

MONITORAGGIO DELLA BIODIVERSITÀ ANIMALE IN AMBIENTE ALPINO

[Ramona Viterbi](#)¹, Cristiana Cerrato^{1,2}, Emanuel Rocchia³, Radames Bionda⁴, Cristina Movalli⁵, Luca Pedrotti⁶, Barbara Rizzioli⁷, Enrico Vettorazzo⁸, Antonello Provenzale⁹, Giuseppe Bogliani¹⁰

¹Parco Nazionale Gran Paradiso; ²Università di Torino, Dipartimento di Scienze della vita e Biologia dei Sistemi; ³Biodiversity Monitoring Association, BioMA; ⁴Aree Protette dell'Ossola; ⁵Parco Nazionale Val Grande; ⁶Parco Nazionale Stelvio; ⁷Aree Protette delle Alpi Cozie; ⁸Parco Nazionale Dolomiti Bellunesi; ⁹Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Geoscienze e Georisorse; ¹⁰Università di Pavia, Dipartimento di Scienze della Terra e dell'Ambiente

Abstract: I gradienti altitudinali sono laboratori naturali per studiare la diversità delle specie e le risposte a livello di comunità. Capire come uno stesso gruppo tassonomico si comporta lungo gradienti differenti e come gruppi diversi si distribuiscono lungo lo stesso gradiente presenta implicazioni conservazionistiche importanti. In questo contesto, sei parchi alpini condividono un protocollo per studiare la biodiversità animale. Lungo 24 transetti altitudinali, per un totale di oltre 100 stazioni di campionamento, sono monitorati 7 gruppi tassonomici, utilizzando tecniche di campionamento semi-quantitative, standardizzate, facili da applicare ed economiche. Tale protocollo è stato sviluppato per essere ripetuto ogni 5 anni (2 anni di monitoraggio - 4 di pausa) e mantenuto nel lungo periodo.

Parole chiave: monitoraggio a lungo termine, condivisione dei protocolli, bio-indicatori, approccio multi-tassonomico.

MONITORING OF ANIMAL BIODIVERSITY IN MOUNTAIN ECOSYSTEMS

[Ramona Viterbi](#)¹, Cristiana Cerrato^{1,2}, Emanuel Rocchia³, Radames Bionda⁴, Cristina Movalli⁵, Luca Pedrotti⁶, Barbara Rizzioli⁷, Enrico Vettorazzo⁸, Antonello Provenzale⁹, Giuseppe Bogliani¹⁰

¹Gran Paradiso National Park; ²Turin University, Department of Life Science and System Biology; ³Biodiversity Monitoring Association, BioMA; ⁴Ossola Protected Areas; ⁵Val Grande National Park; ⁶Stelvio National Park; ⁷Cottian Alps Protected Areas; ⁸Dolomiti Bellunesi National Park; ⁹National Research Council, Institute of Geosciences and Earth Resources; ¹⁰Pavia University, Department of Earth and Environmental Sciences

Abstract: *Altitudinal gradients are natural laboratories for studying species diversity and community-level responses. Understanding how the same taxonomic group behaves along different gradients and how different groups are distributed along the same gradient has important conservation implications. In this framework, six Alpine parks have been sharing a protocol for studying animal biodiversity. Along 24 altitudinal transects, for a total of over 100 sampling stations, seven taxonomic groups are monitored using semi-quantitative, standardised, easy-to-apply and inexpensive sampling techniques. This protocol was developed to be repeated every five years (two years of monitoring, four years of pause) and maintained over the long term.*

Keywords: *long-term monitoring, protocol sharing, bio-indicators, multi-taxa approach.*

INTRODUZIONE

Il ruolo esercitato dalla biodiversità nel determinare il funzionamento degli ecosistemi, nell'influenzare la loro resistenza e la loro resilienza ai cambiamenti è ormai un dato di fatto ([Oliver et al., 2015](#)).

Allo stesso modo è ormai ampiamente riconosciuto come i cambiamenti ambientali e climatici stiano minacciando la sopravvivenza di numerose specie, mettendo a rischio l'integrità degli ecosistemi con una sempre crescente velocità (Johnson et al., 2017).

Non tutti gli ambienti sono però ugualmente vulnerabili, in quanto alcuni risultano essere maggiormente minacciati.

Gli ecosistemi montuosi, caratterizzati da elevati livelli di ricchezza specifica e da specie con adattamenti alle alte quote e alle basse temperature, con popolazioni spesso piccole e isolate, talvolta caratterizzate da scarsa capacità di dispersione sono più sensibili alle possibili variazioni climatiche ed ambientali (Körner, 2004; Rahbek et al., 2019).

Questa vulnerabilità degli ecosistemi alpini ai cambiamenti ambientali aumenta la probabilità che mostrino gli effetti dei cambiamenti prima e in maniera più evidente di altri ([Schmeller et al., 2022](#)).

Alcune ricerche già lo mostrano chiaramente (Schmeller et al., 2022; [Ioan et al., 2025](#)), sottolineando quindi la necessità di monitorare la biodiversità alpina e di identificare i fattori che la influenzano.

Le Aree protette esercitano un ruolo chiave nella conservazione della biodiversità ([Coetzee et al., 2014](#); Gray et al., 2016). Il loro ruolo è cruciale anche nel portare avanti attività di monitoraggio, in quanto rappresentano realtà in cui è più facile, dal punto di vista logistico e ambientale, coordinare attività coerenti e standardizzate

su ampie superfici e mantenere le attività nel lungo periodo, entrambi requisiti fondamentali per comprendere le dinamiche spazio-temporali della biodiversità in crisi (Dalton et al., 2024).

In tale ottica, i gradienti altitudinali rappresentano degli interessanti laboratori naturali offerti dagli ecosistemi montuosi. Sono caratterizzati da rapidi cambiamenti nei parametri climatici (temperatura, tipologia di precipitazioni) e ambientali (alternanza di diverse tipologie di habitat) in uno spazio ristretto ([Körner, 2007](#); Sundqvist et al., 2013): è quindi possibile analizzare le risposte dei gruppi target ai parametri di interesse, senza l'ulteriore influenza rappresentata da fattori biogeografici.

In particolare, capire come uno stesso *taxon* si comporta lungo gradienti differenti e come *taxa* diversi si distribuiscono lungo lo stesso gradiente, rappresenta ancora una questione aperta, con implicazioni conservazionistiche importanti.

