

LA CAROVANA DEI GHIACCIAI

V EDIZIONE

VERSO IL 2025, L'ANNO INTERNAZIONALE DEI GHIACCIAI

Gli effetti della crisi climatica su ghiacciai,
ambiente alpino e biodiversità



UN PROGETTO DI



PARTNER SCIENTIFICO



IN COLLABORAZIONE CON



PARTNER SOSTENITORE



PARTNER TECNICO

EPHOTO

INDICE

PREMESSA	3
ITINERARIO E CALENDARIO	6
PRIMA PARTE	
STATO DI SALUTE DEI GHIACCIAI ALPINI	7
LA SITUAZIONE DEI GHIACCIAI ITALIANI NEL 2024	8
I GHIACCIAI DELLE ALPI OCCIDENTALI	15
GHIACCIAIO MER DE GLACE (FR)	16
LA VALPELLINE E I GHIACCIAI DI TZA DE TZAN E DELLE GRANDES MURAILLES	20
I GHIACCIAI VALSESIANI DEL VERSANTE SUD DEL MONTE ROSA E L'ESTINZIONE DEL GHIACCIAIO DI FLUA	25
I GHIACCIAI DELLE ALPI CENTRALI	29
GHIACCIAIO DEI FORNI	30
GHIACCIAIO FELLARIA	33
I GHIACCIAI DELLE ALPI ORIENTALI	39
GHIACCIAIO DELLA MARMOLADA	40
IL GLACIALISMO DELLE ALPI GIULIE	43
GLI IMPATTANTI EFFETTI DELLA DEGRADAZIONE DELLA CRIOSFERA E DELL'AUMENTO DEGLI EVENTI ESTREMI IN QUOTA	48
LA GEODIVERSITÀ E I SERVIZI ECOSISTEMICI NEL CAMBIAMENTO CLIMATICO E AMBIENTALE	50
SECONDA PARTE	
BIODIVERSITÀ E ALTE QUOTE	53
CAMBIAMENTI CLIMATICI ED ECOSISTEMI MONTANI	54
ECOSISTEMI E RITIRO DEI GHIACCIAI	62
COLONIZZAZIONI E SCOMPARE	65
NEI GHIACCI C'È VITA	68
LA FUSIONE DEI GHIACCIAI APRE LE PORTE ALLE SPECIE ALIENE	71
L'INFLUENZA GLACIALE SUGLI ECOSISTEMI FLUVIALI	72
HABITAT 8340 - GHIACCIAI PERMANENTI	73
NUOVI ECOSISTEMI DA TUTELARE, UNA ROAD MAP PER LA BIODIVERSITÀ ALLE ALTE QUOTE	75
CONTRIBUTI E RINGRAZIAMENTI	78
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI E SITOGRAFICI	79

A cura di

Vanda Bonardo,
Marco Giardino,
Stefano Perona

Progetto grafico

Luca Fazzalari

Dicembre 2024

PREMESSA

La criosfera, i paesaggi bianchi, sono il canarino nella miniera di carbone delle crisi climatiche e della biodiversità.

Antje Boetius

Direttore dell'Istituto Alfred Wegener

La criosfera, un habitat insostituibile, è sempre più gravemente minacciata dal riscaldamento climatico, che ne mette a rischio la sopravvivenza. A fine novembre, oltre 50 esperti di fama mondiale hanno pubblicato lo *State of the Cryosphere Report 2024*, coordinato dall'International Cryosphere Climate Initiative (ICCI). Il rapporto avverte che le attuali forzanti del clima, che proiettano il pianeta verso un riscaldamento superiore ai 2°C, rischiano di produrre conseguenze disastrose e irreversibili per miliardi di persone, soprattutto a causa della perdita globale di ghiaccio.

Un recente articolo del Bollettino dell'Organizzazione Meteorologica Mondiale (OMM) descrive la criosfera come il “canarino nella miniera di carbone” del sistema climatico, evocando l'antica pratica di utilizzare i canarini per rilevare precocemente i pericoli nelle miniere. Allo stesso modo, la criosfera lancia un segnale chiaro e urgente: la crisi climatica sta accelerando il deterioramento di ghiacciai montani, permafrost e calotte polari. Ignorare questo allarme significa esporre il nostro pianeta a rischi insostenibili, sotto molteplici aspetti. Eppure, nonostante la gravità della situazione, la COP29 si è conclusa ancora una volta con un accordo insoddisfacente, evidenziando una persistente mancanza di volontà politica e di azioni concrete per affrontare questa crisi globale.

Circa il 70% dell'acqua dolce della Terra è immagazzinata nei ghiacciai e nelle calotte polari, che costituiscono serbatoi vitali di acqua dolce. Questi, insieme alle altre componenti della criosfera (neve, ghiaccio marino, permafrost), sostengono ecosistemi e mezzi di sussistenza in tutto il pianeta. Tuttavia, la deglaciazione sta alterando profondamente alcuni processi fondamentali per gli ecosistemi, come il ciclo idrologico, modificando il deflusso e lo stoccaggio delle acque.

Le conseguenze di questo fenomeno globale sono già evidenti in vari luoghi della Terra: una riduzione significativa della disponibilità di acqua potabile nelle aree di alta quota, un calo della produttività agricola, crescenti difficoltà nell'irrigazione, oltre a impatti negativi sulla produzione di energia idroelettrica e sul settore turistico, in particolare sulle stazioni sciistiche. Anche gli ecosistemi, sia in alta quota sia nelle zone a valle, stanno subendo ripercussioni gravi e sempre più tangibili.

Il report della quinta edizione della *Carovana dei Ghiacciai*, la campagna internazionale promossa da Legambiente in collaborazione con CIPRA Italia e con il supporto scientifico del Comitato Glaciologico Italiano, offre anche quest'anno un bilancio sullo stato di salute dei ghiacciai alpini e degli ecosistemi di alta quota in Italia e all'estero (Francia e Slovenia). Nel corso dell'edizione sono stati osservati 12 ghiacciai: 10 situati in Italia e 2 all'estero.

Questa edizione del report vuole valorizzare il grande impegno dei ricercatori ed esperti che hanno collaborato con noi: una trentina di professionisti provenienti da oltre quindici enti di ricerca europei. Il loro contributo alla campagna mette in evidenza l'importanza della ricerca settoriale e interdisciplinare nel monitorare gli effetti della crisi climatica su questi fragili ecosistemi naturali.

Il viaggio di ricerca della Carovana dei Ghiacciai nelle Alpi non si è limitato a documentare l'impatto della crisi climatica sulla criosfera. Ha rappresentato anche un'importante occasione per approfondire i cambiamenti che interessano l'intero ambiente montano. Particolare attenzione è stata dedicata alle aree glaciali e ai loro dintorni, cogliendo l'opportunità di osservare le trasformazioni che coinvolgono gli ecosistemi montani nel loro complesso. La seconda parte del report, pur non esaustiva, traccia un quadro dei profondi e silenziosi mutamenti in corso, mettendo in luce gli enormi stravolgimenti che stanno trasformando i territori d'alta quota.

LA SITUAZIONE DEI GHIACCIAI ALPINI NEL 2024.

Dopo gli anni critici del 2022 e del 2023, segnati da gravi perdite di massa glaciale non solo sul versante meridionale dell'Arco Alpino, il 2024 non ha purtroppo portato il miglioramento sperato. Le elevate temperature registrate in agosto hanno annullato i benefici dell'abbondante neve primaverile: sui piccoli ghiacciai a quote più basse o nei settori sotto i 3000 metri, la neve è rapidamente scomparsa, lasciando tracce solo alle altitudini maggiori.

Si è registrata un'intensa fusione estiva che, esaurite le riserve di neve, ha iniziato a intaccare direttamente il ghiaccio, portando ancora una volta a bilanci di massa negativi. A peggiorare ulteriormente la situazione, gli strati di sabbia sahariana depositati da alcune perturbazioni primaverili hanno ridotto l'albedo della neve, favorendo un maggiore assorbimento delle radiazioni solari e accelerando il processo di fusione.

Se l'eccezionalità di quest'anno è stata rappresentata dalle abbondanti precipitazioni primaverili, la tendenza climatica al riscaldamento estivo, caratterizzato da frequenti ondate di calore e ripetuti superamenti della quota di zero termico oltre i 4000 metri, si è pienamente confermata, stabilendo nuovi record termici per il 2024, non solo sull'Arco Alpino.

In sintesi, sebbene i ricercatori segnalino che i bilanci di massa dei ghiacciai siano quasi ovunque negativi, essi risultano "moderatamente" anziché "decisamente" o "fortemente" negativi, nonostante un'estate climatica paragonabile a quelle del 2022 e del 2023. Il rischio di un nuovo disastro è stato scongiurato solo grazie agli accumuli nevosi primaverili.

I cambiamenti climatici in corso, oltre a determinare un aumento della temperatura media globale, stanno provocando significative variazioni nell'intensità e nella frequenza delle precipitazioni, sia solide che liquide. Questo fatto comporta un aumento degli eventi estremi, con forti **ripercussioni sulla criosfera**, in termini di **fenomeni instabilità**.

Un esempio emblematico è quello del ghiacciaio Tschierwa, situato sotto il Piz Bernina, la vetta più alta delle Alpi orientali, in Svizzera. Il 16 aprile 2024 si è verificata una delle più imponenti frane d'alta montagna della storia recente: 8-9 milioni di metri cubi di roccia e ghiaccio si sono staccati dalla montagna e sono rovinati a valle, erodendo il ghiacciaio. Fortunatamente, l'evento non ha causato danni a persone o edifici.

Un altro caso significativo è quello del rock glacier di Livigno, dove la degradazione del permafrost al suo interno ha provocato, durante l'estate scorsa, una serie di colate di detrito. Questi fenomeni si sono verificati in assenza di piogge, ma hanno comunque raggiunto il fondovalle, evidenziando l'impatto diretto dei cambiamenti climatici su queste delicate forme del paesaggio periglaciale.

Nubifragi e devastazioni nelle Alpi Occidentali. I nubifragi del 29-30 giugno scorso hanno causato profonde trasformazioni morfologiche in vaste aree delle Alpi Occidentali, con effetti particolarmente gravi in Valle d'Aosta e Alta Val Sesia.

In Valpelline, le intense piogge in quota hanno favorito il collasso della morena laterale del ghiacciaio Tza de Tzan, con effetti devastanti sulla piana proglaciale e su tutta l'Alta Valpelline. Il distacco di materiale dalla morena ha interessato una superficie complessiva di circa 70.000 m². Gli effetti si sono propagati lungo il Torrente Buthier de la Valpelline, sotto forma di erosioni spondali e di fondo, colate detritiche e trasporto torrentizio, fino all'imbocco della diga di Place Moulin. Qui sono giunti circa 6 milioni di m³ di acqua e detriti (fonte CVA).

CAMBIAMENTI CLIMATICI ED ECOSISTEMI MONTANI.

Il riscaldamento climatico non sta soltanto trasformando rapidamente la criosfera, ma il suo impatto si estende profondamente a molti aspetti dell'ambiente montano. Praterie, boschi e fiumi delle Alpi, che per secoli hanno costituito la base di un paesaggio culturale ricco e di una biodiversità unica, sono oggi gravemente minacciati. I cambiamenti nei sistemi fisico-chimici, negli ecosistemi e nel paesaggio geomorfologico stanno avvenendo a una velocità tale da compromettere le fragili condizioni di equilibrio naturale.

Tra le specie animali già colpite dai cambiamenti climatici vi sono alcuni ungulati, come il camoscio, che iniziano a risentirne. Ancora più vulnerabili sono specie come la pernice bianca, la lepre variabile e l'ermellino, che affrontano difficoltà crescenti a causa della riduzione del manto nevoso.

Il ritiro dei ghiacciai è accompagnato dall'espansione delle aree proglaciali, le quali stanno adattandosi alle nuove condizioni climatiche e ambientali. In queste zone, emergono nuovi ecosistemi con caratteristiche ecologiche potenzialmente adeguate a ospitare specie adattate al freddo. Secondo il progetto *Ice&Life*, si prevede che, entro il 2100, il declino dei ghiacciai escluse le calotte polari di Antartide e Groenlandia potrebbe generare nuovi ecosistemi terrestri, marini e di acqua dolce su una superficie compresa tra 147.000 e 338.000 km², equivalente rispettivamente alle dimensioni del Nepal e della Finlandia.

Nonostante la loro rilevanza, questi ecosistemi rimangono ancora poco considerati nelle politiche di conservazione della natura, e meno del 50% delle aree glacializzate ricade all'interno di aree protette. È quindi fondamentale istituire nuove aree protette dedicate agli ecosistemi glaciali e periglaciali, oltre a dare priorità agli obiettivi di conservazione e ripristino di questi habitat fragili.

Per raggiungere tali obiettivi, è essenziale applicare i risultati e le raccomandazioni dell'IPCC, favorendo un dialogo costruttivo tra scienza e politica, affinché le azioni di tutela possano diventare una componente centrale delle strategie globali di adattamento e mitigazione ai cambiamenti climatici.

Attraverso questo report, Legambiente insieme a CIPRA e al Comitato Glaciologico Italiano rilanciano la **road map per la tutela degli ecosistemi e della biodiversità in alta quota**. Sono sei le azioni previste a livello europeo e altrettante da realizzare su scala pan-alpina, con l'obiettivo di promuovere una gestione efficace e una protezione adeguata di queste aree fragili e importanti.

Nel dicembre 2022, l'Assemblea Generale delle Nazioni Unite ha adottato la risoluzione A/RES/77/158, dichiarando il 2025 Anno Internazionale della Conservazione dei Ghiacciai (IYGP 2025). Inoltre, è stata proclamata la "Giornata Mondiale dei Ghiacciai", che si celebrerà il 21 marzo di ogni anno a partire dal 2025. Questa iniziativa rappresenta una preziosa opportunità per le istituzioni di ascoltare i suggerimenti provenienti dal mondo della ricerca e della protezione ambientale, e di intraprendere azioni concrete per cambiare rotta nella tutela di questi ecosistemi cruciali.

ITINERARIO E CALENDARIO

01

05/08

GHIACCIAIO DEI FORNI

[VALTELLINA,
LOMBARDIA, ITALIA]

02

18-19/08

GHIACCIAIO MER DE GLACE

[CHAMONIX - MONT BLANC,
ALTA SAVOIA, FRANCIA]

03

19-22/08

GHIACCIAI DELLA VALPELLINE

[VALPELLINE,
VALLE D'AOSTA, ITALIA]

04

22-26/08

GHIACCIAIO DI FLUA

[VALSESIA,
PIEMONTE, ITALIA]

05

28-31/08

GHIACCIAIO FELLARÀ

[VALMALENCO,
LOMBARDIA, ITALIA]

06

31/08 - 05/09

GHIACCIAI DELLE ALPI GIULIE

[FRIULI VENEZIA GIULIA,
ITALIA - SLOVENIA]

07

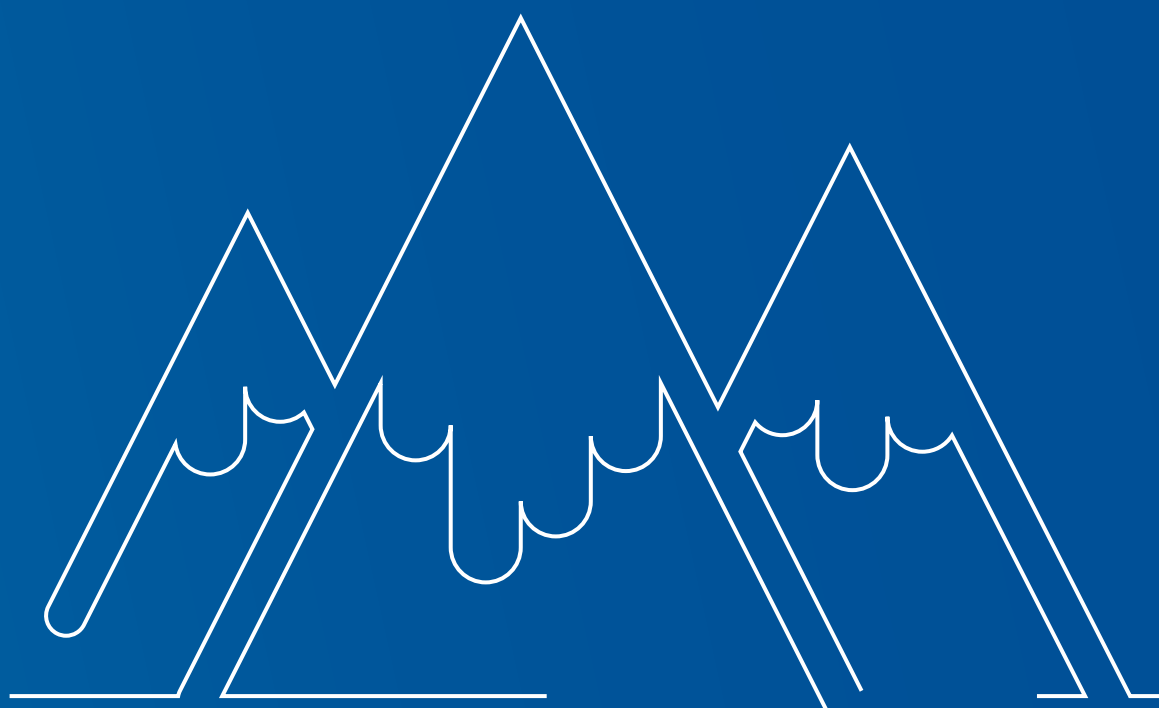
05-09/09

GHIACCIAIO MARMOLADA

[VENETO -
TRENTINO, ITALIA]



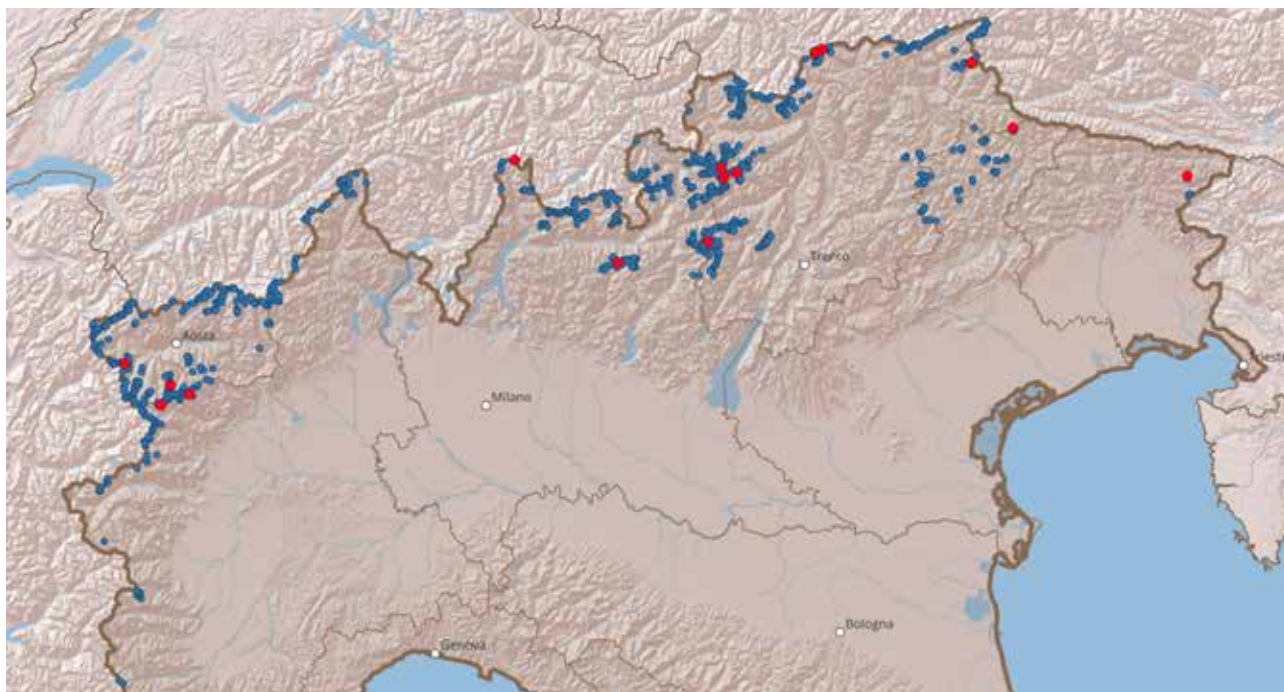
PRIMA PARTE
STATO DI SALUTE DEI GHIACCIAI ALPINI



LA SITUAZIONE DEI GHIACCIAI ITALIANI NEL 2024

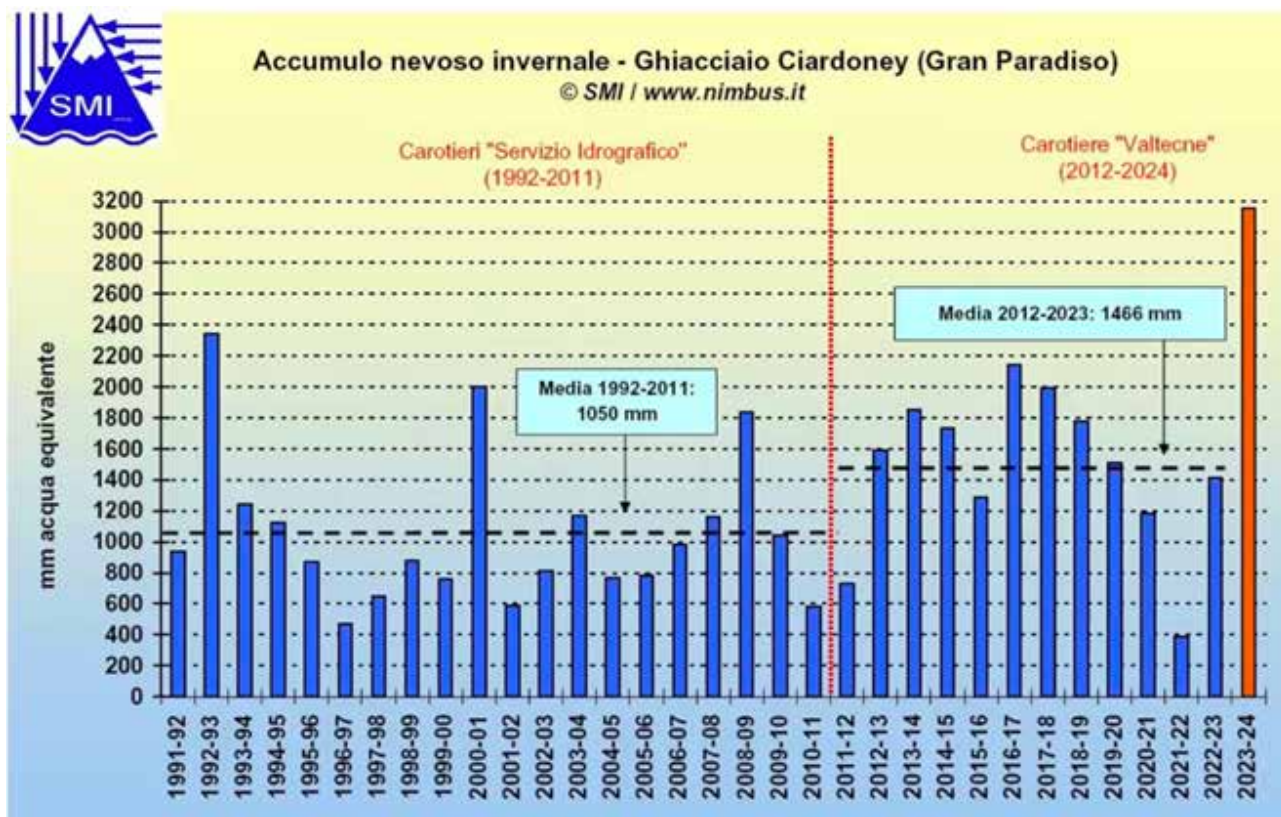
Il 2024 si è differenziato dalle due annate precedenti soprattutto per la consistente copertura nevosa con cui quasi tutti i ghiacciai dell'Arco Alpino Italiano si sono presentati tra la fine della primavera e l'inizio della stagione di ablazione estiva.

Com'è noto, per i ghiacciai la copertura di neve equivale allo strato adiposo che gli animali che vivono in ambienti freddi cercano di accumulare nei mesi in cui c'è più cibo per poter sopravvivere quando la temperatura scende e il nutrimento si fa scarso. Quando le "scorte" sono sufficienti in relazione alle condizioni ambientali da affrontare, entrambi riescono a non deperire al punto di dover intaccare anche le loro "masse magre" (il ghiaccio per i primi e i muscoli per i secondi) ed ottengono anche margini di recupero più ampi con cui affrontare il ciclo successivo.



Distribuzione dei ghiacciai italiani. Sono evidenziate in rosso le ubicazioni di quelli per cui viene regolarmente eseguito il bilancio di massa con l'invio dei dati al Comitato Glaciologico Italiano

Il bilancio di massa è la verifica in due fasi che viene condotta annualmente su un certo numero di ghiacciai-campione proprio per determinare prima “la condizione di forma” alla fine della stagione invernale - quando, in teoria, dovrebbero essere al massimo - e poi al termine della stagione di ablazione per fare appunto un bilancio di come i soggetti “se la siano passata” quanto a variazione di massa glaciale per l’anno in corso. Le annate 2022 e 2023, si ricorderà qui brevemente, sono state fortemente negative e non solo sul versante meridionale dell’Arco Alpino.



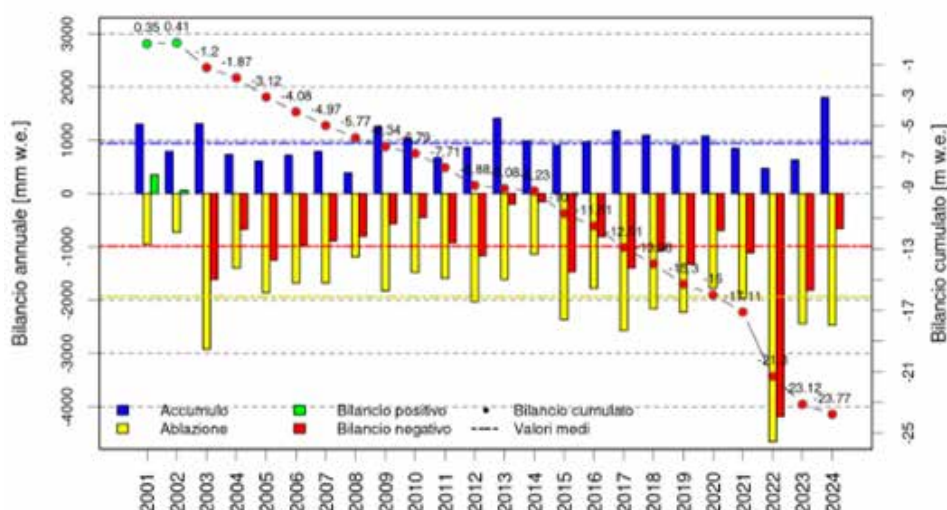
Il 2024 ha rappresentato un anno record per l'innevamento del Ghiacciaio del Ciardoney in Valle dell'Orco (versante piemontese del Gran Paradiso). Tuttavia, a settembre la neve residua è stata scarsissima. Fonte: Società Meteorologica Italiana - Nimbus

Quella del 2022, in particolare, ha rappresentato una “tempesta perfetta” combinando una quasi assenza di precipitazioni invernali - che ha fatto sì che già alla fine di giugno i ghiacciai si presentassero completamente scoperti fino alle quote più elevate - con una serie eccezionale di ondate di calore durante l'estate. Di conseguenza i dati di bilanci di massa riferiti ad essa sono quasi sempre saliti sul “podio della negatività” per le serie di dati disponibili. Quella del 2023 è risultata appena meno catastrofica perché nella sola tarda primavera si sono verificate alcune nevicate che tuttavia hanno portato poco di sollievo ai ghiacciai.

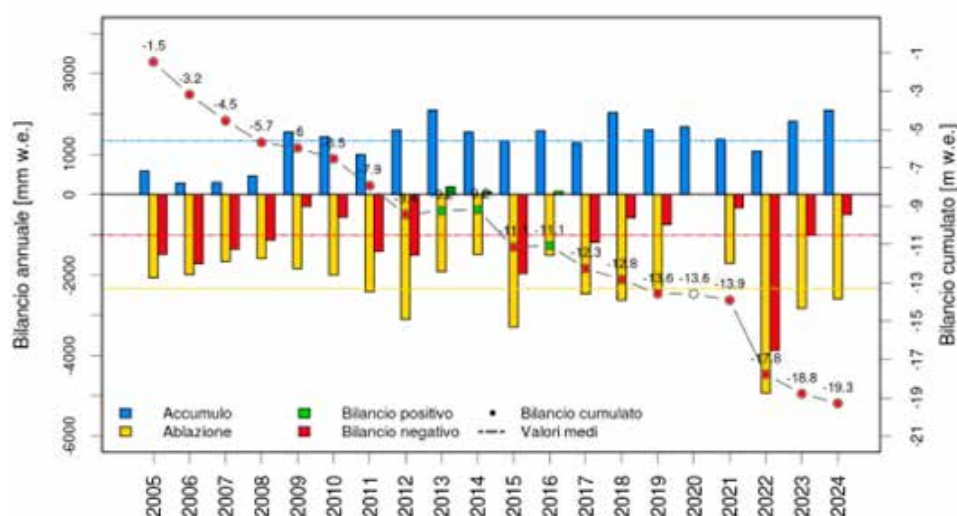
Le temperature estive sono però state nuovamente elevatissime - la stazione meteorologica della Capanna Margherita, il rifugio più alto d'Europa ai 4554 metri della Punta Gnifetti nel Gruppo del Monte Rosa ha raggiunto il record di giornate con il termometro sempre sopra lo zero - e i bilanci di massa sono complessivamente risultati di nuovo fortemente sfavorevoli.

Una buona parte della stagione invernale 2023-2024, tra ottobre/novembre e febbraio è stata piuttosto “opaca”, in quanto alle precipitazioni nevose avvenute in quei mesi sono quasi sempre seguiti periodi più miti con tempo asciutto o con innalzamento di quota del limite tra precipitazioni liquide e solide. Ma dalle prime settimane di marzo è nevicato per davvero.

Ghiacciaio di Timorion - Bilancio di massa



Ghiacciaio del Rutor - Bilancio di massa



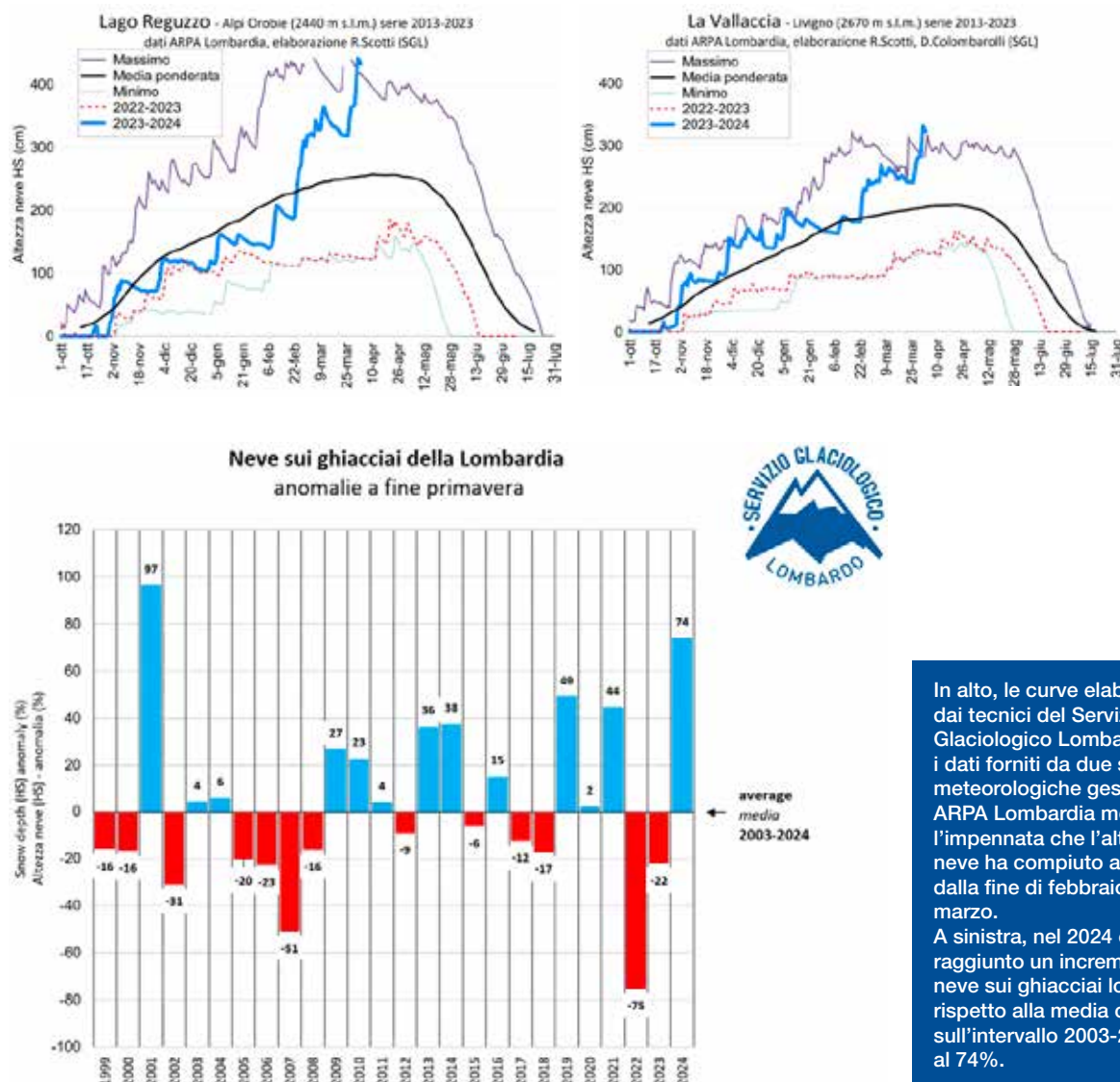
Innevamento molto abbondante anche per i due ghiacciai valdostani del Timorion (Valgrisanche) e del Rutor (Valle di La Thuile) monitorati da ARPA Valle d'Aosta. Entrambi i bilanci di massa si sono tuttavia conclusi con un segno meno, ma le perdite sono state contenute, se paragonate a quelle del 2022. Fonte: ARPA Valle d'Aosta

Quanto, soprattutto in confronto alle situazioni degli anni precedenti, lo dicono i risultati dei bilanci di massa definiti tecnicamente “invernali” (anche se sono eseguiti solitamente a maggio), come già detto quelli in cui si valuta lo spessore e la densità dell'accumulo di neve sul ghiacciaio.

