

GIGANTI IN RITIRATA: GLI EFFETTI DELLA CRISI CLIMATICA SUI GHIACCIAI ITALIANI

I casi studio dei Forni e del Miage, tra rischi per l'ecosistema
e per le riserve idriche



Spedizione congiunta di Greenpeace Italia
e Comitato Glaciologico Italiano

GREENPEACE

Comitato
Glaciologico
Italiano

La parte scientifica del presente rapporto è stata elaborata dal Comitato Glaciologico Italiano (CGI).

CAPITOLO I: Ghiacciaio dei Forni, Lombardia (Alta Valtellina, Gruppo Ortles-Cevedale)

Estensori per il Comitato Glaciologico Italiano: *A. Senese, D. Fugazza, C. Smiraglia, M. Parolini & G. Diolaiuti - Dipartimento di Scienze e Politiche Ambientali dell'Università degli Studi di Milano.*

CAPITOLO II: Ghiacciaio del Miage, Valle d'Aosta (Monte Bianco)

Estensori per il Comitato Glaciologico Italiano: *L. Perotti, W. Alberto, F. Parizia & M. Giardino - Dipartimento di Scienze Agrarie Forestali e Alimentari e Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Torino.*

Ottobre 2023



Indice

PREFAZIONE	4
INTRODUZIONE	6
CAPITOLO I: Ghiacciaio dei Forni, Lombardia (Alta Valtellina, Gruppo Ortles-Cevedale)	8
1. L'estate 2023 del Ghiacciaio dei Forni: spedizione congiunta di Greenpeace e CGI	9
2. Inquadramento geografico	13
3. Caratteristiche del Ghiacciaio dei Forni	13
4. Le morfologie attuali	16
5. Dati storici	19
5.1. <i>Variazioni areali</i>	19
5.2. <i>Variazioni frontali</i>	23
5.3. <i>Confronti fotografici multitemporali</i>	24
6. Il darkening o annerimento del Ghiacciaio dei Forni e dei ghiacciai italiani	26
CAPITOLO II: Ghiacciaio del Miage, Valle d'Aosta (Monte Bianco)	30
1. L'estate 2023 del Lago del Miage: spedizione congiunta di Greenpeace e CGI	31
2. Inquadramento geografico	36
3. Caratteristiche del Ghiacciaio del Miage	37
4. Fotografie e panoramiche attuali	41
5. Dati storici	
5.1. <i>Variazioni areali dei ghiacciai del Monte Bianco</i>	44
5.2. <i>Copertura nevosa infrarosso multitemporale delle ultime stagioni per evidenziare accumuli valanghivi</i>	
5.3. <i>Valutazione delle perdite di volume</i>	49
5.4. <i>Valutazione dei volumi di ghiaccio dal 1957 al 2022</i>	51
5.5. <i>Confronti fotografici multitemporali</i>	53