OBIETTIVI DEL MONITORAGGIO

Nel contesto sopra delineato, si inserisce il progetto di Monitoraggio della Biodiversità Animale in ambiente Alpino (MBAA).

La necessità di quantificare le modificazioni della diversità animale acquisendo reali conoscenze sul territorio ha spinto il Parco Nazionale Gran Paradiso (PNGP) ad attivare nel 2006 un monitoraggio a lungo termine della biodiversità animale, articolato lungo il gradiente altitudinale e incentrato su dati di comunità di più gruppi tassonomici.

Il progetto prevede un biennio di attività, seguito da 4 anni di pausa da ripetere nel tempo finché le forze interne ed esterne all'Ente saranno sufficienti a garantirlo, in modo tale da ottenere nel tempo una serie

storica di dati che consenta di analizzare le variazioni nello spazio e nel tempo.

Principali obiettivi del progetto sono:

- misurare le condizioni attuali della biodiversità, esplorando lungo i gradienti altitudinali le relazioni tra biodiversità animale, clima ed uso del suolo, a differenti scale spaziali. Questo è fondamentale per creare un punto di riferimento (*baseline*) su cui valutare i cambiamenti e in base al quale pianificare azioni gestionali mirate;
- prevedere le condizioni future della biodiversità, per stimare il rischio di perdita di biodiversità, anche attraverso l'applicazione di scenari di cambiamento ambientale. Questo consentirà di identificare valori soglia, oltre i quali il rischio di perdita sarà particolarmente alto e di identificare potenziali "vulnerabilità e salvezze".

Entrambi gli obiettivi concorrono all'importante target conservazionistico che consiste nell'individuare *taxa* o gruppi funzionali maggiormente sensibili e habitat vulnerabili, sia a scala locale che a livello di arco alpino.

Promosso dal PNGP, nel 2007, il progetto si è esteso ad altre due Aree protette delle Alpi occidentali (Parco Naturale Orsiera-Rocciavère – PNOR; Parco Naturale Alpe Veglia-Devero – PNVD).

Nel biennio 2012-2013, le tre Aree protette (PNGP, PNOR, PNVD) hanno ripetuto le operazioni di monitoraggio e nel 2013, grazie ai fondi ministeriali ex capitolo 1551, il PNGP ha svolto il ruolo di capofila nel progetto di sistema "Monitoraggio della Biodiversità Animale in ambiente Alpino", coinvolgendo gli altri 3 parchi nazionali dell'arco alpino (Parco Nazionale Dolomiti Bellunesi – PNDB, Parco Nazionale Stelvio – CPNS, Parco Nazionale Val Grande – PNVG).

In totale, quindi, 6 Aree protette (4 Parchi Nazionali, 2 Parchi Regionali) stanno utilizzando metodi di monitoraggio e di archiviazione dati standardizzati e confrontabili, rappresentando così il primo tentativo di sviluppare un protocollo per il monitoraggio a lungo termine di più gruppi tassonomici nelle Aree protette alpine italiane (Figura 1).

Nel biennio 2018-2019, le attività sono state eseguite nella loro totalità da tutti i 6 Parchi coinvolti ed è attualmente appena terminato il successivo biennio di monitoraggio (2024-2025).

DISEGNO SPERIMENTALE

Le operazioni di monitoraggio sono svolte all'interno di stazioni di campionamento fisse (*plot* circolari con raggio di 100 m lineari), distribuite lungo transetti altitudinali (~ 500-2700 m s.l.m.) e separate da un range altitudinale di 200 m, per garantire l'indipendenza dei dati campionati.

Sono collocate lungo i 3 orizzonti vegetazionali (montano, subalpino e alpino) che si alternano lungo i gradienti delle Alpi e collocate in modo tale da garantire la rappresentatività delle principali tipologie ambientali presenti all'interno di ciascuna area protetta.

Ciascun transetto risulta così costituito da 3-8 *plot*, per un totale di 132 stazioni di campionamento, collocate lungo 24 transetti altitudinali, distribuiti tra le 6 Aree protette, partner del progetto (Figura 1).

In ciascuna stazione sono campionati i seguenti 7 gruppi tassonomici: farfalle (Lepidoptera Papilionoidea), ortotteri (Orthoptera), macro-invertebrati attivi sulla superficie del suolo (Coleoptera Carabidae, Coleoptera Staphylinidae, Hymenoptera