Per le Alpi Occidentali i siti che hanno le serie di dati più complete sono quelli del Ghiacciaio Ciardoney e del

Grand Etr t, entrambi all'interno del Parco Nazionale del Gran Paradiso (in Valle dell'Orco sul versante piemontese il primo, nella valdostana Val Savarenche il secondo), il Ghiacciaio di Timorion in Valgrisenche e il Ghiacciaio del Rutor nella Valle di La Thuile, anche questi in Valle d'Aosta.

Il primo riscontro stagionale di 3150 millimetri di acqua equivalente per il Ciardoney   stato valutato come "straordinariamente positivo" dalla Societ  Meteorologica Italiana che lo monitora. L'accumulo di neve viene espresso in millimetri di acqua equivalente (water equivalent in inglese, abbreviato in "w.e."), ovvero l'altezza in millimetri della colonna d'acqua per unit  di superficie che si otterrebbe facendo fondere la neve. Si tenga presente che il manto nevoso non viene valutato solo in base alla sua altezza, ma ne viene calcolata anche la densit  (pi    denso, maggiore   la resistenza alla fusione). **Nel giugno del 2022 il risultato era stato di soli 390 millimetri di acqua equivalente, 8 volte di meno.**



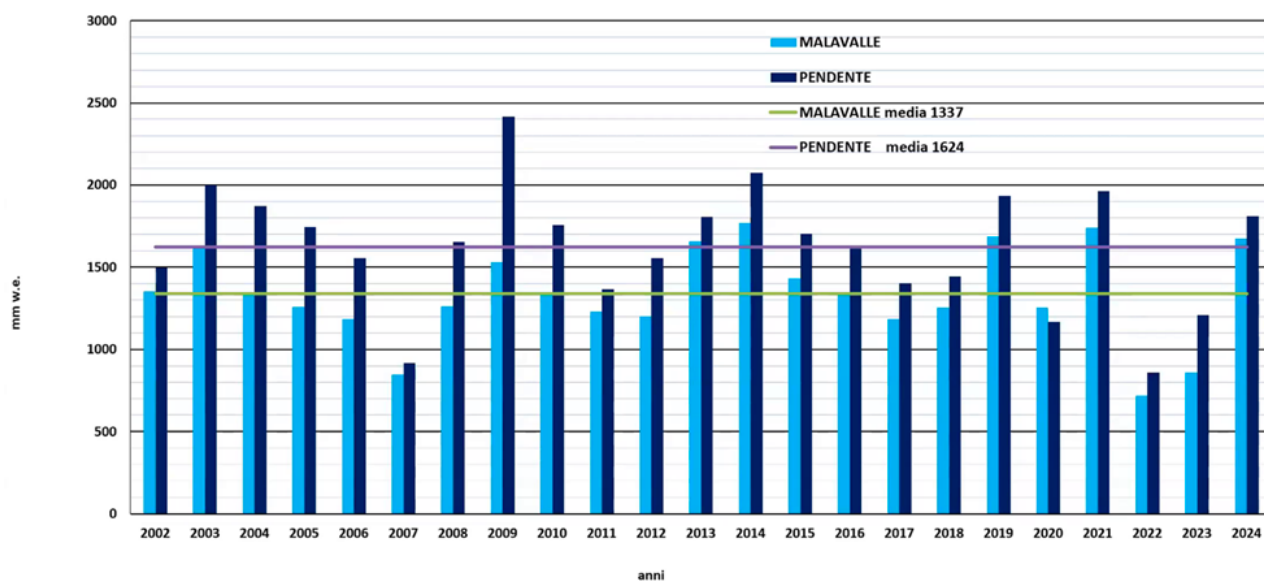
In alto, le curve elaborate dai tecnici del Servizio Glaciologico Lombardo con i dati forniti da due stazioni meteorologiche gestite da ARPA Lombardia mostrano l'impennata che l'altezza della neve ha compiuto a partire dalla fine di febbraio - primi di marzo.

A sinistra, nel 2024   stato raggiunto un incremento della neve sui ghiacciai lombardi rispetto alla media calcolata sull'intervallo 2003-2024 pari al 74%.

Anche per il Ghiacciaio del Gran Etr t, osservato dal personale di sorveglianza del Parco del Gran Paradiso, il risultato   stato molto buono con 1819 millimetri w.e., il 20% in pi  della media calcolata su una serie di dati che parte dai primi anni novanta.

Indicazioni pi  che confortanti (sempre in riferimento ai soli bilanci invernali) sono giunte anche dagli altri due ghiacciai valdostani su cui viene eseguito il bilancio di massa da ARPA Valle d'Aosta, il Timorion e il Rutor. Per il primo, il dato di 1800 millimetri di acqua equivalente si porta al primo posto tra quelli dei 23 anni della serie di monitoraggi mentre per il secondo, quello di 2092 millimetri di acqua equivalente si piazza subito dietro il massimo del 2013, sempre all'interno di un ventennio di misurazioni.

ACCUMULI INVERNALI MALAVALLE E PENDENTE 2002-2024



Anche sui ghiacciai dell'Alto Adige l'innevamento misurato durante l'esecuzione del bilancio invernale è stato buono, anche se non al livello delle quantità registrate per i siti delle Alpi Occidentali, della Lombardia e del Trentino. In alto il Ghiacciaio di Malavalle (Val Ridanna, Vipiteno) come si presentava ai primi di maggio. A sinistra, esecuzione di una trincea per la valutazione dello spessore del manto nevoso. Foto di G. Franchi.



Luglio 2024: In questa ripresa da drone del Ghiacciaio della Mare (Gruppo Ortles-Cevedale, Val Venezia) è ben visibile la colorazione assunta dalla neve per effetto delle polveri sahariane arrivate con alcune delle perturbazioni primaverili. Questa presenza "esotica" riduce l'albedo della neve velocizzandone la fusione. Foto di Commissione Glaciologica SAT - Società Alpinisti Tridentini.

Passando alle **Alpi Centrali**, il Servizio Glaciologico Lombardo ha calcolato complessivamente per i ghiacciai monitorati il **74% di innevamento in più rispetto alla media**. Dai rilievi per il Pian di Neve dell'Adamello (il grande altipiano che corrisponde al principale bacino di accumulo del più grande ghiacciaio italiano) a cui partecipano, oltre all'SGL, anche la Commissione Glaciologica della SAT (Società Alpinisti Tridentini), Il MUSE e la Provincia di Trento sono risultati 6 metri di accumulo nevoso, dato anche in questo caso se non eccezionale, comunque più che ottimo. Per il Ghiacciaio del Careser, nel Gruppo dell'Ortles-Cevedale, i tecnici della Provincia di Trento hanno segnalato 1891 millimetri di acqua equivalente, misura appena inferiore al massimo del 1977 (1900 mm) su una serie di 58 anni. "Soltanto" buona la situazione in Alto Adige, con un 40% di innevamento per il Ghiacciaio della Vedretta Lunga in Val Martello che è sceso ad un ancora apprezzabile 20% per il Ghiacciaio della Vedretta di Ries in Valle Aurina, più a Nord-Est.

Positiva anche la situazione in Val Ridanna (Vipiteno) per i ghiacciai di Malavalle e della Vedretta Pendente: una media di 3,5 metri di neve ben addensata per il primo (nel 2019 e nel 2021 si erano tuttavia superati i 4 metri) e quantitativi anche superiori per il secondo nonostante si trovi ad una quota più bassa. **Non ha certo rappresentato un'eccezione il Montasio, il ghiacciaio friulano che si trova più a est in Italia, che dopo due annate piuttosto magre per quelli che sono i suoi standard è ritornato "ad alto livello" con 6,5 metri (a 1900 metri di quota!), misura inferiore solo ai 7,4 metri del 2012.**



Nonostante i 6 metri di neve misurati in tarda primavera sul Pian di Neve del Ghiacciaio dell'Adamello, a settembre la fronte della lingua del Mandrone si presenta completamente scoperta. Prosegue inoltre l'espansione dei caratteristici collassi circolari dovuti alla contrazione della massa glaciale. Foto di Commissione Glaciologica SAT - Società Alpinisti Tridentini.

In tempi non sospetti, da questo primo quadro quasi "idilliaco" ci si sarebbe potuti aspettare che **dopo il secondo "giro" di rilevamenti ripetuti alla fine della stagione di ablazione il bilancio finale complessivo per i ghiacciai italiani meritasse almeno una piena sufficienza, con la maggior parte dell'equivalente in acqua di ghiaccio e neve persi durante l'estate inferiore o almeno pari a quello "guadagnato" nella prima parte dell'anno.**

Anche per il 2024, purtroppo, non è stato ancora così.

Al momento della redazione di questo report, per molti dei ghiacciai precedentemente citati sono già disponibili i risultati finali o comunque "exit poll" abbastanza chiari (le perdite in termini di acqua equivalente elencate di seguito sono quindi da intendersi come nette):

- ❑ Ghiacciaio Ciardoney (Gran Paradiso, Piemonte): - 1050 millimetri di acqua equivalente
- ❑ Ghiacciaio del Grand Etrét (Valsavaranche, Valle d'Aosta): -1200 millimetri di acqua equivalente
- ❑ Ghiacciaio di Timorion (Valgrisenche, Valle d'Aosta): -654 millimetri di acqua equivalente.
- ❑ Ghiacciaio del Rutor (La Thuile, Valle d'Aosta): -506 millimetri di acqua equivalente.
- ❑ Il Servizio Glaciologico Lombardo non ha ancora terminato di elaborare i suoi dati di bilancio perché dopo i mesi di settembre e ottobre in cui si sono succedute giornate più fresche ad altre più miti con piogge anche in quota, ad inizio novembre l'ablazione di alcuni dei ghiacciai monitorati è risultata ancora in corso.

In Trentino

- ❑ Ghiacciaio del Mandrone (Adamello, Trentino): perdita di spessore nel settore frontale di 3 metri ed effetti della fusione fino a 3100 metri di quota.
- ❑ Ghiacciaio del Careser (Gruppo Ortles - Cevedale): 190 centimetri in media di perdita di spessore.

Per l'Alto Adige

- ❑ Ghiacciai della Vedretta Lunga (Val Martello) e della Vedretta di Ries (Valle Aurina): perdita di spessore sulle lingue tra il metro e mezzo e i due metri.
- ❑ Ghiacciaio di Malavalle (Val Ridanna): - 1546 millimetri di acqua equivalente.
- ❑ Ghiacciaio della Vedretta Pendente (Val Ridanna): -1836 millimetri di acqua equivalente

In Friuli il Ghiacciaio del Montasio ha potuto consolidare la sua fama di “ghiacciaio resistente” facendo registrare un guadagno di 200 millimetri di acqua equivalente. Probabilmente risulterà come l'unico “segno più” dell'Arco Alpino per il 2024.

Il dato oggettivo è che **per effetto delle temperature di una ventina di giorni di agosto tutta quella neve è fusa quasi completamente sui piccoli ghiacciai posti alle quote più basse o sui settori inferiori ai 3000 metri e ne è rimasta traccia solo alle quote superiori. Ma non solo, la fusione estiva è stata nuovamente così intensa che, “finito il lavoro” con la neve, è stata ancora in grado di intaccare quantità di ghiaccio tali da far chiudere ancora con il segno meno i bilanci di massa. Oltre alle temperature ha giocato anche un ruolo non così secondario anche la presenza degli strati di sabbia sahariana lasciati da alcune perturbazioni primaverili che hanno ridotto l'albedo della neve e aumentato l'assorbimento delle radiazioni solari.**

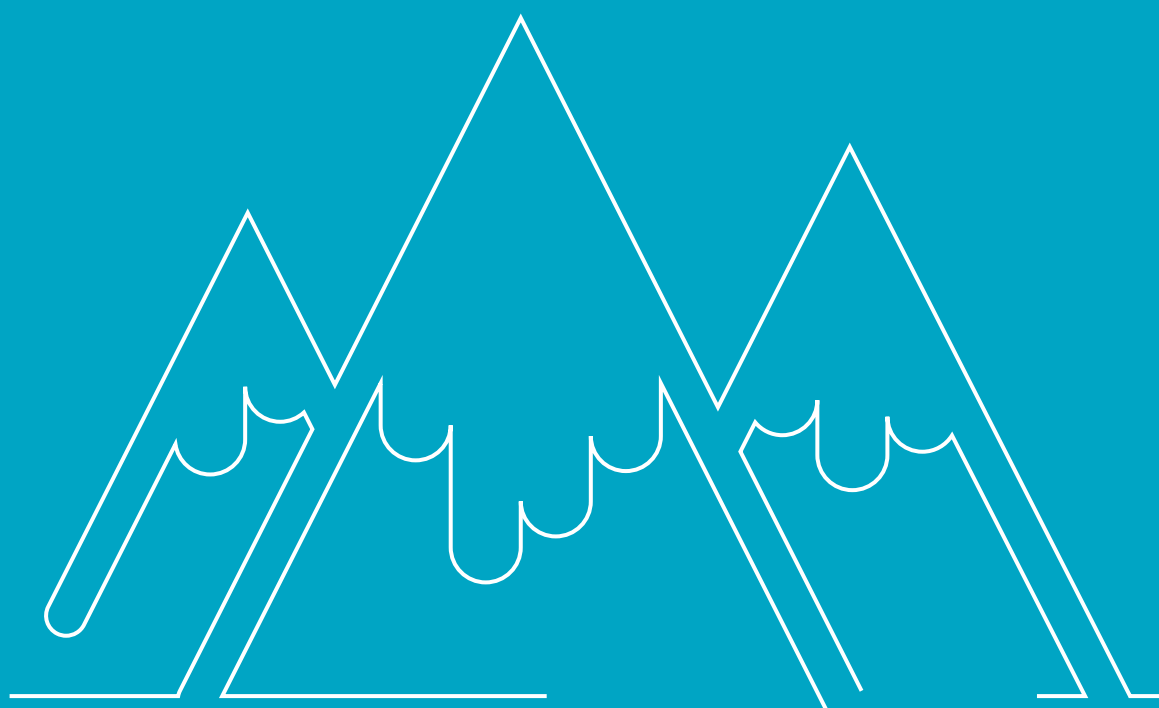
A scanso di equivoci, bisogna sottolineare che il fenomeno dell'ablazione - la fusione del ghiaccio durante i mesi più caldi dell'annoso - si è sempre verificato per i ghiacciai alpini, anche ai tempi della Piccola Età Glaciale. **Il pessimismo esternato dai glaciologi negli ultimi decenni non è dovuto quindi semplicemente al fatto che ogni anno le misure che compiono attestino che si è fuso del ghiaccio, ma a quello che tutto quello che risulta “andato” alla fine della stagione in termini di millimetri di acqua equivalente è ormai sempre maggiore (e spesso molto maggiore) di quello c'era prima dell'estate (la somma della quantità ghiaccio rimasto dall'anno precedente e degli apporti di neve invernali).**

Certamente si può commentare il 2024 guardando il bicchiere sia mezzo pieno, sia mezzo vuoto.

Nel primo caso è indubbio che per bilanci di massa l'avverbio più usato per caratterizzare l'aggettivo “negativo” è risultato essere “moderatamente” anziché “decisamente” o “fortemente”, nonostante una situazione climatica estiva analoga a quella delle annate 2022 e 2023 che, come già detto più volte, sono state tra le più sfavorevoli per i ghiacciai.

Nel secondo, invece, andrebbe considerato che si è scongiurato un nuovo disastro solo perché quest'anno gli accumuli nevosi di molti ghiacciai si sono avvicinati ai valori massimi delle loro serie di misure e quindi l'eccezionalità è stata rappresentata solo dalle precipitazioni primaverili. La tendenza climatica estiva, con tutte le sue ondate di calore e i frequenti sforamenti della soglia dei 4000 metri di quota da parte dello zero termico, si è invece pienamente riconfermata e non solo sull'Arco Alpino: secondo il [Goddard Institute of Space Studies \(GISS\) della NASA](#) l'estate 2023 è stata la più calda mai registrata sulla terra di una serie di dati globali che parte dal 1880 mentre il [servizio di osservazione satellitare Copernicus ECMWF](#) considera ormai “virtualmente certo” che il 2024 vada a stabilire un nuovo record.

I GHIACCIAI **DELLE ALPI OCCIDENTALI**



GHIACCIAIO MER DE GLACE (FR)

**[CHAMONIX -
MONT BLANC,
ALTA SAVOIA, FRANCIA]**



La Mer de Glace, il “Mare di Ghiaccio” è sicuramente il più famoso e conosciuto ghiacciaio francese, se non d’Europa dividendo il podio con quello svizzero dell’Aletsch (anche in italiano lo si nomina con l’articolo accordato al genere femminile che “mare” prende nella lingua d’Oltralpe). Per la precisione, la “Mer de Glace” vera e propria è solamente il tratto di lingua a valle della confluenza tra il Ghiacciaio di Leschaux, il cui bacino di alimentazione si trova ai piedi dalla famosa parete Nord delle Grandes Jorasses, e il Ghiacciaio del Tacul. Quest’ultimo viene a sua volta generato dalla confluenza tra il Ghiacciaio delle Périades ed il vasto Ghiacciaio del Gigante

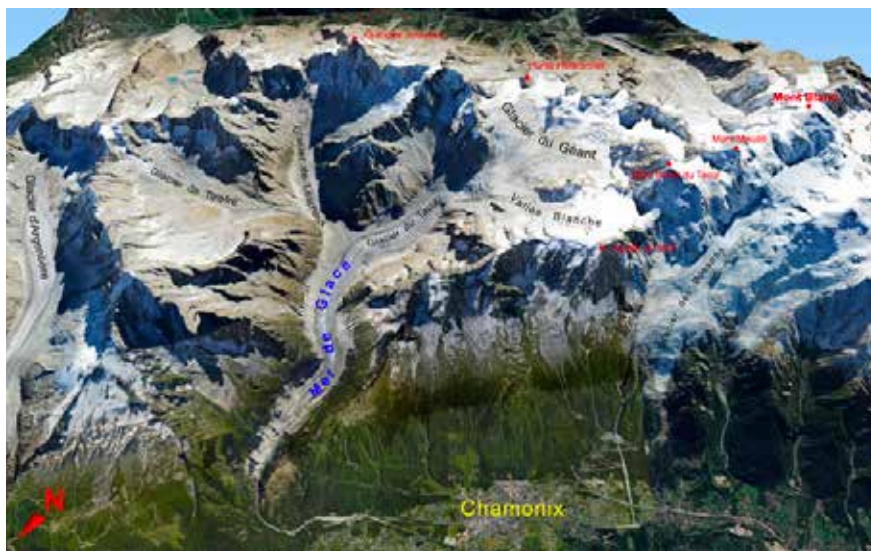
Si tratta anche del primo ghiacciaio al mondo ad essere considerato come una vera e propria attrattiva turistica. Già a partire dalla fine del XVIII secolo la vicinanza con Ginevra, principale base di partenza per i viaggiatori stranieri – soprattutto inglesi – che volevano esplorare le Alpi Occidentali fece sì che la Valle di Chamonix venisse molto frequentata per i panorami offerti dalla catena del Monte Bianco e dallo spettacolo del “Mare di Ghiaccio”, la cui fronte, allora, raggiungeva il fondovalle principale. Ai “touristes” va anche il merito di aver prodotto per questo ghiacciaio una vasta documentazione iconografica ben prima dell’avvento della fotografia. Nella seconda metà dell’Ottocento il flusso dei visitatori era già tale da suscitare l’interesse di un gruppo di imprenditori per la realizzazione di una linea ferroviaria a crema-

TIPO	HIMALAYANO
FORMA	VALLIVO
ALIMENTAZIONE	DIRETTA, VALANGHE
ESPOSIZIONE	VARIA
SUPERFICIE	27 KM² (2020)
QUOTA MAX BACINO	4665 M (MONT MAUDIT)
QUOTA MAX	3700 M
QUOTA MIN	1500 M
ATTIVITÀ	REGRESSO

gliera che collegasse Chamonix con sito panoramico di Montenvers. Il progetto venne peraltro inizialmente osteggiato proprio dalla comunità di Chamonix, nella quale molti vivevano principalmente dell’attività di guida degli escursionisti che dovevano raggiungere a piedi il ghiacciaio (la località savoiarda è stata la prima al mondo a fondare la propria “Compagnie des Guides” nel 1821).

Dopo alcune lungaggini burocratiche e progettuali, il cantiere prese il via nel 1901 e la linea venne inaugurata nel 1909.

Il belvedere del Montenvers, quindi, è sempre stato un punto di riferimento non solo per ammirare il panorama, ma anche per osservare l’evoluzione del ghiacciaio.



Il grandioso bacino della Mer de Glace, formato dai ghiacciai di Leschaux, del Tacul, del Gigante e la lingua valliva, la Mer de Glace “sensu stricto”. Quando il Ghiacciaio di Taléfre ancora confluiva nel Ghiacciaio di Leschaux (fino anni Cinquanta del secolo scorso), l'intera superficie glacializzata di tutti questi settori (Mer de Glace “in senso lato” arrivava a 40 chilometri quadri. Dopo l'esclusione del Ghiacciaio di Taléfre dal resto della “rete” glaciale in conseguenza della cesura della sua lingua, nel 2008 l'area era di 30 km². Attualmente la si valuta tra i 27 e i 28 km², pur sempre il doppio di quella del più esteso ghiacciaio italiano, l'Adamello.



In questa immagine anteriore al 1886 la fronte della Mer de Glace raggiunge il fondovalle di Chamonix (ovviamente molto meno antropizzato). Rispetto ad allora la fronte è retrocessa di quasi tre chilometri lineari e si è innalzata di 500 metri. Archivio ETH Zurigo.



A sinistra, la Mer de Glace in corrispondenza della stazione di Montenvers negli anni 50, quando il dislivello per raggiungere la superficie era quantificabile in decine di metri e non in centinaia come per gli ultimi anni (Archivio ETH Zurigo). A destra, nel 2024. Foto di S. Perona.



La grotta scavata artificialmente nel ghiaccio, ancora una delle attrazioni turistiche più gettonate della Mer de Glace. In questo caso i teli vengono utilizzati per preservare uno spessore sufficiente della volta ed evitare crolli. Per raggiungere la superficie del ghiacciaio dalla stazione di Montenvers è necessario percorrere una lunga successione di scale metalliche che si appoggia ad una parete di rocce levigate alta 300 metri, in attesa dell'inaugurazione di un nuovo impianto a fune che le sostituisca. Foto di D. Fricano.

In questo settore, dal 1850 ad oggi, la superficie del ghiacciaio si è abbassata di 300 metri. L'accelerazione più significativa è però avvenuta a partire dagli anni Novanta del Novecento, con 190 metri persi solamente nel corso dell'ultimo trentennio.

Questo profondo mutamento ha avuto sensibili ripercussioni anche sulla percezione di attrattività turistica del ghiacciaio da parte del grande pubblico, soprattutto adesso che l'interesse paesaggistico e naturalistico di un sito sembrano non poter più prescindere dal suo potenziale di "instagrammabilità" sui social media.

Certamente la Mer de Glace non ha più quell'aspetto di grandiosa fiumana di ghiaccio increspata dalle crepacciature proprio perché la lingua valliva si presenta smagrita e sempre più coperta da detrito. Per la Mer de Glace l'aggettivo "smagrita" è tuttavia sempre relativo: anche nelle condizioni attuali lo spessore di ghiaccio in corrispondenza della confluenza Leschaux - Tacul raggiunge i 200 metri. Ludovic Ravanel, ricercatore dell'EDYTEM (Laboratory of Environment Dynamics and Territories of the Mountain), ma anche appartenente ad una delle più antiche dinastie di guide alpine di Chamonix, durante l'alta stagione turistica dedica tuttavia moltissimo tempo a far prendere coscienza alla folla di visitatori che a Montenvers non c'è solo il Ghiacciaio della Mer de Glace e se quindi questo non mantiene più le aspettative che si attenderebbero da un'attrattiva che nei due secoli precedenti ha richiamato milioni di visitatori, tanto vale risparmiarne il costo del biglietto del treno.

Ci si trova comunque nel cuore del Massiccio del Monte Bianco e nella culla della glaciologia, in un enorme museo di storia naturale a cielo aperto che può ancora offrire lo spettacolo di altre dinamiche grandiose che scaturiscono proprio dal venir meno di quelle glaciali.

Quello che Ravanel cerca di comunicare, insomma, è che il ritiro dei ghiacciai non rende la montagna meno interessante o addirittura "più brutta" ma va interpretato come una fase di passaggio verso altri scenari affascinanti, che semmai richiedono un minimo di sensibilizzazione in più per essere apprezzati per quello che valgono.

Queste considerazioni non devono però nemmeno stemperare la consapevolezza che il cambiamento climatico in atto richiede degli adattamenti, non già agli operatori turistici, almeno a breve termine, in quanto Chamonix rimane una meta di rinomanza mondiale. I professionisti della montagna, invece, si stanno già da qualche tempo rendendo conto che su molti itinerari considerati "classici" e prima proposti abitualmente alla clientela la corretta valutazione dei pericoli oggettivi si sta facendo più delicata.



Come per molti altri casi nell'Arco Alpino, le morene laterali della Mer de Glace non hanno più il sostegno del ghiacciaio che dalla Piccola Età Glaciale si è abbassato di 300 metri. Sono così soggette a fenomeni di instabilità gravitativa, accentuati dagli eventi alluvionali estremi che si stanno verificando sempre più frequentemente negli ultimi anni. Foto di S. Perona.

Nell'epoca d'oro dell'alpinismo, infatti, si diceva in gergo che una salita fosse "in condizioni" o meno soprattutto in relazione alla qualità del ghiaccio e della neve presenti che potevano attenuare (o aumentare) le difficoltà tecniche della progressione con pizzo e ramponi. Negli ultimi anni invece, nel Bianco come nel resto dell'Arco Alpino, la percorribilità di molti itinerari è diventata una questione di quantità ridotta o del tutto assente rispetto a prima delle fasi solide dell'acqua. Bisogna allora fare i conti con la comparsa di sezioni di roccia non superabili direttamente o pericolose perché fratturati ed instabili.

Sempre più oggetto di monitoraggio sta diventando anche la degradazione del permafrost che può generare cadute di massi o anche fenomeni di crollo rilevanti e imprevisi anche su pareti in quota di sola roccia.

Secondo gli studi compiuti da Ravanel e Philip Deline (anch'egli ricercatore dell'EDYTEM nonché professore di Geomorfologia Alpina presso l'Université de Savoie - Mont Blanc di Chambéry) prendendo in considerazione un intervallo temporale che va dal 1930 ad oggi, un aumento di 1,7°C di temperatura ha avuto conseguenze dirette sulla frequenza dei crolli di pareti rocciose nel settore del Monte Bianco: se la media di questi era di cinque all'anno nell'intervallo 1940-1950, in quello 2000-2010 è più che raddoppiata arrivando a 12. In particolare, nella zona del Drus e delle Aiguilles de Chamonix, sul totale dei crolli avvenuti dalla fine della PEG (anno 1850) più di 85% sono stati registrati dagli anni 1990 fino ad oggi, in appena 3 decenni.



Crollo dal Petit Dru (in destra orografica della Mer de Glace) del 29 settembre 2005. Due mesi prima i un altro evento, sempre sulla stessa parete, era crollato il pilastro che identificava la storica via di Walter Bonatti del 1955. Foto di J.C. Beche.



Con la contrazione della Mer de Glace e l'aumento della sua copertura detritica sta diventando sempre meno visibile il fenomeno delle "ogive di Forbes", le caratteristiche alternanze di bande semilunate chiare e scure spesso mostrata anche dalle lingue vallive dei grandi ghiacciai extra-europei. Lo scienziato e glaciologo inglese James David Forbes fu il primo a studiarne la formazione, proprio qui, verso la metà del XIX secolo. Il Ghiacciaio del Tacul, che raccorda il grande bacino superiore del Ghiacciaio del Gigante con la piatta lingua valliva della Mer de Glace "sensu stricto" è molto crepacciato perché la velocità di flusso del ghiaccio aumenta per effetto del cambio di pendenza. I grandi crepacci trasversali si riempiono di detriti e polveri durante la stagione estiva e di neve durante quella invernale ed è da questo ciclo che genera le bande. Il motivo della forma ogivale delle bande è facilmente comprensibile se si pensa alla lingua come ad un fiume di ghiaccio, piuttosto che ad un "mare": la "corrente glaciale" diminuisce gradatamente dal centro verso i bordi. In questa immagine del 1964 le ogive sono molto evidenti. Archivio ETH Zurigo.

LA VALPELLINE E I GHIACCIAI DI TZA DE TZAN E DELLE GRANDES MURAILLES

[VALPELLINE,
VALLE D'AOSTA, ITALIA]



La Valpelline è la più importante valle laterale del Vallone del Gran San Bernardo. Il tratto a monte della biforcazione per la Conca di Ollomont prende il nome di Valle di Bionaz, conosciuta soprattutto per la presenza del grande bacino idroelettrico di Place Moulin, sbarrato da una tra le più imponenti dighe europee. Il Ghiacciaio di Tza de Tzan e delle Grandes Murailles ne coronano ancora la testata. Per quanto i loro nomi possa risultare meno noto rispetto a quello di altri grandi ghiacciai valdostani dei gruppi del Monte Bianco, del Gran Paradiso o del Monte Rosa, sono quanto rimane di quello che alla fine della PEG costituiva un esempio di ghiacciaio vallivo tra i più grandiosi e che ora potrebbe detenere per la Valle d'Aosta il triste primato del maggior regresso frontale da quel periodo, con quasi 7 chilometri.

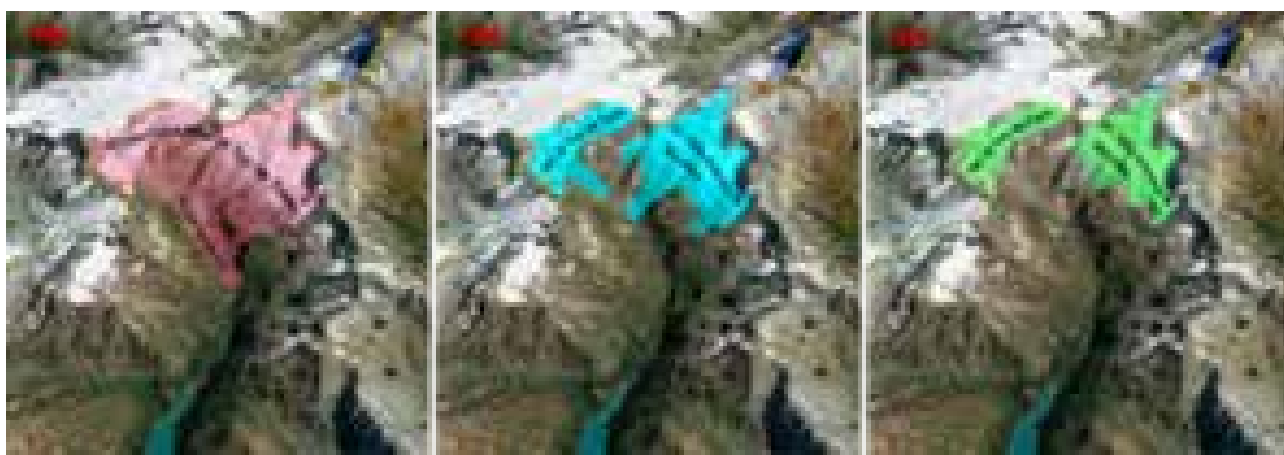


GHIAICIAIO DI TZA DE TZAN

NUMERO CATASTO C.G.I	259
TIPO	MONTANO
FORMA	PENDIO
ALIMENTAZIONE	DIRETTA
ESPOSIZIONE	SUD
SUPERFICIE	3 KM ² (2019 CATASTO RAVDA)
QUOTA MAX BACINO	3835 M
QUOTA MAX	3797
QUOTA MIN	2859
ATTIVITÀ	REGRESSO

GHIAICIAIO DELLE GRANDES MURAILLES

NUMERO CATASTO C.G.I	260
TIPO	MONTANO
FORMA	PENDIO
ALIMENTAZIONE	DIRETTA, VALANGHE
ESPOSIZIONE	SUD
SUPERFICIE	1,40 KM ² (2019 CATASTO RAVDA)
QUOTA MAX BACINO	4179 M
QUOTA MAX	3950
QUOTA MIN	2715
ATTIVITÀ	REGRESSO



L'evoluzione della toponomastica utilizzata per il glacialismo della Valle di Bionaz dalla Piccola Età Glaciale, quando la testata era occupata da un unico grande apparato con una lingua valliva che si estendeva per quasi 7 chilometri (l'Alto e il Basso Ghiacciaio di Tza de Tzan) fino alla distinzione tra Ghiacciaio di Tza de Tzan e Ghiacciaio delle Grandes Murailles introdotta dopo la frammentazione avvenuta alla metà degli anni Cinquanta del Novecento.



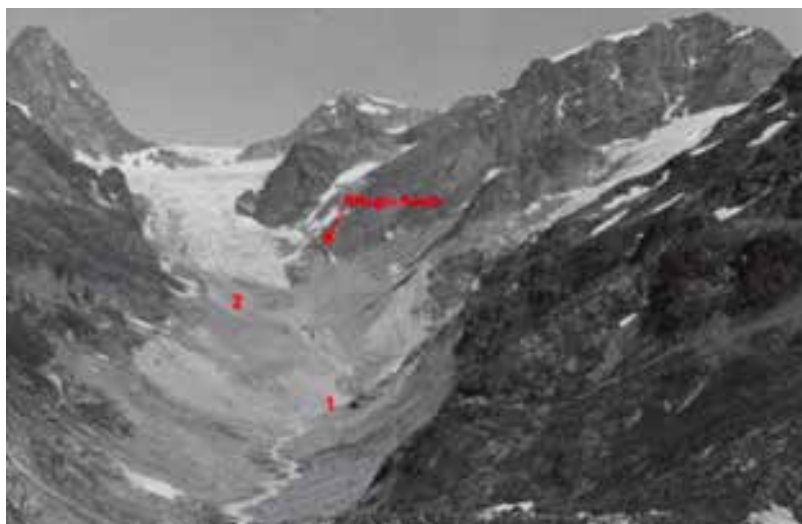
Questa illustrazione del "Ghiacciaio di Prarayer" - come veniva anche chiamato il grande ghiacciaio vallivo della Valle di Bionaz al culmine della Piccola Età Glaciale dal nome degli alpeggi che sono raffigurati in primo piano - risalente ai primi dell'Ottocento risulta piuttosto "naïf" per l'inaccurata spettacolarizzazione con cui viene reso il paesaggio, ma rende bene l'impressione di grandiosità che il glacialismo dell'alta Valle di Bionaz doveva suscitare nei viaggiatori dell'epoca.

