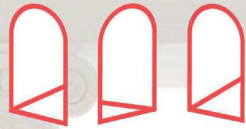


XXXIII CONGRESSO
GEOGRAFICO ITALIANO



GEOGRAFIE IN MOVIMENTO
Padova 8-13 settembre 2021

VOLUME PRIMO

ELEMENTI, ANIMALI, PIANTE

Mobilità dei costituenti,
delle forze e degli organismi

a cura di

Andrea Pase Aldino Bondesan Sara Luchetta

cleup

XXXIII CONGRESSO GEOGRAFICO ITALIANO

GEOGRAFIE IN MOVIMENTO

Padova 8-13 settembre 2021

VOLUME PRIMO

ELEMENTI, ANIMALI, PIANTE

**Mobilità dei costituenti,
delle forze e degli organismi**

a cura di

Andrea Pase Aldino Bondesan Sara Luchetta

cleup

XXXIII Congresso Geografico Italiano
Padova, 8-13 settembre 2021

Con il sostegno di



Associazione dei Geografi Italiani

1222-2022
80 ANNI



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

Università degli Studi di Padova

DSSGeA

DIPARTIMENTO DI SCIENZE STORICHE,
GEOGRAFICHE E DELL'ANTICHITÀ

Dipartimento di Scienze Storiche
Geografiche e dell'Antichità

ICEA

Dipartimento di Ingegneria Civile
Edile Ambientale



MUSEO DI GEOGRAFIA

PALAZZO WOLLEMBORG
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Museo di Geografia
Università di Padova



MOHU

MOBILITY & HUMANITIES
Centre for Advanced Studies

Centro di Eccellenza
Mobility and Humanities



Master in GIScience e Sistemi a pilotaggio
remoto per la gestione integrata
del territorio e delle risorse naturali



Sustainable Territorial Development:
Climate Change Cooperation Diversity -
International Master Degree



Associazione
GIShub

Associazione GIShub

Comitato Organizzatore

Marina Bertoncin (coordinatrice), Silvy Boccaletti, Aldino Bondesan, Benedetta Castiglioni, Margherita Cisani, Daniele Codato, Giuseppe Della Fera, Massimo De Marchi, Alberto Diantini, Giovanni Donadelli, Francesco Facchinelli, Francesco Ferrarese, Chiara Gallanti, Laura Lo Presti, Sabrina Meneghello, Marco Orlandi, Salvatore Eugenio Pappalardo, Andrea Pase, Chiara Pasquato, Giada Peterle, Silvia Piovan, Daria Quatrada, Chiara Rabbiosi, Tania Rossetto, Mauro Varotto.

Comitato Scientifico

Marina Bertoncin (coordinatrice), Silvia Aru, Aldino Bondesan, Panos Bourlessas, Giorgia Bressan, Luisa Carbone, Benedetta Castiglioni, Giacomo Cavuta, Margherita Cisani, Annalisa Colombino, Elena Dell'Agnese, Massimo De Marchi, Federica Epifani, Chiara Gallanti, Arturo Gallia, Francesca Governa, Laura Lo Presti, Sara Luchetta, Salvatore Eugenio Pappalardo, Andrea Pase, Giada Peterle, Silvia Piovan, Carlo Pongetti, Chiara Rabbiosi, Andrea Riggio, Lorena Rocca, Tania Rossetto, Mauro Spotorno, Massimiliano Tabusi, Mauro Varotto, Giacomo Zanolin.

Prima edizione: maggio 2023

ISBN 978 88 5495 574 5

CLEUP sc

“Coop. Libreria Editrice Università di Padova”

via G. Belzoni 118/3 – Padova (t. +39 049 8753496)

www.cleup.it

www.facebook.com/cleup

© 2023 Associazione dei Geografi Italiani

Licenza Creative Commons: Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International
(CC BY-NC-ND 4.0)

Ideazione grafica di copertina: www.studio7am.it

Indice

Marina Bertocin, <i>Discorso di apertura ai lavori del XXXIII Congresso Geografico Italiano</i>	9
Andrea Riggio, <i>Discorso di apertura</i>	13
NODO 1	
EAP. Elementi, animali, piante: mobilità dei costituenti, delle forze e degli organismi	
Andrea Pase, Aldino Bondesan, Annalisa Colombino, Elena Dell’Agnese, Sara Luchetta, Carlo Pongetti, <i>Introduzione</i>	19
EAP 1. Acqua in movimento: flussi, ritmi e cambiamenti	
Filippo Menga, Giorgio Osti, <i>Introduzione</i>	29
Filippo Menga, <i>La governance globale dell’acqua nel ventunesimo secolo: il ruolo delle organizzazioni benefiche</i>	31
Letizia Federica Cavallo, <i>Mascolinità e femminilità nei monumenti alla bonifica del Veneto e dell’Emilia-Romagna</i>	36
EAP 2. Gaia, il pianeta delle piante e degli animali – umani compresi. Ecosistemi, ambienti vegetali e vita animale nell’Antropocene	
Annalisa Colombino, Vincenzo Guarrasi, <i>Introduzione</i>	47
Luca Bonardi, <i>Disumanizzare la città. Per una convivenza tra umano e non umano</i>	51
Giacomo Pettenati, <i>Geografie urbane degli impollinatori. Discorsi e pratiche di produzione di spazi multispecie</i>	56
Eleonora Guadagno, <i>«Il senso della vite»: paesaggi, pratiche, attori e tutela ambientale</i>	63
Giovanni Curcunia, <i>La diffusione di colture tropicali in Italia: nuove potenzialità per l’agricoltura</i>	72
Vincenzo Mini, <i>Sviluppo vs Natura</i>	78
EAP 3. Geografie sotterranee: ambiente e società in movimento	
Lorenzo Bagnoli, <i>Introduzione</i>	85
Lamberto Laureti, <i>Insedimenti sotterranei. Un lungo cammino dalla preistoria ad oggi</i>	89
Vito Azzilonna, Simona Cafaro, Marcello Schiattarella, <i>Valorizzazione geoturistica del patrimonio sotterraneo naturale della Basilicata: una proposta di connessione interregionale</i>	94
Alessio Valente, Angelo Cusano, Paolo Magliulo, Filippo Russo, <i>La valenza geoturistica di alcune «grotte» del gruppo montuoso del Taburno-Camposauro, Campania, Italia</i>	101

