

MONICA MORAZZONI - MATTEO DI NAPOLI

GHIACCIAI E CORPI IDRICI: CONSIDERAZIONI E  
NUOVE PROSPETTIVE NEI CONTESTI ALPINI.  
I CASI DI STUDIO DEL GHIACCIAIO DEL  
MORTERATSCH E DEL FIUME INN\*

*Introduzione, metodologia e finalità di lavoro.* – I complessi fenomeni connessi anche ai cambiamenti climatici hanno fatto emergere un interesse crescente verso i territori montani, divenuti oggetto di numerosi studi (dell’Agnese, 1998; Scaramellini, 1998; Varotto, 2003, 2017, 2020; Dematteis, 2018; Meini, 2019; Ferrario, Marzo, 2020; CIPRA 2021; Morazzoni, Pecorelli, 2022, 2023; Zinzani, 2023). Il ricco patrimonio di valori, risorse e saperi costituisce l’essenza della montagna e diventa il punto di partenza per riportare le comunità degli abitanti “al centro” delle politiche di sviluppo e di rigenerazione del capitale ambientale e culturale locale, come sottolineato nel documento *Per una nuova centralità della montagna*, noto anche come *Manifesto di Camaldoli* (Società dei Territorialisti/e, 2021). I territori montani, alle diverse scale geografiche, dopo un lungo periodo di marginalità, sembrano essere di nuovo il fulcro di un *debate* che punta al superamento sia dei ritardi di sviluppo sia di quelle pratiche non sempre attente alla tutela e valorizzazione del paesaggio, dell’ecosistema e delle risorse patrimoniali. In questo quadro, appare fondamentale la ricerca di nuove forme di territorializzazione, integrate nei tessuti locali endogeni. Diventano prioritari l’uso sostenibile del suolo e dei suoi beni, le differenti forme di insediamento e di fruizione dei territori, funzionali alla preservazione dell’ambiente montano vulnerabile e alla sua “ripartenza”, anche alla luce della crescente “richiesta di montagna”, come rifugio sicuro, salubre, o semplicemente “bello”. Richiesta che ha

---

\* Il testo è frutto di un’elaborazione comune, tuttavia sono da attribuire a Monica Morazzoni l’*Introduzione* e il paragrafo *Ghiacciai e cambiamento climatico*, a Matteo Di Napoli il paragrafo *Ghiacciai e adattamento climatico* e le *Conclusioni*.

accelerato, inoltre, la necessità di una rinnovata e critica lettura degli eterogenei fenomeni<sup>1</sup> che la montagna sta conoscendo.

Le Terre Alte sono interessate da politiche, a livello europeo, nazionale, regionale e locale, indirizzate al superamento dei ritardi sia nello sviluppo generale sia nei diversi settori economici; politiche che si sono concretizzate anche nell'ambito della Strategia Nazionale Aree Interne e nei numerosi programmi previsti e attuati dalla programmazione Europa 2020, proseguita in quella 2021-2027 "Next Generation EU", con l'obiettivo di rafforzare la coesione sociale, economica e territoriale e con viva attenzione per le aree ritenute più deboli e marginali<sup>2</sup>. In ambito nazionale, tuttavia, l'interesse per la montagna e per i suoi fenomeni di decrescita compare già negli anni Novanta del secolo scorso. Il 31 gennaio 1994 veniva infatti approvata in Parlamento la Legge 97 sulla Montagna della Repubblica italiana<sup>3</sup>, preceduta nel 1971 dalla Legge 1102, entrambe mosse dall'articolo 44 della Costituzione. Nello specifico, la legge 94/97, tuttora vigente, contiene indicazioni e norme su: gestione delle foreste, agricoltura e allevamento, sostegno alle imprese dei territori, dinamiche comunitarie per la produzione di energia, abbandono dei comuni montani, ma anche tutela ambientale ad opera delle comunità che vivono nelle zone montane alpine e appenniniche. Nella medesima legge si menzionano gli incentivi per le aziende agricole da parte di enti locali (i precursori delle cooperative di comunità), per le scuole e i trasporti, per il "reinsediamento" nei comuni montani di popolazione (i restanti, i ritornanti, i nuovi abitanti, gli *outsider* – i turisti, i frequentatori, gli

---

<sup>1</sup> La montagna, già a partire già dal primo dopoguerra e con un'accelerazione dagli anni Sessanta del secolo scorso, è stata contrassegnata da modelli di sviluppo, spesso esogeni, quando il turismo ha colonizzato le aree più vocate, presentandosi come l'unico modello di sviluppo ipotizzabile e proponibile anche per il resto dei territori montani. Tale scelta ha segnato la drammatica crisi del tradizionale modello agro-silvo-pastorale e l'inizio di fenomeni di spopolamento, invecchiamento, abbandono delle attività tradizionali, degrado e dissesto del territorio.

<sup>2</sup> Temi ampiamente studiati all'interno del Progetto PRIN MIND-Mountains INsiDe the Mountain. Narratives, dynamics and development paths: new readings (Bando 2020; 2020XWM9ML\_002), Main ERC field: SH - Social Sciences and Humanities; ERC subfields: SH2\_11 Human, economic and social geography.

<sup>3</sup> Alla Legge 97/94 ne seguirono altre, per esempio la Legge 158 del 2017 sui piccoli Comuni, che introdusse l'adozione di misure in favore dei residenti e delle attività produttive ivi insediate con l'obiettivo di contrastare lo spopolamento e di incentivare il turismo, il Testo unico forestale del 2018; la Legge 221 del 2015 sulle *green communities* e sulla valorizzazione dei servizi ecosistemici.

investitori, i portatori di interesse) con misure per contrastare abbandono e spopolamento (UNCCEM, 2024). Una visione più che attuale della Legge della montagna, che anticipava questioni (oggi centrali) legate alle sfide climatica e demografica, ma che negli anni a seguire è stata ampiamente disattesa. Nello stesso decennio si riscrisse inoltre l'elenco dei Comuni montani, che risaliva al 1952, e si ridefinì l'organizzazione istituzionale, confermando le Comunità montane (già introdotte nel 1971) in qualità di forme organizzative sovracomunali, che tuttavia negli anni a seguire sono state eliminate in molte regioni o in parte sostituite dalle Unioni Montane di Comuni (UNCCEM, 2024).

Molti territori montani, principalmente nei contesti alpini, nonostante i buoni propositi della Legge nazionale, hanno “subito” progetti e modelli di sviluppo prevalentemente di tipo urbanocentrico, non più adeguati agli scenari attuali sottoposti a crisi climatica (Associazione Alleanza nelle Alpi Italia, 2017). In risposta alla vulnerabilità della montagna, il Ministero per gli Affari Regionali e le Autonomie ha avviato (ottobre 2023) la proposta di un nuovo “Disegno di Legge per il riconoscimento e la promozione delle zone montane”, un provvedimento che dovrebbe definire cosa significa “montagna” dal punto di vista legislativo e stanziare, per le aree che ricadranno in tale definizione, misure a sostegno dei territori (UNCCEM, 2024). All'inadeguatezza delle politiche di sviluppo ha fatto, inoltre, da contraltare la sensibilità della comunità scientifica per la montagna e per il futuro dei suoi territori, dei suoi beni naturali e culturali, e dei suoi abitanti e fruitori. Studiare e dialogare per conoscere e capire che cosa stia accadendo alla montagna è un primo passo sia per superare quella idea di sviluppo dei territori montani fondata su pratiche estrattive e predatorie, sia per dare “voce” a chi abita, vive e governa quei territori, poiché le aree montane con la loro “fragilità” territoriale (dissesto idrogeologico, fusione dei ghiacciai, ecc.) anticipano le risposte ai cambiamenti climatici e si avviano verso nuovi scenari di adattamento<sup>4</sup>.