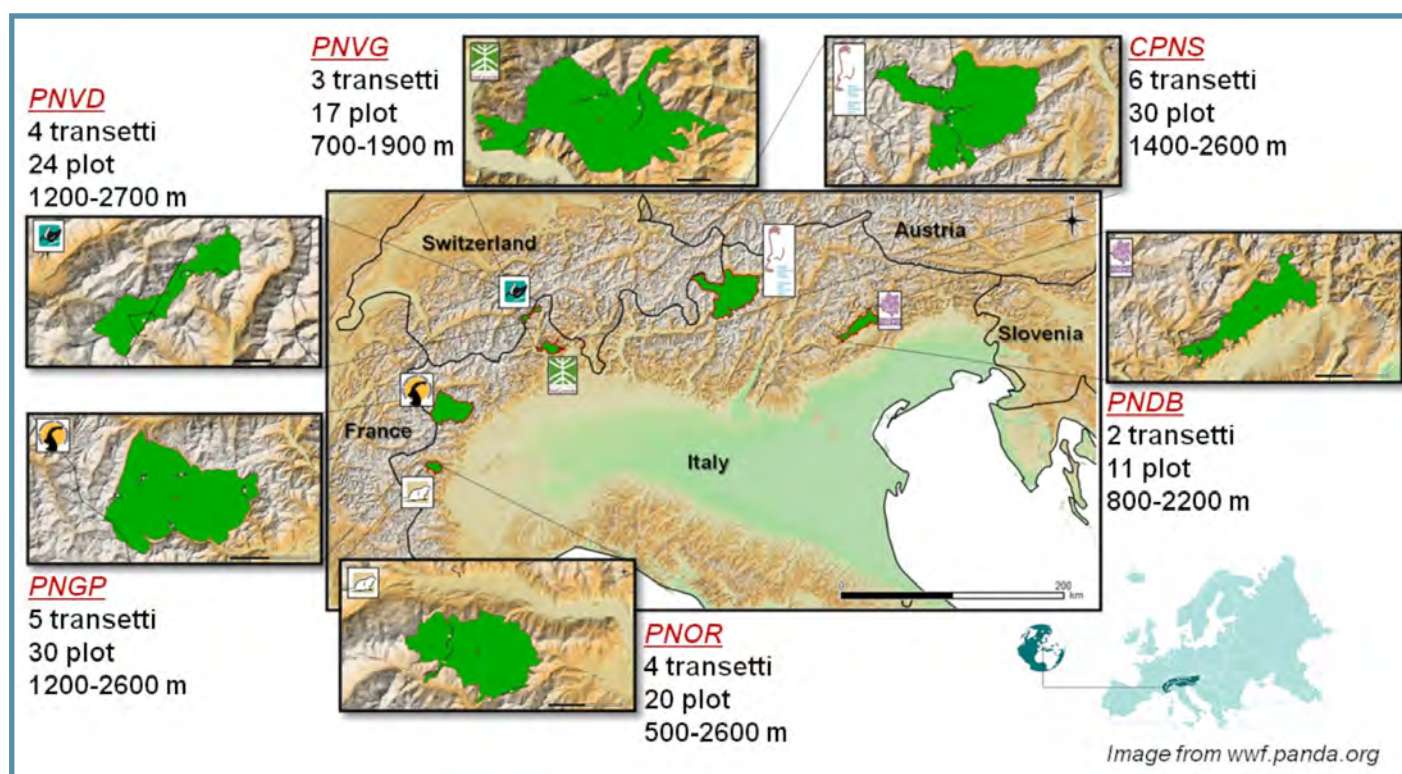


Figura 1. Aree protette coinvolte nel progetto di monitoraggio. Per ciascuna area sono indicati il numero di transetti altitudinali, il numero di plot e il range altitudinale. PNGP = Parco Nazionale Gran Paradiso, PNOR = Parco Naturale Orsiera Rocciavré (Aree protette delle Alpi Cozie), PNVD = Parco Naturale Veglia Devero (Aree protette dell'Ossola), PNDB = Parco Nazionale Dolomiti Bellunesi, CPNS = Parco Nazionale Stelvio, PNVG = Parco Nazionale Val Grande (fonte: elaborazione degli Autori).

Formicidae, Araneae), uccelli (Aves), scelti in quanto considerati a livello globale buoni indicatori di biodiversità.

Le tecniche di monitoraggio applicate sono standardizzate, economiche, facili da applicare, in modo tale da consentire la ripetibilità a lungo termine delle operazioni. Nella messa a punto delle metodologie si è fatto riferimento ai metodi maggiormente riconosciuti a livello internazionale per il monitoraggio dei gruppi target (Pollard, 1977; Bibby et al., 2000; Southwood e Henderson, 2000; Gardiner et al., 2005), adattando le stesse al contesto alpino.

Nello specifico, le metodologie adottate sono le seguenti:

- farfalle, monitorate mediante *transetti* lineari corrispondenti a uno dei diametri del

plot (200 m di lunghezza), percorsi a velocità costante, una volta al mese da maggio-giugno (in base alle quote) a settembre, per un totale di 4-5 ripetizioni per anno di campionamento;

- ortotteri, monitorati mediante *transetti* lineari (medesimo *transetto* utilizzato per le farfalle, 200 m di lunghezza), lungo i quali sono identificate tutte le specie presentill'interno di una data superficie. La superficie utilizzata è un cilindro di plastica, costituito da un foglio di polionda, di 5 mm di spessore, 50 cm di altezza e 150 cm di circonferenza. Il *transetto* è percorso a velocità costante e ogni 5 m circa, la base del cilindro viene appoggiata perpendicolarmente al suolo. Tutti gli esemplari all'interno del cilindro sono

catturati e diagnosticati. Questa operazione è ripetuta 30 volte per transetto lineare. I transetti sono effettuati 3 volte durante un periodo compreso tra luglio e settembre;

- macro-invertebrati epigei, monitorati mediante trappole a caduta (barattoli di plastica, del diametro di 7 cm, riempiti con 10 cc di aceto di vino bianco e una goccia di detersivo come tensioattivo), collocate in numero di 5 per ciascuna stazione di campionamento. Le trappole sono collocate lungo uno dei diametri della stazione di campionamento, distanziate di circa 50 m l'una dall'altra. Sono controllate, svuotate e riattivate ogni 15 giorni da fine maggio-giugno (in base alle quote) fino alla seconda metà di settembre, per un totale di 7-8 ripetizioni per anno;
- uccelli, monitorati mediante punti d'ascolto con fasce di distanza semplificate (entro e oltre 100 m), effettuati dal punto centrale della stazione di campionamento per una durata di 20 minuti. Ciascuna stazione viene visitata due volte durante la stagione riproduttiva, in un periodo compreso tra fine aprile e metà luglio.

Le operazioni di monitoraggio, come detto, vengono eseguite per un biennio di monitoraggio, che rappresenta l'unità temporale di campionamento.

La necessità di adottare un monitoraggio articolato su bienni è legata alle peculiarità dell'ambiente montano, caratterizzato da condizioni meteorologiche spesso sfavorevoli e da una elevata variabilità inter-annuale.

I gruppi monitorati, in particolare gli invertebrati, possono presentare inoltre forti oscillazioni annuali, legate anche alla variabilità meteorologica degli ambienti montani, e in diversi casi presentano cicli biologici lunghi (i.e. invertebrati a sviluppo

biennale).

Tali fattori fanno sì che dati raccolti nel corso di un biennio siano più robusti nel determinare punti di riferimento e nell'analizzare cambiamenti nel tempo.

All'interno delle stazioni di campionamento sono raccolti anche dati relativi a potenziali variabili di interesse, ovvero ambientali (topografici, di copertura del suolo, di diversità floristica), micro-climatiche (temperatura), relative all'impatto antropico (pascolo, sfalcio). La presenza di attività antropiche non è stata considerata nella scelta delle stazioni di campionamento, ma qualora attività agro-silvo-pastorali tradizionali siano presenti nelle aree di studio viene puntualmente registrato il tipo di attività e l'impatto osservato durante i monitoraggi.