Grazia Signori, <i>Le antiche gallerie di escavazione della pietra di Prun (VR): dal fondo del mare e dalle viscere della Terra alla valorizzazione geoturistica</i>	108
Matilde Ferretto, Lorenzo Bagnoli, Rita Capurro, Patrizia Imbrici, Nicola Panzini, <i>Un indice per la valutazione delle priorità di intervento sulle cavità: dalla mitigazione del rischio da sprofondamento alla tutela e alla valorizzazione olistica degli ipogei. Il caso di Canosa di Puglia</i>	112
Timothy Bonassi, Pierluigi Brandolini, Francesco Faccini, Ivan Greco, Luigi Perasso, Stefano Saj, Gabrio Taccani, <i>Le gallerie ricovero della Seconda Guerra Mondiale a Genova (Italia): aspetti geografici, storici e culturali di ambienti urbani sotterranei</i>	120
Gianluigi Giannella, Francesca Lugerì, Mario Mazzoli, <i>Fruizione, valorizzazione e utilizzo degli spazi delle cavità sotterranee connesse all'attività di escavazione della pozzolana nella città di Roma</i>	123
Fabio Fatichenti, Laura Melelli, <i>Il paesaggio sotterraneo di Perugia</i>	127
EAP 4. Le dinamiche del selvatico	
Antonella Primi, Ginevra Pierucci, <i>Introduzione</i>	133
Ginevra Pierucci, <i>In memoria di Antonella Primi</i>	139
Carla Pampaloni, Lorenzo Brocada, <i>Il concetto di wilderness e i diversi ambienti della selvatichezza</i>	141
Pietro Piana, Stefania Mangano, Robert Hearn, <i>Fluvial landscapes: exploitation, marginalisation and rewilding in Genoa, NW Italy</i>	148
Massimiliano Fantò, <i>Are we to say that an urban coyopus is included or excluded, because it deliberately utilises city spaces even if humans do not want it to?</i>	158
Enrico Milazzo, Michele Bandiera, <i>La crisi della domesticità. Il futuro del Salento tra bosco e monocultura</i>	164
Marco Giardino, Andrea Marco Raffaele Pranzo, Angelo Besana, <i>Una dinamicità nascosta: il ruolo del fattore abiotico nella mobilità degli ecosistemi delle aree deglaciate</i>	171
Ingrid Vigna, <i>Avanzamento del bosco e rischio incendi in un sistema socio-ecologico. Riflessioni a partire dal caso della Valchiusella in Piemonte</i>	179
Alberto Diantini, Salvatore Eugenio Pappalardo, Daniele Codato, Silvia Elena Piovan,	
Massimo De Marchi, <i>Petroleumscape ed ecologia della selva nella foresta amazzonica ecuadoriana: l'agroecologia delle chakras come alternativa al petrolio?</i>	187
Luisa Carbone, Tony Urbani, <i>Lo spirito apollineo e dionisiaco del paesaggio informazionale della Tuscia</i>	194
Martino Haver Longo, <i>La selvatichezza di Parco Chigi in Ariccia</i>	200
Isabelle Dumont, <i>Per una geografia dei SIN: trasformazioni ambientali e paesaggistiche delle friches industriali contaminate. Considerazioni introduttive</i>	206
Lorenzo Brocada, Antonella Primi, <i>L'avanzata della selva nel comune di Genova: mappature quanti-qualitative</i>	214
Ginevra Pierucci, <i>Foto-geografie nella selva urbana: studio sull'interazione tra selvatico e urbano presso il Tevere</i>	224
Renato Ferlinghetti, <i>Specie selvatiche, paesaggi minimi, biocenosi in movimento ed ecologia dell'artificialità</i>	228

EAP 5. «Un'onda che si infrange non può spiegare tutto il mare». Verso il cambiamento dell'atteggiamento nei confronti del mare: Ocean Literacy e Ocean Citizenship

Enrico Squarcina, Stefano Malatesta, Marcella Schmidt di Friedberg, <i>Introduzione</i>	237
Valentina Anzoise, Stefania Benetti, <i>Over - Tourism e grandi navi nella Laguna di Venezia</i>	241
Eleonora Gioia, Alessandra Colocci, <i>Da attori passivi a imprenditori a piccolissima scala del cambiamento globale: un possibile paradigma per l'Adriatico</i>	247
Valentina Lovat, <i>Ocean Literacy e politiche europee: il caso del sistema portoghese per valutare il ruolo dell'educazione all'Oceano in Europa</i>	253
Annaclaudia Martini, <i>Separati dall'oceano: muri, tradizioni e rapporto col mare nelle comunità costiere del Nord Giappone</i>	259
Enrica Neri, <i>Insegnare l'ambiente con l'ambiente: i corti d'animazione come ambienti grazie ai quali promuovere il cambiamento dell'atteggiamento nei confronti del mare</i>	265
Gabriella Palermo, <i>Dalle geografie terracquee alla Welt Perspective: scie e onde del Mediterraneo Nero</i>	271
Giulia Realdon, Monica Previati, Maria Cheimonopoulou, Alessio Satta, Francesca Santoro, <i>Adattare l'Ocean Literacy al contesto regionale: sviluppo e diffusione della guida alla Mediterranean Sea Literacy</i>	277

La sessione 6 del nodo EAP ha deciso di non pubblicare i relativi contributi e pertanto non figurano nell'indice.

Una dinamicità nascosta: il ruolo del fattore abiotico nella mobilità degli ecosistemi delle aree deglaciate

Marco Giardino, Andrea Marco Raffaele Pranzo, Angelo Besana¹

1. Geodiversità, mobilità e biodiversità

Le attuali dinamiche del selvatico ne comprendono alcune che non risultano oggetto di una diffusa e sistematica attività di studio attraverso la chiave di lettura geografica della mobilità, forse perché al momento sono ancora emergenti. Si tratta dei fenomeni evolutivi di territori e paesaggi i cui ecosistemi stanno mutando a causa degli effetti regionali e locali del cambiamento climatico. Territori e paesaggi per così dire «di frontiera», oggetto di una sorta di rinaturalizzazione spontanea. Estendendo il ragionamento di Clément (2005) si potrebbe forse parlare, al riguardo, di «quarto paesaggio», quale insieme di luoghi ed ecosistemi ridefiniti dalla Natura stessa in risposta alle pressioni antropogeniche.