---

<sup>4</sup> Le pratiche di contrasto al cambiamento climatico sono solitamente distinte in politiche di mitigazione e politiche di adattamento, le cui scale geografiche sono differenti. Le prime hanno come livello prioritario quello planetario, poiché sono riferite a fenomeni globali (per esempio, l'effetto serra), le cui politiche mitigative vengono definite nei trattati internazionali, ma per essere efficaci dovrebbero essere declinate alla scala locale. Le politiche di adattamento, invece, hanno come riferimento la scala locale per progettare azioni efficaci. Ovviamente, entrambe le politiche, di mitigazione e

Il presente saggio intende analizzare il tema della vulnerabilità dei ghiacciai alpini e dei corpi idrici, anche al fine di fornire chiavi di lettura in grado di conciliare la tutela dell'ambiente con la sua dimensione economico-sociale, valorizzando e tutelando le risorse che rendono la “montagna bene comune” (CIPRA 2021; Dematteis, 2018). Nello specifico viene analizzato il tentativo di contrastare il ritiro del ghiacciaio del Morteratsch in Engadina, sul quale è in corso il progetto MortAlive, guidato da un team di ricercatori dell'Università di Utrecht e dell'Accademia Engadina di Samedan. Inoltre viene esaminato il processo di rinaturazione del fiume Inn (sempre in Engadina), al fine di contenere le pericolose esondazioni causate dalla rapida e consistente fusione dei ghiacciai, come voluto dalla politica federale svizzera sulla protezione delle acque.

L'apparato metodologico in una prima fase è consistito nell'esaminare, attraverso la letteratura scientifica di riferimento, gli esiti quantitativi delle sperimentazioni in atto relative alla conservazione dei ghiacciai e alla rinaturazione dei fiumi. In una seconda fase l'attenzione è stata rivolta ai due casi di studio, attraverso la letteratura specifica, indagini di terreno e contatti con la comunità scientifica e gli attori locali, per verificare gli effetti dei progetti in corso con una osservazione partecipata. Questa metodologia di analisi si è rivelata di grande utilità per fornire possibili risposte alle domande di ricerca emerse dalla letteratura scientifica, nonché per integrare le analisi quantitative e produrre riflessioni preliminari.

*Ghiacciai e cambiamento climatico.* – Un'ampia letteratura scientifica evidenzia come i territori alpini siano altamente sensibili ai cambiamenti climatici<sup>5</sup> (Diolaiuti e altri 2012a; Diolaiuti e altri, 2012a 2012b; Cat Berro, Mercalli, 2016; Mihala, 2019; Pietta, Bagliani, Crescini, 2022; Legambiente,

---

adattamento, dovrebbero essere in sinergia per «evitare di accostare azioni [...] differenti o addirittura tra loro contrastanti» (Pietta, Bagliani, Crescini, 2022, p. 72).

<sup>5</sup> Nelle regioni montane la temperatura nell'ultimo secolo è aumentata di circa il doppio rispetto al livello medio globale (Cat Berro, Mercalli, 2023, p. 12). Questo innalzamento è dovuto principalmente alla riduzione di suolo coperto da neve e ghiaccio, che diminuisce l'albedo e aumenta la presenza di terreno più scuro e incapace di riflettere le radiazioni solari, causando un eccessivo assorbimento di calore della superficie. Ne deriva quindi un aumento delle temperature, che amplifica a sua volta la fusione di ghiaccio e neve. A livello globale, inoltre, nel 2023 la temperatura media della Terra per la prima volta è andata oltre i 2 gradi di aumento, al di sopra dei livelli medi preindustriali, risultando pari a + 2,06 gradi (<https://climatechange.umaine.edu/>, consultato il 7 febbraio 2024).

2023) benché con forti differenze, in quanto riuniscono ambienti diversi per altimetria, esposizione e influenza delle circolazioni atmosferiche. Innumerevoli studi inseriscono le zone di montagna tra quelle a maggior rischio climatico (Ipcc, 2023; UNCED, 1992), oltre ad essere «un’eccezionale fonte di osservazione per la ricerca scientifica e un banco di prova per lo sviluppo e la valutazione delle politiche di adattamento» (Cat Berro, Mercalli, 2016, p. 44).

Le montagne sono inesauribili “torri d’acqua” (Immerzeel e altri, 2020), fonti di risorse idriche per uso potabile, irrigazione e produzione di energia, ma anche luoghi di eccezionale biodiversità, materie prime e servizi ecosistemici; perciò attendono nuovi percorsi e pratiche di riconversione per una loro “rinascita”. Nelle alte terre, in particolare, i ghiacciai alpini sottoposti a fusione e ritiro (Smiraglia, 2008, 2013; Diolaiuti e altri, 2012a; Diolaiuti e altri, 2012b; Diolaiuti e altri, 2019; Farinotti e altri, 2019) sono i principali indicatori di un riscaldamento climatico crescente, che è anche causa di intense precipitazioni in brevi momenti, come pure di periodi di siccità, che alterano la portata stagionale dei corsi d’acqua e aumentano i cedimenti in alta quota (frane, colate detritico-torrentizie, ecc.)<sup>6</sup>. L’analisi comparata delle variazioni di temperatura e dei record di lunghezza dei ghiacciai a lungo termine (tenendo conto anche delle differenze nei tempi di risposta e nella sensibilità climatica dei singoli ghiacciai) ha confermato che il ritiro dei ghiacciai è da imputare all’aumento della temperatura atmosferica negli ultimi 100-150 anni (Leclercq, Oerlemans, 2011). Trattasi peraltro di un ritiro di dimensioni notevoli: solo tra il 2000 e il 2014 i ghiacciai delle Alpi hanno perso un sesto del volume totale (Sommer e altri, 2020, p. 3210), che potrebbe dimezzarsi tra il 2017 e il 2050 (Zekollari, Huss, Farinotti, 2019, p. 1133). La mancanza di precipitazioni nevose concorre a peggiorare notevolmente la situazione; sotto i 2000 metri la neve sta diminuendo la propria copertura del 5,6% ogni decade negli ultimi 50 anni, con la perdita di un mese di innevamento all’anno sul versante alpino italiano (Carrer e altri, 2023, p. 155).

A scala globale, l’impatto delle variazioni dell’estensione e del volume dei ghiacciai si manifesta principalmente con l’innalzamento del livello del mare, che sta crescendo di 3,5 mm all’anno dal 2001 (Di Napoli, Mercalli,

---

<sup>6</sup> Per approfondimenti su questi temi si consulti GeoClimAlp (<https://geoclimalp.irpi.cnr.it/catasto-frane-alpi/>, consultato il 7 febbraio 2024).

2021, p. 109). A scala regionale e locale, invece, le fluttuazioni delle dimensioni dei ghiacciai possono influire sulla fornitura di acqua di fusione utile ai bacini acquiferi, all'irrigazione dei campi e alla produzione di energia idroelettrica<sup>7</sup>; sulla sicurezza delle infrastrutture e degli edifici per effetto di valanghe ed esondazione di laghi e fiumi glaciali; e sull'industria turistica e degli sport agonistici<sup>8</sup>, in particolare con impatti negativi sulle aree sciistiche e in generale sui paesaggi alpini (Oerlemans, Haag, Keller, 2017, p. 190). La rilevanza delle montagne, quali serbatoi idrici per i territori limitrofi, è particolarmente marcata nelle aree aride e semi-aride, dove il 90% del deflusso totale delle acque proviene proprio dagli alti rilievi (Viviroli, Weingartner, Messerli, 2003, p. 36). In altre parole, quello che accade a un ghiacciaio non resta confinato in montagna. Per questo monitorare i ghiacciai (fig. 1), soprattutto quelli di grandi dimensioni, è fondamentale per controllare e garantire le risorse idriche necessarie (Nussbaumer, 2017, p. 141).