Per valutare la temperatura dell'aria in situ, al centro di ciascun *plot* viene collocato un datalogger (*ThermochroniButton*, DS1922L, *Maxim, Sunnyvale, CA, U.S.*), per misurare la temperatura dell'aria con cadenza oraria durante il periodo di campionamento della fauna (maggio-ottobre).

La vegetazione è invece studiata da specialisti del settore e, all'interno di ciascuna stazione di campionamento, sono effettuate analisi floristiche.

Sul diametro di ciascun *plot* sono stati individuati cinque punti, a distanza rispettivamente di 0-50-100-150-200 metri; tutti i punti sono stati delimitati in modo visibile sul terreno e sono stati acquisiti con GPS. Ciascun punto costituisce il centro di un'area circolare di 10 metri di diametro e coincide con il luogo in cui è stata collocata una trappola a caduta per macro-invertebrati epigei. Per ciascuna delle aree circolari è stato compilato l'elenco floristico completo delle specie presenti.

I RISULTATI FINORA OTTENUTI

Le operazioni di monitoraggio hanno permesso, nel corso degli anni di attività, di ottenere alcuni risultati interessanti, in parte già confluiti in pubblicazioni scientifiche internazionali. Innanzitutto, il primo risultato conseguito già al termine del primo biennio di monitoraggio e implementato nel tempo, corrisponde all'aumento delle conoscenze faunistiche nei Parchi.

I *taxa* oggetto di studio appartengono a gruppi che spesso sono stati poco o per nulla studiati all'interno delle Aree protette alpine, dove fino alla fine del novecento la maggior parte delle ricerche si focalizzava sullo studio della distribuzione e delle dinamiche di popolazione di alcuni vertebrati. Il fatto che dai primi decenni del 2000, 6 Aree protette abbiano deciso di dedicare monitoraggi sistematici e di lungo termine principalmente a degli invertebrati, rappresenta un importante punto di svolta, nel comprendere il ruolo che essi hanno nel determinare il funzionamento degli ecosistemi e nel considerare il loro valore conservazionistico.

Il numero di specie segnalate per gruppo tassonomico e per area protetta nel corso dei bienni di monitoraggio è decisamente elevato (Tabella 1). Questo progetto di monitoraggio ha quindi implementato notevolmente le informazioni disponibili a livello di arco alpino, fornendo dati puntuali di presenza di molte specie, le cui segnalazioni in precedenza erano spesso aneddotiche o imprecise (Allegro e Viterbi, 2010; [Battisti et al., 2016](#); Pantini et al., 2020; Petri et al., 2022).

In diversi casi, in particolare per ragni e stafilinidi, sono state anche segnalate specie nuove per le regioni di campionamento e in un caso, il materiale campionato all'interno del progetto, ha contribuito alla descrizione di una nuova specie, il ragno *Peponocranium ambrosii* (Milano et al., 2025), dimostrando proprio come sia ancora da approfondire la conoscenza faunistica degli invertebrati, persino all'interno delle Aree protette.

L'analisi dei dati raccolti lungo i gradienti altitudinali ha portato informazioni sulla distribuzione della biodiversità in ambiente alpino.

Tabella 1. Numero di specie finora individuate e monitorate per ciascun gruppo tassonomico, dall'inizio del progetto. Tale valore non rappresenta quindi un confronto tra la diversità delle Aree protette, ma vuole dare un'indicazione del numero di specie per le quali è stato possibile ottenere informazioni sulla presenza, distribuzione, abbondanza e trend temporale. *CPNS ha monitorato 30 plot sul versante lombardo per 3 bienni di monitoraggio, mentre per 2 bienni di monitoraggio (2013-2015, 2024-2025) ha monitorato 77 plot (30 sul versante lombardo, 32 nell'area di Bolzano, 15 in quella di Trento) (fonte: elaborazione degli Autori).

Area protetta	Data inizio monitoraggi	Numero bienni	Numero plot	Farfalle	Ortotteri	Carabidi	Stafilinidi	Ragni	Formiche	Uccelli
PNGP	2006	4	30	131	38	94	140	279	43	79
PNOR	2007	4	20	141	48	68	125	228	49	75
PNVD	2007	4	24	108	22	69	120	152	38	63
CPNS	2013	3	30*	135	34	48	69	108	30	98
PNVG	2013	3	17	81	41	47	52	148	44	69
PNDP	2013	3	11	82	20	48	55	87	30	67

Ad esempio, lo studio del legame esistente tra biodiversità, intesa come numero di specie per stazione di campionamento, e altitudine ha evidenziato come le quote maggiori siano caratterizzate da un numero di specie più basso rispetto alle altre.

Allo stesso tempo, però, le aree di alta quota sono risultate essere caratterizzate da una percentuale maggiore di specie endemiche o vulnerabili, confermando quindi la peculiarità delle cenosi che ospitano (Viterbi et al., 2013). Tra i diversi orizzonti studiati all'interno del gradiente, quello alpino infatti, caratterizzato dagli ambienti di prateria, è risultato essere una realtà omogenea, ben definita dal punto di vista faunistico e impreziosita da un gran numero di specie vulnerabili o minacciate, quindi una priorità a livello conservazionistico (Figura 2).

La distribuzione non-casuale delle specie lungo il gradiente altitudinale, ha consentito di individuare gruppi di specie caratteristiche di differenti fasce altitudinali.

Sono state identificate specie associate in maniera significativa sia alle quote più basse del gradiente studiato che a quelle più elevate, consentendo così di individuare specialisti altitudinali (Figura 3).

Cambiamenti futuri nella loro distribuzione potranno essere considerati i primi segnali di trasformazioni ambientali ([Cerrato et al., 2017](#)).

L'applicazione di scenari di cambiamento ambientale, mediante l'utilizzo di *Species Distribution Models* (SDM) applicati ai dati osservati all'interno del progetto, rappresenta uno strumento essenziale per predire l'impatto delle temperature e mettere a punto strategie conservazionistiche adeguate.

In tale ottica, abbiamo applicato un modello di distribuzione delle specie (*MaxEnt*; [Merow et al., 2013](#)) ai dati di distribuzione ottenuti dai monitoraggi del progetto MBAA.