La toponomastica usata per il glacialismo dell'alta Valle di Bionaz richiede però un breve excursus perché è variata conseguentemente all'evoluzione di quest'ultimo. La sua grande lingua non aveva infatti un unico bacino di alimentazione ma risultava formata dall'unione di due colate principali provenienti da altrettanti settori che sono quelli ancora glacializzati al presente

Il primo, che occupa la testata vera e propria della valle è delimitato a monte dal confine con la Svizzera che passa per la Pointe de la Grande Arête, Dents des Bouquetins, Col des Bouquetins, Tête de Chavannes, Tête Blanche, Col de Valpelline e Tête de Valpelline.

Il secondo occupa un vasto terrazzo che si estende sul versante sinistro della valle ed è dominato dalla cresta delle Grandes Murailles (al di là della quale si trova Cervinia, in Valtournenche). Fino a quando i relativi flussi glaciali furono confluenti, veniva utilizzato un solo toponimo, il "Ghiacciaio Alto di Tza de Tzan" per disegnare l'intero complesso dei corpi glaciali che si trovavano alle quote più elevate. La lingua sul fondovalle era invece il "Ghiacciaio Basso di Tza de Tzan. Dopo la loro separazione, attorno al 1958, il ghiacciaio sul terrazzo del versante sinistro ha acquisito una propria identità con il nome di "Ghiacciaio delle Grandes Murailles mentre l'altro ha mantenuto la denominazione precedente, perdendo la distinzione tra "alto" e "basso".

Nel XIX secolo il Ghiacciaio Basso di Tza de Tzan era anche noto come "il Ghiacciaio di Prarayer" perché la fronte della lingua valliva si arrestava un solo chilometro più a monte della località di Prarayer, in cui attualmente si trovano una struttura ricettiva ed alcuni edifici rurali, ma in passato, prima della costruzione della diga, era un villaggio abitato permanentemente in cui facevano sosta anche i primo viaggiatori inglesi nel corso dei loro "tour" alpinistici tra Valle d'Aosta e Vallese. Come già precedentemente accennato, si trovava anche 7 chilometri più a valle rispetto alla sua posizione attuale.



In questa fotografia del 1975 di A. Cotta Ramosino la fronte della lingua del Ghiacciaio delle Grandes Murailles (1) raggiunge ancora il fondovalle e intercetta il torrente ablato che fuoriesce dalla fronte del Ghiacciaio di Tza de Tzan (2). Le lingue dei due ghiacciai, pur continuando a ritirarsi gradualmente, hanno mantenuto questa relazione dagli anni Cinquanta del Novecento (in precedenza erano ancora confluenti) fino all'inizio del XXI secolo quando quella del Ghiacciaio delle Grandes Murailles prima (2000) e quella dello Tza de Tzan poi (2008) si sono separate dai bacini glaciali superiori. Le sezioni rimaste sul fondovalle sono diventate così masse di "ghiaccio morto" e si sono completamente fuse nel giro di pochi anni.



A sinistra, la lingua del Ghiacciaio di Tza de Tzan nel 1977 (foto di A. Cotta Ramusino, Archivio CGI). A seguito della cesura del 2008 la fronte attiva è diventata quella visibile nella foto a destra del 2024 mentre tutto il ghiaccio rimasto sul fondovalle si è fuso nel giro di pochi anni. Dopo questa evoluzione lo Tza de Tzan non può più essere definito un ghiacciaio vallivo. Foto di S. Perona.



La lingua del Ghiacciaio delle Grandes Murailles nel 1975 (Foto di A. Cotta Ramusino - Archivio CGI). Intorno al 2000 il ghiaccio ancora presente sul fondovalle ha perso la connessione con quello del bacino soprastante. Nel 2024 la fronte attiva si trova 300 metri più in alto (Foto di S. Perona).

Dopo circa un secolo, negli anni Trenta del Novecento, la lingua si era già ritirata di 5 chilometri.

In seguito alla frammentazione del 1958 le lingue del Ghiacciaio di Tza de Tzan e quella delle Grandes Murailles hanno continuato a ritirarsi con dinamiche differenti. Per alcuni decenni il torrente ablattore proveniente dalla fronte dello Tza de Tzan si è infiltrato poco più a valle sotto la lingua del Ghiacciaio delle Grandes Murailles che scendeva ancora lateralmente lungo tutto versante sinistro fino a raggiungere il fondovalle. Quest'ultima, attorno agli anni 2000, è stata anche la prima ad incorrere in un fenomeno di cesura che ha decretato la rapida scomparsa della massa di ghiaccio rimasta isolata sul fondovalle. Stessa sorte è toccata nel 2003 alla lingua dello Tza de Tzan. Così anche in questo caso la sua fronte attiva è notevolmente arretrata di colpo e si è pure innalzata di 400 metri sul ciglio del gradino roccioso mentre la massa di ghiaccio morto della sezione di lingua rescissa si è avviata alla completa fusione in pochi anni. I numeri che riassumono questa accelerazione di inizio secolo sono 1,3 chilometri di ritiro per il Ghiacciaio delle Grandes Murailles dal 2005 e 1,2 chilometri per quello dello Tza de Tzan dal 2002.

Il 30 giugno 2024, le precipitazioni dello stesso evento meteorologico estremo che ha causato la devastante alluvione nella Valle di Cogne hanno portato al collasso della morena laterale del Ghiacciaio di Tza de Tzan, nei pressi del rifugio Aosta. Le prime valutazioni delle conseguenze del fenomeno basate sull'analisi di immagini satellitari e riprese fotografiche da terra del gruppo di ricerca del CNR coordinato da Marta Chiarle (anche membro del Comitato Glaciologico) hanno consentito di stimare le dimensioni areali della nicchia di distacco della morena: lunghezza di 440 m, larghezza massima di circa 200 m, superficie complessiva pari a circa 70.000 metri quadri.

Successivamente al collasso della morena, la piana proglaciale del Ghiacciaio di Tza de Tzan è stata alluvionata e sovra incisa per una profondità, in alcuni punti, di una trentina di metri. Gli effetti si sono poi propagati, sotto forma di erosioni spondali e di fondo, colate detritiche e trasporto torrentizio, lungo tutto il corso del Torrente Buthier, fino all'imbocco della diga di Place Moulin, dove sono giunti circa 6 milioni di metri cubi di acqua e detrito secondo le stime della Compagnia Valdostana delle Acque (CVA), gestore dell'impianto.



La grande breccia della morena laterale sinistra del Ghiacciaio di Tza de Tzan formatasi durante l'evento alluvionale del 30 giugno 2024. La piena ha lasciato tracce evidenti anche su tutto il fondovalle fino all'immissione nel lago della diga di Place Moulin.
Foto di S. Perona



Altre due immagini dei dissesti relativi all'evento alluvionale del 30 giugno 2024. Il flusso che ha sbrecciato la morena laterale del Ghiacciaio di Tza de Tzan ha profondamente sovra inciso i potenti depositi glaciali del fondovalle subito a monte del punto in cui arrivava un tempo la lingua del Ghiacciaio delle Grandes Murailles mentre più a valle ha provocato vaste esondazioni del Torrente Buthier.
Foto di S. Perona 2024

I GHIACCIAI VALSESIANI DEL VERSANTE SUD DEL MONTE ROSA E L'ESTINZIONE DEL GHIACCIAIO DI FLUA

[VALSESIA, PIEMONTE, ITALIA]



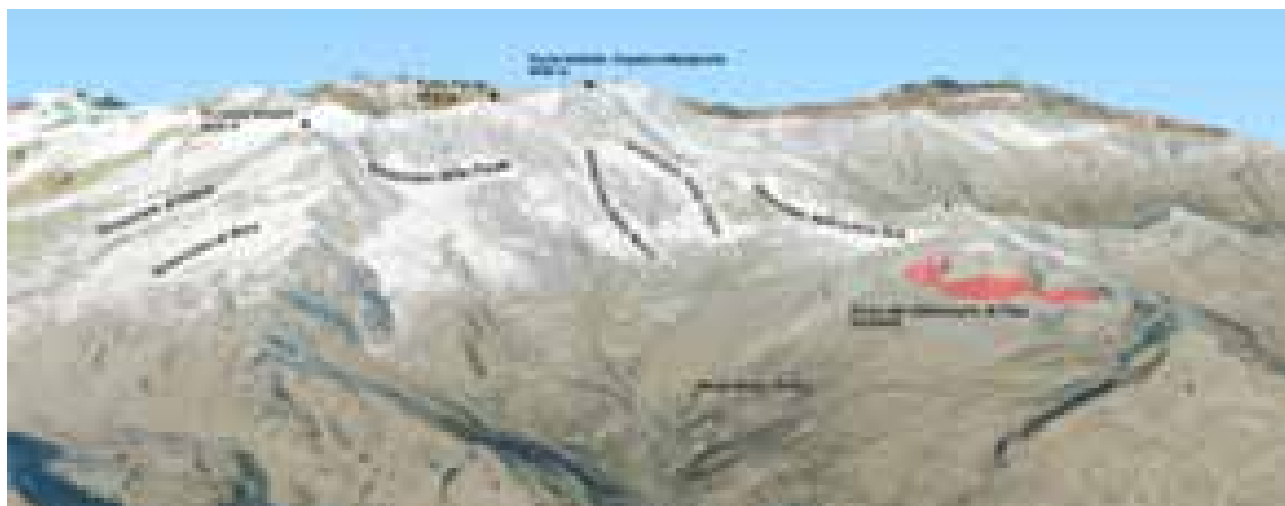
Alla testata della Valsesia, sul Versante Sud del Monte Rosa, altre quattro storie di ghiacciai. La fine già avvenuta di una di queste e la possibile durata delle altre dipendono sostanzialmente dalla quota a cui si trovano i loro circhi, dalla maggiore o minore imponenza dalle pareti che fanno a questi da sfondo e dall'esposizione al soleggiamento.

Dall'analisi di questi fattori e delle relative conseguenze per ciascuno dei quattro "casi" risulta un'ennesima riprova della sensibilità dei ghiacciai ai cambiamenti climatici.

Il Ghiacciaio di Flua è il protagonista della storia già conclusa alla quale prima si è fatto cenno in quanto è stato dichiarato estinto nel 2022. Le ultime os-

GHIACCIAIO DELLE PIODE

NUMERO CATASTO C.G.I	312
TIPO	MONTANO
FORMA	PENDIO
ALIMENTAZIONE	DIRETTA, VALANGHE
ESPOSIZIONE	SUD
SUPERFICIE	1,40 KM ² (2023)
QUOTA MAX BACINO	4046 M
QUOTA MAX	3700
QUOTA MIN	3130
ATTIVITÀ	REGRESSO



GHIACCIAIO DI SESIA-VIGNE

NUMERO CATASTO C.G.I.	314 SESIA; 315 VIGNE
TIPO	MONTANO
FORMA	CIRCO - VALLONE
ALIMENTAZIONE	DIRETTA, VALANGA, TRANSFLUENZA
ESPOSIZIONE	SUD-EST
SUPERFICIE	1,10 KM ² (2023)
QUOTA MAX BACINIO	4435 M; 4558 M
QUOTA MAX	4250 M; 3850 M
QUOTA MIN	QUOTA MIN 2686 M
ATTIVITÀ	REGRESSO

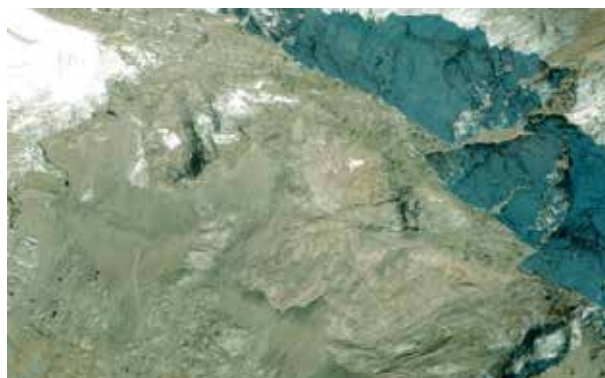
GHIACCIAIO DELLE LOCCE SUD

NUMERO CATASTO C.G.I.	316
TIPO	MONTANO
FORMA	PENDIO
ALIMENTAZIONE	DIRETTA, VALANGA
ESPOSIZIONE	SUD-OVEST
SUPERFICIE	0,50 KM ² (2023)
QUOTA MAX BACINIO	3650 M
QUOTA MAX	3600 M
QUOTA MIN	2950 M
ATTIVITÀ	REGRESSO FORTE

GHIACCIAIO DI FLUA

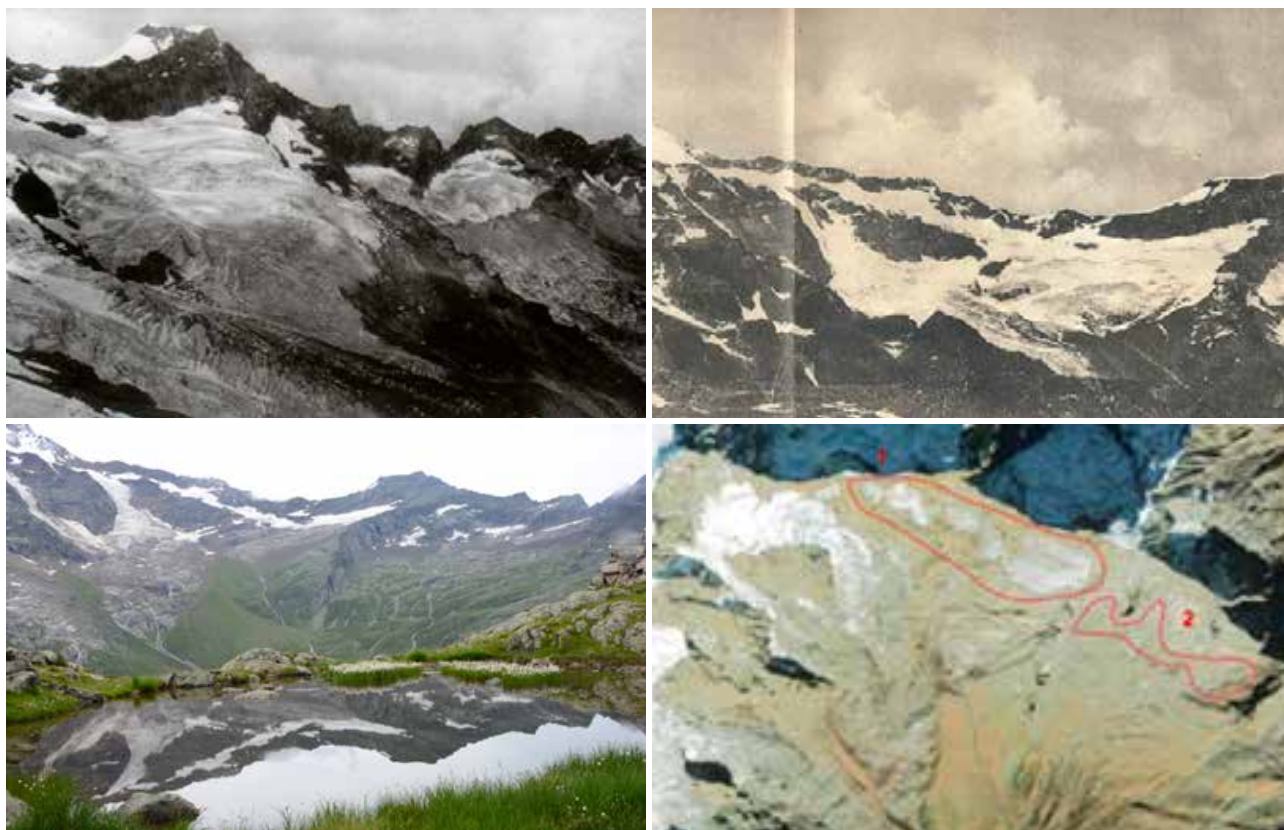
NUMERO CATASTO C.G.I.	317
TIPO	MONTANO
FORMA	CIRCO
ALIMENTAZIONE	DIRETTA, VALANGA
ESPOSIZIONE	SUD
SUPERFICIE	0,01 KM ² (1988)
QUOTA MAX BACINIO	3264 M
QUOTA MAX	3000 M
QUOTA MIN	2880 M
ATTIVITÀ	ESTINTO

servazioni che lo riguardano sono state pubblicate nel 1988 sulla campagna glaciologica del Comitato Glaciologico Italiano, quando ancora veniva segnalata la presenza di tre distinti glacionevati. Era quello che “in vita”, aveva la quota massima del bacino di alimentazione (3000 metri) più bassa. Si estendeva alla base del versante sud-occidentale della Cresta di Flua che,



In alto il Ghiacciaio di Flua in una immagine del 1915 di Umberto Monterin. A seguire una fotografia del 1983 di F. Secchieri in cui sono ben visibili i tre archi morenici frontali risalenti alla Piccola Età Glaciale. Sono ancora presenti placche di ghiaccio in ciascuna delle tre nicchie secondarie (da sinistra quella occidentale, la centrale e l'orientale).

Nella terza immagine, un singolare fenomeno di completa fratturazione della placca presente nel settore occidentale visibile in una foto aerea del 2005. Infine, un'immagine satellitare ad altissima risoluzione dell'ottobre 2022 (ESRI Imaging) mostra l'assenza di tracce residue di ghiaccio in tutti e tre i settori.



In alto, In una immagine di fine Ottocento dei Fratelli Gugliermi (a sinistra) e in una del 1902 pubblicata da Federico Sacco per un articolo del 1930 sul glacialismo della Valsesia (a destra), il Ghiacciaio delle Locce Sud costituisce quasi un unico apparato con il Ghiacciaio delle Vigne. Nell'immagine dei Gugliermi, a destra del Ghiacciaio delle Locce è visibile anche il settore orientale del Ghiacciaio di Flua, ancora con la stessa estensione della Piccola Età Glaciale. In basso a sinistra una veduta del 2015 sui ghiacciai di Sesia-Vigne, delle Locce Sud e sul circo del Flua. All'interno di questo solo alcune tracce di neve residua (foto CAI Varallo). In basso a destra, una immagine satellitare ad alta risoluzione dell'ottobre 2017 mostra chiaramente la contrazione subita dal Ghiacciaio delle Locce sud (1), prossimo a frammentarsi in tre placche di spessore sempre più ridotto e il circo del Ghiacciaio di Flua (2) privo di ghiaccio (Google Earth).

per quanto abbia la sua culminazione ai 3464 metri della Punta Grober, mantiene per la maggior parte del suo sviluppo una quota media di circa 3150 metri. Alla destra (orografica) dell'ex-Ghiacciaio di Flua si trova ancora, invece, il Ghiacciaio delle Locce Sud. La sua esposizione è la stessa del Flua, (quasi pieno Sud, per l'appunto), ma la quota massima del bacino è più elevata di circa 200 metri e gli apporti valanghivi che provengono dai pendii sovrastanti durante la stagione invernale, sono più frequenti e abbondanti. Per quanto alla fine della Piccola Età Glaciale ed ancora ai primi decenni del secolo scorso fosse molto più esteso ed arrivasse a confluire con l'adiacente ghiacciaio della Sesia, attualmente si presenta frammentato in 3 placche al di sopra dei 3100 – 3200 metri di quota, molto assottigliate.

Continuando verso Ovest, dal "Pianoro Ellerman", ai piedi della Parete Sud-Est della Punta Gnifetti, si generano le due colate del Ghiacciaio delle Vigne e del Sesia (attualmente le si considera come costituenti un unico apparato glaciale) mentre il Ghiacciaio delle Piode è dominato dall'alta cresta che va dalla Punta Giordani alla Punta Parrot, con il suo filo sempre al di sopra dei 4000 metri. Per quanto anche questi ghiacciai mostrino evidenti segni di sofferenza - i monitoraggi eseguiti dagli operatori del Comitato Glaciologico italiano restituiscono per l'intervallo 2018-2023 un arretramento frontale di 130 metri per il Ghiacciaio delle Piode e di 156 metri per quello di Sesia-Vigne - non c'è confronto tra la "presenza scenica" che ancora mantengono e quella rimasta al Ghiacciaio delle Locce Sud (per non parlare poi di quella del "vuoto" lasciato dal "caro estinto" Flua).

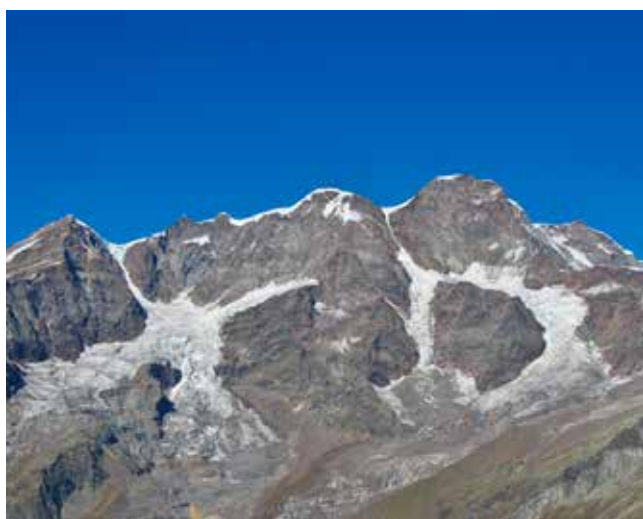
Questa diversità dipende principalmente dal loro avere metaforicamente "le spalle coperte" da rilievi tra i più elevati dell'Arco Alpino. La quota dei bacini di alimentazione risulta molto più elevata arrivando formalmente a raggiungere i 4000 metri, sebbene solo grazie ai collegamenti - ormai sempre più esigui - con il soprastante Ghiacciaio del Lys attraverso il Canale Sesia per il Ghiacciaio di Sesia-Vigne e il Canale Vincent per quello delle Piode e pure maggiori sono la dimensione e la frequenza delle valanghe che contribuiscono all'alimentazione.

Si ricorda fra l'altro che [l'edizione 2020 del report della Carovana dei Ghiacciai](#) ha già dedicato un dettagliato inquadramento a ciascuno dei tre ghiacciai ancora esistenti e se ne suggerisce pertanto la consultazione.

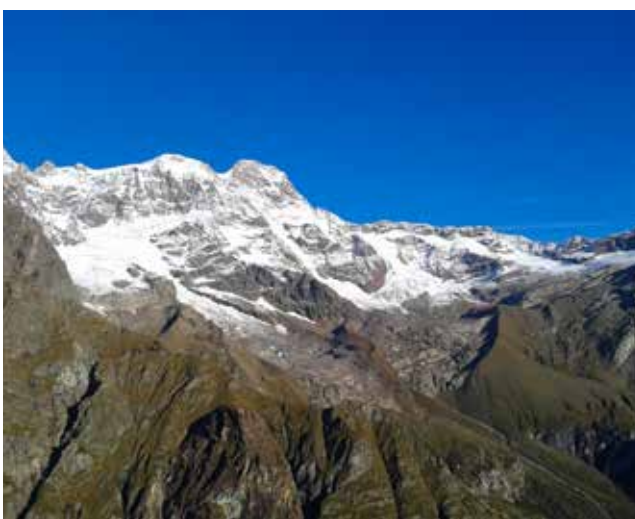
La presa in esame degli aspetti di queste quattro situazioni conferma quindi il riferimento altimetrico di 3500 metri come attuale linea di demarcazione tra la prospettiva che ha un ghiacciaio di riuscire a conservare almeno una parte della sua massa ancora per un certo numero di anni e quella invece di degradarsi in uno o più glacionevati ed avviarsi poi in tempi brevi verso la completa estinzione. Lo evidenzia in particolare il confronto tra il Ghiacciaio delle Locce Sud e l'ex Ghiacciaio di Flua. Entrambi sono sotto questo limite ma, come già detto, c'è un dislivello di un centinaio di metri tra le quote dei loro bacini di alimentazione. Ciò basta perché il primo sopravviva ancora a differenza del secondo, pur senza lasciare troppe illusioni sul suo prossimo futuro.



In questa foto di Vittorio Sella di fine Ottocento, i "tempi d'oro" del glacialismo valsesiano.

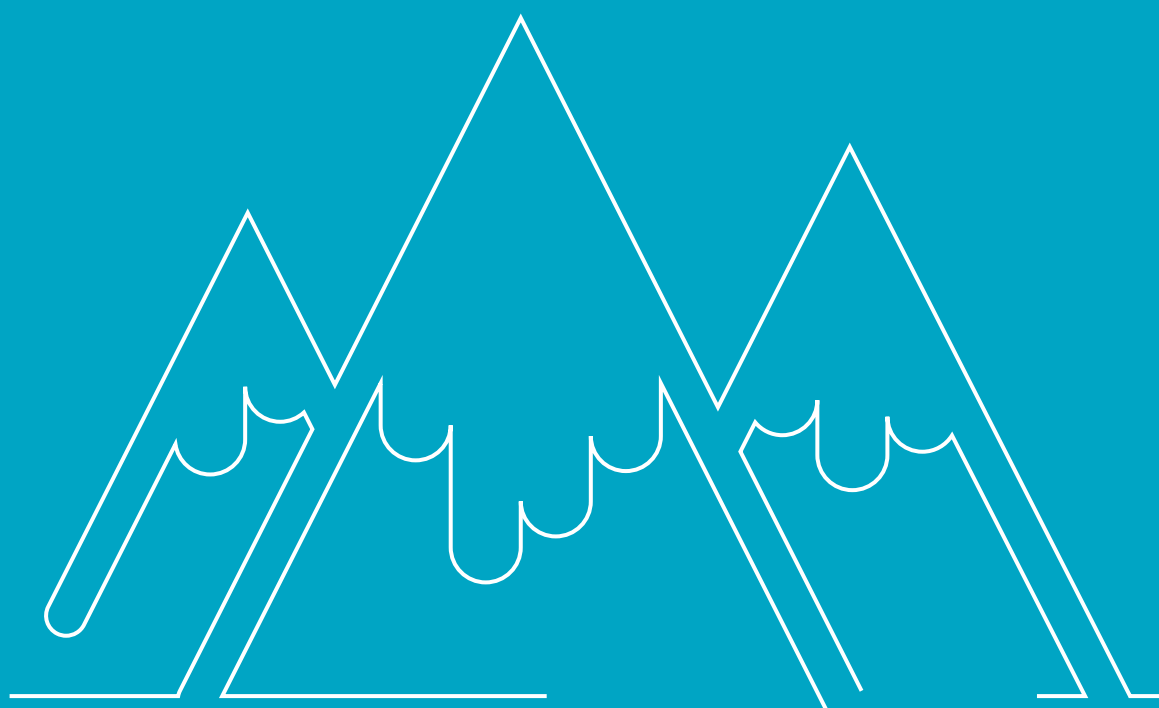


Da sinistra, il Ghiacciaio delle Piode, quello di Sesia-Vigne e, all'estrema destra, le placche del Ghiacciaio delle Locce Sud. Sullo sfondo, sempre da sinistra, la Piramide Vincent (4215 m), la Punta Parrot (4463 m), la Punta Gnifetti (4559) e la Nordend (4610 m). C. Viani 2014 - Archivio CGI



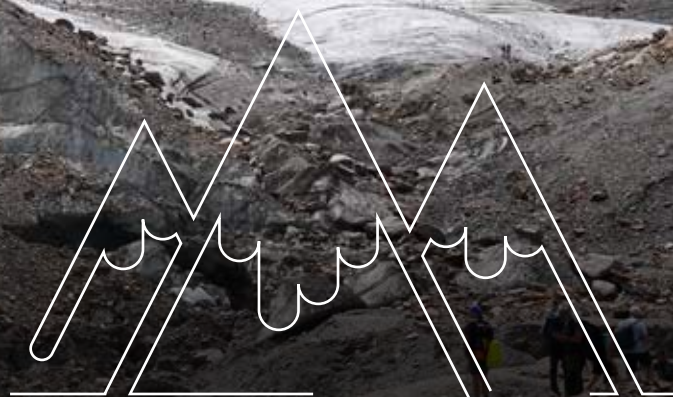
In questa foto, sempre del 2014, la luce autunnale mette in risalto le splendide morene che testimoniano i fasti del glacialismo della testata della Valsesia al culmine della Piccola Età Glaciale. C. Viani - Archivio CGI

I GHIACCIAI DELLE ALPI CENTRALI



GHIACCIAIO DEI FORNI

[VALTELLINA, LOMBARDIA, ITALIA]



L'iniziativa "Puliamo il Mondo" organizzata il 5 agosto 2024 sui frequentatissimi sentieri che portano al Ghiacciaio dei Forni ha fornito anche l'occasione per aggiornare il punto sulla situazione di questo importante corpo glaciale, il secondo per estensione in Italia dopo il Ghiacciaio dell'Adamello, già protagonista di tappa della "Carovana dei Ghiacciai" nella prima edizione del 2020 e nella terza del 2022. Per le note sulla sua evoluzione dalla fine della Piccola Età Glaciale al presente e alcuni confronti con le immagini storiche si rimanda agli inquadramenti contenuti nei report della [prima edizione della "Carovana dei Ghiacciai" \(2020\)](#) e [della terza \(2022\)](#). Si ricorda che per quanto si faccia ancora abitualmente riferimento ad esso come un'unica entità, dal 2015 risulta suddiviso in tre settori distinti, ciascuno con le proprie dinamiche.

La primavera del 2024 è stata caratterizzata da nevicate generalmente abbondanti su tutto l'Arco Alpino. All'inizio della stagione estiva la comunità dei glaciologi era quindi in attesa di valutare i progressi di una situazione che, potenzialmente, si prospettava ben più promettente per la "salute" dei ghiacciai rispetto a quella degli "anni horribles" 2022 e 2023.

Nel caso del Ghiacciaio dei Forni, i tre settori hanno però mantenuto una copertura nevosa continua sulle loro superfici, fino alla quota della fronte più bassa, solo fino all'inizio di luglio (si tenga comunque presente che nella disastrosa estate 2022, nello stesso

NUMERO CATASTO C.G.I.	507.1
TIPO GHIACCIAIO	VALLIVO
FORMA	BACINO COMPOSITO
ALIMENTAZIONE	DIRETTA, VALANGHE
ESPOSIZIONE	NORD
SUPERFICIE	10 KM (2023)
QUOTA MAX BACINO	3678 M S.L.M.
QUOTA MAX	3639 M S.L.M.
QUOTA MIN	2515 M S.L.M.
LUNGHEZZA MASSIMA	3135 M
LARGHEZZA MASSIMA	184.6 M
INCLINAZIONE MEDIA	20°
ATTIVITÀ	FORTE REGRESSO

periodo, il ghiacciaio si presentava già *completamente* scoperto). A partire dalla seconda metà del mese le alte temperature e l'assenza di rigelo notturno hanno provocato la fusione di tutta la neve sul settore frontale centrale, quello in cui si trova anche la stazione meteorologica AWS 1 dell'Università di Milano (quota 2600 metri), ma non solo. Anche il ghiaccio sottostante, rimasto scoperto, ha ripreso a fondere, ad un tasso confrontabile con quello delle estati precedenti. Guglielmina Diolaiuti, ricercatrice dell'Università di Milano, riferisce che dalla metà di luglio all'inizio di agosto la perdita di spessore ha raggiunto in alcuni punti



Confronto tra un'immagine satellitare Sentinel-2 del 4 luglio 2024 (sinistra) e del 29 luglio (destra). Ai primi del mese l'innevamento è ancora ottimo su tutto il ghiacciaio. Alla fine, invece, è ancora buono alle quote medio-alte, ma il settore della lingua centrale a valle della seraccata, tra i 2500 e i 2800 metri, è già completamente scoperto.



Confronto tra un'immagine della fronte centrale del 2017 (ripresa da drone di M. Invernici) con una del 2021 (Google Earth). A destra, sull'immagine del 2017 viene evidenziata l'area che risulta persa nel 2021 (circa 3 ettari).



In soli due anni è evidente la progressione dei collassi che stanno sgretolando la fronte centrale. Questi conseguono all'azione erosiva basale delle acque di fusione.

nei pressi della stazione i due metri, con valori giornalieri oscillanti tra 4 e 8 centimetri.

Sono evidenti anche le evoluzioni di due criticità già descritte nel report 2022. La prima sta provocando il rapido smantellamento della fronte del settore centrale con una serie continua di collassi che si propagano verso monte. La seconda, in un arco temporale che potrebbe andare dai tre a cinque anni, porterà alla separazione per intero del medesimo settore (poco meno di 60 ettari di superficie glaciale) dal bacino glaciale superiore, con un arretramento della fronte attiva rispetto alla posizione attuale di oltre un chilometro.

Il ritiro delle fronti dei settori laterali, infatti, ha fatto sì che i rispettivi torrenti ablatori vadano ora ad infiltrarsi sotto il tratto terminale della lingua centrale facendo potenzialmente quadruplicare la portata del suo flusso subglaciale (alle acque di fusione generate dai tre settori del Ghiacciaio dei Forni si aggiungono anche quelle provenienti dal Ghiacciaio del Palon de la Mare). Gli effetti di questa alterazione idrografica vengono ulteriormente amplificati durante le ondate di calore che nel periodo estivo si stanno succedendo sempre più frequentemente. La stabilità del ghiaccio risulta così minata alla base dall'erosione provocata dalla sovrappressione idrica e i collassi sopraccennati ne sono la diretta conseguenza.

Sul gradino da cui scende la seraccata a monte del settore frontale, invece, anno dopo anno si stanno ampliando una serie di finestre in roccia (e maggiore la superficie di roccia esposta, più rapida la fusione del ghiaccio circostante). Purtroppo è ormai dato per scontato che si verificherà un fenomeno di cesura completa in quel punto, l'unica incertezza è sui tempi: brevi o brevissimi?



Le frecce indicano le finestre in roccia che vanno ampliandosi anno dopo anno e che potrebbero portare anche in tempi brevi (3-5 anni) alla separazione di circa 60 ettari del settore frontale del ghiacciaio dal suo bacino di alimentazione e ad un arretramento della fronte attiva di un chilometro.

