

Contributo alla conoscenza della successione primaria della carabidofauna (Insecta, Coleoptera, Carabidae) in una valle alpina di recente deglaciazione

MAURO GOBBI* e PIETRO BRANDMAYR**

* Università degli Studi di Milano, Dipartimento di Biologia, Via Celoria 26, I-20133 Milano, Italia. E-mail: mauro.gobbi@unimi.it

** Università degli Studi della Calabria, Dipartimento di Ecologia, Via Bucci, I-87036 Arcavacata di Rende (Cosenza), Italia.

RIASSUNTO – Nel presente lavoro è descritta la successione primaria della carabidofauna nella Valle dei Forni (Lombardia, provincia di Sondrio), valle alpina di recente deglaciazione. La ricchezza di specie, l'eterogeneità delle comunità e la morfologia alare delle singole specie sono correlate all'anno in cui i suoli sono stati abbandonati dal ghiacciaio. Inoltre, si segnala per la prima volta la presenza di comunità stabili di *Oreonebria castanea brunnea* (Duftschmid, 1812) viventi sulla superficie del ghiacciaio. Infine viene sottolineata l'importanza di questo tipo di indagine per la comprensione dell'interazione tra mutamenti climatici (ritiro dei ghiacciai) e cambiamenti nella distribuzione delle faune (colonizzazione di nuove aree).

Parole chiave: Carabidae, cronosequenza, riscaldamento globale, ghiacciai, Valle dei Forni.

ABSTRACT – *Contribution to the knowledge of the primary succession of ground beetle fauna (Insecta, Coleoptera, Carabidae) in a recently deglaciated alpine valley.* In the present paper, the primary succession of the ground beetle fauna in a recently deglaciated alpine valley (Valle dei Forni, Province of Sondrio, Lombardy) is described and discussed. Species richness, community heterogeneity and wing morphology are correlated to the age of deglaciated soils. Moreover, the presence of stable communities of *Oreonebria castanea brunnea* (Duftschmid, 1812) on the glacier surface is reported for the first time. The contribution of this kind of research to the understanding of the interaction between climate change (glacier retreats) and species distribution (colonization of new areas) is underlined.

Key words: Carabidae, chronosequence, global warming, glaciers, Valle dei Forni.

Introduzione

Negli ultimi 100 anni il clima terrestre ha subito un aumento della temperatura di circa 0,3–0,6°C (IPCC, 1996) con due principali periodi di riscaldamento.

mento, il primo compreso tra il 1910 e il 1945 ed il secondo dal 1976 in avanti (JONES *et al.*, 1999).

Secondo PARMESAN & YOHE (2003) sono ancora pochi gli studi che documentano e spiegano le risposte delle specie ai cambiamenti climatici, poiché risulta complicato distinguere tra risposte dovute a mutamenti ambientali a breve termine, di solito ben percepibili, e *trends* costanti, ma deboli, che si manifestano a lungo termine. Gli stessi Autori, in una loro recente meta-analisi eseguita su un *database* contenente i dati fenologici e di distribuzione di 1700 specie animali e vegetali, documentano un significativo spostamento di circa 6 km ogni dieci anni verso i poli e di anticipazioni della primavera di circa 2,3 giorni ogni dieci anni (PARMESAN & YOHE, 2003).

Dopo la più recente fase di massima avanzata glaciale, denominata Piccola Età Glaciale o più sinteticamente “PEG” (XVI–XIX sec.), la regione alpina è stata interessata da una fase di rapida deglaciazione, rilevabile e ricostruibile osservando e datando le morene. La ricostruzione delle principali tappe della storia glaciale, associata allo studio dei meccanismi che la regolano e l’hanno regolata, fornisce un’ottima chiave per la descrizione dei cambiamenti globali (OROMBELLI, 1990; SMIRAGLIA, 1992). I ghiacciai italiani, e quindi quelli delle Alpi Meridionali, svolgono un ruolo biogeografico di estrema importanza nello studio della storia ambientale recente, in quanto fungono da cerniera tra il bacino mediterraneo e le aree continentali centro-europee (BARONI, 2004). In ambiente proglaciale, la dinamica di colonizzazione delle zoocenosi, correlata alla dinamica glaciale, può rivelarsi utile indicatore per la comprensione dei cambiamenti climatici a breve e lungo termine.