Tra questi vi sono alcune aree delle Alpi in cui l'innalzamento delle temperature e il conseguente arretramento dei ghiacciai stanno determinando un avanzamento della copertura vegetale e degli ecosistemi connessi (Choler e altri, 2021; Schickhoff e altri, 2022). Si tratta di ambienti in cui lo studio della mobilità del selvatico può offrire l'occasione di un'analisi olistica dei fenomeni geografici, di una sintesi fra componenti ecosistemiche abiotiche e biotiche (Giardino, 2019). Le relazioni spaziali fra questi insiemi di elementi rappresentano un campo di studio imprescindibile per comprendere l'importanza della mobilità nella biodiversità. La mobilità è, infatti, una delle principali strategie di adattamento delle diverse specie viventi ai cambiamenti climatici e, pertanto, di conservazione della biodiversità.

Rispetto a questo particolare contesto di ricerca è importante analizzare le dinamiche spaziali delle componenti geologiche e geomorfologiche che guidano l'evoluzione del paesaggio alpino, poiché sono esse che determinano per gran parte il carattere degli *habitat* naturali e le condizioni di insediamento e di uso delle risorse ambientali da parte delle diverse comunità biotiche, comprese quelle umane (Nehlig, Egal, 2010; Giardino, 2019). La composizione del suolo, il substrato roccioso, i processi geomorfologici che agiscono su questi sono infatti parametri fondamentali nella distribuzione degli *habitat* e delle specie nella Biosfera. Non a caso nella Direttiva Habitat (direttiva 92/43/CEE) due terzi degli ambienti che sono elencati ai fini della loro tutela sono individuati secondo un criterio litologico o geomorfologico (Nehlig, Egal, 2010). La geodiversità, pertanto, risulta essere una variabile fondamentale nell'analisi della mobilità del selvatico e, di conseguenza, per la definizione degli scenari evolutivi degli ecosistemi.

¹ Marco Giardino, Università degli Studi di Torino; Andrea Marco Raffaele Pranzo, Politecnico di Torino; Angelo Besana, Università degli Studi di Trento.

Per quanto il contributo sia frutto di un lavoro congiunto, il primo paragrafo è attribuibile ad A. Besana, il terzo a M. Giardino, il secondo il quarto e il quinto sono attribuibili ad A.M.R. Pranzo.

2. Da glaciale a paraglaciale: la mobilità dei geoeosistemi alpini contemporanei

Una conseguenza nota del riscaldamento globale consiste nella migrazione delle fasce climatiche, che, all'aumentare delle temperature medie annue, subiscono un certo spostamento latitudinale in direzione dei poli – tenuto conto dell'alta variabilità delle risposte microclimatiche locali – forzando le biocenosi a un adattamento migratorio (Park e altri, 2016; Ceglar e altri, 2019) allorché gli adattamenti fenologici non riescono più a compensare lo *stress* ambientale. Le fasce climatiche migrano anche altitudinalmente, risalendo i versanti montani all'aumentare delle temperature medie annue (Lenoir e altri, 2008). Questo spostamento statistico di grandezze climatiche si manifesta geomorfologicamente con l'innalzamento della quota dell'isoterma degli 0°C (Cerutti, 2001) che trascina con sé le linee delle nevi perenni e della quota massima degli alberi, producendo il ritiro delle fronti glaciali, ampiamente documentato e in progressiva accelerazione negli ultimi decenni (Salvatore e altri, 2015).

La regressione dei corpi glaciali non è un fenomeno omogeneo, anzi è fortemente condizionata dalla morfologia del singolo bacino idrografico (acclività, esposizione, ombreggiamento, alimentazione), ma genera ovunque il medesimo risultato. La sparizione della copertura glaciale libera nuovi spazi, rendendoli disponibili alla colonizzazione vegetale e animale, e contraendo sempre più i territori glacializzati a vantaggio dei territori periglaciali. Il processo di ritiro glaciale innesca, a sua volta, la riattivazione dei processi fluvioglaciali post-glaciali nelle aree sgomberate (D'Agata e altri, 2020). La liberazione delle valli glaciali porta all'esposizione del substrato roccioso – affioramenti, rocce montonate, nunatak, altre superfici di esarazione –, alla formazione di laghi glaciali, nonché alla riesumazione di depositi di *till* e altri sedimenti gravitativi o all'ulteriore produzione di fenomeni deposizionali, favoriti dal fatto che i detriti in questione sono in genere non consolidati (*ibidem*). I detriti sciolti vengono facilmente presi in carico dal ruscellamento superficiale e dalle residue acque di fusione, dando vita a nuove morfologie proglaciali (Curry, Ballantyne, 1999). Laddove consentito da sedimenti di idoneo spessore, fenomeni di ricolonizzazione vegetale sono già visibili e si manifestano entro pochi anni dalla liberazione dei versanti dai ghiacci, anche se, ancor prima, il microbiota ha già ricominciato le attività metaboliche (Bradley e altri, 2014). A livello sinottico, è parimenti possibile tracciare bilanci provvisori di espansione delle aree vegetate a detrimento delle aree a suolo nudo di natura glaciale e periglaciale in senso stretto, anche se gli studi sulla riflettanza della vegetazione pioniera (Choler e altri, 2021) hanno rivelato quanto l'inverdimento delle regioni alpine di alta quota nasconda dinamiche altamente anisotrope.

Questa transizione generale dei geoeosistemi d'alta quota verso condizioni più calde è stata identificata come spostamento da un sistema geomorfologico di tipo glaciale a un sistema di tipo paraglaciale (*sensu* Slaymaker, 2011) con, verosimilmente, un graduale scivolamento di lungo periodo verso condizioni appenniniche (D'Agata e altri, 2020).

Una così intensa mobilità è intrinsecamente multisettoriale e impone l'adozione di un approccio multidisciplinare, geomorfologico e biogeografico per poter essere colta nell'interezza delle sue implicazioni, dal momento che biodiversità e geodiversità risultano componenti concettuali del medesimo fenomeno, cui concorrono in maniera indivisibile (Badgley e altri, 2017; Antonelli e altri, 2018).