GHIACCIAIO FELLARIA

[VALMALENCO,
LOMBARDIA, ITALIA]



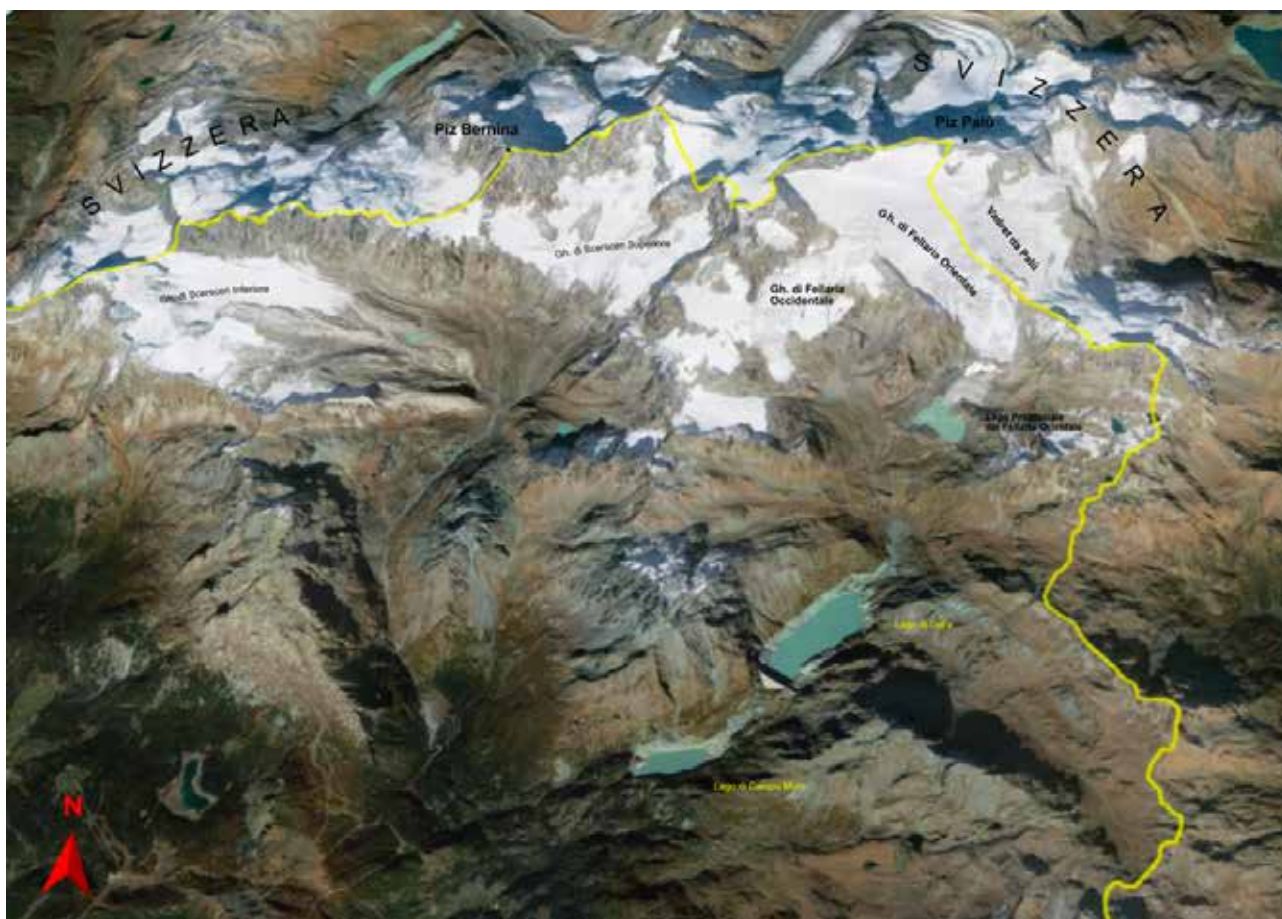
Il Ghiacciaio di Fellaria si trova alla testata della Valle di Campo Moro, tributaria della Val Malenco (in provincia di Sondrio). Appartiene al Gruppo del Bernina (così come il Ghiacciaio del Morteratsch, che si trova sul versante svizzero, subito al di là della cresta su cui passa il confine di stato, e visitato dalla “Carovana dei Ghiacciai” nel 2023).

La sua caratteristica è quella di avere un bacino di accumulo che forma un vasto altipiano glaciale la cui quota media è di 3500 metri, quindi sufficientemente elevata per garantirgli una buona e persistente alimentazione nevosa. Da questo si generano tre grandi colate di ghiaccio. La prima, delimitata a meridione dalla vetta del Pizzo Varuna, si abbassa verso E in Val Poschiavo, in territorio elvetico formando il Vadret da Palù, che attualmente si esaurisce in un lago di neoformazione a 2600 m di quota. La seconda lingua scorre verso Sudest, incanalandosi in una valle tra il Pizzo Varuna ed il Sasso Rosso per poi formare l'imponente e tormentata colata del Fellaria Est. Questa viene interrotta da una barra rocciosa che spezza in due il ghiacciaio dando vita ad una spettacolare faglia particolarmente attiva e si esaurisce in un lago di neoformazione a 2560 m.

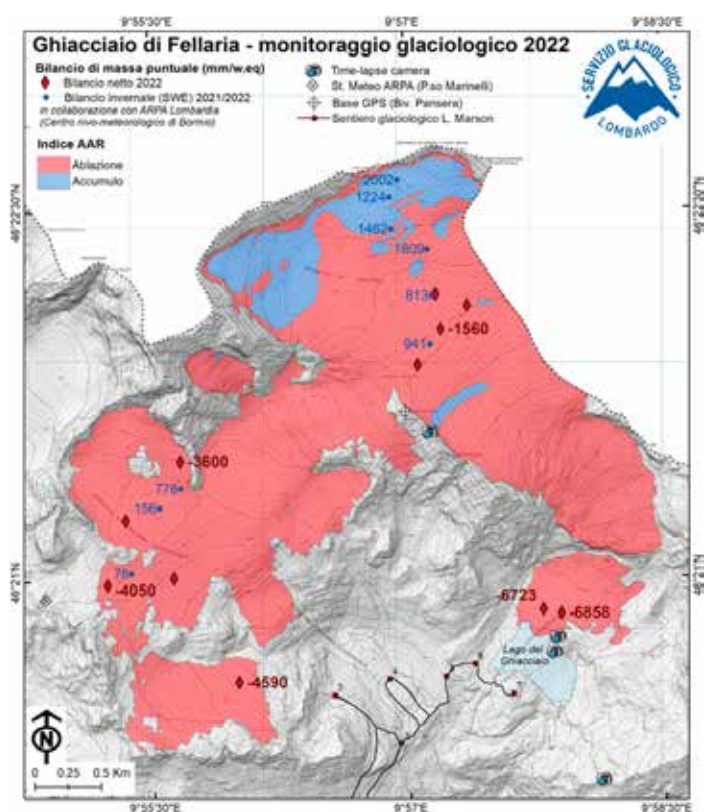
L'ultima nasce da una trasfluenza a Sudovest favorita dalla depressione della cresta Piz Zupò - Sasso Rosso, e, dopo aver formato una seraccata, si allunga su un altro ampio bacino glaciale arrestandosi a 2850 metri in prossimità del margine di una scarpata.

NUMERO CATASTO C.G.I	439 (OCCIDENTALE) - 440 (ORIENTALE)
TIPO	MONTANO
FORMA	ALTOPIANO CON LINGUE RADIALI
ALIMENTAZIONE	DIRETTA, VALANGHE
ESPOSIZIONE	SO (OCCIDENTALE) - SE (ORIENTALE)
SUPERFICIE	8 KM ² (13 KM ² INCLUDENDO ANCHE LA “VEDRET DE PALÙ” IN TERRITORIO SVIZZERO)
QUOTA MAX BACINO	3996 M (PIZZO ZUPÒ)
QUOTA MAX	3800 M
QUOTA MIN	2850 M (OCCIDENTALE) - 2565 (ORIENTALE)
ATTIVITÀ	REGRESSO

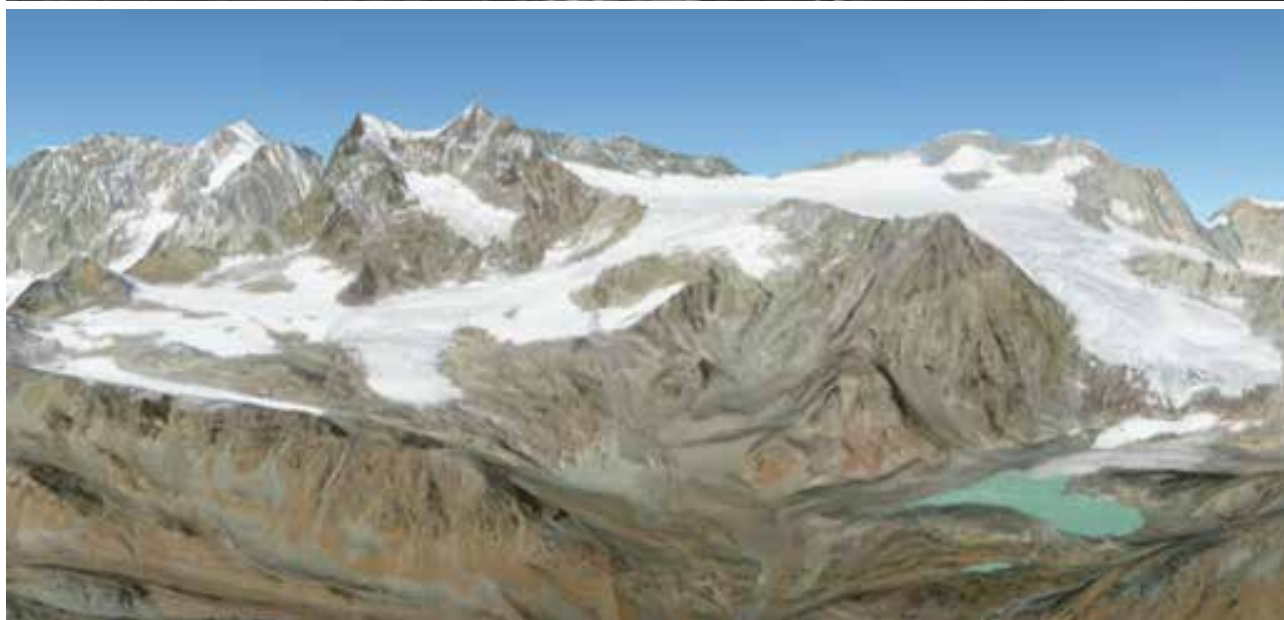
Si tratta quindi di un grande ed articolato complesso glaciale, il terzo per estensione in Lombardia dopo l'Adamello e il Ghiacciaio dei Forni, ma considerando solamente la parte in territorio italiano (8 km²), perché se si tenesse conto anche della Vadret da Palù (che come già detto si trova in Svizzera ma è a tutti gli effetti una colata generata dallo stesso bacino da cui provengono le altre due) si arriverebbe a 13 km², 3 km² in più rispetto al Ghiacciaio dei Forni (10 km²) e subito dietro all'Adamello (14 km²), che è il più grande ghiacciaio italiano.



Il vasto e complesso apparato glaciale del Ghiacciaio di Fellaia. La Vedretta del Palù si trova in territorio svizzero, ma si genera dallo stesso altipiano da cui si originano anche le colate del Fellaia Occidentale e di quello Orientale. Gli altri importanti ghiacciai del versante italiano del Gruppo del Bernina sono quelli dello Scerscen Superiore e dello Scerscen Inferiore.



La situazione dell'altipiano glaciale del Fellaia nella disastrosa stagione del 2022. Le aree in azzurro indicano quelle in cui era ancora presente neve residua alla fine del periodo di ablazione, tra le più ridotte mai misurate considerando che la quota media del bacino di alimentazione è di 3500 metri.



Confronto tra una fotografia di Alfredo Corti del 1907, quando le lingue del Fellaria Occidentale e di quello Orientale ancora confluivano ed una veduta 3D ottenuta con Google Earth sulla base di un'immagine satellitare ad altissima risoluzione del 2022.



Un altro confronto tra un'immagine del 1913 (Autore ignoto, Archivio CGI) e la sua ripetizione nel 2024 (Foto di S. Perona). Per entrambe il punto di ripresa è nei pressi del dosso su cui si trova il Rifugio Bignami (costruito alla metà degli anni Cinquanta del Novecento).



Confronto tra una veduta della fronte della colata occidentale del Ghiacciaio di Fellaria nel 1977 (C. Saibene, Archivio CGI) e la situazione del 2024 (Foto di S. Perona).



Questo grosso masso veniva utilizzato dall'operatore Arturo Riva, negli anni Cinquanta del secolo scorso, come segnale glaciologico per monitorare le variazioni frontali della lingua occidentale del Fellaria. Nella relazione da lui redatta per la Campagna Glaciologica del 1955 si legge che la sua distanza dalla fronte del ghiacciaio era di 193 metri e l'arretramento rispetto all'anno precedente risultava essere di 44 metri. Attualmente, per raggiungere la fronte dallo stesso punto bisognerebbe percorrere 1200 metri in linea d'aria e superare un dislivello di 300 metri. Foto di S. Perona, 2024.

Fino agli anni Trenta del secolo scorso le due colate italiane del Fellaria arrivavano a fondersi tra loro a valle del saliente formato dal Sasso Rosso. Luigi Marson, glaciologo “ante litteram” che tra la fine dell’Ottocento e i primi del Novecento pubblicò le prime osservazioni sui ghiacciai del Gruppo del Bernina (e a cui è stato intitolato la rete di sentieri glaciologici realizzata dal Servizio Glaciologico Lombardo che valorizza i punti di interesse dell’ambiente periglaciale del Fellaria) in un articolo del 1890 riferì che i pastori dell’Alpe Fellaria (nei pressi del Rifugio Bignami), fino a pochi anni prima, per raggiungere l’Alpe Gembré, sul versante opposto della valle ma 200 metri più in basso, dovevano attraversare la lingua del ghiacciaio. Questo significa che all’epoca la sua fronte raggiungeva l’estremità settentrionale del Piano di Gera, attualmente occupato dal lago del bacino idroelettrico. Rispetto ad allora la fronte del Fellaria Occidentale si trova adesso 2,5 chilometri e 700 metri di dislivello più a monte, pressappoco lo stesso ritiro lineare e 500 metri di innalzamento per quella del Fellaria Orientale.



Veduta della fronte della colata orientale del Ghiacciaio di Fellaria. Il lago proglaciale ha iniziato a crearsi nei primi anni Duemila e si è ampliato progressivamente andando a colmare la depressione lasciata libera dal ritiro della sezione della lingua rimasta isolata ai piedi del gradino roccioso dopo la completa cesura avvenuta nel 2006. Foto di S. Perona, 2024.

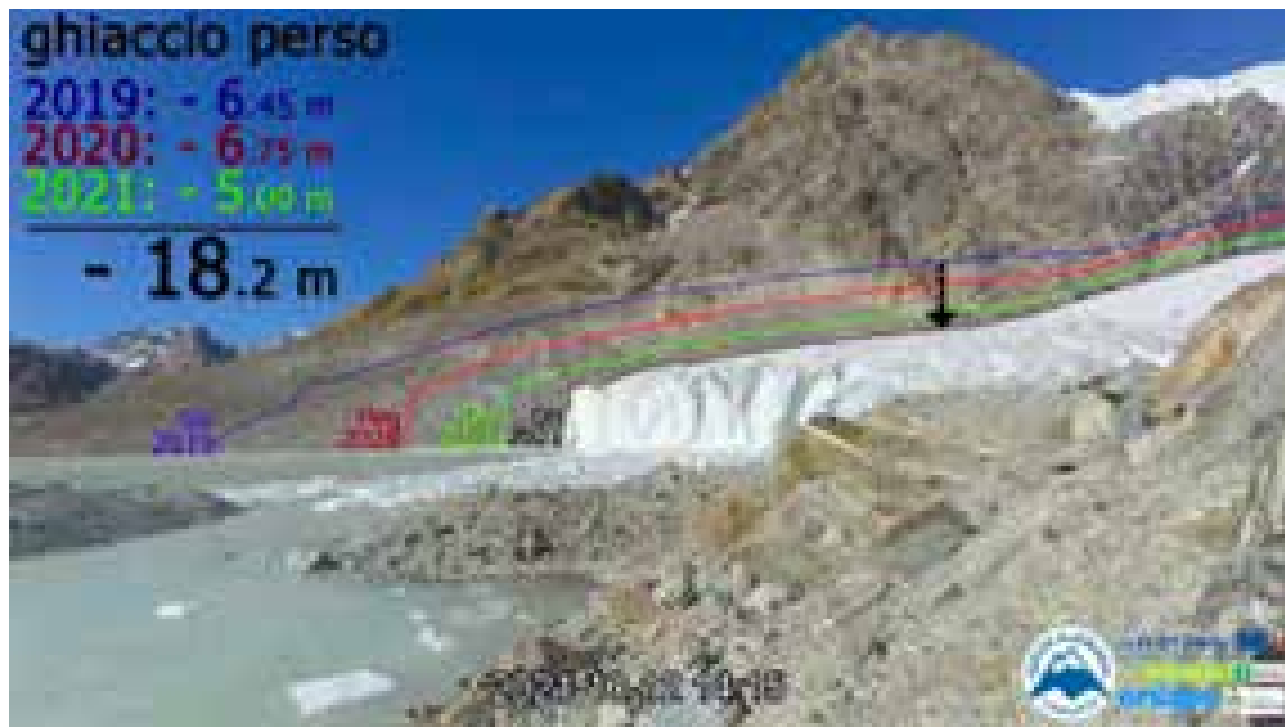
Dopo la separazione le due lingue hanno continuato a ritirarsi costantemente, se si eccettua una breve parentesi tra la seconda metà degli anni Settanta e la prima di quelli Ottanta, periodo in cui si riscontrò un’effimera inversione di tendenza anche per quasi tutti gli altri ghiacciai dell’Arco Alpino.

A partire dagli anni Cinquanta la fronte di quella occidentale è rimasta per alcuni decenni sulla piana che si trova al piede del versante sud-occidentale del Sasso Rosso e la lingua scendeva dal bacino soprastante con una seraccata. La comparsa di una finestra di roccia ai primi degli anni Novanta ha fatto presagire l’inizio di una nuova fase di accelerazione del ritiro, compiutasi poi nel 2007 con la completa cesura della lingua che ha fatto repentinamente retrocedere ed innalzare la fronte attiva sul ciglio del gradino roccioso rimasto scoperto.

Nel frattempo la lingua orientale si è affacciata fino ai primi anni Duemila dalla soglia della piana glaciale interposta tra il Sasso Rosso e la Cima Fontana. Al successivo ritiro verso l’interno della piana si è poi accompagnato l’ampliamento di un lago proglaciale che è arrivato ad avere una superficie di 22 ettari. Lo spettacolo della fronte che si tuffa nel lago su cui galleggiano blocchi di ghiaccio come piccoli iceberg ha paradossalmente fatto aumentare esponenzialmente l’attrattiva turistica del sito e la sovra frequentazione da parte degli escursionisti – non sempre responsabile – registrata ultimamente rappresenta ormai un caso di “overtourism”.

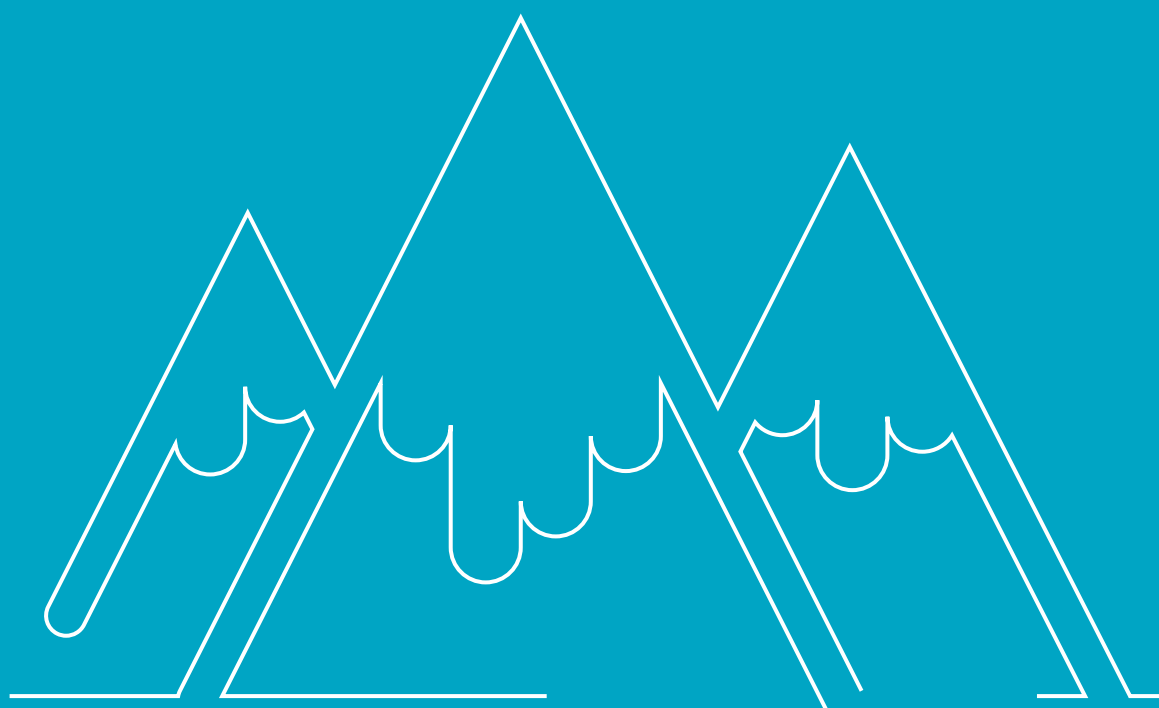
Va ricordato che 2006 è avvenuta la completa separazione di questa parte di ghiacciaio in corrispondenza dell’evidente gradino roccioso che tronca bruscamente la colata soprastante alla quale precedentemente era unita. Questo ha comportato che da allora la sezione rimasta a valle venga alimentata unicamente dai crolli di

ghiaccio provenienti dalla nuova fronte attiva, sospesa 300 metri più in alto. La scarsità di precipitazioni e le elevate temperature estive degli ultimi anni hanno ulteriormente accelerato la fusione di questa massa di ghiaccio rimasta isolata ad una quota media di 2600 metri (quindi relativamente molto bassa). Dai 76 ettari di superficie che ancora aveva subito dopo l'evento del 2006 si è ridotta ai soli 27,5 ettari attuali (quindi ha perso 49 ettari in poco meno di un ventennio). Nel particolarmente critico biennio 2022-2023 si sono registrate perdite annue di spessore tra i 5 e gli 8 metri. Grande riscontro hanno avuto i "time-lapse" realizzati dal Servizio Glaciologico Lombardo grazie all'installazione di alcune webcam e pubblicati sul loro canale YouTube che documentano in modo visivamente molto efficace la velocità di fusione del ghiaccio.



Un fotogramma del video realizzato dal Servizio Glaciologico Lombardo - grazie all'installazione di una webcam - che documenta in "time-lapse" la fusione del ghiaccio tra il 2019 e il 2021 (questo ed altri interessanti video sono pubblicati sul [Canale YouTube del Servizio Glaciologico Lombardo](#)).

I GHIACCIAI DELLE ALPI ORIENTALI



GHIACCIAIO DELLA MARMOLADA

[VENETO - TRENTINO, ITALIA]



Tra il 2022 e il 2023 il ghiacciaio della Marmolada ha registrato una perdita record di quasi 14 ettari di superficie. Si tratta di un dato assolutamente abnorme, corrispondente a più del doppio del tasso annuo di 6 ettari, già di per sé elevatissimo, su cui si era attestata la contrazione nell'ultimo decennio e 7 volte il dato di 2 ettari per anno dei primi del Novecento. Con 98,7 ettari la sua area è anche scesa per la prima volta sotto i 100 ettari dalla fine della Piccola Età Glaciale.

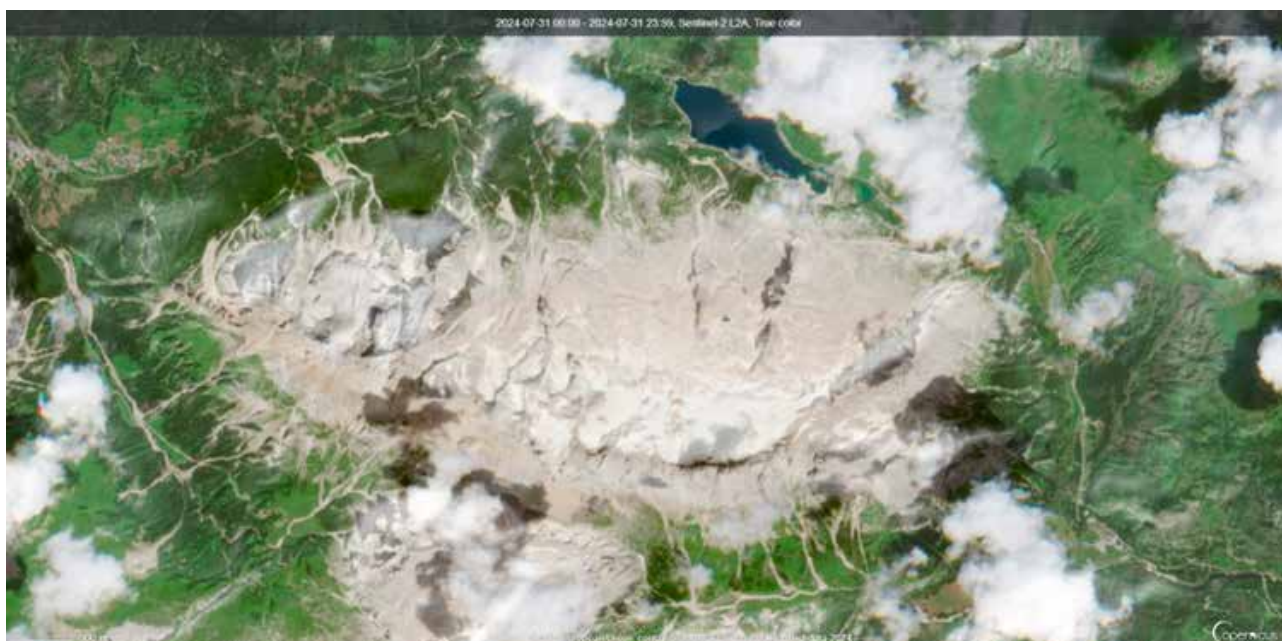
Tuttavia, le nevicate primaverili del 2024 che hanno interessato quasi tutto l'Arco Alpino sono state generose anche con la "Regina delle Dolomiti" e le immagini satellitari Sentinel-2 mostrano che a fine luglio la copertura del ghiacciaio era ancora molto buona e il ghiaccio incominciava ad affiorare solo in pochi punti in prossimità del margine frontale.

Le temperature della seconda metà di agosto sono però state in grado di fondere la maggior parte della neve e di far ripartire la fusione del ghiaccio, con un abbassamento superficiale giornaliero che si aggirava attorno ai 7 centimetri. L'arretramento del margine frontale continua ad essere regolarmente monitorato dagli operatori coordinati da Mauro Varotto, ricercatore dell'Università di Padova e uno degli esperti della Marmolada, in collaborazione con il Comitato Glaciologico Italiano. Data l'estensione del margine frontale (due chilometri tra l'estremità orientale e quella occidentale) bisogna utilizzare molteplici

NUMERO CATASTO C.G.I.	941
TIPO	MONTANO
FORMA	PENDIO
ALIMENTAZIONE	DIRETTA, VALANGHE
ESPOSIZIONE	NORD-NORD-EST
SUPERFICIE	0.98 KM ² (2023)
QUOTA MAX BACINO	3343 M
QUOTA MAX	3240 M
QUOTA MIN	2650 M (FRONTE ORIENTALE)
LUNGHEZZA MAX	950 M
LARGHEZZA MAX	2000 M
INCLINAZIONE MEDIA	25°
ATTIVITÀ	REGRESSO FORTE

"segnali", i capisaldi rispetto ai quali ogni anno viene misurata la variazione della distanza dal ghiaccio. I dati continuano ad essere tutti negativi e generalmente vanno da qualche metro per alcuni segnali fino ad oltre una decina di metri per altri.

Il sopralluogo della Carovana dei Ghiacciai è avvenuto nella prima decade di settembre, quando il ghiacciaio era prevalentemente scoperto, con alcuni lembi di neve residua solo alla base delle pareti di roccia. Nella seconda metà del mese e a ottobre si sono tuttavia susseguite una serie di perturbazioni che con i loro primi apporti di nuova neve dovrebbero aver



In questa immagine satellitare Sentinel-2 del 31 luglio 2024 il Ghiacciaio Principale della Marmolada mantiene ancora una buona copertura nevosa



Settore occidentale del Ghiacciaio Principale della Marmolada, dal Rifugio "Ghiacciaio Marmolada". Questa è la via normale di salita per Punta Penia e, nella foto del 2024, poco a monte del margine frontale, è ancora visibile una "strisciata" nerastra che indica il punto di impatto del crollo del 3 luglio 2022 (undici vittime), causato dall'improvviso distacco di una placca di ghiaccio soprastante (dettaglio nell'immagine a destra). La linea tratteggiata evidenzia il ritiro della fronte rispetto al 2020. Visibile anche la perdita di spessore avvenuta in quattro anni. Foto di S. Perona.



scongiurato la prosecuzione del periodo di fusione anche durante questi due mesi, come invece era accaduto nei due anni precedenti.

Il bilancio per il 2024 è quindi quello di un'annata sicuramente meno negativa delle due precedenti perché l'intervallo temporale della fusione accelerata si è sostanzialmente limitato ad un solo mese. Del tutto fuori luogo, però, parlare di "inversione di tendenza". La quantità di neve rimasta alla fine dell'estate si è rivelata di nuovo insufficiente per poter essere considerata una buona "scorta" per il ghiacciaio, a fronte della perdita di massa non trascurabile che anche quest'anno le temperature di agosto sono riuscite a causare.

Allo stato attuale questa situazione potrebbe al più comportare un leggero rallentamento della corsa che il ghiacciaio sta facendo verso l'estinzione. Sulla base della tendenza attuale, si ritiene probabile che questa possa avvenire entro il 2040.



Il settore orientale del ghiacciaio, sotto la Punta Serauta. Nella foto del 2022 la linea tratteggiata indica dove arrivava il margine glaciale in quella del 1984 di G. Perini. I teli vengono usati nel tentativo di mantenere una ancora una minima quantità di ghiaccio e neve dalla stagione precedente (snow-farming) che consenta al tracciato della pista da sci di avere un fondo sufficiente ad attenuare le asperità della fascia di rocce montonate scoperta dal ritiro del ghiacciaio

IL GLACIALISMO DELLE ALPI GIULIE

[FRIULI VENEZIA GIULIA, ITALIA – SLOVENIA]

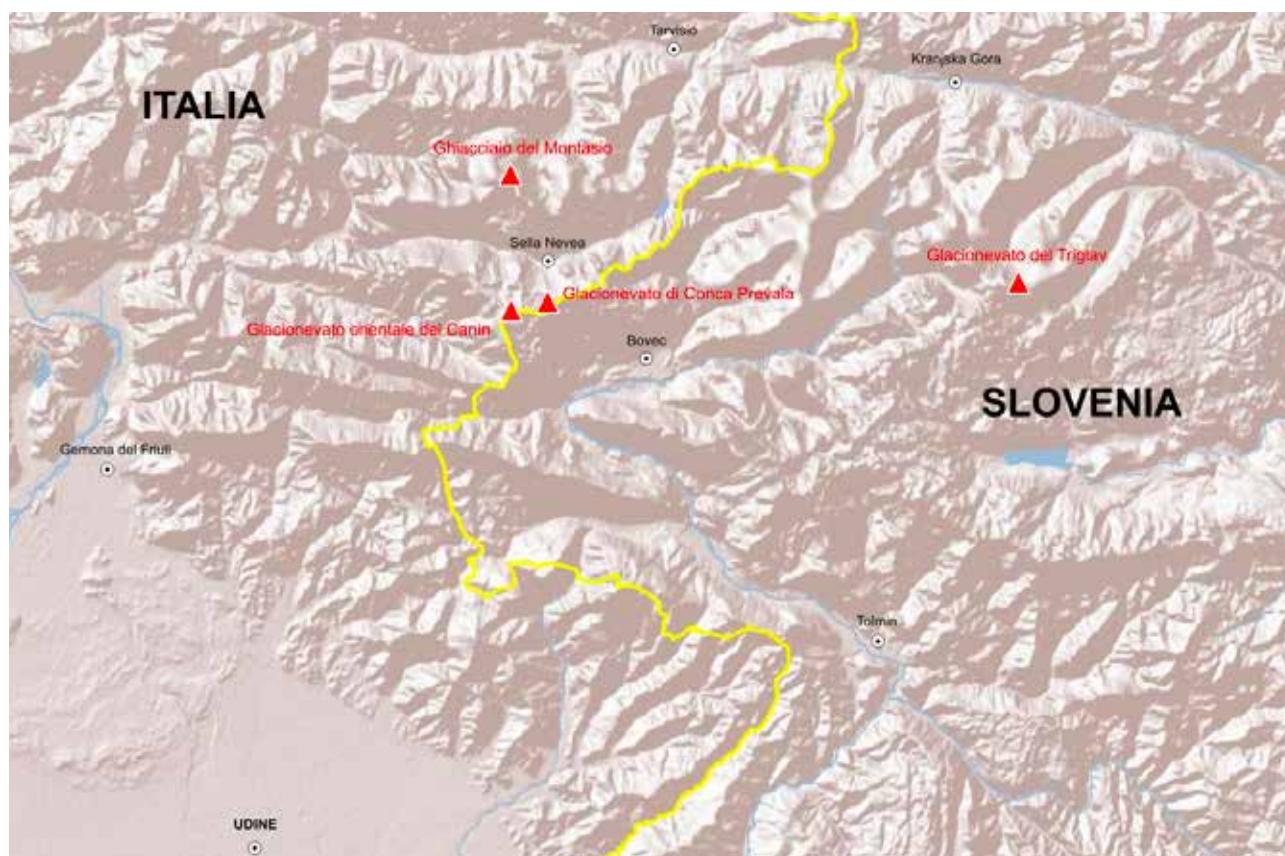


Per chi non si occupa di climatologia (e non è friulano o sloveno) l'attuale consistenza del glacialismo nelle Alpi Giulie potrebbe essere giudicata risibile. In effetti il confronto con lo spettacolo che ancora offrono le più celebri attrattive glaciali del resto dell'Arco Alpino appare impietoso. Non ci sono vaste distese di ghiaccio, né seraccate o fronti da cui scaturiscono impetuosi torrenti ablatori. Qui, invece, sopravvivono il Montasio Occidentale, l'unico "vero" ghiacciaio pur se di estensione ridotta e con una morfologia più simile a quella di un "banale" conoide di depositi di valanga, il glacionevato "con arie da ghiacciaio" di Conca Prevala - e altre placche di ghiaccio ormai ridotte ai minimi termini, rispettivamente tutto ciò che rimane del Ghiacciaio del Canin e di quello del Triglav, in territorio sloveno (il Triglav, tuttavia, non è l'unico corpo glaciale superstite della Slovenia: l'altro è quello dello Skuta, che mantiene una consistenza leggermente superiore a quella del primo. Si trova però nelle Alpi di Kamnik, circa 55 chilometri più a Est). Esistono poi, nelle Alpi Giulie, altri piccoli glacionevati ma questi sono oggetto solo di progetti di studio molto specialistici. Per quale motivo, però, tutti questi continuano ad essere regolarmente osservati e misurati con le metodologie più recenti e tecnologicamente avanzate? Perché i piccoli corpi glaciali, siano ancora essi ghiacciai o solamente glacionevati, sono ottimi indicatori dei cambiamenti climatici, ai quali reagiscono con un ritardo minore e più lineare rispetto ai ghiacciai più grandi.