Se il valore economico di un ghiacciaio è ben noto<sup>9</sup>, deve essere altrettanto riconosciuto che i ghiacciai sono un grande archivio scientifico naturale, dal momento che conservano al loro interno preziose

---

<sup>7</sup> Con evidenze rilevanti soprattutto in estate e con un forte incremento dei prezzi dell'energia elettrica (Ranzani e altri, 2018, pp. 10-12).

<sup>8</sup> La vicenda del ghiacciaio Teodolo sul Cervino ha sollevato le proteste di glaciologi, associazioni ambientaliste e di alcuni atleti per la presenza, a 3800 metri di quota, di ruspe tritaggiaccio per ricavare una pista da sci per le gare di Coppa del Mondo del 2023. Al di là dello specifico caso giuridico apertosi attorno alla pista, poiché i lavori sono sconfinati in territorio elvetico senza regolari autorizzazioni, la vicenda pone una serie di interrogativi sulla bontà dell'operazione, fortemente invasiva per l'ambiente del ghiacciaio. Questa vicenda induce a riflettere sul sistema di governo dei territori montani, che predilige investimenti con elevati costi energetici e ambientali: si investe sull'innervamento artificiale e sulla ristrutturazione di impianti di risalita e cabinovie che sono destinate, alle basse quote, a diventare nuove cattedrali nel deserto (Legambiente, 2023); nella costruzione di infrastrutture sportive utili per il tempo di una gara, come sta avvenendo nelle future sedi delle gare olimpiche Milano Cortina 2026 (Morazzoni, Pecorelli 2022).

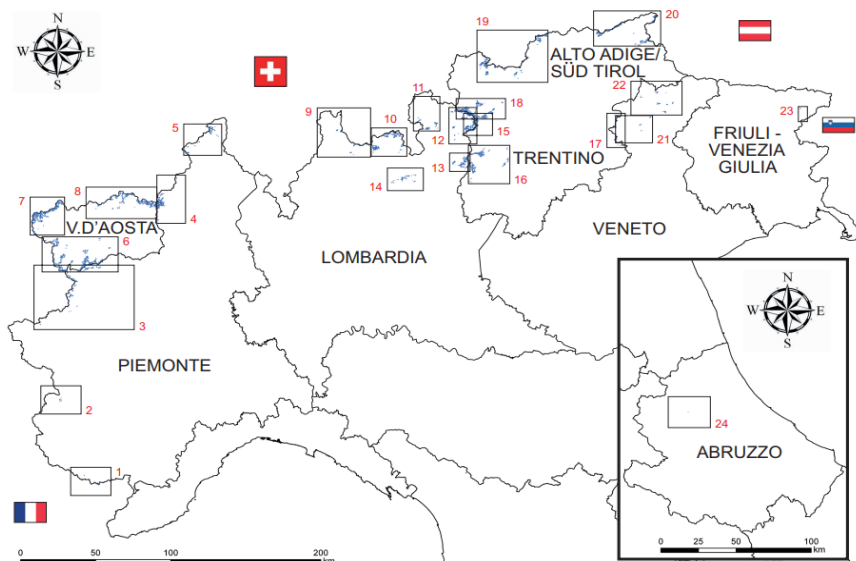
<sup>9</sup> Solo per citare un esempio tra i tanti, le fonti dell'acqua minerale di Bormio (Valtellina) fanno parte del sistema di circolazione idrogeologica che comprende il ghiacciaio del Dosdè ([https://www.corriere.it/ambiente/13\\_ottobre\\_14/ghiacciai-valore-che-rischia-fondersi-4959b762-34cf-11e3-b0aa-c50e06d40e68.shtml](https://www.corriere.it/ambiente/13_ottobre_14/ghiacciai-valore-che-rischia-fondersi-4959b762-34cf-11e3-b0aa-c50e06d40e68.shtml), consultato il 17 aprile 2024).

informazioni sull'evoluzione del clima degli ultimi secoli<sup>10</sup> e restituiscono dati ambientali di notevole interesse: i carotaggi antartici del progetto *Epica* (European Project for Ice Coring in Antarctica) mostrano per esempio che la concentrazione di CO<sub>2</sub>, che nel 2021 era pari a 417 parti per milione, era la più alta da almeno 800 mila anni (Di Napoli, Mercalli, 2021, p. 31). Inoltre, i ghiacciai sono ecosistemi ricchi di comunità microbiche, in continuo scambio con l'ambiente circostante e con l'atmosfera. La fusione di un ghiacciaio comporta, quindi, la distruzione di un vero e proprio archivio naturale, come se venissero disintegrati milioni di volumi che ci consentono di conoscere la storia dell'umanità e della sua evoluzione (Franzetti e altri, 2020; Gobbi e altri, 2021).

Non ultimo, i ghiacciai hanno anche un valore culturale e sociale, poiché hanno avuto un ruolo chiave nell'evoluzione del rapporto uomomontagna e sono stati fondamentali nel processo di cambiamento della rappresentazione moderna delle Terre Alte. A partire dalla fine del XVIII secolo, ad esempio, il Monte Bianco e i suoi ghiacciai, dai forti connotati estetici ed emozionali, sono diventati fonte di ispirazione artistica per pittori, scrittori e poeti, le cui opere hanno contribuito in maniera decisiva alla nascita e diffusione del concetto di sublime (Morazzoni, De Ponti, Colombo, 2011). I ghiacciai, da luogo misterioso e spazio geografico dal quale gli uomini dovevano tenersi a debita distanza, si sono “trasformati” in elemento culturale riconoscibile, segno del bello, stimolo di ascese, scoperte, avventure verso la conquista delle vette. Sono oggi anche luoghi di fruizione turistica attraverso itinerari glaciologici (Comitato Glaciologico Italiano, 2017) e di valorizzazione attraverso opere d'arte, ispirate dal loro immenso valore paesaggistico, leggende e credenze popolari che fanno ancora eco nei territori alpini (Di Napoli, 2016, pp. 71-76). Infine, i ghiacciai garantendo un approvvigionamento idrico al genere umano riducono i rischi di conflitti, instabilità sociale e migrazioni che potrebbero innescarsi nel caso di rilevanti fusioni (come indicato in altra parte di questo saggio).

---

<sup>10</sup> Si veda, a titolo d'esempio, il progetto di ricerca *Ice Memory* nato per salvare in Antartide campioni di ghiacciai, a partire da quelli italiani (<https://www.ice-memory.org/ice-memory-foundation-/collecting-ice-cores-1217040.kjsp?RH=1832088615308700>, consultato il 7 febbraio 2024).