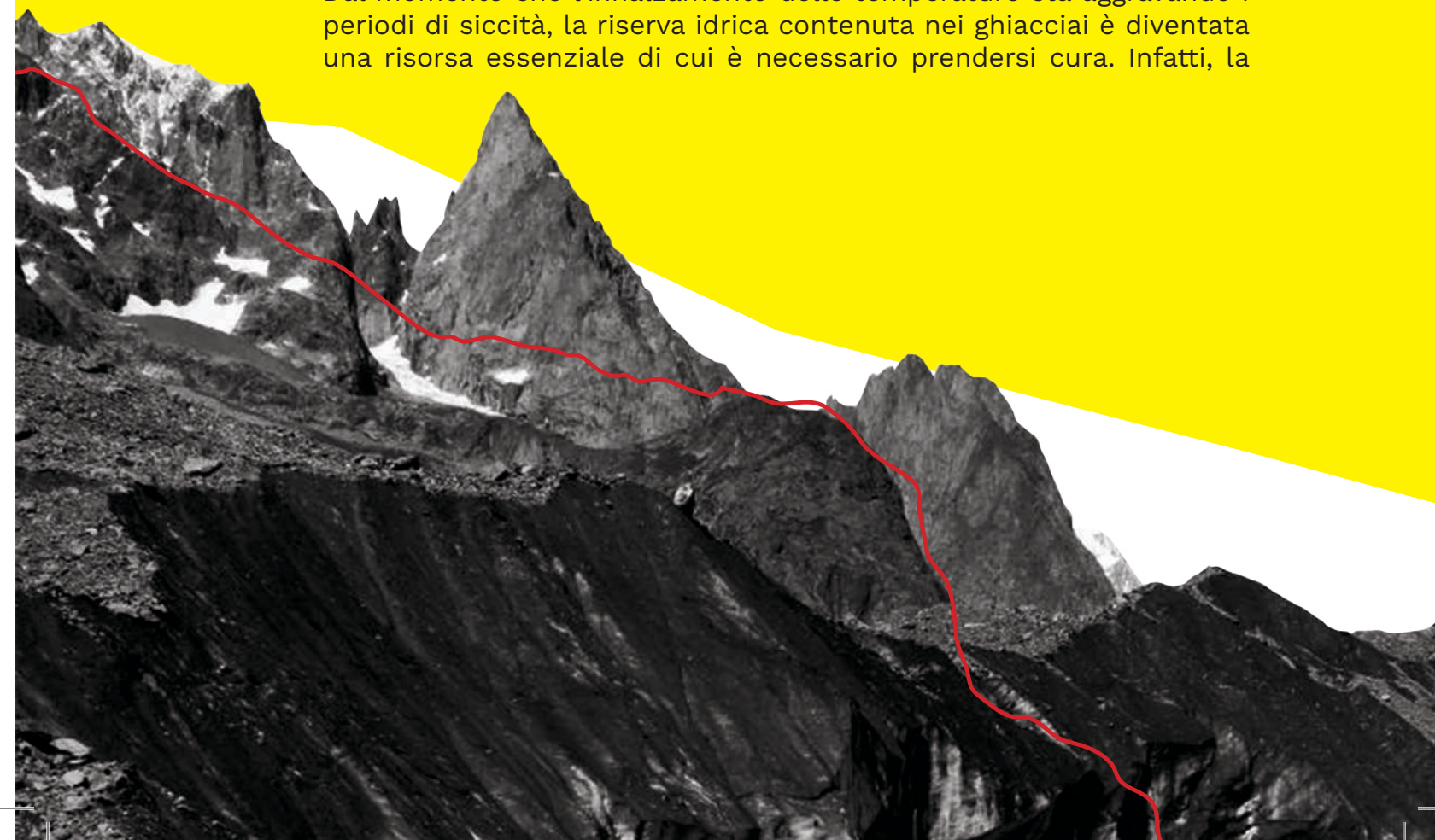
Prefazione

A cura di Federico Spadini, campaigner clima di Greenpeace Italia

Per lungo tempo, le immagini di iceberg alla deriva ed enormi blocchi di ghiaccio che si staccano dalla banchisa nelle regioni polari sono state una delle rappresentazioni più note degli effetti del surriscaldamento globale. La comunità scientifica non ci ha messo molto a dimostrare che fra questi effetti c'era tanto altro: siccità prolungate, uragani e tempeste, alluvioni, ondate di calore e incendi. Fenomeni che da anni sono diventati sempre più gravi e frequenti anche in Italia.

È ormai sotto i nostri occhi: i ghiacciai italiani stanno scomparendo anno dopo anno e a gran velocità, vittime per eccellenza di temperature sempre più alte e precipitazioni irregolari. Vengono spesso definiti “malati terminali” e proprio per questo dobbiamo fare tutto il possibile per tutelarli. Perché proteggere i ghiacciai significa preservare un equilibrio naturale unico che sta scomparendo, ma anche prepararci ad affrontare scenari in cui le risorse idriche saranno sempre più carenti. Inoltre, studiare i ghiacciai permette di raccogliere dati e analisi fondamentali sull'andamento e sugli effetti dei cambiamenti climatici.

Dal momento che l'innalzamento delle temperature sta aggravando i periodi di siccità, la riserva idrica contenuta nei ghiacciai è diventata una risorsa essenziale di cui è necessario prendersi cura. Infatti, la



Prefazione

La fusione dei ghiacciai costituisce un grave allarme per tutta la società, non solo per chi abita a ridosso delle montagne o le vive per piacere, in quanto ghiacciai malati non sono in grado di immagazzinare l'acqua necessaria alla vita di tutti e tutte noi.

Lo studio dello stato di salute di due fra i più rappresentativi ed esemplificativi ghiacciai italiani – quello dei Forni in Lombardia e quello del Miage in Valle d'Aosta –, condotto grazie alla preziosa collaborazione con il Comitato Glaciologico Italiano, ci permette di avere un quadro di come questi giganti di ghiaccio stanno rispondendo alla crisi climatica e di quale è stata la loro evoluzione nel corso dell'ultimo secolo, cioè nel periodo in cui l'innalzamento della temperatura globale ha subito un'ulteriore impennata a causa dell'uso fuori controllo delle fonti fossili.