Mentre in Italia non sono mai stati eseguiti studi sulla correlazione tra la dinamica glaciale recente e la dinamica di colonizzazione delle artropodocenosi, ad eccezione di quello di FOCARILE (1976) per la conca del Breuil (Valtournanche, Val d’Aosta), in altri Paesi gli studi risultano più numerosi (si veda ad esempio HODKINSON *et al.*, 1998; KAUFMANN, 2001 e 2002; KAUFMANN & RAFFL, 2002). BRANDMAYR *et al.* (2004), al fine di sottolinearne il valore, hanno confrontato la fauna carabidologica alpina italiana con quella della regione alpina scandinava, evidenziando come tale regione sia non solo poverissima di specie (meno di 10 taxa), ma anche totalmente priva di endemismi; al contrario, la regione alpina italiana, ed in particolare la prateria alpina, presenta 180 specie, rappresentate da popolazioni stabili, di cui ben 109 endemiche. Questi valori testimoniano quanto la fauna alpina italiana meriti studi approfonditi.

Obiettivo del presente contributo è quello di correlare la cronosequenza morenica delle fasi di ritiro di un ghiacciaio vallivo alla colonizzazione primaria delle comunità di Coleotteri Carabidi.

Area di studio

La scelta dell'area di studio è stata operata tenendo conto della necessità di studiare una zona delle Alpi a quote elevate, interessata dalla presenza di una valle proglaciale con sequenza morenica ben datata e di un ghiacciaio, in modo da poterne studiare la tipologia e la dinamica delle comunità di Carabidi. La scelta è quindi caduta sulla Valle dei Forni (Lombardia, provincia di Sondrio, comune di Valfurva, Gruppo Ortles-Cevedale; fig. 1), in quanto interessata dalla presenza del Ghiacciaio dei Forni, il ghiacciaio vallivo italiano di maggior estensione, e da un'area proglaciale con la cronosequenza delle fasi di avanzata Olocenica del ghiacciaio.

La valle, interamente modellata entro le Filladi di Bormio, presenta un profilo a U asimmetrico a causa della scistosità delle rocce metamorfiche che la caratterizzano. PELFINI & SMIRAGLIA (1992) riportano che nella dinamica frontale del ghiacciaio si possono individuare alcune fasi principali: la prima, tra il 1859 e il 1914, è una fase di ritiro non accentuato (62 m, con ritiro medio annuo di 3,4 m), con periodi di stazionarietà (1898–1904; 1911–1914); la seconda, tra 1914 e il 1970, è una fase di ritiro accentuato (1373 m, con ritiro medio di 24,5 m); la terza, tra il 1971 e il 1987, è caratterizzata da un ritiro limitato a 225 m (ritiro medio di 14 m). Dal 1988 ad oggi il ritiro è ripreso in maniera accentuata ed attualmente la fronte glaciale si trova a circa 2480 m s.l.m..

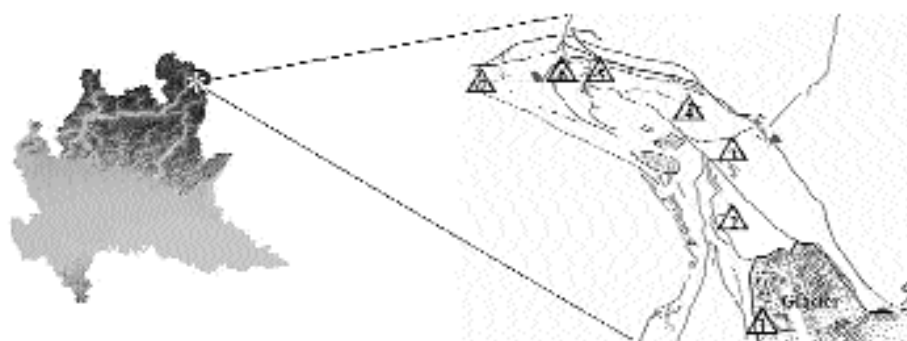


Fig. 1. Localizzazione geografica della Valle dei Forni in Lombardia (asterisco) e posizione delle stazioni di campionamento: 1, ghiacciaio; 2, morena frontale del 1980; 3, posizione fronte glaciale nel 1953; 4, posizione fronte glaciale nel 1943; 5, morena frontale del 1926; 6, morena frontale del 1904; 7, morena frontale del 1850.

