LA CAROVANA DEI GHIACCIAI

Un viaggio attraverso le Alpi per raccontare gli effetti dei cambiamenti climatici e promuovere la tutela della montagna di alta quota

III EDIZIONE

ANNO 2022

LA CAROVANA DEI GHIACCIAI

LEGAMBIENTE

NELL'AMBITO DELLA CAMPAGNA CHANGE CLIMATE CHANGE

CON IL SUPPORTO DEL Comitato Glaciologico Italiano

PARTNER SOSTENITORI SAMMONTANA GELATI ALL'ITALIANA, FROSTA

PARTNER TECNICO EPHOTO

A cura di Vanda Bonardo, Marco Giardino e Stefano Perona

Progetto grafico: Giada Rocchi

Anno 2022

INDICE

Introduzione 4

Calendario 8

itinerario 9

Ondate di caldo 10

Gli impatti dell'estate 2022 su neve, ghiacciai, permafrost ed ecosistemi: l'esempio della Valle d'Aosta 14

Perché i ghiacciai che è possibile "misurare" sono sempre di meno? 19

I GHIACCIAI DELLE ALPI OCCIDENTALI 23

- Come stanno i ghiacciai del Gran Paradiso? 25
- Ghiacciaio del Miage 31
- Ghiacciaio del Pré de Bar 37
- Ghiacciaio di Indren 41

I GHIACCIAI DELLE ALPI CENTRALI 44

- Ghiacciaio dei Forni 49

I GHIACCIAI DELLE ALPI ORIENTALI 53

- Ghiacciaio della Marmolada 58
- Il crollo di ghiaccio del 3 luglio 2022 61
- Ghiacciaio del Montasio 65

Estate 2022: record di frane degli ultimi vent'anni in alta quota 69

Conclusioni 71

Proposte di policy di addamento su gestione delle acque e rischi causati da fenomeni meteorologici estremi 73

Contributi e ringraziamenti 77

Riferimenti bibliografici e sitografici 79

INTRODUZIONE

Il 2022 per i ghiacciai alpini è stato un anno drammatico, i giganti bianchi delle nostre montagne hanno attraversato l'estate peggiore delle ultime migliaia di anni. Una situazione negativa che in parte si prefigurava fin dalla primavera scorsa, quando stava già scomparendo una ridotta coltre nevosa che invece avrebbe dovuto proteggere le masse glaciali dalla fusione estiva. Ad un inverno povero di neve si è poi aggiunta un'estate caldissima, la quale ha determinato la scomparsa di spessori glaciali in misura mai registrata prima.
Ma quel che sorprende di più è l'accelerazione dei fenomeni di riscaldamento:la crisi climatica sta avanzando a vista d'occhio anche nelle Alpi. Infatti, i dati delle stazioni metereologiche installati alla alte quote descrivono un'intensità e una velocità di innalzamento delle temperature che va al di là di ogni previsione. Senza precedenti l'incremento delle ondate di caldo e al contempo la riduzione delle ondate di freddo; un trend in continua evoluzione, così come descritto Acquaotta, Baronetti e Vianinel con il contributo "*Ondate di caldo*"al presente report.Altri dati impressionanti, registratida MeteoSuisse, riguardano lo zero termico:il 25 luglio 2022 esso ha raggiunto il record sulle Alpi con 5184 metri,e ad ottobre ancora si attestava sui 4000 metridi quota. Numeri del tutto anomali, considerato che normalmente nel mese di agosto la quota dello zero termico dovrebbe aggirarsi sui 3500 metri.
I mesi scorsi hanno segnato sulle Alpi altri primati, allarmanti anche per le comunità e l'economia: per la prima volta tutte le località turistiche su ghiacciaio dove in estate si poteva sciare, sono state costrette a chiudere le piste; per la prima volta le discese autunnali di Coppa del Mondo di sci alpino sui ghiacciai tra Zermatt e Cervinia sono state annullate, per la prima volta nella loro vita professionale parecchie guide alpine, in conseguenza dell'aumentata pericolosità dei tracciati, hanno dovuto rinunciare agli accompagnamenti sul monte Biancoe sul monte Rosa. Gli impatti dell'estate 2022 su neve, ghiacciai, permafrost ed ecosistemi sono stati descritti in questo report da Edoardo Cremonese, prendendo come esempio la Valle d'Aosta.
In un anno così particolare, la Carovana è tornata a visitare i ghiacciai alpini scegliendo di rivedere quelli monitorati nel 2020. La decisione di ritornare su molti dei ghiacciai visitati due anni fa non è stata casuale: vi erano infatti seri motivi per credere che la situazione fosse in rapido peggioramento, per questo si voleva mostrare al grande pubblico l'entità della deglaciazione sugli stessi siti.Purtroppo, i dati del report 2022 dimostrano

che a soli 2 anni di distanza dalle precedenti tappe della Carovana, la situazione si è deteriorata al di là di ogni razionale previsione.
Le stesse testimonianze degli operatori glaciologici incontrati nelle tappe della Carovana indicano quanto la crisi climatica abbia reso sempre più difficile il monitoraggio dei ghiacciai.Infatti su tutto l'arco alpino sta diminuendo il numero dei ghiacciai per i quali sia possibile eseguire un monitoraggio diretto di tipo quantitativo (misurazione dell'arretramento frontale e/o del bilancio di massa);nel contempo ormai è sempre più difficile anche la semplice osservazione dei ghiacciai tramite fotografie. Non è solo un questione dovuta all'aumento della pericolosità degli ambienti glaciali e periglaciali (legato all'incremento di crepacci, crolli di ghiaccio e roccia, colate detritiche ed altri fenomeni ancora). Le fronti dei ghiacciai, soprattutto a causa delle cesure delle lingue glaciali, si spostano sempre più in alto in posizioni non più raggiungibili e le coperture di detrito si fanno sempre più consistenti tanto da impedire l'individuazione della parte terminale del ghiacciaio.
Nel presente Report, tutti i ghiacciai osservati durante le tappe della Carovana sono descritti approfonditamente dal punto di vista scientifico nelle schede curate da Stefano Perona e colleghi. Per ciascun ghiacciaio sono illustrati i consistenti cambiamenti rilevati.Il monitoraggio evidenzia come e quanto nell'intero arco alpino i ghiacciai siano a rischio, in piena emorragia, sempre più minacciati dagli effetti della crisi climatica. La perdita di superficie e spessore, porta alla disgregazione in corpi glaciali più piccoli, confinati alle quote più elevate, e al collasso superficiale per accelerata fusione delle maggiori masse glaciali. Come quelle del Monte Bianco: il Miage, il ghiacciaio "himalayano" della Valle d'Aosta, che in 14 anni ha perso circa 100 miliardi di litri di acqua (almeno 100.000.000 di m^3di ghiaccio, pari a tre volte il volume dell'idroscalo di Milano) e il Pré de Bar, che dal 1990 ad oggi registra mediamente 18 metri di arretramento lineare l'anno.Stessa sorte per il Monte Rosa,in cui il Ghiacciaio di Indren ha registrato in due anni un arretramento frontale di 64 metri, 40 solo nell'ultimo anno; un dato mai registrato negli ultimi cinquant'anni anni, fortemente preoccupante per un ghiacciaio al di sopra dei 3.000 metri di quota. E ancora il Ghiacciaio dei Forni, in Lombardia: il secondo gigante italiano (dopo l'Adamello) nell'ultimo anno ha registrato un arretramento della fronte di più di 40 metri lineari, per un totale di circa 400 metri negli ultimi dieci anni, perdendo la sua qualifica di ghiacciaio "himalayano" per effetto della frammentazione in tre corpi glaciali.Sulla Marmolada, la regina delle Dolomiti "teatro glaciale" della tragedia dello scorso 3 luglio, il monitoraggio scientifico è stato svolto a distanza, facendo un passo indietro rispetto alla tappa del 2020, per ragioni di sicurezza. Lo scenario è quello di un ghiacciaio che tra quindici anni potrebbe scomparire del tutto, avendo registrato nell'ultimo secolo una perdita di più del 70% in superficie e oltre

il 90% in volume.Il crollo di ghiaccio del mese di luglio è stato analizzato da un gruppo di esperti (Bondesan, Francese, Giorgi e Picotti) che hanno fornito alla Carovana un quadro completo e rigoroso di quanto accaduto, fondamentale per comprendere come le dinamiche glaciali siano condizionate dai cambiamenti climatici.
In ultimo è stato rivisto il Ghiacciaio Occidentale del Montasio, in Friuli-Venezia Giulia, un'eccezione nel panorama alpino. Il Montasio rimane un esempio di ghiacciaio piccolo ma resistente che, pur avendo subito in un secolo una perdita di volume del 75% circa e una riduzione di spessore pari a 40 metri, dal 2005 risulta stabilizzato, in controtendenza rispetto agli altri ghiacciai alpini.
Grazie al contributo dei responsabili delle Campagne Glaciologiche CGI per i tre settore alpini (occidentale, centrale e orientale), nel report sono state sviluppate considerazioni d'insieme sullo stato di salute dei ghiacciai insieme a informazioni puntuali su quanto sta accadendo ad alcuni di essi. Un box a cura di Daniele Cat Berro e Luca Mercalli è stato dedicato ai ghiacciai del Parco Nazionale del Gran Paradiso,un'importante area protetta che quest'anno compie i suoi primi cento anni.
Dai dati degli operatori glaciologici CGI risulta che un po' ovunque nei tre settori alpini molti dei ghiacciai più piccoli e alle quote meno elevate stanno perdendo il loro "status" di ghiacciaio, riducendosi ad accumuli di neve e ghiaccio o poco più.Per quanto riguarda i ghiacciai che rimangono, una quarantina di metri è la misura media di arretramento frontale annuo nelle Alpi Occidentali, dove spicca il dato della regressione di ben 200 metri della fronte del Ghiacciaio del Gran Paradiso, in conseguenza della separazione di una sua parte.I risultati dei bilanci di massa eseguiti su ghiacciai come il Timorion, in Valsavaranche e del Ruitor (La Thuile) descrivono la perditaper fusione pari a 4,6 metri di acqua equivalente(ovvero corrispondente ad una riduzione di spessore simile), la peggiore su una serie di 22 anni.Per il Ruitor (La Thuile) si osservano perdite pari a 3 metri che diventano addirittura 9 metri nelle zone frontali. Accentuati i ritiri frontali di ghiacciai come quello di Verra in Val d'Ayas,il Ghiacciaio del Lys e degli altri corpi glaciali del Monte Rosa. Permangono nello status di "sorvegliati speciali" i ghiacciai Planpincieux e Grandes Jorasses in Val Ferret (AO) per il rischio di crolli di ghiaccio che potrebbero coinvolgere gli insediamenti e le infrastrutture del fondovalle. La situazione osservata sul Ghiacciaio di Hohsand (o del Sabbione) nelle Valli Ossolane è emblematica di comeun bacino lacustre costruito per lo sfruttamento idroelettrico delle acque di fusione del ghiacciaio possa condizionare la produttività dell'impianto stesso in funzione del riscaldamenti climatico.
Nulla di diverso si riscontra nel Settore alpino Centrale, dove,ad esempio, il Ghiacciaio del Lupoha perso nel solo 2022il 60% della massa glaciale scomparsa nell'arco di 12 anni.Per il Ghiacciaio di Fellaria, (Gruppo del

Bernina, Val Malenco) si parla di quasi 26 metri di spessore di ghiaccio persi in soli 4 anni, o meglioin circa 16 mesi complessivi, visto che la perdita di spessore si concentra in estate. Tra i sempre più frequenti fenomeni di collasso delle fronti spicca quello del Ghiacciaio del Ventina nel Gruppo del Monte Disgrazia, che in un anno ha perso 200 metri della sua lingua.

Per quanto concerne le Alpi Orientali, in Val di Pejo (Trentino), rimangono placche di pochissimi ettari del grande Ghiacciaio del Careser, la cui superficie si è ridotta dell'86% rispetto a quella segnalata dal catasto glaciologico del CGI negli anni 1950. Paradossalmente, l'incremento delle sue acque di fusione ha consentito quest'anno di soddisfare il fabbisogno idricodelle coltivazioni intensive di mele in Val di Non, anche in un'estate siccitosa. Peccato che questa abbondanza di acqua in tempi molto brevi si rivelerà effimera, con il rapido esaurimento della massa glaciale. Si segnalano inoltre molti arretramenti delle fronti, in gran parte dovuti alla cesura delle parti frontali, pari a quasi un chilometro per la Vedretta de la Mare e a 600 metri per il Ghiacciaio di Lares, del Gruppo dell'Adamello. In linea con gli altri due settori, le perdite di spessore registrate per i ghiacciai di Malavalle e della Vedretta Pendente.

Consistenti effetti del riscaldamento climatico, per quanto non tutti facilmente imputabili direttamente alle condizioni citate, sono stati osservati anche sull'instabilità naturale dell'alta montagna alpina (effetti su neve, ghiacciai, permafrost) così come illustrato da Marta Chiarle e Guido Nigrelli del CNR/IRPI.

Si può quindi affermare che qualcosa di veramente anomalo è accaduto dunque nell'estate 2022, in termini di deglaciazione. Una situazione che ha costretto i glaciologi addirittura ad aggiornare le scale grafiche dei bilanci di massa, perché le perdite sono andate oltre le più normali previsioni. Il quadro che si ricava non è per niente ottimistico: un'insieme di situazioni che per la loro gravità dovrebbero essere inserite nei report di riferimento delle agende di Governo. Ciò appare necessario ora più che mai,considerando che il nostro è un Paese dove purtroppo ci si accorge della scomparsa delle masse glaciali e di altre emergenze naturali unicamente in seguito alle tragedie. Questo report si propone di diffonderne la consapevolezza nella società, per evitare che, finite le emergenze, ancora una volta ci si dimentichi di tutto quanto e si trascuri la necessità di programmare un'efficace governance del territorio e dei rischi ad essi connessi.

CALENDARIO

17-19/08
GHIACCIAI MIAGE E PRÉ DE BAR
[VALLE D'AOSTA]

20-22/08
GHIACCIAI DEL MONTE ROSA
[PIEMONTE]

23-26/08
GHIACCIAIO DEI FORNI
[LOMBARDIA]

27-31/08
GHIACCIAIO MARMOLADA
[VENETO - TRENTINO]

1-3/09
GHIACCIAIO MONTASIO
[FRIULI VENEZIA GIULIA]

Hashtag della campagna:

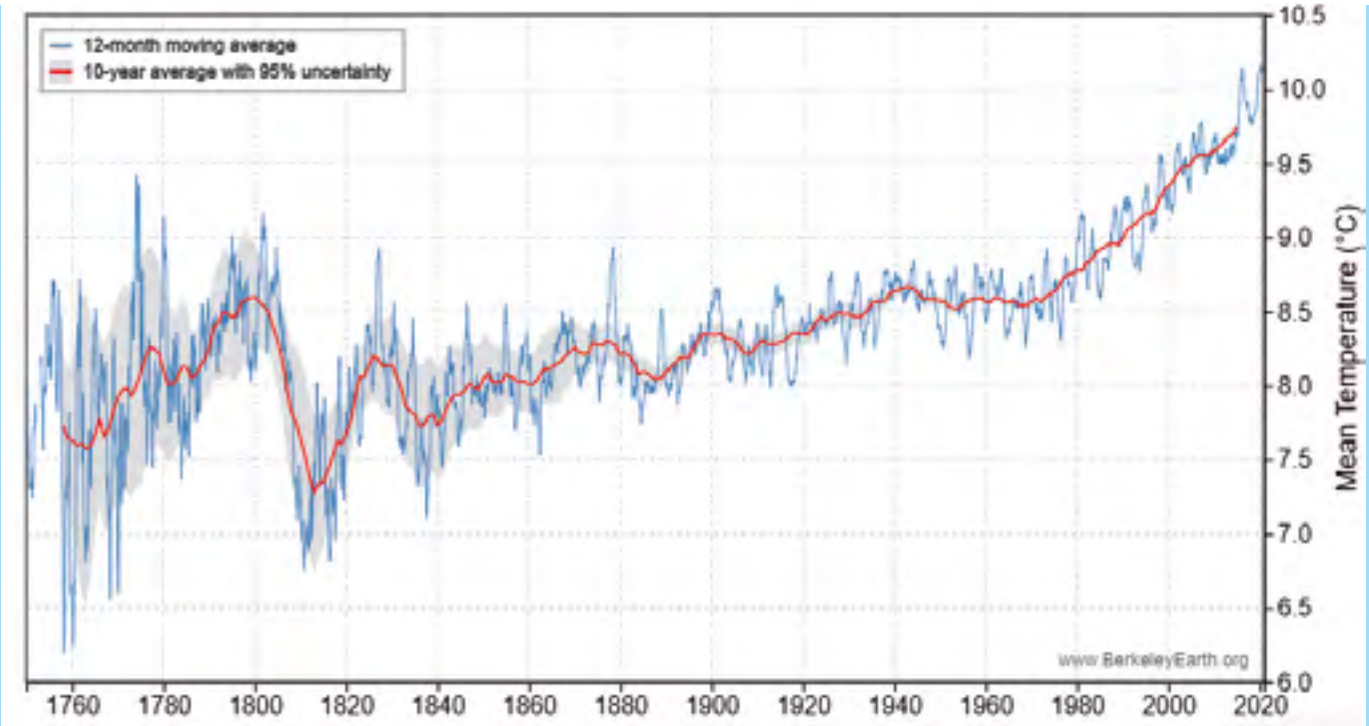
#Carovanadeighiacciai
#Changeclimatechange

ITINERARIO

1. **GHIACCIAI DEI MIAGE E PRÉ DE BAR**
   [VALLE D'AOSTA]
2. **GHIACCIAI DEL MONTE ROSA**
   [PIEMONTE]
3. **GHIACCIAIO DEI FORNI**
   [LOMBARDIA]
4. **GHIACCIAIO MARMOLADA**
   [VENETO - TRENTINO]
5. **GHIACCIAIO MONTASIO**
   [FRIULI VENEZIA GIULIA]

ONDATE DI CALDO

E' risaputo che a livello globale la temperatura media a partire dal 1750 ad oggi è aumentata di circa 1°C rispetto ai valori pre-industriali (Figura 1 left). Se però ci si focalizza a scala alpina questo aumento nella temperatura media registrato è addirittura doppio. La motivazione dietro a questa particolare sensibilità degli ambienti di alta quota al cambiamento climatico è dovuta alle caratteristiche stesse di queste aree. In particolare, va fatto riferimento a quel fenomeno di retroazione positiva chiamato ghiaccio-albedo (Figura 1 right) per cui le superfici coperte di neve o di ghiaccio hanno una capacità di riflettere la radiazione solare in ingresso più elevata rispetto alle superfici caratterizzate da suolo o roccia. Se interviene però un fenomeno come il cambiamento climatico che causa una riduzione della copertura nevosa



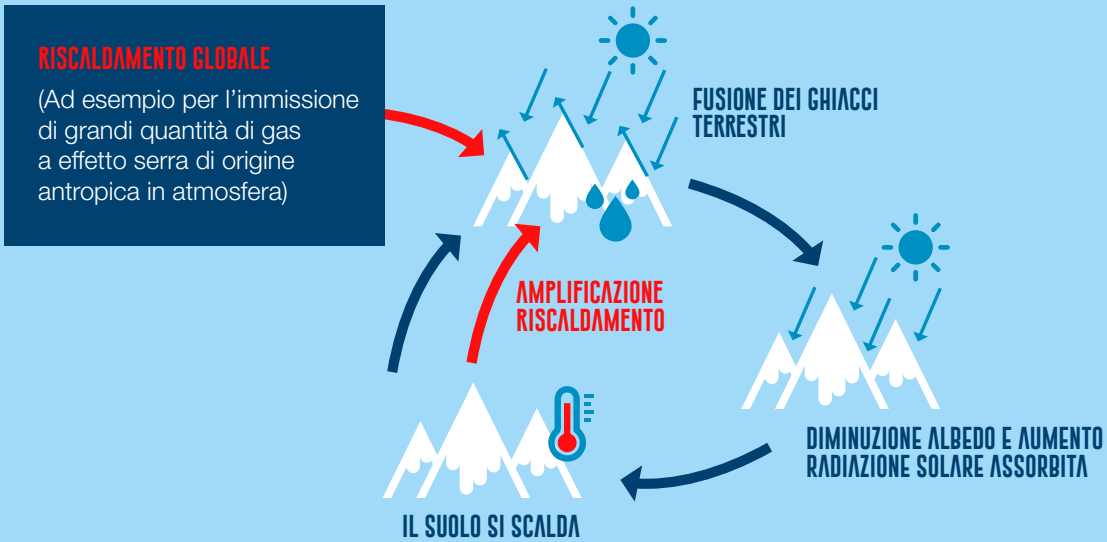


Figura 1. In alto l'andamento della temperatura media globale a partire dal 1750 fino ai giorni nostri, fonte: Berkeley Earth; in basso lo schema di retroazione "ghiaccio-albedo" modificato da Palazzi E. (2019), Il clima è già cambiato. La Ricerca. Loescher Editore.

e una riduzione dell'estensione dei ghiacciai (Viani et al., 2022) la conseguenza sarà un ampliamento delle aree di roccia o detrito precedentemente coperte di neve o ghiaccio (Mortara et al., 2016) . Queste nuove aree esposte, con un albedo più ridotto, assorbono molto più calore proveniente dalla radiazione solare rispetto a prima andando quindi ad amplificare il riscaldamento già in atto e quindi contribuendo a loro volta alla fusione della neve e del ghiaccio delle aree adiacenti.

Sul territorio alpino sono state installate, negli ultimi decenni, diverse stazioni meteorologiche volte a registrare il cambiamento climatico in atto. Alcuni settori alpini, come il massiccio del Monte Rosa, posseggono un ricco patrimonio di dati meteorologici, precipitazioni, temperature e copertura nevosa, che permettono una dettagliata analisi climatica dell'area ma, allo stesso tempo, gettano luce sulle variazioni climatiche delle Alpi.

Negli ultimi 80 anni, dal 1937 ad oggi, si è registrato un aumento delle temperature (Figura 2) ed una riduzione delle precipitazioni, solide e liquide. Per le temperature il maggior incremento si è registrato nelle località di alta quota (Acquaotta et al, 2015).

Le precipitazioni liquide evidenziano una decrescita nelle località al di sotto dei 1500 m slm mentre, per le precipitazioni nevose, la riduzione si osserva nelle località al di sopra dei 1500 m slm. A partire dagli anni 2000 si è misurato un repentino aumento dei giorni caldi, giorni con temperature estremamente calde rispetto ai valori medi registrati nell'area. Si è passati da una media di 16 giorni all'anno, dal 1937 al 2021, a una media di 58 giorni all'anno dal 2000 al 2021, con conseguente aumento delle ondate di caldo. Si identifica un'ondata di caldo quando, per almeno tre giorni consecutivi, le temperature massime superano un valore soglia. L'aumento nel numero di eventi di ondate di caldo e nella frequenza, numero di giorni coinvolti, si registra a partire dal 2003. Per il numero di ondate di caldo si passa da un valore medio di 6 eventi all'anno a un valore di 9 eventi all'anno (Figura 3.1), mentre per la frequenza si passa da una media di 33 giorni coinvolti ad una media di 51 giorni coinvolti nell'ultimo periodo, 2003-2021 (Figura 3.2).

Inoltre, sempre a partire dagli anni 2000, si è registrata una diminuzione dei giorni freddi. Dal 2000 al 2021 mediamente si individuano 18 giorni freddi contro una media di 47 giorni dal 1937 al 2021. Questo andamento è evidenziato anche dalla diminuzione delle ondate di freddo. Si individua un'ondata di freddo quando, per almeno tre giorni consecutivi, le temperature minime non superano un valore soglia. Dal 2000 al 2021 mediamente si registrano 2 ondate di freddo che coinvolgono solo 9 giorni.

LAGO GABIET (2371 M ASL)

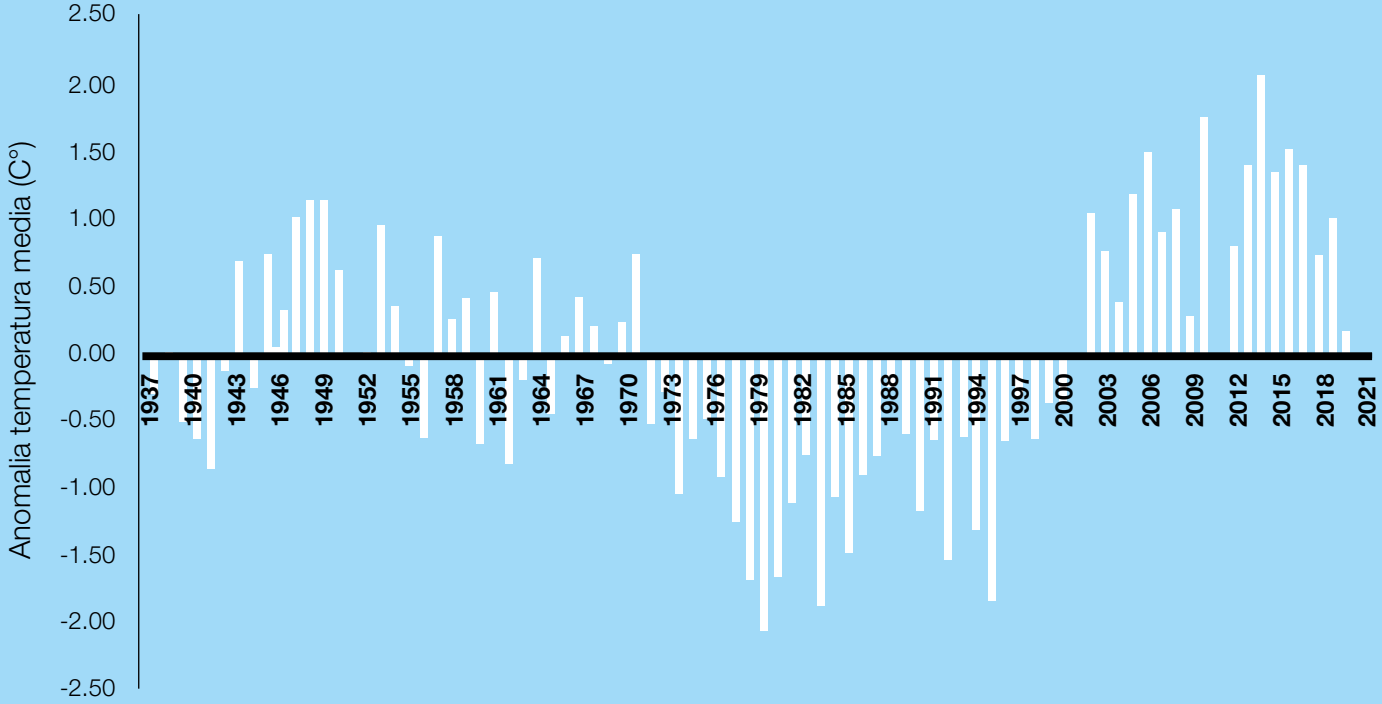


Figura 2. Andamento dell'anomalia di temperatura media annua calcolata rispetto al trentennio di riferimento, 1971-2000, nella stazione meteorologica di Lago Gabiet 2371 m slm situata nel massiccio del Monte Rosa. L' anomalia di temperatura indica come e quanto l'anno analizzato si è discostato dalla media delle temperature calcolata sul trentennio di riferimento. Valori negativi indicano temperature inferiori alla media, valori positivi indicano temperature superiori alla media

NUMERO ONDATE DI CALDO

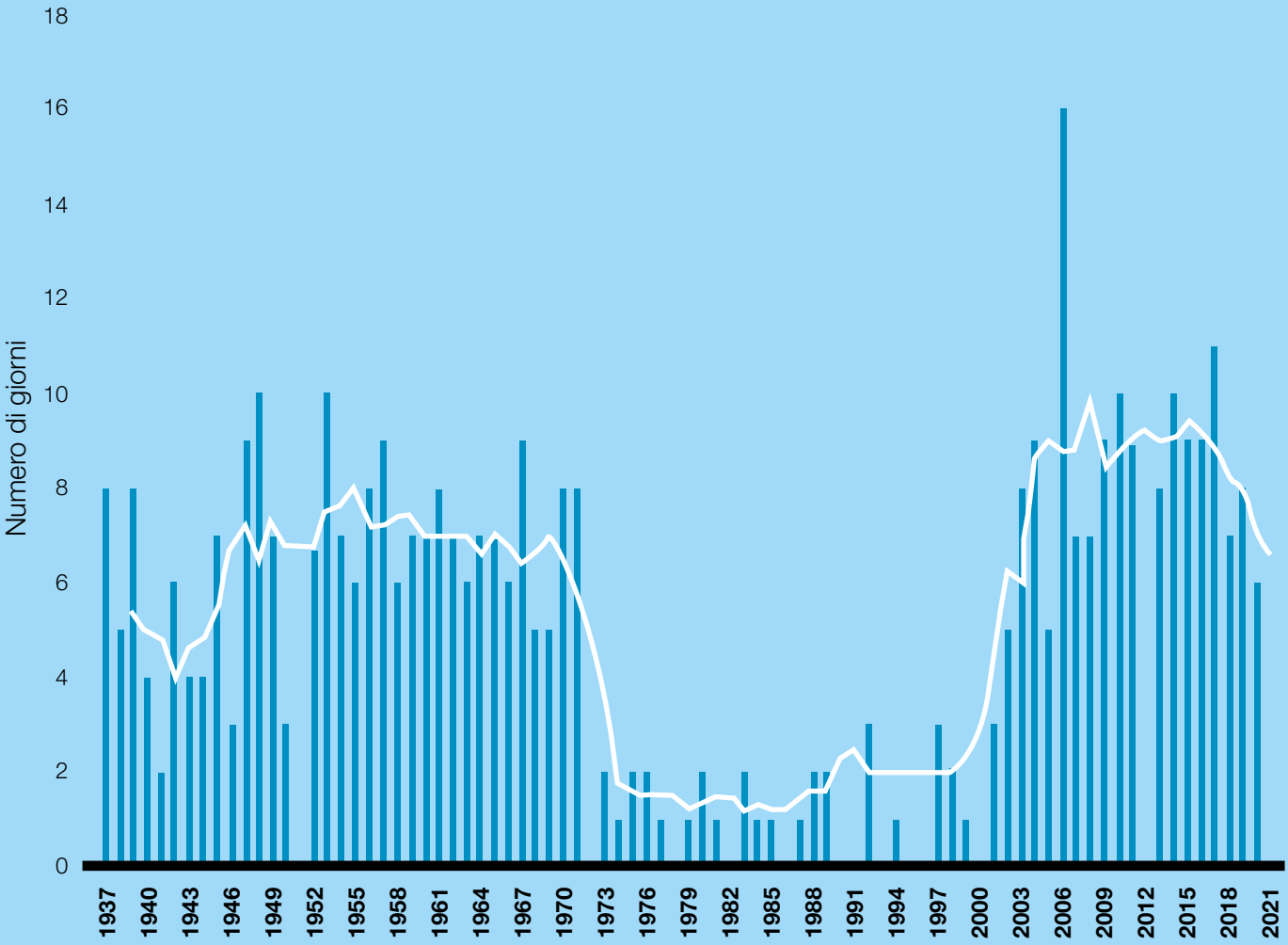


Figura 3.1 Andamento del numero delle ondate di caldo registrate nella stazione meteorologica di Lago Gabiet 2371 m slm dal 1937 al 2021.