La scienza ci dice che la crisi climatica è aggravata dall'uso intensivo di petrolio, gas e carbone. Continuare a estrarre e bruciare i combustibili fossili condannerà non solo i ghiacciai, ma tutto il Pianeta e le nostre vite a degli stravolgimenti mai visti. È ora che politica, aziende e media ascoltino l'allarme della scienza invece di incoraggiare il negazionismo, abbandonando le fonti fossili e promuovendo quelle rinnovabili. La montagna ci sta parlando: a noi non resta che ascoltarla e agire.



Introduzione



A cura di Valter Maggi, presidente del Comitato Glaciologico Italiano (CGI) e professore presso il Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e della Terra dell'Università Bicocca di Milano e di Marco Giardino, vice presidente del CGI e professore presso il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Torino

Il Comitato Glaciologico Italiano (CGI) sin dal 1895 ha come compito il monitoraggio dello stato dei ghiacciai italiani, l'osservazione della loro evoluzione e la comprensione delle cause della trasformazione degli ambienti glaciali.

A tal proposito, il CGI coordina a livello nazionale le campagne glaciologiche annuali, svoltesi con regolarità sin dal 1911, le quali hanno consentito di raccogliere una delle più lunghe serie di osservazioni delle variazioni frontali esistenti al mondo, supportate da una enorme mole di dati relativi alla morfologia glaciale e una preziosissima documentazione fotografica. Attualmente, circa 120 ghiacciai campione vengono controllati ogni anno dai volontari CGI anche in collaborazione con altre associazioni di operatori glaciologici.

Le informazioni raccolte durante le campagne glaciologiche vengono fornite annualmente al sistema di monitoraggio dei ghiacciai a livello mondiale del "World Glacier Monitoring Service" creato dell'UNESCO e dalla Organizzazione meteorologica mondiale (WMO) e contribuiscono anche alle attività di verifica degli effetti dei cambiamenti ambientali indotti dal riscaldamento climatico svolte dall'International Panel on Climate Change (IPCC).

Il CGI dal 1914 pubblica il Bollettino del Comitato Glaciologico Italiano, punto di riferimento per gli studi glaciologici in Italia. Il periodico dal 1978 ha assunto la denominazione di "Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria" e da 20 anni è stato incluso nel Thomson Reuters Web of Knowledge: un indubbio riconoscimento del valore internazionale della rivista.