Con il presente contributo si propone un riesame mirato di alcune realtà in cui il fenomeno della deglaciazione è manifesto, si descrivono i processi in atto a scala di singolo ghiacciaio e si fornisce un quadro di sintesi, adottando la prospettiva dei servizi geoeosistemici coinvolti.

3. Mobilità geoeosistemica nei ghiacciai delle Alpi Occidentali

Per la loro sensibilità ai cambiamenti climatici e alle pressioni antropiche e per la fragilità rispetto alle conseguenti dinamiche geomorfologiche, le Alpi contengono numerosi territori e paesaggi «di frontiera», in cui, con l'attuale riscaldamento climatico, si assiste a un rapido mutare degli ecosistemi e dei servizi a essi associati (Tognetto e altri, 2021). Emblematici a questo riguardo sono i settori d'alta quota della montagna glacializzata: qui le fluttuazioni della copertura nevosa e glaciale determinano fenomeni di instabilità geomorfologica ed ecologica. A partire dalla ricca letteratura scientifica sul tema, sono stati selezionati alcuni casi studio relativi alle Alpi occidentali italiane, nei quali si segnala lo specifico ruolo dei fattori abiotici nella stabilità e/o mobilità degli ecosistemi.

3.1. Val Veny e Ghiacciaio del Miage: dinamica dei versanti e sviluppo della copertura detritica e vegetale

Il Ghiacciaio del Miage è il maggiore del versante meridionale del Massiccio del Monte Bianco: 11 km² di area e uno sviluppo altimetrico superiore ai 3.000 metri, dalla vetta del Monte Bianco alla fronte in Val Veny – 1.700 m s.l.m. – (Giardino e altri, 2017). L'energia del rilievo montuoso e il riscaldamento climatico appaiono i principali fattori condizionanti la dinamica recente dell'intero bacino glaciale del Miage, in cui la deglaciazione si è sviluppata di pari passo con la degradazione del *permafrost* (Deline e altri 2015), determinando una «migrazione» altimetrica delle fasce di instabilità sui versanti (Giardino e altri 2013) (fig. 1a).

Dalla fine della Piccola Età Glaciale – PEG, 1450-1850 circa –, il ghiacciaio ha ridotto il suo spessore e sviluppato una copertura detritica «mobile» nella zona di ablazione, proprio per effetto dell'instabilità gravitativa dei versanti, già modellati dallo stesso ghiacciaio nel suo movimento verso valle. Sulla superficie del ghiacciaio si distinguono diversi corpi di frana a differente composizione litologica (fig. 1b), determinata dalla zona di distacco. Questi accumuli vengono trasportati dal movimento del ghiacciaio, con maggior velocità nei settori centrali, mentre il loro flusso è rallentato nelle porzioni laterali-distali a causa dell'attrito con le morene (Giardino e altri, 2017).

L'elevata geodiversità morfologica e litologica di un *debris covered glacier*, oltre a proteggere e isolare il ghiaccio dalle radiazioni solari dirette, permettendone la parziale conservazione, determina altre importanti modulazioni delle interazioni fra diverse «sfere» del sistema naturale terrestre. In particolare, si registra una relativa stabilità della fronte trilobata del ghiacciaio del Miage, nonostante il progressivo riscaldamento climatico. Profonde variazioni interessano, invece, la superficie del ghiacciaio, in cui le acque formano canali di flusso e piccoli laghi supraglaciali nelle zone non coperte dal detrito. Altrove, la rapida perdita di volume determina collassi superficiali e instabilità delle morene laterali. Nelle aree a maggiore stabilità della copertura detritica, si registrano invece interessanti interazioni fra atmosfera, litosfera, idrosfera e biosfera. Una rapida risposta delle comunità biologiche al riscaldamento climatico è quella testimoniata dall'insediamento e lo sviluppo sulla superficie detritica del ghiacciaio di vegetazione erbacea, arbustiva e arborea. Sono diverse le interazioni osservate fra le componenti biotiche e abiotiche (Garavaglia e altri, 2010; Bollati e altri, 2015), che generano peculiari situazioni di supporto ecologico. Ad esempio, le diverse specie arboree – *Larix decidua* Mill., *Picea abies* Karst e *Salix* spp. – hanno colonizzato la copertura detritica in modi e tempi diversi: piante più longeve – 50-60 anni – ma più rade sul lobo meridionale, rispetto a quello settentrionale con piante più giovani – 10-15 anni –. Anche nell'intorno dei bacini lacustri del Miage, la bio-mobilità riflette la geo-mobilità retrostante. Ad esempio, le acque di fusione del Ghiacciaio del Miage fanno variare il livello del Lac du Jardin du Miage e ciò determina la sommersione delle piante e una mobilità periodica delle fasce vegetate.