Dalla stazione meteorologica più alta d'Europa, Capanna Margherita 4554 m slm, a partire dal 2003 è stato calcolato un incremento sia per le temperature massime estreme sia per le temperature minime estreme. Per le temperature massime estreme annualmente si registra in estate un incremento del 0,17°C/anno che corrisponde ad un aumento di 3.19°C su tutto il periodo analizzato, 18 anni, mentre, per le temperature minime estreme, si calcola un incremento estivo di 0.07°C/anno pari ad un aumento di 1.25°C. Come conseguenza sul territorio si registra un intensificarsi delle ondate di caldo.
Da quanto discusso finora, risulta evidente che le condizioni climatiche in atto sono fenomeni predisponenti l'intensificarsi del fenomeno della siccità. In particolar modo l'arco alpino, e nello specifico la zona delle Alpi occidentali, ha mostrato una maggiore sensibilità all'incremento della siccità rispetto alle aree circostanti.

Le proiezioni future indicano che la temperatura nelle Alpi è destinata a crescere. Infatti, secondo lo studio condotto da Baronetti et al. (2022), si osservano anomalie positive comprese tra i 3°C e i 4°C per i prossimi 30 anni (Figura 4). Mentre per il settore della Pianura Padana non si stima più di 2°C di anomalia. Per gli ultimi 30 anni del XXI secolo, le temperature sono destinate a crescere ulteriormente e sono attese delle anomalie di temperatura massima compresa tra i 4°C ed i 6°C per tutto l'arco alpino, mentre per il settore di pianura sono intorno ai 3°C. Gli andamenti positivi di temperatura, si riflettono sulla dinamica dei ghiacciai caratterizzata da un generale processo di deglaciazione in tutte le Alpi. Per il futuro (fine secolo) si stima una perdita fino ad un massimo del 94% del volume totale dei ghiacciai per lo scenario più estremo (RCP 8.5) in cui non vengono adottate strategie di mitigazione delle emissioni (Zekollari et al. 2019).

FREQUENZA ONDATE DI CALDO

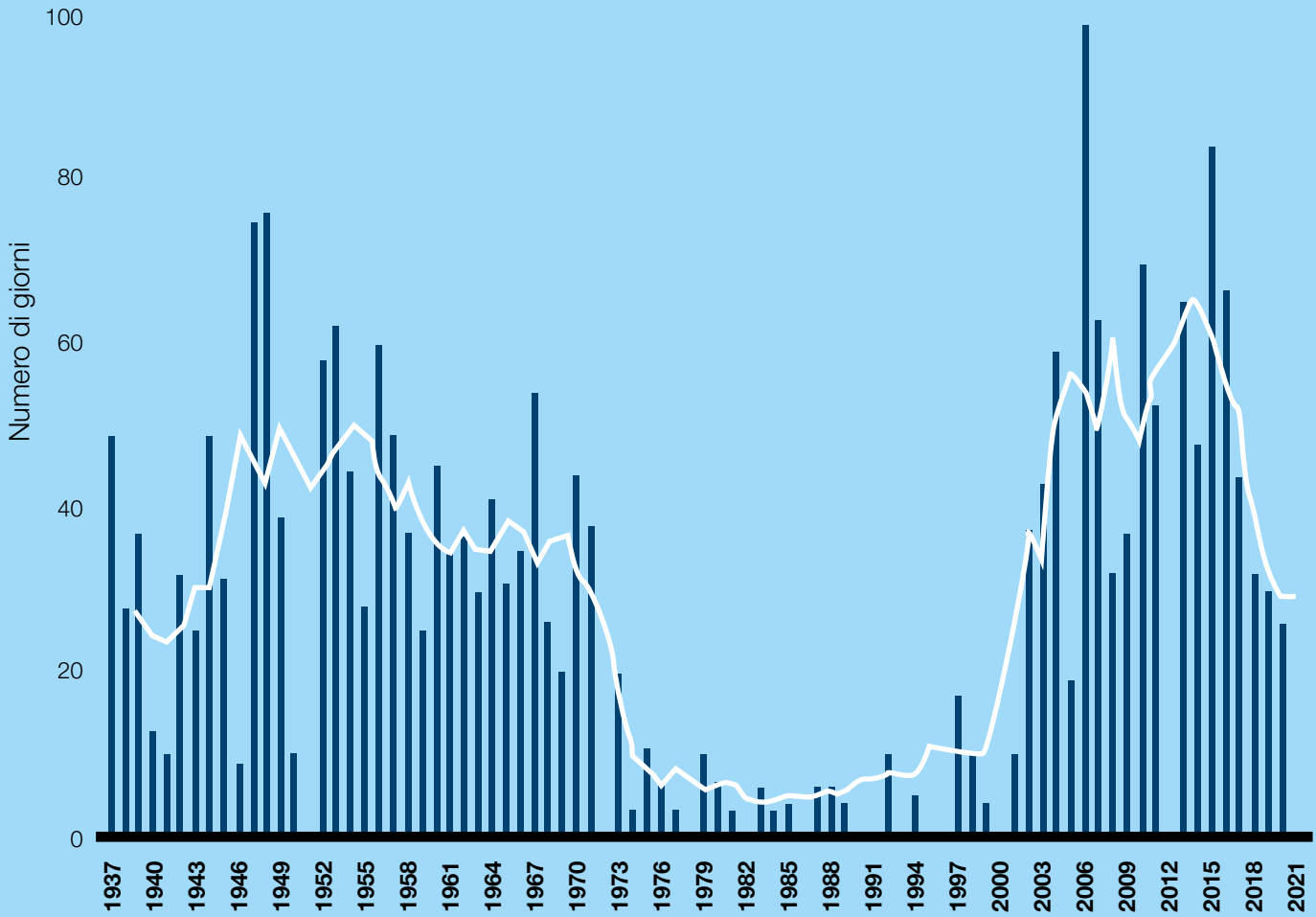


Figura 3.2 Andamento della frequenza delle ondate di caldo misurate dalla stazione meteorologica Lago Gabiet dal 1937 al 2021.

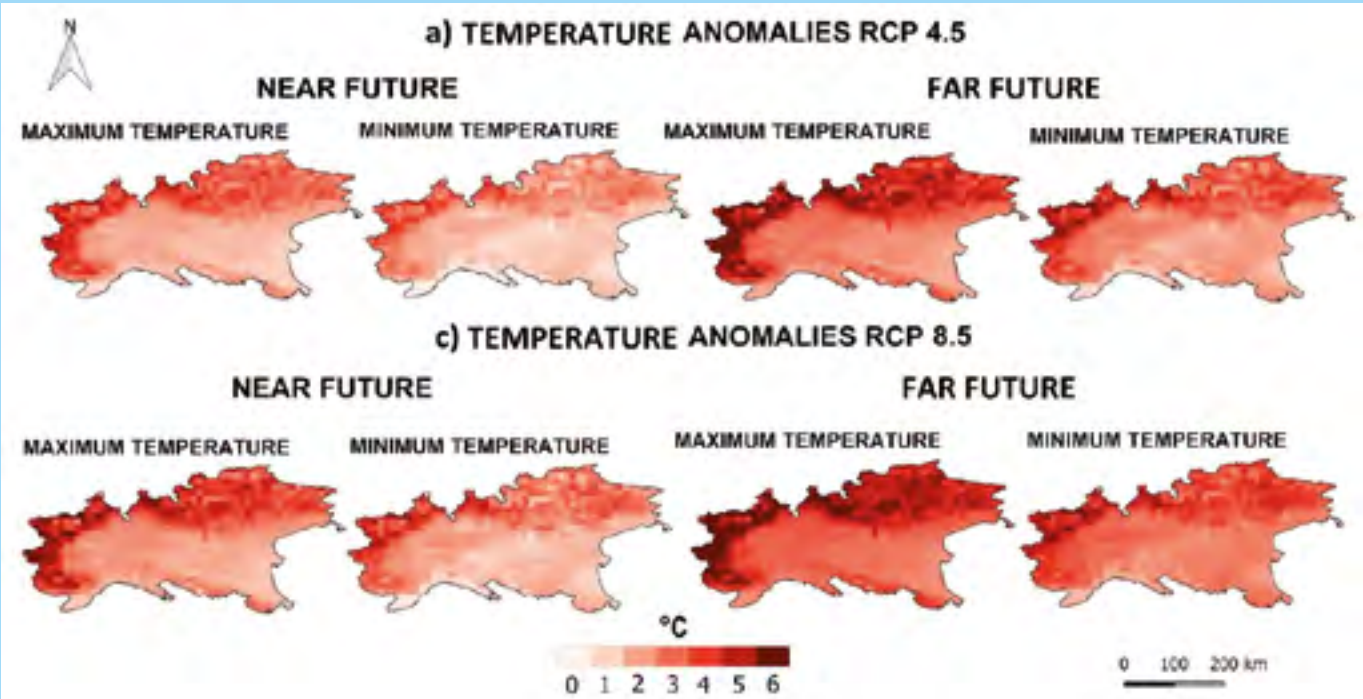


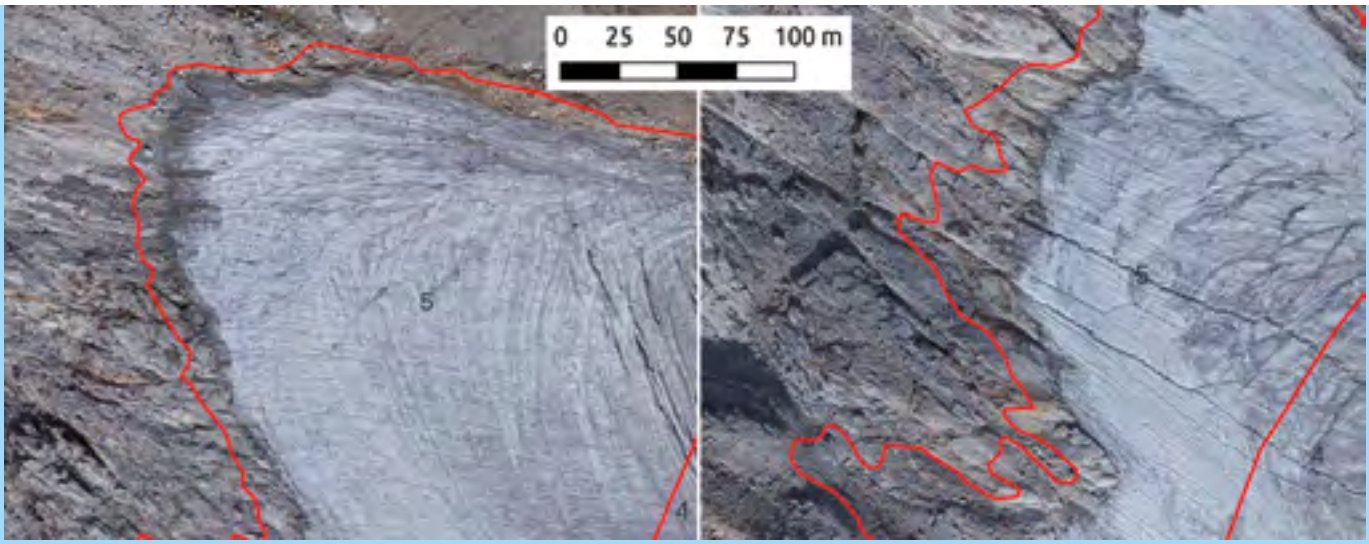
Figura 4. Anomalie di temperatura per il futuro vicino (2021-2050) e futuro lontano (2071-2100) calcolate per gli scenari RCP 4.5 (scenario medio) e RCP 8.5 (scenario estremo in cui non vengono adottate strategie di mitigazione, modificato da Baronetti et al., 2022).

GLI IMPATTI DELL'ESTATE 2022 SU NEVE, GHIACCIAI, PERMAFROST ED ECOSISTEMI: L'ESEMPIO DELLA VALLE D'AOSTA

Il 2022 ha consentito a tutti di vedere chiaramente gli impatti della crisi climatica sulla criosfera, sugli ecosistemi e sulle comunità di montagna: assenza di precipitazioni durante l'inverno e l'estate e temperature elevate si sono fatte sentire sull'accumulo di neve, sui ghiacciai, sul permafrost e di conseguenza sulla disponibilità idrica durante l'estate con effetti sugli usi umani.
L'accumulo nevoso a fine inverno è stato tra i minori mai osservati: la quantità massima di acqua contenuta nel manto nevoso (Snow Water Equivalent) viene normalmente raggiunta verso fine Aprile, inizio Maggio e per la Valle d'Aosta è pari mediamente a 1100-1200 milioni di metri cubi di acqua. Praticamente un cubo di acqua di un chilometro di lato. Nel 2022 il valore massimo è stato raggiunto molto prima (metà marzo) ed è stato pari a meno della metà del valore medio (~550 milioni di metri cubi). La fusione è iniziata molto presto e l'intero territorio regionale ha potuto fare affidamento su una scorta d'acqua dimezzata rispetto al solito.
I ghiacciai, in coerenza con quanto osservato sugli altri apparati monitorati sulla catena alpina, si sono presentati a fine estate in uno stato di grande sof-

Il ghiacciaio del Timorion a fine settembre 2022. L'ampia varice rocciosa, progredita nella sua espansione negli ultimi anni, è prossima al raggiungimento della cresta sommitale fenomeno che potrà verificarsi nei prossimi 2-5 anni a seconda dell'andamento delle prossime stagioni.

ferenza. Oltre alla riduzione della massa glaciale e l'arrretramento delle fronti, prosegue la frammentazione degli apparati e l'emersione di isole rocciose più o meno ampie che aggraveranno ulteriormente le dinamiche di fusione future. Le misure svolte sul Ghiacciaio di Timorion, a fine inverno, hanno mostrato un manto nevoso con spessori variabili fra 80 e 300 cm nella zona di accumulo (3.350 m s.l.m. di quota media) e fra 40 e 230 cm alle quote inferiori, in un settore con quota media 3.250 m s.l.m. che si è tradotto in una "scorta" di poco superiore a 469 mm di equivalente di acqua. Tale valore è stato fra i più bassi dell'intera serie di misura (22 anni). La stima della perdita di ghiaccio (ablazione) è stata realizzata attraverso il confronto della superficie del ghiacciaio a fine stagione (per gli anni 2021 e 2022). Tali superfici sono state elaborate tramite tecniche di fotogrammetria applicate ad immagini acquisite da drone. La perdita di massa legata alla completa fusione del manto nevoso invernale e la fusione del ghiaccio si sono tradotte in un bilancio di massa annuo pari a – 4.660 mm W. eq. Tale valore rappresenta la situazione più gravosa registrata in tutta la serie storica di misura e testimonia il grave stato di sofferenza dei ghiacciai posti alle quote intermedie e privi di bacini di accumulo in grado di raccogliere masse nevose che ancora in alto riescono a sopravvivere, almeno parzialmente, alla torrida estate 2022. Le variazioni



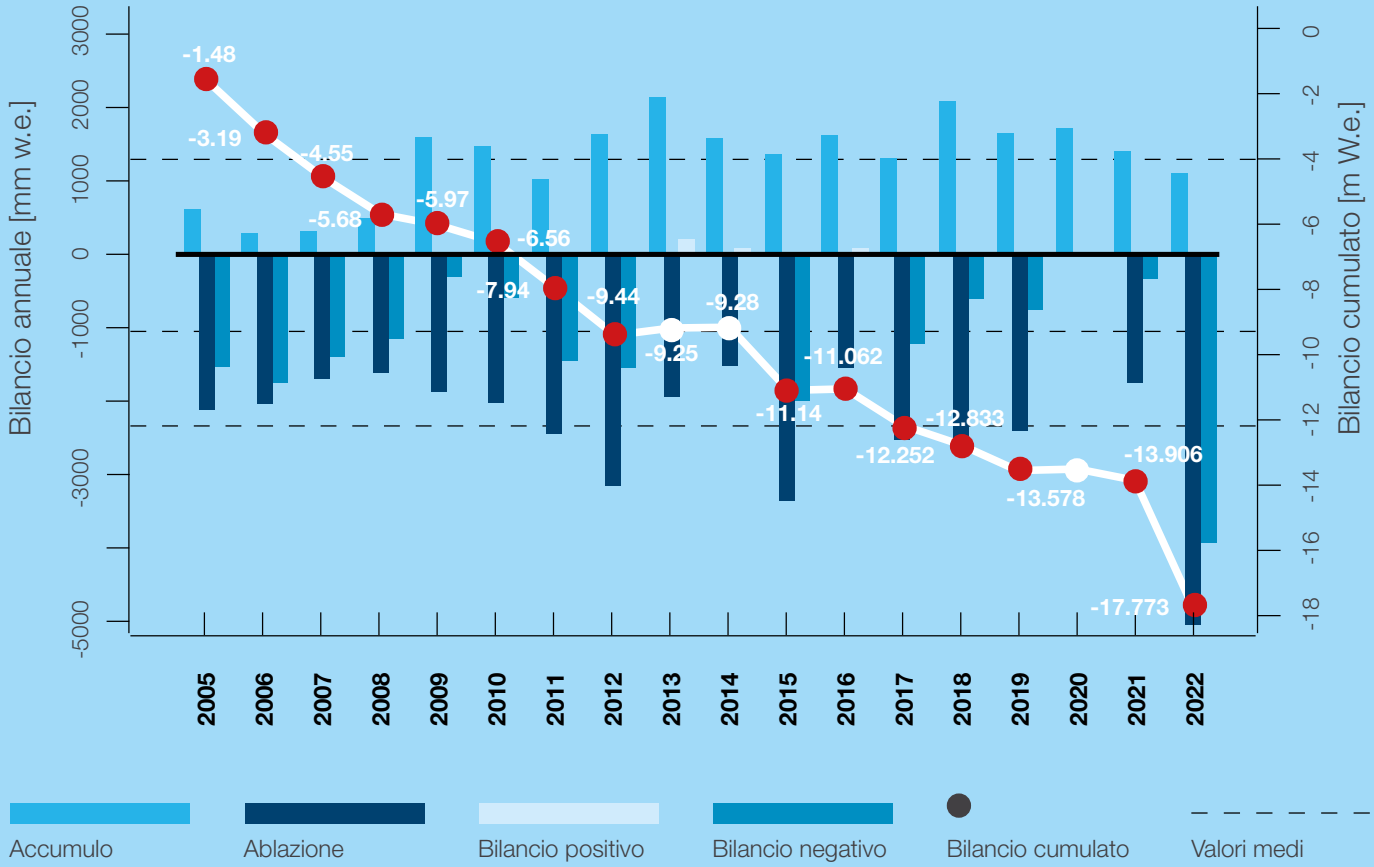
Arretramento frontale del Gh. di Timorion: a sinistra la fronte più settentrionale, a destra quella meridionale.
Si nota la sostanziale differenza della dinamica collegata alla morfologia del substrato (scala analoga per le due immagini).

frontali, anche esse particolarmente intense vedono un arretramento della lingua di sinistra di circa 21 m; sulla fronte di destra, invece, che presenta un andamento meno frastagliato in relazione alla maggiore omogeneità del substrato, la fronte è arretrata di 14 m circa.

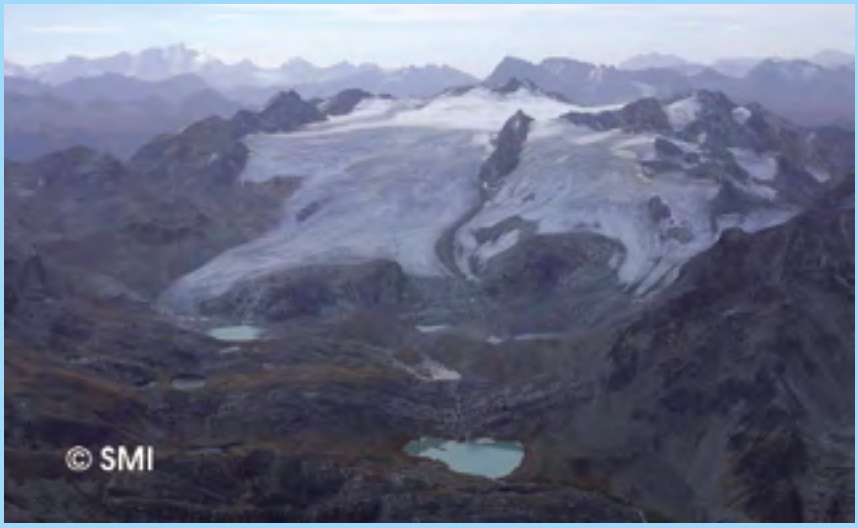
Il ghiacciaio del Rutor, considerata la posizione di confine e la prossimità alla Francia, ha beneficiato maggiormente degli apporti delle perturbazioni atlantiche pertanto gli accumuli di neve sono stati maggiori se confrontati con quelli dei settori più interni della nostra regione e pari in media a 224 cm. Per la stima della perdita di ghiaccio, si è applicato il metodo geodetico basato sulla differenza di modelli digitali della superficie (DSM). Per il Rutor sono stati confrontati i DSM derivati dai rilievi aerofotogrammetrici acquisiti nell'ambito delle attività del Glacier Lab del Politecnico di Torino (https://www.diati.polito.it/focus/dipartimento_di_eccellenza_sui_cambiamenti_climatici_2018_2022/laboratorio_multisito/cc_glacier_lab) computando la differenza fra la condizione della superficie al 10 settembre 2022 e quella a fine settembre 2021. È stato quindi possibile calcolare per ogni punto del ghiacciaio le variazioni intercorse nel periodo determinate unicamente dalla perdita di massa glaciale dal momento che in entrambi i periodi la copertura nevosa residua sul ghiacciaio era assente.

I tassi di ablazione misurati nei diversi settori costituiscono i record dell'intero periodo di monitoraggio, raggiungendo picchi di oltre 9 m nelle zone frontali destra e intermedia; anche su tutto il plateau sommitale si sono registrati abbassamenti di oltre 3-3,5 m. Misurazioni intermedie della fusione glaciale hanno mostrato come a fine luglio si fosse già raggiunta l'ablazione dell'intera stagione dell'anno 2020-2021.

La perdita di massa legata alla completa fusione del manto nevoso invernale e la fusione del ghiaccio si sono tradotte in un bilancio di massa annuo pari a - 4.946 mm W. eq. Gli arretramenti frontali medi registrati per il periodo si attestano attorno ai 31 – 40 m per l'effluenza di destra (variabilità connessa alla formazione di nuovi laghi proglaciali) e rispettivamente ai 27 e 26 m per le effluenze sinistra e centrale. In entrambi i casi (Timorion e Rutor) si tratta dei valori peggiori mai osservati: nel 2022 la quantità di ghiaccio persa è stata quattro volte superiore alla media degli ultimi 20 anni. Questa enorme fusione glaciale ha in qualche modo compensato la riduzione di portata dei torrenti causata dal limitato stock d'acqua nella neve, almeno nelle vallate che hanno ancora qualche ghiacciaio.



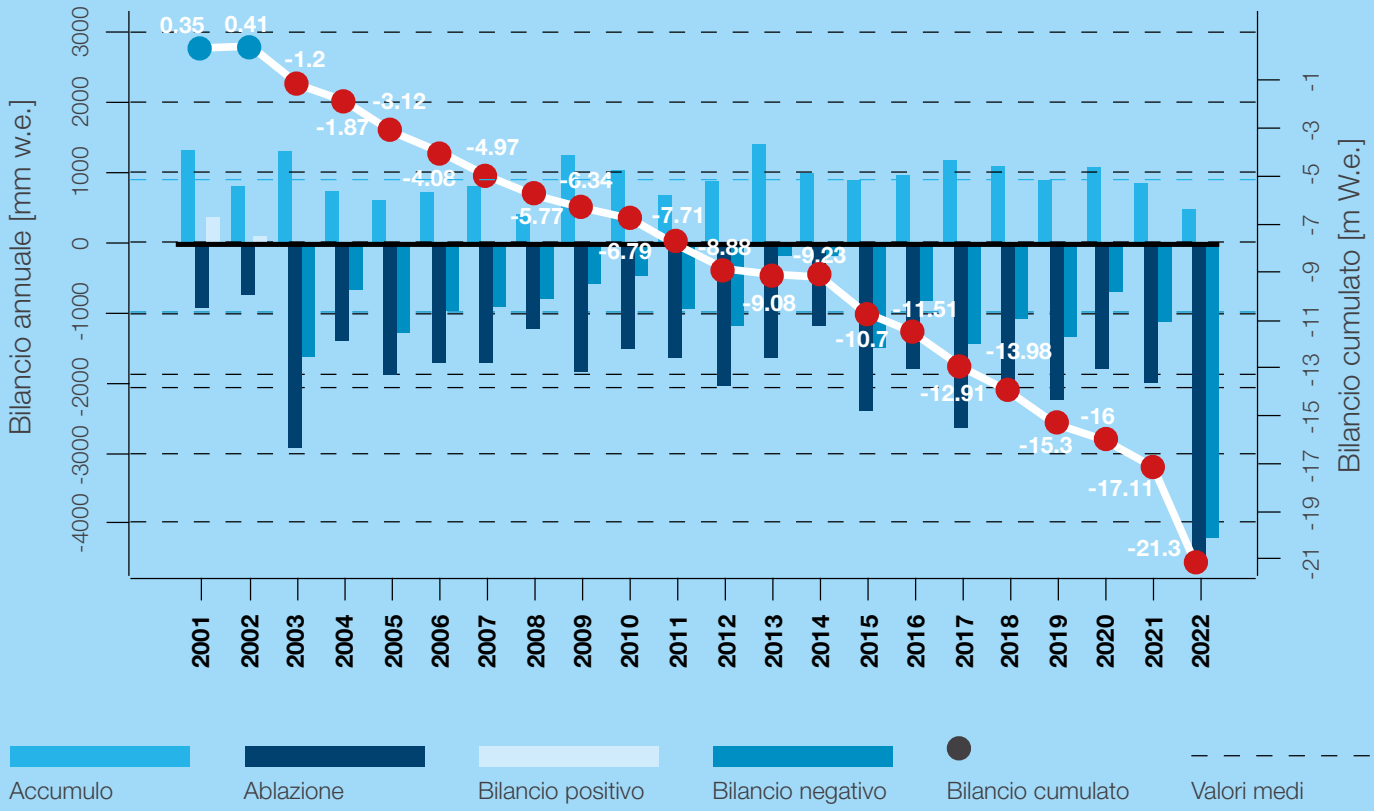
Bilancio di massa del ghiacciaio del Rutor. Nel periodo di osservazione (2005-2022) l'ultimo anno si pone come il peggiore di tutta la serie temporale.



Il Ghiacciaio del Rutor, il terzo per estensione in Valle d'Aosta (foto di D. Cat Berro - Società Meteorologica Italiana 2022). Su questi due ghiacciai i bilanci di massa vengono eseguiti da ARPA Valle d'Aosta. I risultati del 2022 non sono più confortanti di quelli dei ghiacciai di Ciardoney e del Grand Etrèt.