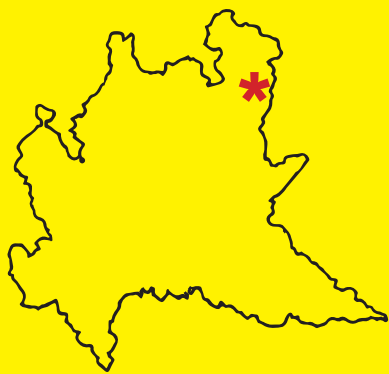
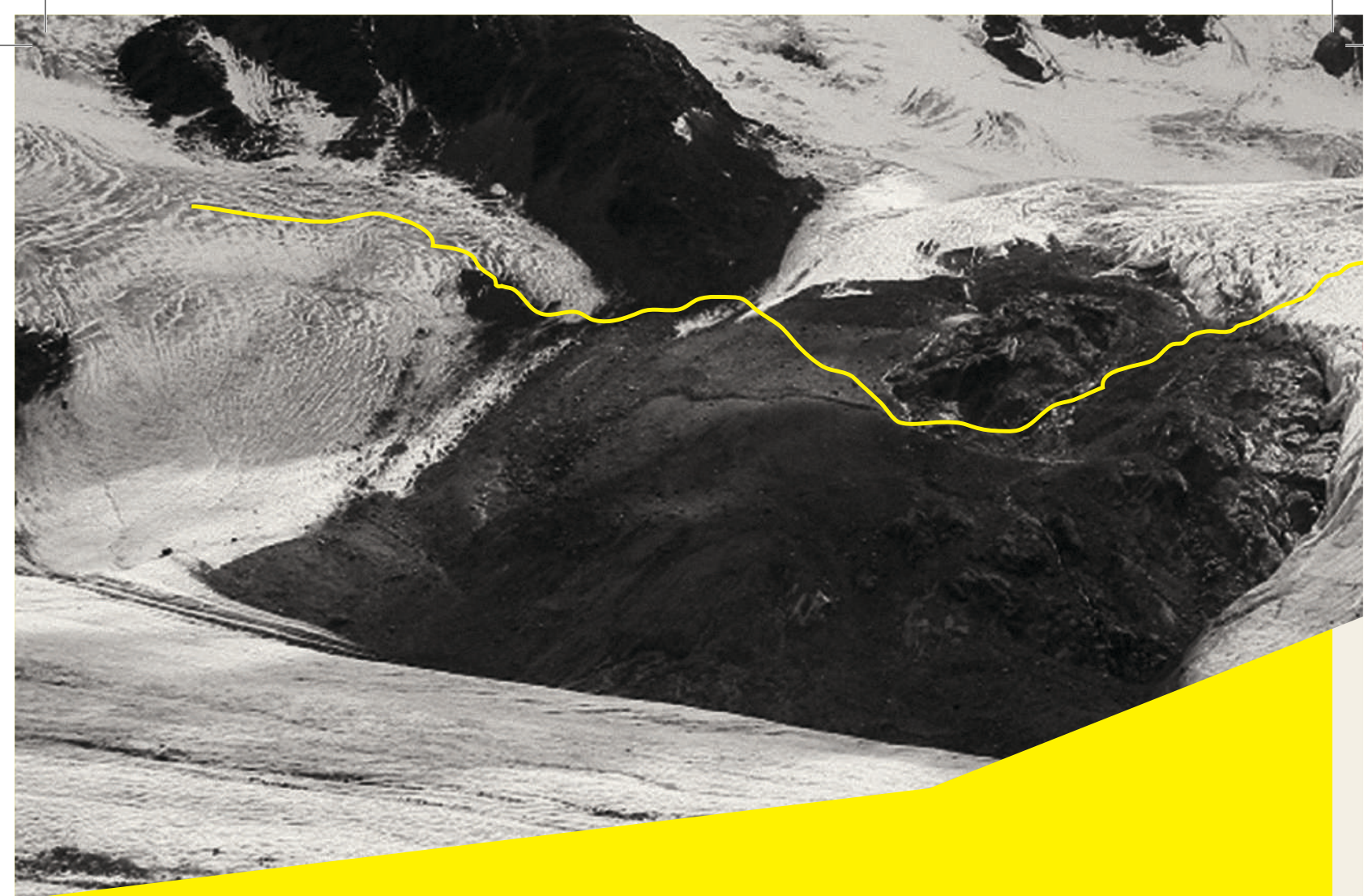
In Italia sono presenti 903 ghiacciai, così come catalogati nel catasto dei ghiacciai italiani del 2015 (CGI/Nextdata). Il dati del CGI permet-

tono però di osservarne la variazione numerica e areale su un arco di tempo di oltre 70 anni; infatti, sono stati realizzati una serie di catasti glaciologici che, a partire dagli anni 50, coprono per intero, o in parte, il patrimonio glaciale del Paese.

In effetti è stato osservato che nel corso dell'ultimo secolo, i ghiacciai delle Alpi hanno subito una perdita di oltre il 50% della loro estensione, e di questa percentuale, circa il 70% è andato perduto nei più recenti 30 anni.

Questa tendenza sembra accelerare negli ultimi 15 anni, anche se con variazioni di modalità e velocità in diversi settori delle Alpi monitorati. Un altro aspetto significativo è la frammentazione dei ghiacciai, che stanno passando da un corpo glaciale unico a molte parti separate. Le ultime tre campagne glaciologiche (2021, 2022 e 2023) hanno confermato la tendenza trentennale di notevole contrazione dei ghiacciai nel nostro paese, con un massimo di ritiro delle fronti glaciali raggiunto nel 2022, chiamato non per niente "l'annus horribilis" dei ghiacciai.

In un contesto di crisi ambientale generalizzata, legata agli impatti delle attività umane sul sistema climatico del nostro Pianeta, si inserisce la collaborazione tra il Comitato Glaciologico Italiano e Greenpeace Italia che ha lo scopo di svolgere attività scientifiche comuni e sottolineare come le modificazioni globali stiano impattando i ghiacciai italiani. La scelta che è stata fatta è quella di verificare sperimentalmente e in modo diretto il comportamento di due ghiacciai simbolo: Il Ghiacciaio del Miage e il Ghiacciaio dei Forni. La verifica sul terreno, attività svolta dagli operatori del Comitato Glaciologico Italiano insieme a ricercatori scelti da Greenpeace Italia, ha permesso di toccare con mano gli effetti dei cambiamenti in atto e di raccogliere una serie di dati attraverso diverse tecnologie di monitoraggio. Le elaborazioni dei dati presentate in questo report consentono di descrivere non solo lo stato presente di questi due ghiacciai, ma anche di definirne le tendenze evolutive e individuare importanti relazioni fra la criosfera e altre matrici ambientali.



