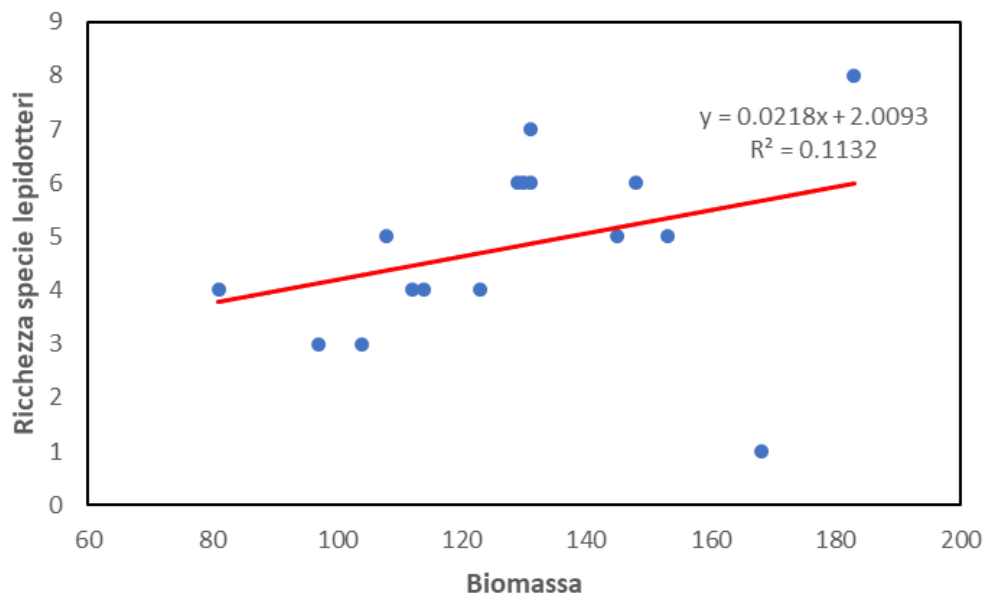


Figura 14: rappresentazione grafica della correlazione tra la ricchezza di specie di lepidotteri e la biomassa vegetale per ogni sito nell'anno 2021

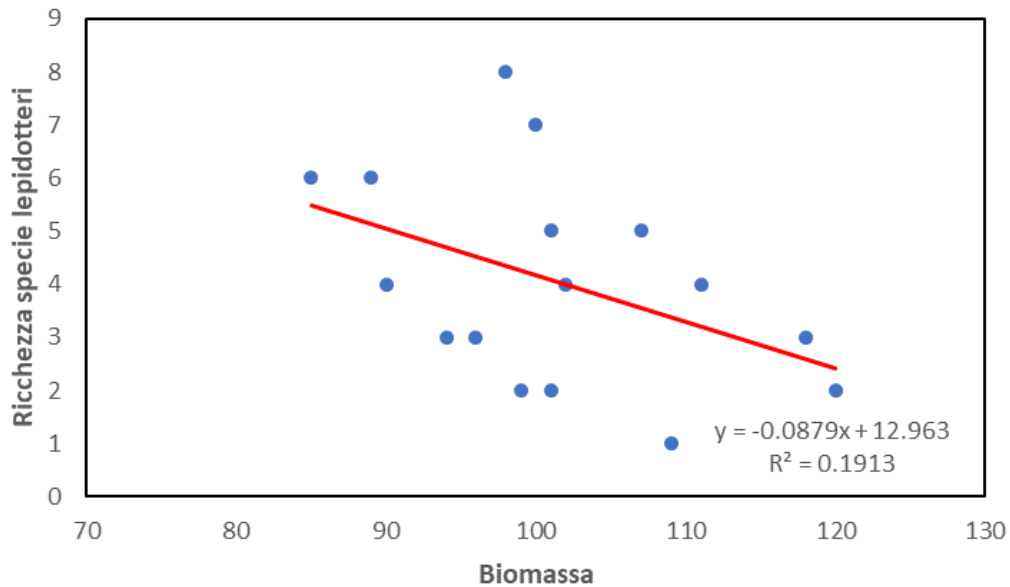


Figura 15: rappresentazione grafica della correlazione tra la ricchezza di specie di lepidotteri e la biomassa vegetale per ogni sito nell'anno 2023

Osservando la Figura 14 si conferma come, nel 2021, all'aumentare della biomassa vegetale sia aumentato anche il numero di specie presenti in un sito di campionamento. Dalla Figura 15, nella quale sono riportati valori di biomassa vegetale inferiori rispetto a quelli riscontrati nel 2021, si evince come all'aumentare della biomassa vegetale diminuisca tendenzialmente il numero di specie di lepidotteri presente in ogni sito di campionamento.