Fig. 1 – *Distribuzione dei ghiacciai italiani*

Fonte: Catasto dei ghiacciai italiani, in

<https://sites.unimi.it/glaciol/index.php/it/catasto-dei-ghiacciai-italiani/> (consultato il 7 febbraio 2024)

*Ghiacciai e adattamento climatico.* – Contrastare l'eccessiva fusione e il ritiro dei ghiacciai è fondamentale per preservare la loro funzione di serbatoio di acqua dolce. Tra le molte sperimentazioni in atto, che fanno uso di avanzate tecnologie, si distingue quella del *MortAlive*. Il progetto infatti intende frenare il ritiro del ghiacciaio del Morteratsch, che si trova nel comune di Pontresina, nell'Alta Engadina (Svizzera sud-orientale), lungo il versante settentrionale del Gruppo del Bernina. Il ghiacciaio ha una quota massima di 4020 m e una minima di 2000 m. La sua lingua rettilinea è alimentata dalle numerose colate secondarie che scendono dai fianchi del Piz Bernina, del Piz Argent e del Zupò, oltre che dalla dorsale del monte Bellavista. Nel suo terzo inferiore riceve il contributo del ghiacciaio del Pers che, originatosi dai pendii settentrionali del Piz Palù, piega verso ovest, immettendosi nei ghiacci del Morteratsch con una imponente gradinata di seracchi. Le due colate concorrono a formare un'unica lingua. Il complesso glaciale che ne deriva ha una superficie di circa 16 km<sup>2</sup> ed è attualmente lungo 6 chilometri, dopo essersi ritirato di oltre 3 chilometri negli ultimi 60 anni (Oerlemans, Haag, Keller, 2017, p. 190).

Il Morteratsch è importante non solo come riserva di acqua dolce, ma



anche come attrazione turistica. La sua fama risale al Settecento (quando raggiunse la sua massima espansione registrata) e deriva, oltre che dalla maestosità che lo caratterizzava, dalla facile accessibilità per tutti i viaggiatori: la sua fronte allora giungeva ai margini dell'antica strada carrozzabile (fig. 2). Nonostante dalla fine del XIX secolo abbia perso gran parte della propria imponenza, il ghiacciaio è ancor oggi meta di visitatori provenienti da molte parti del mondo (Valagussa, 2003, pp. 75-76), confermandosi quindi un'importante attrattiva che la comunità di Pontresina intende tutelare.

Fig. 2 – *La fronte del Morteratsch vista da un "belvedere" nei pressi della strada carrozzabile, in una stampa del 1870*

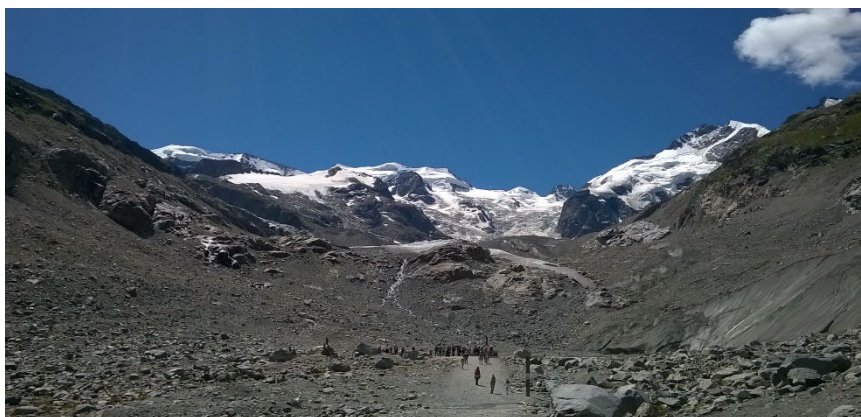


Fonte: archivio privato Matteo Di Napoli

La lingua del Morteratsch tuttavia è arretrata nel tempo e ha perso molto spessore, al punto di trovarsi oggi dietro un piccolo sperone roccioso (un tempo ricoperto totalmente dal ghiaccio), che ne nasconde la visuale (fig. 3). L'amministrazione locale ha voluto quindi avviare il progetto pilota *Mort Alive*, per tentare di rallentare il ritiro del Morteratsch in modo ecologico, attraverso un sistema per innevare in estate una

porzione di 0,8 km<sup>2</sup> del ghiacciaio, riutilizzando l'acqua di fusione del piccolo ghiacciaio Fortezza, conservata in un lago ad alta quota. La neve viene “sparata” sul ghiacciaio con un sistema che non necessita di energia elettrica e ha, quindi, un impatto ambientale ridotto al minimo. Infatti i soli 200 metri di dislivello tra la fonte d'acqua (il lago ad alta quota) e l'impianto per la neve artificiale sono sufficienti per generare la pressione necessaria nei tubi (pari a 20 bar) e consentire di spruzzare neve sul ghiacciaio (Oerlemans, Haag, Keller, 2017, pp. 191-192).

Fig. 3 – *La fronte del Morteratsch in uno scatto del 2017, da una postazione lontana 5 km dalla ex-strada carrozzabile*



Fonte: scatto di Matteo Di Napoli

Questo sistema di innevamento artificiale è già stato testato in Engadina, dove il ruolo della neve è decisivo per il bilancio idrico e determina il deflusso annuale in percentuali variabili tra il 50 e l'80%. Le precipitazioni, infatti, sia nevose sia piovose, sono decisamente ridotte rispetto al resto dell'arco alpino (con una media di 1138 mm/a) e in costante calo dal 1981 ad oggi. La mancanza di neve rappresenta per la regione un grave problema, non solo per gli “sport bianchi”, ma anche per l'approvvigionamento di acqua potabile, per l'agricoltura e l'allevamento (Lanz, 2016, pp. 7 e 26). Dal 2015, infatti, per innevare le piste da sci di St. Moritz<sup>11</sup> si usano i 400 mila m<sup>3</sup> di acqua di fusione della neve che si

---

<sup>11</sup> Per un'intera stagione sono necessari fino a 3000 m<sup>3</sup> di acqua per innevare artificialmente un ettaro di piste (Lanz, 2016, p. 46).

accumulano nel lago Alv, nel comprensorio sciistico del Corviglia (*ibidem*, p. 45). Questo accorgimento ha consentito di risparmiare 2 milioni kWh di corrente, che corrispondono a una riduzione del 16% del fabbisogno energetico annuo del comune di St. Moritz (Conci, De Gasperi, 2017, p. 67). Con lo stesso sistema che sfrutta il dislivello altimetrico e non usa energia elettrica, dal 2016 la prima pompa di ghiaccio (chiamata *Ice Stupa*) costruita in Val Roseg, vicino al Morteratsch, fornisce l'acqua di fusione disponibile. Se ne fa uso da maggio a giugno per l'irrigazione agricola (per patate e pochi vegetali) e da agosto a ottobre per fornire acqua potabile ad alcuni rifugi del Club Alpino Svizzero (Serghe, 2017, pp. 141-144).

La copertura del Morteratsch con neve artificiale è probabilmente preferibile alla costosa (Senese e altri, 2020) protezione con teli sintetici (anche di nuova generazione) per diversi motivi. In primo luogo, i teli rallentano solo la fusione e non incrementano la quantità di ghiaccio, come fa invece la neve che può, nel corso di qualche decennio, far aumentare l'estensione e lo spessore del ghiacciaio<sup>12</sup>. La neve, inoltre, ha l'ulteriore vantaggio di aumentare l'albedo in maniera naturale<sup>13</sup>, riducendo la quantità di calore in superficie, che è il principale responsabile della fusione (Carrer e altri, 2023, p. 155). In secondo luogo, fibre plastiche e altri materiali non biodegradabili vengono rilasciati dai teli (sottoposti alle radiazioni ultraviolette e a cicli di gelo/disgelo), entrano nell'acqua di fusione e raggiungono i corsi d'acqua, con gravi danni per l'intero ecosistema idrico. Inoltre, questi materiali derivano da combustibili fossili e la loro produzione implica cospicue emissioni di anidride carbonica, che viene rilasciata anche dai molti mezzi di trasporto coinvolti nelle operazioni di copertura. Infine è bene non dimenticare che un ghiacciaio

---

<sup>12</sup> Questo fenomeno è stato osservato per esempio durante l'evento naturale verificatosi in Engadina il 10 e l'11 luglio 2000, quando il passaggio di un fronte freddo da nord-ovest e successivi e prolungati rovesci hanno ricoperto il ghiacciaio con una grande quantità di neve. In quella occasione, due stazioni meteorologiche hanno consentito di analizzare l'impatto della neve estiva sulla massa del ghiacciaio. L'altezza della neve registrata a 2100 m. era di circa 20 cm, mentre a 2640 m raggiungeva i 40 cm. Questo manto nevoso ha protetto il ghiaccio sottostante, evitandone la fusione e aumentando di dieci centimetri lo spessore del ghiacciaio a 2100 m alla fine dell'estate: un effetto equivalente a un abbassamento medio della temperatura estiva di 0,5°C (Oerlemans, Klok, 2004, pp. 98-100).