GHIACCIAIO DI TIMORION

BILANCIO DI MASSA



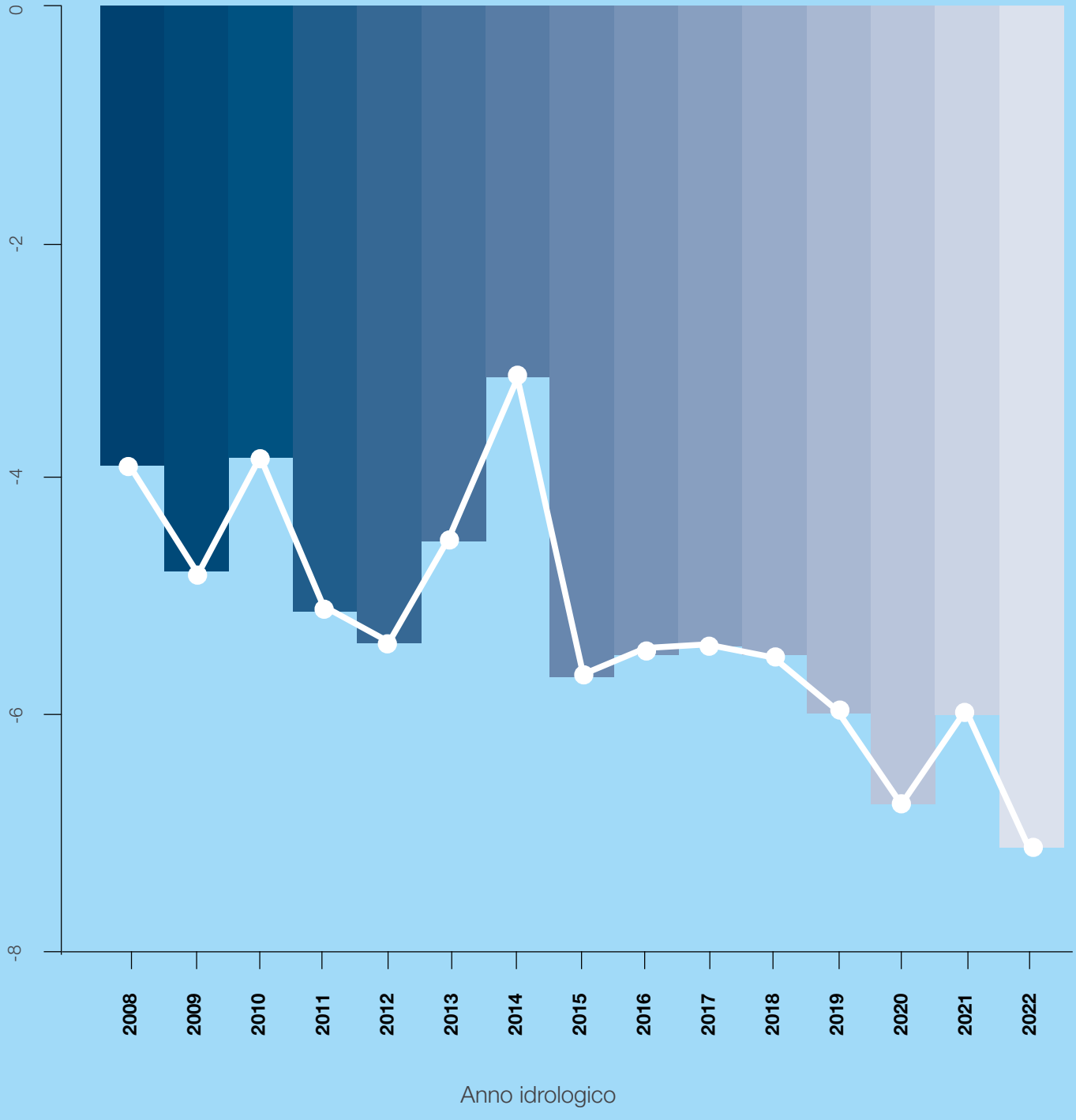
Bilancio di massa del ghiacciaio di Timorion (serie 2001 – 2022).

L'impatto delle alte temperature è stato molto forte anche sul permafrost: il permafrost è un fenomeno naturale correlato alla temperatura del sottosuolo. È definito come lo stato termico di un suolo o substrato roccioso ad una temperatura inferiore a 0°C. La profondità massima raggiunta dalle temperature positive determina lo spessore dello strato attivo del permafrost e nelle Alpi, viene raggiunta solitamente tra la fine di settembre ed i primi di novembre. In generale, uno strato attivo di spessore ridotto (pochi metri di profondità) è conseguente a condizioni fredde mentre uno strato attivo di spessore elevato indica l'effeto di condizioni calde. Anche per lo spessore dello strato attivo, misurato a 3100 m slm nella conca di Cervinia (Cime Bianche) il 2022 è l'anno dei record: è stato raggiunta la profondità massima di 7.10 metri, 2 metri in più rispetto alla media (2006-2021).

Poca neve, poca pioggia e temperature molto elevate hanno messo in difficoltà anche le capacità di adattamento degli organismi viventi e degli ecosistemi: le prolungate condizioni di siccità hanno causato una riduzione della produttività (del 20-40%) dei prati e pascoli di montagna e un aumento del fabbisogno di irrigazione (circa del 30%) per vigneti, frutteti e prati facendo emergere i primi semi di conflitto intorno all'uso multiplo dell'acqua da parte delle comunità di montagna (umano, agricolo e industriale). Alcuni primi impatti sono stati anche osservati sulle foreste, in particolare sui popolamenti più vulnerabili alla siccità. Se la siccità abbia causato anche un impatto sul funzionamento degli ecosistemi, compromettendo la loro fondamentale funzione di rimozione di CO^2 dall'atmosfera che contribuisce a contenere l'aumento di gas serra, è oggetto di approfondimenti: alcune prime indicazioni sembrano evidenziare

CIME BIANCHE

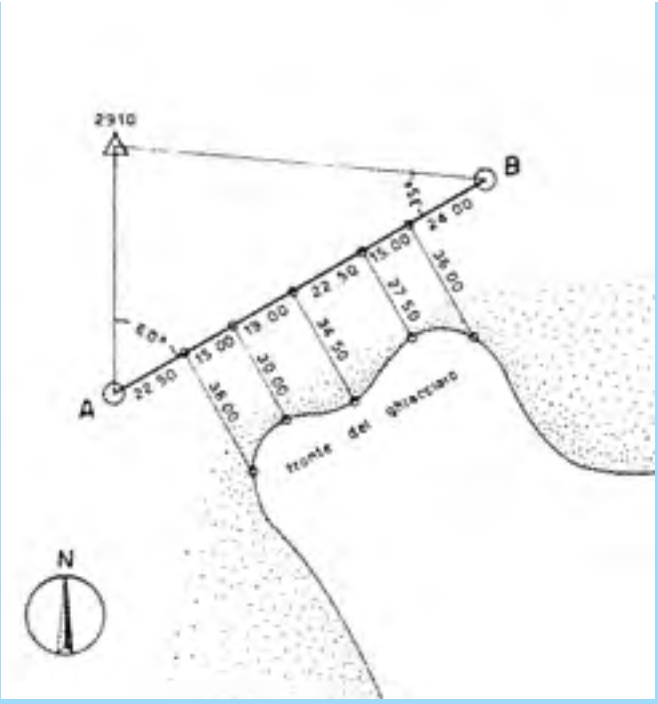
SPESSORE DELLO STRATO ATTIVO



una riduzione del 20-30% del sequestro medio di CO^2 di pascoli alpini e foreste di larice durante i mesi più caldi. Per sapere se questa riduzione estiva, comprometterà il bilancio annuale trasformando gli ecosistemi alpini da pozzi (ecosistemi che tolgono CO^2 dall'atmosfera) a sorgenti di CO^2 (ecosistemi che emettono CO^2 in atmosfera), dovremo aspettare la fine dell'anno.

PERCHÉ I GHIACCIAI CHE È POSSIBILE "MISURARE" SONO SEMPRE DI MENO?

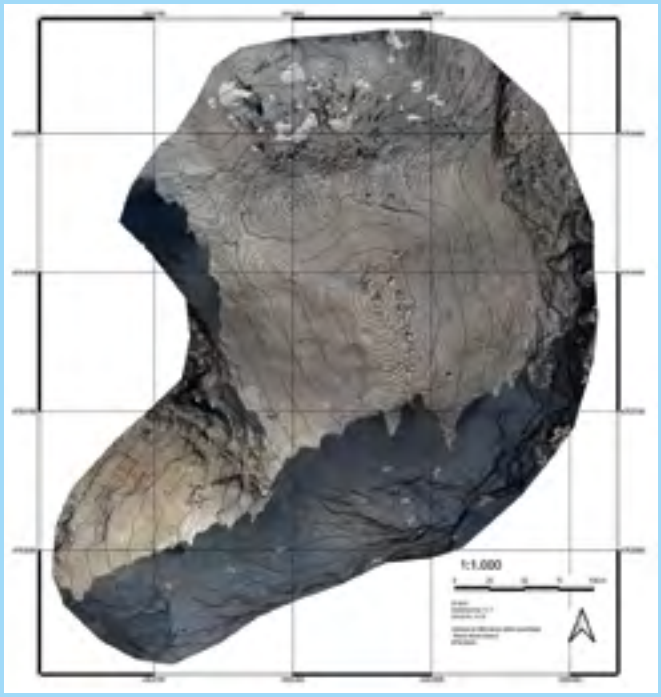
I risultati dei monitoraggi dei ghiacciai del settore occidentale dell'Arco Alpino per il 2021 risultano invariabilmente negativi. I ghiacciai osservati sono un centinaio, ma solo per la metà di essi può ancora essere eseguita la misurazione dell'arretramento frontale con la bindella metrica. Questo è il metodo "tradizionale" di misurazione di un ghiacciaio, utilizzato fin dai primi decenni del secolo scorso, quando il monitoraggio dei ghiacciai incominciò ad essere svolto in forma organizzata. Prima di tutto non richiede l'impiego di attrezzature costose – una semplice bindella metrica reperibile presso una qualsiasi negozio di ferramenta – né una formazione tecnica specifica da parte dell'operatore che lo utilizza. Per istituire un segnale glaciologico (ma possono anche essere molteplici per lo stesso ghiacciaio) è sufficiente individuare un caposaldo nei pressi della fronte del ghiacciaio (in genere costituiti da grandi massi o dossi di rocce montonate il cui successivo reperimento può essere facilitato dalla verniciatura di un bollo o una sigla o dalla costruzione di un "ometto" di pietre) e prendere con una bussola l'orientazione rispetto al Nord (il cosiddetto "azimut") del percorso più logico e diretto tra il caposaldo e il margine glaciale in modo che l'operazione di misura venga ripetuta sempre lungo quella direzione. Anno dopo anno verrà quindi misurata la distanza intercorrente tra il segnale e il ghiacciaio, sempre lungo la direzione precedentemente fissata, e il dato ottenuto viene confrontato con quello dell'anno precedente. Se la distanza aumenta, il ghiacciaio si ritira mentre, se diminuisce, il ghiacciaio avanza. Proprio l'accessibilità di questa tecnica di monitoraggio ha consentito al Comitato Glaciologico Italiano di poter sempre



Illustrazioni tratte dal capitolo dedicato alle osservazioni glaciologiche e curato da Ardito Desio, del "Manualetto di istruzioni scientifiche per alpinisti" pubblicato dal CAI nel 1934 in prima edizione che schematizzano il corretto posizionamento dei segnali glaciologici per la misurazione delle variazioni delle fronti dei ghiacciai

Misura della distanza del segnale glaciologico dalla fronte del ghiacciaio con la bindella metrica al Ghiacciaio della Capra in Valle dell'Orco, Piemonte (foto di M. Giardino)

contare nel corso della sua lunga storia su un'ampia base di operatori glaciologici volontari, non necessariamente appartenenti al mondo accademico (ma certo quasi sempre a quello degli amanti a vario titolo della montagna) che dopo un minimo inquadramento formativo sono stati in grado di contribuire attivamente alla costruzione a quella miniera di dati e osservazioni fornite dalle campagne glaciologiche pubblicate di anno in anno sul Bollettino del Comitato Glaciologico Italiano.



Il Ghiacciaio del Calderone (Gran Sasso, Abruzzo) è uno di quei ghiacciai (anche se ormai sarebbe più corretto definirlo un glacionevato) su cui non sarebbe più possibile eseguire misurazioni della variazione frontale tramite l'ausilio dei segnali glaciologici per via della copertura detritica che maschera completamente i limiti del corpo glaciale ancora presente. Da alcuni anni vengono invece eseguiti sofisticati monitoraggi di tipo geodetico che permettono di valutare la perdita di spessore del ghiaccio confrontando gli abbassamenti della superficie
(foto ed elaborazione grafica di M. Pecci)

Affinché le misurazioni eseguite con questa metodologia siano agevoli da eseguire e i dati ottenuti sufficientemente precisi, è però necessario che anche i ghiacciai abbiano caratteristiche che "vadano incontro" al compito degli operatori. Dovrebbero formare una lingua glaciale con un margine frontale ben definito, sufficientemente regolare, che consenta di individuare chiaramente dove il ghiaccio termina e che sia raggiungibile senza dover affrontare difficoltà elevate e/o pericoli oggettivi. In questi ultimi anni, un numero in costante crescita di ghiacciai, andando in sofferenza e ritirandosi, sta perdendo questi requisiti. Il fenomeno della cesura delle lingue glaciali, sempre più diffuso, avviene quando il ghiaccio non ha più lo spessore sufficiente a coprire i gradoni formati substrato roccioso e questi affiorano sempre più estesamente fino alla completa separazione della parte che si trova a valle dal resto del ghiacciaio. Conseguentemente, la "vera" fronte attiva del ghiacciaio, quella che dovrebbe essere monitorata, diventa il margine superiore della cesura. Ma nella maggior parte dei casi, questo finisce nel trovarsi sospeso su una parete di roccia e genera frequenti crolli di blocchi di ghiaccio. Non è pertanto più possibile raggiungerlo o sarebbe estremamente pericoloso farlo. La contrazione volumetrica delle masse glaciali sempre più accentuata e la fusione del permafrost che aumenta la frequenza dei crolli di ammassi rocciosi dalle pareti laterali provoca inoltre una presenza di detrito sempre maggiore sulla superficie dei ghiacciai. Questa, anche se in determinate circostanze può contribuire a proteggere almeno in parte il ghiaccio sottostante, rappresenta un'altra complicazione per la vita degli operatori glaciologici. Può infatti rendere difficile, se non talora impossibile, individuare con precisione dove termina realmente il ghiacciaio. Diventa quindi altrettanto arduo ottenere misurazioni attendibili delle variazioni frontali rispetto ai segnali glaciologici.

Volendo continuare fare il monitoraggio dei ghiacciai con queste problematiche (che, come si è già detto, stanno diventando i più), è possibile ricorrere a metodologie che consentano piuttosto di calcolare la quantità di ghiaccio persa di anno in anno. Questo avviene già da molto tempo, ma per un numero ridotto di ghiacciai "campione", tramite l'esecuzione dei bilanci di massa. In pratica, la salute del ghiacciaio viene diagnosticata prima misurando in tarda primavera la quantità ancora presente della neve che si è accumulata nel corso dei mesi precedenti. Una seconda misurazione viene poi fatta per quantificare gli effetti della stagione estiva che ormai arrivano ad intaccare direttamente (e pesantemente) le scorte di firn delle annate precedenti o addirittura il ghiaccio vivo, la vera "polpa" del ghiacciaio che non può più essere rinnovata se non in tempi lunghissimi. L'abbassamento della neve e del ghiaccio viene determinato con apposite aste di misurazione (le cosiddette "paline ablatometriche), lasciate infisse in un certo numero sulla superficie del ghiacciaio. Negli ultimi anni, bilanci di massa che permettono di ottenere dati molto più precisi sui volumi di ghiaccio persi (o dell'equivalente in acqua) anche per ghiacciai arealmente estesi sono quelli ottenute con metodologie di tipo geodetico. La scansione laser o l'acquisizione di foto aeree che vengono poi elaborate con la tecnica della "structure from motion" (si veda il caso del Ghiacciaio del Miage o del Montasio in questo report), operazioni che anche l'impiego del drone ha reso economicamente più sostenibili rispetto ai costi dell'aereo o dell'elicottero, consentono di ottenere modelli digitali tridimensionali di alta precisione delle superfici dei ghiacciai che possono essere comparati per mappare la variazione spaziale delle di spessore del ghiaccio (ormai quasi sempre con valori negativi o, al meglio, stazionari) e la corrispondente perdita di volume di ghiaccio.

Le considerazioni pratiche che si possono fare sul ricorso a queste metodologie risultano però all'opposto di quelle che erano state espresse inizialmente sull'accessibilità delle "tradizionali" misure frontali eseguite con la bindella metrica.

Sono infatti necessari strumenti ed attrezzature generalmente molto costose e che richiedono personale tecnico altamente qualificato per il loro utilizzo e la successiva elaborazione dei dati.

L'esecuzione dei bilanci di massa con tecniche geodetiche rimane quindi generalmente circoscritta all'ambito di progetti di studio finanziati dalla ricerca universitaria o da enti pubblici o privati e motivati da situazioni di particolare interesse. Resta difficile pensare, al momento, di poterla applicare molto più diffusamente e frequentemente di quanto lo sia allo stato attuale.

I GHIACCIAI DELLE ALPI OCCIDENTALI

Nel settore occidentale dell'Arco Alpino (come del resto anche in quelli centrale e orientale) i ghiacciai più piccoli e alle quote meno elevate stanno perdendo il loro "status" ghiacciaio, che, a rigore, comporta la presenza di una massa glaciale di spessore tale da consentirne ancora il movimento verso valle per gravità. Vengono declassati a glacionevati, probabilmente destinati a scomparire del tutto entro pochi anni se la fusione del ghiaccio residuo non viene rallentata dalla sussistenza di condizioni locali particolari. In base a questo criterio classificativo, si deve pertanto prendere atto della definitiva cessazione di una vera attività glaciale in tutte le Alpi Marittime e nelle Cozie (qui il più recente "nobile decaduto" risulta essere il Ghiacciaio Superiore di Coolidge, sul versante Nord del Monviso, ormai ridotto ad una placca di ghiaccio semisommersa dal detrito sul fondo della sua nicchia al posto del ghiacciaio sospeso il cui superamento, ancora negli anni novanta, rappresentava un banco di prova alpinistico di prim'ordine).
Tra gli (ex) ghiacciai del Massiccio dell'Ambin, in alta Val di Susa, l'unico ghiacciaio ancora osservato è quello di Lamet, sebbene anch'esso in una condizione che ormai può essere ricondotta a quella di un glacionevato.

I GHIACCIAI DELLE ALPI OCCIDENTALI

I ghiacciai monitorati che si trovano alle testate delle tre Valli di Lanzo (la Valle di Viù, quella di Ala e la Val Grande di Lanzo), invece, superano di poco la dozzina. Pure in queste vallate gli apporti delle precipitazioni solide invernali sarebbero già risultati insufficienti a fronteggiare le conseguenze di una stagione estiva non così anomala sotto il profilo climatico come quella che si è verificata. I ghiacciai della Valle Orco, del versante piemontese del Gran Paradiso e della Valle d'Aosta, che sono prevalentemente seguiti dal personale di sorveglianza del Parco del Gran Paradiso, risultano tra quelli maggiormente segnati dalla scarsità di innevamento e dalle temperature estive del 2022. La media delle misure di arretramento frontale è di una quarantina di metri e spicca il dato della retrocessione di ulteriori 200 metri della fronte attiva del Ghiacciaio del Gran Paradiso in conseguenza della separazione di una sua parte. La gravità della situazione giustifica un approfondimento specifico su questo gruppo che Daniele Cat Berro e Luca Mercalli della Società Meteorologica Italiana hanno curato per il report della "Carovana dei Ghiacciai". Non va dimenticato che questi ghiacciai sono situati in un parco che quest'anno ha celebrato il centenario della sua nascita.

Il Ghiacciaio Superiore di Coolidge sulla parete Nord del Monviso nelle condizioni di fine estate 2020. (foto di D. Dana)

I GHIACCIAI DELLE ALPI OCCIDENTALI

COME STANNO I GHIACCIAI DEL GRAN PARADISO?

Il massiccio del Gran Paradiso conserva ancora un'interessante copertura glaciale, benché in sofferenza per il riscaldamento atmosferico. I 57 ghiacciai che ricadono entro i confini del Parco Nazionale coprono una superficie di circa 29 km2 (dato riferito agli anni tra 2015 e 2019), tre quarti dei quali sul versante valdostano a causa dell'esposizione settentrionale più fredda e dei bacini di alimentazione più vasti in alta quota. I ghiacciai più ampi del versante valdostano e piemontese sono rispettivamente quelli della Tribolazione (Valnontey, Cogne) e di Noaschetta (Valle Orco), pari a un'area di 5,0 e 1,2 km2. Gran parte degli apparati glaciali scende con la fronte fino a quote di 2700-3000 m, ma quello della Capra, presso il Lago Serrù in alta Valle Orco, tocca un minimo di 2485 m grazie alla sua posizione ombreggiata e alla coltre di detriti - franati dalle pareti rocciose circostanti - che rallenta la fusione del ghiaccio.

In alto La via normale di salita al Gran Paradiso (4061 m), l'u-nico "4000" interamente italiano, vista dal motoaliante alla fine dell'estate 2022. In basso, il versante che si affaccia sulla Valnontey con il Ghiacciaio della Tribolazione. La vetta al centro è ancora quella del Gran Paradiso. (foto di D. Cat Berro - Società Meteorologica Italiana)

La perimetrazione su cartografia digitale delle morene della Piccola Età Glaciale, periodo freddo e nevoso culminato nella prima metà dell'Ottocento, ha permesso di valutare la superficie glacializzata dell'epoca in circa 88 km2: se ne deduce che la riduzione areale è stata di ben due terzi (-67%) in meno di due secoli nell'insieme del massiccio, peraltro accelerata e concentrata nell'ultimo quarantennio. Causa principale di una così intensa deglaciazione - più che una riduzione delle precipitazioni invernali, pressoché stazionarie - è proprio l'aumento della temperatura media estiva di oltre 2 °C. Le stagioni più calde intensificano la fusione di neve e ghiaccio, così a settembre i ghiacciai sono quasi sempre privi di neve residua, anneriti dai detriti rocciosi e in forte regresso.
L'andamento glaciologico della zona è monitorato annualmente dalla Società Meteorologica Italiana (SMI) e dal Corpo di Sorveglianza dell'Ente Parco nel quadro delle campagne di osservazione del Comitato Glacio-

I GHIACCIAI DELLE ALPI OCCIDENTALI

I ghiacciai di Ciardoney (in alto) e del Grand Etrèt, il primo in Valle Orco (Piemonte), il secondo in Valsavarenche (Valle d'Aosta). Per entrambi, i risul-tati dei bilanci di massa al termine dell'estate 2022 sono disastrosi. (Foto D. Cat Berro - Società Meteorologica Italiana, 2022)

logico Italiano (CGI). In particolare i ghiacciai del Ciardoney in Val Soana (superficie: 0,51 km^2) e quello del Grand Etret in Valsavarenche (0,29 km^2) sono sorvegliati speciali: vi si compiono misure di bilancio di massa, ovvero il bilancio tra nevicate invernali e fusione estiva per la determinazione delle variazioni di spessore e volume, rispettivamente dal 1992 a cura della SMI e dal 2000 a cura dell'Ente Parco, e i dati confluiscono al World Glacier Monitoring Service di Zurigo. I due ghiacciai nei ventitre anni comuni di misure hanno perso spessori medi annui di 1,46 m e 0,86 m di acqua equivalente (il Grand Etret è rivolto a Nord e in posizione più ombreggiata), e l'entità delle perdite è intensificazione. Inoltre la fronte del Ciardoney si è ritirata di oltre 500 m in mezzo secolo.

Il 2022 è stato l'anno peggiore mai documentato negli ultimi decenni di rilievi diretti, superando il caso record del 2003, ma probabilmente anche da secoli: la deleteria combinazione tra un inverno eccezionalmente povero di neve e un'estate caldissima ha determinato la totale scomparsa della coltre nevosa con un mese e mezzo di anticipo rispetto a quanto avveniva nelle già negative stagioni recenti, e l'asportazione entro settembre di spessori glaciali dell'ordine di 4-6 metri a quota 3000 m.

I GHIACCIAI DELLE ALPI OCCIDENTALI

Confronto fotografico per i ghiacciai di Montcorvé e di Monciair (versante Valsavarenche del Gran Pardisio): in alto cartolina del 1920, In mezzo foto del 2009 di S. Borney e in basso dell'agosto 2022 di A. Rossotto.

Ma, anche in annate non così estreme, i ghiacciai del Gran Paradiso sono in forte disequilibrio con il clima attuale troppo caldo, trovandosi per lo più sotto la linea delle nevi permanenti che si colloca ormai tra i 3200 e i 3500 metri, pertanto, non più alimentati, sono in gran parte condannati all'estinzione anche in uno scenario di moderato riscaldamento futuro. Soprattutto quelli del versante piemontese, rivolti a Sud, rischiano di estinguersi completamente già entro la metà di questo secolo. E solo una modesta porzione di quelli più elevati intorno al Gran Paradiso e alla Grivola, sul lato valdostano, potrà forse sopravvivere al riscaldamento globale di almeno 4 °C atteso entro il 2100 se non ridurremo drasticamente le nostre emissioni di gas serra come richiesto dall'Accordo di Parigi.
Sul versante piemontese si trovano due esposizioni permanenti dedicate alla didattica su clima e ghiacciai locali, visitabili nei mesi estivi ed entrambe curate dalla Società Meteorologica Italiana: il Glaciomuseo del Serrù, inaugurato nel 2002 lungo la strada del Nivolet in alta Valle Orco, e il Climapark, presso la diga del Teleccio, aperto nel 2022 nel quadro di una convenzione tra SMI, Ente Parco, Iren Energia e Comune di Locana.

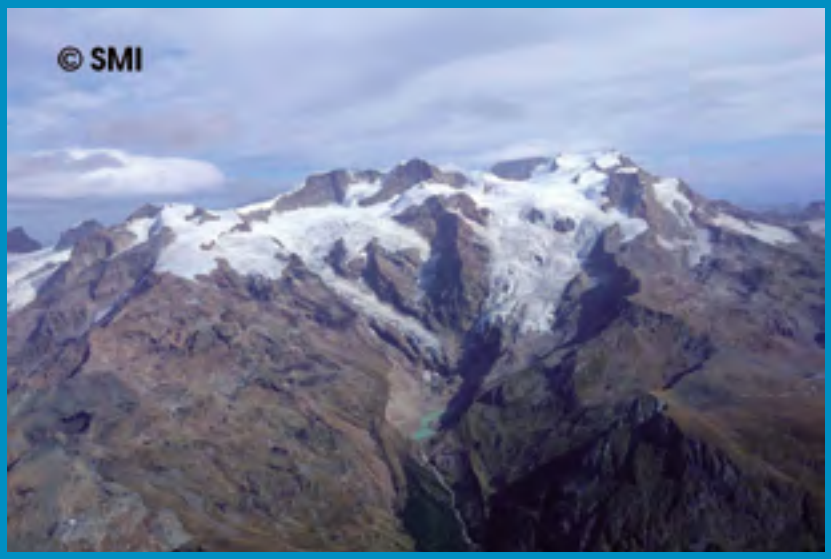
I GHIACCIAI DELLE ALPI OCCIDENTALI

ARPA Valle d'Aosta definisce senza mezzi termini il 2022 come "l'annus horribilis" per i ghiacciai valdostani.
I risultati dei bilanci di massa che vengono eseguiti dai tecnici dell'ente sui ghiacciai campione del Timorion (Valsavaranche) e del Ruitor (La Thuile), analizzati in dettaglio nel contributo di Edoardo Cremonese "Gli impatti dell'estate 2022 su neve, ghiacciai, permafrost ed ecosistemi: l'esempio della Valle d'Aosta" non hanno bisogno di interpretazioni.
Per il Massiccio del Monte Bianco vanno menzionati i due ghiacciai, "sorvegliati speciali", di Planpincieux e delle Grandes Jorasses in Val Ferret. Sono costantemente monitorati dai tecnici della Fondazione Montagna Sicura per il rischio di crolli di ghiaccio che potrebbero coinvolgere gli insediamenti e le infrastrutture del fondovalle, aumentato per effetto dalle temperature elevate e dalle precipitazioni sotto forma di pioggia che raggiungono sempre più frequentemente anche le alte quote.
Il quadro restituito dalle osservazioni dei ghiacciai del Massiccio del Monte Rosa non esula da quelli precedenti: prosegue il ritiro del Ghiacciaio di Verra in Val d'Ayas mentre il Ghiacciaio del Lys, nella valle di Gressoney, non è più possibile misurare direttamente la fronte attiva che, dopo la cesura della lingua valliva avvenuta nel 2005, si trova sospesa sopra un inaccessibile salto di roccia. Per il versante valsesiano, i cui ghiacciai erano stati visitati in occasione della seconda tappa della prima edizione della "Carovana dei Ghiacciai, gli operatori hanno riferito un arretramento di un centinaio di metri in tre anni delle fronti dei ghiacciai delle Piode e di Sesia-Vigne.
Il Ghiacciaio del Belvedere (Valle Anzasca, Macugnaga) ha caratteristiche "himalayane" simili a quelle del Ghiacciaio del Miage (Val Veny, Courmayeur): si origina dalla confluenza dei ghiacciai di circo che scendono dalla Parete Est del Monterosa e forma un'estesa lingua valliva completamente ricoperta di detrito. La perdita di parecchie decine di metri di spessore del ghiacciaio avvenuta soprattutto nell'ultimo ventennio sta privando le grandi morene laterali del sostegno che il ghiacciaio forniva loro. Questo genera fenomeni di instabilità sempre più accentuati

Il Ghiacciaio del Belvedere, ai piedi della Parete Est del Monte Rosa, ha una connotazione "himalayana" simile a quella del Miage in Val Veny (Courmayeur, AO) e anch'esso forma una lunga lingua valliva completamente ricoperta di detrito. Immagine satellitare Sentinel-2 di metà luglio 2022. Nell'angolo in alto a destra, il paese di Macugnaga, in Valle Anzasca (Verbano-Cusio-Ossola).