4. DISCUSSIONE

In questo studio è stata analizzata la dinamica temporale delle comunità di lepidotteri negli schianti da vento. Inizialmente, sono stati messi a confronto semplici indici di biodiversità, come la ricchezza di specie e l'abbondanza. Poi sono state messe in relazione le comunità nei due anni con variabili quali la β -diversità delle specie vegetali arbustive e floreali, la quota dei siti di campionamento e la composizione del paesaggio in concomitanza dei siti di campionamento. Si è osservato che le comunità cambiano in maniera chiara in relazione alla composizione del paesaggio ed alla quota. La relazione risulta essere meno significativa se viene considerata la β -diversità delle specie vegetali arbustive e floreali. È stata registrata invece una forte correlazione tra la ricchezza di specie di lepidotteri e la biomassa vegetale.

Nonostante un'inferiore ricchezza di specie registrata nel campionamento del 2023, il valore relativo all'abbondanza degli individui di lepidotteri sia invece superiore rispetto all'annata precedente. Nel dettaglio, nel 2021 su tutta l'estensione dell'area di studio sono stati censiti 143 individui suddivisi tra 25 specie di lepidotteri, mentre nel 2023 sono stati censiti 199 individui suddivisi tra 23 specie. In termini di ricchezza di specie, nel 2023 è stata notata una diminuzione della presenza di individui appartenenti alle specie *Aglais urtica*, *Issoria lathonia* e *Vanessa atalanta*, nonché la scomparsa totale degli individui appartenenti alle specie *Boloria pales*, *Boloria selene*, *Brenthis ino*, *Charterocephalus palaemon*, *Cyaniris semiargus*, *Erebia aethiops*, *Erebia euryale*, *Erebia ligea*, *Parnassius mnemosyne* e *Vanessa cardui*, tutte censite durante i campionamenti nell'estate 2021. Nel 2023 si segnala invece l'aumento di esemplari appartenenti alle specie *Erebia medusa* ed *Hesperia comma*, nonché la comparsa di specie quali *Aglais io*, *Amata phegea*, *Aporia crataegi*, *Arctia caja*, *Arctia villica*, *Argynnis paphia*, *Boloria euphrosyne*, *Fabriciana adippe*, *Polygonia c-album*, *Polyommatus icarus*, *Pyrgus malvae* e *Speyeria aglaja*. Alcune specie tra quelle censite nel 2023 e assenti nel 2021 risultano essere tipiche di habitat quali arbusteti e praterie evolute. Tra queste figurano *Arctia villica*, *Argynnis paphia*, *Coenonympha pamphilus*, *Fabriciana adippe* e gli esemplari appartenenti al genere *Pieris* (Paolucci, 2013). Tornando invece all'abbondanza di individui e andando ad analizzare la situazione sito per sito, possiamo notare come nel 2023, a differenza di ciò che è stato censito nel 2021, i siti con maggiore abbondanza sono stati AS_14, AS_15 e AS_16, registrando rispettivamente 30, 24 e 23 esemplari censiti, numeri ben superiori a quelli

registrati nel 2021, pari a 5, 11 e 6 esemplari per sito. In questo caso è stata quindi formulata un'ipotesi riguardante il paesaggio circostante e la sua possibile influenza sulle comunità di lepidotteri, in quanto i siti di campionamento sopra citati sono situati nell'area geografica della Piana di Marcesina, la zona più ad est dell'Altopiano dei Sette Comuni, nonché quella colpita più intensamente dalla tempesta Vaia nel 2018. Il paesaggio prima dell'evento era composto principalmente da foreste di abete rosso ed estese praterie adibite a prato e soprattutto a pascolo.

Come precedentemente riportato, alcune specie di lepidotteri censite nel 2023 sono in qualche modo legate ad habitat quali gli arbusteti evoluti, quindi dopo aver calcolato i valori della β -diversità considerando le specie vegetali arbustive presenti in ogni sito ed averli messi in relazione a quelli della β -diversità basata sull'abbondanza di individui di lepidotteri, si è potuto osservare come all'aumentare della β -diversità dei siti basandosi sulla ricchezza di specie arbustive corrisponda un leggero aumento della β -diversità riferita all'abbondanza di specie di lepidotteri.