<sup>13</sup> Anche la copertura artificiale incrementa l'albedo (Senese e altri, 2020), tuttavia con l'effetto di disperdere materiale sintetico.

è un ecosistema, ricco di comunità microbiche, in cui si perpetuano scambi di materia con gli ambienti limitrofi e con l'atmosfera. Una volta coperto il ghiacciaio, questo suo servizio ecosistemico viene limitato, come indicato da un gruppo di studiosi di climatologia e glaciologia (tra cui Baccolo G., Bonardi L., Huss M., Mercalli L., Varotto M., ecc.) e da enti/istituzioni (tra cui il Comitato Glaciologico Italiano, il Servizio Glaciologico Lombardo e la Società Meteorologica Italiana) (Bonardi e altri, 2022, p. 2).

Il progetto pilota del Morteratsch è iniziato nel 2015 ed è guidato da un team di ricercatori dell'Università di Utrecht e dell'Accademia Engiadina di Samedan, che monitoreranno i primi risultati almeno fino al 2030. Allora inizierà la fase operativa che durerà fino al 2060, grazie al finanziamento dalla Banca Cantonale dei Grigioni (Graubünder Kantonalbank). Il progetto tiene conto degli studi preliminari sul ritiro del ghiacciaio, ovvero su dati continui a partire dal 1878, e delle misurazioni condotte a partire dal 1995 dal team di Johannes Oerlemans dell'Università di Utrecht (Oerlemans, Klok, 2002; Oerlemans, Giesen, Van den Broeke, 2009). Lo studioso olandese ha commentato il suo impegno in questo progetto, spiegando che il suo Paese è interessato al ritiro dei ghiacciai anche più della Svizzera, perché il futuro innalzamento delle acque del mare potrebbe avere effetti devastanti per il sistema dei polder e preservare i ghiacciai è fondamentale per salvare le terre olandesi<sup>14</sup>.

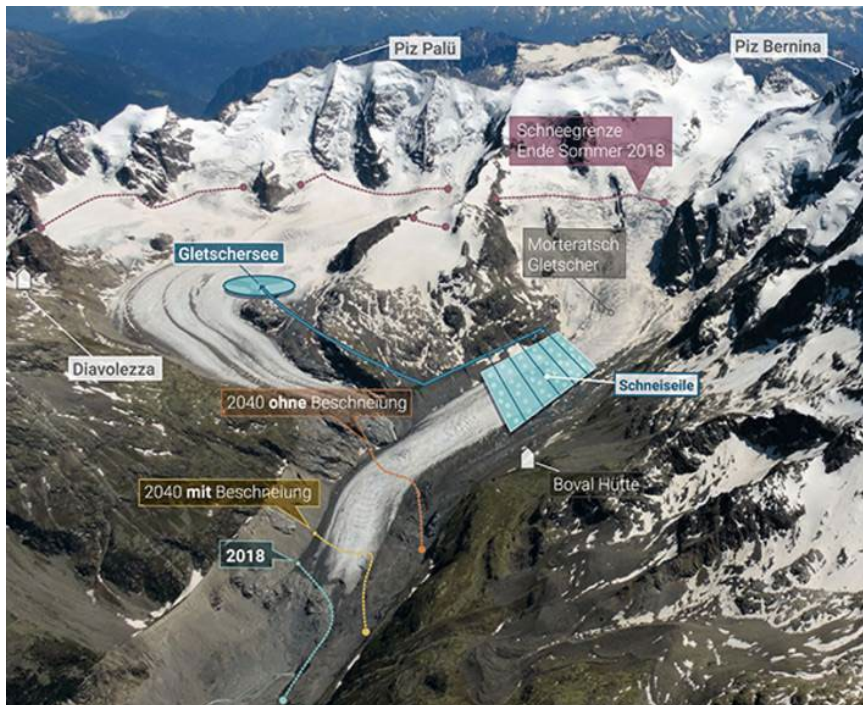
In proiezione futura, secondo gli ideatori del progetto, oltre al già citato lago ad alta quota, altri piccoli bacini potrebbero essere utilizzati, prevalentemente lungo il ghiacciaio del Pers (Oerlemans, Haag, Keller, 2017, p. 192). Il loro utilizzo sarà fondamentale per alimentare le 75 lance da neve necessarie per coprire la porzione di 0,8 km<sup>2</sup> di ghiacciaio a una altitudine di 2450 m, quella minima sufficiente per garantire l'innnevamento durante le più calde giornate estive (*ibidem*, p. 193). Con questi accorgimenti, si stima che nella peggiore delle evoluzioni climatiche (quella con il maggior riscaldamento possibile) serviranno 10 anni perché la variazione dimensionale del ghiacciaio si stabilizzi; dal 2028 comincerà un lento avanzamento della lingua glaciale e una crescita del suo bacino di accumulo; in questo modo entro il 2100 la massa del ghiacciaio aumenterà del 10%. Se invece la crescita delle temperature dovesse interrompersi, la lunghezza del ghiacciaio aumenterebbe addirittura di 5,7 km entro il 2080,

---

<sup>14</sup> Conversazione tra lo studioso olandese e Matteo Di Napoli (agosto 2023).

raddoppiando questo suo parametro dimensionale (*ibidem*, pp. 198-199). Tale sistema renderebbe il Morteratsch il primo ghiacciaio alpino ad avanzare e potrebbe assicurare la disponibilità di acqua in Engadina a lungo termine, anche in estati molto secche e calde.

Fig. 4 – Schema di sintesi del progetto MortAlive



Fonte: <https://www.fhgr.ch/fh-graubuenden/entwicklung-im-alpinen-raum/institut-fuer-bauen-im-alpinen-raum-ibar/projekte/machbarkeitsstudie-mortalive/>, consultato il 6 febbraio 2024

Questo progetto pilota potrebbe rappresentare una svolta per lo stoccaggio di acqua dolce a livello mondiale, soprattutto in quei contesti territoriali in cui la sopravvivenza degli esseri umani dipende maggiormente dalla conservazione dei ghiacciai. Nell'Asia himalayana, per esempio, 800 milioni di persone necessitano di acqua di fusione dei ghiacciai soprattutto nei frequenti periodi siccitosi, durante i quali questa fonte alimenta i maggiori bacini idrografici della regione. La fusione glaciale soddisfa totalmente le esigenze di 221 ( $\pm 59$ ) milioni di persone e

serve a ridurre i rischi di instabilità sociale, i conflitti e le migrazioni che potrebbero essere innescati dalla scarsità d'acqua (Pritchard, 2019, pp. 650-652). Preservare questa importante risorsa è, dunque, determinante per il genere umano e l'innervamento estivo potrebbe essere la soluzione, unitamente allo stoccaggio delle precipitazioni nevose invernali, come già viene fatto negli Stati Uniti occidentali. Le nevicate, infatti, coprono ogni anno 46 milioni di km<sup>2</sup> di superficie terrestre, un terzo di tutte le terre emerse, e soddisfano l'approvvigionamento idrico di un sesto della popolazione mondiale. Sui rilievi degli Stati Uniti occidentali viene sfruttato questo fenomeno, immagazzinando l'acqua in inverno e redistribuendola nella stagione calda, quando più diffusi sono i fenomeni siccitosi (Pritchard, Farinotti, Colwell, 2021, p. 795).