Nella porzione proglaciale della valle sono presenti cordoni morenici, costituiti da materiale grossolano, che permettono di ripercorrere la storia glaciale sopra citata. La morena più antica è quella risalente alla Piccola Età Glaciale (1850 circa) ed è rappresentata da una morena frontale inerbita e con suolo sviluppato, ubicata a 2150 m di quota. Gli altri sistemi morenici, più interni, sono ubicati: il primo, databile 1904 circa (2190 m s.l.m.), alla confluenza con la Val Cedèch; il secondo, risalente al 1926 circa, a quota 2203 m; il terzo, risale al 1980 circa, a quota 2348 m. In base alle fotografie storiche si possono anche ricostruire le posizioni della fronte glaciale nel 1943 e nel 1953.

In fig. 1 è riportata la posizione topografica dei siti di campionamento scelti, che sono: morena frontale deposta al culmine della PEG (7), morena frontale deposta nel 1904 (6), morena frontale datata 1926 (5), posizione della fronte glaciale nel 1943 (4), posizione della fronte glaciale nel 1953 (3), morena frontale datata 1980 (2), sinistra idrografica lingua glaciale (1). Tali siti sono stati quindi deglacializzati rispettivamente da circa 154, 100, 78, 61, 51, 24 e 0 anni.

Materiali e metodi

I Coleotteri Carabidi sono stati scelti come oggetto di studio in quanto sono ben conosciuti dal punto di vista tassonomico, biologico e autoecologico anche in ambiente alpino, grazie agli studi di FOCARILE (1976), BRANDMAYR & ZETTO BRANDMAYR (1986; 1988), BRANDMAYR & PIZZOLOTTO (1987), MARCUZZI (1988), BRANDMAYR (1991), BRANDMAYR *et al.* (2003a; 2003b), e si distribuiscono nell'ambiente secondo chiare preferenze di habitat tali da permettere raggruppamenti cenotici rappresentativi dell'habitat stesso.

I Carabidi sono stati rilevati quantitativamente mediante l'impiego di trappole a caduta; questo metodo di raccolta è stato basato su campionamenti con 6 trappole a caduta prive di copertura protettiva, distanziate tra loro 10 m e tenute in funzione per un'intera stagione di attività della carabidofauna (luglio–ottobre 2004). Ogni trappola consiste in un bicchiere di plastica di 7 cm di diametro superiore, 4,5 cm di diametro inferiore e profondo 8 cm, interato fino all'orlo, munito di forellino posto a due terzi del fondo per lo sfogo dell'acqua piovana. L'esca utilizzata è stata una mistura di aceto e sale dalle proprietà attrattive e conservanti (BRANDMAYR & ZETTO BRANDMAYR, 1988). Le trappole sono state svuotate e rimesse in funzione a intervalli regolari di 20 giorni, per un totale di 5 raccolte.

Al fine di correlare le comunità di Carabidi alla cronosequenza delle fasi di ritiro del ghiacciaio si è deciso primariamente di confrontarle analizzando i valori di ricchezza di specie e di eterogeneità. Per il calcolo dell'eterogeneità

si è scelto di utilizzare l'Indice di Shannon (MASSA & INGEGNOLI, 1999).

Successivamente è stata creata una matrice specie-sito, che è stata ordinata usando il “*reciprocal averaging*”, in modo da raggruppare i siti con simili specie e specie con simile distribuzione. Per ottenere tale ordinamento si è utilizzata la macro di Excel sviluppata da LEIBOLD & MIKKELSON (2002).

Di tutte le specie rinvenute è stata osservata la morfologia alare per individuare il rapporto tra assenza e presenza (B/M) di ali funzionali al volo, confrontandolo poi con i valori attesi riportati da BRANDMAYR *et al.* (2003b). Per la nomenclatura aggiornata delle specie si è fatto riferimento alla checklist della Fauna Europea (AUDISIO & VIGNA TAGLIANTI, 2004). Gli esemplari raccolti sono conservati nella collezione personale di uno di noi (Mauro Gobbi).