Essendo i lepidotteri considerati tra le categorie di insetti facenti parte dei cosiddetti impollinatori, la stessa analisi illustrata precedentemente prendendo in considerazione le specie vegetali arbustive è stata ripetuta, ma questa volta ponendo come variabile indipendente la β -diversità riferita alla ricchezza di specie vegetali floreali. Questi valori sono stati nuovamente messi in correlazione con quelli della β -diversità riferita all'abbondanza di individui di lepidotteri e il risultato non si discosta molto da quello precedente, fatto salvo per una minore influenza della ricchezza di specie vegetali floreali sull'abbondanza di individui di lepidotteri in ogni sito. La linea di tendenza posta nel grafico risulta infatti leggermente inclinata in positivo, evidenziando una leggera proporzionalità diretta tra i due fattori messi in correlazione. Vista la scarsa correlazione delle due variabili indipendenti con la β -diversità delle comunità di lepidotteri, evidenziata anche dalla pendenza molto ridotta di entrambe le linee di tendenza nei grafici, la relazione è stata definita come non particolarmente significativa ai fini dello studio. Risultati simili sono stati ottenuti anche nello studio condotto da Pellissier et al. (2012), in cui si ribadisce l'assenza di una correlazione tra la β -diversità delle comunità di lepidotteri e la ricchezza di specie vegetali.

Nell'ottica di testare l'influenza di più variabili possibili sulla β -diversità riferita all'abbondanza degli individui di lepidotteri nell'area di studio, è stato deciso di mettere in

correlazione quest'ultima anche con la quota dei siti di campionamento per constatare eventuali influenze che questa potesse avere sull'abbondanza di individui di lepidotteri. La maggior parte dei 16 siti di campionamento su cui si è svolta l'analisi giace ad un'altitudine compresa tra i 1300 e i 1500 m.s.l.m., con la quota inferiore pari a 1140 m.s.l.m. registrata presso il sito AS_4 e la quota superiore pari a 1625 m.s.l.m. registrata presso il sito AS_2. In questo caso, contrariamente a quanto ottenuto nel corso delle analisi precedenti, la proporzionalità tra le due variabili è risultata essere inversa, ossia tendenzialmente ai siti di campionamento posizionati ad una quota più elevata corrispondono valori di β -diversità inferiori rispetto a quelli registrati nei siti posizionati a quote inferiori. La linea di tendenza in questo caso risulta infatti essere pendente in senso negativo. La relazione negativa tra le due variabili in questo caso potrebbe essere collegata alle temperature più rigide presenti in alta quota, le quali hanno ripercussioni sullo sviluppo della vegetazione nelle aree interessate da schianti da vento. A causa delle temperature più basse, infatti, gli ecosistemi tendono ad evolversi più lentamente e di conseguenza anche la rinnovazione vegetale, aspetto che probabilmente ha comportato una ridotta evoluzione della comunità di lepidotteri tra il 2021 ed il 2023. Al contrario, a quote più basse la β -diversità delle comunità di lepidotteri risulta essere più alta probabilmente a causa di una più consistente evoluzione degli ecosistemi negli anni viste le più alte temperature. Il concetto viene espresso in maniera quasi analoga nello studio di Fontana et al. (2020), in cui si sostiene la relazione diretta tra l'evoluzione di alcune comunità di artropodi, tra cui i lepidotteri, e la variazione di altitudine.

Come già precedentemente citato, per alcuni siti è stata ipotizzata una possibile influenza del paesaggio circostante per motivare la causa della variazione così marcata rispetto all'anno 2021 in termini di abbondanza di individui di lepidotteri. Per questo come ultima variabile da mettere in relazione alla β -diversità riferita all'abbondanza di individui di lepidotteri è stato scelto il paesaggio, più dettagliatamente il valore percentuale di superficie interessata da schianto da vento e il valore percentuale di superficie interessata da spazi aperti prendendo come riferimento geografico il punto di geolocalizzazione di ogni sito di campionamento. Pertanto le misurazioni percentuali sono state eseguite basandosi su un raggio inizialmente pari a 100 m, per poi effettuarne altre con raggi di 200 m, 500 m, 750 m e 1000 m di distanza, ripetendo l'operazione per ogni sito.