*Riflessioni conclusive.* – Secondo lo studio di Bosson e altri (2023, p. 562), senza azioni tempestive, entro il 2100 la porzione di superficie terrestre ricoperta dai ghiacciai sarà dimezzata, con importanti conseguenze ambientali e sociali. Siccità, inondazioni e guerre per il controllo dell'acqua probabilmente si moltiplicheranno; l'innalzamento del livello dei mari renderà inabitabili molte zone costiere con decine di milioni di nuovi «migranti climatici» (Di Napoli, Mercalli, 2021, pp. 40, 57, 109). Nelle aree deglaciata interi ecosistemi scompariranno, altri si ri-adatteranno, altri ancora emergeranno (Franzetti e altri, 2020; Gobbi e altri, 2021). Gli ecosistemi post-glaciali, a loro volta, si presenteranno come nuovi habitat e richiederanno di concentrare risorse e attenzioni per garantirne il futuro. Molti anomali eventi esogeni e endogeni investiranno probabilmente le nostre terre (Bosson e altri, 2023), come già si assiste in tante parti del mondo, inclusa l'Italia<sup>15</sup>.

Un tale futuro scenario richiede nuove pratiche adattive, immediate e regolamentate da politiche consapevoli e da un impegno civile. Il problema dell'acqua (troppa o troppo poca), già presente in molte parti del globo, necessita di azioni ancora più mirate, ad esempio in direzione della rinaturazione dei fiumi, su cui alcuni Paesi europei già intervengono. Un progetto di sicuro interesse è ora in atto in Alta Engadina lungo l'Inn, in gran parte alimentato dall'acqua dei ghiacciai (compreso il Morteratsch). In molti tratti del corso del fiume dal 2014 sono stati abbattuti gli argini,

---

<sup>15</sup> Si pensi, a titolo d'esempio, alle alluvioni che hanno colpito la Val di Fassa il 3 luglio 2018 e l'Emilia Romagna dal 2 al 17 maggio del 2023.

avviando un processo di deterritorializzazione che intende riportare il paesaggio fluviale a un ipotetico stato iniziale (pre-antropizzazione). Il risultato è un fiume che scorre più lentamente. In questo specifico esempio, il governo delle acque dell'Inn è frutto innanzitutto di una nuova politica del territorio adottata dalla Svizzera<sup>16</sup> e che gode dell'approvazione delle comunità locali<sup>17</sup>. Oltre all'Inn, anche molti suoi affluenti sono stati coinvolti in questi processi di rinaturazione. Il torrente Chamuera nel 2014, sempre a titolo esemplificativo, è stato interessato da una decisione degli abitanti di La Punt Chamues-ch, che si sono opposti alla costruzione di una diga per la produzione di energia idroelettrica<sup>18</sup>; anche per questo motivo il corso d'acqua è stato riconosciuto come "Perla d'acqua Plus", prestigioso riconoscimento del WWF. In generale, la rinaturazione fluviale e il ripristino delle zone golenali integre sono fattori determinanti per contenere le pericolose piene dei fiumi, soprattutto di quelli montani alimentati dalla rapida fusione dei ghiacciai: dove è possibile attuare questi processi, i corsi d'acqua sono in grado di gestire meglio il proprio regime, con una notevole resilienza alle perturbazioni esterne e con il recupero di una pluralità di servizi ecosistemici, come il processo di autodepurazione dell'acqua, la formazione di ambienti vitali per flora e fauna, la naturale irrigazione dei terreni limitrofi, ecc. (D'Agostino, 1996, pp. 26-44).

Il progetto del fiume Inn e del torrente Chamuera, come quello del ghiacciaio del Morteratsch invitano a riflettere su più livelli. I territori montani (ma non solo) necessitano di progettualità condivise e con la partecipazione di centri di ricerca, stakeholder, amministrazioni locali e di una cittadinanza attiva; gli investimenti (dall'alto e dal basso) devono svincolarsi dai perversi meccanismi di sfruttamento dei "beni comuni"

---

<sup>16</sup> Il 1° gennaio 2011 in Svizzera è stato avviato un percorso di revisione della Legge federale sulla protezione delle acque, con la quale si definisce la Strategia Nazionale di riqualificazione e rinaturazione dei corsi d'acqua e dei laghi, da realizzarsi in 80 anni (Trentini, 2012, p. 6).

<sup>17</sup> Come emerso dall'intervista a Urs Niederegger, Gemeindegliedertescheiber del Comune di La Punt Chamues-ch (luglio 2023).

<sup>18</sup> Il 18 agosto 2014, dopo le proteste di molti cittadini, l'assemblea comunale di La Punt Chamues-ch ha bocciato il progetto da 23,5 milioni di franchi (proposto da Repower) con 74 voti contro 64 (<https://www.tio.ch/ticino/attualita/805567/no-alla-centrale-elettrica-in-engadina-minaccerebbe-i-gipeti>, <https://www.rsi.ch/info/ticino-grigioni-e-insubria/La-Punt-boccia-la-centrale--825579.html>, consultati il 12 febbraio 2024).

(ghiacciai, corpi idrici, versanti montani, ecc.) e da «normative inefficaci che non tutelano adeguatamente [...] la biodiversità» (CIPRA, 2021, p. 3). Inoltre, “beni rari” sono presenti anche al di fuori delle compartimentate aree protette; anzi spesso tali rarità sono attrattive per i territori turistici e ciò richiede sensibilità ed educazione ambientale nell'accostarsi ad esse. Infine, a fronte di un cambiamento climatico ormai tangibile, sono necessarie azioni adattive che considerino il contesto territoriale locale e sovralocale, le integrazioni orizzontali e verticali, la presenza di processi partecipativi. Le strumentazioni tecnologiche consentono un costante monitoraggio territoriale e atmosferico, grazie a diffuse stazioni di raccolta di dati e di osservazione, alla ricognizione aerea e satellitare<sup>19</sup> e al sempre più diffuso utilizzo di droni, esploratori capaci di raggiungere angoli altrimenti difficili da monitorare, con sempre maggiori livelli di automatismo e un raggio visivo che supera i 100 km (Casagrande, Sik, Szabó, 2018; Casagrande, Salvatori, 2011, p. 13). Anche l'Intelligenza Artificiale per monitorare ghiacciai e altri corpi idrici è al centro di ricerche sulle Alpi. Un esempio è il recente studio di un gruppo di ricercatori della Facoltà di Geoscienze dell'Università di Losanna. Il team sta sperimentando la possibilità di un nuovo modello informatico in grado di utilizzare i dati satellitari del programma europeo *Copernicus* e di eseguire simulazioni su algoritmi di Intelligenza Artificiale. Gli scienziati hanno utilizzato metodi di *deep learning*, basati su reti neurali, per insegnare al loro modello a comprendere principi fisici e per “nutrirlo” con dati climatici e glaciologici (Cook e altri, 2023).

Speranze, dunque; ma con la consapevolezza delle tante occasioni perdute, le cui conseguenze hanno esacerbato problematiche ambientali che oggi richiedono interventi immediati, multilaterali e transcalari.