CAPITOLO I

Ghiacciaio dei Forni, Lombardia (Alta Valtellina, Gruppo Ortles-Cevedale)

1. L'estate 2023 del Ghiacciaio dei Forni: spedizione congiunta di Greenpeace e CGI

Il Ghiacciaio dei Forni viene monitorato da molti anni non solo grazie a misure manuali (es. variazioni frontali) o al telerilevamento (es. droni e satelliti), ma anche grazie a due stazioni meteorologiche automatiche installate sulla sua superficie, di cui una operativa dal 2005 (la prima a essere installata su un ghiacciaio in Italia, AWS1 Forni) e l'altra dal 2014 (AWS Forni SPICE) (Citterio et al., 2007; Diolaiuti et al., 2009).



Foto 1. Le due stazioni meteorologiche automatiche installate sulla superficie del Ghiacciaio dei Forni

Queste stazioni rappresentano un valido supporto per quantificare i tassi di fusione di neve e ghiaccio. Per esempio, i dati meteo e i flussi energetici misurati alla superficie del Ghiacciaio dei Forni hanno permesso di calcolare una perdita di spessore di più di 20 metri in soli 4 anni dal 2006 al 2009 (Senese et al., 2012) e di quasi 40 metri considerando anche gli anni fino al 2012 (Senese et al., 2014).

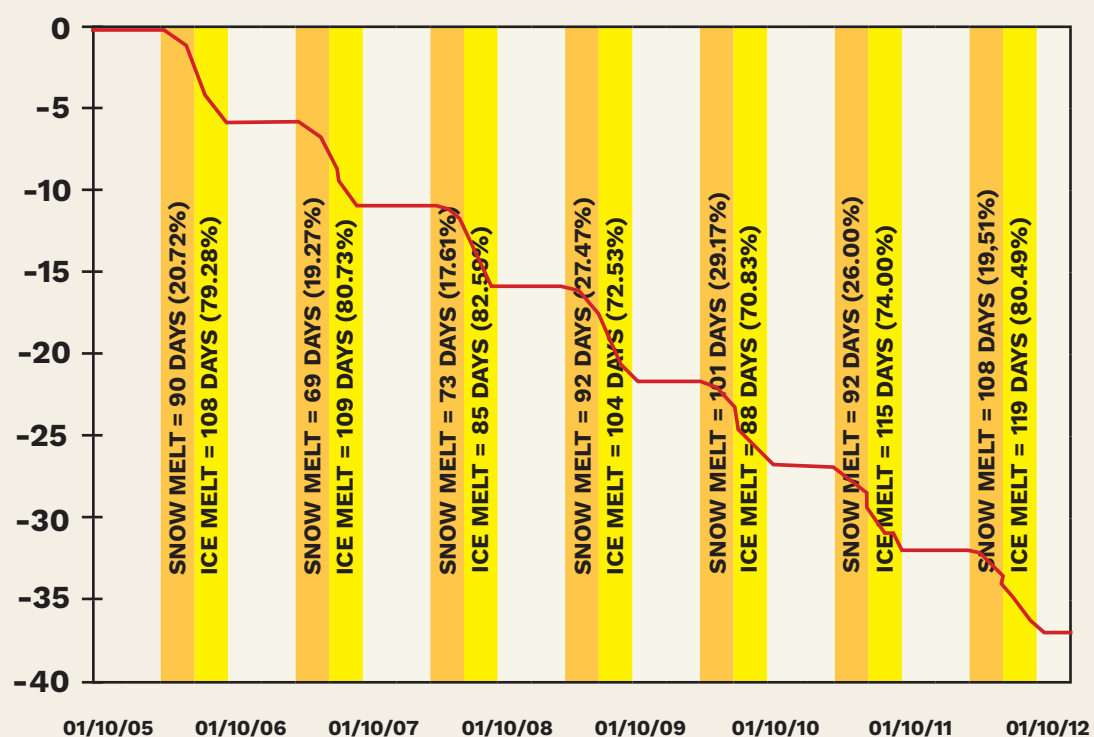


Grafico illustrante la perdita di spessore di neve e ghiaccio dal 2006 al 2012 calcolati grazie all'applicazione del modello di bilancio energetico con i dati meteorologici e radiativi acquisiti dalla stazione meteorologica automatica installata sulla superficie del Ghiacciaio dei Forni (Senese et al., 2014).