I GHIACCIAI DELLE ALPI OCCIDENTALI

I ghiacciai di Planpincieux (a sinistra) e delle Grandes Jorasses (a destra) in Val Ferret (Courmayeur), costantemente monitorati per il rischio di crolli di ghiaccio. (foto di E. Motta, 2021)



Il Ghiacciaio del Lys (Valle di Gressoney) sul versante valdostano del Monte Rosa. (foto di D. Cat Berro - Società Meteorologica Italiana, 2022)

e diffusi (con caratteristici sdoppiamenti delle linee di cresta) che richiedono attenzione per via dell'elevata frequentazione turistica, soprattutto nel periodo estivo.
Nel 2022 ricorre inoltre il ventennale dall'emergenza del lago effimero. Nel 2002, in seguito ad un raro fenomeno, la dinamica del Ghiacciaio del Belvedere aveva subito una notevole accelerazione e in questo particolare contesto si era formato un gigantesco lago epiglaciale (termine che viene usato per i laghi che occupano invasi completamente all'interno dell'area di un ghiacciaio e quindi con il fondo anch'esso interamente di ghiaccio) con una profondità di 60 metri ed un volume di un milione di metri cubi. Il concreto pericolo di un improvviso svuotamento del lago, con un effetto diga che avrebbe potuto generare un'ondata con conseguenze catastrofiche per il paese di Macugnaga e per tutti gli altri centri abitati della Valle Anzasca aveva dato il via ad un'imponente operazione di protezione civile per il monitoraggio della situazione e per il tentativo di attuare lo svuotamento artificiale. L'emergenza, dopo essersi inizialmente riproposta nell'estate dell'anno successivo, è poi fortunatamente rientrata con la progressiva riduzione naturale, fino alla scomparsa, del lago.
Nelle Valli Ossolane, la situazione del Ghiacciaio di Hohsand (o del Sabbione) è una tra quelle che palesano, se mai ce ne fosse bisogno come la fusione

I GHIACCIAI DELLE ALPI OCCIDENTALI

dei ghiacciai non sia solo un “affare” degli ambientalisti ma che possa avere ripercussioni dirette sulle dinamiche economiche e sociali. La diga che forma il bacino artificiale era stata realizzata alla fine degli anni Cinquanta proprio per lo sfruttamento idroelettrico delle acque di fusione del ghiacciaio che, dopo il riempimento dell’invaso, aveva la sua fronte lambita estesamente dal lago. Dal confronto fotografico si vede come questa si trovi attualmente a parecchie centinaia di metri dalla riva e la velocità con cui il ghiacciaio continua a ritirarsi condizionerà inevitabilmente in modo sempre più negativo la produttività dell’impianto in relazione ai costi di gestione.

In alto, confronto fotografico della situazione a monte del bacino idroelettrico del Sabbione, in alta val Formazza, nel 1977 (foto di A. Mazza) e nel 2020 (foto di P. Valisa). La stazione fotografica si trova sulla diga.

In basso, il Ghiacciaio del Sabbione e il lago omonimo in una immagine satellitare Sentinel-2 dell’estate 2022. La linea gialla indica la posizione della fronte del Ghiacciaio ancora alla metà degli anni Settanta.

VALLE D'AOSTA

GHIACCIAIO DEL MIAGE

Numero Catasto C.G.I.	213
Tipo Ghiacciaio	Montano
Forma	Vallivo
Alimentazione	Diretta, valanghe
Esposizione	SE
Superficie	10.36 km^2
Quota max bacino	4810 m.s.l.m
Quota max	4605 m.s.l.m
Quota min	1723 m.s.l.m
Anno di acquisizione	2006
Data di acquisizione	23/08/2006
Lunghezza Massima	10329 m
Inclinazione media	12°

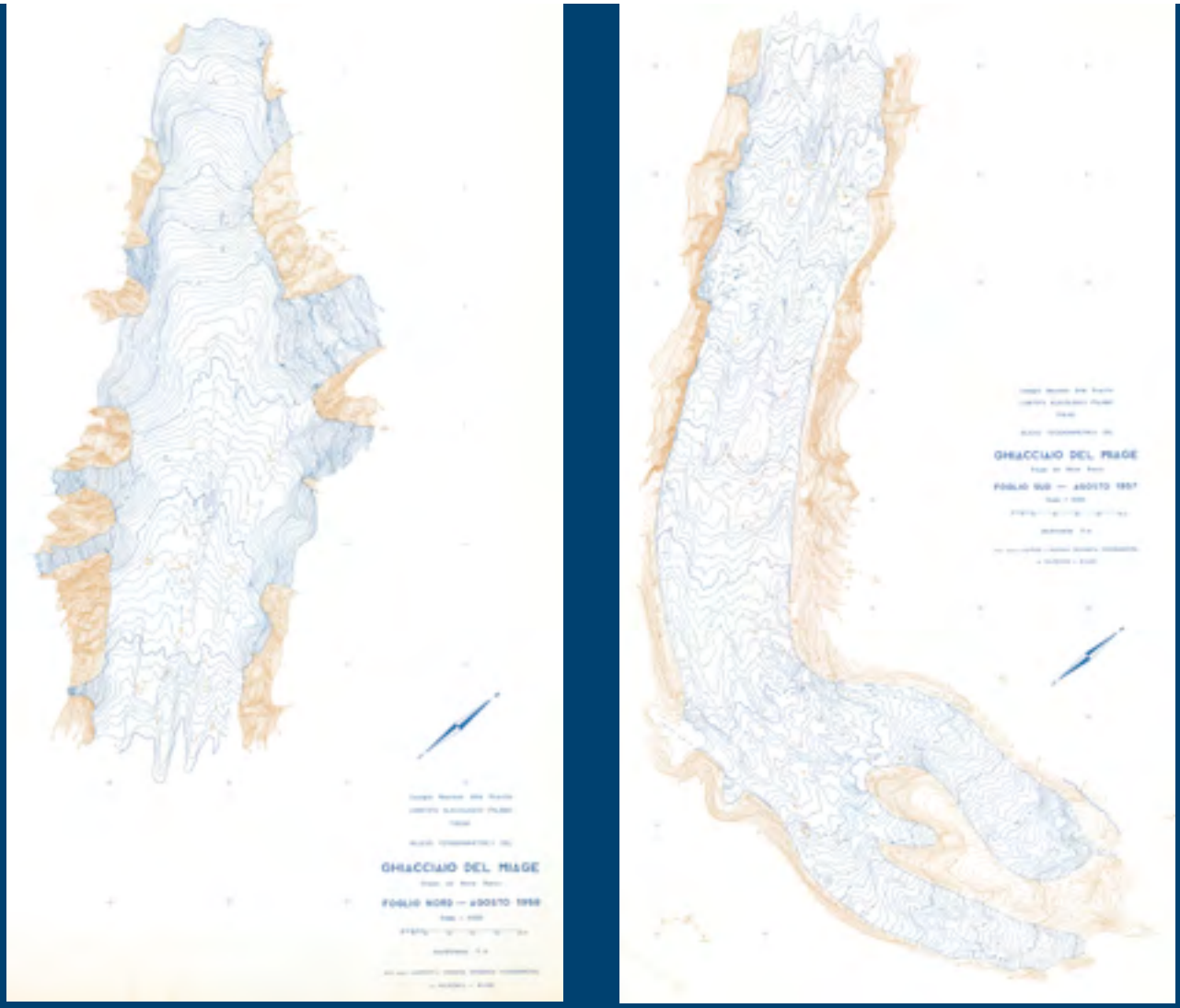
Il ghiacciaio del Miage è considerato uno dei maggiori ghiacciai vallivi italiani, con caratteristiche che lo fanno anche definire di tipo himalayano. La sua lingua percorre un lungo vallone laterale del versante sinistro della Val Veny, sul versante meridionale del Monte Bianco, ricevendo gli apporti dalle masse glaciali che scendono dai circhi di alta quota, per poi occupare un tratto del fondovalle della stessa Val Veny dove termina con un'ampia caratteristica fronte trilobata. Questo esteso settore vallivo del ghiacciaio si presenta completamente ricoperto da detriti rocciosi che mascherano la presenza del ghiaccio sottostante, provocando talora sconcerto fra i numerosi turisti che, senza saperlo, raggiungono per la prima volta la gettonatissima meta del Lago del Miage. Questa copertura detritica, se da un lato può deludere le aspettative di chi ha un'idea più stereotipata dell'aspetto di un ghiacciaio, dall'altro si comporta come una vera e propria coperta termica, la cui azione è quella di rallentare la fusione del ghiaccio. Per la bassa quota a cui si trova tutto il settore vallivo del Miage, senza di essa l'ablazione sarebbe stata tale da non consentire l'esistenza di una lingua con lo sviluppo che è possibile ammirare ancora oggi, anche in tempi non così condizionati dai cambiamenti climatici come quelli odierni. A fronte dell'entità dei ritiri frontali che viene misurata negli ultimi anni per la maggior parte dei ghiacciai dell'Arco Alpino, per il Miage, sotto quell'aspetto la situazione è tutto sommato stazionaria e non registra grandi variazioni. Va però subito chiarito che sarebbe troppo riduttivo basare la valutazione della salute un apparato glaciale di queste dimensioni sul solo parametro dell'arretramento frontale. Ciò che infatti ne rappresenta realmente lo stato di sofferenza è l'ormai sempre più elevata perdita di massa glaciale che si verifica ad ogni stagione estiva.

La mera percezione visiva dell'abbassamento del ghiacciaio rispetto all'altezza delle morene laterali colpisce chiunque abbia avuto modo di frequentar-

lo con una certa regolarità negli ultimi decenni, ma la tecnologia consente di avere un preciso riscontro quantitativo del fenomeno.
Da alcuni anni infatti, il settore frontale del Ghiacciaio del Miage viene monitorato eseguendo una scansione laser da terra che consente di ottenere un modello digitale di estrema precisione dell'area che lo strumento riesce a coprire dalle postazioni in cui viene piazzato. Il confronto tra i dati ottenuti nelle diverse annate consente una valutazione altrettanto precisa dell'entità delle variazioni di spessore del ghiaccio e della loro distribuzione spaziale. L'ampiezza dell'a-

Immagini del Ghiacciaio del Miage guardando verso valle (sopra) e verso monte (sotto) prese dall'elicottero durante il volo aereofotogrammetrico del luglio 2022 finalizzato ad ottenere un modello digitale tridimensionale della superficie del ghiacciaio. All'estremità dell'asta, la fotocamera (foto GeoSitLab – Università di Torino)

I GHIACCIAI DELLE ALPI OCCIDENTALI VALLE D'AOSTA GHIACCIAIO DEL MIAGE

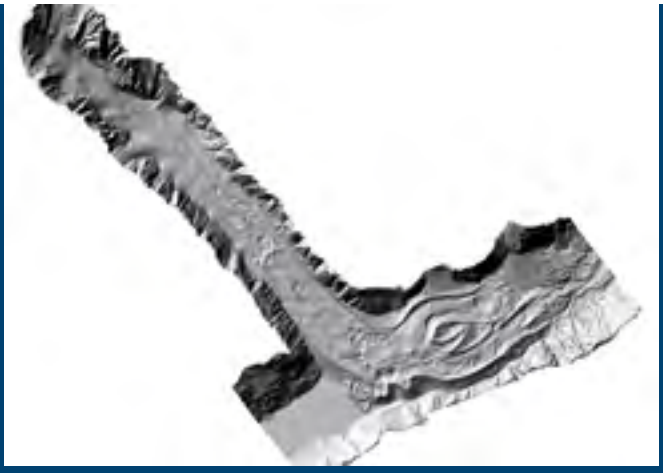


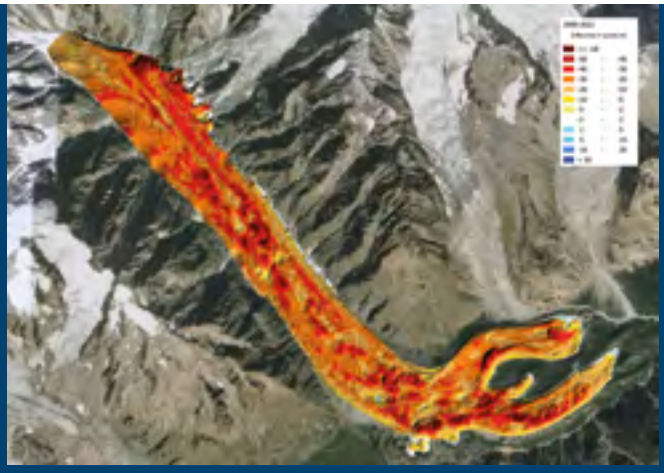
I rilievi topografici del 1958 (sinistra) e del 1957 (destra) che sono stati utilizzati per ottenere il modello digitale della superficie del ghiacciaio a quell'epoca.

rea coperta con l'utilizzo del laser-scanner terrestre è però condizionata della portata del raggio laser generato (che in genere raggiunge distanze che variano da alcune centinaia di metri fino ad un paio di chilometri a seconda della potenza dello strumento) e dalle visuali che è possibile avere senza ricorrere a mezzi aerei. Nel luglio 2022 è stato invece pianificato un rilievo aerofotogrammetrico per l'intera lingua valliva del Ghiacciaio del Miage finalizzato ad ottenere con la tecnica della "Structure for Motion" (tramite la quale si ottengono informazioni tridimensionali da sequenza di immagini bidimensionali) un modello digitale delle superfici sostanzialmente analogo, per risoluzione e precisione, a quello restituito dalla scansione laser. L'interesse dell'operazione risiedeva nella possibilità di confrontare questi dati con quelli disponibili per il 2008 grazie al progetto finanziato dalla Regione Autonoma Valle d'Aosta per l'esecuzione di una scansione laser aerea dell'intero territorio regionale e con quelli risalenti al periodo 1957-1958, ricavati dalla digitalizzazione e interpolazione informatica di accurati rilievi topografici "tradizionali" eseguiti in quegli anni.

I primi risultati sembrano confermare con sorprendente drammaticità, l'accelerazione che i cambiamenti climatici degli ultimi anni hanno impresso

all'involuzione del glacialismo sull'Arco Alpino. Se nel cinquantennio 1958-2008 il Ghiacciaio del Miage risulta aver perso, mediamente, un solo metro di spessore, dal 2008 al presente la mappatura delle perdite di spessore mostra un valore medio di 25 metri con punte fino a 50 metri. Questo comporta che il numero di metri cubi che quantifica la variazione volumetrica in perdita della massa glaciale è aumentato di due ordini grandezza. Infatti, se per il trentennio 1958-2008 la contrazione volumetrica stimata si aggira attorno al milione di metri cubi, negli ultimi quattordici anni risulta aumentata di cento volte (cento milioni di metri cubi di ghiaccio corrispondono a cento miliardi di litri d'acqua rilasciati dal ghiacciaio).



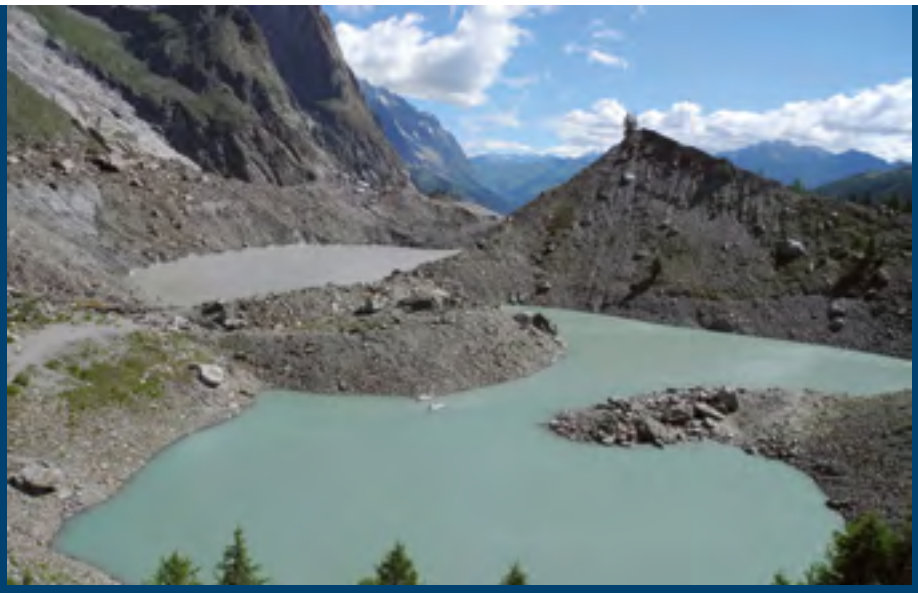


A sinistra, La tecnica della «Structure from Motion» permette di ottenere dall'elaborazio-ne delle riprese del volo fotogrammetrico un modello digitale tridimensionale della superfi-cie del ghiacciaio di grande precisione. A destra, la carta che mostra la distribuzione areale delle perdite di spessore del ghiaccio rispetto al 2008, calcolate in base confronto con un modello digitale corrispondente a quell'anno e realizzato con dati forniti dalla Regione Autonoma Valle d'Aosta. (elaborazioni GeoSitLab—Università di Torino)

LO SVUOTAMENTO DEL LAGO DEL MIAGE

Un altro fenomeno di per sé non certo nuovo per il Ghiacciaio del Miage, ma che sta mostrando un aumento della frequenza con cui si verifica rispetto al passato tale da rendere difficile non pensare ad un'altra delle "accelerazioni" provocate dai cambiamenti climatici, è il periodico svuotamento del lago omonimo. Il Lago del Miage viene definito come "epiglaciale" perché il suo invaso si trova ancora interamente sul settore laterale destro del ghiacciaio, in corrispondenza della curva che questo compie per incanalarsi nella Val Veny. Questo implica che il livello dell'acqua che lo va a riempire per effetto della fusione del ghiaccio e della neve accumulatasi durante l'inverno può dipendere dalle variazioni della permeabilità per fratturazione del suo fondale di ghiaccio. Per quanto questo fenomeno, come già anticipato, sia conosciuto da tempo, non sono ancora sufficientemente chiare le modalità con cui si verifica, Risulta però plausibile ipotizzare che la concomitanza dell'azione di fusione dell'acqua e dei movimenti del ghiacciaio possa creare più o meno rapidamente un collegamento con il reticolo di deflusso presente all'interno del ghiacciaio, con il conseguente svuotamento del lago, lo scorrimento del flusso in profon-

I GHIACCIAI DELLE ALPI OCCIDENTALI VALLE D'AOSTA GHIACCIAIO DEL MIAGE



L'aspetto del Lago del Miage quando è colmo d'acqua (foto di A. Franchino del 12/7/2017) e dopo il periodico fenomeno dello svuotamento (foto S. Perona del 17/07/2022)

dità e la sua fuoriuscita di questo da uno o più punti della fronte. L'evento dell'estate 2022 ha potuto essere collocato con precisione nella notte tra il 2 e il 3 luglio, perché la piena conseguente che si è riversata nella Dora di Veny è stata inequivocabilmente registrata dall'idrogramma della centralina di un piccolo impianto idroelettrico privato. Le tracce di erosione lasciate dalla violenza delle acque e i conseguenti depositi alluvionali sono stati tali da poter essere visibili anche sulle immagini satellitari Sentinel-2 acquisite pochi giorni dopo. In occasione della tappa della Carovana, circa un mese dopo, è stato compiuto anche un sopralluogo in cui sono stati individuati ed ispezionati due dei punti di sbocco.

Quello che si osserva è che questi episodi di svuotamento avvengono sempre più frequentemente, con una cadenza ormai annuale - solitamente nei primi mesi estivi – e talora con una ripetizione nel corso dello stesso anno, a fronte degli intervalli di almeno 2-3 anni che si registravano in passato.

I GHIACCIAI DELLE ALPI OCCIDENTALI VALLE D'AOSTA GHIACCIAIO DEL MIAGE

Confronto tra immagini satellitari Sentinel-2 pri-ma e dopo lo svuotamento del lago. In quella sopra, del 7 luglio 2022 (tre giorni prima dell'e-vento), si nota, in basso a destra, il Lago del Mia-ge pieno d'acqua. In quella sotto, del 13 luglio (tre giorni dopo l'evento) sono evidenziate le conseguenze dello svuotamento. Nel lago sono rimaste solo delle "pozze" molto meno profonde, i due punti bianchi visibili sulla morena sono im-buti di collasso, del diametro di sessantina di me-tri della profondità di una ventina, provocati dalla fuoriuscita delle acque in pressione. Sulla fronte del lobo di destra (Sud) del ghiacciaio, i punti di fuoriuscita del flusso.

Sopralluogo con i geologi per osservare gli effetti della fuoriuscita del flusso provocato dal rapido svotamento del Lago del Miage sui depositi della morena frontale del lobo Sud del ghiacciaio. (foto di S. Perona)

Questa immagine satellitare Sentinel-2 dell'intero bacino del Miage (le condizioni sono quelle del luglio 2022) evidenzia le caratteristiche "himalayane" di questo ghiacciaio.

VALLE D'AOSTA

GHIACCIAIO DEL PRÉ DE BAR

Numero Catasto C.G.I.	235
Tipo Ghiacciaio	Montano
Forma	Circo composito
Alimentazione	Diretta, valanghe
Esposizione	S-SE
Superficie	2,77 km2
Quota max bacino	3819 m.s.l.m
Quota max	3745 m.s.l.m
Quota min	2354 m.s.l.m
Anno di acquisizione	2019
Lunghezza Massima	3160 m
Inclinazione media	12°

Dati riferiti al 2019

Una delle prime testimonianze iconografiche del Ghiacciaio di Pré de Bar risale agli anni venti del XIX secolo, quindi all'epoca della massima espansione raggiunta durante la Piccola Età Glaciale.
Gli albori dell'epopea dell'esplorazione delle vallate alpine da parte dei primi "turisti", prevalentemente inglesi, risalgono a quel periodo. La facile accessibilità a bassa quota della fronte del ghiacciaio, posta proprio sull'itinerario del gettonatissimo "Tour" del Monte Bianco, e l'esemplare peculiarità morfologica della lingua valliva costituivano già allora attrattive di prim'ordine. Una veduta del Pré Bar realizzata da Jean François D'Ostervald trova quindi posto tra le tavole del volume "Voyage pittoresque autour du Mont Blanc" pubblicato da Raoul Rochette nel 1826, se si vuole un'opera antesignana delle moderne guide turistiche. In questa illustrazione artistica la fronte appare pressoché a ridosso dell'alpeggio di Tsa de Jean nei cui pressi si trova attualmente il Rifugio Elena. L'attendibilità della raffigurazione è stata poi confermata dallo studio delle morene. L'intera lunghezza planimetrica superava pertanto i 5 Km. Altre testimonianze dello stato dei ghiacciai della Val Ferret sono fornite dai rilievi cartografici italiani, francesi inglesi e svizzeri tra il 1854 e il 1865. Nella "Carta degli Stati Sardi" (1856) la lingua del Ghiacciaio di Pré de Bar occupa ancora un tratto dell'asse vallivo della Val Ferret e la fronte viene collocata appena a monte dello sbocco del Ghiacciaio del Triolet, quasi arrivando a congiungersi con la lingua di quest'ultimo. Quella che viene ritenuta la prima fotografia del ghiacciaio – eseguita da Alessandro Druetti nel corso di un rilevo topografico – risale invece al 1897
Le ricostruzioni di serie storiche di dati climatici attestano che dopo la seconda metà dell'ottocento le temperature aumentano progressivamente, pur se con ancora alcune inflessioni corrispondenti a periodi più freschi. La lingua valliva del ghiacciaio, trovandosi a bassa quota, ne risente inevitabilmente, anche se nell'ultimo decennio del XIX viene ancora documentata una breve pulsazione. A partire dagli anni trenta del XX secolo sono disponibili le serie

I GHIACCIAI DELLE ALPI OCCIDENTALI VALLE D'AOSTA GHIACCIAIO DEL PRÉ DE BAR

di misurazioni frontali regolarmente effettuate dagli operatori del CGI che documentano la regressione e la contrazione volumetrica del ghiacciaio, ma anche qualche fase di stasi o lieve e momentaneo progresso. La documentazione fotografica dell'Archivio del Comitato Glaciologico Italiano attesta comunque che per tutti gli anni Novanta e ancora nei primi Duemila la lingua valliva, pur se ridimensionata, era ancora ben presente e collegata al suo circo. L'evento più impattante sull'evoluzione del ghiacciaio arriva però 2012: si completa la cesura del ghiaccio in corrispondenza dell'imbuto dove un tempo si formava la seraccata che collegava la "coda di volpe" (traduzione dal patois di Pré de Bar) al suo bacino di alimentazione. Il ghiaccio rimasto a valle viene pertanto definito "morto", proprio perché non può più essere rigenerato dalla "catena del freddo" proveniente da monte ed è pertanto destinato a fondere in breve tempo. L'altra conseguenza è che la posizione della nuova fronte attiva del ghiacciaio subisce un brusco arretramento ed innalzamento di quota diventando inaccessibile e non potendo più essere monitorata con il metodo "classico" della misura della distanza da capisaldi (i cosiddetti "segnali glaciologici") utilizzando la bindella metrica.
Il Pré de Bar viene pertanto attualmente solo osservato.

A sinistra, la rappresentazione pittorica del Ghiacciaio di Pré de Bar realizzata da Jean François D'Ostervald pubblicata come tavola del volume "Voyage pittoresque autour du Mont Blanc" nel 1826. Il livello del ghiacciaio nella raffigurazione, sulla base degli studi sui depositi morenici, risulta verosimile con quello raggiunto al cul-mine dell'espansione della Piccola Età Glaciale (PEG), pochi anni dopo la fine dell'era napoleonica. Gli alpeggi che si vedono in primo piano si trovano all'incirca nella posizione in cui si trova ora il Rifugio Elena. Nella veduta in basso della testata della Val Ferret (la morena visibile sullo sfondo è quella sinistra del Ghiacciaio di Pré de Bar) la linea tratteggiata è indicativa dell'altezza che, sempre tenendo fede al dipinto, il ghiacciaio raggiungeva rispetto al fondovalle attuale.

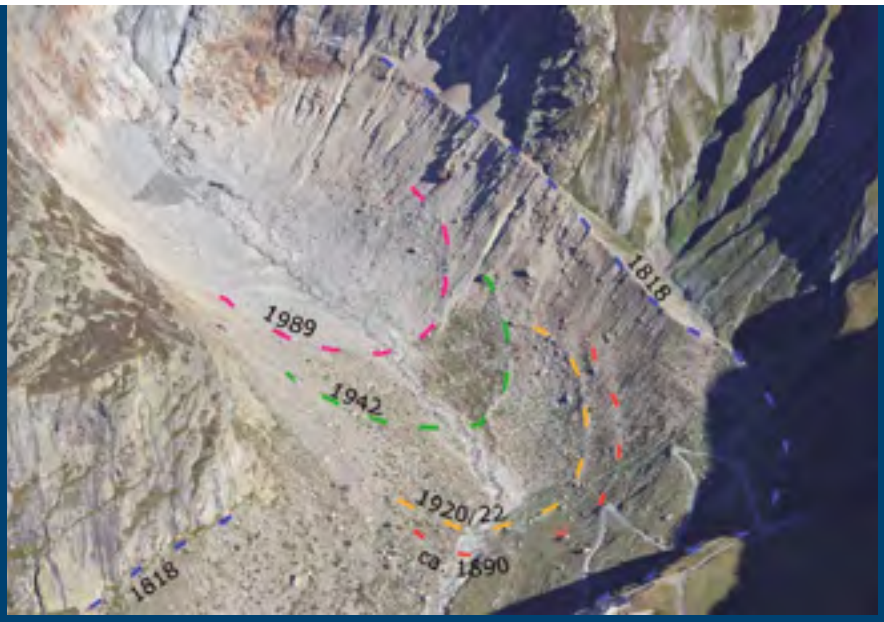
I GHIACCIAI DELLE ALPI OCCIDENTALI

VALLE D'AOSTA GHIACCIAIO DEL PRÉ DE BAR

A sinistra, uno stralcio della "Carta degli Stati Sardi" del 1856 che mostra chiaramente come all'epoca del rilievo il ghiacciaio di Pré de Bar occupasse anche la testata della Val Ferret e la sua lingua si incanalasse nel fondovalle principale fino quasi a raggiungere la lingua del Ghiacciaio del Triolet. A destra, immagine satellitare Sentinel-2 del luglio 2022 su cui sono state evidenziate i limiti delle lingue glaciali attuali. Per il bacino del Triolet (a sinistra), si noti non solo l'arretramento, ma anche la frammentazione che ha subito il ghiacciaio rispetto alla situazione cartografata alla metà dell'Ottocento.

I GHIACCIAI DELLE ALPI OCCIDENTALI VALLE D'AOSTA GHIACCIAIO DEL PRÉ DE BAR

Una delle primissime rappresentazioni fotografiche del Ghiacciaio di Pré de Bar eseguita da A. Druetti nel 1897.