---

<sup>19</sup> Dal 2015 è attivo il satellite Sentinel-2 che consente un costante inventario delle dimensioni dei ghiacciai alpini, con un margine di approssimazione di soli 10 metri (Paul e altri, 2020).



BIBLIOGRAFIA

- ASSOCIAZIONE ALLEANZA NELLE ALPI ITALIA, *Carta di Budoia per l'azione dei Comuni alpini nell'adattamento locale ai cambiamenti climatici*, 2017, in <https://www.legambiente.it/wp-content/uploads/2023/06/Carta-di-Budoia.pdf>, consultato il 21 dicembre 2023.
- BONARDI E ALTRI, *Coprire i ghiacciai non significa salvarli. Perché la copertura dei ghiacciai non è una soluzione ma parte del problema*, Lettera aperta, 21 gennaio 2022 ([https://apps.uniroma3.it/ateneo/memo/files/pub\\_allegato\\_322927ca-fac8-4ab2-9602-34a7c38c90cd.pdf](https://apps.uniroma3.it/ateneo/memo/files/pub_allegato_322927ca-fac8-4ab2-9602-34a7c38c90cd.pdf), consultato il 10 febbraio 2024).
- BOSSON J.B. E ALTRI, "Future emergence of new ecosystems caused by glacial retreat", *Nature*, 2023, 620, 7974, pp. 562-569.
- CARRER E ALTRI, "Recent waning snowpack in the Alps is unprecedented in the last six centuries", *Nature Climate Change*, 2023, 13, pp. 155-160.
- CASAGRANDE G., SALVATORI F., *Geografia e prospezioni territoriali con micro-droni. Resoconto di una sperimentazione a fini di ricerca archeologica*, Morolo (FR), IF Press, 2011.
- CASAGRANDE G., SIK A., SZABÓ G., *Small Flying Drones. Applications for Geographic Observation*, New York, Springer International, 2018.
- CAT BERRO D., MERCALLI L., "Cambiamenti climatici e impatti sui territori montani", *Scienze del territorio*, 2016, 4, pp. 44-57.
- CAT BERRO D., MERCALLI L., "Incrementi delle temperature nelle località sciistiche", *Legambiente*, 2023, pp. 11-21.
- CIPRA, *Water Courses and Hydropower in the Alpine Region*, Schaan (Liechtenstein), CIPRA International, 2021.
- COMITATO GLACIOLOGICO ITALIANO, *22 Itinerari Glaciologici sulle Montagne Italiane*, Guide Geologiche Regionali 12, 3, Trento, Società Geologica Italiana, 2017.
- CONCI A., DEGASPERI F., *ALP.IN.SKI – ALPINE INNOVATION SKI: Best practices nelle stazioni sciistiche alpine*, Trento, ARGE ALP, 2017.
- COOK S.J. E ALTRI, "Committed Ice Loss in the European Alps Until 2050 Using a Deep-Learning-Aided 3D Ice-Flow Model With Data Assimilation", *Geophysical Research Letters*, 2023, 50, pp. 1-9.
- D'AGOSTINO V., *La rinaturalizzazione dei torrenti montani*, Padova, Quaderni del Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali - Università di Padova, 1996.
- DELL'AGNESE E., "La montagna italiana come spazio di deprivazione", in

- SCARAMELLINI G. (a cura di), *Montagne a confronto. Alpi e Appennini nella transizione attuale*, Torino, Giappichelli, 1998, pp. 253-271.
- DEMATTEIS G., “La metro-montagna di fronte alle sfide globali. Riflessioni a partire dal caso di Torino”, *Journal of Alpine Research/Revue de géographie alpine*, 2018, 106, pp. 2-13.
- DI NAPOLI M., *Gli occhiali del turista. Geografia di una società in movimento*, Bologna, Archetipolibri, 2016.
- DI NAPOLI M., MERCALLI L., *Lettera dalla Terra*, Novara, De Agostini, 2021.
- DIOLAIUTI G. BOCCHIOLA D., D’AGATA C., SMIRAGLIA C., “Evidence of climate change impact upon glaciers’ recession within the Italian Alps: the case of Lombardy glaciers”, *Theoretical and Applied Climatology*, 2012a, 109, 3-4, pp. 429-445.
- DIOLAIUTI G., BOCCHIOLA D., VAGLIASINDI M., D’AGATA C., SMIRAGLIA C., “The 1975- 2005 glacier changes in Aosta Valley (Italy) and the relations with climate evolution”, *Progress in Physical Geography*, 2012b, 36, 6, pp. 764-785.
- DIOLAIUTI G. E ALTRI, “Present extent, features and regional distribution of the Italian glaciers”, *La Houille Blanche*, 2019, 5-6, pp. 159-175.
- EISENHUT A., *Kandidatur Ova Chamuera. Antrag und Zusammenfassung zùbanden des wissenschaftlichen Beirats des Vereins Gewässerperlen auf der Basis des am 24.9.2021 eingereichten Kandidaturdossiers zur Ova Chamuera*, La Punt Chamues-ch, WWF, 2021.
- FARINOTTI D., HUSS M., FÜRST J. J., LANDMANN J., MACHGUTH H., MAUSSION F., PANDIT A., “A consensus estimate for the ice thickness distribution of all glaciers on Earth”, *Nature Geoscience*, 2019, 12, 3, pp. 168-173.
- FERRARIO V., MARZO M. (a cura di), *La montagna che produce. Productive mountains*, Milano, Mimesis, 2020.
- FRANZETTI A. E ALTRI, “Early ecological succession patterns of bacterial, fungal and plant communities along a chronosequence in a recently deglaciated area of Italian Alps”, *FEMS Microbiology Ecology*, 2020, 96, 10, pp. 1-12.
- GOBBI M. E ALTRI, “Vanishing permanent glaciers: climate change is threatening a European Union habitat (Code 8340) and its poorly known biodiversity”, *Biodiversity and Conservation*, 2021, 30, pp. 2267-2276.
- IMMERZEEL W.W. E ALTRI, “Importance and vulnerability of the world’s water towers”, *Nature*, 2020, 577, 7790, pp. 364-369.
- IPCC, *Climate Change 2023: Synthesis Report*, Contribution of Working

- Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Ginevra, IPCC, 2023.
- LANZ K., *Wasser im Engadin – Nutzung, Ökologie, Konflikte*, Evilard, WWF Schweiz, 2016.
- LECLERCQ P.W., OERLEMANS J., “Global and hemispheric temperature reconstruction from glacier length fluctuations”, *Climate Dynamics*, 2011, 38, pp. 1065-1079.
- LEGAMBIENTE, *Nevediversa. Il turismo invernale nell'era della crisi climatica*, Rapporto di Legambiente, 2023.
- MEINI M. (a cura di), *Terre invisibili. Esplorazioni sul potenziale turistico delle aree interne*, Soveria Mannelli, Rubbettino, 2019.
- MIHALA I., “Hot Planet, Cool Athletes”: A Case Study of Protect Our Winters and the Role of Ski Activism in Combating Climate Change, Master thesis in Sustainable Development, Uppsala, Uppsala University, 2019.
- MORAZZONI M., DE PONTI P., COLOMBO D., *Montagna e turismo. Le Alpi italiane tra geografia, società e cultura*, Bologna, Archetipolibri, 2011.
- MORAZZONI M., PECORELLI V., “Co-costruire la montagna fragile: lo studio di caso FUTURe-ALPS in Valtellina”, in ROCCA L., CASTIGLIONI B., LO PRESTI L. (a cura di), *Soggetti, Gruppi, Persone. Pratiche, spazi e dinamiche delle mobilità umane*, Padova, CLEUP, 2023, pp. 344-349.
- MORAZZONI M., PECORELLI V., “La montagna come ‘territorio fragile’: quale sostenibilità per i territori interessati dalle Olimpiadi Milano-Cortina 2026? Lo studio di caso di Cortina d’Ampezzo”, *Bollettino della Società Geografica Italiana*, 2022, 14, 5, 2, pp. 33-49.
- NUSSBAUMER S.U. E ALTRI, “Glacier Monitoring and Capacity Building: Important Ingredients for Sustainable Mountain Development”, *Mountain Research and Development*, 2017, 37, 1, pp. 141-152.
- OERLEMANS J., GIESEN R.H., VAN DEN BROEKE M.R., “Retreating alpine glaciers: increased melt rates due to accumulation of dust (Vadret da Morteratsch, Switzerland)”, *Journal of Glaciology*, 2009, 55, 192, pp. 729-736.
- OERLEMANS J., HAAG M., KELLER F., “Slowing down the retreat of the Morteratsch glacier, Switzerland, by artificially produced summer snow: a feasibility study”, *Climatic Change*, 2017, 145, pp. 189-203.
- OERLEMANS J., KLOK E.J., “Effect of summer snowfall on glacier mass balance”, *Annals of Glaciology*, 2004, 38, pp. 97-100.
- OERLEMANS J., KLOK E.J., “Energy balance of a glacier surface: analysis of