Risultati e discussione

In totale, sono state raccolte 18 specie di Coleotteri Carabidi (Tab. 1). La ricchezza di specie e l'Indice di Shannon per ciascuna stazione di campionamento sono risultati significativamente correlati all'età di deglaciazione della stessa (ricchezza di specie: $p < 0.01$; Indice di Shannon: $r^2 = 0.80$; $p < 0.01$); vedi fig. 2).

Tabella 1. Elenco alfabetico delle specie campionate.

| Specie |
|--|
| <i>Amara (Celia) bifrons</i> (Gyllenhal, 1810) |
| <i>Amara (Celia) erratica</i> (Duftschmid, 1812) |
| <i>Amara (Paracelia) quenseli</i> (Schönherr, 1806) |
| <i>Bradycellus (Bradycellus) caucasicus</i> (Chaudoir, 1846) |
| <i>Calathus (Neocalathus) melanocephalus</i> (Linnaeus, 1758) |
| <i>Calathus (Neocalathus) micropterus</i> (Duftschmid, 1812) |
| <i>Carabus (Orinocarabus) sylvestris</i> Panzer, 1793 |
| <i>Carabus (Platycarabus) depressus depressus</i> Bonelli, 1810 |
| <i>Cychrus caraboides</i> (Linnaeus, 1758) |
| <i>Cymindis (Tarulus) vaporariorum</i> (Linnaeus, 1758) |
| <i>Leistus (Leistus) nitidus</i> (Duftschmid, 1812) |
| <i>Notiophilus aquaticus</i> (Linnaeus, 1758) |
| <i>Ocydromus (Peryphus) incognitus</i> (G. Müller, 1931) |
| <i>Oreonebria (Oreonebria) castanea brunnea</i> (Duftschmid, 1812) |
| <i>Principidium (Testedium) bipunctatum</i> (Linnaeus, 1761) |
| <i>Pterostichus (Haptoderus) unctulatus</i> (Duftschmid, 1812) |
| <i>Pterostichus (Oreophilus) multipunctatus</i> Dejean, 1828 |
| <i>Synuchus vivalis</i> (Illiger, 1798) |

Tali risultati concordano con quelli ottenuti da KAUFMANN (2001) per le comunità di invertebrati presenti nella valle proglaciale del Ghiacciaio del Rotmoos (Alpi Austriache). Un forte incremento della diversità e della eterogeneità delle comunità lo si ha su suoli liberati dal ghiacciaio da 1 a 60 anni circa mentre i valori si mantengono costanti su suoli con almeno 100 anni.

Dall'ordinamento della matrice specie-sito attraverso il "reciprocal averaging" e mediante l'osservazione del grafico (fig. 3), si può osservare che i Carabidi sono presenti in tutte le stazioni di campionamento e possiedono un *turnover* di specie lungo la cronosequenza. La matrice ordinata mostra che le specie che si distinguono come colonizzatrici primarie sono *Oreonebria (Oreonebria) castanea brunnea* (Duftschmid, 1812), rinvenuta sul ghiacciaio, e *Amara (Paracelia) quenseli* (Schönherr, 1806) e *Carabus (Orinocarabus) sylvestris* Panzer, 1793 che compaiono dopo 24 anni dal ritiro del ghiacciaio. Le altre specie di Carabidi, essendo legate ad una vegetazione climax di prateria alpina e forestale, risultano addensarsi nelle stazioni più antiche. L'ipotesi che si può avanzare è che le specie che caratterizzano la successione primaria sono quelle tipiche di ambienti aperti, di recente deglaciazione e quindi poco strutturati.