Principale obiettivo era proprio valutare l'effetto di un moderato aumento delle temperature (scenario '*what if*', basato su dati

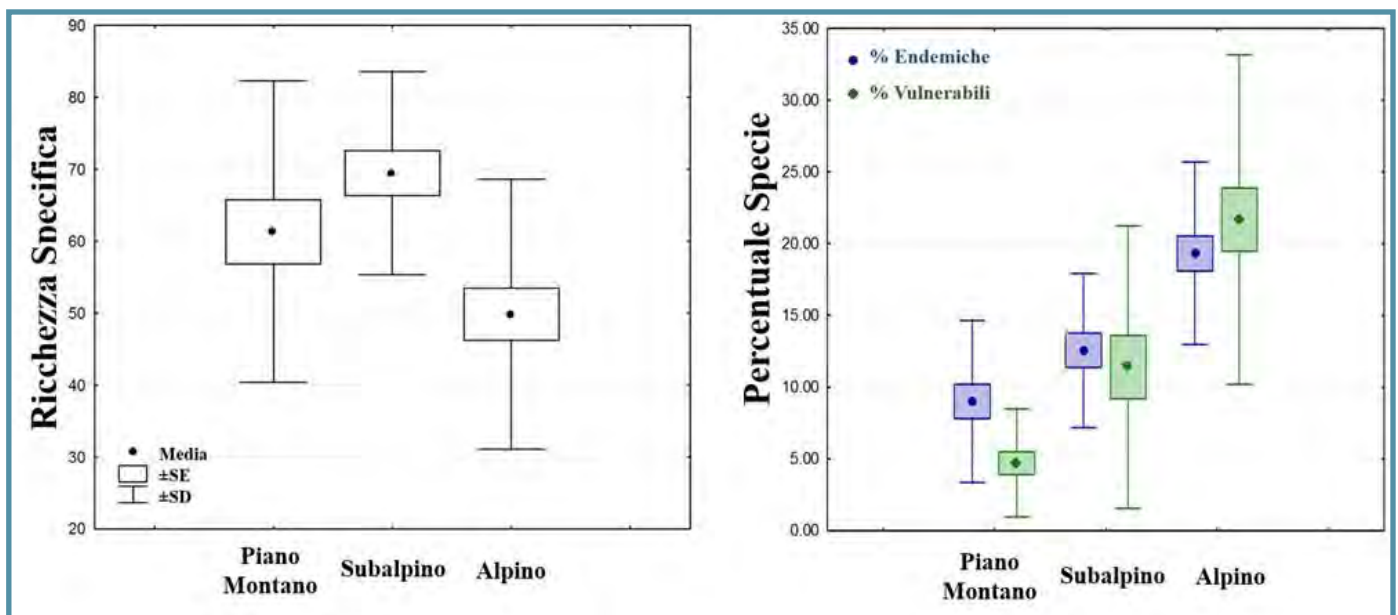


Figura 2. Andamento della ricchezza specifica (a sinistra) e della percentuale di specie endemiche e vulnerabili (a destra) nei tre orizzonti vegetazionali (fonte: elaborazione degli Autori).

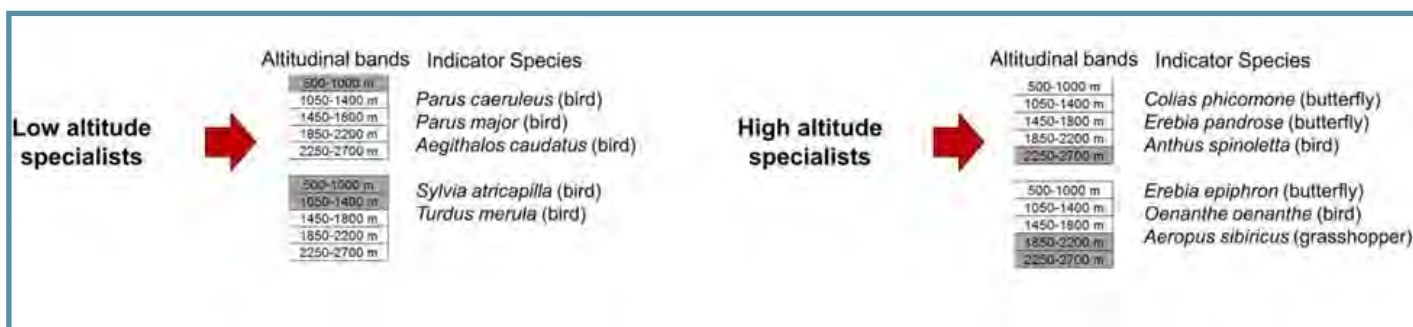


Figura 3. Specie indicatrici (IndVal) delle differenti bande altitudinali, identificate applicando il metodo proposto da De Cáceres e Legendre (2009). In grigio sono indicate le bande altitudinali che hanno specie indicatrici significative per i gruppi tassonomici analizzati. Questa analisi è stata effettuata su tutti parchi e sui gruppi tassonomici farfalle, ortotteri, uccelli (fonte: elaborazione degli Autori).

di letteratura) sulla distribuzione multi-tassonomica, quantificata in termini di alpha e beta-diversità.

I nostri risultati hanno mostrato piccoli cambiamenti nei pattern di diversità, ma risposte differenti delle diverse specie, sia in base al gruppo tassonomico di appartenenza, sia in base al livello di specializzazione (Viterbi et al., 2020).

In particolare, abbiamo osservato un aumento nella distribuzione e nella ricchezza specifica delle farfalle, affiancato da una riduzione nella presenza di specie endemiche e vulnerabili.

I modelli, inoltre, concordano nel mostrare come i cambiamenti di ricchezza specifica potrebbero essere particolarmente elevati nell'orizzonte alpino. La composizione di comunità cambia in un modo coerente e l'orizzonte alpino e quello subalpino diventano più simili alle quote più basse (Wilcoxon test, $p < 0.01$; Figura 4).

Le ripetizioni temporali ormai a disposizione, hanno consentito di effettuare i primi confronti tra sessioni di campionamento, per valutare i cambiamenti e per valutare l'eventuale congruenza con quanto previsto dalle modellizzazioni. Sono stati ad esempio effettuati confronti tra i primi due bienni di monitoraggio per le farfalle (2006-2008 vs

2012-2013), analizzando i cambiamenti nello spazio e nel tempo e cercando di individuare le specie o i gruppi funzionali responsabili di tali cambiamenti (Cerrato et al., 2019). In totale sono state identificate 140 specie di farfalle in comune tra le due sessioni di monitoraggio, con 146 specie nella prima e 149 nella seconda.