Dopo aver riportato i dati riferiti alle analisi eseguite in questo contesto, sorgono spontanee alcune osservazioni. La prima tra tutte riguarda la riduzione della percentuale di superficie

identificata come schianto da vento all'aumentare del raggio, e quindi della distanza dal sito di campionamento, così come l'aumento della percentuale di superficie ricadente nella categoria degli spazi aperti all'aumentare del raggio. Un'altra componente del paesaggio che aumenta proporzionalmente in relazione al raggio corrisponde alla superficie interessata da foresta, variabile non ritenuta particolarmente importante ai fini dello studio in quanto esso si concentra sulla variazione biennale delle comunità di lepidotteri diurni all'interno di aree interessate da schianti da vento a seguito della tempesta Vaia. Un'ulteriore osservazione riguarda la tendenza dei dati che, seppur raccolti con diverse lunghezze di raggio, risultano sempre direttamente proporzionali per quanto riguarda gli schianti da vento e inversamente proporzionali per quanto riguarda gli spazi aperti.

Un'ulteriore relazione testata è stata quella tra la ricchezza di specie di ogni sito e la relativa biomassa vegetale. Nel 2021 è emersa una relazione positiva tra le due variabili, secondo la quale all'aumentare della biomassa vegetale aumenta anche il numero di specie presenti. Analizzando però i dati del 2023, si evince come la relazione tra le due variabili in questo caso risulti essere negativa. Si nota anche l'abbassamento di quasi tutti i valori riferiti alla biomassa vegetale rispetto a quelli registrati nel 2021, probabilmente a causa di una sottostima nel 2023 oppure di una sovrastima di questi nel 2021. La negatività della relazione può dipendere anche dal minor numero di specie di lepidotteri censite nel 2023 rispetto a quelle censite nel 2021 e dalla minore ricchezza di specie per sito nel 2023 rispetto al 2021.

5. CONCLUSIONI

L'obiettivo principale del presente studio di tesi era quello di studiare come cambiano le comunità di lepidotteri in base all'evoluzione delle aree di schianto negli anni. L'area di studio individuata nell'Altopiano dei Sette Comuni rappresenta un'area con grande potenziale per le finalità di questo lavoro, vista la natura del luogo e l'elevata superficie di foresta interessata dagli effetti della tempesta Vaia, rendendolo una tra le aree geografiche più colpite. Inoltre, la maggior parte del legname atterrato era già stato rimosso prima dell'estate del 2021, aspetto più che rilevante in quanto ha permesso di posizionare un numero elevato di siti di campionamento equamente distribuiti su tutta l'area dell'altopiano in modo da avere un campione di siti numeroso.

Le analisi eseguite hanno permesso di studiare le cause del cambiamento delle comunità di lepidotteri a tre e a cinque anni dall'evento. Nonostante la leggera diminuzione del numero di specie di lepidotteri riconosciute nel 2023 rispetto a quelle riconosciute nel 2021, l'abbondanza di individui è risultata essere nettamente superiore nel 2023 rispetto al 2021. Durante l'ultimo campionamento sono state inoltre censite specie totalmente assenti nel campionamento precedente, segnale della continua evoluzione degli ecosistemi forestali a seguito di un evento con elevata magnitudo come quello accaduto nell'ottobre del 2018. A seguito del lavoro eseguito, può essere confermata l'influenza di variabili quali l'aumento di specie vegetali arbustive, l'aumento di specie vegetali floreali e la quota, con quest'ultima variabile che ha evidenziato una relazione con la β -diversità delle comunità di lepidotteri più forte delle altre e le differenze maggiori in termini di ricchezza di specie registrate a quote intermedie e a quelle più basse. Analizzando invece la correlazione tra il paesaggio e la variazione nelle comunità di lepidotteri, sono state registrate differenze evidenti in termini di ricchezza di specie nei casi in cui la superficie interessata da schianti da vento è predominante sulle altre, mentre si è sempre assistito ad un trend negativo quando è stata considerata la superficie classificata come spazi aperti. Questo risultato evidenzia ancor di più l'influenza che il nuovo ecosistema che si sta creando nelle aree interessate da schianti da vento negli anni seguenti all'evento sta avendo sulle comunità di lepidotteri, che vanno ad incrementarsi in termini di ricchezza di specie laddove lo schianto da vento si stia evolvendo in un nuovo habitat prima inesistente. Si riporta inoltre la relazione positiva che intercorre tra la biomassa vegetale e la ricchezza di specie nel 2021, in cui all'aumento della prima corrisponde anche l'aumento della seconda. Il trend è

risultato opposto nel 2023 date la diminuzione della biomassa stimata e il numero di specie per ogni sito.