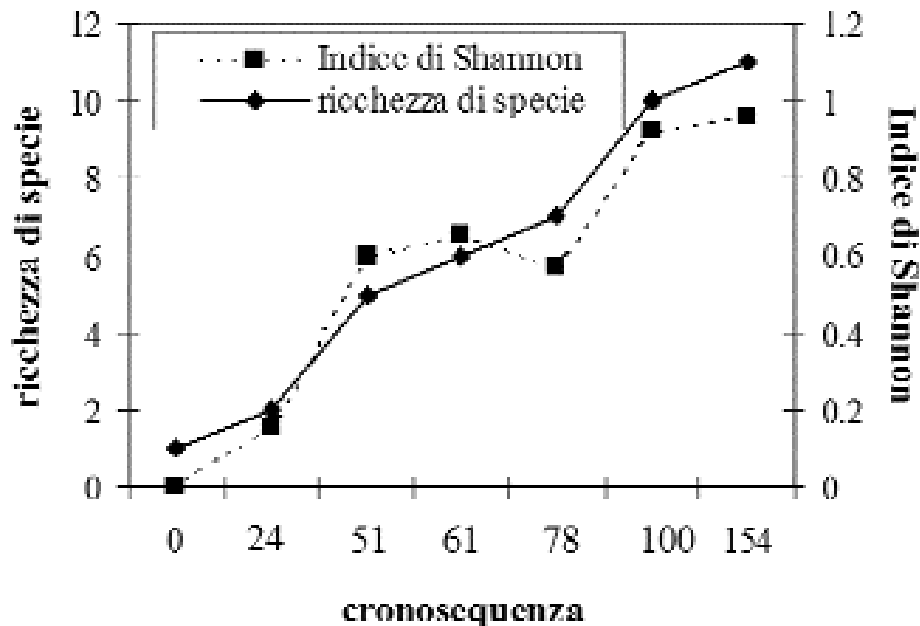


Fig. 2. Relazione tra cronosequenza delle fasi di ritiro glaciale e andamento della ricchezza di specie e dell'Indice di Shannon.

| Ghiacciaio | 1980 | 1953 | 1943 | 1926 | 1904 | 1850 | Specie |
|------------|------|------|------|------|------|------|---|
| ■ | | | | | | | <i>Oreonebria (Oreonebria) castanea brunnea</i> |
| | | ■ | | | | | <i>Ocydromus (Peryphus) incognitus</i> |
| | ■ | ■ | | | | | <i>Amara (Celia) quenseli</i> |
| | | ■ | | ■ | | | <i>Notiophilus aquaticus</i> |
| | ■ | ■ | ■ | | ■ | ■ | <i>Carabus (Orinocarabus) sylvestris</i> |
| | | ■ | ■ | | ■ | ■ | <i>Carabus (Platycarabus) depressus depressus</i> |
| | | | ■ | | | | <i>Princidium (Testedium) bipunctatum</i> |
| | | | ■ | ■ | ■ | ■ | <i>Cymindis (Tarulus) vaporariorum</i> |
| | | | ■ | ■ | ■ | ■ | <i>Amara (Celia) erratica</i> |
| | | | ■ | ■ | ■ | ■ | <i>Amara (Celia) bifrons</i> |
| | | | | ■ | | | <i>Pterostichus (Haptoderus) unctulatus</i> |
| | | | | ■ | ■ | ■ | <i>Calathus (Neocalathus) micropterus</i> |
| | | | | ■ | ■ | ■ | <i>Calathus (Neocalathus) melanocephalus</i> |
| | | | | | ■ | ■ | <i>Synuchus vivalis</i> |
| | | | | | ■ | ■ | <i>Pterostichus (Oreophilus) multipunctatus</i> |
| | | | | | ■ | ■ | <i>Leistus (Leistus) nitidus</i> |
| | | | | | | ■ | <i>Cychrus caraboides</i> |
| | | | | | | ■ | <i>Bradycellus (Bradycellus) caucasicus</i> |

Fig. 3. Matrice specie-sito ordinata mediante “reciprocal averaging”.

La presenza di *Oreonebria castanea brunnea* sulla superficie del ghiacciaio risulta essere un dato di notevole interesse, non solo per il ruolo ecologico che il ghiacciaio può assumere (PELFINI & GOBBI, 2005), ma anche per la conoscenza dell’ecologia di questo taxon. *O. castanea brunnea* è sottospecie igrofila, petrofila, microterma e predatrice notturna, che ben si adatta a vivere in ambienti pionieri con suolo a granulometria grossolana, e presenta assenza di ali funzionali al volo (FOCARILE, 1976; BRANDMAYR & ZETTO BRANDMAYR, 1988).