	AREA	QUOTA MEDIA
GHIACCIAIO DEL MONTASIO	7 ETTARI	1900 M
GHIACCIAIO DI CONCA PREVALA	1,3 ETTARI	1870 M
GLACIONEVATO ORIENTALE DEL CANIN	1,4 ETTARI	2170 M
GLACIONEVATO DEL TRIGLAV	0,2 ETTARI	2500 M

L'area delle Alpi Giulie è inoltre tra quelle che ricevono le maggiori quantità di precipitazioni di tutto l'Arco Alpino. La variazione di accumulo di neve al suolo anche a quote medio-basse, che in questo caso non dipende tanto dalla scarsità delle precipitazioni - come già detto qui particolarmente abbondanti - quanto dall'aumento della loro forma liquida rispetto a quella solida che negli ultimi anni si sta riscontrando durante la stagione fredda, e le osservazioni ed i bilanci di massa su corpi glaciali che durante la stagione calda sono sottoposti sempre più frequentemente a sollecitazioni estreme in termini sia di ondate di calore, sia di eventi alluvionali, forniscono quindi un segnale amplificato dell'aumento di temperatura che sta ormai interessando anche un territorio noto per la rigidità del suo clima.

Bisogna considerare che le quote altimetriche delle quattro principali persistenze di ghiaccio giuliane sono ben inferiori a quella della maggior parte delle



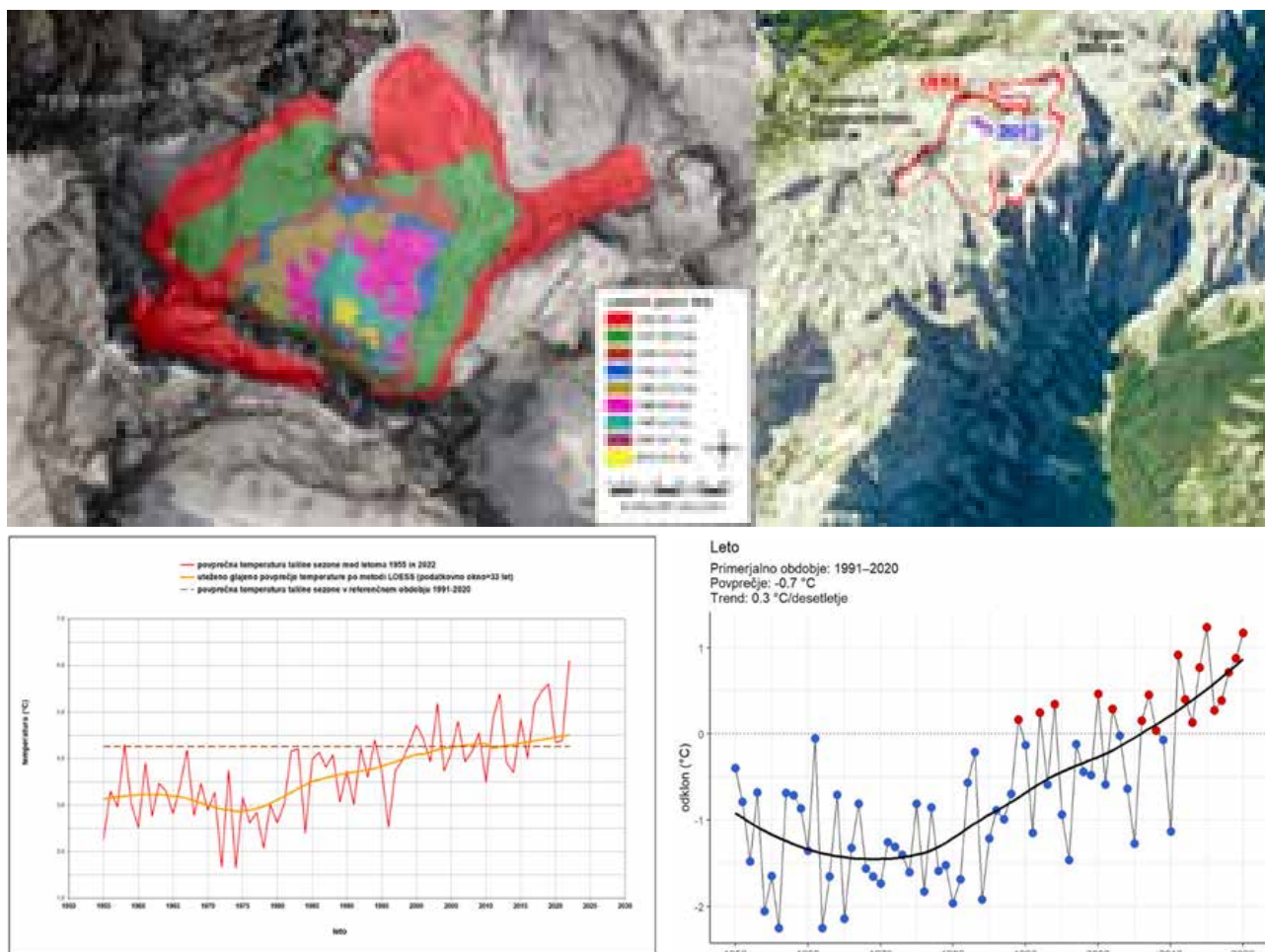
Ubicazione dei quattro più noti corpi glaciali ancora presenti nelle Alpi Giulie.



Il Ghiacciaio del Triglav all'inizio del secolo scorso e le ridottissime placche rimaste nel 2023. In primo piano il rifugio di Kredarica - Triglavski dom presso cui si trova la stazione meteorologica.
Fonte: Miha Pavšek - ZRC SAZU, Anton Melik Geographical Institute, Ljubljana.

fronti degli altri ghiacciai dell'Arco Alpino, che, salvo alcune eccezioni, si aggira attorno ai 2700 metri: 2500 metri i residui di ghiaccio del Triglav, 2200 metri il Glacionevato Orientale del Canin e 1900 metri per il Ghiacciaio del Montasio e il Glacionevato di Conca Prevala.

Il Ghiacciaio del Triglav è ormai da considerare pressoché estinto, nonostante la sua posizione del suo circo risulti la più elevata. Quello che ha decretato la condanna di questo ghiacciaio in relazione all'aumento delle temperature verificatesi in questo ultimo ventennio è stata la sua maggiore esposizione rispetto all'irraggiamento solare. Di conseguenza, nel periodo estivo si è verificata sempre più frequentemente la completa fusione degli accumuli nevosi invernali, sebbene questi si siano mantenuti con spessori elevati anche negli ultimi anni – 12 metri misurati a fine inverno 2023 alla stazione meteorologica di Kredarica – e il ghiaccio esposto si è ridotto fino ad arrivare all'imminenza della sua completa scomparsa.



In alto, variazione della superficie del Ghiacciaio del Triglav per gli anni 1850, 1937, 1946, 1954, 1964, 1986, 2003 e 2012 (Fonte: Miha Pavšek - ZRC SAZU, Anton Melik Geographical Institute, Ljubljana).

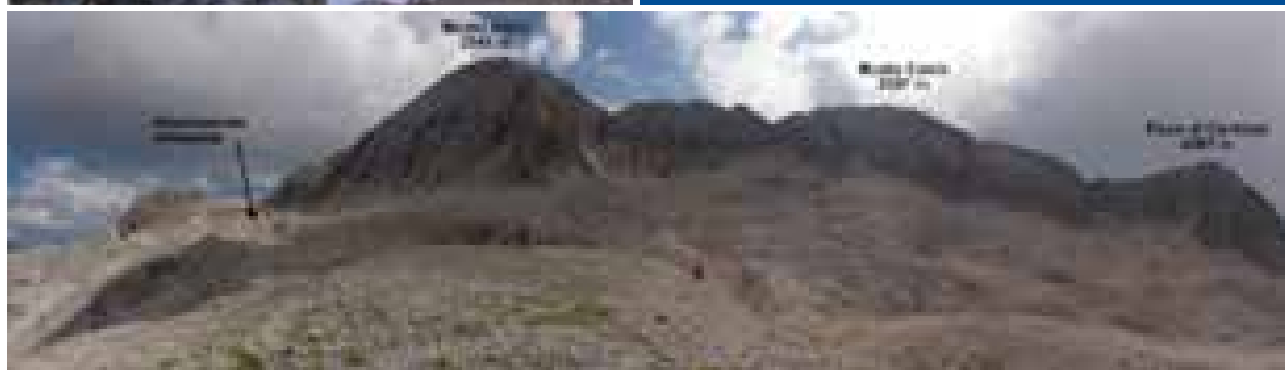
In basso, entrambe i grafici delle temperature durante il periodo di fusione (a sinistra) e delle medie annue per l'intervallo 1950 - 2020 evidenziano una netta impennata dopo il 1990 (Fonte: Miha Pavšek - ARSO National Meteorological Service of Slovenia).

I glacionevati del Canin potrebbero incorrere in un destino analogo. Ancora fino agli anni Cinquanta del Novecento il circo alla base della cresta che collega il Monte Ursich, il Canin e il Picco di Carnizza ospitava un ghiacciaio con una superficie di 9,5 ettari ed uno spessore che in alcuni punti arrivava a 50 metri. La perdita di volume calcolata dalla Piccola Età Glaciale è del 99%, ma è soprattutto a partire dagli anni Ottanta del Novecento che la contrazione ha mostrato una netta accelerazione. Attualmente risulta frammentato in tre placche, costrette una nel settore orientale del circo e le altre due in quello occidentale. Quella orientale (l'area è di 1,4 ettari, poco più di quella di un campo da calcio) sopravvive ancora all'interno di una depressione, l'area complessiva delle altre due è quasi equivalente a quella della prima. Della placca orientale gli operatori della Società Meteorologica Alpino-Adriatica, coadiuvati dall'Istituto di Scienze Polari, misurano ancora l'abbassamento annuo della superficie legato alla perdita di volume di ghiaccio con metodi geodetici (fotogrammetria da drone). Le estati del 2022 e del 2023 hanno interrotto negativamente la regolarità di una serie di bilanci di massa che si manteneva sostanzialmente stabile da una quindicina di anni perché gli effetti positivi delle nevicate invernali erano quasi sempre riusciti a pareggiare con quelli negativi delle fusioni estive (per alcune annate si sono registrati perfino bilanci decisamente positivi).

Il Montasio, come già anticipato, è l'unico a poter essere definito pienamente un ghiacciaio per la dinamicità che ancora mostra la sua massa glaciale. Pur essendo tra i ghiacciai medio-piccoli dell'Arco Alpino quello con la fronte a più bassa quota (si escludano quindi le fronti delle lingue dei grandi ghiacciai vallivi), riesce a resistere perché viene sufficientemente ombreggiato dalla ripida parete Nord dello Jôf di Montasio e riceve una buona alimentazione sia dalle precipitazioni dirette, anche qui generalmente abbondanti, sia dalla frequente caduta di valanghe. Si tratta inoltre di una "vecchia conoscenza" della Carovana dei Ghiacciai in quanto è stato visitato nel



In alto: nel 2020 Renato R. Colucci ha ripetuto l'immagine del 1893 di Arturo Ferrucci, la prima di cui si abbia conoscenza per il glacialismo del Canin. Il ghiacciaio di sinistra visibile nella foto storica è quello dell'Ursic, ormai estinto. Quello di destra, invece, è il Ghiacciaio del Canin. Di tutto quello sopravvive solo un piccolo glacionevato nel settore più orientale del circo (foto a sinistra di Renato R. Colucci, ISP-CNR, Società Meteorologica Alpino Adriatica). In basso una veduta panoramica del settore centro-occidentale del circo e l'ubicazione della placca orientale, non visibile dal punto di ripresa. Foto di S. Perona, 2024



corso della prima edizione 2020 e anche nel 2022. Ulteriori approfondimenti si possono trovare nei rispettivi report disponibili sul sito di Legambiente.

Il meno noto Glacionevato di Conca Prevala, all'interno del comprensorio sciistico di Sella Nevea, a poca distanza dal Canin, ha caratteristiche abbastanza simili, pur se in scala ridotta, a quelle del più conosciuto Montasio. Secondo Renato R. Colucci, glaciologo dell'Istituto di Scienze Polari del CNR e Presidente della Società Meteorologica Alpino-Adriatica che lo monitora regolarmente da anni, meriterebbe anch'esso lo "status postumo" di ghiacciaio perché le indagini hanno rivelato uno spessore massimo di ghiaccio ancora prossimo alla ventina di metri e il piccolo arco morenico che lo delimita frontalmente è un indizio della sua passata attività.



Per quanto la situazione del Montasio continui a mostrare una certa stabilità, questo ghiacciaio subisce sempre più frequentemente gli effetti di eventi alluvionali estremi durante la stagione estiva. In questa foto del 2023 è visibile la cavità di fuoriuscita delle acque cadute durante un'intensa precipitazione che, canalizzate dalla morfologia della parete sovrastante, si sono infiltrate sotto al ghiaccio. Foto di Università di Udine.



Il glacionevato-ghiacciaio di Conca Prevala, fiancheggiato dal tracciato di una delle piste da sci del comprensorio di Sella Nevea. Foto di S. Perona, 2021.

GLI IMPATTANTI EFFETTI DELLA DEGRADAZIONE DELLA CRIOSFERA E DELL'AUMENTO DEGLI EVENTI ESTREMI IN QUOTA

Gli ambienti glaciali e periglaciali stanno rispondendo ai cambiamenti climatici in corso in un modo che continua a sorprenderci, non soltanto per l'intensità e la frequenza dei fenomeni, ma anche per le tipologie dei processi d'instabilità che stanno modificando in modo sorprendente ed irreversibile le aree di alta quota, rendendo necessario un ripensamento radicale delle modalità della loro frequentazione e fruizione.

Dopo il crollo del Ghiacciaio della Marmolada nel 2022, costato 11 vite, e il raddoppio dei casi documentati d'instabilità nel 2023, il 2024 è stato contrassegnato da due gravi episodi alluvionali nelle Alpi Occidentali, che hanno espresso la loro massima intensità proprio in corrispondenza di bacini glacializzati. Si tratta dell'evento del 29-30 giugno, che ha colpito in particolare la Valle d'Aosta e l'alto Piemonte, e del 5 settembre, con effetti concentrati tra Val di Susa, valli di Lanzo e Valle Orco. Emblematico, inoltre, il caso del rock glacier di Livigno che, per effetto della degradazione del ghiaccio presente al suo interno, quest'estate ha dato luogo a una serie di colate di detrito, in assenza di pioggia, che hanno raggiunto il fondovalle.

Evento alluvionale del 29-30 giugno in Italia nord-occidentale. Al termine di una stagione invernale avara di neve, le precipitazioni nevose di aprile-maggio, particolarmente abbondanti nelle Alpi Occidentali (500 cm lo spessore medio del manto nevoso sul Ghiacciaio di Ciardoney a inizio giugno, secondo valore della serie storica iniziata nel 1993), erano state accolte con sollievo, per i benefici effetti attesi per i ghiacciai e per le risorse idriche in generale. Tuttavia, a fine giugno, con fusione nivale iniziata da circa un mese, precipitazioni copiose (piogge cumulate superiori a 200 mm, con valori massimi per 1, 3 e 6 ore che nella stazione di Noasca (TO) e di Alpe Veglia (VB) corrispondono a tempi di ritorno di oltre 200 anni, fonte: ARPA Piemonte; in Valle d'Aosta valori cumulati fino a 133 mm di pioggia, con tempi di ritorno per le 3 ore stimati pari a oltre 1000 anni alla stazione di Cogne, fonte: Centro Funzionale VdA, abbinate a un significativo rialzo termico (zero termico a oltre 4000 m il 29 giugno, fonte: ARPA Piemonte), hanno causato un'attivazione impulsiva e violenta del reticolato idrografico, immediatamente a valle del limite della neve, che in quei giorni si collocava tra i 2000 e i 2700 m di quota, a seconda dell'esposizione e delle zone. Si è generato così un evento alluvionale



di breve durata ma di vaste proporzioni: grazie al buon funzionamento delle procedure di protezione civile, non si sono registrate vittime, ma i danni alle infrastrutture e alle attività economiche sono stati ingenti (ad es. l'abitato di Cogne è stato isolato per un mese, proprio all'inizio della stagione turistica estiva). L'evento si è caratterizzato per l'elevata energia dei corsi d'acqua, che hanno preso in carico e trasportato grandi quantità di detriti, in molti casi provenienti dall'erosione delle morene e più in generale dei depositi glaciali abbandonati al termine della Piccola Età Glaciale (1850 ca.), saturati dalla fusione nivale occorsa nelle settimane precedenti e durante l'evento.

Un probabile effetto preparatorio può essere stata la progressiva fusione, nel corso degli ultimi anni, per effetto del riscaldamento climatico in atto, di masse di ghiaccio morto che spesso sono presenti all'interno delle morene storiche. Per trovare un possibile analogo, non solo per gli effetti prodotti, ma anche per la stagione di accadimento, occorre risalire quanto meno al disastroso evento alluvionale del giugno 1957. Eventi alluvionali che hanno prodotto effetti simili nelle Alpi Occidentali sono quelli del settembre 1993 e dell'ottobre 2000, eventi dunque associati a depressioni autunnali della durata di più giorni. Tra i tanti processi attivatisi, particolarmente importante, per quel che riguarda le possibili implicazioni per la valutazione del rischio in un contesto di cambiamenti climatici e ambientali, è la sovraincisione della morena frontale di un ramo laterale del Ghiacciaio delle Grandes Murailles (Valpelline, AO), in prossimità del Rifugio Aosta. Si stima che in occasione di questo evento siano stati erosi circa 700.000 m³ di materiale, in parte depositati al piede della morena, in parte trasportati fino alla diga di Place Moulin, dove si stima siano giunti oltre 2 M di m³ di acqua e detriti, con pesanti ricadute sul funzionamento dell'impianto idroelettrico della diga.

Collasso di un rock glacier a Livigno. A inizio estate, le acque del fiume Spol, che scorre per 15 km lungo le valli di Livigno, sono diventate torbide, senza un evidente collegamento con eventi di precipitazione significativi. Ben presto si è compreso come l'origine del trasporto solido anomalo fosse la degradazione di un rock glacier, che ha dato luogo ad una serie di colate arrivate fino al fondovalle. Il fenomeno ha costretto l'amministrazione locale ad intervenire prontamente, con la realizzazione di un vallo per evitare le colate potessero causare lo sbarramento del corso d'acqua di fondovalle e per proteggere alcune abitazioni situate lungo il percorso delle colate. Si tratta di un processo anomalo e non si ha notizia di casi analoghi. Già da alcuni anni sono stati segnalati nelle Alpi italiane ed europee casi di rock glacier che sono collassati (ad es. Bodin *et al.*, 2017, Kofler *et al.*, 2021), tuttavia non si hanno notizie di rock glacier in cui la fusione del ghiaccio interstiziale sia avvenuta con l'intensità e le modalità occorse al rock glacier di Livigno.

Gli eventi descritti rappresentano un ulteriore step nello sviluppo dell'instabilità naturale legata ai cambiamenti climatici in atto, per l'effetto combinato della degradazione della criosfera e dell'aumento degli eventi estremi. L'adattamento ai cambiamenti in atto e futuri passa dunque necessariamente per un'attenta documentazione ed analisi delle nuove forme d'instabilità, al fine di poter mettere in atto misure adeguate per l'individuazione delle aree più fragili e delle necessarie azioni di monitoraggio, previsione e prevenzione.

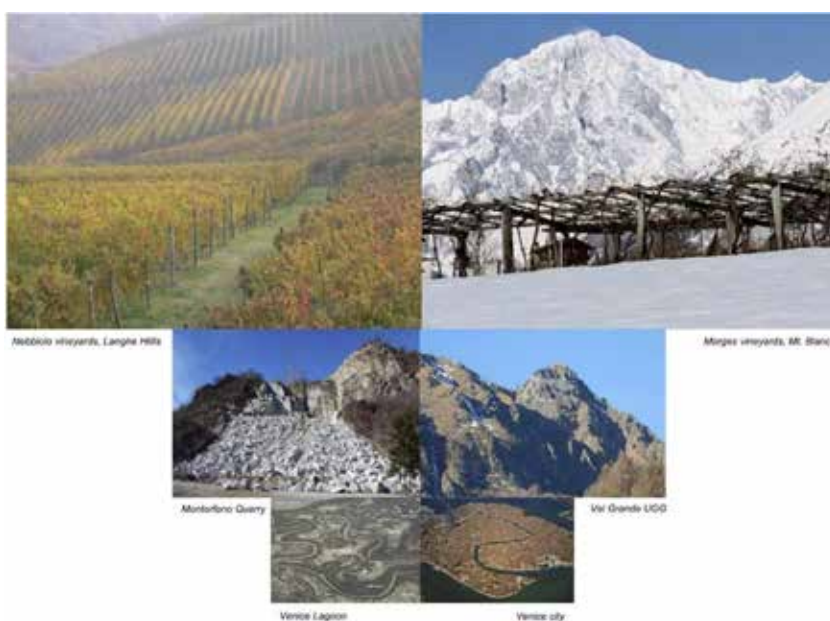


LA GEODIVERSITÀ E I SERVIZI ECOSISTEMICI NEL CAMBIAMENTO CLIMATICO E AMBIENTALE

INTRODUZIONE ALLA GEODIVERSITÀ

La **geodiversità** si riferisce alla varietà naturale delle caratteristiche fisiche della Terra, tra le quali rocce, minerali, suoli, acque, ma anche forme del paesaggio e processi che le modellano nel tempo. Proprio come la biodiversità descrive la varietà della vita, la geodiversità evidenzia la ricchezza delle componenti non viventi della Terra. Queste ultime vengono definite componenti abiotiche ed interagiscono tra loro e con gli ecosistemi, fornendo le basi per la vita sul pianeta. Da ciò deriva la stretta relazione fra geodiversità e biodiversità, rapporto che si esplica peraltro anche attraverso i condizionamenti imposti dai viventi ai paesaggi terrestri ed ai processi geografico-fisici che li governano.

In termini semplici, la geodiversità riguarda i “mattoni” naturali della Terra, tutto compreso: dalle imponenti montagne e vasti deserti ai più piccoli granelli di sabbia. È ciò che rende il pianeta fisicamente diverso e affascinante, nella moltitudine di ambienti che lo caratterizzano. E nel caso dell’ambiente glaciale, la geodiversità si può apprezzare anche attraverso il suo carattere dinamico, poiché in grado di trasformarsi rapidamente in funzione dei cambiamenti climatici.



Tre livelli di interazione natura-uomo in diversi contesti di geodiversità in Italia. Dall'alto verso il basso: 1) attività vitivinicola in tali contesti geodiversi: (vigneti nelle Langhe e ai piedi del Monte Bianco); 2) nel geoparco globale UNESCO Sesia Val Grande, il sito di estrazione presso la cava di Montorfano e l'area selvaggia della Val Grande. 3) zone costiere con diversa impronta umana: la natura della Laguna di Venezia e la Città di Venezia.

Il concetto di geodiversità ci aiuta pertanto a comprendere come si evolvono i paesaggi, come si formano risorse come l'acqua e i minerali e come i processi naturali come l'erosione e l'attività vulcanica contribuiscono a modellare l'ambiente. Studiando la geodiversità possiamo quindi apprezzare la bellezza e l'unicità del nostro pianeta, riconoscendone l'importanza sia per il patrimonio naturale che per il benessere umano.

In effetti, la geodiversità è molto più di un semplice e statico inventario delle caratteristiche geologiche della Terra: è un continuum dinamico che riflette millenni di processi geologici e la storia che essi raccontano all'umanità. Inoltre, nell'ultimo decennio, gli scienziati della Terra hanno dimostrato che non solo i materiali geologici, le forme del territorio e i processi naturali contribuiscono alla geodiversità, ma anche le attività e la cultura umane. Come mostrato in Fig. 1, le interazioni uomo-natura all'interno di un determinato contesto di geodiversità creano paesaggi culturali distintivi.

INTRODUZIONE AI SERVIZI GEOSISTEMICI

La Geodiversità offre **servizi ecosistemici di tipo abiotico, anche definiti Servizi Geosistemici o “Servizi del Geosistema”**: si tratta dei benefici che le persone ottengono dalle caratteristiche naturali e dai processi dell'ambiente fisico terrestre. Questi servizi, analogamente ai servizi ecosistemici forniti dagli organismi viventi, svolgono un ruolo vitale nel supportare la vita umana e le attività quotidiane. Comprendendo e valorizzando i servizi del geosistema, possiamo gestire meglio le risorse naturali e promuovere uno sviluppo sostenibile del nostro pianeta.

I servizi del geosistema si suddividono in **cinque categorie principali**:

1. Servizi di Approvvigionamento

Questi includono la fornitura di risorse tangibili dalla Terra, come minerali, acqua dolce, sabbia, ghiaia e pietre da costruzione. Ad esempio, le rocce vengono estratte per costruzioni e le falde acquifere forniscono acqua per usi agricoli e domestici.

2. Servizi di Regolazione

Questi servizi riguardano la regolazione naturale dei sistemi terrestri, come la filtrazione dell'acqua, il controllo delle inondazioni e la stabilizzazione del suolo. Ad esempio, le zone umide filtrano gli inquinanti dall'acqua e le foreste montane riducono il rischio di frane.

3. Servizi Culturali

I servizi del geosistema offrono valore ricreativo, spirituale ed educativo. Paesaggi scenografici come montagne, grotte e scogliere costiere attirano turisti e ispirano arte, cultura e tradizioni locali.

4. Servizi di Supporto

Questi servizi forniscono le funzioni di base necessarie affinché altri processi naturali possano avvenire, come la formazione del suolo, il ciclo dei nutrienti e la creazione di habitat per piante e animali.

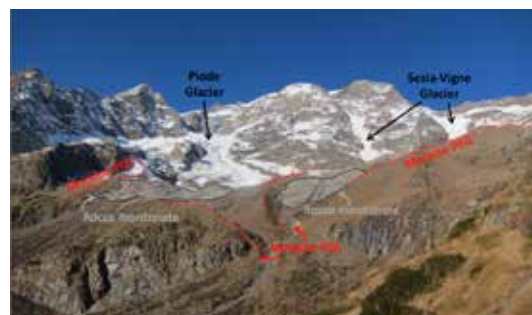
5. Servizi di Conoscenza

I servizi del geosistema contribuiscono anche alla ricerca scientifica e all'educazione. Le caratteristiche e i processi della Terra offrono opportunità per imparare sulla storia geologica, i cambiamenti climatici e la gestione delle risorse naturali. Ad esempio, lo studio dei fossili ci aiuta a comprendere l'evoluzione della vita, mentre l'analisi delle formazioni rocciose fornisce approfondimenti sull'attività tettonica del nostro pianeta.

ESEMPI DI GHIACCIAI ALPINI E REGIONI DI ALTA MONTAGNA

I ghiacciai e le regioni di alta montagna sono ottimi esempi di geodiversità in azione, che mostrano come le caratteristiche fisiche della Terra contribuiscano ai servizi del geosistema:

Ghiacciai: I ghiacciai sono enormi formazioni di ghiaccio che si muovono lentamente attraverso il paesaggio alpino. Modellano valli, plasmano montagne, formano morene e laghi. A proposito di servizi del geosistema, i ghiacciai delle Alpi forniscono acqua a milioni di persone e regolano il flusso dei fiumi. Inoltre, attraggono visitatori, contribuendo al turismo e alla ricreazione.



Ritiro glaciale e formazione di morene

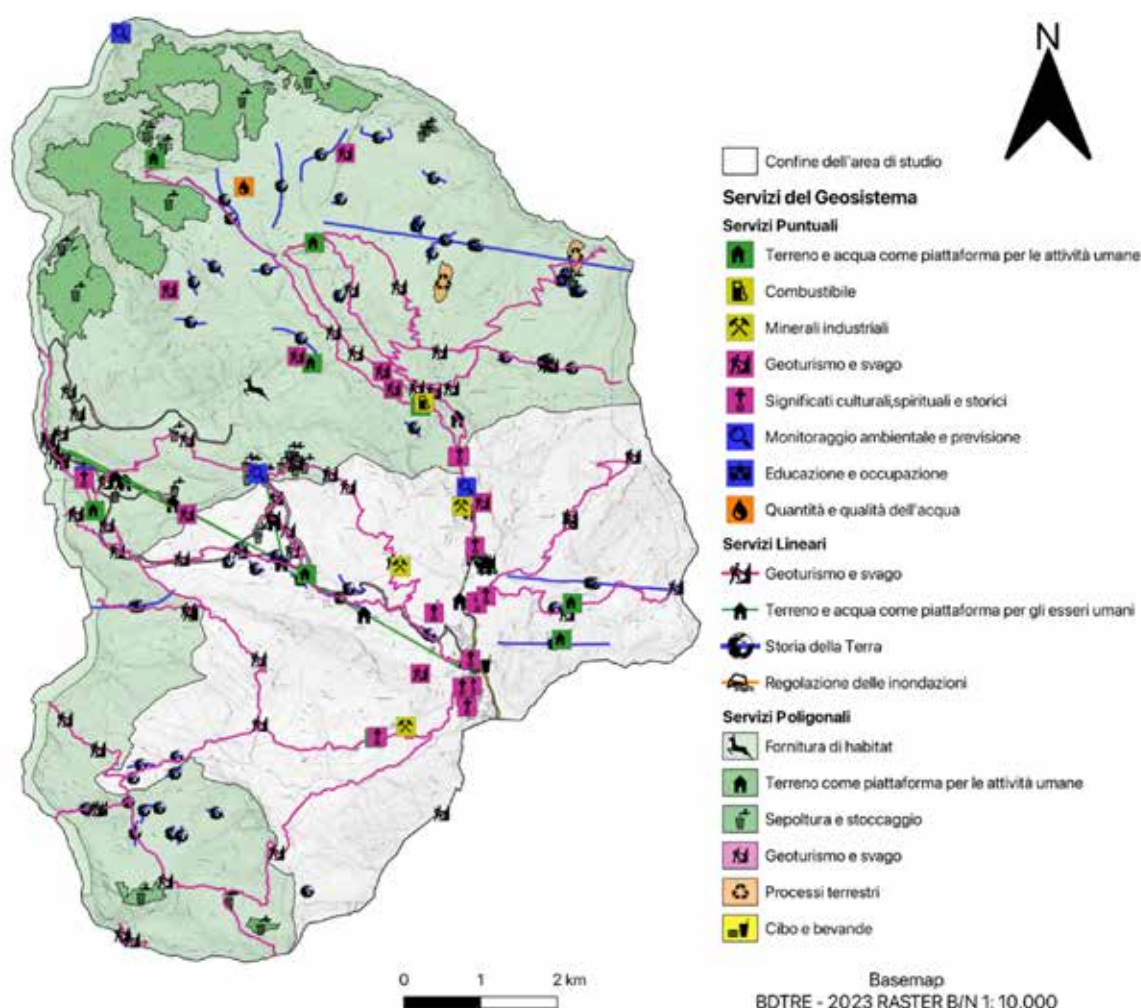
Regioni di Alta Montagna: Le aree di alta montagna, come le Alpi, offrono una geodiversità unica. Ospitano una varietà di forme del terreno, come cime, valli e scogliere, formatesi nel corso di milioni di anni attraverso attività tettonica ed erosione. Queste regioni sostengono ecosistemi diversificati, forniscono risorse come i minerali e sono una fonte di ispirazione culturale e spirituale.



Monte Rosa. Foto di Marco Giardino.

CARTOGRAFIA DEL GEOSISTEMA DI ALAGNA VALSESIA

La carta del Geosistema di Alagna Valsesia (Fig. 4) è uno strumento che mostra la geodiversità di un'importante area montana d'alta quota nelle Alpi occidentali, sulle pendici del Monte Rosa.