Nonostante i risultati ottenuti, il numero di variabili considerato per lo svolgimento dello studio è limitato ed esse forniscono una risposta parziale su quelli che potrebbero essere a tutti gli effetti altri fattori influenti nella variazione delle comunità di lepidotteri nell'evoluzione di uno schianto da vento. Lo studio può però essere considerato come punto di partenza per ulteriori approfondimenti futuri sul tema.

BIBLIOGRAFIA

R. Seidl; D. Thom; M. Kautz; D. Martin-Benito; M. Peltoniemi; G. Vacchiano; J. Wild; D. Ascoli; M. Petr; J. Honkaniemi; M. J. Lexer; V. Trotsiuk; P. Mairota; M. Svoboda; M. Fabrika; T. A. Nagel; C. P. O. Reyer. *Forest disturbances under climate change*, Nature Climate Change. **2017**.

Mart-Jan Schelhaas; Gert-Jan Nabuurs; Andreas Schuck. *Natural disturbances in the European forests in the 19th and 20th centuries*, Global Change Biology. **2003**.

G. Chirici; F. Giannetti; D. Travaglini; S. Nocentini; S. Francini; G. D'Amico; E. Calvo; D. Fasolini; M. Broll; F. Maistrelli; J. Tonner; M. Pietrogiovanna; K. Oberlechner; A. Andriolo; R. Comino; A. Faidiga; I. Pasutto; G. Carraro; S. Zen; F. Contarin; L. Alfonsi; A. Wolynski; M. Zanin; C. Gagliano; S. Tonolli; R. Zoanetti; R. Tonetti; R. Cavalli; E. Lingua; F. Pirotti; S. Grigolato; D. Bellingeri; E. Zini; D. Gianelle; M. Dalponte; E. Pompei; A. Stefani; R. Motta; D. Morresi; M. Garbarino; G. Alberti; F. Valdevit; E. Tomelleri; M. Torresani; G. Tonon; M. Marchi; P. Corona; M. Marchetti. *Forest damage inventory after the "Vaia" storm in Italy*, Forest@. **2019**.

Mari-Liis Viljur; Scott R. Abella; Martin Adámek; Janderson Batista Rodrigues Alencar; Nicholas A. Barber; Burkhard Beudert; Laura A. Burkle; Luciano Cagnolo. *The effect of natural disturbances on forest biodiversity: an ecological synthesis*, Biological Reviews. **2022**.

B. Wermelinger; M. Moretti; P. Duelli; T. Lachat; G. B. Pezzatti; M. K. Obrist. *Impact of windthrow and salvage-logging on taxonomic and functional diversity of forest arthropods*, Forest Ecology and Management. **2017**.

K. B. Georgiev; C. Bässler; H. Feldhaar; C. Heibl; P. Karasch; J. Müller; M. Perlik; I. Weiss; S. Thorn. *Windthrow and salvage logging alter β -diversity of multiple species groups in a mountain spruce forest*, Forest Ecology and Management. **2022**.

I Lepidotteri, Montagne Aperte. <https://www.montagneaperte.it/ambientebiodiversita/gli-insetti/i-lepidotteri/>

Goran Dušej; Andreas Rotach; Nicola Patocchi; Emmanuel Wermeille. *Farfalle diurne dei boschi*, Istituto federale di ricerca WSL. **2018**. <https://www.waldwissen.net/it/ecosistema-bosco/animali-del-bosco/insetti-invertebrati/farfalle-diurne-dei-boschi>

N. G. Ulanova. *The effects of windthrow on forests at different spatial scales: a review*, Forest Ecology and Management. **2000**.

D. Nardi; L. Marini. *Role of abandoned grasslands in the conservation of spider communities across heterogeneous mountain landscapes*, Agriculture, Ecosystems & Environment. **2021**.

P. Paolucci. *Butterflies and burnets of the Alps and their larvae, pupae and cocoons*, WBA Project. **2013**.

L. Pellissier; N. Alvarez; A. Espíndola; J. Pottier; A. Dubuis; J. N. Pradervand; A. Guisan. *Phylogenetic alpha and beta diversities of butterfly communities correlate with climate in the western Swiss Alps*, Ecography. **2012**.

V. Fontana; E. Guariento; A. Hilpold; G. Niedrist; M. Steinwandter; D. Spitale; J. Nascimbene; U. Tappeiner; J. Seeber. *Species richness and beta diversity patterns of multiple taxa along an elevational gradient in pastured grasslands in the European Alps*, Scientific Reports. **2020**.

APPENDICE

Qui di seguito si elencano i siti di campionamento considerati per i rilievi del biennio 2021-2023 e le relative caratteristiche principali.