La sua presenza sul ghiacciaio è giustificabile in quanto dalle morene laterali, ambiente in cui si rifugia e in cui è stata catturata a vista, si suppone giunga sul ghiacciaio per predare le innumerevoli specie di piccoli insetti che, trasportate dalle correnti ascensionali, cadono sulla sua superficie (PELFINI & GOBBI, 2005).

Amara quenseli, con le sue peculiari caratteristiche metaboliche (HODKINSON, 2003) e comportamentali (BRANDMAYR *et al.*, 2003b), conferma di essere una specie ben adattata a vivere in ambienti pionieri, in quanto non solo com-

pare nella stazione abbandonata dal ghiacciaio da 51 anni, in cui il suolo presenta granulometria poco coerente e la vegetazione non è strutturata presentando solo cuscinetti di muschi (*A. quenseli* è specie spermofaga in cuscinetti pionieri di vegetazione), ma anche nella morena frontale del 1980, in cui la vegetazione è totalmente assente. Su suoli deglacializzati da circa 60–80 anni, caratterizzati dalla presenza di prateria alpina, le comunità sono rappresentate da *Calathus (Neocalathus) melanocephalus* (Linnaeus, 1758) e *Cymindis (Tarulus) vaporariorum* (Linnaeus, 1758), due specie tipiche di prateria ed in particolare indicatrici di prateria mesofila pascolata (BRANDMAYR & ZETTO BRANDMAYR, 1988). Nel sito deglacializzato da 154 anni è stata invece riscontrata la presenza di specie che subentrano dal piano subalpino (la morena della PEG è ubicata al limite tra i piani subalpino e alpino).

Analizzando la morfologia alare delle specie raccolte, si osserva che il 28% di esse è alato. Il dato concorda con quanto osservato da BRANDMAYR *et al.*, (2003b), secondo i quali in ambiente alpino le specie senza ali funzionali al volo sono dominanti rispetto a quelle alate, che in ambiente siliceo raggiungono un'abbondanza di circa il 30%. Il “modello evolutivo” proposto da BRANDMAYR (1991) riporta che in ambiente di alta quota le forti correnti ventose fungono da fattore limitante per la capacità di dispersione delle specie volatrici. Nel nostro caso le specie alate si rinvengono concentrate negli ambienti pionieri (fig. 4), caratterizzati da instabilità geomorfologica e idrica a causa della presenza discontinua di acque di fusione del ghiacciaio. La presenza di ali rende tali specie meglio adattate a questa tipologia di substrato. Le specie non alate si concentrano invece laddove la vegetazione è strutturata, ovvero su suoli deglacializzati da circa 80 e 100 anni, in cui domina la prateria alpina, e su suoli di 154 anni, in cui si sta stabilizzando la Cembra a *Pinus cembra*.

Conclusioni

A nostro avviso, questi risultati mostrano come, in una valle di recente deglaciazione, le comunità di Carabidi colonizzano “nuovi” territori mediante successione di specie con differenti caratteristiche ecologiche e morfologiche. Noi riteniamo che lo studio della successione primaria delle faune in valli di recente deglaciazione meriti maggiore attenzione, poiché un continuo ritiro dei ghiacciai conduce alla conseguente colonizzazione di specie che modificheranno a scala regionale la loro distribuzione geografica. Occorre inoltre approfondire lo studio delle specie microterme (i.e. *Oreonebria* spp.), e quindi legate alla presenza di ambienti freddi e umidi quali i ghiacciai, in quanto potenziali ottime indicatrici di cambiamenti climatici.