Evidenziazione degli archi morenici lasciati dal Ghiacciaio di Pré de Bar e loro datazione. (fonte: Fondazione Montagna Sicura)

Nella foto a sinistra, la presenza di una lingua valliva con la fronte ancora turgida e il canalone attraverso cui il ghiaccio fluisce dal circo superiore completamente occupato dalla seraccata fanno pensare ad una immagine molto più datata di quanto non sia, complice anche l'effetto del bianco e nero. Risale infatti al 1986 (foto A.V. Cerutti). A destra, una inquadratura simile nell'agosto 2022. (foto S. Perona)

VALLE D'AOSTA

GHIACCIAIO DI INDREN

Numero Catasto C.G.I.	306
Tipo	montano
Forma	pendio
Alimentazione	diretta, valanghe
Esposizione	sud–ovest
Superficie	1 km2
Quota max bacinio	4215 m
Quota max	4100 m
Quota min	3100 m
Lunghezza max	2300 m
Larghezza max	800 m
Inclinazione media	23°
E.L.A.	3350 m
Attività	regresso forte

Dati riferiti al 2005

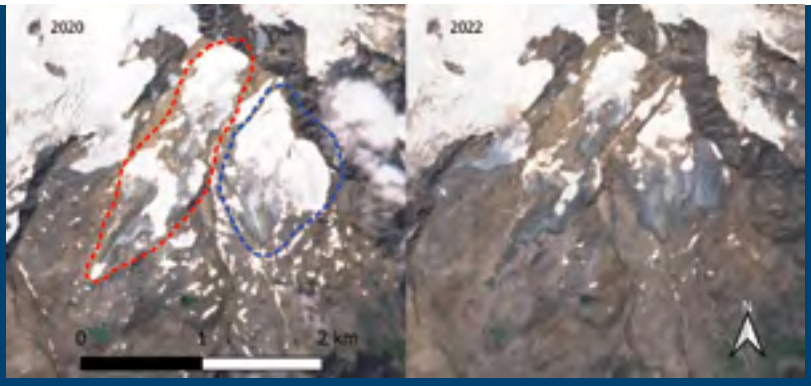
Il Ghiacciaio di Indren porta a considerare che avere un bacino di alimentazione che nella parte più elevata raggiunge i 4000 metri ed una fronte che si trova a 3100 metri di quota sono caratteristiche che possono essere non più sufficienti a preservare un apparato glaciale da una condizione di manifesta sofferenza. Questo ghiacciaio, che si origina dal circo tra la Piramide Vincent e la Punta Giordani e segna il limite tra il settore valdostano e quello valsesiano del Monte Rosa, un tempo si estendeva verso valle con una imponente e vasta lingua glaciale che formava due lobi. La fronte di quello di sinistra, alla metà dell'Ottocento, si trovava 350 metri più in basso come quota e, planimetricamente, un chilometro più in avanti di quella attuale. Il ritiro, che sostanzialmente si è protratto con continuità nei tempi successivi, pur con alcune variazioni della sua velocità, ha interessato maggiormente il settore sinistro, oggi praticamente scomparso, ma anche la lingua di destra, quella che viene ancora monitorata, ha subito non solo un forte arretramento frontale, ma anche una ancor più impressionante contrazione volumetrica che le ha fatto perdere il turgore precedente ed assumere l'aspetto attuale di uno smagrito scivolo di ghiaccio nero sempre più stretto e sempre più ricoperto di detrito. Va ricordato il ghiaccio del settore sinistro, quando era ancora presente, costitutiva la "base fredda" che manteneva l'innevamento sufficiente anche per la pratica dello sci estivo dagli anni Sessanta fino ai primi Duemila. Come già nel 2020, anche questa nuova visita della "Carovana dei Ghiacciai" è avvenuta in concomitanza con il sopralluogo per l'esecuzione delle attività di monitoraggio del Comitato Glaciologico Italiano. L'arretramento misurato della fronte è stato di 40 metri, variazione annuale mai riscontrata prima dagli attuali operatori Paolo Piccini e Tito Princisvalle, che si va peraltro ad aggiungere a quello di 20 metri misurato per l'estate 2021.

LA CAROVANA DEI GHIACCIAI
LEGAMBIENTE
NELL'AMBITO DELLA CAMPAGNA CHANGE CLIMATE CHANGE
CON IL SUPPORTO DEL Comitato Glaciologico Italiano
PARTNER SOSTENITORI SAMMONTANA GELATI ALL'ITALIANA FROSTA
PARTNER TECNICO EPHOTO

I GHIACCIAI DELLE ALPI OCCIDENTALI VALLE D'AOSTA GHIACCIAIO DI INDREN

Il ritiro avvenuto dopo la prima edizione della "Carovana" risulta quindi pari a 60 metri. Si tenga peraltro presente come questo dato, considerabile di per sé già di rilievo (anche se purtroppo non eccezionale) per un ghiacciaio con la fronte a più bassa quota, assuma tutt'altra gravità se si considera che, come già detto, la fronte del Ghiacciaio di Indren si trova abbondantemente al di sopra dei 3000 metri. Poco a monte della traccia di attraversamento del ghiacciaio lungo l'itinerario per raggiungere il rifugio "Città di Mantova" e la "Capanna Gnifetti", a una quota di circa 3200 metri, stanno inoltre diventando sempre più evidenti gli indizi di una prossima cesura della lingua che porterà alla netta separazione della parte a valle dal settore a monte. Quando ciò avverrà, anche il Ghiacciaio di Indren andrà incontro alla stessa rapida evoluzione che, ad esempio, è già avvenuta ed è stata descritta per il Ghiacciaio di Pré de Bar in Val Ferret: un brusco salto all'indietro e verso l'alto della posizione della fronte attiva rispetto a quella attuale e la scomparsa in poco tempo di tutto il ghiaccio rimasto isolato a valle.

Le linee di fronte del Ghiacciaio di Indren nel 1850, 1920, 1950 e 1980. Dalla metà del XIX secolo, la fronte di questo ghiacciaio si è innalza-ta di 350 metri ed è arretrata di un chilometro. (elaborazione grafica di C. Viani)



Le immagini satellitari Sentinel-2 consentono di confrontare la diversità delle condizioni di innevamento dei ghiacciai di Indren (evidenziato in rosso) e di Bors (in blu) a fine agosto 2020 (a sinistra) e a metà luglio 2022. Si consideri che la situazione del 2020, oltre ad essere visibilmente migliore, è più avanti di un mese e mezzo nella stagione estiva rispetto a quella del 2022.

La fronte del Ghiacciaio di Indren nell'agosto 2022. Nel 2020 arrivava ancora a lambire il laghetto proglaciale visibile nella foto. In due anni l'arretramento risulta pari a 60 metri.

I GHIACCIAI DELLE ALPI OCCIDENTALI VALLE D'AOSTA GHIACCIAIO DI INDREN

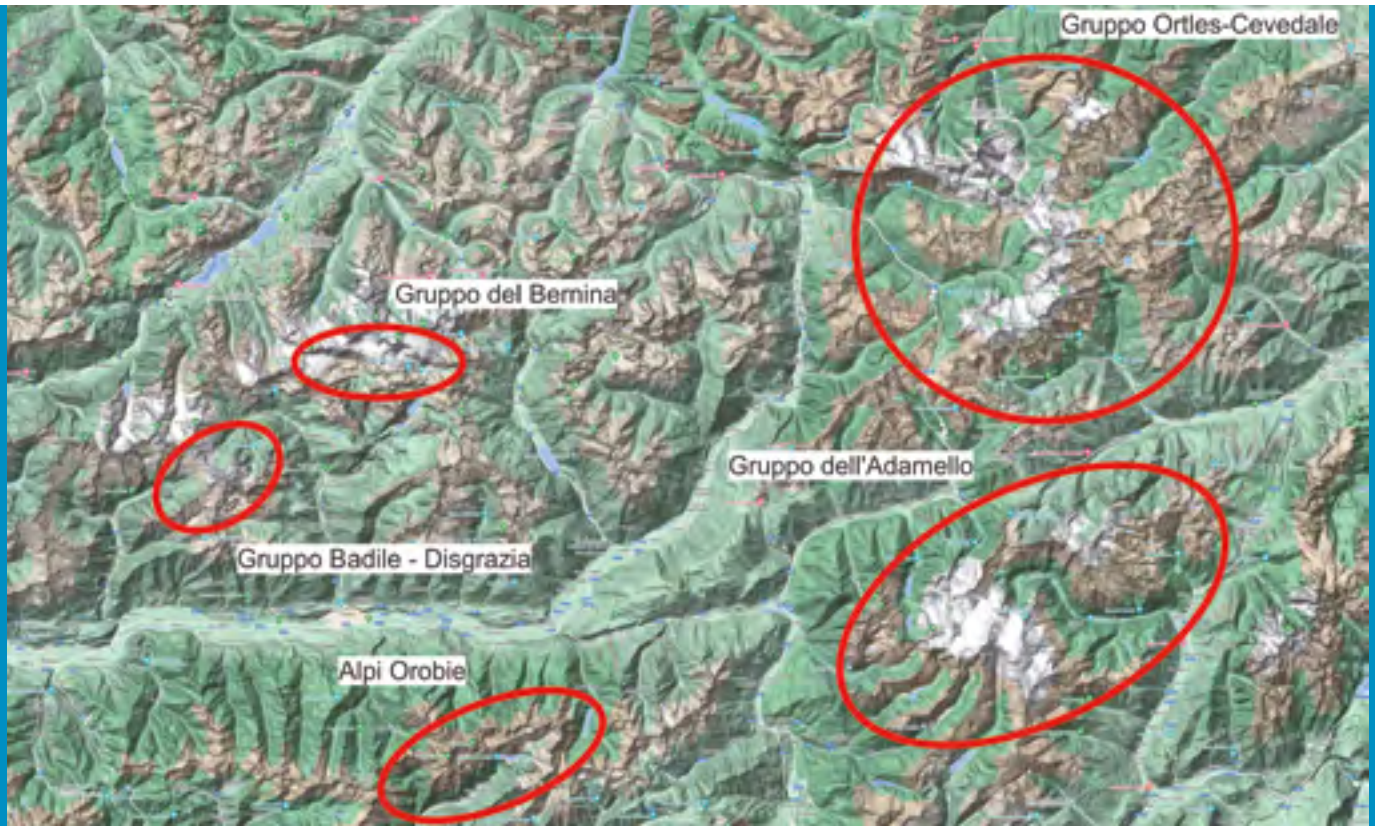
Il settore in cui potrebbe avvenire in tempi brevi la completa cesura del ghiacciaio, subito a monte dell'attraversamento seguito dagli alpinisti che vogliono raggiungere i rifugi "Città di Mantova" e "Capanna Gnifetti". A questo seguirebbe una fusione drasticamente accelerata della metà inferiore, finanche alla sua completa scomparsa

Gli impianti sul Ghiacciaio di Indren, qui in un'immagine pubblicitaria della fine degli anni Sessanta, consentivano anche la pratica dello sci estivo. Sulla cresta a destra, la stazione di arrivo della vecchia funivia che saliva da Alagna. La struttura, per anni in stato di abbandono e degrado, è ora interessata dal progetto di rigenerazione e riqualificazione denominato "RigeneROSA".

I GHIACCIAI DELLE ALPI CENTRALI

Nelle Alpi Centrali, come del resto negli altri due settori, sta diminuendo non solo il numero dei ghiacciai per i quali è possibile eseguire un monitoraggio di tipo quantitativo (misurazione dell'arretramento frontale e/o del bilancio di massa), ma ormai anche quello dei ghiacciai che vengono osservati (per "osservati" s'intende che, pur nell'impossibilità di raccogliere dati numerici, se ne continua a fornire almeno una documentazione fotografica). Questo sicuramente non perché stia venendo meno l'interesse in questa attività o del numero di operatori che la possano portare avanti. Il Servizio Glaciologico Lombardo, l'associazione regionale che da anni collabora con il Comitato Glaciologico Italiano per l'esecuzione delle annuali campagne di monitoraggio dei ghiacciai nei gruppi montuosi del Bernina, del Badile – Disgrazia, dell'Ortles – Cevedale e dell'Adamello, è sempre molto attivo sul territorio e può contare su un adeguato numero di volontari. Le cause sono le stesse già analizzate nel precedente capitoletto tematico "Perché è sempre più difficile misurare i ghiacciai": fronti attive che, soprattutto in seguito a fenomeni di cesura delle lingue glaciali, vanno ricollocate in posizioni non più raggiungibili e coperture di detrito

I GHIACCIAI DELLE ALPI CENTRALI

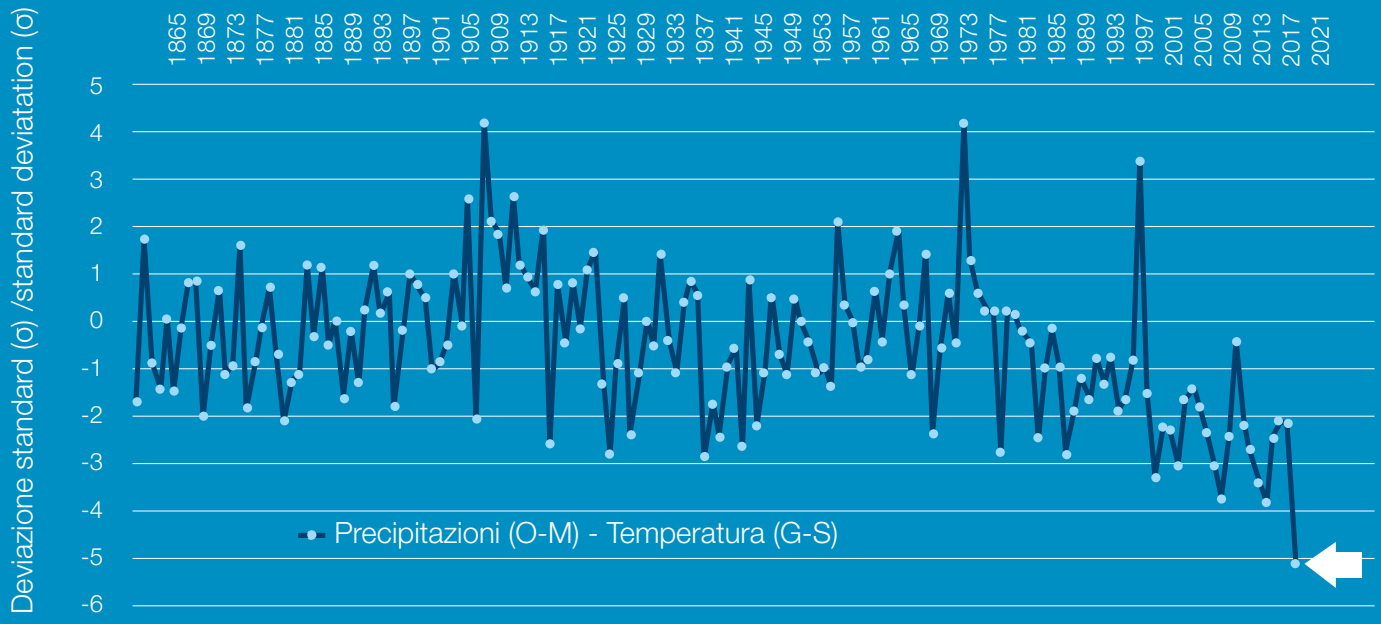


sempre più consistenti che impediscono di individuare con precisione dove terminano effettivamente i ghiacciai. Oppure perché dove un tempo esisteva un ghiacciaio non è più presente nemmeno una placca di glacionevato che valga ancora la pena di tenere sotto osservazione.
Anche per il glacialismo lombardo il significato dell'estate 2022 viene quindi reso in modo molto più esplicito dai risultati dei bilanci di massa, pur se disponibili su un numero ristretto di ghiacciai campione (7) di quanto non sia possibile dedurre da quelli forniti dalle misurazioni lineari dei ritiri, come già detto sempre meno disponibili e attendibili.
La maggior parte dei ghiacciai su cui vengono eseguiti i bilanci si trova nelle Alpi Orobie. Non sono molto estesi arealmente e questo riduce l'inerzia di risposta ai cambiamenti climatici che invece possono avere i ghiacciai più grandi.
Il bilancio negativo del Ghiacciaio del Lupo, nel solo 2022, è stato di 4 metri di equivalente in acqua (ovvero l'altezza della colonna d'acqua per unità di superficie che si otterrebbe dalla fusione del ghiaccio e della neve), pari 60% di quanto perso nell'arco di 12 anni.
La perdita per il Ghiacciaio di Suretta Sud, in prossimità del Passo dello Spluga, è stata invece di "soli" 3 metri di acqua equivalente per l'effetto del detrito superficiale che ha lievemente mitigato la fusione.
Riguardo a questo ghiacciaio, gli operatori glaciologici prevedono di dover porre fine alla serie attualmente ventennale dei bilanci di massa in tempi brevi sia perché la copertura detritica è sempre più estesa e consistente, sia perché l'esecuzione delle operazioni sta diventando sempre più pericolosa a causa dei crolli di massi provenienti dalle pareti circostanti.
Anche il valore di -3,1 metri di acqua equivalente ottenuto per il Ghiacciaio di Campo Nord – Paradisin, sempre nelle Orobie, è più di un metro rispetto al precedente peggior riscontro su un periodo di 10 anni.
Per il Ghiacciaio di Fellaria, (Gruppo del Bernina, Val Malenco) non viene eseguito il bilancio di massa ma viene calcolato l'indice AAR, ovvero il rapporto tra l'area di tutto il ghiacciaio e quella che risulta ancora coperta da innevamento residuo a fine estate. A fronte dei valori sostanzialmente vicini al 50% degli ultimi anni (quindi metà dell'area del ghiacciaio risultava ancora protetta dall'innevamento della precedente stagione invernal) che corrispondevano quantomeno ad una situazione di stazionarietà, nel 2022 l'indice è sceso al 10%. Ecco il commento di Riccardo Scotti, membro della commissione scien-

I GHIACCIAI DELLE ALPI CENTRALI

DATI METEOROLOGICI SILS/MARIA (ENGADINA)

TEMPERATURA GIUGNO-SETTEMBRE E PRECIPITAZIONI OTTOBRE-MAGGIO



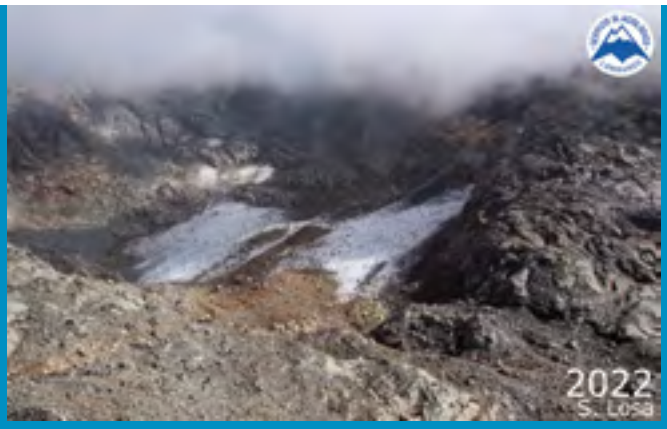
Elaborazione statistica sulla serie di dati meteorologici relativi alle temperature del periodo giugno - settembre e alle precipitazioni tra ottobre e maggio forniti dalla stazione di Sils/Maria in Engadina (Svizzera), a partire dal 1865, validi anche per le montagne lombarde. La deviazione standard risultante per il 2022 rispetto alle 157 annate precedenti non ha bisogno di commenti. (elaborazione statistica di R. Scotti - Servizio Glaciologico Lombardo)

Fonte meteoswiss, elaborazione R. Scotti - SGL

tifica del Servizio Glaciologico Lombardo ed uno dei coordinatori delle attività di monitoraggio:
"Estate eccezionale? Eccezionale? ma se ormai questo aggettivo lo dobbiamo usare un anno sì e l'altro anche? E se poi arriva un'estate peggiore di quest'ultima a breve come la definiamo? Eccezionale al quadrato? Non è facile trovare gli aggettivi giusti per descrivere cos'è successo negli ultimi 4 mesi sui ghiacciai lombardi, italiani, alpini. È pur vero che in un regime climatico caratterizzato da temperature in aumento i record si battono più facilmente, ma l'anno idrologico 2022-2023 è stato qualcosa di più, qualcosa di talmente anomalo da costringerci ad aggiornare tutte le scale grafiche per i nostri bilanci di massa, qualcosa che speravamo non potesse arrivare così presto e con questa forza. Tutte le previsioni fatte a giugno, quando avevamo registrato un deficit del 70% di innevamento, sono state confermate e aggravate dalle temperature tropicali che hanno imperversato da maggio ad agosto."
Infine, tra i sempre più frequenti fenomeni di collasso delle fronti per effetto dell'azione di sottoescavazione dei torrenti endoglaciali spicca quello del Ghiacciaio del Ventina nel Gruppo del Monte Disgrazia, un tempo magnifico esempio di ghiacciaio vallivo, che in un anno ha perso 200 metri della sua lingua.

I GHIACCIAI DELLE ALPI CENTRALI

Il Ghiacciaio del Lupo (Alpi Orobie), uno dei siti per cui il bilancio di massa 2022 eseguito dal Servizio Glaciologico Lombardo è risultato tra i più negativi in assoluto. (foto di Riccardo Scotti)



Il Ghiacciaio di Suretta Meridionale, nei pressi del Passo dello Spluga. Gli operatori del Servizio Glaciologico Lombardo prevedono di dover interrompere la serie dei bilanci di massa, attualmente ven-tennale, per il progressivo aumento della copertura detritica e per il pericolo oggettivo rappresentato dai sempre più frequenti crolli di roccia dalle pareti circostanti. (foto di S. Losa, 2022)

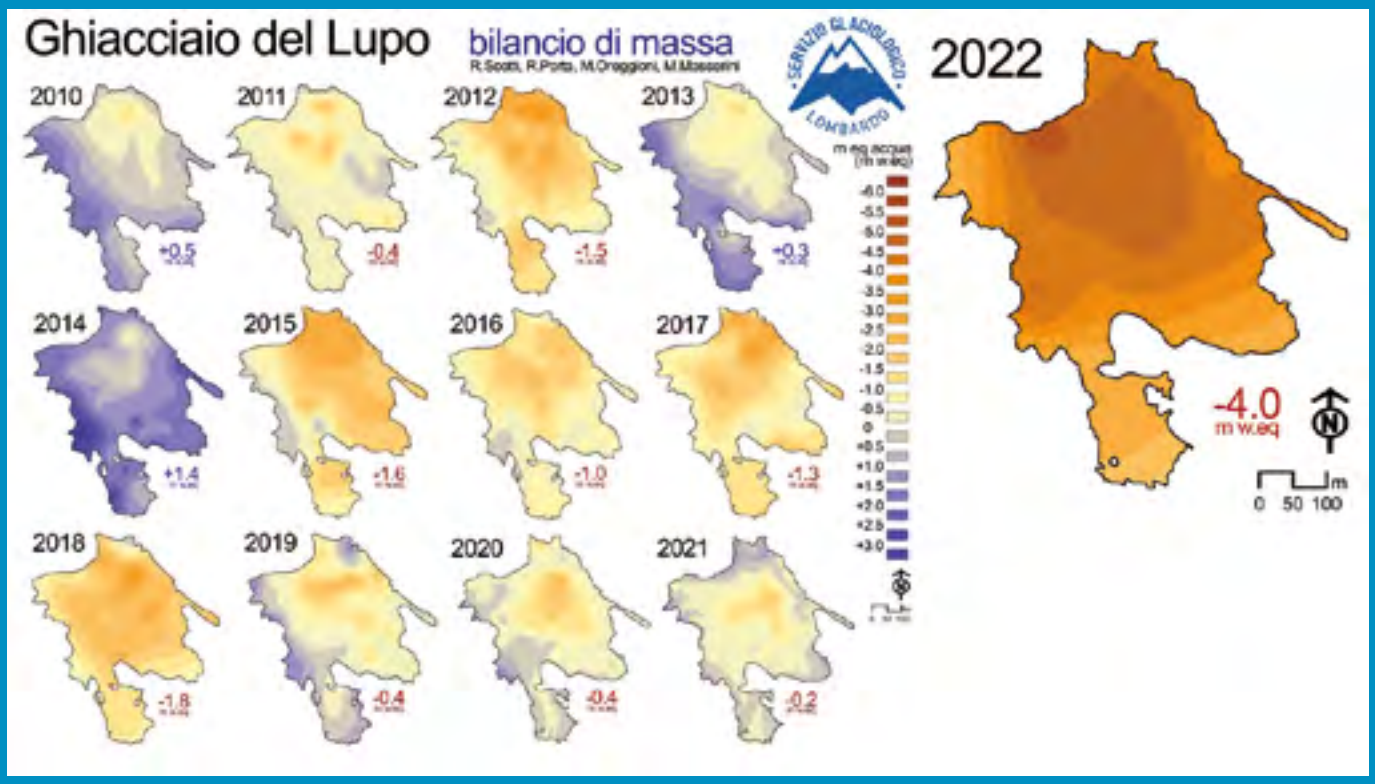
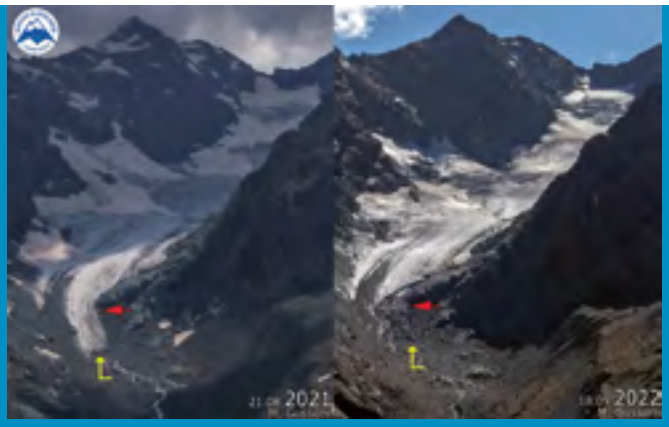


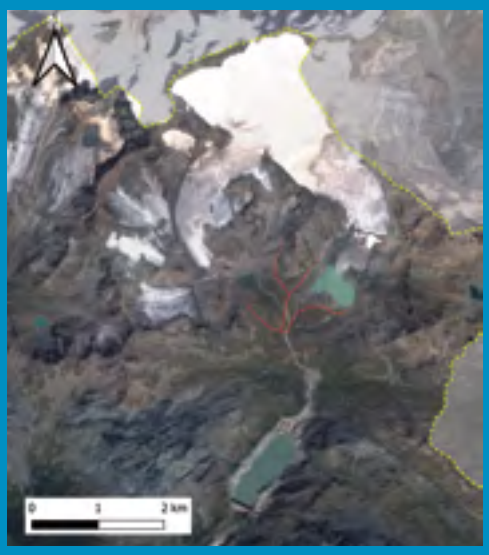
Illustrazione grafica della serie di bilanci di massa per il Ghiacciaio del Lupo (Alpi Orobie, Valtellina). La perdita di ghiaccio in termini di acqua equivalente per il 2022 risulta essere oltre il doppio del peggior risultato precedente, quello del 2018. Elaborazione curata dal Servizio Glaciologico Lombardo.

I GHIACCIAI DELLE ALPI CENTRALI



Collasso e fusione pressoché completa di circa 200 metri di lingua del Ghiacciaio del Ventina nel Gruppo del Monte Disgrazia (Val Malenco, Sondrio), da un anno all'altro, per effetto della sottoescavazione delle acque di fusione. (foto di M. Gussoni)

Il Ghiacciaio di Fellaria (Gruppo del Bernina, Valmalenco, Sondrio) nel 1907. (fotografia di A. Corti)



A destra, il Ghiacciaio di Fellaria in una immagine satellitare Sentinel 2 dell'agosto 2022. Le linee rosse rappresentano la posizione delle due lingue provenienti dai rispettivi bacini principali (quello occidentale a sinistra e quello orientale a destra) mostrata nell'immagine storica del 1907. La linea tratteggiata gialla è invece il confine con la Svizzera.
Qui sopra, il tratto di lingua del Ghiacciaio di Fellaria Orientale che in seguito ad un fenomeno di cesura è rimasta completamente separata dal suo bacino di alimentazione, nel suo processo di fusione ha formato un lago che, dopo quindici anni, risulta essere in Lombardia quello naturale arealmente più vasto subito dopo il Lago di Como. (fotografia di A. Scotti, 2022)

LOMBARDIA

GHIACCIAIO DEI FORNI

Numero Catasto C.G.I.	507.1
Tipo Ghiacciaio	vallivo
Forma	bacino composito
Alimentazione	diretta, valanghe
Esposizione	nord
Superficie	10.71 km
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

Dati riferiti al 2015

Il glaciologo Claudio Smiraglia racconta che quando era ancora docente di Geomorfologia e Geografia Fisica all'Università Statale di Milano (in tempi non molto addietro a questa edizione della "Carovana dei Ghiacciai), gli capitava di chiedere agli studenti dove si trovasse il Ghiacciaio dei Forni. Alla risposta "in Valtellina!", fornita da chi non era a conoscenza del tranello, opponeva subito una secca smentita, per poi dichiarare solennemente, tra lo stupore generale: "il Ghiacciaio dei Forni non esiste più!". Quello che Smiraglia intendeva non era che fosse ormai da ritenere completamente estinto, ma invece che dal 2016 non potesse più essere considerato come quell'unico grande apparato glaciale descritto nell'edizione del Catasto dei Ghiacciai Italiani dei primi anni Sessanta (tra le pietre miliari delle pubblicazioni del Comitato Glaciologico Italiano) e che ne faceva il secondo ghiacciaio italiano per estensione dopo quello dell'Adamello ed il primo ghiacciaio di tipo vallivo davanti a quello del Miage.