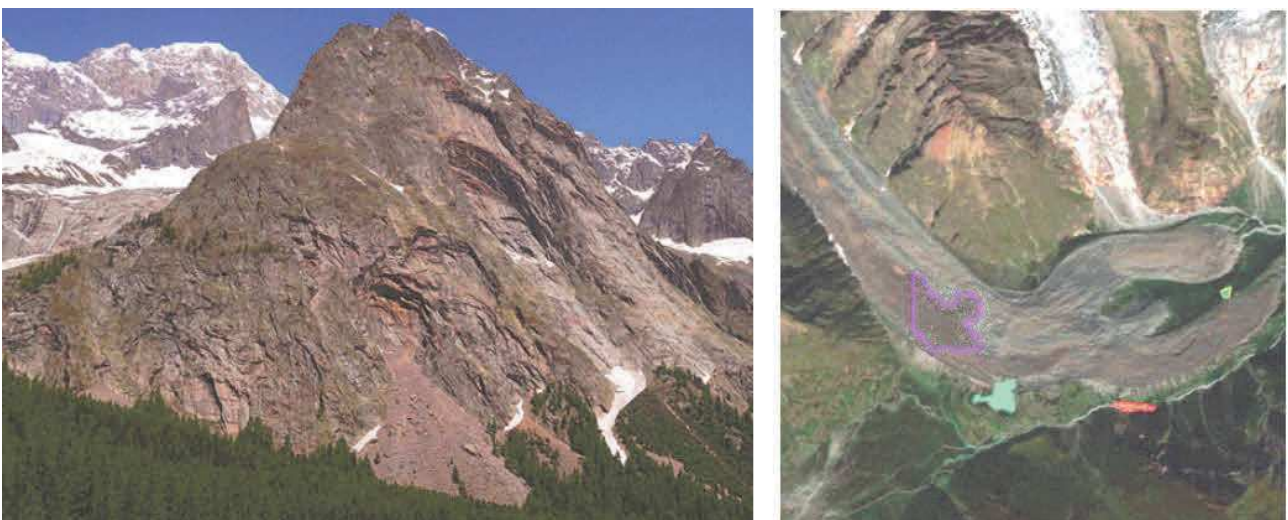


Figura 1. Val Veny e Ghiacciaio del Miage. a) Instabilità gravitativa dei versanti, testimoniata da nicchie di distacco distribuite a diverse quote. Fonte: fotografia di M. Giardino. b) Gli accumuli di frana generano la diversità litologica della copertura detritica che il ghiacciaio propaga verso la fronte trilobata. Si notino il lago del Miage in prossimità del lobo laterale destro e il piccolo Lac du Jardin du Miage, a valle del lobo centrale. Fonte: Aerofotografia RAVdA, elaborazione L. Perotti.



Figura 2. Ghiacciaio del Lys (Monte Rosa), fluttuazioni glaciali e mobilità della copertura vegetale. a) Il Ghiacciaio nel 1868. Fonte: fotografia di autore ignoto, Archivio CGI. b) Lo stesso ghiacciaio nel 2007. Fonte: fotografia di M. Freppaz.

3.2. Il Ghiacciaio del Lys: mobilità vegetazionale su gradini glaciali e apparati morenici

Il Ghiacciaio del Lys – Monte Rosa – è ospitato in un grande bacino glaciale caratterizzato da una serie di articolazioni altimetriche longitudinali che ne hanno controllato lo sviluppo vallivo. Una scarpata rocciosa ospita la fronte attiva, separandola dal *plateau*, un settore pianeggiante in cui il ghiaccio morto è coperto di detrito ed è in disfaccimento entro un bacino lacustre. I dati storici del Comitato Glaciologico Italiano (CGI) indicano che dopo la sua massima espansione al termine della PEG, la quota della fronte della colata occidentale è risalita di circa 350 m nella parte superiore del *plateau* – fine degli anni Ottanta –, per poi risalire di altri 300 metri a partire dal 2008, con un regresso lineare totale di circa 2 km e una diminuzione dell'area glacializzata del 30%. Le variazioni altimetriche della fronte glaciale del Lys al di sotto dei 3.000 m di quota, ben documentate da Monterin (1918), Sacco (1920) e analizzate da Cerutti (1985) in rapporto alle variazioni climatiche, testimoniano che le trasformazioni del paesaggio geomorfologico sono state accompagnate da una imponente mobilità delle fasce vegetazionali nel settore vallivo (cfr. fig. 2a e 2b). La «risalita» del limite superiore della vegetazione sui gradini glaciali e sugli apparati morenici dalla fine della PEG (Strada, 1987; Fugazza e altri, 2020), ricostruita mediante tecniche lichenometriche e dendrocronologiche, è stata anche comparata con analisi pedologiche e palinologiche e datazioni con radiocarbonio a quella analoga verificatasi in tempi precedenti (Ravazzi, 2011).

3.3 Il Ghiacciaio di Indren: evoluzione dei laghi glaciali

Il Ghiacciaio di Indren è situato sul Monte Rosa alle pendici della Piramide Vincent, su di un ampio pendio delimitato da due creste convergenti che un tempo contenevano due lobi frontali: nella figura 3 viene rappresentato quello occidentale, con le morene della PEG – 1850 circa –.

Durante le fasi di deglaciazione, nel bacino si è registrata la formazione di laghi proglaciali in corrispondenza di contropendenze del substrato, liberate dal ghiacciaio stesso, o di sbarramenti morenici, dove le acque di fusione hanno la possibilità di raccogliersi (Viani e altri, 2020). Ad esempio, il forte ritiro degli anni Quaranta ha portato alla formazione di un piccolo lago proglaciale in prossimità della fronte PEG del lobo occidentale (fig. 3). Lo stesso lago proglaciale dista ormai diverse centinaia di metri dal ghiacciaio. Dal 2005 un altro piccolo lago proglaciale di neoformazione è stato segnalato nelle campagne glaciologiche CGI (Armando e altri, 2006). La limitata profondità ed estensione di questi laghi fa sì che possano estinguersi al variare della posizione della fronte glaciale e al tracciato del torrente proglaciale.

L'analisi geomorfologica dettagliata degli effetti del riscaldamento climatico sugli ambienti glaciali e proglaciali alpini è stata la base per recenti studi sulle trasformazioni dei servizi ecosistemici associati (Viani e altri, 2020 e 2022). Nel caso del Ghiacciaio di Indren si possono citare i seguenti servizi: di regolazione, offerti dalla piana proglaciale per la regolazione delle piene; di supporto/immagazzinamento, svolti dai laghi proglaciali, collegati a quello di approvvigionamento idrico e per la produzione di energia idroelettrica; importanti sono anche i servizi culturali e di conoscenza, legati alle attività turistiche, alla ricerca e al monitoraggio ambientale (Tognetto e altri, 2021).