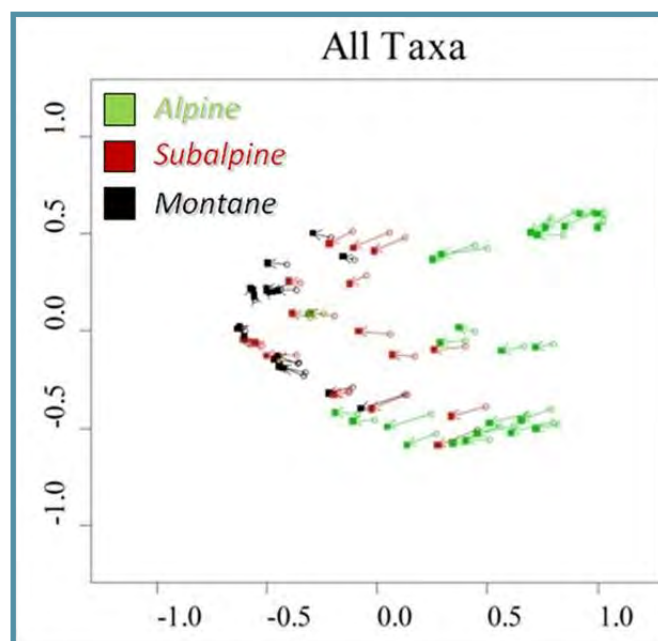


Figura 4. Correspondence Analysis per tutti i taxa raggruppati. I cerchi aperti indicano la situazione attuale, quelli pieni la situazione proiettata. Le frecce indicano lo shift di ciascuna cenosi (stazione di campionamento). Il primo asse è correlato in maniera positiva con la quota e negativa con la temperatura (fonte: elaborazione degli autori adattata da Viterbi et al., 2020).

Nel corso di soli 4 anni è stato osservato un generale aumento nella distribuzione delle singole specie (numero di stazioni di presenza per specie; aumento medio= 3.95 ± 0.50 , $t = -7.90$, $p = 0.001$) e un aumento nella ricchezza specifica per stazione (cambiamento medio= 10.32 ± 0.86 ; $t = -11.94$, $p = 0.001$).

Tale aumento nella distribuzione e nella ricchezza specifica delle farfalle è inoltre coerente con i risultati ottenuti dai modelli di simulazione di aumento delle temperature. In maniera analoga a quanto ottenuto dalle modellizzazioni, anche nell'analisi dei cambiamenti nel tempo abbiamo osservato come i diversi gruppi ecologici non rispondano in maniera uguale. In particolare, le specie di farfalle monofaghe (ovvero i cui bruchi si nutrono di una sola pianta nutrice), quelle specialiste altitudinali (ovvero presenti in un range altitudinale ristretto) e quelle strettamente alpine hanno mostrato un tasso di incremento decisamente inferiore rispetto alle altre specie. In generale, la composizione di comunità non è cambiata, ma sono stati osservati un aumento nelle specie condivise tra stazioni di campionamento e una tendenza all'omogeneizzazione (*Analysis of Dispersion in Community Composition*, $F\text{-value} = 13.15$, $p\text{-value} < 0.001$). Infine, è stata osservata una tendenza verso una maggiore termofilia delle cenosi. Per ciascuna specie, è stato calcolato lo *Species Temperature Index*, ottenuto combinando la distribuzione nota della specie in Italia (Balletto et al. 2007) e dati di temperatura (Metz et al., 2014). Da qui è calcolato il *Community Temperature Index* (CTI), che indica il valore di termofilia della cenosi, calcolato come somma dello *Species Temperature Index* per ciascuna specie, pesato sul numero di individui. Il CTI è aumentato in maniera significativa tra le due

sessioni di campionamento ($t = -3.59$; $p = 0.001$).

L'aumento è risultato dipendere in maniera significativa dalla posizione geografica del plot (*linear regression, model selection through AICc*; $R_{\text{square}} = 14.17$, $p = 0.007$; *Protected Area*, $p = 0.007$). Le Aree protette caratterizzate da valori più bassi di temperatura dell'aria, sono quelle in cui è stato osservato l'incremento di CTI maggiore. I dati relativi ai cambiamenti nel tempo finora analizzati e le modellizzazioni effettuate mostrano quindi risultati comparabili, corroborando da una parte le modellizzazioni, che trovano riscontro di ciò che è stato simulato, e fornendo dall'altra una sorta di prova indiretta del ruolo dell'aumento delle temperature nelle modifiche osservate nelle cenosi. Continuare le attività di monitoraggio e le analisi dei dati ottenuti nel tempo, fornisce uno strumento fondamentale alle Aree protette per aggiornare costantemente le vulnerabilità e quantificare i cambiamenti in un tempo utile per eventuali interventi conservazionistici.

Il valore gestionale del progetto risiede principalmente nel fornire una cartina di tornasole dei cambiamenti, consentendo di applicare in aree limitrofe le conoscenze acquisite all'interno delle aree di studio. Ad esempio, le osservazioni relative alla riduzione nel numero e nella diversità delle specie legate alle aree aperte dell'orizzonte montano, in seguito all'evoluzione naturale della vegetazione, hanno portato alcune Aree protette ad attivare una serie di progetti legati al pascolo e allo sfalcio conservativi.

Dati relativi al *trend* temporale locale di alcune specie forniscono importanti informazioni sullo stato di conservazione a scala locale e di conseguenza sulla priorità che deve essere

data nelle prescrizioni, sia spaziali che temporali, a interventi antropici all'interno delle Aree protette stesse. Queste informazioni sulle vulnerabilità di aree e specie sono fondamentali anche al momento di valutare l'incidenza di alcuni interventi o progetti che vengono presentati all'interno dei territori protetti.