Le recenti immagini satellitari Sentinel-2 mettono infatti bene in evidenza che per quanto si continui ad usare un unico toponimo per le masse glaciali che ancora ricoprono la testata della Valle dei Forni, in Alta Valfurva, queste formano tre corpi separati: uno centrale, uno occidentale sulla sinistra orografica e uno orientale a destra. Sempre dalle immagini satellitari risulta che quella che viene considerata la fronte attuale del ghiacciaio è in realtà formata dalla confluenza della lingua proveniente dal settore destro-orientale, che però ha completamente perso l'originaria connessione con il suo circo (la seraccata con cui scendeva verso valle ha lasciato il posto ad un alto gradino roccioso) e quella del settore centrale, ancora direttamente alimentata dal suo bacino. La fronte del corpo sinistro-occidentale si trova invece in posizione più arretrata e a quota più elevata. Per inciso, si consideri che nell'ambito di una prossima operazione di aggiornamento del catasto dei ghiacciai italiani il fenomeno della frammentazione, ormai diffuso

LA CAROVANA DEI GHIACCIAI
LEGAMBIENTE
NELL'AMBITO DELLA CAMPAGNA CHANGE CLIMATE CHANGE
CON IL SUPPORTO DEL Comitato Glaciologico Italiano
PARTNER SOSTENITORI SAMMONTANA GELATI ALL'ITALIANA FROSTA
PARTNER TECNICO EPHOTO

I GHIACCIAI DELLE ALPI CENTRALI LOMBARDIA GHIACCIAIO DEI FORNI

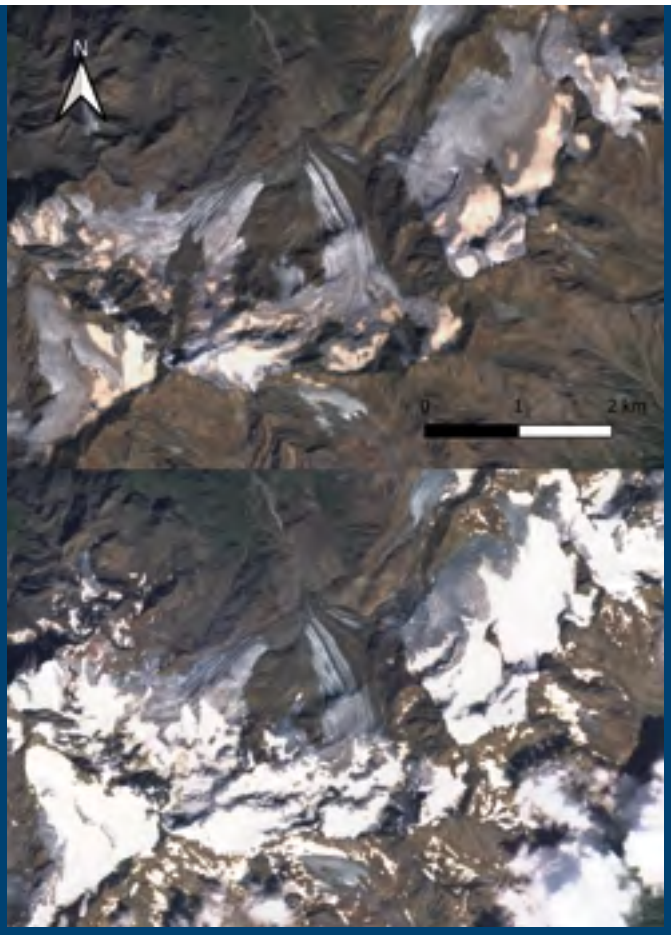
Veduta della Valle dei Forni dai pressi del Rifugio dei Forni nel 1928 (foto di A. Desio) e nel 2020 (foto di S. Perona). Gli asterischi indicano la sommità dello stesso dosso roccioso. La fronte attuale del ghiacciaio non è visibile nella foto recente in quanto si trova in una posizione arretrata di quasi tre chilometri.

sull'intero Arco Alpino, porterebbe sicuramente al paradossale risultato di un incremento dei corpi glaciali inventariati. Ma sarebbe assurdo pensare che questo riscontro sia allora in controtendenza rispetto alle drammatiche previsioni attuali sull'evoluzione del glacialismo alpino. Un'altra questione che si sta ponendo in questo contesto riguarda la necessita di ridefinire la toponomastica di queste "parti smembrate" e l'uniformità dei criteri con cui farlo.

Il Ghiacciaio dei Forni era anche famoso per la sua maestosa lingua valliva, la cui fronte, ancora agli inizi del Novecento, si trovava in corrispondenza dell'attuale piccola diga di sbarramento del Torrente Fredolfo che si raggiunge in pochi minuti a piedi dal parcheggio dell'Albergo dei Forni. L'arretramento da allora è stato di quasi tre chilometri (2800 metri per l'esattezza), ed è tuttora in corso con valori che si mantengono sui 20/30 metri all'anno (400 metri persi negli ultimi dieci anni).

Il settore frontale della lingua attuale sta inoltre mostrando evidenti segni di collasso che si propagano verso monte per almeno 160 metri. Sono infatti pre-

I GHIACCIAI DELLE ALPI CENTRALI LOMBARDIA GHIACCIAIO DEI FORNI

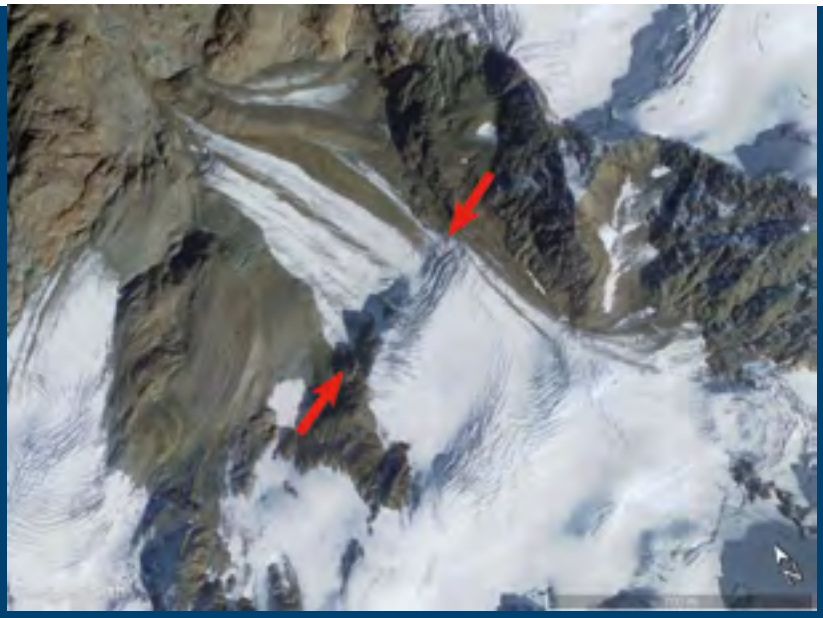


Confronto tra una immagine Sentinel-2 del 24 agosto 2022 (in alto) ed una del 21 agosto 2020 (in basso). Si noti la differenza tra innevamento in quota presente nel 2020 e quello del 2022 condizionato dalle scarse precipitazioni invernali e dalle intense ondate di calore estive. Le stesse immagini permettono di considerare che il grandioso bacino che un tempo generava una lingua valliva che ai primi del Novecento arrivava quasi all'attuale parcheggio dei Forni risulta ora suddiviso in tre corpi distinti.

Sinistra e destra, il settore frontale della lingua del Ghiacciaio dei Forni è interessato da fenomeni di collasso che contribuiscono ad accelerarne l'arretramento. (immagine Google Earth del settembre 2021 e foto di S. Perona dell'agosto 2022)

I GHIACCIAI DELLE ALPI CENTRALI LOMBARDIA GHIACCIAIO DEI FORNI

senti fratture irregolari,sistemi di crepacci trasversali e circolari nonché alcuni “sinkholes”, ovvero calderoni glaciali che si formano in seguito a fenomeni di sprofondamento localizzato.
Le finestre di roccia che si sono aperte negli ultimi anni in corrispondenza del primo gradino che il ghiacciaio (del corpo centrale) compie a monte di questo tratto terminale della lingua sono inoltre in via di espansione e fanno presagire la possibilità che nei prossimi anni si verifichi una cesura totale. In questo caso la posizione della fronte attiva arretrerebbe di quasi un chilometro rispetto a quella attuale.



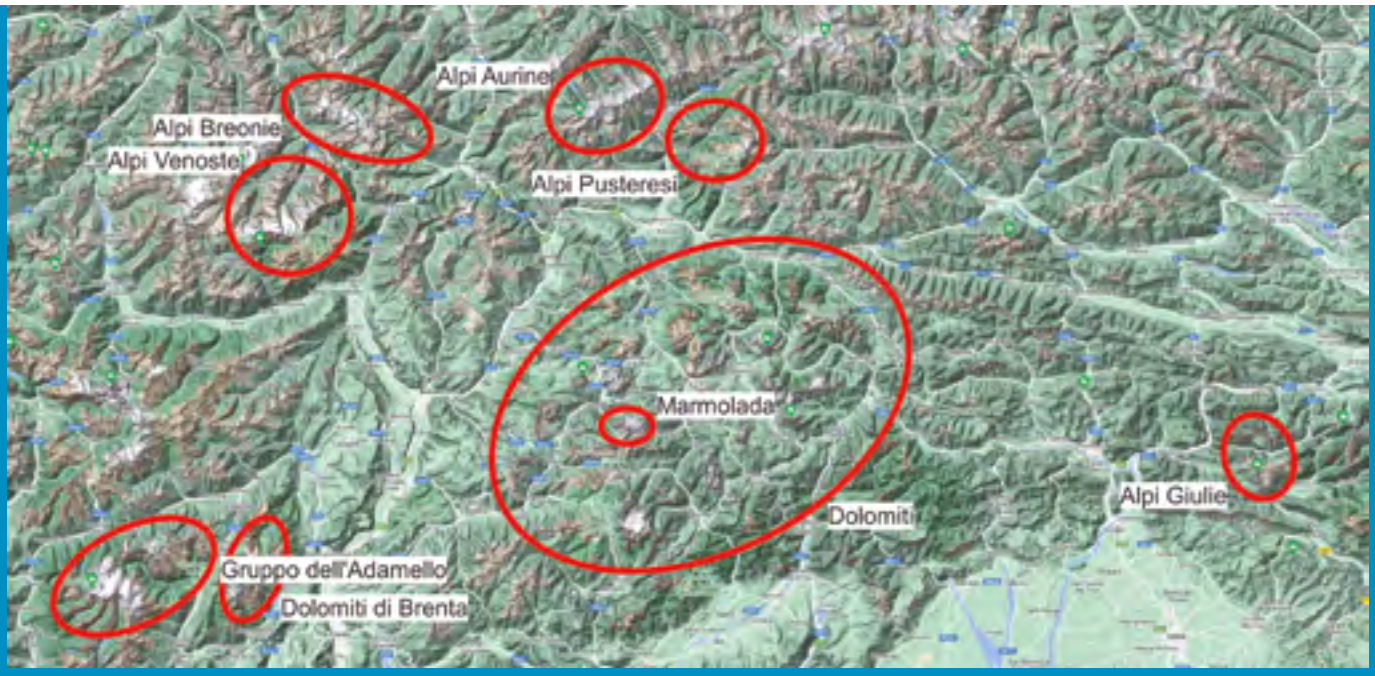
Sopra e sotto, il punto per cui si può prospettare che l’ampliamento delle finestre in roccia conduca in pochi anni alla completa separazione del tratto di lingua a valle dal suo bacino di alimentazione. In questo caso la posizione della nuova fronte attiva del ghiacciaio risulterebbe arretrata di quasi un chilometro rispetto a quella attuale in quanto la massa di ghiaccio rimasta isolata non verrebbe più considerata come rispondente alla dinamica del ghiacciaio. (immagine Google Earth del settembre 2021 e foto di S. Perona dell’agosto 2022)

I GHIACCIAI DELLE ALPI ORIENTALI

I ghiacciai del settore orientale dell'Arco Alpino che vengono monitorati sono circa una quarantina, distribuiti tra i versanti trentini dei gruppi dell'Adamello e dell'Ortles-Cevedale, l'Alto Adige, Dolomiti e Alpi Giulie. Le campagne vengono condotte grazie alla sinergia tra operatori del CGI, del Servizio Glaciologico del CAI Alto Adige (con il supporto della Provincia Autonoma di Bolzano) e quelli della Società degli Alpinisti Tridentini.

I risultati preliminari dell'estate 2022 si allineano per drammatica negatività a quelli degli altri due settori dell'Arco Alpino. Anche a Nord-Est l'eccezionale combinazione tra la scarsità dell'innevamento residuo tardo-primaverile (valutato del 50% in meno rispetto al 2021) e le ondate di calore estive, con la permanenza per lunghi periodi dello zero termico a quote anche ben superiori ai 4000 metri, non ha potuto che avere pesanti ripercussioni sui ghiacciai, con arretramenti delle fronti generalizzati, aumento della copertura detritica, frammentazioni e crolli di ghiaccio. Ecco alcune delle situazioni più significative. In Val di Pejo (Trentino), il Ghiacciaio del Careser, che nella prima metà del secolo scorso si presentava come un unico, grande ghiacciaio che generava una lingua valliva, ancora al 2015 risultava frammentato in cinque parti, la più grande di poco superiore

I GHIACCIAI DELLE ALPI ORIENTALI



al chilometro quadro e le altre molto più ridotte. Le immagini Sentinel-2 dell'estate 2022 mostrano che attualmente permane solamente la maggiore, le altre o sono scomparse o si sono ridotte in placche di pochissimi ettari. Rispetto all'area che veniva indicata sul Catasto dei Ghiacciai Italiani del CGI pubblicato alla fine degli anni Cinquanta, quella attuale risulta ridotta dell'86%. L'incremento delle acque provenienti dalla fusione di quello che rimane del ghiacciaio ha paradossalmente consentito che il bacino artificiale del Careser fosse in grado di sostenere senza grossi problemi, anche in un periodo così siccitoso come quello che ha caratterizzato il 2022, il fabbisogno idrico delle coltivazioni intensive della Val di Non (in particolare le famose mele). Risulta però evidente che questa temporanea e apparentemente "felice" abbondanza di acqua dipende dalla velocità con cui si sta esaurendo una risorsa che non potrà più essere rinnovata e, in realtà, prelude ad una situazione che diventerà sempre più complicata per quella che è una delle principali risorse dell'economia locale per un futuro che non si prospetta lontano.

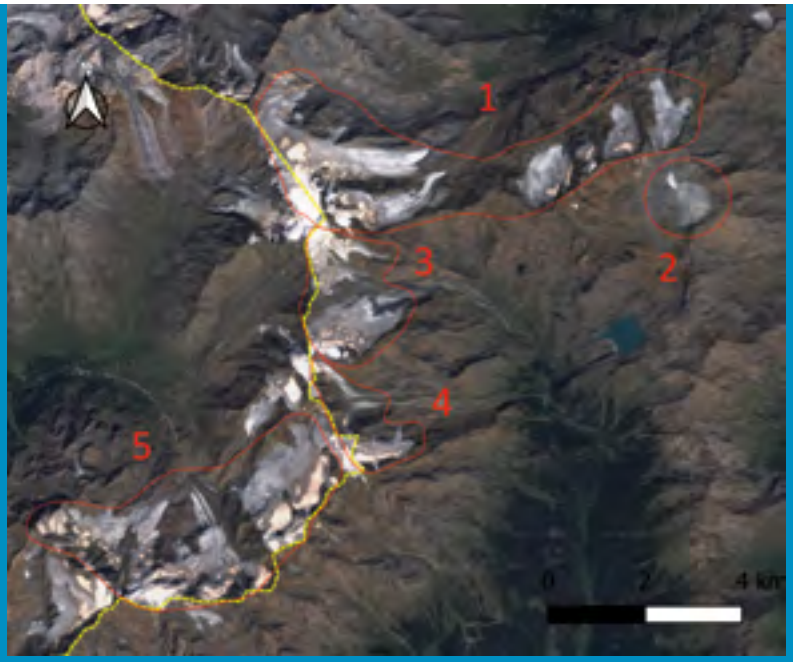
La Vedretta de la Mare, il ghiacciaio "dirimpettaio" di quello del Careser rispetto all'asse vallivo della Val Venezia, risulta anch'esso suddiviso in due corpi principali, uno meridionale ed uno settentrionale, che occupano i settori superiori del grande, unico bacino glaciale originario da cui, nel secolo scorso, scendeva nella valle sottostante una lingua ancora più estesa ed imponente di quella del Careser. Nell'estate 2022 si è completata la cesura di una propaggine frontale del corpo meridionale con il conseguente arretramento della posizione della fronte attiva del ghiacciaio di quasi un chilometro ed un innalzamento di quota di 250 metri da un anno all'altro. Si ricorda che, in seguito al verificarsi di fenomeni di questo tipo, il limite inferiore della massa di ghiaccio che rimane isolata a valle non può più essere considerato come la "vera" fronte del ghiacciaio.

Analoga sorte ha subito il Ghiacciaio di Lares, sul versante trentino del Gruppo dell'Adamello. La sua lingua, che termina dentro un lago proglaciale, è caratterizzata della presenza di spettacolari strutture circolari di sprofondamento che ampliandosi e intercettandosi reciprocamente provocano una disgregazione accelerata della sezione frontale. Qui la nuova posizione della fronte attiva si trova arretrata di 600 metri rispetto a quella del 2021.

Sempre le immagini satellitari Sentinel-2 mostrano come Il Ghiacciaio dell'Adamello (il cui monitoraggio viene condotto dagli operatori della SAT in collaborazione con quelli del Servizio Glaciologico Lombardo) nell'agosto 2022 si presenti completamente privo di neve residua anche a quote attorno ai 3500 metri. Il Ghiacciaio del Mandrone, che è il nome con cui viene indicata una delle due lingue che dalla calotta sommitale del Ghiacciaio dell'Adamello scendono (o piuttosto scendevano) in Val di Genova – l'al-

I GHIACCIAI DELLE ALPI ORIENTALI

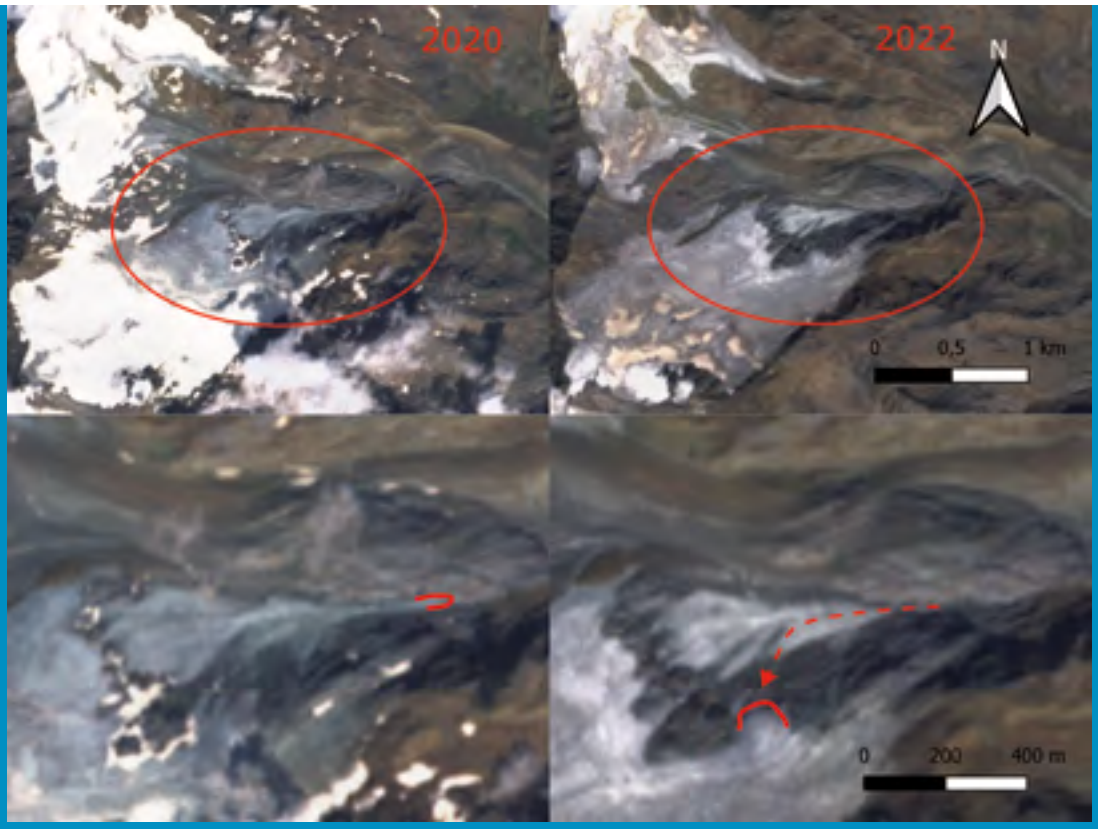
tra è Ghiacciaio della Lobbia - oltre a manifestare sprofondamenti di ghiaccio circolari come quelli del Ghiacciaio di Lares, ha perso 139 metri di lingua in un anno per la sola fusione del ghiaccio. Non si tratta quindi di una regressione come quelle determinate dai fenomeni di cesura delle lingue glaciali precedentemente segnalati, che fanno ricollocare molto più indietro e in quota la posizione della nuova fronte attiva del ghiacciaio ma possono ancora lasciare a valle delle masse di ghiaccio anche di grandi dimensioni e in grado di sopravvivere ancora per qualche tempo, pur essendo ormai completamente avulse dalle dinamiche del corpo principale da cui si sono separate. In questo caso l'arretramento è conseguente alla sola contrazione volumetrica per fusione del ghiacciaio, a riprova dell'eccezionalità delle ondate di calore che quest'ultimo ha dovuto subire.



I Ghiacciai del Gruppo Ortles - Cevedale al confine tra Lombar-dia e Trentino - Alto Adige.
1) Ghiacciai della Val Martello. In Val Venezia (alta Val di Pejo):
2) Ghiacciaio del Careser;
3) Vedretta de La Mare;
4) Vedretta Rossa.
In basso a sinistra: 5) Ghiacciaio dei Forni.

A destra, il Ghiacciaio del Careser in una veduta panoramica del 1933 (autore ignoto) e, nell'immagine satellitare Sentinel-2 dell'agosto 2022, quello che ne rimane. La linea tratteggiata gialla rappresenta la perimetrazione dell'area del ghiacciaio corrispondente a quella della foto storica. In basso al centro il bacino artificiale del Careser. A Nord-Nordovest del Careser, sul versante della Val Martello e da sinistra a destra, la Vedretta Alta e i tre corpi in cui è suddiviso il Ghiacciaio di Serana.

I GHIACCIAI DELLE ALPI ORIENTALI



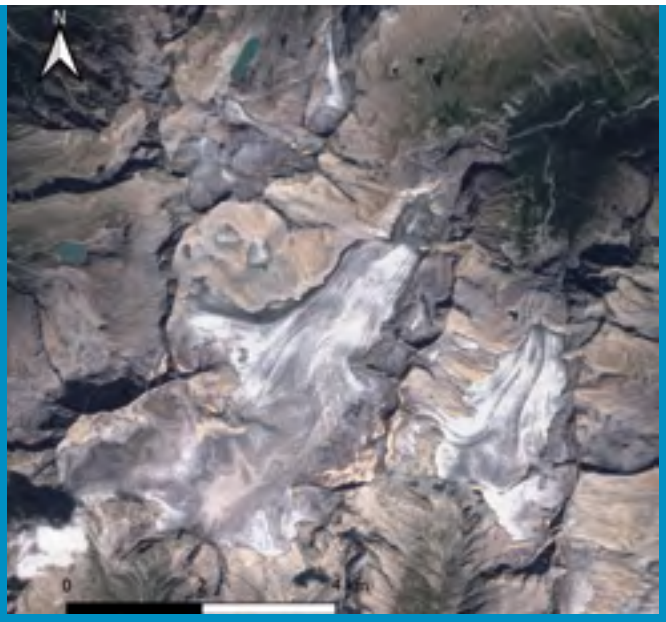
Nel Ghiacciaio della Mare è avvenuto uno dei più notevoli casi di frammentazione del 2022. A sinistra la situazione del 2020. A destra (estate 2022), la placca rimasta isolata a valle va ormai considerata come costituita da "ghiaccio morto" ed è destinata a rapida e completa fusione. La nuova fronte attiva (o meglio la propaggine del margine glaciale che si può identificare con essa) risulta così arretrata di quasi un chilometri ed innalzata di 250 metri di quota. Si noti, fra l'altro, la differenza di innevamento residuale tra il 2020 e il 2022 per il mese di agosto. (Immagini satellitati Sentinel-2)

La fronte del Ghiacciaio del Mandrone, una delle lingue che si generano dalla calotta del Ghiacciaio dell'Adamello e scendono verso la Val di Genova. Si possono osservare sprofondamenti circolari causati dal flusso delle acque di fusione all'interno del ghiacciaio e la presenza di un lago proglaciale. Rispetto al 2021 l'arretramento è di 120 metri, unicamente dovuto alla fusione del corpo glaciale e non per un fenomeno di frammentazione. (foto da drone di C. Ferrari - Società Alpinisti Tridentini)

Anche per il Ghiacciaio di Lares (versante Trentino del Gruppo dell'Adamello) numerosi sprofondamenti circolari - ben visibile al loro interno la presenza di acqua - ed un lago proglaciale in via di ampliamento con il ritiro della fronte. (foto da drone di C. Ferrari - Società Alpinisti Tridentini)

I GHIACCIAI DELLE ALPI ORIENTALI

Gli operatori servizio Glaciologico del CAI Alto Adige (SGAA) osservano mediamente una ventina di ghiacciai altoatesini sparsi tra il gruppo dell'Ortles Cevedale (essenzialmente i ghiacciai della Val Martello), le Alpi Aurine, Venoste e Pusteresi.
Tutte le relazioni già pervenute per la campagna glaciologica 2022 descrivono invariabilmente fenomeni sintomatici di un intenso stato di sofferenza glaciale: ghiacciai anneriti e con aumento della copertura detritica, crolli di ghiaccio e roccia, arretramenti frontali con valori che sebbene non sembrino sempre catastrofici, non riescono a rendere l'idea delle contrazioni volumetriche e delle perdite di spessore riscontrate visivamente.
In Val Ridanna (Vipiteno) il Comitato Glaciologico Italiano, in collaborazione con l'Ufficio Idrografico della Provincia autonoma di Bolzano, esegue da una trentina d'anni i bilanci di massa dei ghiacciai di Malavalle e della Vedretta Pendente. Le perdite di spessore di ghiaccio subite nel corso dell'estate 2020 oscillano tra i 4 e i 6 metri a quote vicine ai 3000 metri, risultati purtroppo perfettamente in linea con quelli degli alti due settori
Le Alpi Giulie, dove vengono considerati come "veri" ghiacciai solamente più il Ghiacciaio del Montasio e quello di Conca Prevala (Monte Canin), negli ultimi anni si erano se non altro distinte per l'abbondanza delle precipitazioni solide invernali dovute alle particolari condizioni climatiche, ma il 2022 ha colpito anche in quest'area facendo registrare una sensibile riduzione della quantità di neve residua ancora presente all'inizio della stagione estiva.



In questa immagine satellitare Sentinel-2 di fine agosto 2022 i ghiacciai (da destra verso sinistra) della Lobbia, del Mandrone e del Pisgana nel Gruppo dell'Adamello con scarsissima o nulla copertura di neve residua anche a quote prossime ai 3500 metri.

Il Ghiacciaio di Malavalle in Val Ridanna (Vipiteno). Su questo e sulla vicina Vedretta Pendente il Comitato Glaciologico Italiano, in collaborazione con l'Ufficio Idrografico della Provincia Autonoma di Bolzano esegue i bilanci di massa da circa una trentina di anni. Confronto fotografico 2006 (foto M. Kuhn) - 2022 (Ufficio Idrologia e Dighe - Provincia Autonoma di Bolzano)

VENETO - TRENTINO

GHIACCIAIO DELLA MARMOLADA

Numero Catasto C.G.I.	941
Tipo	Montano
Forma	Pendio
Alimentazione	Diretta, valanghe
Esposizione	Nord-nord-est
Superficie	0.57 Km2
Quota max bacino	3343 m
Quota max	3240 m
Quota min	2650 m (Fonte orientale)
Lunghezza max	950 m
Larghezza max	2000 m
Inclinazione media	25°
Attività	Regresso forte

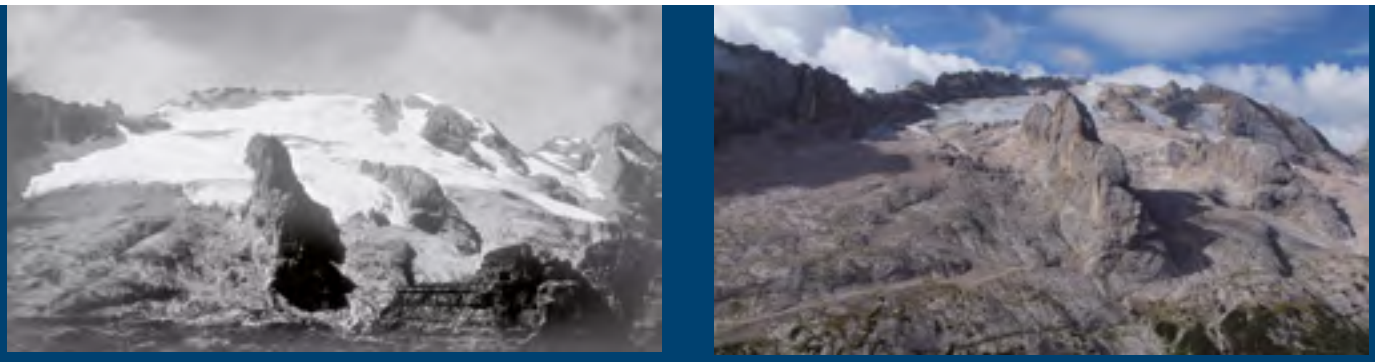
Dati riferiti al 2019

La totale interdizione di accesso del versante Nord della Marmolada per motivi di sicurezza in seguito al crollo di ghiaccio del 3 luglio 2022 non ha più consentito alla "Carovana" di raggiungere i margini dei ghiacciai accompagnando gli operatori glaciologici durante l'esecuzione dei monitoraggi come era stato possibile nel 2020, ma ha creato l'occasione per percorrere il sentiero balcone che collega il Rifugio Padon Con il Rifugio Gorza, sul versante opposto rispetto al Passo Fedaia.
Per quanto il panorama rimanga magnifico, i corpi glaciali ancora presenti sono solo brandelli del manto che ornava la Regina delle Dolomiti un centinaio di anni fa, ridottosi attualmente di più del 70% in superficie e di oltre il 90% in volume rispetto ad allora.
Il ritiro ha mostrato una progressiva accelerazione, tanto che negli ultimi 40 anni la sola fronte centrale è arretrata di più di 600 m risalendo allo stesso tempo in quota di circa 250 m.