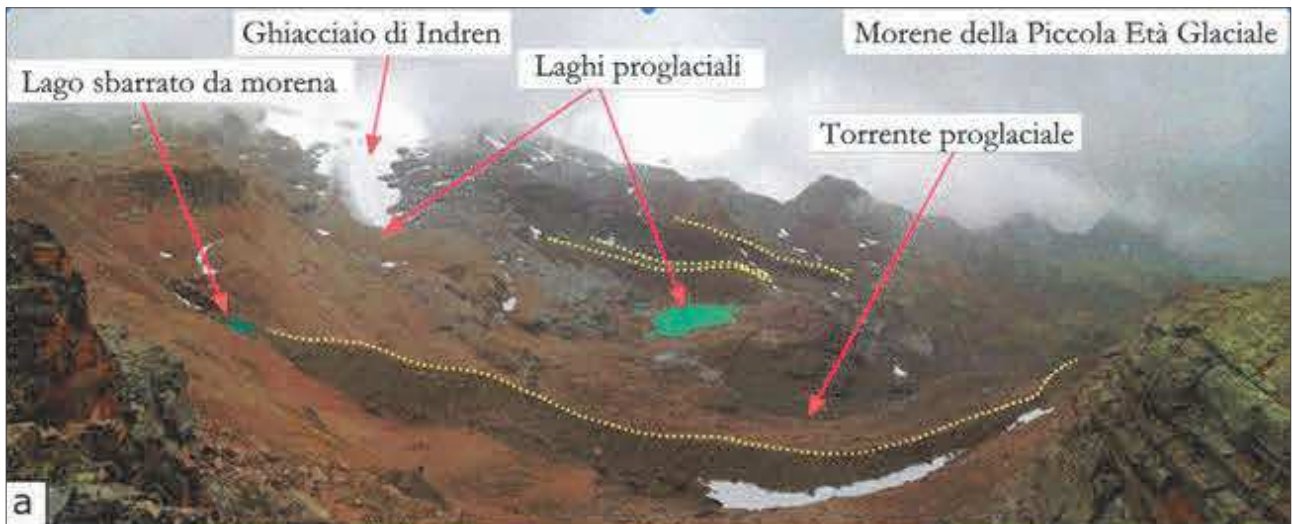


Figura 3. Ghiacciaio di Indren – massiccio del Monte Rosa –: relazioni fra elementi geomorfologici del settore proglaciale. Fonte: Tognetto e altri, 2021, p. 165.

4. Trade-off ecosistemici

Alla luce dei casi esposti, risulta necessario e urgente integrare il dato geomorfologico con il dato biogeografico per poter progettare forme efficaci e consapevoli di conservazione ambientale (Tukiainen e altri, 2016). Infatti, vista la straordinaria rapidità che i cambiamenti climatici antropogenici imprimono oggi a molti processi geomorfologici, il contesto all'interno del quale si collocano le specie *target* per la tutela è esso stesso fortemente mobile e dinamico, soprattutto nella sua componente abiotica.

È essenziale, pertanto, adottare una visione multiprospettica, perché solo così si possono raggiungere una comprensione e una mappatura ottimali di come i territori alpini stiano reagendo alla deglaciazione, generando ambienti paraglaciali a elevata mobilità di energia, risorse e specie.

L'ottica dei servizi ecosistemici applicati alla geografia fisica (Potschin, Haines-Young, 2011) può aiutare nel delineare sia il ruolo cruciale che i flussi abiotici hanno nel direzionare la risposta del sistema, sia l'ambivalenza e multiformità dell'esito finale al quale giunge la reazione ambientale allo *stress* esogeno.

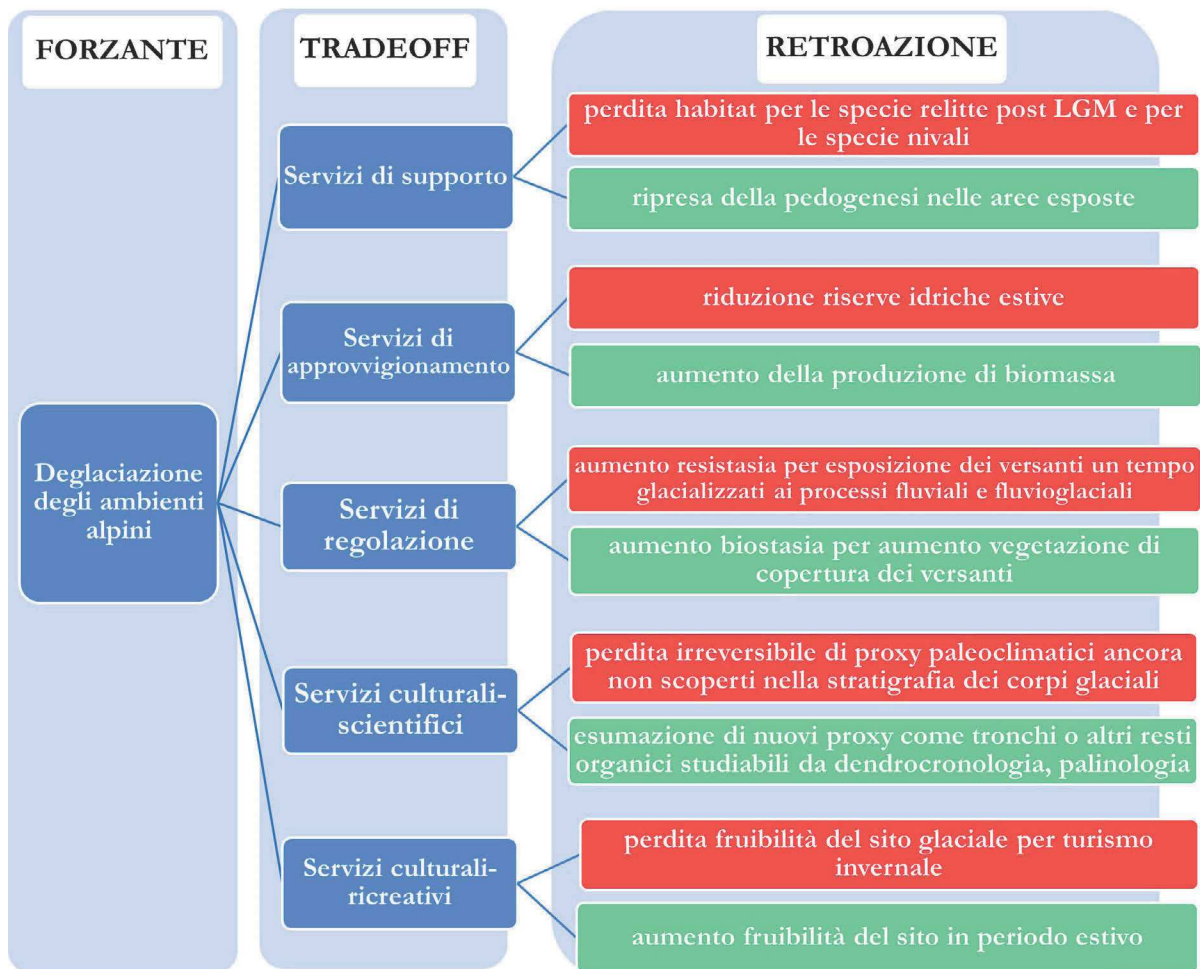
Scomponendo la reazione di un geoeosistema alpino alla deglaciazione, è possibile identificare una molteplicità di dinamiche non unidirezionali (tab. 1) e, in particolare, una serie di *trade-off* interni ai servizi geoeosistemici (Gray e altri, 2013), nei quali la riduzione di determinati servizi si accompagna all'incremento di altri secondo modalità differenti o addirittura diametralmente opposte. Se ne ricava un quadro multifattoriale in cui il bilancio non può mai essere dato per scontato.