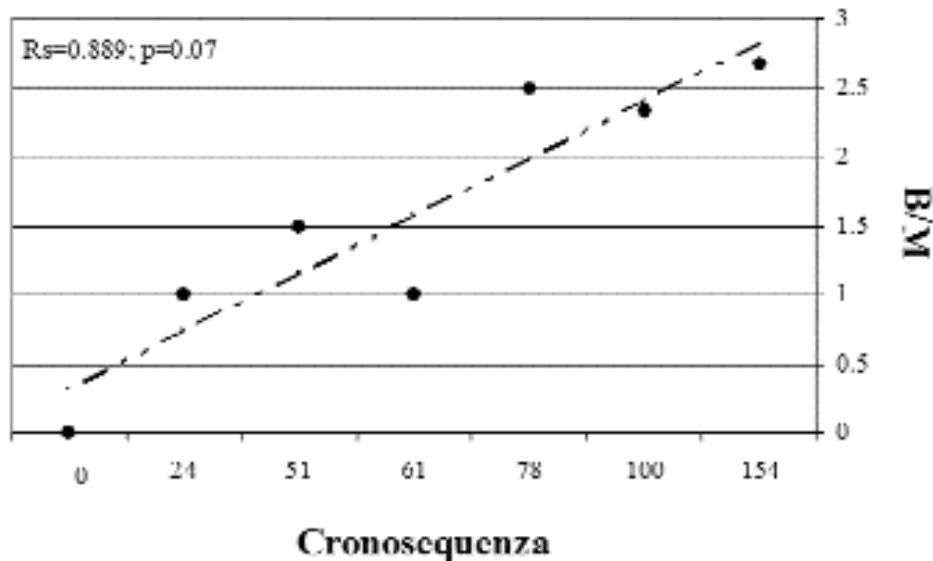


Fig. 4. Rapporto specie non alate (B) e specie alate (M) lungo la cronosequenza.

Ringraziamenti

Si desidera ringraziare il Parco Nazionale dello Stelvio per aver concesso l'attività di ricerca nella Valle dei Forni, Maurizio Pavesi del Museo Civico di Storia Naturale di Milano per la collaborazione nella determinazione delle specie dubbie e i professori Fiorenza De Bernardi, Manuela Pelfini, Bruno Rossaro e il dott. Diego Fontaneto dell'Università degli Studi di Milano, senza i quali non sarebbe stato possibile portare avanti questo studio.

Bibliografia

- AUDISIO P. & VIGNA TAGLIANTI A., 2004 - *Fauna Europaea: Coleoptera, Carabidae*. Fauna Europaea version 1.1, <http://www.faunaeur.org>
- BARONI C., 2004 - *Storia dei ghiacciai alpini e modificazioni geomorfologico-ambientali dall'ultimo massimo glaciale ad oggi nelle Alpi Centrali*. XXXV Congresso Biogeografia delle Alpi e Prealpi centro-orientali, Rabbi 6-9 settembre 2004: 15-19.
- BRANDMAYR P., 1991 - *The reduction of metathoracical alae and of dispersal power of carabid beetles along the evolutionary pathway into the mountains*. In: LANZAVECCHIA G. & VALVASSORI R. (eds.), *Form and function in zoology*. Selected Symposia and Monographs U.Z.I., 5: 363-378.
- BRANDMAYR P. & PIZZOLOTTO R., 1987 - *Aspetti zoocenotici e biogeografici dei popolamenti a Coleotteri Carabidi nella fascia alpina delle Vette di Feltre (Belluno)*. Biogeographia, 13: 713-743.