CONCLUSIONI

I risultati finora raggiunti e gli anni di esperienza condivisa tra Parchi alpini hanno fatto emergere alcune considerazioni comuni. In particolare, dopo quasi vent'anni dall'inizio del progetto, si sottolinea il valore dei risultati ottenuti per ogni singolo Parco, dall'aumento delle conoscenze puntuali all'importanza di avere le proprie serie temporali che negli anni aiutano a chiarire dinamiche a scala locale con importanti risvolti gestionali. Ogni Parco ha poi inoltre sperimentato metodologie o gruppi tassonomici nuovi, da aggiungere al set comune, scelti in base alle peculiarità del territorio o a priorità conservazionistiche (e.g. il PNVD ha aggiunto il monitoraggio degli odonati, data la presenza di torbiere e altre tipologie di aree umide lungo i suoi gradienti). Ma nel tempo è emerso come ancor più importante il valore di "fare rete": sia per le tipologie di risultati ottenibili, sia per quanto riguarda il confronto tra partner sulle metodologie di raccolta dati, di archiviazione, di ottimizzazione e di ricerca fondi condivisa. Il mantenimento del progetto nel lungo termine e l'organizzazione dei bienni di monitoraggio sono stati infatti accompagnati da difficoltà logistiche, in particolare legate al reperimento dei fondi necessari e all'individuazione di personale in grado di portare avanti le attività di monitoraggio in campo e di determinazione dei campioni

raccolti. Grazie al fondamentale supporto finanziario del Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica le attività sono state finora mantenute ed è stata creata una rete di persone in grado di portare avanti il progetto. Durante questi anni, i Parchi partner hanno infatti organizzato corsi per il riconoscimento dei gruppi target, cercando quindi inoltre di aumentare l'interesse per lo studio e il monitoraggio faunistico, degli invertebrati in particolare.

In questi ultimi anni, la maggior parte dei Parchi ha inoltre iniziato a sperimentare l'utilizzo di metodologie automatizzate nei *plot* del Progetto Biodiversità, per capire se e come si possono ridurre i costi di monitoraggio e semplificare le operazioni di campo (e.g. registratori acustici per il monitoraggio di uccelli e di ortoteri, fotocamere per gli invertebrati, DNA ambientale e *barcoding*). Alcune di queste metodologie appaiono promettenti, come emerso anche dalla recente letteratura sull'argomento ([Lahoz-Monfort e Magrath, 2021](#); [van Klink et al., 2022](#)), applicabili in maniera vantaggiosa anche alla scala di area protetta, ma i risultati definitivi, in termini di costi-benefici, sono ancora in fase di valutazione.

Il valore di questo progetto, secondo le Aree protette che lo stanno portando avanti ormai da oltre un decennio, risiede essenzialmente nella sua flessibilità e nella sua semplicità. Il monitoraggio di *plot* di dimensioni relativamente ridotte lungo i gradienti altitudinali è replicabile a diverse realtà e adattabile all'aggiunta di nuovi gruppi tassonomici o alla sperimentazione di nuove metodologie.

Il mantenimento nel lungo periodo, proprio all'interno di Aree protette, consente di avere

una cartina di tornasole per capire cosa sta succedendo alla biodiversità alpina e un metro di paragone per chi volesse valutare l'impatto di attività gestionali anche al di fuori delle Aree protette.

L'individuazione delle diverse vulnerabilità sia in termini di specie che di comunità che di habitat si rivela infatti fondamentale anche nel programmare la parte gestionale di ogni Ente. Le Aree protette alpine, impegnandosi nel reperire fondi e collaboratori nel lungo periodo e coordinandosi tra loro, nonostante le difficoltà puntualmente presenti, mirano a rappresentare un esempio non soltanto per la conservazione della biodiversità ma anche per il suo monitoraggio nel lungo periodo, strumento essenziale per capire come e dove intervenire per proteggerla.

Ringraziamenti

Siamo grati ai Direttori dei Parchi per il supporto logistico mostrato nel corso degli anni; a tutti i Guarda Parco e studenti, ricercatori, collaboratori senza i quali le attività di monitoraggio non sarebbero state (e non saranno) possibili; ai tassonomi che hanno determinato centinaia di esemplari e collaborato a corsi di formazione.

Fonti di finanziamento

Nel corso degli anni diverse fonti di finanziamento si sono alternate. In particolare, fondamentale è stato il supporto finanziario dei fondi dedicati ai Progetti di Sistema del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (Progetti di Sistema ex cap. 1551, Direttiva Biodiversità e Direttiva Impollinatori).

Le attività di ricerca e monitoraggio hanno ricevuto supporto finanziario anche dal Progetto dell'Unione Europea "Improving

Future Ecosystem Benefits through Earth Observations" (Ecopotential) - Horizon 2020 Research and Innovation Programme, grant agreement no. 641762 e dal Progetto di Interesse "Next Data" del Ministero dell'Università e della Ricerca.

La sperimentazione delle nuove tecniche di monitoraggio è stata possibile grazie al progetto Bio.Up. BIOdiversità. Una Piattaforma interattiva per monitorare, esplorare e prevedere gli effetti delle trasformazioni nel Parco del Gran Paradiso, finanziato da NBFC con un bando a cascata nell'ambito del PNRR - Misura 1.4 "Potenziamento Strutture di Ricerca e Creazione di "Campioni Nazionali di R&S" su alcune *Key Enabling Technologies*".

BIBLIOGRAFIA

Allegro A., Viterbi R., 2010. [Contributo alla conoscenza faunistica ed ecologica dei Carabidi del Parco Naturale Orsiera Rocciavré e della Riserva di Foresto \(Coleoptera, Carabidae\)](#). Riv Pie Sto Nat 31: 187–212.

Balletto E., Bonelli S., Cassulo L., 2007. *Insecta Lepidoptera Papilionoidea*. In: Ruffo S, Stoch F (eds) Checklist and distribution of the Italian Fauna. 10,000 terrestrial and in land water species. 2nd and revised edition—Memorie del Museo Civico di Storia Naturale di Verona, 2_ serie, Sez. Scienze della Vita. 17: 257–261, 280 pls on CD-ROM.

Battisti A., Cerrato C., Viterbi R., Bionda R., Savoldelli P., 2016. [Gli Ortoteri dei Parchi Naturali Veglia-Devero e Alta Valle Antrona](#). Riv Pie Sto Nat 37: 93–115.

Bibby C.J., Burgess N.D., Hill D.A., Mustoe S.H., 2000. *Bird Census Techniques*. II ed., Academic Press, London.