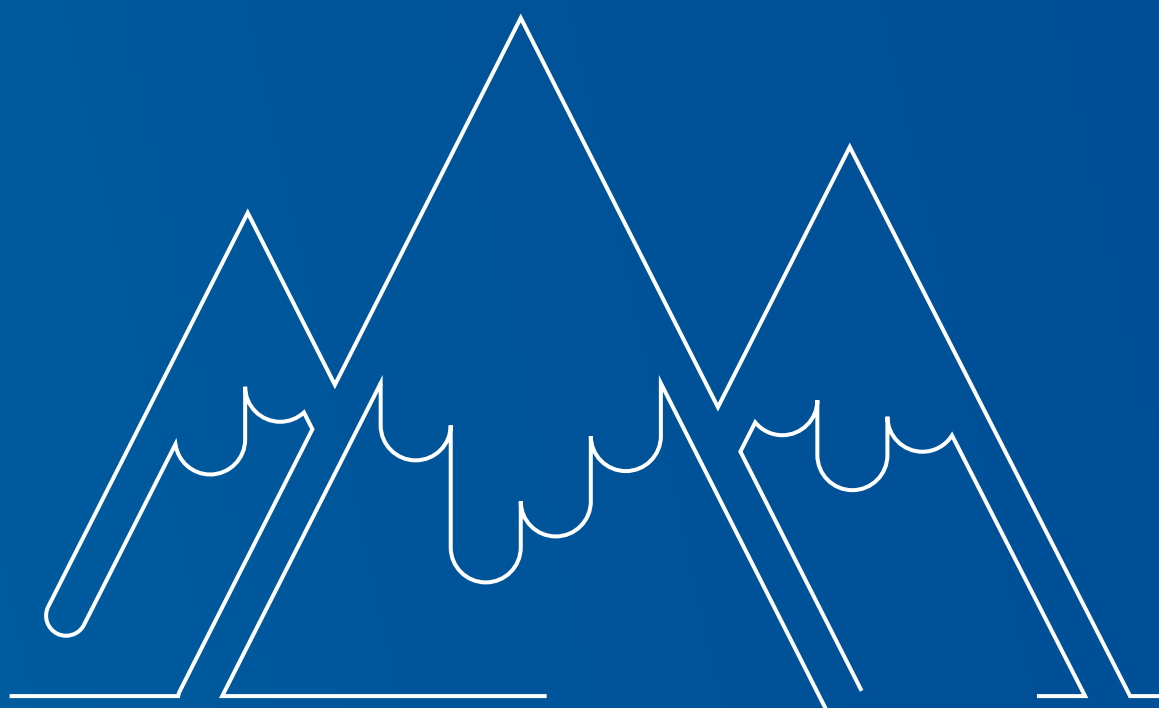


I servizi del geosistema di Alagna Valsesia possono essere considerati come i “lavori utili” svolti da rocce, suoli e paesaggi d'alta quota che caratterizzano questo settore alpino: essi rendono la vita possibile e piacevole nell'area di Alagna. Semplificando un po'... ecco come funzionano:

- Forniscono le risorse di cui hanno bisogno gli abitanti, come acqua e minerali.
- Proteggono il territorio controllando le inondazioni e stabilizzando il terreno.
- Ci ispirano con la loro bellezza e il loro significato culturale.
- Sostengono la natura creando suoli sani e habitat.
- Ci insegnano attraverso la conoscenza del passato geologico, dei processi in atto e del futuro della Terra.

SECONDA PARTE

BIODIVERSITÀ E ALTE QUOTE



CAMBIAMENTI CLIMATICI ED ECOSISTEMI MONTANI

Com'è noto l'ambiente alpino per sua natura è contraddistinto da un'estrema variabilità delle condizioni climatiche, in genere molto rigide: estate alpina molto breve, con elevata incidenza di radiazioni solari, fortissimi e improvvisi sbalzi di temperatura che comportano anche differenze di decine di gradi tra le parti esposte al sole e quelle in ombra, venti ad effetto evaporante e inaridente che causano erosione dei suoli e scalzamento delle piante, copertura nevosa che, pur abbreviando il periodo vegetativo, difende sotto la sua coltre le piante dagli effetti del gelo. Tali condizioni impongono limiti ben precisi allo sviluppo degli organismi viventi che hanno dovuto produrre tecniche e strategie particolari per sopravvivere in un ambiente tanto ostile. Sulla fragilità di questi equilibri impattano i cambiamenti climatici con significative conseguenze sulla biodiversità a causa delle variazioni di temperatura, precipitazioni e copertura nevosa che colpisce varie specie ed ecosistemi.



RISALITA DELLE SPECIE

Secondo gli studiosi il crescente riscaldamento dovrebbe portare nelle zone montuose del pianeta ad uno slittamento verso l'alto dell'*optimum climatico*¹ delle specie alpine e dei loro habitat rifugio con una migrazione di specie e habitat verso quote maggiori. Infatti, a causa dei cambiamenti climatici gli habitat si comportano come una specie di montacarichi che va verso l'alto e alle piante e agli altri viventi non resta che rincorrere il proprio ambiente naturale. **Se nei prossimi 100 anni la temperatura si innalzerà di 3 gradi centigradi, le aree di vegetazione si dovranno spostare di circa 600 metri verso l'alto** (come descritto in uno studio pubblicato su Science), una distanza eccessiva per molte piante alpine, perché troppo lente. Gran parte dei boschi, infatti, si diffonde a una velocità inferiore. La migrazione altitudinale, tuttavia, implica una riduzione della superficie disponibile nelle aree sommitali, poiché le montagne hanno altezze limitate. Accadrà così che le specie adattate alle condizioni più calde e provenienti da quote più basse guadagneranno terreno, probabilmente a scapito delle specie alpine adattate a condizioni più fredde. A rischio sono soprattutto le specie alpine 'cacuminali', ovvero di vetta, che già oggi si trovano a quote elevate e con l'aumento di temperatura non potrebbero riparare altrove migrando. Alcune specie sono già diventate più rare o scomparse del tutto dalle Alpi. **Nelle situazioni dove la migrazione delle specie non è più possibile perché si giunge al limite fisico delle terre, la sopravvivenza di molte specie, habitat ed ecosistemi terrestri viene messa in pericolo.** È questo il caso delle regioni di montagna, che già rappresentano zone di rifugio delle specie adattate al clima più freddo dell'ultimo periodo glaciale. In tali zone, ad esempio, gli ecosistemi forestali alpini tenderanno a raggiungere quote più elevate, sebbene particolarmente vulnerabili alle variazioni del regime idrologico e alla riduzione delle riserve idriche in relazione alla fusione dei ghiacciai.

¹ Optimum climatico è una fase in un ciclo climatico in cui le condizioni ambientali sono ottimali per la crescita e la prosperità degli ecosistemi.

CAMBIAMENTI CLIMATICI ED ECOSISTEMI IN VALLE D'AOSTA: UN EQUILIBRIO FRAGILE

Marta Galvagno, Gianluca Filippa,
Paolo Pogliotti, Umberto Morra di Cella,
Sofia Koliopoulos
ARPA Valle d'Aosta

Le Alpi sono una delle regioni più vulnerabili al riscaldamento globale, dal momento che l'aumento delle temperature sta avvenendo ad un ritmo doppio rispetto alla media globale. Questo rapido riscaldamento minaccia gli ecosistemi alpini e le economie locali che dipendono dalle risorse naturali del territorio.

Gli ecosistemi rappresentano l'insieme di piante, animali e microorganismi che popolano un determinato luogo e delle interazioni tra questi organismi e l'ambiente non vivente (clima e paesaggio) che li circonda. Gli ecosistemi in Valle d'Aosta sono in grado di fornire una vasta gamma di servizi essenziali, come l'assorbimento di CO₂, la conservazione e depurazione dell'acqua, la produzione di materia organica, il mantenimento della biodiversità, il raf-

frescamento, la ricreazione, la regolazione del clima. Tuttavia, i cambiamenti climatici stanno alterando profondamente questi equilibri naturali, minacciando la salute e la funzionalità degli ecosistemi in montagna.

Dal momento che si tratta di sistemi biologici complessi risulta altrettanto complesso descrivere tutti gli impatti dei cambiamenti climatici sugli ecosistemi di montagna. In generale, **l'aumento della temperatura media può infatti avere un effetto sulla vegetazione normalmente adattata ai climi rigidi della montagna, aumentando la lunghezza della stagione vegetativa e di conseguenza la produttività** (fotosintesi e produzione di biomassa). Inoltre, sia a livello alpino, che regionale, si sta osservando il fenomeno di greening, ovvero l'aumento della percentuale di superficie ricoperta da vegetazione. Questo fenomeno avviene come conseguenza del prolungamento della stagione vegetativa e per la colonizzazione da parte della vegetazione di alta quota delle aree

progressivamente liberate dalla fusione dei ghiacciai. **In Valle d'Aosta, anche la percentuale di bosco e delle altre aree ricoperte da alberi è aumentata di circa il 18% negli ultimi 10 anni** (dati INFC 2015), come combinazione di fattori climatici e di gestione del territorio. L'aumento della superficie vegetata, pur essendo un processo positivo, presenta delle criticità. La scomparsa di aree precedentemente coperte da neve o ghiaccio e la colonizzazione da parte della vegetazione sta provocando una riduzione dell'albedo, ovvero la capacità del suolo di riflettere la radiazione solare. Questo fenomeno contribuisce a un aumento della temperatura superficiale, instaurando un *feedback* positivo che accelera ulteriormente il riscaldamento. Inoltre, con l'allungamento della stagione vegetativa, si può verificare anche un aumento del consumo complessivo di acqua da parte delle piante. Questo incremento, legato al processo di evapotraspirazione, può comportare una maggiore perdita di acqua dall'ecosistema, influenzando negativamente il bilancio idrico, solo parzialmente compensato da una maggiore fusione nivo-glaciale alle alte quote.

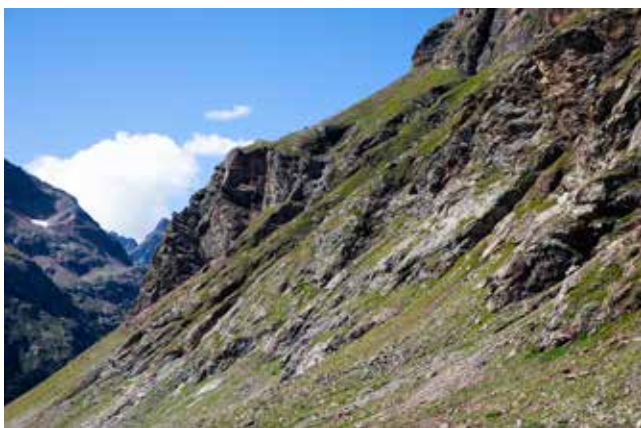
Le variazioni della stagione vegetativa hanno importanti impatti sulla fenologia (ciclo vitale) non solo delle piante, ma anche di animali e microrganismi legati alla vegetazione stessa. Sono già state osservate infatti variazioni della biodiversità come conseguenza degli *shift* temporali con cui alcuni fenomeni si manifestano (comparsa delle foglie, fioritura, fruttificazione). **L'aumento medio delle temperature comporta anche cambiamenti nella distribuzione di specie vegetali e animali, con le specie adattate a temperature più basse che tendono a migrare a quote più elevate. Questo fenomeno comporta l'estinzione di alcune specie (si stima un rischio di estinzione del 45% della flora alpina entro il 2100) quando l'*optimum* di temperatura per la loro sopravvivenza non è più garantito**, come osservato attraverso il progetto GLORIA (Global Observation Research Initiative in Alpine Environments)

Gli impatti più gravi ed immediati dei cambiamenti climatici si osservano a causa dell'aumento della frequenza e dell'intensità degli eventi climatici estremi, come ondate di calore, siccità, precipitazioni intense, gelate tardive o incendi che comportano una variazione immediata delle condizioni ambientali alle quali gli ecosistemi non sono in grado

di adattarsi abbastanza rapidamente. **Nel 2022 ad esempio in Valle d'Aosta, a causa di una prolungata ondata di calore e siccità estiva, si è osservata una riduzione della produttività dei pascoli compresa tra 15 e 30%, a seconda dei settori, con un effetto maggiore nel mese di agosto e un aumento del fabbisogno irriguo di circa il 20%, soprattutto nella fascia di quota 1500-2000 m, con ripercussioni sull'allevamento e la produzione di prodotti tipici come la Fontina.**

Uno dei ruoli fondamentali svolti dagli ecosistemi è l'assorbimento della CO₂ dall'atmosfera: piante e suolo immagazzinano enormi quantità di carbonio grazie al processo di fotosintesi, aiutandoci quindi a mitigare l'aumento delle nostre emissioni di gas serra in atmosfera. **Gli eventi estremi connessi alla temperatura e alla disponibilità idrica compromettono i processi fisiologici della vegetazione in montagna riducendo drasticamente la loro capacità di fare fotosintesi e di conseguenza il loro potenziale di mitigazione. Ad esempio, nel 2017, anno particolarmente siccitoso in Valle d'Aosta, è stata osservata una riduzione di circa il 20% della capacità dei pascoli di immagazzinare CO₂ e un calo del 17% nel carbonio accumulato sotto forma di legno in un lariceto d'alta quota** (dati stazioni ARPA di Torgnon). Nonostante gli ecosistemi valdostani siano in grado di assorbire quasi il 70% delle emissioni antropogeniche della regione, le azioni di riduzione delle emissioni globali rimangono cruciali anche per poter salvaguardare le funzioni biologiche di questi ecosistemi.

In risposta a queste trasformazioni, il monitoraggio realizzato da ARPA Valle d'Aosta in collaborazione con le altre strutture Regionali e le infrastrutture di ricerca (come, ad esempio, ICOS o LTER), svolgono un ruolo cruciale. Attraverso stazioni di osservazione a lungo termine e tecnologie avanzate, si raccolgono dati su flussi di carbonio, temperature e variazioni della copertura vegetale. Attraverso l'analisi di immagini satellitari si integrano i dati delle stazioni di osservazione per ottenere un quadro conoscitivo complessivo per il territorio regionale. Tali informazioni permettono di analizzare in tempo reale lo stato degli ecosistemi e di comprenderne l'evoluzione in un contesto di cambiamento climatico.



Anche se gli spostamenti non implicano necessariamente una riduzione “quantitativa” della biodiversità, intesa come il numero di specie rappresentate in una determinata regione i cambiamenti in atto avranno per effetto la modifica e il deterioramento dei servizi ecosistemici.

Spesso avviene una sostituzione “qualitativa”, ove specie dalle esigenze più “generaliste”, specie tipiche di climi più caldi o specie invasive hanno il sopravvento rispetto a quelle preesistenti nella stessa zona. **In generale si può affermare che le attività antropiche, unite ai cambiamenti climatici e alle specie invasive, provocano in diversi casi il cambiamento della composizione delle specie:** quelle più diffuse si diffondono ulteriormente, mentre quelle con areale, consistenza numerica e distribuzione limitati quindi, già più esposte al pericolo di estinzione, riducono ulteriormente la loro presenza. Il capitolo sulle specie invasive descrive per l'appunto i cambiamenti che avvengono man mano che il clima si riscalda: specie animali e vegetali una volta limitate alle latitudini più basse possono ora prosperare nelle Alpi.

IL BOSTRICO, UN COLEOTTERO CHE STA UCCIDENDO LE FORESTE DEL TRENTINO E DEL CADORE

L'*Ips typographus*, noto come bostrico tipografo, è un piccolo insetto coleottero dell'ordine degli Scarabei, di forma cilindrica e di colore bruno, lungo circa 4-5 mm. È endemico dei boschi di gran parte delle Alpi e attacca prevalentemente l'abete rosso, in cui si sviluppa sotto la corteccia scavando intricate gallerie che interrompono il flusso della linfa. In tal modo porta inevitabilmente a morte le piante in breve tempo. Già nei primi del 2000 ha causato danni molto importanti in numerosi popolamenti di abete rosso in Svizzera e in Francia. Nelle Alpi del Nord-Est gli alberi abbattuti dalla tempesta Vaia e rimasti a terra in questi ultimi anni hanno favorito una proliferazione abnorme di questo insetto. **L'Università di Padova, in uno studio, ha evidenziato come l'azione del bostrico tipografo distruggerà un'area boschiva sulle Dolomiti ampia dalle due alle cinque volte gli alberi abbattuti dalla tempesta Vaia.**

Il prolungamento del periodo vegetativo causato dai cambiamenti climatici avvantaggia gli insetti nocivi come il bostrico che così possono riprodursi ripetutamente durante un singolo periodo vegetativo. Con l'aumento delle temperature il ciclo di riproduzione del bostrico potrà ridursi da 80 a 45-35 giorni e alla seconda generazione di bostrico si potrà aggiungerne anche una terza nel corso dello stesso periodo vegetativo, con il rischio di danni da bostrici anche alle quote superiori ai 1200 m.

Nel tempo queste specie invasive possono sostituire le specie autoctone, riducendo la biodiversità. Inoltre, esiste una tendenza generale verso l'anticipo di eventi stagionali come la fioritura, la riproduzione o la migrazione.

IL PARCO DEL TRIGLAV, UN HOTSPOT DI BIODIVERSITÀ IN CAMBIAMENTO. IL CASO DEI CAMOSCI

Marko Pretner

Responsabile del centro visite del Parco Nazionale del Triglav e dell'Ecoregione transfrontaliera delle Alpi Giulie di Trenta (Slovenia)

Il Parco del Triglav è un esempio di ecosistema molto sensibile ai cambiamenti climatici. In poco tempo la linea del bosco si è sensibilmente alzata. Questo significa che la copertura boschiva è maggiore, a discapito dei pascoli mentre anni fa, subito dopo la Seconda Guerra Mondiale, nell'area del Parco del Triglav erano presenti tanti animali domestici, come le pecore. **Il numero di pecore si è abbassato da 10000 a 300 nell'arco di circa 100 anni.**

Con i cambiamenti climatici gli inverni si sono accorciati e, negli ultimi 30 anni, ciò ha permesso

l'arrivo di altri animali come ad esempio i cervi. I cervi riescono ad arrivare fino a 2000 m slm, perché il manto nevoso negli ultimi anni rimane solo 2 o 3 mesi, a differenza dei 6 o 7 precedenti al drastico aumento delle temperature.

Tra gli Ungulati i **camosci sono la specie che risente maggiormente di questi cambiamenti**, gli esemplari sono più piccoli e la popolazione è diminuita. Il problema è dovuto dalla minore quantità e qualità del cibo di cui si nutrono, condizione critica soprattutto a giugno, durante il periodo in cui partoriscono. **Con l'aumento delle temperature, l'erba verde ricca di nutrienti cresce almeno un mese prima rispetto al periodo precedente ai cambiamenti climatici, ovvero verso maggio, così una volta che i camosci partoriscono l'erba si è già seccata.**



I cambiamenti di temperatura e le precipitazioni nevose possono influire sulla disponibilità di cibo e habitat per gli animali di montagna, oltre che sui tempi di migrazione e letargo. È questo il **caso dell'ermellino che in inverno cambia il colore del suo mantello passando da un bruno-fulvo a un bianco candido, per mimetizzarsi nell'ambiente innevato**. Solo la punta della coda si mantiene nera ed ha funzione termoregolatrice per le estremità del corpo. **La mancata corrispondenza tra la stagione della neve e la muta espone l'animale a una maggiore visibilità rendendo più difficile la ricerca di cibo e la fuga dai predatori**. Anche la **lepre variabile** è una specie potenzialmente colpita dai cambiamenti climatici in atto. È un mammifero adattato a vivere in alta montagna e deve il suo nome al cambio di **colorazione stagionale del mantello**: durante l'inverno muta in un mimetico mantello bianco utile per sopravvivere in ristrette fasce montane in quota dove dovrebbe essere presente la neve.

Problemi simili si osservano per la **pernice bianca** come descritto nel box *La pernice bianca alla ricerca dei rifugi climatici in Val Sesia*.

Ermellino, *Mustela erminea*Lepre variabile, *Lepus timidus*

LA PERNICE BIANCA ALLA RICERCA DEI RIFUGI CLIMATICI IN VAL SESIA

Lucia Pompilio

Direttrice Aree Protette della Val Sesia

La protezione del manto nevoso ha per secoli consentito la sopravvivenza in inverno di mammiferi e uccelli stanziali sulle Alpi. Parliamo di un gruppo eterogeneo costituito da specie con spiccati adattamenti fisiologici e comportamentali, evolutisi per sopravvivere alle dure condizioni invernali. Un esempio tra gli uccelli è la **pernice bianca**: galliforme della famiglia dei tetraonidi presenta zampe ricoperte di piume fino alle dita, così come le narici, un apparato digerente che le consente di nutrirsi di alimenti poveri di energia (cortecce, rametti, foglie coriacee) e la muta invernale per mimetizzarsi con il candido manto nevoso e sottrarsi ai predatori. Queste strategie di sopravvivenza, affinate nei millenni della sua storia evolutiva, rischiano di non essere più utili a causa dell'impatto di poco più di un secolo

di emissioni climalteranti della civiltà industriale.

Proprio per la conformazione delle montagne, gli animali più adattati alle temperature rigide non possono sfuggire al cambiamento climatico portandosi a quote superiori, perché la forma conica dei rilievi determina una forte contrazione delle superfici disponibili salendo in altezza. **Studi recenti condotti sull'arco alpino evidenziano una perdita di area idonea per la pernice bianca compresa tra il 17 e il 59% a seconda degli scenari di riscaldamento ipotizzati. I ricercatori hanno individuato**

Pernice bianca, *Lagopus lagopus*

aree di rifugio climatico che svolgeranno un ruolo chiave per la sopravvivenza delle specie alto-alpine. Uno di questi rifugi si trova proprio nel nostro Parco. I rifugi climatici dovranno essere protetti da ogni forma di disturbo e da altre forme di impatto indotto dalla presenza umana. Nonostante il previsto effetto positivo dell'anticipo dello scioglimento della neve in primavera sulla riproduzione, le ritardate nevicate autunnali hanno un ef-

fetto negativo sulle popolazioni di pernici bianche, probabilmente attraverso l'aumentata predazione conseguente al "mismatch" con la muta invernale, che non viene ritardata.

Il Parco effettua conteggi estivi di pernici bianche dal 2017 nel Vallone di Olen; dalle nostre indagini è emerso il graduale innalzamento degli uccelli, che si osservano sempre più di frequente oltre i 3000 m s.l.m.

CAMBIAMENTI DELLA FLORA E DELLA FAUNA PERIGLACIALE NEL MASSICCIO DEL MONTE CANIN

Nicola Ceschia

Parco Naturale Regionale delle Prealpi Giulie

Anche i territori del Parco Naturale Regionale delle Prealpi Giulie sono sensibili ai cambiamenti climatici e i **risultati di alcuni monitoraggi mostrano che qualcosa sta cambiando.** Sul territorio non vi sono studi scientifici che intersecano dati riguardanti la biodiversità e gli effetti (diretti ed indiretti) del cambiamento climatico, ciononostante è comunque possibile portare alcuni esempi.

Il primo riguarda il monitoraggio sulla flora periglaciale svolto sul massiccio del monte Canin, dove si trova uno dei ghiacciai più bassi dell'arco alpino. Nell'ambito del progetto Interreg ITA-SLO Climapark 2007-13 sono state realizzate 8 aree di rilevamento permanenti che includono tutte le principali tipologie di vegetazione legate alle aree periglaciali. Dopo 11 anni in cui si sono svolti tre monitoraggi (2012, 2018 e 2023) gli esperti hanno rilevato che in ogni area, sebbene non vi siano cambiamenti nelle associazioni vegetali, **vi sono alcune modifiche sia nella composizione floristica che nella copertura.** Si nota inoltre un turn-over tra le specie, l'ingresso di alcune specie più esigenti anche negli habitat più pionieri e un lento sviluppo del suolo. Attualmente sono in corso altri studi che utilizzano tecniche di monitoraggio differenti, grazie ai quali si spera di ricavare sempre maggiori informazioni per attuare corrette scelte conservazionistiche e gestionali.

Parlando invece di fauna, si porta l'esempio della **pernice bianca**: questo uccello, perfettamente adattato alla vita d'alta quota, sta soffrendo il rialzo delle temperature medie e la carenza di neve nei suoi habitat. I monitoraggi sul massiccio del monte Ca-

nin (negli anni 2016, 2018-19 e 2023) rilevano come la specie sia stabile, sebbene servirebbero studi più approfonditi per capirne bene la struttura di popolazione. Importante far notare invece come sul vicino monte Plauris (1958m) la specie, un tempo presente e regolarmente contattata, non sia segnalata da ormai oltre 10 anni sintomo questo di un avvenuto cambiamento. Ancora più remota è l'ultima segnalazione sul Granmonte (1636m), poco oltre i confini del Parco, che è datata 1996.

La situazione appena descritta è molto simile anche per un'altra specie legata agli habitat d'alta quota: lo **stambecco**. Se la popolazione del massiccio del Canin è in crescita con il record storico di 161 individui censiti nel 2023, la popolazione del monte Plauris invece è ormai in declino con solamente 16 individui censiti lo scorso anno. Va segnalato che il motivo del crollo avvenuto sulla seconda popolazione è in primis da ricercare nell'epidemia di rogna avvenuta tra il 2014 e il 2016 che ha portato alla perdita di oltre 150 individui. Se però si leggono gli studi svolti dall'Università di Sassari nel Parco del Gran Paradiso pubblicati nel 2019, che hanno dimostrato come il cambiamento climatico andrà ad influenzare la distribuzione della specie verso quote più alte e a modificarne alcuni comportamenti, il futuro della specie è tutt'altro che roseo e nei prossimi decenni potremmo assistere ad una riduzione anche nella colonia del monte Canin. Alcuni dei monitoraggi descritti in precedenza sono stati possibili grazie ai finanziamenti dell'Unione Europea e in particolare ai progetti Interreg ITA-SLO come il già citato Climaparks 2007-13, Nat2Care 2014-20 ed E-Nat2Care 2021-27, in collaborazione con il Parco Nazionale del Triglav.

Le differenti modalità di fusione della neve possono alterare i tempi e la quantità di acqua disponibili per gli ecosistemi. **I cambiamenti di temperatura e precipitazioni condizionano in particolare gli ecosistemi di acqua dolce, importanti per la sopravvivenza di molte specie nelle Alpi, laddove le temperature possono ridurre l'ossigeno disponibile per i pesci e altri organismi acquatici.**

Per sopperire almeno in parte alla scomparsa di ambienti idonei ad ospitare le specie che con l'affermarsi di nuovi scenari climatici rischiano la sopravvivenza è importante individuare le aree naturali che possono costituire un rifugio, un vero e proprio rifugio climatico. **I rifugi climatici sono aree che rimangono adatte alla conservazione delle specie anche a fronte del clima che cambia,** ma oggi sono situate per lo più al di fuori delle aree protette che vanno ampliate e messe maggiormente in rete per includervi anche i rifugi climatici.

RIFUGI CLIMATICI PER GLI UCCELLI D'ALTA QUOTA

Francesca Roseo

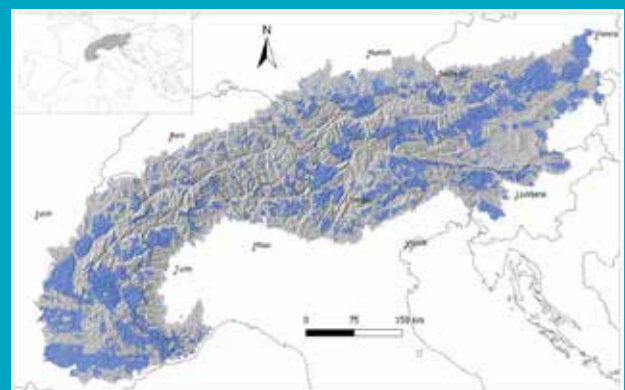
Zoologa

Tra gli effetti della crisi climatica in corso vi sono anche il degrado e la scomparsa degli ambienti montani, percepibili anche attraverso la perdita o la riduzione di molti i servizi ecosistemici a essi collegati. Il clima nell'arco alpino, come in diverse altre catene montuose, è sottoposto a variazioni sempre più celeri ed estreme. Le montagne, infatti, hanno registrato negli ultimi anni a livello globale un tasso di riscaldamento superiore alla media, che si ripercuote anche sulla vita degli organismi che le abitano. Diverse specie stanno rispondendo all'alterazione dell'ambiente e del clima spostando la loro distribuzione verso l'alto. Tra queste vi sono anche gli uccelli d'alta quota, adattati alle rigide condizioni climatiche tipiche degli ambienti montani, e per questo fortemente suscettibili all'aumento delle temperature e alla conseguente perdita o alterazione di habitat.

In questo contesto, in cui le Alpi si stanno riscaldando al doppio della velocità media del pianeta, **individuare e proteggere le aree che rimarranno idonee anche in futuro per le specie "specializzate" per la vita in alta quota è quanto mai importante per conservare la biodiversità alpina. In queste aree, indicate con il termine di rifugi climatici, le condizioni ambientali alla base della sopravvivenza di queste specie, tra cui variabili climatiche chiave come la temperatura e le precipitazioni, rimarranno invariate o subiranno variazioni modeste, tali da non pregiudicare la loro idoneità per le specie in questione, anche considerando i peggiori scenari climatici futuri.**

Queste aree sono dunque fondamentali per la

conservazione della biodiversità, ancor più se consideriamo il momento storico in cui ci troviamo, in cui l'aumento delle temperature comporterà la perdita di condizioni climatiche e aree idonee alla sopravvivenza delle specie montane. Tutelare i rifugi climatici ed evitare ulteriori alterazioni ambientali causate dall'espansione di attività e strutture antropiche, quali per esempio quelle legate allo sviluppo turistico, infrastrutturale, energetico o abitativo, dovrebbe essere un obiettivo comune strategico per preservare questi luoghi. Insieme alle specie d'alta quota, tutelare i rifugi climatici consentirebbe di conservare elementi naturali che fanno parte del paesaggio culturale e identitario di molte comunità locali, cui possono fornire anche altri importanti servizi ecosistemici. Infine, tutelare i rifugi climatici può essere un modo efficace per contribuire al raggiungimento del target previsto dalla Strategia europea per la biodiversità, previsto per il 2030, di proteggere il 30% del territorio.



Identificazione di rifugi climatici per gli uccelli alpini di alta quota secondo le attuali previsioni di riscaldamento climatico.

Fonte: Global Change Biology, Volume: 28, Issue: 14, Pages: 4276-4291, First published: 20 April 2022, DOI: (10.1111/gcb.16187)

ECOSISTEMI E RITIRO DEI GHIACCIAI

Il ritiro dei ghiacciai sta liberando ampie porzioni di territorio alpino dando origine a zone deglacciate, meglio definite come aree proglaciali. La comprensione di questi ecosistemi post-glaciali è importante visto che nel futuro prossimo la fusione dei ghiacciai porterà a uno dei più rapidi spostamenti di ecosistemi sulla terra. In base alle ricerche svolte con il progetto Ice&Life (Bosson et al, 2023) si prevede che **entro il 2100, il declino di tutti i ghiacciai al di fuori delle calotte glaciali dell'Antartide e della Groenlandia potrebbe generare nuovi ecosistemi terrestri, marini e di acqua dolce su un'area che va dalle dimensioni del Nepal (147.000 km²) a quella della Finlandia (338.000 km²).**

ICE&LIFE. UN VIAGGIO INEDITO NEL FUTURO DELLE AREE COPERTE DAI GHIACCIAI DELLA TERRA

Nel 2023 è stato pubblicato sulla rivista *Nature* uno studio che non ha precedenti sull'evoluzione dei ghiacciai e delle aree deglacciate sulla Terra tra il 2020 e il 2100. Per la prima volta si è effettuata un'analisi dettagliata a livello mondiale dell'evoluzione futura delle aree glaciali e delle relative conseguenze ecologiche. Grazie a una dettagliata modellazione dell'evoluzione dei ghiacciai, un gruppo di ricerca francese e svizzero ha analizzato l'evoluzione dei 210.000 ghiacciai del nostro pianeta (escluse le calotte glaciali dell'Antartide e della Groenlandia), nonché le future aree libere dai ghiacci e le temperature dell'aria che prevarranno nelle aree deglacciate fino al 2100. I principali risultati dello studio mostrano che:

- **Nel 2020 i ghiacciai del mondo hanno coperto 665.000 km² (circa la superficie dell'Afghanistan). A seconda degli scenari di emissione di gas a effetto serra, si pre-**

vede che quest'area diminuirà dal 22 ± 8 al 49 ± 15 % al 2100. Di conseguenza, le aree che diventeranno libere dai ghiacci tra il 2020 e il 2100 copriranno da 149.000 ± 55.000 (la superficie del Nepal) a 339.000 ± 99.000 km² (la superficie della Finlandia). Il 78% sarà costituito da superfici continentali, il 14 marine e l'8% da calotte polari. Ciò porterà alla nascita di grandi ecosistemi terrestri (rocce e sedimenti, praterie, arbusti, foreste, ecc.), marini (fiordi, lagune, coste) e d'acqua dolce (laghi, zone umide, fiumi). A seconda delle proiezioni climatiche, questi ecosistemi post-glaciali oscilleranno dagli spazi di dimensioni limitate e soggetti a condizioni ecologiche estreme, offrendo rifugi per una biodiversità adattata, alle vaste aree caratterizzate da condizioni ecologiche più favorevoli che consentiranno l'arrivo di specie generaliste.

- I ghiacciai e gli ecosistemi post-glaciali svolgo-

no un ruolo importante nella mitigazione (albedo, cambiamento della copertura del suolo) e nell'adattamento ai cambiamenti climatici, garantendo l'accesso all'acqua dolce in molte regioni ma anche limitando l'innalzamento del livello del mare e contenendo il declino della biodiversità. **Nonostante la loro importanza, questi ecosistemi sono ancora poco riconosciuti nelle politiche di conservazione della natura e meno del 50% delle aree glacializzate si trova in aree protette.** Gli autori mostrano come misure immediate, drastiche e senza precedenti per mitigare il cambiamento climatico salverebbero una parte significativa degli attuali ghiacciai sulla Terra entro il 2100, con vari benefici ben oltre la loro portata. I ghiacciai e gli ecosistemi post-glaciali si trovano principalmente su spazi pubblici o comunitari e la creazione di aree protette su questi *beni comuni* garantirebbe l'in-

tegrità e la funzionalità di questi ecosistemi chiave e limiterebbe le crescenti minacce antropiche.

I risultati di questo studio fanno eco agli appelli e agli impegni internazionali sull'urgenza e la necessità di intensificare congiuntamente la mitigazione dei cambiamenti climatici (rapporto di sintesi dell'IPCC nel 2023), la conservazione delle risorse idriche (conferenza delle Nazioni Unite sull'acqua 2023) e la protezione della natura (Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework nel 2022).

Questo studio è stato condotto nell'ambito del progetto Ice&Life. Sviluppato da Jean-Baptiste Bosson (marge sauvage, precedentemente presso Asters - Conservatoire d'Espaces Naturels de Haute-Savoie e IUCN) mira a riunire scienza e conservazione della natura, società civile, mondo accademico e attori pubblici per comprendere e proteggere meglio i ghiacciai e gli ecosistemi post-glaciali.