- BRANDMAYR P., PIZZOLOTTO R. & SCALERCIO S., 2003a - *Overview: Invertebrate diversity in Europe's Alpine Regions* (233–237 pp.). In: NAGY L., GRABHERR G., KÖRNER C. & THOMPSON D.B.A (eds.), *Alpine Biodiversity in Europe*. Ecological studies vol. 167, Springer-Verlag, Berlin, XXXI + 477 pp..
- BRANDMAYR P., PIZZOLOTTO R., SCALERCIO S., ALGIERI M.C. & ZETTO T., 2003b - *Diversity patterns of Carabids in the Alps and the Apennines* (307–317 pp.). In: NAGY L., GRABHERR G., KÖRNER C. & THOMPSON D.B.A (eds.), *Alpine Biodiversity in Europe*. Ecological studies vol. 167, Springer-Verlag, Berlin, XXXI + 477 pp..
- BRANDMAYR P. & ZETTO BRANDMAYR T., 1986 - *Phenology of ground beetles and its ecological significance in some of the main habitats types of Southern Europe* (195–220 pp.). In: DEN BOER P.J., LUFF M.L., MOSSAKOWSKI D. & WEBER F. (eds.), *Carabid Beetles, their adaptation and dynamics*. Gustav Fisher, Stuttgart - New York, 551 pp..
- BRANDMAYR P. & ZETTO BRANDMAYR T., 1988 - *Comunità a coleotteri carabidi delle Dolomiti Sudorientali e delle Prealpi Carniche*. Studi Trentini di Scienze Naturali (Acta Biol.), 64: 125–250.
- BRANDMAYR P., ZETTO T., COLOMBETTA G., MAZZEI A., SCALERCIO S. & PIZZOLOTTO R., 2004 - *I Coleotteri Carabidi come indicatori predittivi dei cambiamenti dell'ambiente: clima e disturbo antropico*. Atti XIX Congresso nazionale italiano di Entomologia, Catania 10–15 giugno 2002: 279–291.
- FOCARILE A., 1976 - *Sulla Coleotterofauna alticola della conca del Breuil (Valtournanche) e osservazioni sul popolamento pioniero delle zone di recente abbandono glaciale*. Revue Valdotaine d'Histoire Naturelle, 30: 126–168.
- HODKINSON I.D., 2003 - *Metabolic cold adaptation in arthropods: a smaller-scale perspective*. Functional Ecology, 17: 562–572.
- HODKINSON I.D., WEBB N.R., BALE J.S., BLOCK W., COULSON S.J. & STRATHDEE A.T., 1998 - *Global Change and Arctic Ecosystems: conclusions and predictions from experiments with terrestrial invertebrates on Spitsbergen*. Arctic and Alpine Research, 30 (3): 306–313.
- IPCC, 1996 - *Climate Change 1995: The Science of Climate Change. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [J.T. Houghton., L.G. Meira Filho, B.A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg, and K. Maskell (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 572 pp..
- JONES P.D., NEW M., PARKER D.E., MARTIN S. & RIGOR L.G., 1999 - *Surface air temperature and its changes over the past 150 years*. Reviews of Geophysics, 37: 173–199.
- KAUFMANN R., 2001 - *Invertebrate succession on alpine glacier foreland*. Ecology, 82 (8): 2261–2278.
- KAUFMANN R., 2002 - *Glacier foreland colonization: distinguishing between short-term and long-term effects of climate change*. Oecologia, 130: 470–475.
- KAUFMANN R. & RAFFL C., 2002 - *Diversity in primary succession: the chronosequence of a Glacier Foreland* (177–190 pp.). In: KÖRNER C. & SPEHN E. (eds.), *Mountain Biodiversity: A Global Assessment*. University of Basel, Basel, Switzerland.
- LEIBOLD M.A. & MIKKELSON G.M., 2002 - *Coherence, species turnover and boundary clumping: elements of meta-community structure*. Oikos, 97: 237–250.

- MARCUZZI G., 1988 - *La Fauna delle Alpi*. Manfrini Ed., Trento, 688 pp..
- MASSA R. & INGEGNOLI V. (a cura di), 1999 - *Biodiversità, estinzione, conservazione*. UTET, Torino, 518 pp..
- OROMBELLI G., 1990 - *Ghiacciai, climi, equilibri ambientali*. Atti 75° Congresso della Società Geologica Italiana, Milano, Memorie Società Geologica, 45: 833–837.
- PARMESAN C. & YOHE G., 2003 - *A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems*. *Nature*, 421: 37–42.
- PELFINI M. & GOBBI M., 2005 - *An enhancement of the ecological value of Forni glacier as a possible geomorphosite: new data from arthropod communities*. *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, 28: 211–217.
- PELFINI M. & SMIRAGLIA C., 1992 - *Alcune serie secolari di variazioni frontali dei ghiacciai delle Alpi Lombarde*. *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, 15: 143–147.
- SMIRAGLIA C., 1992 - *Guida ai ghiacciai e alla glaciologia. Forme, fluttuazioni e ambienti*. Zanichelli, Bologna, 240 pp..

Lavoro pervenuto il 08.11.2005