Nei servizi di supporto, la deglaciazione alpina comporta l'inevitabile perdita di *habitat* per tutte quelle specie adattatesi al clima glaciale e incapaci di nuovi adattamenti sufficientemente rapidi, nonché per quelle specie che hanno potuto beneficiare dell'alta montagna come *refugium* climatico. Eppure, come già accennato, la liberazione dai ghiacci e dal permafrost innesca al contempo nuovi processi di tipo fluvio-glaciale e fluviale, che, assieme alla ricolonizzazione da parte delle piante pioniere e dei microrganismi, riattivano la pedogenesi (Curry, Ballantyne, 1999; Bradley e altri, 2014; Ceglar e altri, 2019; D'Agata e altri, 2020).

Anche per i servizi di approvvigionamento può proporsi una lettura simile, dal momento che la riduzione dei corpi glaciali tende a far assumere carattere torrentizio ai corsi d'acqua riducendo le riserve idriche, però essa si accompagna anche a una minor azione inibente del freddo sui cicli vegetativi e quindi comporta un aumento di biomassa (Choler e altri, 2021).

L'esposizione dei versanti originariamente glacializzati ai processi fluviali e fluvio-glaciali non può che rappresentare l'innesco di condizioni di maggior resistasia, con tutto ciò che ne deriva in termini di pericolosità geomorfologica e instabilità gravitativa (Haeberli e altri, 2017). Eppure, anche in questo caso, il servizio geo-ecosistemico in questione (regolazione) non subisce una retroazione unidirezionale, perché i processi di

Tabella 1. Possibili *trade-off* nei servizi ecosistemici generati in un ambiente alpino in fase di deglaciazione. Fonte: elaborazione di A.M.R. Pranzo.



deglaciazione offrono anche condizioni più favorevoli per la vegetazione che, ricolonizzando i versanti, ne incrementa la biostasia (Choler e altri, 2021).

Passando ai servizi geo-ecosistemici immateriali, la sparizione dei corpi glaciali implica la perdita di possibili *proxy* paleoclimatici intrappolati nei ghiacci e non ancora scoperti dagli studi criostratigrafici. Se ciò è irreversibile, esiste paradossalmente la possibilità che il medesimo regresso glaciale consenta lo studio di nuovi *proxy* prima del tutto inaccessibili, come per esempio resti organici sepolti che possono essere quindi oggetto di analisi chimico-fisiche, dendrocronologiche e palinologiche (Pelfini e altri, 2014).

Infine, dal punto di vista della fruibilità dei siti, può osservarsi come il turismo invernale o dettato dall'attrattiva dei corpi glaciali risulti irrimediabilmente danneggiato da condizioni climatiche più calde, mentre il turismo estivo di alta quota sia incentivato da temperature maggiori. Questo evidentemente consentirà agli escursionisti di accedere a un contesto naturalistico-paesaggistico completamente diverso e renderà necessarie forme di adattamento (e di messa in sicurezza) particolarmente onerose e creative da parte delle attività economiche legate agli sport montani (Carver, Tweed, 2021).

5. Conclusioni

La forzante generata dai cambiamenti climatici antropogenici imprime ai geoeosistemi contemporanei uno *stress* esogeno a cui essi rispondono innescando forme di mobilità di diverso genere. Queste dinamiche, di cui si può avere almeno una parziale contezza grazie ad approcci olistici come quelli dei servizi geoeosistemici,

sono tutt'altro che scontate e, anzi, si presentano sotto forma di spinte verso nuove condizioni di equilibrio anche marcatamente opposte.

Dinnanzi all'inesorabile ormai inevitabile della mobilità di interi ecosistemi, per le future ricerche diventa fondamentale riuscire a implementare nuove metodologie attraverso le quali valutare, in dettaglio e caso per caso, come i *trade-off* abiotici e biotici di volta in volta individuabili possano evolvere nel lungo periodo, permettendo a geomorfologi e geografi di immaginare forme di adattamento e mitigazione realmente efficaci per i singoli sistemi analizzati.