- Cerrato C., Rocchia E., Brunetti M., Bionda R., Bassano B., Provenzale A., Bonelli S., Viterbi R., 2019. [Butterfly distribution along altitudinal gradients: temporal changes over a short time period](#). *NatConserv* 34: 91–118.
- Cerrato C., Viterbi R., Bionda R., Vettorazzo E., Pedrotti L., Movalli C., Provenzale A., 2017. *A multi-taxa approach in mountain ecosystems: a shared protocol between 6 Italian Parks*. In: Conference Volume – 6th Symposium for Research in Protected Areas, Salzburg, 2-3 November 2017, p. 103-106.
- Coetzee B.W.T., Gaston K.J., Chown S.L., 2014. [Local Scale Comparisons of Biodiversity as a Test for Global Protected Area Ecological Performance: A Meta-Analysis](#). *PLoS ONE* 9(8):e105824.
- Dalton D., Berger V., Kirchmeir H., Adams V., Botha J., Halloy S., Hart R., Švara V., Torres Ribeiro K., Chaudhary S., Jungmeier M., 2024. [A framework for monitoring biodiversity in protected areas and other effective area-based conservation measures: Concepts, methods and technologies](#). IUCN WCPA Technical Report Series No. 7, Gland, Switzerland: IUCN. <https://doi.org/10.2305/HRAP7908>.
- De Cáceres M., Legendre P., 2009. [Associations between species and groups of sites: indices and statistical inference](#). *Ecology* 90: 3566–3574.
- Gardiner T., Hill J., Chesmore D., 2005. [Review of the Methods Frequently Used to Estimate the Abundance of Orthoptera in Grassland Ecosystems](#). *Insect Conserv* 9:151–173.
- Gray C.L., Hill S.L., Newbold T., Hudson L.N., Borger L., Contu S., Hoskins A.J., Ferrier S., Purvis A., Scharlemann J.P., 2016. [Local biodiversity is higher inside than outside terrestrial protected areas worldwide](#). *Nat Commun* 7:12306.
- Ioan S., Roseo F., Brambilla M., 2025. [Mountain ecosystem services under a changing climate: A global perspective](#). *Ecosyst Serv* 73:101732.
- Johnson C.N., Balmford A., Brook B.W., Buettel J.C., Galetti M., Guangchun L., Wilmshurst J.M., 2017. [Biodiversity losses and conservation responses in the Anthropocene](#). *Science* 356:270–275.
- Körner C., 2004. [Mountain biodiversity, its causes and function](#). *Ambio* 13:11–17. Körner C., 2007. [The use of 'altitude' in ecological research](#). *Trend Ecol Evol* 22:569–574.
- Lahoz-Monfort J.J., Magrath M.J.L., 2021. [A Comprehensive Overview of Technologies for Species and Habitat Monitoring and Conservation](#). *BioScience* 71(10):1038–1062.
- Merow C., Smith M.J., Silander J.A., 2013. [A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: what it does, and why inputs and settings matter](#). *Ecography* 36(10): 1058-1069.
- Metz M., Rocchini D., Neteler M., 2014. [Surface temperatures at the continental scale: Tracking changes with remote sensing at unprecedented detail](#). *Remote Sens* 6 (5):3822–3840.
- Milano F., Pantini P., Isaia M., 2025. [A new species of Peponocranium \(Araneae: Linyphiidae\) from the Alps](#). *Arachnol Lett* 69:19–26.
- Oliver T.H., Heard M.S., Isaac N.J.B., Roy D.B., Procter D., Eigenbrod F., Freckleton R., Hector A., Orme C.D.L., Petchey O.L.,

Proença V., Raffaelli D., Suttle K.B., Mace G.M., Martín-López B., Woodcock B.A., Bullock J.M., 2015. [Biodiversity and Resilience of Ecosystem Functions](#). *Trend Ecol Evol* 30(11):673–684.

Pantini P., Mazzoleni F., Gobbi M., Pedrotti L., 2020. [Ragni \(Arachnida, Araneae\) di interesse biogeografico e conservazionistico nel Parco nazionale dello Stelvio \(Italia\)](#). *Riv Museo Civ Sci Nat "Enrico Caffi"* 33:23–53.

Petri I., Pantini P., Oneto C., Vettorazzo E., Gobbi M., 2022. [Araneofauna \(Arachnida: Araneae\) del Parco Nazionale Dolomiti Bellunesi \(Veneto\)](#). *Frammenti: conoscere e tutelare la natura bellunese* 12:25–40.

Pollard E., 1977. [A method for assessing changes in the abundance of butterflies](#). *Biol Conserv* 12:115–134.

Rahbek C., Borregaard M.K., Colwell R.K., Dalsgaard B., Holt B.G., Morueta-Holme N., Nogues-Bravo D., Whittaker R.J., Fjeldså J., 2019. [Humboldt's enigma: What causes global patterns of mountain biodiversity?](#) *Science* 365:1108–1113.

Schmeller D.S., Urbach D., Bates K., Catalan J., Cogălniceanu D., Fisher M.C., Friesen J., Füreder L., Gaube V., Haver M., Jacobsen D., Le Roux G., Lin Y., Loyau A., Machate O., Mayer A., Palomo I., Plutzer C., Sentenac H., Sommaruga R., Tiberti R., Ripple W.J., 2022. [Scientists' warning of threats to mountains](#). *Sci Tot Envir* 853:158611.

Southwood T.R.E., Henderson P.A., 2000. *Ecological Methods*. Blackwell Science, Oxford, UK.

Sundqvist M.K., Sanders N.J., Wardle D.A., 2013. [Community and Ecosystem Responses to Elevational Gradients: Processes,](#)

[Mechanisms, and Insights for Global Change](#). *Annu Rev Ecol Evol Syst* 44:261–280.

van Klink R., August T., Bas Y., Bodesheim P., Bonn A., Fossøy F., Høye T.T., Jongejans E., Menz M.H.M., Miraldo A., Roslin T., Roy H.E., Ruczyński I., Schigel D., Schäffler L., Sheard J.K., Svenningsen C., Tschan G.F., Wäldchen J., Zizka V.M.A., Åström J., Bowler D.E., 2022. [Emerging technologies revolutionise insect ecology and monitoring](#). *Trends Ecol Evol* 37(10):872–885.

Viterbi R., Cerrato C., Bassano B., Bionda R., von Hardenberg A., Provenzale A., Bogliani G., 2013. [Patterns of biodiversity in the northwestern Italian Alps: a multi-taxa approach](#). *Comm Ecol* 14:18–30.

Viterbi R., Cerrato C., Bionda R., Provenzale A., 2020. [Effects of temperature rise on multi-taxa distributions in mountain ecosystems](#). *Diversity* 12:210.