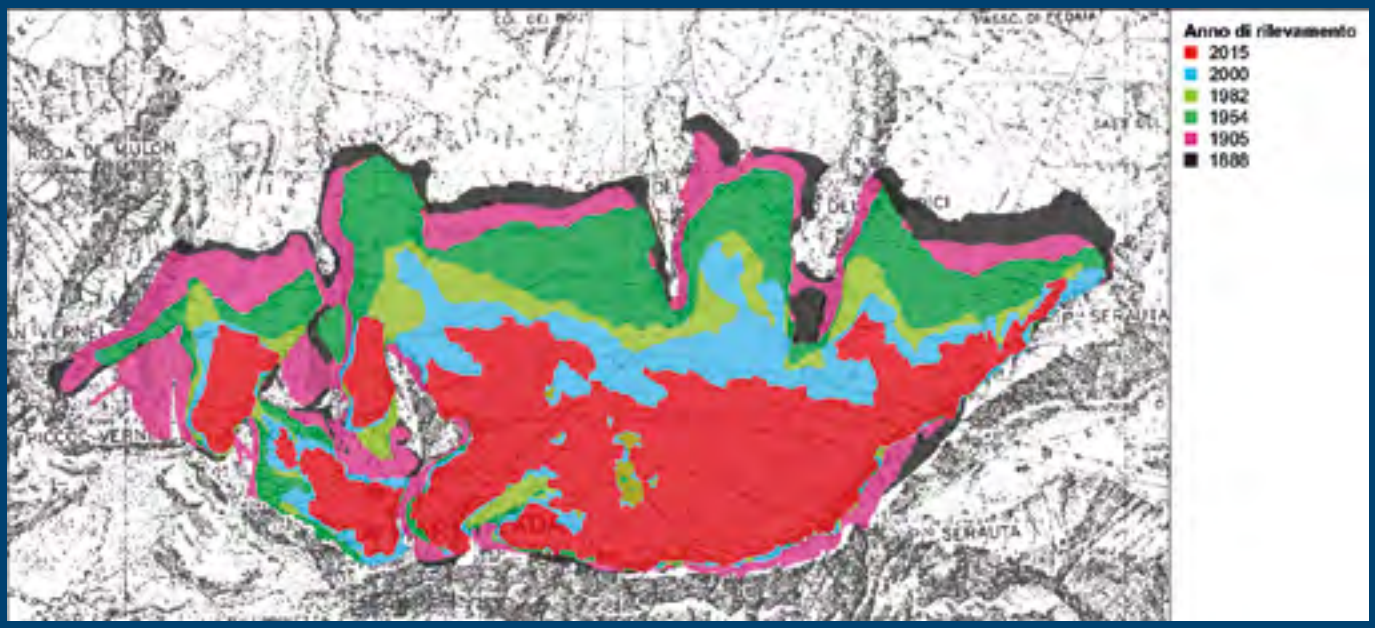
La velocità di ritiro media è stata di

- 0,5 m/a 1902-1906
- 5 m/a 1925-1938
- 8,4 m/a 1951-1966
- 10,3 m/a 1971-2015

Tra le principali cause vi è certamente l'aumento della temperatura ed in particolare, nella zona della Marmolada, della temperatura minima invernale che nel corso di 35 anni di osservazioni è aumentata di circa 1,5 gradi.
La riduzione delle aree glacializzate sul versante settentrionale Marmolada sta avendo conseguenze anche per l'industria dello sci. Per evitare che con il ritiro del ghiacciaio il pendio assuma un profilo tale



Confronto fotografico tra la Marmolada del 1910 e quella dell'agosto 2022. A sinistra fotografia di Würthle & Sohn, celebre studio fotografico salisburghese dell'epoca. A destra fotografia di S. Perona.



Rappresentazione delle superfici glaciali nel 1888, 1905, 1954, 1982, 2000 e 2015 ricavate mediante elaborazione digitale di cartografia storica. La perdita di estensione tra il 1888 e il 2015 è valutabile attorno al 70%. (grafica realizzata da S. Benetton)

da non consentire più la preparazione e la percorribilità dei tracciati già esistenti si è deciso di ricorrere all'utilizzo dei teli plastici. In effetti servono a rallentare la fusione del ghiaccio e della neve che vanno a ricoprire, ma il loro impiego costituisce più che altro una sorta di "accanimento terapeutico" giustificato da interessi economici.

I GHIACCIAI DELLE ALPI ORIENTALI

VENETO - TRENTINO GHIACCIAIO DELLA MARMOLADA

Il versante settentrionale della Marmolada con il Lago Fedaia. Questo bacino artificiale era stato progettato alla fine degli anni Cinquanta per ricevere le acque di fusione del Ghiacciaio Principale che da allora si è ridotto arealmente di oltre il 50%. (foto di S. Perona, 2022)

Protezione del tracciato della pista di sci che attraversa il ghiacciaio sotto Punta Serauta tramite l'utilizzo di teli. (foto S. Perona)

GHIACCIAIO DELLA MARMOLADA

IL CROLLO DI GHIACCIO DEL 3 LUGLIO 2022

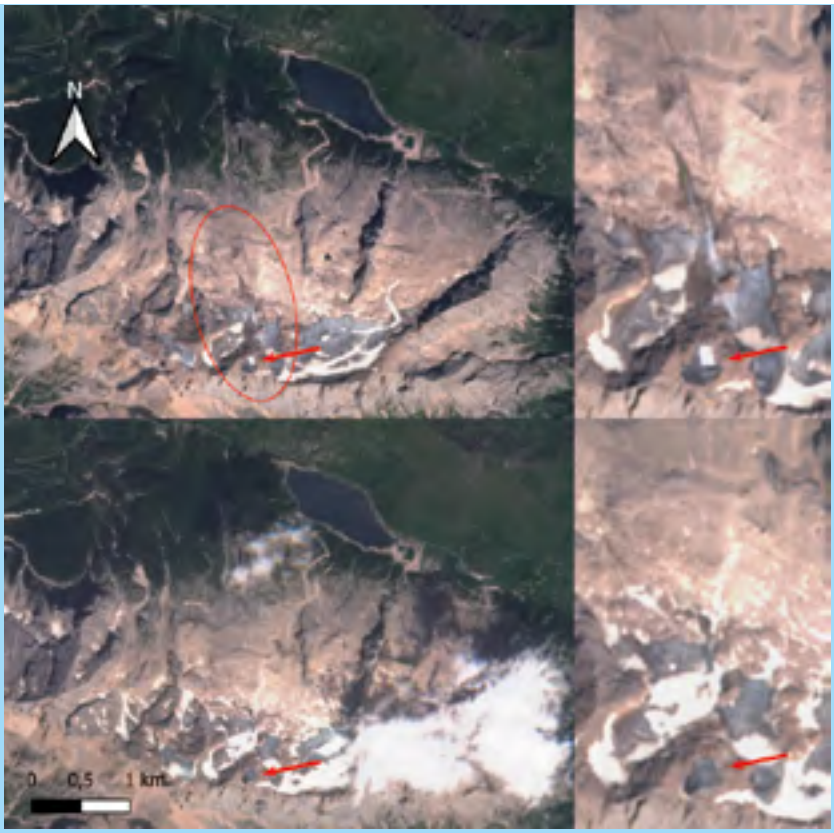
L'alto numero di vittime (11) provocato dal già citato evento ha tristemente portato la Marmolada al centro della cronaca dell'estate 2022.
Le considerazioni riportate testualmente qui di seguito sono quelle espresse dal Gruppo di lavoro glaciologico-geofisico per le ricerche sulla Marmolada, composto dai Professori Aldino Bondesan e Roberto Francese - glaciologo dell'Università di Padova, responsabile del Comitato Glaciologico Italiano (CGI) per il coordinamento della campagna glaciologica annuale nelle Alpi orientali il primo, geofisico dell'Università di Parma e membro del Comitato Glaciologico Italiano il secondo - e dai Dottori Massimo Giorgi e Stefano Picotti - geofisici dell'Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale di Trieste - tramite un comunicato ufficiale divulgato il 7 luglio 2022.

Il crollo del 3 luglio 2022. Sono evidenziate l'area di distacco e la traccia della colata sul ghiacciaio. In alto a sinistra, l'arrivo della funivia di Punta Penia. (Foto del 28 agosto 2022 di S. Perona.)

CONDIZIONI PREDISPONENTI

Il crollo del 3 luglio ha interessato un lembo residuale del ghiacciaio centrale che occupa una piccola nicchia a ridosso della cresta sommitale sotto Punta Rocca formando un “ghiacciaio sospeso”.
Il crollo, in fase di studio, si è verificato per una serie di condizioni predisponenti il cui relativo peso ad oggi non è di facile determinazione. Tra queste vi sono:

- la forte inclinazione del pendio roccioso;
- l’apertura di un grande crepaccio che ha separato il corpo glaciale in due unità;
- la presenza di discontinuità al fondo e sui lati;
- l’aumento anomalo delle temperature che hanno influito sullo stato del ghiaccio;
- l’aumento della fusione con conseguente incremento della circolazione d’acqua all’interno del ghiaccio che può aver innescato una crescita dello stress sulle superfici di discontinuità;
- la fusione progressiva della fronte glaciale che ha fatto mancare sostegno alla massa sospesa.



Un’immagine satellitare Sentinel-2 del versante Nord della Marmolada datata al 26 giugno 2022 (una settimana prima dell’evento), in basso, messa a confronto con un’altra del 7 luglio (4 giorni dopo), in alto. Le frecce indicano la placca da cui è crollata la massa di ghiaccio. Nell’ingrandimento dell’immagine post-evento sono ben visibili la nicchia di distacco e la traccia della colata.

I GHIACCIAI DELLE ALPI ORIENTALI VENETO - TRENTINO GHIACCIAIO DELLA MARMOLADA

PREVEDIBILITÀ DEL FENOMENO

Prima del crollo non si sono osservati dei segnali evidenti di un collasso imminente. Salvo rarissimi casi, nei ghiacciai, a differenza delle frane, non vi sono sistemi di allerta che misurano movimenti e deformazioni in tempo reale. I crepacci, che hanno avuto un ruolo fondamentale nel distacco, erano visibili già da diversi anni e di per sé fanno parte della normale dinamica glaciale.

CI DOBBIAMO ASPETTARE ALTRI CROLLI IN FUTURO?

Fenomeni di questo tipo sono frequenti nei ghiacciai e fanno parte della normale dinamica glaciale. Il ritiro ed il riscaldamento determinano un aumento della frequenza degli eventi ed in generale un aumento della pericolosità delle fronti glaciali. L'osservazione annuale di molti ghiacciai è stata recentemente abbandonata proprio per l'incremento delle condizioni di rischio alle fronti glaciali. Tuttavia, non tutti i ghiacciai presentano le medesime condizioni di pericolo che variano in funzione della temperatura, ma anche della morfologia, delle pendenze, delle dimensioni e di altri parametri. Ogni ghiacciaio va studiato singolarmente individuando i rischi specifici che si sommano a quelli già insiti nella frequentazione dell'ambiente alpino.

EVENTI SIMILI SI SONO GIÀ VERIFICATI IN PASSATO?

Collassi di intere porzioni di ghiacciaio si sono registrate anche negli anni recenti in diverse aree delle Alpi. Solo un mese fa due alpinisti sono deceduti per il distacco di seracchi dal Grand Combin. Il ghiacciaio Planpicieux, sotto monitoraggio, già nel 2020 aveva di fatto posto a rischio la sottostante Val Ferret. Un evento molto simile, anche nelle dinamiche, a quello della Marmolada si è verificato nel luglio del 1989 nel ghiacciaio superiore di Coolidge, fortunatamente senza vittime. L'analisi della cartografia storica della stessa Marmolada evidenzia la probabile presenza di analoghi distacchi che potrebbero essersi verificati sul finire dell'800.
L'impatto del cambiamento climatico
Il ritiro dei ghiacciai è la manifestazione più evidente di un cambiamento climatico in atto i cui effetti sono visibili anche in molti altri fenomeni che interessano il pianeta. Ciò che desta maggior preoccupazione è la progressiva accelerazione del ritiro che impone una revisione degli scenari climatici più ottimistici predisposti dagli scienziati.

COSA POSSIAMO FARE?

Nel lungo termine l'unica azione efficace è quella di trovare un accordo globale che consenta la riduzione dell'emissione di gas-serra per mitigare il riscaldamento terrestre.
Nel breve termine si può solamente ricorrere a strategie di adattamento che consentano la razionalizzazione delle risorse e una maggiore efficienza nella realizzazione delle infrastrutture, nei processi industriali e nei modelli sociali.

LE PREVISIONI

Le previsioni sono sempre un esercizio piuttosto difficile quando si parla di sistemi naturali.
Se saranno confermati gli attuali andamenti anche nei prossimi anni, è molto probabile che il ghiacciaio della Marmolada scompaia prima del 2040. Se dovesse rallentare il processo di riduzione della massa glaciale in ogni caso sarebbe comunque improbabile che possa conservarsi oltre il 2060.
Solo pochi anni fa i modelli prevedevano una vita del ghiacciaio per altri 100 o 200 anni.
È evidente quindi come i modelli predittivi debbano essere costantemente aggiornati e migliorati e come sia fondamentare garantire (e possibilmente migliorare) il monitoraggio dei ghiacciai.

FRIULI VENEZIA GIULIA

GHIACCIAIO DEL MONTASIO

Nr. Catasto	981
Tipo Ghiacciaio	Montano
Forma Ghiacciaio	Di circo
Alimentazione	Valanghiva
Esposizione	Nord
Superficie	0.07 km2
Quota media	1910 m
Lunghezza max	350 m
Marghezza max	380 m

Dati riferiti al 2015

La particolarità del ghiacciaio Occidentale del Montasio (ne esisteva anche uno Orientale, ormai ridotto a glacionevato), l'ultimo delle Alpi Giulie a potersi definire tale (a questo si potrebbe aggiungere solo quello meno noto di Conca Prevala in Val Raccolana, presso il Monte Canin), è quella di non essersi ancora estinto pur trovandosi interamente sotto una quota che risulta inferiore a quella media delle fronti degli altri ghiacciai dell'Arco Alpino. Questo è possibile grazie a tre fattori: precipitazioni invernali generalmente molto abbondanti, una posizione alla base della Parete Nord dello Jôf di Montasio che limita l'irraggiamento solare a poche ore al mattino ed una estesa copertura detritica che – si ricorda – quando raggiunge un certo spessore ha un effetto protettivo del ghiaccio sottostante.

Per quanto il Montasio risulti dunque "resistente" ai cambiamenti climatici, questo non vuol dire che non ne subisca gli effetti. Da quando Ardito Desio incominciò a studiarlo e a monitorarlo nel 1920 (fu lui a conferirgli per primo la dignità di ghiacciaio) risulta aver perso una quarantina di metri di spessore. Si è arrivati a questa quantificazione con un procedimento analogo a quello adottato per lo studio del Ghiacciaio del Miage già precedentemente descritto in questo report, ovvero confrontando i più recenti modelli digitali tridimensionali della superficie del ghiacciaio, ottenuti tramite scansione laser terrestre oppure applicando tecniche fotogrammetriche alle immagini aeree riprese con l'utilizzo di droni, con quello ottenuto dalla digitalizzazione ed interpolazione dei primi rilievi topografici dello stesso Desio. Quando in passato era ancora possibile, per la quantità di ghiaccio presente, individuare la linea del margine frontale, gli operatori misuravano anche gli arretramenti rispetto a determinati capisaldi tramite il "tradizionale" utilizzo della bindella metrica. Negli ultimi l'appiattimento della fronte e l'incremento della copertura detritica hanno fatto abbandonare questa tecnica di monitoraggio è stata abbandonata a favore delle sopraccennate e ben più tecnologiche metodologie.

Questa importante contrazione volumetrica subita nel corso del tempo sembra però aver portato il ghiacciaio al raggiungimento di uno stato che attualmente potrebbe essere definito di equilibrio, con una maggiore capacità di resistenza passiva alle variazioni climatiche.

A destra una vista laterale (verso Est) della fronte del Ghiac-ciaio del Montasio in un'immagine del 1920 di Ardito Desio. A sinistra, confronto fotografico realizzato nel 2010 da L. Carturan (Università di Padova). La stella rossa richiama la posizione della cresta della morena frontale, la linea gialla corrisponde al margine del ghiacciaio nel 1920 mentre la linea tratteggiata nera a quello nel 2010 Prendendo come riferimento la parete rocciosa sullo sfondo appare evidente la perdita di volume nel corso di un secolo.

Rilievo topografico del Ghiacciaio del Montasio eseguito con il solo ausilio della bussola da Ardito Desio nel 1920 ed utilizzato per ricavare un modello digitale tridimensionale della superficie dell'epoca, poi confrontato con quelli ottenuti dai recenti rilievi geodetici per quantificare la perdita di spessore.

Le condizioni del ghiacciaio risultano pertanto stazionarie nelle annate non particolarmente critiche mentre per quelle più negative non peggiorano drasticamente come sarebbe lecito supporre. La scarsità di precipitazioni della stagione invernale 2021-2022 ha infatti limitato l'accumulo di neve residua ancora presente in tarda primavera a "soli" 3-4 metri di spessore, a fronte delle misurazioni prossime e talora superiori alla decina di metri solitamente ottenute negli anni precedenti.

Le elevate temperature dell'estate 2022 hanno poi fuso completamente questi apporti più recenti e sono riuscite ad intaccare in parte il sottostante strato di "firn" (termine con cui viene indicata la granulo-

sa neve vecchia che non si è ancora completamente trasformata in ghiaccio) risalente all'anno prima, ma non il nucleo di ghiaccio più profondo.
Anche le piogge cadute durante alcuni intensi eventi alluvionali verificatisi in passato hanno provocato rapidi e vistosi sconvolgimenti della morfologia di questo ghiacciaio con l'asportazione di alcune sue parti e la formazione di colate detritiche che fortunatamente non hanno mai potuto interessare centri abitati o infrastrutture, data la remota ubicazione. La caratteristica "resistenza" del Montasio ha però sempre consentito, almeno fino ad ora, che ad essi seguisse una rigenerazione della sua forma consueta in tempi sorprendentemente rapidi. Bisogna però considerare che i cambiamenti climatici renderanno sempre più probabile l'occorrenza di eventi estremi e sempre più difficile che queste "riprese miracolose" riescano a ripetersi.

In alto il Ghiacciaio Occidentale del Montasio come si presentava nel 2020 in occasione del primo sopraluogo della "Carovana" e, a destra, nel settembre 2022. Sebbene l'aspetto complessivo non mostri apparentemente differenze eclatanti nonostante la scarsità di precipitazioni della stagione invernale 2021-2022 (perlomeno per lo standard locale) e le elevate temperature dell'estate successiva, osservando con attenzione l'immagine più recente si possono notare la presenza di crepacci trasversali nel settore apicale del ghiacciaio, pressoché assenti in quella di due anni prima, e nello stesso settore, la completa fusione dello strato di neve superficiale con l'esposizione agli agenti atmosferici delle "riserve" accumulate durante le stagioni invernali precedenti. (foto di S. Perona)

I GHIACCIAI DELLE ALPI ORIENTALI FRIULI VENEZIA GIULIA GHIACCIAIO DEL MONTASIO

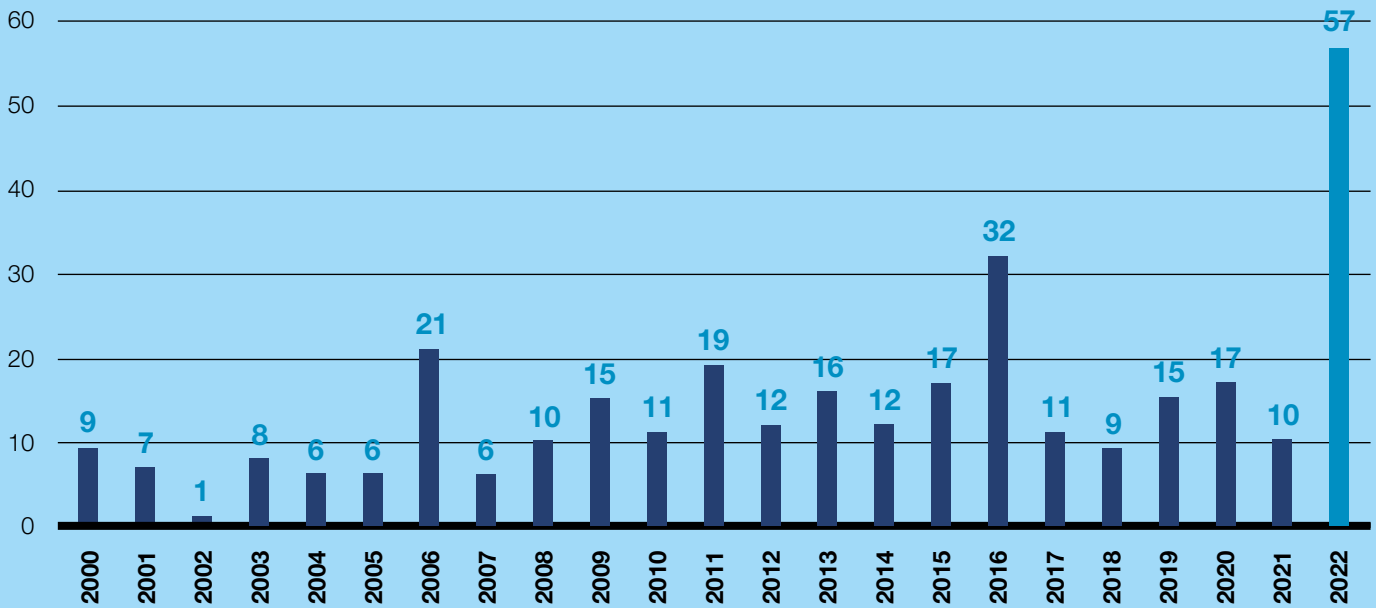
In occasione di eventi alluvionali estremi, il ruscellamento concentrato provocato dalle precipitazioni liquide può dare luogo ad intensi fenomeni erosivi che interessano non solo i depositi glaciali, ma anche il corpo stesso del Ghiacciaio del Montasio. In alto, la zona frontale profondamente incisa dopo forti piogge nel 1993 con la messa a giorno del ghiaccio, altrimenti invisibile perchè ricoperto dal detrito e, in basso, la grande colata che dalla breccia della morena si era riversata sulla spalla che scende verso il bivacco Stuparich. (archivio fotografico CNR-IRPI Padova)

ESTATE 2022: RECORD DI FRANE DEGLI ULTIMI VENT'ANNI IN ALTA QUOTA

Scarse precipitazioni nevose invernali e primaverili, temperature estive nettamente sopra la media, quota dello zero termico elevata per diversi giorni consecutivi sono le condizioni climatiche sono le condizioni climatiche che hanno reso da record l'estate 2022. Gli effetti, per quanto non facilmente direttamente imputabili alle condizioni citate, si sono manifestati con evidenza anche sull'instabilità naturale dell'alta montagna, ambiente particolarmente sensibile ai cambiamenti climatici per la pervasiva presenza della criosfera (neve, ghiacciai, permafrost).
L'aumento dell'instabilità naturale (instabilità glaciale, frane, colate detritiche)è ormai riconosciuto come una delle evidenze più esplicite delle trasformazioni che stanno avvenendo in alta montagna per effetto dei cambiamenti climatici, in particolare per effetto della riduzione dell'estensione e della durata del manto nevoso, della riduzione di area e di spessore dei ghiacciai e della degradazione del permafrost.
Per documentare ed analizzare in modo più approfondito i trend in atto, il gruppo di ricerca GeoClimAlp del CNR-IRPI ha realizzato il primo catasto online delle frane alpine di alta quota (https://geoclimalp.irpi.cnr.it/catasto-frane/),che contiene dati su eventi di instabilità naturale avvenuti nelle Alpi Italiane ad una quota >1500 m s.l.m. dal 2000 in avanti.I dati raccolti evidenziano una concentrazione di eventi in alcune regioni: Valle d'Aosta (42%), Piemonte (18%),

CATASTO DELLE FRANE DI ALTA QUOTA NELLE ALPI

NUMERO DI EVENTI ESTIVI CENSITI SU BASE ANNUALE



Lombardia (16%) e Trentino-Alto Adige (15%).Per quanto riguarda la tipologia degli eventi documentati, dominano i crolli di roccia (oltre il 55%), seguiti da altri tipi di frane (23%), da colate detritiche torrentizie (19%) e da instabilità di masse glaciali (2%). Il catasto evidenzia come il numero di eventi documentati per il periodo 2011-2020 è quasi il doppio di quelli documentati tra il 2001 e il 2010: questi numeri riflettono in parte la crescente attenzione verso questi fenomeni, ma sono anche un indicatore significativo dal punto di vista climatico.

Pur in questo contesto generale di trend in crescita dell'instabilità naturale in alta quota, l'estate 2022 è risultata marcatamente anomala rispetto ai 20 anni precedenti, con un numero totale di casi censiti pari a 57: un numero che, se confrontato con quelli delle estati precedenti, può essere considerato un vero record (Figura 1).L'anomalia dell'estate 2022 risiede in particolare nell'elevato numero di colate detritico-torrentizie (37 casi, pari al 65% del totale), mentre i crolli di roccia sono stati solo il 26% del totale(15 casi). Di tutti questi casi, 8 sono avvenuti durante il mese di giugno, 23 in luglio e 26 in agosto. Anche la distribuzione regionale si è in parte discostata dal periodo precedente, con una minore incidenza di casi rispetto al passato in Valle d'Aosta (19 casi, pari al 33% del totale) e Piemonte (2 soli casi), mentre un numero di casi superiore alla media è stato riportato in Trentino-Alto Adige (16 casi, pari al 28% del totale) e Veneto (8 casi, pari al 14% del totale).

L'elevato numero di casi documentati per l'estate 2022 ricalca la straordinarietà delle condizioni termiche, con anomalie pari a circa 2 °c rispetto al trentennio di riferimento 1991-2020, che ha determinato una fusione anomala di neve (pressoché totalmente scomparsa, salvo alle quote più elevate) e dei ghiacciai, con conseguente saturazione di ammassi rocciosi e accumuli detritici, oltre all'ulteriore impulso alla degradazione del permafrost. Inoltre, come già riscontrato in anni passati, le precipitazioni tendono a concentrarsi in eventi pluviometrici brevi e intensi, particolarmente favorevoli all'innesco di colate detritiche.

A mano a mano che i ghiacciai si ritirano, l'attenzione sulle trasformazioni dell'ambiente montano d'alta quota va spostato sui versanti rocciosi adiacenti e sui depositi abbandonati dai ghiacciai,sotto l'aspetto dei rischi e come indicatori di cambiamento climatico. Sempre più cruciale diventa la documentazione e il monitoraggio di tali trasformazioni, al fine di seguirne i trend evolutivi e fornire le informazioni necessarie per il migliore adattamento ai cambiamenti climatici e la mitigazione dei rischi in essere ed emergenti.

CONCLUSIONI

Da tre anni con la Carovana dei Ghiacciai informiamo e sensibilizziamo cittadini e decisori sulle criticità che minacciano gli ambienti glaciali e sulle possibilità di mitigazione e di adattamento agli effetti dei cambiamenti climatici. Le tappe descritte nel report 2022 indicano chiaramente quanto lo stato di salute dei ghiacciai stia rapidamente peggiorando. Infatti, sono stati messi in luce non solo profondi cambiamenti del paesaggio alpino, attraverso un confronto con dati e immagini storiche del Comitato Glaciologico Italiano, ma anche accelerati fenomeni di deglaciazione, attraverso il riconoscimento delle recenti instabilità dei ghiacciai già visitati nella prima edizione.Queste evidenze sollecitano profonde riflessioni sull'estetica del paesaggi alpini, sulla consapevolezza del cambiamento ambientale e sull'importanza dei dati scientifici per lo sviluppo di politiche di adattamento.

Il ghiacciaio è un mezzo per raccontare, far toccare con mano quanto sta accadendo, un forte strumento per arrivare ai più scettici e distratti, ma per molti di noi è anche un fine, in virtù del suo diritto di esistere in quanto tale. Se la semplice osservazione estetica del cambiamento dei paesaggi glaciali ci dice che stiamo perdendo tanta bellezza, i dati scientifici indicano che ciò avviene per colpa nostra. La grande accelerazione dei fenomeni di deglaciazione è, infatti, in stretta relazione col riscaldamento climatico indotto dall'uomo. Dobbiamo prenderne atto.