- AS_1: ex pecceta pura con saltuaria presenza di esemplari di faggio in località Spiazzo Garibaldi ad un'altitudine di 1470 m.s.l.m., situata a bordo strada su un pendio a pendenza ridotta esposto ad Est.
- AS_2: ex pecceta pura in località Verenetta ad un'altitudine di 1625 m.s.l.m., situata a poche centinaia di metri dalla strada principale su un pendio ripido esposto ad Est.
- AS_3: ex pecceta pura a circa 2 km dalla località Spillek ad un'altitudine di 1182 m.s.l.m., situata a circa 15 minuti a piedi dalla strada principale su un pendio poco pendente esposto a Nord.
- AS_4: ex pecceta pura a ridosso dell'area pic-nic di Camporovere in Val d'Assa lungo la SP 349 ad un'altitudine di 1140 m.s.l.m., situata a bordo strada su un pendio molto ripido esposto ad Ovest.
- AS_5: ex pecceta pura a circa 2 km a sud di Malga Larici in Val Formica ad un'altitudine di 1541 m.s.l.m., situata a bordo strada su un terreno con pendenza quasi nulla esposto a Sud-Ovest.
- AS_6: ex pecceta pura con saltuaria presenza di esemplari di larice a ridosso di Malga Dosso di Sotto in Val Formica ad un'altitudine di 1554 m.s.l.m., situata a circa 10 minuti a piedi dalla malga su un pendio di media pendenza esposto a Sud.
- AS_7: ex pecceta pura con saltuaria presenza di esemplari di faggio a 4 km a sud della località Osteria del Termine in Val d'Assa ad un'altitudine di 1255 m.s.l.m., situata a bordo strada oltre l'alveo di un torrente in secca su un pendio di media pendenza esposto ad Est.
- AS_8: ex pecceta pura in località Osteria del Termine in Val d'Assa ad un'altitudine di 1327 m.s.l.m., situata a poche centinaia di metri dalla strada principale su un pendio di buona pendenza esposto a Nord.
- AS_9: ex pecceta pura in località Busafonda ad un'altitudine di 1435 m.s.l.m., situata a ridosso del parcheggio principale della Skiarea Le Melette di Gallio su un pendio con pendenza ridotta esposto a Sud-Ovest.

- AS_10: ex pecceta pura in località Busafonda a ridosso della pista di pattinaggio sul ghiaccio ad un'altitudine di 1591 m.s.l.m., situata a 10 minuti a piedi dalla strada principale su un pendio con pendenza elevata esposto a Sud.
- AS_11: ex pecceta pura in località Pian della Futa a Foza ad un'altitudine di 1396 m.s.l.m., situata a lato della strada forestale che da Malga Fratte conduce al Pian della Futa su un pendio molto ripido esposto a Sud.
- AS_12: ex pecceta pura a circa 1 km a nord di Malga Fratte ad un'altitudine di 1357 m.s.l.m., situata a bordo strada su un pendio con pendenza ridotta esposto a Nord.
- AS_13: ex pecceta pura con saltuaria presenza di esemplari di faggio a circa 4 km a nord di Malga Fratte ad un'altitudine di 1378 m.s.l.m., situata a bordo strada su un pendio di media pendenza esposto a Nord-Est.
- AS_14: ex pecceta pura con saltuaria presenza di esemplari di larice in località Piana di Marcesina ad un'altitudine di 1349 m.s.l.m., situata a bordo strada su un terreno con pendenza quasi nulla esposto a Nord-Est.
- AS_15: ex pecceta pura a ridosso di Malga Buson di Marcesina ad un'altitudine di 1417 m.s.l.m., situata a poche centinaia di metri dalla malga su un pendio di media pendenza esposto a Sud-Ovest.
- AS_16: ex pecceta pura in località Valmaron ad un'altitudine di 1425 m.s.l.m., situata a circa 10 minuti a piedi da Malga 2° Lotto Valmaron su un pendio di media pendenza esposto a Sud-Est.
- AS_co1: area di controllo all'interno di una pecceta pura, situata a poche centinaia di metri dal sito AS_3 ad un'altitudine di 1154 m.s.l.m., su un pendio di media pendenza esposto a Nord.
- AS_co2: area di controllo all'interno di un popolamento misto di faggio, abete rosso e abete bianco lungo la SP 76 a circa 6 km da Foza ad un'altitudine di 1036 m.s.l.m., situata a 5 minuti a piedi dalla strada principale su un pendio di media pendenza esposto a Sud.