- automatic weather station data from the Morteratschgletscher, Switzerland”, *Arctic, Antarctic and Alpine Research*, 2002, 34, 4, pp. 477-485.
- PAUL F. E ALTRI, “Glacier shrinkage in the Alps continues unabated as revealed by a new 2015 glacier inventory from Sentinel 2”, *Earth System Science Data*, 2020, 12, pp. 1805-1821.
- PIETTA A., BAGLIANI M., CRESCINI E., “L’Italia si adatta? La definizione delle politiche di adattamento al cambiamento climatico alla scala regionale”, *Rivista Geografica Italiana*, 2022, CXXIX, 2, pp. 71-91.
- PRITCHARD H.D., “Asia’s shrinking glaciers protect large populations from drought stress”, *Nature*, 2019, 569, pp. 649-654.
- PRITCHARD H.D., FARINOTTI D., COLWELL S., “Measuring Changes in Snowpack SWE Continuously on a Landscape Scale Using Lake Water Pressure”, *Journal of Hydrometeorology*, 2021, 22, 4, pp. 795-811.
- RANZANI A. E ALTRI, “Hydropower future: between climate change, renewable deployment, carbon and fuel prices”, *Water*, 2018, 10, 9, pp. 1-17.
- RUMPF S.B. E ALTRI, “From white to green: Snow cover loss and increased vegetation productivity in the European Alps”, *Science*, 2022, 376, pp. 1119-1122.
- SCARAMELLINI G. (a cura di), *Montagne a confronto. Alpi e Appennini nella transizione attuale*, Torino, Giappichelli, 1998.
- SENESE A. E ALTRI, “The non-woven geotextiles as strategies for mitigating the impacts of climate change on glaciers”, *Cold Region Science and Technology*, 2020, 173, 77, pp. 1-12.
- SERGHE O., “Ice Stupa Project: intervista a Conradin Clavuot”, *Archalp*, 2017, 13, pp. 140-145.
- SMIRAGLIA C., “I ghiacciai”, in GRILLOTTI DI GIACOMO M.G. (a cura di), *Atlante Tematico delle Acque d’Italia*, 2008, Genova, FEDERBIM-Brigati, pp. 35-42.
- SMIRAGLIA C., “Il Nuovo Catasto dei Ghiacciai Italiani. Finalità, metodologie, problemi e primi risultati”, *Meteorologica*, 2013, 2, pp. 8-11.
- SOCIETÀ DEI TERRITORIALISTI/E, “Manifesto di Camaldoli per una nuova centralità della montagna”, *Scienze del Territorio*, 2021, 9, pp. 11-16.
- SOMMER C. E ALTRI, “Rapid glacier retreat and downwasting throughout the European Alps in the early 21<sup>st</sup> century”, *Nature Communications*, 2020, 25, 11, 1, pp. 3209-3218.
- TRENTINI G., “La via svizzera alla riqualificazione fluviale”, *Riqualificazione fluviale*, 2012, 5, pp. 6-10.

- UNCED, *Report on Agenda 21 Chapter 13: Managing fragile ecosystems sustainable mountain development*, Rio de Janeiro, United Nations Conference on Environment and Development, 1992.
- UNCEM, *Trent'anni dopo la Legge sulla Montagna 97/1994*, 2024, 2024 (<https://uncem.it/trentanni-dopo-la-legge-sulla-montagna-971994-uncem-si-a-una-nuova-legge-con-proposte-strategiche-e-una-vera-riorganizzazione-istituzionale/>, consultato il 6 febbraio 2024).
- VALAGUSSA P., “L’evoluzione del Ghiacciaio del Morteratsch dalla fine della Piccola Età Glaciale a oggi (Gruppo del Bernina, Svizzera)”, *Terra glacialis. Annali di cultura glaciologica*, 2003, VI, pp. 75-94.
- VAROTTO M., *Montagne del Novecento. Il volto della modernità nelle Alpi e Prealpi venete*, Verona, Cierre edizioni, 2017.
- VAROTTO M., “Montagne deserte: l’abbandono delle ‘terre alte’ visto attraverso la cartografia”, *Bollettino dell’Associazione Italiana di Cartografia*, 2003, 117-118-119, pp. 165-177.
- VAROTTO M., *Montagne di mezzo. Una nuova geografia*, Torino, Einaudi, 2020.
- VIVIROLI D., WEINGARTNER R., MESSERLI B., “Assessing the hydrological significance of the world’s mountains”, *Mountain Research and Development*, 2003, 23, 1, pp. 32–40.
- WANG S. E ALTRI, “Characterizing 4 decades of accelerated glacial mass loss in the west Nyainqentanglha Range of the Tibetan Plateau”, *Hydrology and Earth System Sciences*, 2023, 27, pp. 933-952.
- ZEKOLLARI H., HUSS M., FARINOTTI D., “Modelling the future evolution of glaciers in the European Alps under the EURO-CORDEX RCM ensemble”, *The Cryosphere*, 2019, 13, pp. 1125–1146.
- ZINZANI A., “The contested environmental futures of the Dolomites: a political ecology of mountains”, *Geographica Helvetica*, 2023, 78, 2, pp. 295-307.

*Glaciers and Water bodies: Considerations and Emerging Prospects in Alpine Settings.* – This research highlights the importance of the relationship between glacier health, snow cover, water resources availability and territories in the Alpine region. Snow has the strategic task of protecting glaciers, feeding freshwater reserves, regulating sea level and supporting local communities. However, snowfall is decreasing and snow and ice are melting faster due to global warming. Therefore, planning future risk management strategies is mandatory for water governance and environmental protection. In this regard Engadin represents an interesting case study. In this region, a local project aims at slowing down

the retreat of the Morteratsch glacier. Moreover, a watercourse renaturation project has also been implemented in order to overcome the problem of substantially increased river flow due to rapidly melting glaciers. These are examples of policies that should take into account current climate changes and the physical conditions of the mountain environment.

*Keywords.* – Glaciers, Water bodies, Alps

*Libera Università di Lingue e Comunicazione IULM, Dipartimento di Studi Umanistici*

*monica.morazzoni@iulm.it*

*Libera Università di Lingue e Comunicazione IULM, Dipartimento di Studi Umanistici*

*matteo.dinapoli@iulm.it*