Dal punto di vista estetico, è triste dover ammetter che i bimbi di oggi nel futuro vedranno ben poco di questi favolosi esseri bianchi, e saranno privati di una parte delle straordinarie emozioni che solo la natura glaciale sa trasmettere. Certo, già oggi occorre predisporsi in un rinnovato e ritrovato rapporto con la montagna per percepirne il fascino fino a poter sentire il respiro di un ghiacciaio. E questa è una sensazione che non ha nulla a che vedere con la rappresentazione della montagna come luna park. Chi ha frequentato i ghiacciai decenni fa, è stato a contatto con i signori delle alte quote, porta con sé ricordi pregnanti. Una sensazione ben diversa da quanto stiamo percependo oggi nel vederli così rattrappiti, ingrigiti e rimpiccioliti, unicamente capaci di urla soffocate. Nel guardarli si prova un'immensa pena.

Con la scomparsa dei ghiacciai svaniscono paesaggi stupendi. Opere d'arte, forgiate dalla natura, belle quanto il Colosseo o il duomo di Milano, si liquefanno nel silenzio più totale. Per descrivere quanto sta accandendo abbiamo usato metafore forti come quella del gigante di ghiaccio dei Forni che sta ansimando, soffocato dai cambiamenti climatici, annerito, collassato, piagato dai crepacci e consumato. Oppure quell'espressione di *nudità* della Marmolada, la Regina delle Dolomiti, tanto da apparire ostentata dopo la perdita del suo gigante di ghiaccio. Quasi a ricordarci che il pianeta sopravvivrà benissimo alle assurdità causate dalla nostra specie. Ha superato ben di peggio nelle ere geologiche passate, mentre saremo noi a rimetterci, noi e i viventi che ci accompagnano in questo pezzo di strada.

Tuttavia, a parte il bisogno etico di restituire la percezione di trovarci al cospetto di una qualcosa di più importante del nostro personale interesse, c'è per noi l'esigenza di trasmettere la consapevolezza che gli impatti devastanti del riscaldamento globale non sono più uno scenario probabilistico che avrà luogo in un imprecisato futuro, ma sono già in atto e molto ben visibili. Il cambiamento climatico (come tutti i cambiamenti) confligge con l'idea che il mondo sia sempre andato avanti nella stessa maniera e che, passata l'emergenza,

tutto tornerà come prima. Ora però è arrivato il momento di accettare il fatto che quel che pareva immutabile è destinato a mutare. I ghiacciai, in particolare quelli alpini, rappresentano uno degli indicatori più evidenti di questa possibile *nuova apocalisse a puntate*: la spia rossa che si accende per segnalarci che il motore non funziona più bene.

Dall'emozione "estetica" che rimanda a paesaggi glaciali che non esistono più, occorre passare alla consapevolezza su cause ed effetti del cambiamento climatico e ambientale che si sta realizzando in montagna. L'incredibile emorragia dei ghiacciai, insieme all'accentuarsi di eventi estremi non sono che gli aspetti più evidenti di fenomeni che si stanno verificando su scala molto più vasta, e che comporteranno pesanti effetti sui territori, a partire dalle conseguenze a valle, su risorse idriche, erosione del suolo e fenomeni di dissesto.Per questo la montagna è sempre più chiamata ad assumere il ruolo di *sentinella* della crisi climatica. Per ricevere e decodificare i segnali di allarme dall'ambiente glaciale è necessario disporre di dati multitemporali aggiornati che permettano di verificarne le variazioni. Nel nostro Paese, il patrimonio documentale del Comitato Glaciologico Italiano, insieme ai dati delle campagne glaciologiche annuali coordinate sui ghiacciai campione dei 3 settori alpini e sul Calderone (Gran Sasso) rappresentano un indispensabile punto di partenza.Ma lo sforzo degli operatori glaciologici e dei ricercatori va ulteriormente sviluppato e sempre più dovrà essere commisuratoalle esigenze che man mano si manifestano, sia nel campo della prevenzione dei rischi sia in quello della gestione delle risorse.

Il protocollo scientifico applicato per più di un secolo dagli operatori del Comitato Glaciologico ha permesso di costituire una base di dati unica non solo per l'interpretazione delle trasformazioni a lungo termine dell'ambiente glaciale, ma anche per il riconoscimento di segni premonitori delle instabilità, tramite l'interpretazione della ricca documentazione iconografica e delle descrizioni a corredo. Il suo adeguamento tramite l'introduzione di ulteriori parametri descrittivi di eventi diinstabilità glaciale e l'applicazione di nuovi strumenti di misura permetterà di registrare con maggiore efficacia i fenomeni in questa fase di accelerazione del riscaldamento climatico.

La natura dinamica della geodiversità degli ambienti glaciali suggerisce di potenziare non solo l'analisi degli eventi di instabilità, ma anche la valutazione di come i servizi ecosistemici connessi agli ambienti glaciali mutano nel tempo in funzione dei cambiamenti climatici. La redazione di innovative carte geotematiche multitemporali dei servizi ecosistemici di tipo abiotico possono rappresentare utilissimi strumenti per la pianificazione di azioni territoriali nell'ottica della sostenibilità ambientale.

In conclusione riteniamo che le attività realizzate durante la carovana dei Ghiacciaied i contenuti elaborati nel Report 2022 contenessero obiettivi importanti. Oltre ad avere offerto visioni sui ghiacciai in grado di facilitare la percezione delle trasformazioni dei paesaggi alpini d'alta quota, sono state diffuse informazioni e condivise esperienze per aumentare la consapevolezza dei cambiamenti climatici e indurre stili di vita più sobri. Ma soprattutto si è alimentato il dialogo fra scienza e società per dotare i territori d'alta quota di soluzioni gestionali adatte alle attuali condizioni di deglaciazione e per arrivare a scelte di sviluppo sostenibile indispensabili per mitigare il riscaldamento climatico.

PROPOSTE DI POLICY DI ADDAMENTO SU GESTIONE DELLE ACQUE E RISCHI CAUSATI DA FENOMENI METEOROLOGICI ESTREMI

A corollario del report sui ghiacciai si aggiungono alcune riflessioni per quel che concerne le policy di adattamento.
Il Rapporto tecnico-scientifico della Strategia Nazionale di adattamento ai cambiamenti climatici (SNAC) coerentemente con i documenti *dell'International Panel on Climate Change* (IPCC) e dall'*European Environmental Agency* (EEA) per quel che concerne la vulnerabilità del nostro Paese sottolinea come le principali criticità riguardino: **la gestione delle acque e i rischi causati da fenomeni meteorologici estremi**.Il Rapporto fornisce poi uno specifico approfondimento sull'**area alpina e appenninica, e sul distretto idrografico padano, in quanto sistemi ambientali di particolare vulnerabilità**. Nelle aree montane Italiane, e in particolare nell'arco Alpino, è stato riconosciuto che gli effetti del cambiamento climatico saranno tre volte superiori in grado di magnitudine rispetto alla media mondiale (OECD, 2007).
Per quel che concerne nello specifico le aree montane del Paese è atteso che l'innalzamento della temperatura e il conseguente acuirsi del fenomeni di fusione di neve, ghiaccio e permafrost rendano le aree delle zone alpine e appenniniche maggiormente interessate da variazioni consistenti della risorsa idrica, associate a incrementi nei fenomeni di dissesto. Quanto è accaduto nel 2022 potrebbe essere solo un primo anticipo degli scenari che si prefigurano per i prossimi anni. Insieme ad un incremento della temperatura si prevede infatti un aumento degli eventi estremi in tutto il Paese. La maggior frequenza di precipitazioni intense contribuirà ad un'ulteriore crescita del rischio idraulico per piccoli bacini, mentre aumenterà il rischio associato a fenomeni franosi superficiali nelle aree con suoli con maggior permeabilità. Le zone maggiormente esposte al rischio idro-geologico comprendono la valle del fiume Po (con un aumento del rischio di alluvione) e le aree alpine ed appenniniche (con il rischio di alluvioni lampo). Inoltre si prevede un aumento del degrado del suolo con un coefficiente più elevato di erosione e desertificazione del terreno, ai quali si sommano maggiori rischi di incendi boschivi e siccità. A tutto ciò si accompagna una riduzione della biodiversità dovuta al cambiamento dell'habitat di molte specie. Infatti, se cambiano le caratteristiche del luogo che ospita alcune specie, quest'ultime non potendo adattarsi repentinamente, rischiano di scomparire.
In generale sul territorio italiano i potenziali impatti attesi contribuiranno ad intensificare notevolmente la pressione per quel che riguarda il dissesto idrogeologico, amplificando e aggravando una situazione già di per sé molto complessa. Tutt'altro che secondarie, come dimostrano le recenti tragedie, le conseguenze di un aumento generalizzato dei rischi dovuti all'espansione urbanistica che ha interessato tutta l'Italia in modo rilevante dal dopoguerra, dall'occupazione di aree prima disponibili per l'invaso dei volumi di piena, al'urbanizzazione di pendii instabili, alla canalizzazione dei corsi d'acqua e al progressivo abbandono della funzione di manutenzione e presidio del territorio.Per quanto riguarda la produttività agricola a causa della siccità e di altri eventi estremi si assisterà ad una riduzione delle potenzialità soprattutto per le colture di frumento, ma anche di frutta e verdura; di contrasto la coltivazione di ulivo, agrumi, vite e grano duro potrebbe diventare possibile nel nord dell'Italia anche a quote considerevoli, mentre nel Sud e nel Centro la coltivazione del mais potrebbe risentire ancor più della disponibilità di acqua irrigua. Per quanto concerne le variazioni subite dalle precipitazioni nevose, si osserva che la neve al suolo negli ultimi dieci anni ha avuto un costante decremento,

lasciando sempre più spazio ad aride sterpaglie. Si tratta di una tendenza che non accennerà a diminuire nel futuro prossimo e una prima conseguenza di questo cambiamento si avrà sul panorama impiantistico delle montagne e sul turismo incentrato sullo sci da discesa.
L'adattamento deve costituire la chiave indispensabile per ripensare e attualizzare le politiche territoriali e di settore dell'intero Paese e per questo è fondamentale l'approvazione in tempi brevi del Piano nazionale di adattamento al clima. Tuttavia non va dimenticato che le politiche di addattamento necessitano di **un approccio partecipativo: la sostenibilità ambientale diventa patrimonio condiviso solo se c'è sostenibilità sociale.** Si tratta di costruire percorsi nuovi, anche in termini sperimentali per il rafforzamento delle comunità, contesti dove la conoscenza, l'innovazione e la formazione diventano elementi imprescindibili per costruire una cultura di responsabilità e sicurezza a tutti i livelli.

L'attuazione delle proposte di *policy* non può prescindere da:

1. azioni volte alla creazione di **conoscenza/consapevolezza** dei cambiamenti climatici; delle risorse ambientali dei territori; del rischio; delle responsabilità personali e collettive nella scelta di comportamenti più/meno sostenibili;

2. azioni volte alla **creazione di comunità** resilienti. Quindi accompagnamento, abilitazione, capacitazione delle comunità locali e dei nuovi residenti a vivere nei territori, a gestire il/i rischio/i durante/dopo eventi calamitosi, a costituirsi in comunità, a immaginare nuove forme di economie, a rappresentare istanze ai diversi livelli di governo del territorio; trasferimento di competenze per l'adattamento ai cambiamenti climatici (dai cittadini alle P.A.);

3. azioni volte creazione di nuovi modelli di ***governance***, pratiche virtuose e esempi innovativi per una gestione agile dei territori che coinvolgano le comunità locali.

SCENARI STRATEGICI PRIORITARI SUI QUALI INTERVENIRE

Tra le situazioni nazionali più critiche a cui fa riferimento la SNAC (Strategia Nazionale Adattamento ai Cambiamenti Climatici) si evidenziano le seguenti:

le risorse idriche e le aree a rischio di desertificazione;

gli ecosistemi montani, con la perdita di ghiacciai e di copertura nevosa;

le aree soggette a rischio idrogeologico; l'area idrografica del fiume Po e i bacini idrografici del distretto dell'Appennino.

Su questi settori di azione si riportano le seguenti proposte di policy di adattamento raggruppate secondo tre ambiti di intervento:

MONITORAGGIO E ATTUAZIONE

1. **Approfondire le ricerche** sulle variazioni dei ghiacciai e del permafrost e sul loro comportamento futuro in relazione alle notevoli implicazioni ambientali ed economiche. Indirizzare gli sforzi scientifici affinché siano effettivamente commisurati alle nuove esigenze che si vengono a creare. Promuovere e sostenere strutture e programmi di ricerca open per la raccolta di dati di monitoraggio. Al contempo promuoverne la diffusione e la comprensione tra la popolazione.

2. Considerare le regioni alpine e appenniniche come aree soggette a crescente siccità, in cui la gestione della scarsità d'acqua è un'indispensabile misura di adattamento. A tale scopo **acquisire nuovi scenari idrologici** sui bacini montani, per comprendere come cambierà in futuro la disponibilità idrica e **istituire protocolli di raccolta dati e modelli logico/previsionali** che permettano di conoscere e rendere disponibile ai cittadini stime affidabili delle disponibilità di risorse idriche, dei consumi reali e della domanda potenziale.

3. Sviluppare una conoscenza e una successiva **valutazione dei SE di regolazione** nelle Unità Ecologico Funzionali, in rapporto ai cambiamenti climatici allo scopo di individuare azioni di aumento della capacità portante dei sistemi idrografici in alternativa a soluzioni impattanti e poco efficaci per i territori.

4. Sostenere il presidio di enti sul territorio per **favorire il monitoraggio attraverso la formazione e il coinvolgimento di attori locali** e terzo settore per il monitoraggio, anche attraverso attività di citizen science.

FORMAZIONE E CONOSCENZA

1. Promuovere a livello locale piani per la sensibilizzazione, conoscenza e informazione sul cambiamento climatico incentivando **attività di formazione sull'uso equo e sostenibile delle risorse naturali.**

2. Aiutare le comunità locali ad affrontare le conseguenze economiche del riscaldamento climatico, come quelle sull'**industria del turismo invernale**, riconoscendo la necessità di convertire progressivamente i modelli di sviluppo che espongono i territori alla continua incertezza stagionale.

3. Assumere **la biodiversità come indicatore fondamentale della qualità e degli equilibri ambientali** promuovendo azioni di contrasto della perdita di biodiversità e geodiversità attraverso il rispetto delle normative sulla biodiversità, misure di contrasto della diffusione delle monoculture e misure per favorire le *nature based solutions*,

4. Abilitare le comunità locali alla **valorizzazione e alla gestione dei beni naturali (collettivi/pubblici)** presenti nei loro territori con un approccio sistemico.

5. Attuare **strumenti di sussidiarietà orizzontale** per la gestione partecipata attraverso strumenti normativi (contratti di fiume, contratti di foresta, green community, Comunità di custodi di biodiversità, ecc.)

MONITORAGGIO E ATTUAZIONE

1. Rafforzare le sinergie fra scienza, politica e società, indispensabili per nuove forme di *governance* capaci di produrre nuove strategie e misure di adattamento, anche attraverso percorsi di pianificazione partecipata, attività di autoprotezione e responsabilità condivise tra le popolazioni interessate, per una *governance integrata* del territorio. Realizzare programmi/progetti di manutenzione integrati sul territorio, redatti da figure con **competenze intersettoriali ed interdisciplinari** e di raccordo tra le autorità pubbliche.

2. Realizzare **strutture di governance a livello di unità geografiche compiute** (= unità ecologiche funzionali), dove i SE di regolazione possano essere valutati per sviluppare un bilancio ecologico-economico, anche attivando nuove competenze/professionalità adeguate dentro e fuori le PA.

3. Rafforzare il ruolo delle autorità di Bacino e di Distretto anche come responsabili e autori di programmazione partecipata.

4. Definire una strategia che promuova la **riduzione dei consumi idrici** domestici e il ricorso ad acque non potabili (acque di pioggia accumulate o acque grigie depurate) per gli usi compatibili (risciacquo dei WC, lavatrice, lavaggi esterni) in modo da portare il valore medio dei consumi civili di acqua potabile a non oltre i 150 litri abitante giorno.

5. Definire e adottare per ogni bacino dei **protocolli di gestione delle siccità**, in modo da superare definitivamente l'attuale approccio emergenziale.

6. Definire una strategia di **trasformazione del nostro sistema agroalimentare**, sviluppando adeguate misure all'interno del Piano Strategico Nazionale della PAC post 2022 orientati a: favorire la diffusione di colture e sistemi agroalimentari meno idroesigenti; promuovere la diffusione di misure mirate all'incremento della funzionalità ecologica dei suoli agrari e della loro capacità di trattenere l'acqua; contenere i consumi irrigui entro la soglia dei 2500 metri cubi ettaro anno.

7. Al fine di **ripristinare le falde** destinare fondi ad interventi di riqualificazione morfologica ed ecologica dei corsi d'acqua e del reticolo idraulico minuto e di ricarica della falda previsti dai PdG e dai PTA e recepire le misure previste dalle strategie per la "Biodiversità 2030" e "From farm to fork" nell'ambito del New Green Deal dell'UE e riprese dalla recente proposta normativa "il Pacchetto Natura" presentata lo scorso 22 giugno dalla Commissione Europea.

8. Pianificare e gestire le aree di alta quota, con particolare attenzione ai bacini soggetti a rischi naturali legati alla trasformazione di neve, ghiaccio e permafrost, allo scopo di aumentare la resistenza delle valli montane, anche rivedendo la delimitazione delle zone a rischi e adeguando, di conseguenza, i documenti urbanistici.

9. Promuovere progetti volti ad aumentare la resilienza socio-ecologica delle comunità montane con l'obiettivo di consentire di mantenere la loro attrattiva per residenti e turisti.A questo scopo avviare percorsi di **diversificazione dell'offerta turistica invernale**, aumentando la fruibilità dei territori montani per forme di sport invernali a minor impatto ambientale.

10. Favorire programmi di ricerca/sperimentazione/sviluppo delle **pratiche economiche delle aree interne basati su principi di ecologia e sostenibilità** (campo agro-zootecnico e in particolare in agroecologia/agricoltura di montagna multifunzionale/alpeggi).

11. Incentivare programmi di recupero del patrimonio edilizio esistente e programmi per **ridurre il consumo del suolo e lo spread urbanistico** e, laddove occorre, avere il coraggio di avviare procedure di delocalizzazione.

12. Individuare opzioni di adattamento a breve e lungo termine per tutti i vari settori, a partire dall'esame delle **eventuali buone pratiche e misure già esistenti**.

CONTRIBUTI E RINGRAZIAMENTI

TITOLI E AUTORI

Introduzione (Vanda Bonardo[1], Marco Giardino[2,3]). Ondate di calore (Fiorella Acquaotta[3], Alice Baronetti[4], Cristina Viani[2,3]). Gli impatti dell'estate 2022 su neve, ghiacciai, permafrost ed ecosistemi: l'esempio della Valle d'Aosta (Edoardo Cremonese[5]). Perché i ghiacciai che è possibile "misurare" sono sempre di meno?(Stefano Perona2Marco Giardino[2,3]). I ghiacciai delle Alpi Occidentali (Stefano Perona[2], Marta Chiarle[2,6]). Come stanno i ghiacciai del Gran Paradiso (Daniele Cat Berro[7], Luca Mercalli[7]). Il ghiacciaio del Miage (Stefano Perona[2], Walter Alberto[2]).Il Ghiacciaio di Pré de Bar (Stefano Perona[2], Paola Foa[2], Elena Motta[2], Aristide Franchino[2]). Il Ghiacciaio di Indren (Stefano Perona[2], Paolo Piccini[2], Tito Princisvalle[2, 8]). I ghiacciai delle Alpi Centrali (Stefano Perona[2],Carlo Baroni[2,9], Riccardo Scotti[2,10]).Il Ghiacciaio dei Forni (Stefano Perona[2], Claudio Smiraglia[2], Guglielmina Diolaiuti[2,11]). I ghiacciai delle Alpi Orientali (Stefano Perona[2], Aldino Bondesan[2,12] Cristian Ferrari[2,13]). Il Ghiacciaio delle Marmolada (Stefano Perona[2],Aldino Bondesan[2,12]). Ghiacciaio delle Marmolada - Il crollo del 3 luglio 2022(Aldino Bondesan[2,12], Roberto Francese[2,14],Massimo Giorgi[15], Stefano Picotti[15]).Il Ghiacciaio del Montasio (Stefano Perona[2], Federico Cazorzi[2,16]).Estate 2022: record di frane degli ultimi vent'anni in alta quota (Marta Chiarle[2,6], Guido Nigrelli[2,6]).Conclusioni (Vanda Bonardo[1], Marco Giardino[2,3]).

1. Legambiente
2. Comitato Glaciologico Italiano (CGI)
3. Dipartimento di Scienze della Terra - Università degli Studi di Torino
4. Istituto di Geoscienze e Georisorse – CNR-IGG
5. ARPA della Valle d'Aosta
6. Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica, Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR-IRPI)Società Meteorologica Italiana, www.nimbus.it
7. Ente di Gestione Aree Protette Valsesia
8. Dipartimento di Scienze della Terra - Università degli studi di Pisa
9. Servizio Glaciologico Lombardo (SGL)
10. Dipartimento di Scienze e Politiche Ambientali - Università degli studi di Milano
11. Dipartimento di Scienze Storiche, Geografiche e dell'Antichita'–Universtà degli studi di Padova
12. Società Alpinisti Tridentini (SAT)
13. Dipartimento di Scienze Chimiche, della Vita e della Sostenibilità Ambientale - Università di Parma
14. Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale di Trieste
15. Dipartimento di Scienze AgroAlimentari, Ambientali e Animali – Università di Udine

RINGRAZIAMENTI

Altromercato, per la fornitura di snack durante le tappe; ARPA Valle d'Aosta, Club Alpino Italiano;ARPAVVeneto;Cai Valfurva; Fondazione Montagna Sicura; Servizio Glaciologico Lombardo;i comuni di Alagna, Bormio, Malborghetto e Tarvisio; la parrocchia di Campitello; Il Museo di Geografia dell'Università di Padova; il Corpo dei Carabinieri Forestali di Treviso e Meteomont Veneto-Friuli; i coordinamenti Regionali di Legambiente Piemonte Vda, Lombardia, Veneto, Friuli Venezia Giulia e i circoli Valle d'Aosta e Trento; funivieMonterosa Ski; RUS - Rete delle Università per lo Sviluppo Sostenibile e Life ClimAction. Gli artisti: Valerio Zanchetti, Simone Petrucci, Silvia Atzori, Alessandra Trevisan, Filippo Vignato, DiBallarSiPotrebbeUnPoco e Paolo Forte; il presidente del CGI Valter Maggi; i responsabili delle Campagne glaciologiche CGI: Carlo Baroni, Aldino Bondsesan e Marta Chiarle; il tecnico del CGI Stefano Perona; gli operatori glaciologici: Walter Alberto, Philipe Deline, Elena Motta, Aristide Franchino, Paola Foa, Cristina Viani, Paolo Piccini, Tito Princisvalle, Claudio Smiraglia, Guglielmina Diolaiuti, Antonella Senese, Giovanni Donadelli, Mauro Varotto; Francesco Ferrarese, Federico Cazorzi, Renato R. Colucci; gli esperti: Edoardo Cremonese, Marco Cappio Borlino e Igor Rubbo, Maria Grazia Monaci, Alberto Lanzavecchia, Mauro Valt, Gianandrea Lorenzoni; Paolo Valoti, Marusca Piatta e Silverio Gjurgevich del CAI, Licia Favè SAT Val di Fassa, Franco Tessadri Mountain Wilderness; Valentino Casolo, Ivana Bassi e Salvatore Amaduzzi dell'Università di Udine; Francesco Petruzzellis e Gianluigi Gallenti dell'Università di Trieste; il videomaker David Fricano e per Legambiente Francesca Cugnata, Enrica Querro, Fabio Tullio, Ilenia De Simone, Martina Bosica.I grafici: Luca Fazzalari e Giada Rocchi. I testimonial: Enrico Camanni, Martin Mayes, Steve Della Casa, Isabella Morlesi, Tessa Genisio, Nives Meroi e Romano Benet

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI E SITOGRAFICI

BIBLIOGRAFIA

Acquaotta F., Fratianni S., Garzena D. (2015). Temperature changes in the North-Western Italian Alps from 1961 to 2010. Theoretical and Applied Climatology, 122, Issue 3-4, 619 - 6341. DOI 10.1007/s00704-014-1316-7

Baronetti A., Dubreuil V., Provenzale A., Fratianni S. (2022). Future droughts in northern Italy: high-resolution projections using EURO-CORDEX and MED-CORDEX ensembles. Climatic Change 172, 22. https://doi.org/10.1007/s10584-022-03370-7

Bertoglio et al., 2022 – I ghiacciai del Gran Paradiso. Vol. 1. Ente Parco nazionale Gran Paradiso, 318 pp.

Encyclopedia of Natural Hazard Science. https://doi.org/10.1093/acrefore/9780199389407.013.356

Hallen S., Frey H., Haeberli W., Huggel C., Chiarle M., Geertsema M. (2022) – AssessmentPrinciples for Glacier and Permafrost Hazards in Mountain Regions. Oxford Research

Mercalli L., Cat Berro D., 2005 – Climi, acque e ghiacciai tra Gran Paradiso e Canavese. Ed. SMS, 756 pp.

Mortara G., Viani C., Perona S. (2016). La tendenza alla frammentazione dei corpi glaciali: più ghiacciai ma meno ghiaccio. Nimbus, 76. 85-89. ISSN 1122-4339

Nigrelli G., Chiarle M. (2021) – Evolution of temperature indices in the periglacialenvironment of the EuropeanAlps in the period 1990–2019. Journal of Mountain Science, 18(11), 2842-2853. https://doi.org/10.1007/s11629-021-6889-x.

Nigrelli G., Chiarle M., Merlone A., Coppa G., Musacchio C. (2022) – Rock temperature variability in high-altituderockfall-prone areas. Journal of Mountain Science, 19(3), 798-811. https://doi.org/10.1007/s11629-021-7073-z

Palazzi E. (2019). Il clima è già cambiato. La Ricerca. Loescher Editore.

Smiraglia C., Diolaiuti G. (a cura di), 2015 – Il Nuovo Catasto dei Ghiacciai italiani. EvK2CNR, 400 pp

Viani C., Colombo N., Bollati I.M., Mortara G., Perotti L., Giardino M. (2022). Socio-environmental value of glacier lakes: assessment in the Aosta Valley (Western Italian Alps). Regional Environmental Change 22 (7). https://doi.org/10.1007/s10113-021-01860-5

Zekollari H., Huss M., Farinotti D. (2019). Modelling the future evolution of glaciers in the European Alps under the EURO-CORDEX RCM ensemble. Cryosphere 13, 1125–1146. https:// doi. org/ 10.5194/ tc- 13- 1125-2019

79

SITOGRAFIA

ARPA Valle d'Aosta - "2022, anno horribilis per i ghiacciai alpini:
https://www.arpa.vda.it/it/archivio-news/3864-2022,-annus-horribilis-per-i-ghiacciai-alpini

Campagna di misure di bilancio annuale sui ghiacciai trentini – Report 2022:
https://www.meteotrentino.it/#!/content?menuItemDesktop=176

Catasto on-line dei ghiacciai della Regione Autonoma Valle d'Aosta, Fondazione Montagna Sicura:
http://catastoghiacciai.partout.it/

Catasto on-line CNR-IRPI delle frane:
https://geoclimalp.irpi.cnr.it/catasto-frane/

Nimbus - Bilancio di massa del Ghiacciaio Ciardoney:
http://www.nimbus.it/ghiacciai/2022/220922_CiardoneyBilancio.htm

Nimbus – Ricognizione aerea sui Ghiacciai Alpini del Nordovest:
http://www.nimbus.it/ghiacciai/2022/220914_RicognizioneGhiacciaiAlpiOvest.htm

Parco Nazionale del Gran Paradiso – Bilancio di massa 2021-2022 del Ghiacciaio del Grand Etrét:
https://www.pngp.it/sites/default/files/documenti/campagne%20glaciologiche/Bilancio_GrandEtret%202021-2022.pdf

Parco Nazionale del Gran Paradiso – campagna glaciological 2022:
https://www.pngp.it/sites/default/files/documenti/campagne%20glaciologiche/Sintesi%20Campagna%20Glaciologica_2022.pdf

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.

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.

FRoSTA, partner della Carovana dei Ghiacciai dal 2020, ribadisce il suo impegno per la tutela dell'ambiente grazie alla pluriennale collaborazione con Legambiente da cui nasce il progetto FRoSTA AMICA DELLA NATURA. FRoSTA, è un'azienda che opera nel mercato dei surgelati nella produzione di pesce, piatti pronti e verdure surgelate, che unisce qualità, trasparenza e attenzione all'ambiente. FRoSTA dimostra che esiste #unaltromodoper produrre cibo in maniera del tutto naturale e rispettosa dell'ambiente, grazie alla decisione coraggiosa, fatta nel 2003, di sposare la scelta 100% naturale e l'impatto ambientale come filosofia aziendale. Da azienda di surgelati FRoSTA sa quanto sia importante il freddo nell'equilibrio dell'ambiente e come vada tutelato ogni giorno, per questo l'impegno aziendale è quello di rendere la catena del freddo la più sostenibile possibile, contribuendo a difendere i ghiacciai, utilizzando energia verde, rinunciando alle colture in serre, al trasporto aereo degli ingredienti, innovando con packaging sostenibili. Sul Bilancio di Sostenibilità Sociale ed Ambientale sono presenti 25 nuovi obiettivi per contenere al minimo il suo impatto, tra cui, ad esempio, ridurre ulteriormente del 6% l'impronta di carbonio entro il 2023, raggiungere un risparmio idrico del 5%, e lanciare un progetto di impianto a "emissioni zero".

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.

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.

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