Bibliografia

- Antonelli A. e altri, *Geological and Climatic Influences on Mountain Biodiversity*, in «Nature Geoscience», 2018, 11, pp. 718-725.
- Armando E., Baroni C., Meneghel M., *Relazioni della Campagna Glaciologica 2005*, in «Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria», 2006, 29,2, pp. 211-266.
- Badgley C. e altri, *Biodiversity and Topographic Complexity: Modern and Geohistorical Perspectives*, in «Trends in Ecology & Evolution», 2017, 32,3, pp. 211-226.
- Bollati I. e altri, *The Role of Ecological Value in Geomorphosite Assessment for the Debris-Covered Miage Glacier (Western Italian Alps) Based on a Review of 2.5 Centuries of Scientific Study*, in «Geoheritage», 2015, 7, pp. 119-135.
- Bradley J.A., Singarayer J.S., Anesio A.M., *Microbial Community Dynamics in the Forefield of Glaciers*, in «Proceedings of the Royal Society B», 2014, 20140882, pp. 1-9.
- Carver R.E., Tweed F.S., *Cover the Ice or Ski on Grass?*, in «Geography», Sheffield, 2021, 106,3, pp. 116-127.
- Ceglar A. e altri, *Observed Northward Migration of Agro-climate Zones in Europe will further Accelerate under Climate Change*, in «Earth's Future», 2019, 7,9, pp. 1088-1101.
- Cerutti A.V., *Le oscillazioni della quota dell'isoterma 0°C e le variazioni dei ghiacciai del Monte Bianco*, in «Supplements of Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria», 2001, pp. 29-39.
- Cerutti A.V., *Le variazioni glaciali e climatiche durante l'ultimo secolo nei gruppi del Monte Bianco e del Monte Rosa*, in «Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria», 1985, 8, pp. 124-136.
- Choler P. e altri, *The Tempo of Greening in the European Alps: Spatial Variations on a Common Theme*, in «Global Change Biology», 2021, 27, pp. 5614-5628.
- Clément G., *Manifesto del terzo paesaggio*, Macerata, Quodlibet, 2005.
- Curry A.M., Ballantyne C.K., *Paraglacial Modification of Glacigenic Sediment*, in «Geografiska Annaler», 1999, 81A, 3, pp. 409-419.
- D'Agata C. e altri, *Climate Change Effects on Landscape and Environment in Glacierized Alpine Areas: Retreating Glaciers and Enlarging Forelands in the Bernina Group (Italy) in the Period 1954-2007*, in «Geology, Ecology and Landscapes», 2020, 4,1, pp. 71-86.
- Deline O. e altri, *Ice Loss and Slope stability in High-mountain Regions*, in Shroder J.F., Haeberli W., Whiteman C. (a cura di), *Snow and Ice-related Hazards, Risks and Disasters*, Waltham, Academic Press, 2015, pp. 521-561.
- Fugazza D. e altri, *Variations of Lys Glacier (Monte Rosa Massif, Italy) from the Little Ice Age to the Present from Historical and Remote Sensing Datasets*, in Kanao M. (a cura di), *Glaciers and the Polar Environment*, Londra, IntechOpen, 2020.
- Garavaglia V., Pelfini M., Motta E., *Glacier Stream Activity in the Proglacial Area of Debris Covered Glacier in Aosta Valley, Italy: an Application of Dendroglaciology*, in «Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria», 2010, 33,1, pp. 15-24.
- Giardino M., *L'Antropocene, ovvero il riavvicinamento fra geografia fisica e umana*, in Giorda C. (a cura di), *Geografia e Antropocene. Uomo, ambiente, educazione*, Roma, Carocci, 2019, pp. 71-79.
- Giardino M. e altri, *Climatic and Structural Controls to Slope Instabilities in Val Veny (Italy)*, in Margottini C., Canuti P., Sassa K. (a cura di), *Landslide Science and Practice. Volume 4, Global Environmental Change*, Berlino, Springer, 2013, pp. 425-431.
- Giardino M. e altri, *Il Miage, il ghiacciaio più «himalayano» delle Alpi e gli altri ghiacciai della Val Veny*, in Comitato Glaciologico Italiano (a cura di), *Itinerari glaciologici sulle montagne italiane. Volume 2 – Dalle Alpi Marittime all'Alpe Veglia*, Roma, Società Geologica Italiana, 2017, pp. 91-132.
- Gray M., Gordon J.E., Brown E.J., *Geodiversity and the Ecosystem Approach: the Contribution of Geoscience in Delivering Integrated Environmental Management*, in «Proceedings of the Geologists' Association», 2013, 124, pp. 659-673.
- Haeberli W., Schaub Y. e Huggel C., *Increasing Risks Related to Landslides from Degrading Permafrost into new Lakes in De-glaciating Mountain Ranges*, in «Geomorphology», 2017, 293, pp. 405-417.
- Lenoir J. e altri, *A Significant Upward Shift in Plant Species Optimum Elevation During the 20th Century*, in «Science», 2008, 320, pp. 1768-1771.
- Monterin U., *Il Ghiacciaio del Lys al Monte Rosa dal 1901 al 1917*, in «Rivista Geografica Italiana», 1918, XXV, pp. 81-194.

- Nehlig P., Egal E., *Géobiodiversité: l'Influence de la Géologie sur la Biodiversité*, in «Géosciences», 2010, 11, pp. 10-19, hal-brgm.archives-ouvertes.fr/hal-00520896/document.
- Park T. e altri, *Changes in Growing Season Duration and Productivity of Northern Vegetation Inferred from Long-term Remote Sensing Data*, in «Environmental Research Letters», 2016, 11,8, 084001.
- Pelfini M. e altri, *New data on Glacier Fluctuations During the Climatic transition at ~4,000 cal. Year BP from a Buried log in the Forni Glacier Forefield (Italian Alps)*, in «Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali», 2014, 25, pp. 427-437.
- Potschin M.B., Haines-Young R.H., *Ecosystem Services: Exploring a Geographical Perspective*, in «Progress in Physical Geography», 2011, 35,5, pp. 575-594.
- Ravazzi C., *Tremila anni di storia del clima in Valle d'Aosta. La registrazione dell'anfiteatro del ghiacciaio del Lys*, in «Augusta. Rivista annuale di storia, lingua e cultura alpina», 2011, pp. 16-19.
- Sacco F., *Il glacialismo antico e moderno nelle alte valli di Ayas e di Gressoney (Lys)*, in «Bollettino del Reale Comitato Geologico Italiano», 1920, 47, pp. 1-4.
- Salvatore M e altri, *The State of Italian glaciers: a Snapshot of the 2006-2007 Hydrological Period*, in «Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria», 2015, 38, pp. 175-198.
- Schickhoff U. e altri, *The World's Mountains in the Anthropocene*, in Schickhoff U., Singh R.B., Mal S. (a cura di), *Mountain Landscapes in Transition Effects of Land Use and Climate Change*, New York, Springer International Publishing, 2022, pp. 1-144.
- Slymaker O., *Criteria to Distinguish between Periglacial, Proglacial and Paraglacial Environments*, in «Quaestiones Geographicae», 2011, 30,1, pp. 85-94.
- Strada E., *Le variazioni del ghiacciaio del Lys dalla «Piccola glaciazione» ai giorni nostri*, in «Natura Bresciana. Annali del Museo Civico di Scienze Naturali di Brescia», 1987, 24, pp. 275-288.
- Tognetto F. e altri, *Geomorphology and Geosystem Services of the Indren-Cimalegna Area (Monte Rosa Massif – Western Italian Alps)*, in «Journal of Maps», 2021, 17,2, pp. 161-172.
- Tukiainen H. e altri, *Combining Geodiversity with Climate and Topography to Account for Threatened Species Richness*, in «Conservation Biology», 2016, 31,2, pp. 364-375.
- Viani, C. e altri, *Potential Future Lakes from Continued Glacier Shrinkage in the Aosta Valley Region (Western Alps, Italy)*, in «Geomorphology», 2020, 355, 107068, pp. 1-15.
- Viani C. e altri, *Socio-environmental Value of Glacier Lakes: Assessment in the Aosta Valley (Western Italian Alps)*, in «Regional Environmental Change», 2022, 22,7, pp. 1-21.