GHIACCIAI DELL'EUROPA CENTRALE

Superficie dei 3.450 ghiacciai nel 2020

1.790 km²
(pari al 4% della Svizzera)

Superficie dei ghiacciai
nel 2100 rispetto al 2020

da -45 (± 26%) a -95 (± 6%)

Volume dei ghiacciai
nel 2100 rispetto al 2020 (80 km³ di acqua)

da -58 (± 29%) a -98 (± 3%)

Numero di ghiacciai
nel 2100 rispetto al 2020 (3450)

da -50 (± 29%) a -97 (± 4%)

Superficie dei ghiacciai nelle aree protette

Protezione forte



Altre tutele



Patrimonio mondiale dell'UNESCO



L'uomo e la biosfera UNESCO



Convenzione di Ramsar



La proposta di Ice&Life ha ricevuto un riscontro molto positivo in Francia. **La proposta di creare aree protette sugli ecosistemi glaciali e postglaciali è stata particolarmente utilizzata e adottata dal Presidente Macron durante l'One Planet Polar Summit di Parigi nel novembre 2023 e nella nuova Strategia Nazionale Fran-**

cese per la Biodiversità (SNB3, 2023, Azione 1-11 sulla protezione dei ghiacciai). Il Ministero dell'Ambiente francese sta ora lavorando all'attuazione di questi obiettivi con le parti interessate nei territori e ha condiviso la sua scelta durante la riunione sulla biodiversità della Convenzione delle Alpi nel gennaio 2024.

Gli ecosistemi post-glaciali potrebbero fornire un luogo di rifugio per le specie che vengono spostate altrove dal riscaldamento dove però devono ricostruirsi nuovi equilibri. Infatti, se con il ritiro dei ghiacciai avviene un iniziale aumento della biodiversità, poi però con il tempo le specie che non riescono a adattarsi al nuovo ecosistema scompariranno.

Gli ambienti proglaciali saranno soggetti a un maggior riscaldamento. Le cause di questo incremento rispetto agli ambienti glaciale e montano sono riconducibili al fatto che l'ambiente periglaciale presenta una superficie in gran parte composta da nuda roccia e, come è ben noto, la roccia esposta al sole si scalda molto di più. Il maggior riscaldamento dell'ambiente proglaciale rispetto a un qualsiasi ambiente montano è anche dovuto al fatto che quest'ultimo generalmente è caratterizzato dalla presenza di alberi di alto fusto (conifere e latifoglie) che esercitano un effetto mitigante sulla temperatura soprattutto grazie al processo di evapotraspirazione svolto in gran parte dalle foglie. **Alle alte quote potranno anche sorgere seri problemi di approvvigionamento idrico perché oltre alla riduzione delle masse glaciali vi sarà uno spostamento stagionale sempre più marcato nei regimi delle precipitazioni, un quantitativo significativo di precipitazioni solide (neve) cadrà come pioggia e non si potrà accumulare come ghiaccio** (Chiarle *et al.* 2021).

I paesaggi alpini stanno subendo veloci ed evidenti evoluzioni anche in conseguenza delle modificazioni geomorfologiche. Tra le più evidenti che caratterizzano le aree abbandonate dai ghiacciai c'è la formazione di nuovi laghi e quindi di nuovi habitat. In Valle d'Aosta, ad esempio, il numero totale dei laghi è raddoppiato, tra il 2006 e il 2015 sono comparsi quasi 170 nuovi laghi. Nuovi ecosistemi da monitorare e tutelare.

Sempre in conseguenza del ritiro dei ghiacciai, secondo Carrivick della School of Geography dell'università di Leeds, **i fiumi che attraversano le Alpi subiranno grandi cambiamenti nel loro contributo alla fonte d'acqua**. A breve termine, alcuni trasporteranno più acqua e si formeranno alcuni nuovi affluenti, ma tra diversi decenni la maggior parte dei fiumi diventerà più secca. Inoltre, in futuro la maggior parte dell'acqua nei fiumi alpini sarà anche più calda.



COLONIZZAZIONI E SCOMPARSE

Il ritiro dei ghiacciai influenzerà la gran parte delle specie di alta quota. Di queste alcune trarranno giovamento dal fenomeno, mentre le rimanenti molto probabilmente saranno destinate all'estinzione.

La colonizzazione delle aree proglaciali da parte delle piante è relativamente veloce. Infatti, in meno di un secolo si può formare una foresta dove prima c'erano detriti rocciosi (Ficetola *et al.* 2021). I batteri e i funghi microscopici sono i primi a reagire a tale situazione. Poi licheni, muschi e piante.

I primi, essendo organismi che per vivere necessitano di ambienti freddi e umidi, si organizzano in una vera e propria rincorsa dei ghiacciai in ritiro.

La deglaciazione favorisce l'insediamento di arbusti e conifere, modificando la tipologia di vegetazione presente. Un recente studio condotto nel Parco Nazionale Gran Paradiso, in collaborazione con il Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari dell'Università di Torino ha evidenziato che la colonizzazione vegetale in atto nelle aree liberate dal ghiaccio è aumentata 45 volte più velocemente rispetto ai modelli previsionali. **La velocità con cui queste comunità si stanno sviluppando può alterare la stabilità degli ecosistemi e la biodiversità, potenzialmente a scapito delle specie alpine più caratteristiche delle alte quote minacciate da specie più competitive provenienti da piani altitudinali inferiori.** Quando i ghiacciai si ritirano, lasciano dietro di sé terreni esposti e instabili. Le piante che colonizzano questi spazi aiutano a stabilizzare il terreno e a prevenire erosioni. Se le piante si insediano velocemente, possono aiutare a ridurre i rischi di colate detritiche e alluvioni.



Le prime ad arrivare in seguito al ritiro dei ghiacciai sono le piante “pioniere” ovvero quelle piante che già a partire da qualche anno dalla scomparsa del ghiaccio iniziano a colonizzare un terreno completamente nudo, privo di sostanza organica e di nutrienti riuscendo così a resistere in modo incredibile in ambienti molto “stressanti”.

La loro sopravvivenza è favorita dalla cooperazione tra le specie vegetali. Dopo le comunità pioniere si stabiliscono le prime comunità vegetali. È in questo momento che la biodiversità vegetale è al massimo, in quanto non solo la cooperazione tra piante supporta la biodiversità, ma anche il terreno si è stabilizzato. È più ricco di sostanza organica e di nutrienti. Con il passare del tempo si instaurano le comunità vegetali tardive e si passa da una fase di cooperazione alla competizione tra piante con vincitori e vinti e le specie vegetali meno resistenti al cambiamento scompariranno, portando a una progressiva diminuzione della biodiversità (Losapio et al 2021).

La risposta della fauna è più lenta ed è più evidente la scomparsa di specie che necessitano di vivere in prossimità dei corpi glaciali. Ad esempio, nella piana pro-glaciale del ghiacciaio dei Forni, circa cent'anni fa, sotto il ghiaccio, vivevano le specie che meglio si adattano a questo tipo di ambiente, come il coleottero *Oreonebria castanea*, che sopravvive solo alle quote più alte dove è ancora rimasto il ghiaccio. Man mano che quest'ultimo si ritira infatti, viene meno il suo habitat. Recenti ricerche, sulle Alpi Italiane, hanno già evidenziato locali estinzioni di insetti acquatici e terrestri tipici degli habitat glaciali (alcune specie di ditteri chironomidi e coleotteri carabidi). A ciò si aggiunge il fatto che molto probabilmente alcune specie endemiche, a causa della loro distribuzione in zone alpine poco accessibili, non sono ancora state descritte e potrebbero estinguersi prima che ciò avvenga (Ficetola et al. 2021).

Con la scomparsa dei ghiacciai le popolazioni di piante che vivono vicino ai ghiacciai potrebbero non esistere più una volta che i ghiacciai scompaiono.



Noccaea rotundifolia



Erba storna dalle foglie rotonde, *Epilobium dodonae*



Cardi



Aracnide in area proglaciale Marmolada



Insetto in area proglaciale Marmolada

È il caso dell'*Artemisia genipi*, che cresce solamente negli ambienti proglaciali delle Alpi Occidentali e che è ad altissimo rischio. Ci sono anche la *Saxifraga bryoides*, la *Saxifraga oppositifolia*, la *Cardamine resedifolia*, il ranuncolo dei ghiacciai: tutte piante specializzate che perdendo il loro habitat verrebbero messe gravemente a rischio. La perdita di specie vegetali alpine rappresenta un rischio estremo per gli equilibri ecosistemici. Insieme a queste piante è possibile che anche altri organismi possano scomparire: dagli insetti impollinatori, agli animali erbivori, microrganismi del suolo nonché altri predatori parassiti di questi organismi, esse rappresentano i produttori primari. Non sono soltanto una fonte di cibo ma anche di energia per tutto l'ecosistema (Losapio *et al.* 2021).



Vanessa dell'ortica, *Aglais urticae* Luciano Gelfi

Specie favorite dal ritiro dei ghiacciai

Minuartia verna,
Veronica fruticans,
Achillea moschata,
Trifolium pallescens,
Draba aizoides,
Poa alpina,
Trisetum spicatum,
Gentiana nivalis,
Myosotis alpestris,
Carex curvula,
Antennaria dioica,
Leontodon helveticus,
Potentilla aurea,
Senecio incanus.

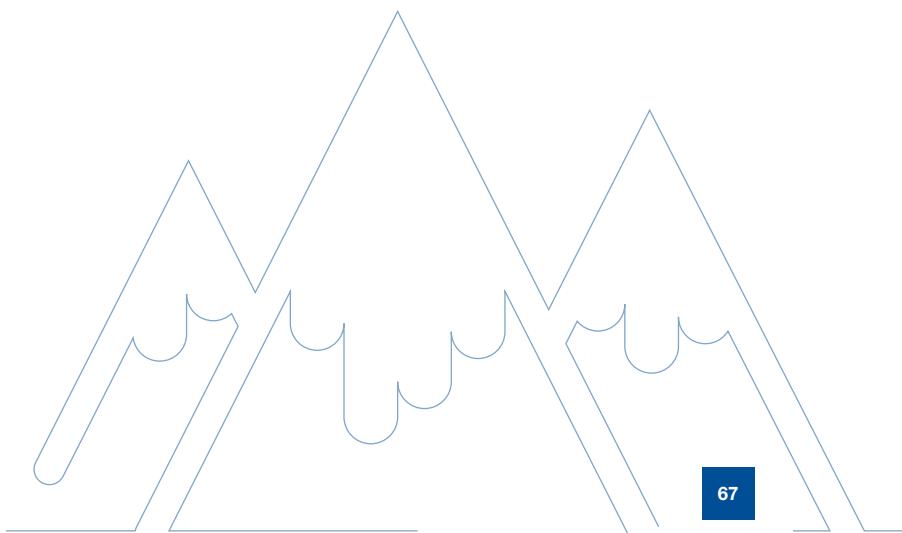
Specie destinate a locale estinzione

Saxifraga bryoides,
Artemisia genipi,
Cardamine resedifolia,
Leucanthemopsis alpina,
Gnaphalium supinum,
Sedum alpestre,
Minuartia sedoides,
Sempervivum arachnoideum,
Hieracium staticifolium,
Hieracium glanduliferum.

Specie ubiquitarie scarsamente influenzate dai cambiamenti ambientali

Anthoxanthum alpinum,
Gentiana kochiana,
Gentiana punctata,
Ligusticum mutellina,
Pedicularis kernerii,
Phyteuma hemisphaericum.

Elaborazione di Legambiente da *Le conseguenze del ritiro dei ghiacciai sono disomogenee tra le specie vegetali*, Losapio *et al.* 2021 [Frontiers | Le conseguenze del ritiro dei ghiacciai sono disomogenee tra le specie vegetali \(frontiersin.org\)](https://frontiersin.org)



NEI GHIACCIAI C'È VITA

I ghiacciai ed il permafrost, un tempo ritenuti ambienti troppo freddi e ostili alla vita, oggi vengono considerati importanti ecosistemi del nostro pianeta, infatti, la criosfera (ghiacciai e permafrost) contiene molte forme di vita. Oramai un numero crescente di pubblicazioni scientifiche sta dimostrando quanto i ghiacciai, sia “bianchi” che “neri”, e le forme del paesaggio legate alla presenza di *permafrost* (ad es. *rock glacier*) siano a tutti gli effetti un habitat nel quale vivono organismi adatti al freddo, la cui sopravvivenza dipende dalla presenza del ghiaccio.

QUANDO GLI ALBERI CRESCONO SOPRA IL GHIACCIAIO. IL CASO DEL MIAGE

I *debris-covered glacier* (ghiacciai neri) come il Miage in conseguenza dell'abbondante copertura detritica rocciosa di varia granulometria e spessore ospitano una biodiversità accentuata; le loro lingue, infatti, grazie alla protezione della coltre detritica, possono scendere a quote inferiori perfino al di sotto del limite degli alberi e il Miage ne costituisce ancora un ottimo esempio. **Il settore inferiore del ghiacciaio, completamente ricoperto di detrito che supera il metro di spessore, ospita**

una ricca biodiversità con decine di specie di piante vascolari, compresi alberi e arbusti.

Fra i primi, tre specie di alberi (*Larix decidua*, *Picea abies* e *Populus tremula*) che formano una vera e propria straordinaria piccola foresta collocata sulla superficie del ghiacciaio, fra i secondi, le specie di arbusti appartenenti al genere *Salix*. A questi si aggiungono ceppi di lieviti isolati, una grande varietà di ragni e coleotteri carabidi insieme a muschi e altri invertebrati.



Nel collage esempi di interazione tra il sistema ghiacciaio e la vegetazione arborea. a) esemplare di larice disturbato dalla dinamica della copertura detritica sopragliaciale (foto D. Zannetti, 2012); b) falesia di ghiaccio sul lobo settentrionale e vegetazione instabile lungo il bordo della scarpata (foto D. Zannetti, 2011); c) alberi di larice che colonizzano l'area immediatamente prospiciente la fronte del ghiacciaio visti dal ponte lungo la deviazione che porta alla Sosta 8 (foto I. Bollati, 2010); d) L'Anfiteatro morenico del Miage visto dalla sommità della morena laterale destra caratterizzato dalla vegetazione che colonizza le diverse cerchie moreniche (foto I. Bollati, 2011); e) alberi parzialmente sommersi dalle acque del Lac du Jardin du Miage (foto I. Bollati, 2010).

Uno studio realizzato da un gruppo di ricercatori dell'Université Grenoble Alpes, del MUSE – Museo delle Scienze (Mauro Gobbi), CNR Pallanza e Université Savoie Mont Blanc, coordinati da Francesco Ficetola, docente di Zoologia dell'Università degli Studi di Milano (2023), ha analizzato il meccanismo con cui si modifica la biodiversità accanto ai ghiacciai nel momento del loro ritiro.

La maggior parte di questi organismi è specializzata a vivere sui ghiacciai e la loro sopravvivenza dipende dalla permanenza del ghiaccio. Ogni ghiacciaio ospita organismi differenti, molte specie sono endemiche, quindi esclusive, e ciascuna specie ha un ruolo chiave nel mantenere l'habitat glaciale, e quelli circostanti, in equilibrio.

Tra i microrganismi i più abbondanti sono i batteri, ma non mancano gli invertebrati, alcuni vertebrati e alcune piante. Molti microrganismi sono metabolicamente attivi, altri dormienti, alcuni morti. Per gli scienziati sono una sorta di archivio. Tra essi alcuni sono ben noti e già sappiamo che possono svolgere un ruolo chiave nella regolazione del cambiamento climatico. Come **gli Archea metanogeni che metabolizzano il carbonio del suolo per rilasciare metano e i metanotrofi del permafrost che lo metabolizzano.**

Ci sono studi (Liebner *et al.* 2021) che definiscono “aliene” diversità microbiche sconosciute di capacità metaboliche potenzialmente nuove che risiedono nei suoli congelati permanenti. Luis Andrés Yarzabal e colleghi (2021) stimano che la densità media di microrganismi nel ghiaccio glaciale varia tra 102 e 107 cellule/ml e, pertanto, ogni anno vengono rilasciati circa 4×10^{21} microbi, solo a causa della fusione del ghiaccio non polare. **I microrganismi dormienti potrebbero risvegliarsi con conseguenze inaspettate per la flora e la fauna moderna e anche per l'uomo.** Peculiare il caso di epidemia di antrace avvenuta in Siberia nel 2016 descritto nel box.

IL RISVEGLIO DEL BATTERIO

La fusione dei ghiacci sta rilasciando ogni anno microrganismi “alieni” che entrano in contatto con altri habitat e arrivano in prossimità degli insediamenti umani. Ormai da qualche tempo, è stata avanzata l'ipotesi da esperti come Beat Frey del WSL che questo massiccio rilascio di microbi, tra cui potenziali patogeni, molti dei quali scomparsi dalla faccia della Terra migliaia e persino milioni di anni fa, possa dare origine a nuove epidemie. **Anche l'epidemia di antrace avvenuta in Siberia nel 2016 che ha causato la morte di un dodicenne e di oltre 2300 renne, potrebbe essere strettamente collegata al disgelo del permafrost siberiano** perché il ceppo all'origine di questo focolaio si è dimostrato identico ad altri ceppi isolati dai tessuti di animali conservati nei ghiacci

per secoli. Il batterio, che in Siberia rimane nello stato di ghiaccio permafrost, si sarebbe risvegliato per lo scongelamento dello strato dovuto alle alte temperature che hanno raggiunto nella zona anche i 35 gradi e alcune spore sarebbero state quindi trasportate dal vento. Le spore, infatti, sono presenti nel suolo e vengono ingerite dagli animali quando brucano il terreno. Gli esseri umani possono infettarsi inalando le spore, mangiando cibo contaminato o per contatto attraverso tagli o maneggiando animali infetti. La presenza di patogeni batterici e virali nei ghiacciai di tutto il mondo sembra confermare questa ipotesi. Ad esempio, patogeni emergenti come *Aureobasidium melanogenum*, *Naganishia albida* e *Rhodotorula mucilaginosa* sono stati isolati da ambienti artici in Groenlandia e alle Svalbard.

Ad oggi però non ci sono abbastanza dati da confermare che i terreni del permafrost possano contenere microrganismi patogeni e dunque il rischio che future epidemie causate da microrganismi imprigionati nei ghiacci e nel permafrost è ancora poco dimostrabile.

Il vento e i fiocchi di neve possono trasportare i microrganismi sui ghiacciai. Quelli più resistenti si adattano alle condizioni estreme: alcuni possono sopravvivere in piccole pozze d'acqua sulla superficie dei ghiacciai utilizzando l'energia del Sole, altri vivono da millenni in crepacci e fessure traendo nutrimento dall'acqua che filtra. Addirittura, possono raggiungere il substrato roccioso della montagna, dove il peso del ghiaccio sovrastante sbriciola la roccia rilasciando abbastanza nutrienti per sostenere un ecosistema che non vede mai la luce (Gobbi *et al.* 2021). Le comunità biologiche ospitate da questo habitat stanno subendo consistenti alterazioni e comunque con la scomparsa dei ghiacciai si estingueranno. Tra le comunità microbiche glaciali che si estingueranno ci sono quelle che abitano le crioconiti, veri e propri microecosistemi dei ghiacciai.

LE COMUNITÀ DELLE CRIOCONITI. MICROECOSISTEMI NEL GHIACCIO

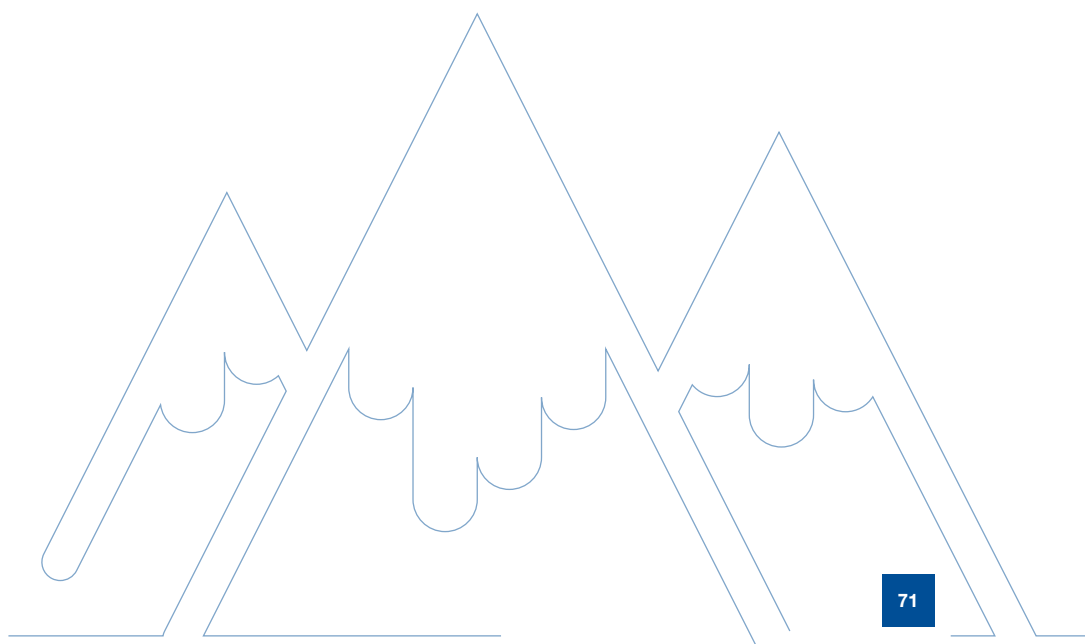
Le crioconiti sono delle cavità aperte nel ghiaccio vivo con diametro da pochi centimetri a un metro, spesso foggiate a mezzaluna, sul cui fondo è depositato un sottile strato di sedimenti fini di colore scuro, bruno o nero, la “crioconite” (dal greco *crios*, gelo e *konis*, polvere). Il sedimento, un aggregato di particelle minerali e di materiale organico, si accumula in piccole depressioni della superficie glaciale

per trasporto eolico o idrico, e favorisce con la sua bassa albedo non solo la fusione locale del ghiaccio sottostante e la formazione di cavità, ma anche la crescita di microrganismi capaci di organizzarsi in microscopici ecosistemi. Fra gli altri vi si sviluppano batteri, alghe e numerosi gruppi di invertebrati (ad esempio tardigradi, anellidi, copepodi, rotiferi e collemboli).



LA FUSIONE DEI GHIACCIAI APRE LE PORTE ALLE SPECIE ALIENE

Il fenomeno delle invasioni biologiche, ormai globale, è un fattore determinante nel declino della biodiversità planetaria e nel cambiamento ambientale. L'espansione delle specie aliene invasive sta trovando terreno fertile nei biomi freddi che stanno subendo i violenti effetti del riscaldamento globale. Per proteggere questi ecosistemi altamente vulnerabili, è fondamentale descrivere e comprendere i processi di successione ecologica in seguito al ritiro dei ghiacciai (Jacobsen *et al.* 2012). A testimonianza di ciò c'è uno studio condotto da Pierre Tichit e dal suo gruppo dell'università di Durham nel 2024 che ha esaminato l'espansione rapida delle specie invasive nei nuovi territori resi accessibili dalla fusione dei ghiacciai nell'isola subantartica della Georgia del Sud. La scelta dell'area di studio è stata strategica ai fini degli obiettivi, per un duplice motivo: da una parte il territorio in questione, nonostante l'isolamento geografico e il clima subantartico relativamente rigido, è caratterizzato dalla presenza di molte specie invasive introdotte dalle attività antropiche, dall'altra, la maggior parte dei ghiacciai della Georgia del Sud si sta ritirando rapidamente da decenni e si prevede che continuerà a farlo, creando così ampie aree di habitat adatte alla colonizzazione da parte di specie autoctone e non. Lo studio è stato svolto sui sei principali ghiacciai dell'isola e in un arco temporale specifico sono state catalogate tutte le specie presenti nelle aree circostanti, dove il ghiaccio e la neve hanno lasciato il posto a rocce e ghiaia. I risultati dello studio hanno confermato che molte specie invasive hanno preso possesso di nicchie che altrimenti sarebbero state occupate da specie autoctone e hanno altresì dimostrato che la loro diffusione nella Georgia del Sud avverrà probabilmente di pari passo con la fusione dei ghiacciai.



L'INFLUENZA GLACIALE SUGLI ECOSISTEMI FLUVIALI

Il ritiro dei ghiacciai, nel tempo, impatterà sui torrenti da essi alimentati, con variazioni delle portate, di caratteristiche chimico-fisiche dell'acqua (come temperatura, conducibilità, torbidità, concentrazione di nutrienti e ossigeno). Le specie che attualmente vivono nei torrenti saranno costrette a spostarsi sempre più in alto fino ad estinguersi, quando i ghiacci perenni scompariranno. È quanto emerge da uno studio realizzato da un gruppo internazionale di esperti, tra cui ricercatori del MUSE di Trento. Secondo le stime, le specie di insetti acquatici esaminate (plecotteri, tricotteri e effimere) subiranno spostamenti di distribuzione a monte, dove i ghiacciai persistono, e alcuni si estingueranno dove i ghiacciai scompariranno completamente. In base ai risultati della modellazione, la maggior parte delle specie subirà consistenti perdite di habitat. Diversi bacini alpini offriranno rifugi climatici per gli specialisti delle acque fredde (in particolare nel Bacino del Rodano) ma è significativo rilevare che le attuali reti di aree protette offrono una copertura relativamente scarsa di questi futuri rifugi.

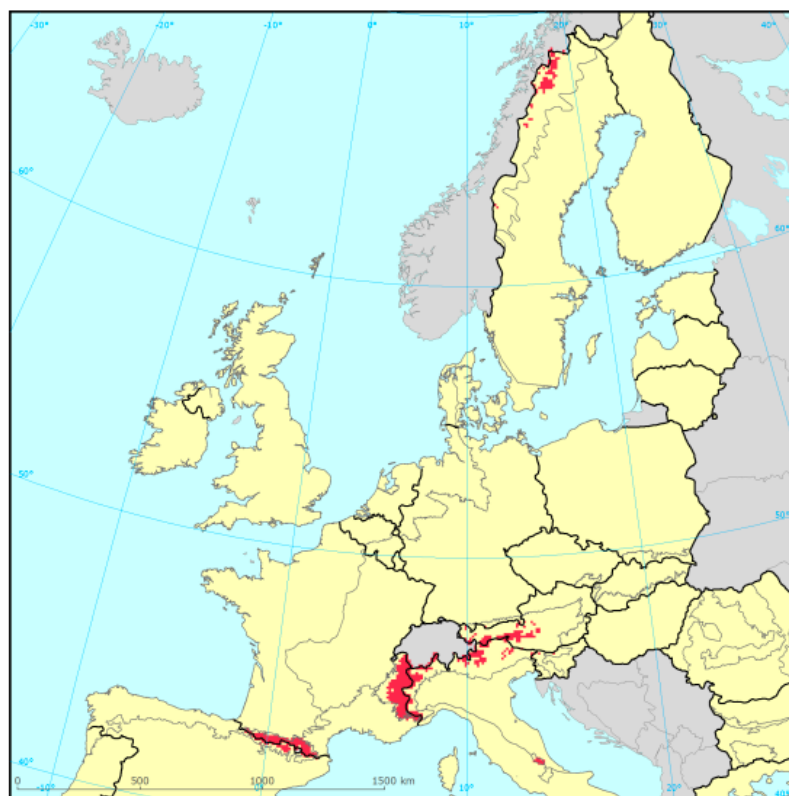
Sempre a tale riguardo, uno studio condotto da Jacobsen e dal suo gruppo già nel 2012 ha dimostrato come la rapida riduzione dei ghiacciai determina una conseguente riduzione del contributo dell'acqua di fusione glaciale al flusso fluviale in molti bacini glaciali. Fin da allora si è verificato che questi cambiamenti possono influire sulla biodiversità delle comunità fluviali, caratterizzata da organismi con sorprendenti adattamenti morfologici e fisiologici; la loro specializzazione a vivere in ambienti "estremi" li rende dei bioindicatori, sentinelle dell'evoluzione dei cambiamenti climatici. Anche questo studio si è svolto su macroinvertebrati (principalmente larve di insetti) e ha dimostrato come la diversità locale (α) e regionale (γ), così come il ricambio tra i corsi d'acqua (β -diversità), sono fortemente condizionati dal ritiro dei ghiacciai. Ha dimostrato che l'11-38% del pool di specie regionali, compresi gli endemismi, può essere perso in seguito alla completa scomparsa dei ghiacciai in un bacino idrografico, e che la costante diminuzione è probabile che riduca il ricambio di taxon nei sistemi fluviali proglaciali e la ricchezza locale nei tratti a valle in cui la copertura glaciale nel bacino è inferiore al 5-30%. Pure in questo caso i dati raccolti hanno dimostrato non solo la vulnerabilità degli hotspot locali di biodiversità, ma anche che la fusione dei ghiacciai porterà rapidamente all'estinzione delle specie endemiche conosciute nei fiumi alimentati dai ghiacciai.



HABITAT 8340 - GHIACCIAI PERMANENTI

Tra gli ecosistemi elencati dalla Direttiva europea Habitat c'è l'habitat Permanent Glaciers-Code 8340 che tutela i ghiacciai veri e propri e i rock glaciers. **Dei 119 siti europei di importanza comunitaria che al loro interno possiedono ghiacciai, il 50% si trova in Italia. Sono così distribuiti: 10 ne ha l'Austria, 2 la Germania, 18 la Francia, 61 l'Italia, 2 la Slovenia, 9 la Spagna e 10 la Svezia. In Italia ben 59 si trovano sulle Alpi e 2 sugli Appennini. Nelle Alpi europee in totale ci sono 90 siti, esclusa la Svizzera che non fa parte dell'Unione Europea e che possiede un'analoga forma di protezione con la rete Emerald della quale al momento non è possibile conoscere l'esatta dimensione della tutela delle aree glaciali.**

Assessment of conservation status at the Member State level



Habitat: 8340

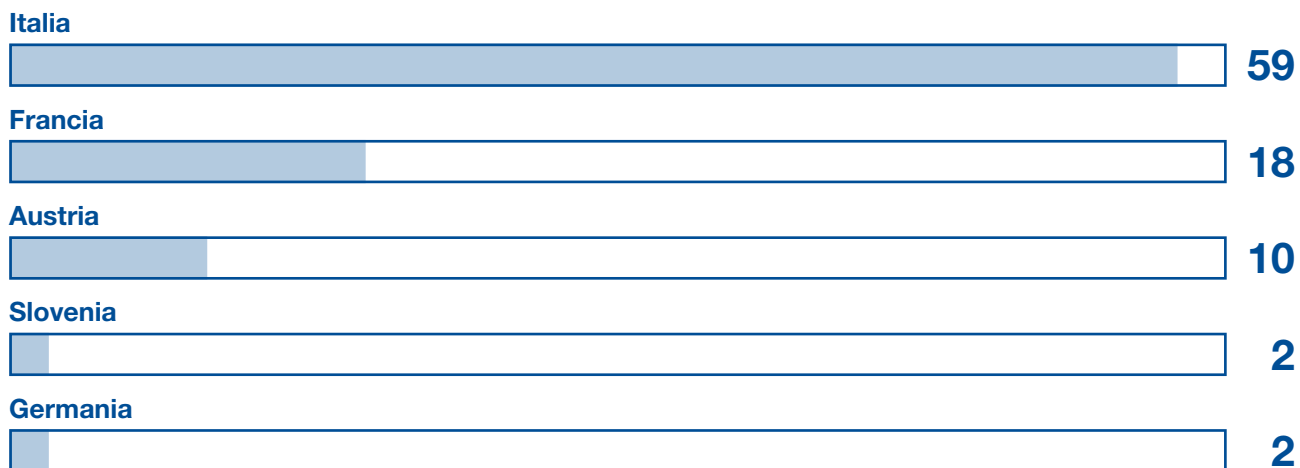
Distribution and conservation status at the Member State level



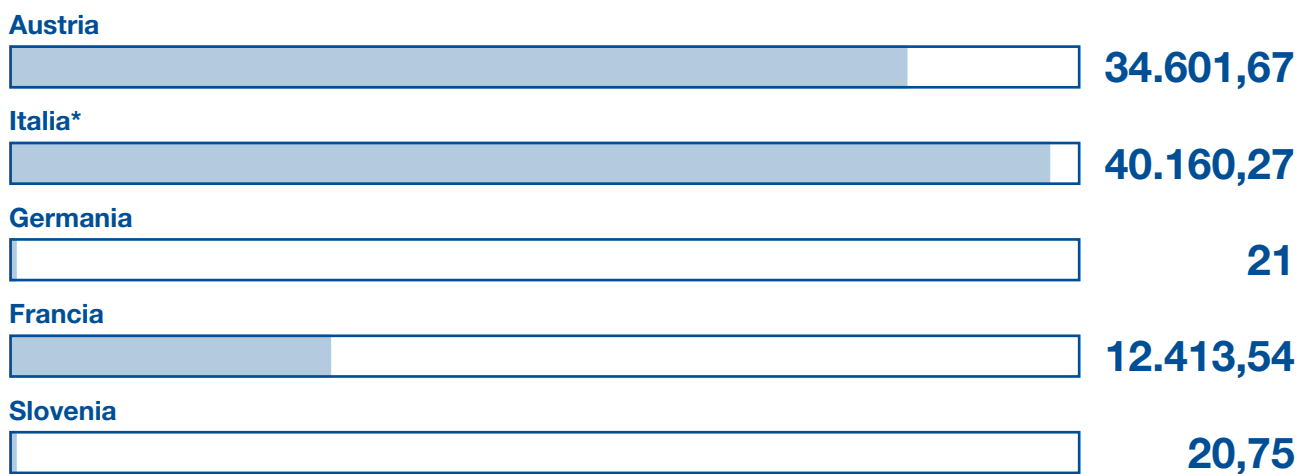
Aree glaciali protette in Europa, tratto da *Habitat: 8340 Permanent glaciers, Report under the Article 17 of the Habitats Directive Period 2007-2012 - European Environment Agency.*

AREE GLACIALI HABITAT: 8340 PERMANENT GLACIERS NELLE ALPI

Numero di Aree glaciali



Superficie (ha) occupata



* Totale Italia 40.160,27 ha (Alpi 39.791,66 + Appennini 368,61)

NUOVI ECOSISTEMI DA TUTELARE, UNA ROAD MAP PER LA BIODIVERSITÀ ALLE ALTE QUOTE

Solo una piccola parte dei ghiacciai e delle morfologie legate al permafrost è stata inclusa nella rete Natura 2000 nel tipo di habitat: ghiacciai permanenti (tipo di habitat “Permanent Glaciers-Code 8340”), **la percentuale risulta inferiore al 50% lasciando quindi una significativa parte senza protezione formale**. Il monitoraggio e le valutazioni effettuate nell’ambito dell’Articolo 17 della Direttiva Habitat per il periodo 2013-2018 inseriscono l’Habitat 8340 nei più bassi livelli di stato di conservazione della graduatoria in tutte le regioni europee. Eppure, i ghiacciai, il permafrost e gli habitat emergenti nelle aree proglaciali, descritti nei paragrafi precedenti, rappresentano una parte importante del territorio europeo per quel che concerne la funzionalità ecosistemica e la produzione di servizi ecosistemici indispensabili per la pianura e le città. Essi costituiscono elementi chiave dei cambiamenti ecologici in una situazione di fragilità che dovrebbe indurre al più presto verso un cambio di rotta nella strategia di conservazione delle Alpi.

Le azioni proposte sono articolate su due livelli: uno europeo e uno panalpino.

Su una dimensione **europea** è necessario:

01

Avviare con urgenza un piano di monitoraggio della biodiversità degli ambienti glaciali, integrato con specifici piani di adattamento ai cambiamenti climatici per le singole specie e/o habitat al fine di pianificare il monitoraggio e la gestione e la conservazione della biodiversità ospitata. In specifico va sviluppato il monitoraggio degli ambienti inseriti nella Direttiva Habitat (tipo di habitat “Permanent Glaciers-Code 8340”), la cui biodiversità è ancora poco nota, considerato che nessuna delle specie che vivono in questo tipo di habitat è elencata negli allegati della direttiva Habitat. Come suggerito da alcuni ricercatori (Diolaiuti *et al.*) potrebbe essere utile sviluppare un **Programma Europeo di Monitoraggio della Biodiversità Glaciale** (European Glacial Biodiversity Monitoring

Programme) sull’esempio del già esistente Circumpolar Biodiversity Monitoring Programme, anche ai fini di una più efficace pianificazione della conservazione di questo habitat. Anche **Biodiversa+**, la Partnership europea co-finanziata per la ricerca sulla biodiversità, la tutela degli ecosistemi e l’adozione di nature-based solutions potrebbe costituire un interessante ambito per lo sviluppo della ricerca.

02

Completare il monitoraggio delle **potenziali aree-rifugio** in cui favorire la dispersione delle specie a rischio (rifugi climatici) facendo tesoro di quanto è già stato raccolto con la ricerca *Identificazione di rifugi climatici per gli uccelli alpini d’alta quota in base alle attuali previsioni di riscaldamento climatico* di BirdLife e utilizzando metodologie simili. **I rifugi climatici** sono aree naturali che, nei prossimi decenni, manterranno

no la loro idoneità a ospitare le specie più a rischio a causa dei cambiamenti climatici. Poiché ad oggi sono solo parzialmente inclusi nel sistema di aree protette, **è importante riconoscerli come prioritari per gli habitat di alta quota e la conservazione della biodiversità**, soprattutto per le specie di montagna adattatesi a climi freddi.

03

Sebbene la **Nature Restoration Law** non preveda alcunché di specifico riguardo alle aree periglaciali è fondamentale **il recupero dei siti in cattive condizioni**, preceduto da adeguati studi specifici sui processi ecosistemici determinati direttamente dai cambiamenti climatici; tra questi le nuove aree deglaciate insieme a laghi e torbiere di recente formazione. Anche in questo caso si sottolinea l'importanza della definizione e dell'attuazione coordinata del National Restoration plan dei Paesi alpini (compresi i non-UE).

04

Rendere più stringenti oltre che cogenti **gli obiettivi della strategia dell'UE sulla biodiversità al 2020** nelle aree montane:

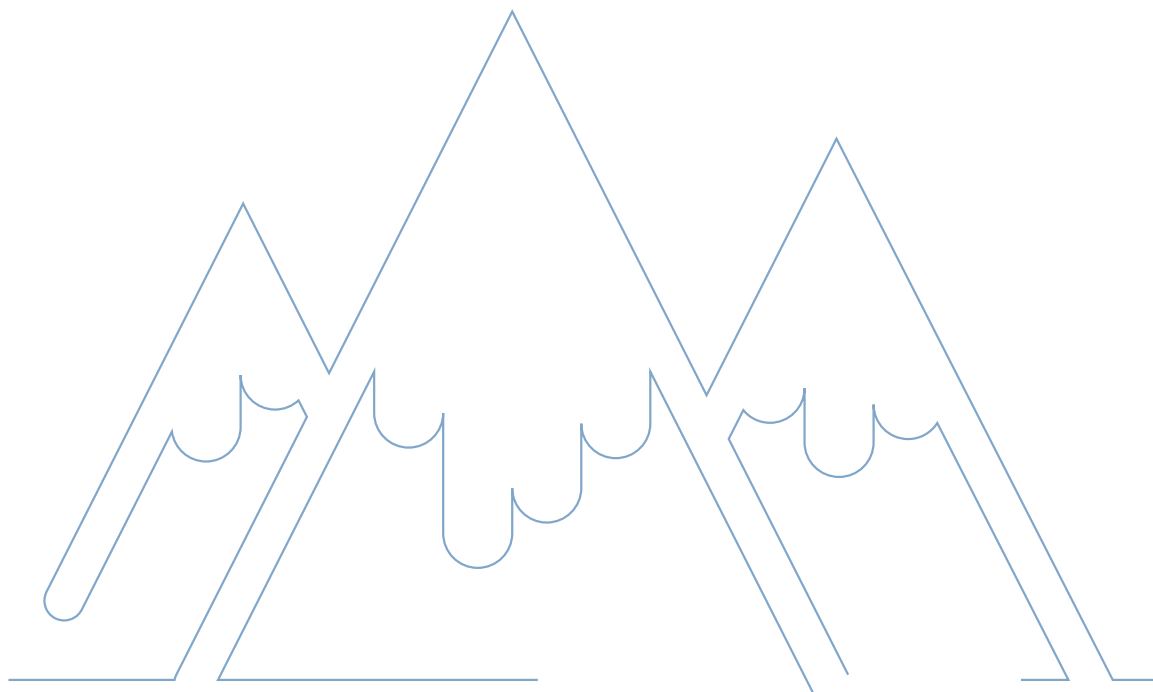
- ❑ Attuare integralmente le direttive Uccelli e Habitat
- ❑ Mantenere e ripristinare gli ecosistemi e i loro servizi.
- ❑ Aumentare il contributo dell'agricoltura e della silvicoltura alla biodiversità
- ❑ Combattere le specie aliene invasive
- ❑ Azioni rafforzate per affrontare la crisi globale della biodiversità

05

Orientare le scelte dell'Unione Europea alla tutela degli ambienti glaciali, dai ghiacciai alle calotte glaciali, e alla riduzione degli impatti sulla criosfera e sull'uso del suolo e dell'acqua oltre che di prevenzione del dissesto idrogeologico, così come descritto nel *Manifesto per una governance dei ghiacciai e delle risorse connesse*, siglato da esperti e ONG pan-alpini nel 2023 a Saletina (Svizzera).

06

Nel complesso sviluppare nuove strategie per **migliorare urgentemente la protezione** in situ degli ecosistemi in quota per garantire la loro esistenza e la funzionalità ecosistemica, indispensabile alla riduzione dei rischi e al mantenimento dei servizi ecosistemici, come ricordano la recente risoluzione delle Nazioni Unite che dichiara il 2025 Anno internazionale dei ghiacciai e il *Global Biodiversity Framework*.



Nell'**area pan-apina**, allo scopo di avanzare nell'attuazione della Convenzione delle Alpi e della Strategia europea per la regione alpina (EUSALP) occorrerebbe:

01

Incentivare la connettività ecologica a livello di ecosistema alpino, al fine di aumentare la capacità di resistenza alle minacce come quelle derivanti dai cambiamenti climatici e quindi pervenire in tempi brevi ad una definizione di una **rete ecologica adattativa**, che tenga conto dei futuri scenari climatici, per favorire la continuità spaziale degli habitat e delle popolazioni o la possibilità di flussi genetici tra popolazioni. Sviluppare soluzioni per arrestare la perdita di biodiversità affrontando sfide come la mancanza di connessioni tra aree naturali di montagna e pianure omogenee e impoverite, anche creando sinergie con progetti già in corso come, ad esempio, il LIFE SNAP NatConnect2030 e l'ASP PlanToConnect.

02

Implementare il percorso di **definizione di Liste Rosse IUCN delle Alpi**. Le Liste Rosse delle Alpi sono uno strumento rilevante per la conservazione della biodiversità alpina e possono costituire un elemento importante delle politiche di gestione e programmazione della regione alpina.

03

Porre particolare attenzione ai **rischi antropici**. Le aree glaciali che si conserveranno fino alla fine del secolo saranno particolarmente ricercate per nuovi insediamenti con infrastrutture sportive e di loisir. Per questi motivi la biodiversità e la geodiversità già in condizioni di estrema fragilità saranno particolarmente esposte all'impatto antropico. Occorre evitare interventi distruttivi così come è accaduto nel 2023 sul ghiacciaio del Teodulo (Monte Rosa) dove per le gare mondiali di sci sono state snaturate ampie porzioni del ghiacciaio. Inoltre, va contrastata la tendenza a sfruttare aree sempre più in quota. Emblematici i casi italiani di collegamenti su Cime Bianche nel Monte Rosa e i caroselli sciistici delle Dolomiti, promossi in vista delle Olimpiadi Invernali Milano- Cortina 2026. Inutile e dannosa la copertura dei ghiacciai con teli geotessili, utile unicamente per favorire lo sci alpino, danneggia l'ecosistema oltre ad essere veicolo di macro e microplastiche che si disperdono nelle aree glaciali.

04

Evitare forme di **overturism** nelle aree dove la biodiversità e la geodiversità sono già messe a rischio dai cambiamenti climatici e al contempo educare i turisti a una fruizione più attenta e consapevole del patrimonio naturale, ad esempio restando sui sentieri durante le escursioni.

05

In alcuni casi la biodiversità delle aree proglaciali potrebbe anche aumentare e quindi queste **nuove aree libere dai ghiacci dovrebbero essere maggiormente protette**. In particolare, si ricorda che **la tutela delle torbiere alpine** per il loro ruolo come pozzo di assorbimento (*sink*) del carbonio è uno dei cardini del Piano di Azione per il Cambiamento Climatico nelle Alpi, siglato dagli Stati Membri della Convenzione delle Alpi così come protocollo Protezione della natura e tutela del paesaggio, e tutti gli altri atti nei paragrafi di pertinenza, come i protocolli Turismo, Pianificazione territoriale etc. e per questo dovrebbe essere incentivata.

Le aree protette sono tra gli strumenti più efficaci per tutelare la biodiversità, contrastare la crisi climatica utilizzando la natura come rimedio agli "strappi" provocati al Pianeta e per promuovere lo sviluppo sostenibile dei territori e delle comunità interessate. Pertanto, si propone di intensificare gli sforzi per creare nuove aree protette anche nelle zone glaciali per dare un fattivo contributo al raggiungimento dell'obiettivo di tutelare, attraverso strumenti giuridicamente vincolanti, **almeno il 30% del territorio entro il 2030**.

06

Istituire contesti di confronto che coinvolgano amministratori regionali e locali, gruppi di ricerca, associazioni e imprese, per lavorare insieme con l'obiettivo di migliorare la capacità di governance dei ghiacciai alpini, della biodiversità e della geodiversità ad essi connessa.



CONTRIBUTI E RINGRAZIAMENTI

Titoli e autori

Premessa (Vanda Bonardo [1, 8], Marco Giardino [2, 3]. *La situazione dei ghiacciai italiani nel 2024* (Marta Chiarle [2, 5], Riccardo Scotti [6], Aldino Bondesan [4], Stefano Perona [2]. *Ghiacciaio della Mer de Glace* (Philip Deline [2, 9], Ludovic Ravanel [9], Marco Giardino [2, 3], Stefano Perona [2]). *Ghiacciai della Valpelline* (Laura Villa Vercella [2], Marco Tesoro [2], Marta Chiarle [2, 5], Stefano Perona [2]). *Ghiacciaio di Flua* (Paolo Piccini [2], Marco Giardino [2, 3], Stefano Perona [2]). *Ghiacciaio dei Forni* (Guglielmina Diolaiuti [7], Stefano Perona [2]). *Ghiacciaio di Fellaria* (Riccardo Scotti [6], Stefano Perona [2]). *Ghiacciai delle Alpi Giulie* (Renato R. Colucci [11, 12], Federico Cazorzi [10], Miha Pavšek [13], Stefano Perona [2]). *Il Ghiacciaio della Marmolada* (Mauro Varotto [4], Stefano Perona [2]). *Gli impattanti effetti della degradazione della criosfera e dell'aumento degli eventi estremi in quota* (Marta Chiarle [2, 5]). *La geodiversità e i servizi ecosistemici nel cambiamento climatico e ambientale* (Marco Giardino [2, 3], Rasool Bux Khoso). *Cambiamenti climatici ed ecosistemi montani* (Vanda Bonardo [1, 8]). *Colonizzazioni e scomparse* (Vanda Bonardo [1, 8]). *Nei ghiacci c'è vita* (Vanda Bonardo [1, 8], Giuseppina De Castro [1]). *La fusione dei ghiacciai apre le porte alle specie aliene* (Giuseppina De Castro [1], Stefano Raimondi [1]). *L'influenza glaciale sugli ecosistemi fluviali* (Vanda Bonardo [1, 8], Giuseppina De Castro [1]). *Habitat 8340 – Ghiacciai permanenti* (Vanda Bonardo [1, 8]). *Nuovi ecosistemi da tutelare, una road map per la biodiversità in alta quota* (Vanda Bonardo [1, 8], Stefano Raimondi [1], Serena Arduino [8]).

[1] Legambiente

[2] Comitato Glaciologico Italiano (CGI)

[3] Dipartimento di Scienze della Terra - Università degli Studi di Torino

[4] Dipartimento di Scienze Storiche, Geografiche e dell'Antichità (DISSGeA) – Università di Padova

[5] Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica, Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR-IRPI)

[6] Servizio Glaciologico Lombardo (SGL)

[7] Dipartimento di Scienze e Politiche Ambientali – Università di Milano

[8] CIPRA

[9] Laboratoire EDYTEM (CNRS – Université Savoie Mont Blanc)

[10] Dipartimento di Scienze AgroAlimentari, Ambientali e Animali – Università di Udine

[11] Società Meteorologica Alpino-Adriatica

[12] Istituto di Scienze Polari del CNR

[13] ZRC SAZU Anton Melik Geographical Institute - Ljubljana

Ringraziamenti

ARPA Valle d'Aosta, ARPA Piemonte, Servizio Glaciologico Lombardo; Comuni di Alagna Valsesia, Chamonix, Sondrio, Oyace, Bionaz, Valfurva; Parco dello Stelvio, Parco Nazionale del Triglav, Parco Prealpi Giulie, Ente di Gestione Aree Protette Valsesia, Sesia Val Grande UNESCO Global Geopark; Museo di Geografia dell'Università di Padova, CSV Aosta, Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Torino, Laboratoire EDyTEM (CNRS – Université Savoie Mont Blanc), CNR-IRPI Torino, Compagnie du Mont-Blanc, Rifugio Barba Ferrero, NaturaValp, La Fabrique des Transitions, MVSA - Museo Valtellinese di Storia ed Arte, CIPRA Francia, CIPRA Slovenia, ZRC SAZU Anton Melik Geographical Institute, Geodetski inštitut Slovenije

I coordinamenti Regionali di Legambiente Piemonte e Valle D'Aosta, Lombardia, Veneto e Friuli-Venezia Giulia, e i circoli Valle d'Aosta, Trento e Padova.

Gli artisti: Luca Morino, Agnese Molinaro e Gli operai della parola, Martin Mayes, Giacomo Ambrosino, Jacopo Cavallotti, Azioni Fuori Posto, Nicola Lucchese e Luca Ramon.

I responsabili delle Campagne glaciologiche CGI: Riccardo Scotti; Aldino Bondesan e Marta Chiarle; il segretario del CGI Luigi Perotti; il tecnico del CGI Stefano Perona, il funzionario del Parco Nazionale del Triglav Marko Pretner; il direttore Parco Prealpi Giulie Stefano Santi, Nicola Ceschia, Parco Prealpi Giulie; gli operatori glaciologici: Laura Villa Vercella, Marco Tesoro, Tito Princisvalle, Marco Piccini, Matteo Oreggioni

Gli esperti: Marco Cappio Borlino, Jean-Baptiste Bosson, Federico Cazorzi, Renato R. Colucci, Philippe Deline, Guglielmina Diolaiuti, Alberto Lanzavecchia, Miha Pavšek, Giovanni Prandi, Ludovic Ravanel, Igor Rubbo, Alessio Salandin, Claudio Smiraglia, Mihaela Triglav Cekada, Mauro Varotto e Cristina Viani

Il videomaker David Fricano e per Legambiente: Martina Bosica, Luisa Calderaro, Luana Costanzi, Luigi Colombo, Fabio Tullio, Tiziana Cosegla, Francesca Cugnata, Ilenia De Simone, Enrica Querro, Francesco Spinelli, Emilio Bianco, Elisa Cozzarini, Francesca Sapio; per CIPRA: Francesco Pastorelli e Katarina Zemilia; il grafico: Luca Fazzalari

I testimonial: Marco Albino Ferrari, Giuseppe Dematteis, Dacia Maraini, Agostino Da Polenza, Tamara Lunger, Alessia Iotti.

Valter Maggi Presidente Comitato Glaciologico Italiano, Giorgio Zampetti Direttore generale Legambiente e Stefano Ciafani Presidente Legambiente.

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

Annex III, I. P. C. C. "Glossary [Planton, S." *Climate change* (2013).

Bodin, X., Krysiecki, J. M., Schoeneich, P., Le Roux, O., Lorier, L., Echelard, T., ... & Walpersdorf, A. (2017). The 2006 collapse of the Bérard rock glacier (Southern French Alps). *Permafrost and Periglacial Processes*, 28(1), 209-223.

Bollati, I. M., Viani, C., Masseroli, A., Mortara, G., Testa, B., Tronti, G., ... & Reynard, E. (2023). Geodiversity of proglacial areas and implications for geosystem services: A review. *Geomorphology*, 421, 108517.

Bosson J.B., Huss M., Cauvy-Fraunié S., Clément J.C., Costes G., Fischer M., Poulénard J. & Arthaud F. (2023). Future emergence of new ecosystems caused by glacial retreat. *Nature* 620 (7974).

Comitato Glaciologico Italiano – Itinerari glaciologici sulle montagne italiane-Roma 2017

Jacobsen, D., Milner, A. M., Brown, L. E., & Dangles, O. (2012). Biodiversity under threat in glacier-fed river systems. *Nature Climate Change*, 2(5), 361-364.

Kofler, C., Mair, V., Gruber, S., Todisco, M. C., Nettleton, I., Steger, S., ... & Comiti, F. (2021). When do rock glacier fronts fail? Insights from two case studies in South Tyrol (Italian Alps). *Earth Surface Processes and Landforms*, 46(7), 1311-1327.

Liebner, S., & Ganzert, L. (Eds.). (2021). *Microbial life in the cryosphere and its feedback on global change*. de Gruyter.

Tichit, P., Brickle, P., Newton, R. J., Convey, P., & Dawson, W. (2024). Introduced species infiltrate early stages of succession after glacial retreat on sub-Antarctic South Georgia. *NeoBiota*, 92, 85-110.

Yarzabal, L. A., Salazar, L. M. B., & Batista-García, R. A. (2021). Climate change, melting cryosphere and frozen pathogens: Should we worry...?. *Environmental Sustainability*, 4(3), 489-501.

<https://www.montagna.tv/174572/ritiro-dei-ghiacciai-e-biodiversita-alpina-un-quarto-delle-specie-vegetali-a-rischio-e-estinzione/>

https://torino.corriere.it/notizie/piemonte/24_agosto_22/fiori-sui-ghiacciai-del-gran-paradiso-il-cambiamento-climatico-altera-gli-ecosistemi-piu-velocemente-del-previsto-9e-ac85e6-0f41-43c3-921c-d929dac56xk.shtml

<https://oggiscienza.it/2021/11/25/vita-tra-ghiacci-terra-sta-perdendo-piu-grandi-ecosistemi/index.html>

<https://www.tvsvizzera.it/tvs/cultura-e-dintorni/nuovi-ecosistemi-emergono-dallo-scioglimento-dei-ghiacciai/48740964>

<https://www.meteoweb.eu/2023/08/clima-il-ritiro-dei-ghiacciai-potrebbe-creare-nuovi-ecosistemi/1001285865/>

<https://www.nature.com/articles/d41586-023-02564-y>

<https://link.springer.com/article/10.1007/s10531-021-02185-9>

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37587299/>

[\[ciai-permanenti-la-crisi-di-un-habitat-e-della-sua-biodiversita-che-non-possiamo-piu-ignorare\]\(#\)](https://www.cultura.trentino.it/Approfondimenti/Ghiac-</p>
</div>
<div data-bbox=)

<https://www.loscarpone.cai.it/dettaglio/ritiro-dei-ghiacciai-flora-fauna/>

<https://www.annualreviews.org/content/journals/10.1146/annurev-ecolsys-010521-040017>

<https://www.mountlive.com/come-reagiscono-flora-e-fauna-al-ritiro-di-un-ghiacciaio/>

https://www.arpa.vda.it/images/stories/ARPA/camb_clim/news/20220408_Stategia_adattamento_CC/SRACC_rev_apr2022.pdf

<https://www.rainews.it/tgr/trento/articoli/2023/05/cambiamento-climatico-ghiacciai-studio-muse-scienze-trento-b54e1df1-df57-414f-9dd0-79c009ef6b58.html>

<https://www.wsl.ch/it/news/il-ritiro-dei-ghiacciai-crea-nuovi-ecosistemi-da-proteggere/>

<https://greenreport.it/news/aree-protette-e-biodiversita-il-ritiro-dei-ghiacciai-alpini-mette-in-pericolo-la-biodiversita-fluviale/>

<https://www.touringclub.it/notizie-di-viaggio/intervista-a-gianalberto-losapio-con-il-ritiro-dei-ghiacciai-un-quarto-delle>

<https://www.georgofili.info/contenuti/i-ghiacciai-si-ritirano-il-44-della-flora-alpina-a-rischio-estinzione/15455>

<https://csc.cai.it/pubblicazioni/ghiacciai-in-estinzione-e-crisi-della-biodiversita/>

<https://www.ilfattoquotidiano.it/2024/01/17/cosi-il-cambiamento-climatico-modifica-il-comportamento-animale-il-caso-degli-stambecchi-divenuti-notturni/7413557/>

<https://link.springer.com/article/10.1007/s10531-021-02185-9>

<https://www.frontiersin.org/journals/ecology-and-evolution/articles/10.3389/fevo.2020.616562/full>

https://www.snpambiente.it/snpa/arpa-valle-daosta/le-diatomee-dei-torrenti-glaciali-valdostani/?utm_source=rs&utm_medium=rss&utm_campaign=le-diatomee-dei-torrenti-glaciali-valdostani

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/esp.5983>

<https://www.pngp.it/natura-e-ricerca/fauna/carnivori/1-er-mellino#:~:text=Questa%20specie%20C3%A8%20monitorata%20attivamente,e%20la%20fuga%20dai%20predatori>

<https://www.isprambiente.gov.it/it/archivio/notizie-e-novita-normative/notizie-ispra/2023/12/la-lepre-variabile-cambia-altitudine>

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/gcb.16187>

<https://eunis.eea.europa.eu/habitats/10173>

<https://forum.eionet.europa.eu/habitat-art17report/library/2007-2012-reporting/factsheets/habitats/rocky-habitats/8340-permanent-glaciers/download/en/1/8340-permanent-glaciers.pdf>

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/gcb.16187>

<https://www.biodiversa.eu/>



Legambiente è la più grande associazione ambientalista italiana, senza fini di lucro, fatta di cittadini e cittadine che hanno a cuore la tutela dell'ambiente in tutte le sue forme, la qualità della vita, una società più equa e giusta. Un grande movimento apartitico che, attraverso il volontariato e la partecipazione diretta, si fa promotore del cambiamento per un futuro migliore. L'operato dell'associazione si fonda sull'ambientalismo scientifico, con la raccolta dal basso di migliaia di dati sul nostro ecosistema, approfondimenti scientifici, scienza partecipata e analisi delle principali emergenze ambientali del paese e della qualità di territori, servizi, infrastrutture, dati alla base di ogni vertenza e proposta.

Dal 2002 Legambiente promuove in modo sistematico politiche e attività a sostegno e tutela dell'arco alpino.

Le Alpi costituiscono un patrimonio di inestimabile valore per i paesaggi e luoghi unici, oggi sono anche la culla di tante esperienze virtuose, moderne e rispettose dell'ambiente, in grado di dar impulso ad una nuova economia e incentivare un turismo rispettoso della natura. Buone pratiche montane che Legambiente racconta e premia con le tradizionali bandiere verdi di Carovana delle Alpi, la campagna che ogni anno monitora lo stato di salute dell'arco alpino analizzando le buone e cattive pratiche realizzate sul territorio da amministrazioni, imprese, associazioni e cittadini. A questa iniziativa si aggiungono Nevediversa che con i suoi dossier analizza il turismo invernale nell'epoca della transizione ecologica tra conflitti, discordanze e preoccupazioni, e dal 2020 la Carovana dei Ghiacciai, promossa insieme al Comitato Glaciologico Italiano.

Da 40 anni Legambiente si batte per un mondo diverso, combattendo contro ogni forma di inquinamento, illegalità e ingiustizia, con l'obiettivo di promuovere il cambiamento verso un futuro migliore.



**Comitato
Glaciologico
Italiano**

Il **Comitato Glaciologico Italiano (CGI)** è una storica istituzione scientifica fondata nel 1895 a Torino all'interno del Club Alpino Italiano, con iniziale denominazione di "Commissione per lo studio dei ghiacciai", per dare impulso agli studi sui ghiacciai, con particolare attenzione alla loro dinamica ed evoluzione. Diventa un'istituzione scientifica autonoma nel 1914, anno in cui vede la luce anche il Bollettino del Comitato Glaciologico Italiano (poi diventato Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria), tuttora un ineludibile punto di riferimento per la ricerca glaciologica in Italia. Questo periodico raccoglie una sterminata massa di dati analitici e di sintesi ed una ricchissima iconografia sugli apparati glaciali italiani. Queste informazioni sono tutte accessibili al sito www.glaciologia.it. Gran parte dei dati scientifici viene fornita dalle annuali Campagne glaciologiche organizzate dal CGI e condotte da operatori volontari su circa 200 ghiacciai-campione delle Alpi e dell'Appennino (su un totale di circa 800). Un'attività senza uguali che procede da oltre un secolo e che ha consentito la raccolta di un ingente patrimonio iconografico di assoluto valore documentale e storico messo a disposizione di studiosi, studenti, organi di informazione. Il CGI, avvertendo l'esigenza di disporre di una statistica sempre aggiornata dei ghiacciai che sono entità in continua trasformazione per adeguarsi alle sollecitazioni del clima e dell'ambiente fisico, ha realizzato una serie di catasti cadenzata nel tempo: da quello di Porro-Labus (1925-1927), uno dei primi al mondo, al più recente (2015), realizzato nell'ambito del progetto CNR-NextData.

Il CGI mantiene rapporti di collaborazione con servizi glaciologici locali, partecipa a progetti di respiro internazionale, promuove e sostiene iniziative di carattere divulgativo (ad esempio, la recente opera in tre volumi dedicata dalla Società Geologica Italiana a 22 itinerari glaciologici e la Carovana dei Ghiacciai, promossa insieme a Legambiente). Il CGI offre agli studenti universitari l'opportunità di svolgere attività di tirocinio finalizzata alla valorizzazione del patrimonio storico dei dati glaciologici.



La **CIPRA** (Commissione Internazionale per la Protezione delle Alpi) è una organizzazione non governativa che ha come scopo lo sviluppo sostenibile nelle Alpi. È composta da una sede centrale a Schaan nel Principato del Liechtenstein e dalle rappresentanze dislocate in tutti gli Stati alpini. Fin dalla sua costituzione, nel 1952, la CIPRA promuove l'incontro fra persone e organizzazioni che si impegnano a favore dello sviluppo sostenibile nelle Alpi, superando confini linguistici, culturali, geografici e politici. Dal 1975 è attiva come organizzazione «ombrello». Ne fanno parte più di 100 associazioni, organizzazioni e persone. La CIPRA opera allo scopo di conferire un maggiore peso alla politica alpina a livello internazionale. Nel 1996 la CIPRA ha favorito la nascita della Rete di Comuni «Alleanza nelle Alpi». CIPRA Italia, la sezione italiana, è costituita da grandi organizzazioni, ma anche da associazioni dalle dimensioni contenute e da enti pubblici come alcuni Parchi naturali. Coordina e promuove istanze, iniziative e proposte riguardanti le politiche alpine.



FRoSTA è partner della Carovana dei Ghiacciai dal 2020. Responsabilità e trasparenza, queste le parole chiave della collaborazione che da quattro anni vede affiancate FRoSTA e Legambiente.

Ingredienti naturali, metodi di coltivazione e pesca sostenibili, eliminazione totale degli additivi, sviluppo e adozione di pack sostenibili, come la neonata Paper bag, una innovativa confezione composta al 90% di carta approvata da Legambiente sono le azioni concrete dell'azienda, che agisce sempre nel rispetto dell'ambiente e dei consumatori.

La filosofia aziendale rivolta alla salvaguardia del pianeta e la collaborazione con Legambiente hanno portato alla nascita, nel 2023, del progetto "FRoSTA AMICA DEL CLIMA". Le collaborazioni di FRoSTA con Legambiente sono state Save the Queen, la Carovana dei Ghiacciai e, da quest'anno, la Festa dell'Albero. Tutte riflettono l'impegno di coniugare il business ad azioni concrete di cambiamento sul territorio, sostenendo la causa ambientale e promuovendo uno stile di vita più responsabile anche attraverso la sensibilizzazione dei consumatori.



Sammontana è la prima azienda italiana per la produzione di gelato del nostro Paese, nata oltre 70 anni fa a Empoli grazie all'iniziativa della famiglia Bagnoli.

È oggi parte di un Gruppo – Sammontana Italia – leader per la produzione di gelato e di croissanterie, con brand importanti come Sammontana, Tre Marie e Il Pasticcere. Italiane sono le origini, la produzione e la proprietà dell'Azienda, italiane sono la ricerca e lo sviluppo che alimentano la tensione continua verso la più alta qualità e sostenibilità del prodotto.

L'evoluzione dell'azienda è una storia di successo imprenditoriale tipicamente italiana, basata sull'inventiva, sulla consapevolezza del valore delle proprie radici culturali e della propria responsabilità verso il territorio in cui opera e le persone con cui interagisce.

La mission di Sammontana è creare prodotti di alta qualità con ricette pensate per un'esperienza di vero piacere, impegnandosi al contempo in favore di una maggiore sostenibilità ambientale e circolarità dei processi interni, attraverso una ricerca progressiva delle più efficaci innovazioni.



FPZ nasce nel 1975 nel cuore della Brianza dallo spirito pionieristico di Celso Ferigo, il fondatore.

In pochi anni l'azienda si espande, diventando leader nella progettazione, produzione e vendita globale di soffianti a canale laterale. A partire dal 2008 - anno in cui entra in azienda l'attuale Amministratore Delegato Sergio Ferigo - FPZ intraprende un percorso di crescita e cambiamento che vede l'introduzione del Lean Thinking in tutte le aree aziendali, dallo sviluppo della strategia fino alla produzione e alla commercializzazione dei prodotti.

Il processo di crescita continua nel 2017 con l'acquisizione di altre due aziende, una strategia che FPZ intraprende per presentarsi sul mercato con un'offerta più completa che comprende ad oggi anche pompe dosatrici e ventilatori industriali.

L'operato dell'azienda si basa da sempre sulla centralità del cliente, sull'innovazione continua e sul benessere di persone e ambiente: dei principi che incoraggiano all'ascolto attivo, alla mutua collaborazione, alla progettazione di soluzioni su misura e all'investimento sul futuro, con progetti di ricerca e sviluppo sostenibili.

I pilastri dell'identità aziendale sono facilmente riassumibili nel suo *purpose*: "Ispirare, andare oltre i limiti per contribuire allo sviluppo sostenibile dell'industria".

EPHOTO

EPHOTO nasce nel 2013 dall'esperienza di tre socie fondatrici in ambito di produzioni fotografiche. Da allora la società ha sviluppato una forte esperienza nel settore produttivo e strategico che condivide ogni giorno con clienti e collaboratori. EPHOTO supporta i brand nei processi decisionali in merito alla produzione dei contenuti, accompagnando l'azienda verso le scelte più efficienti ed efficaci. Dall'analisi e redesign dei flussi interni al supporto concreto nella riorganizzazione dei reparti produttivi, alla gestione di foto&video shooting in outsourcing.

Nel Novembre 2021 EPHOTO si trasforma in Società Benefit. Attraverso un impegno quotidiano concreto verso tutto ciò che ci sta attorno, EPHOTO sostiene lo scopo di rendere complementari obiettivi di business e di sostenibilità. Ogni scelta aziendale, inoltre, è operata secondo logiche di rispetto dell'impatto ambientale e sociale: flessibilità, condivisione e trasparenza guidano l'approccio al lavoro di EPHOTO. L'obiettivo è quello di fornire ai nostri clienti strumenti concreti per ottimizzare il proprio business digitale. EPHOTO non offre un servizio, ma mettendo a fattor comune la propria esperienza opera una trasmissione del valore, consente ai propri partner, clienti e collaboratori di investire in un know-how da fare proprio.



LEGAMBIENTE

Da oltre 40 anni attivi per l'ambiente.

Era il 1980 quando abbiamo iniziato a muovere i primi passi in difesa dell'ambiente.

Da allora siamo diventati l'**associazione ambientalista più diffusa in Italia**, quella che lotta contro l'inquinamento e le ecomafie, nei tribunali e sul territorio, così come nelle città, insieme alle persone che rappresentano il nostro cuore pulsante.

Lo facciamo grazie ai Circoli, ai volontari, ai soci che, anche attraverso una semplice iscrizione, hanno scelto di attivarsi per rendere migliore il pianeta che abitiamo.

Abbiamo bisogno di coraggio e consapevolezza perché, se lo facciamo insieme, possiamo cambiare in meglio il futuro delle giovani generazioni.

Attiva il cambiamento su www.legambiente.it