Questo trend di riduzione dello spessore è stato quantificato grazie all'applicazione di un modello fisicamente basato chiamato "bilancio energetico superficiale", il quale permette di determinare la quantità di energia netta alla superficie. Quando il bilancio è positivo, l'energia viene impiegata all'inizio per innalzare la temperatura della superficie del ghiacciaio sino al punto di fusione (pari a 0°C) e, una volta raggiunto questo valore, viene spesa per la fusione di neve e ghiaccio. Nel bilancio energetico superficiale non intervengono esclusivamente

processi radiativi (provenienti dal Sole o dalla Terra), ma entrano in gioco anche flussi di energia per conduzione e convezione di calore ed umidità attraverso il movimento di fluidi. Esso dipende dall'insolazione, dalle caratteristiche della superficie e dell'atmosfera. La stazione meteorologica automatica installata sulla superficie del Ghiacciaio dei Forni acquisisce a scala suboraria tutti questi parametri. Nonostante la lunga tradizione italiana in campo glaciologico, dati meteorologici e flussi di radiazione, misurati direttamente alla superficie d'ablazione di un ghiacciaio, non sono stati disponibili fino all'installazione della prima stazione meteorologica automatica permanente italiana collocata sul Ghiacciaio dei Forni. Prima di questa, tutte le altre stazioni italiane in alta quota erano localizzate su rocce emergenti ("isole perse" o nunatak) o presso rifugi e bivacchi di alta quota.

Nell'estate 2023 sul Ghiacciaio dei Forni sono state localizzate 18 paline ablatometriche per quantificare la fusione alle diverse quote con differente copertura detritica (da nulla a sparsa a abbondante). Le paline sono state localizzate in luglio con trivella manuale e mantenute sino all'inizio di settembre.



Foto 2. Un'immagine scattata nell'estate 2023 sul Ghiacciaio dei Forni durante lo svolgimento delle attività glaciologiche (foto Diolaiuti).

L'albedo o riflettività delle diverse aree monitorate è risultata variabile tra 0.22 (con ghiaccio pulito) e 0.03 (con ghiaccio completamente coperto da detrito). Il valore medio di albedo è pari a 0.14.



Foto 3 e 4. Esempio di superfici glaciali con assenza di copertura detritica (a sinistra) e completamente coperta da detrito (a destra).

Le misure effettuate hanno permesso di evidenziare una fusione media 6.5cm/giorno dove il ghiaccio era pulito con albedo 0.22 e di 7.6cm/giorno dove il ghiaccio risultava coperto da detrito fine e sparso con albedo 0.14. E' interessante sottolineare che durante il periodo 16 agosto-24 agosto 2023 quando lo zero termico è stato per più giorni sopra i 5000 m slm sulla maggior parte della catena alpina i tassi di fusione della lingua hanno raggiunto i 9cm/giorno con un incremento del 20 % circa.

Per comprendere se questo valore è in linea con la recente situazione del ghiacciaio possiamo confrontare questo dato con i valori di fusione di neve e ghiaccio degli anni scorsi. Il confronto con i dati precedenti, ottenuti dalla stazione meteo sopragliaciale che rappresenta il più lungo record italiano di monitoraggio meteo glaciologico, evidenziano che i dati del 2023 sono superiori mediamente del 15% rispetto alla fusione stagionale misurata e calcolata negli anni precedenti.

Un incremento così importante unito alla frammentazione del ghiacciaio, all'aumento delle finestre rocciose emergenti e della copertura detritica sopragliaciale suggerisce che entro il prossimo decennio il ghiacciaio possa radicalmente modificarsi arrivando a perdere la continuità della lingua ablativa con il corpo centrale.

2. Inquadramento geografico

Già denominato, fino alla metà del secolo scorso, Ghiacciaio del Forno, è situato sul versante lombardo (Alta Valtellina) del gruppo montuoso Ortles-Cevedale, ai piedi della sequenza di vette tutte superiori ai 3500 m che, dal Pizzo Tresero al Palon de la Mare, lo racchiudono con un grandioso semicerchio (“Le 13 cime”). È (o meglio era) uno dei maggiori ghiacciai italiani, secondo per estensione solo al Ghiacciaio dell’Adamello. Si trova all’interno del Parco Nazionale dello Stelvio ed è inserito nel SIC (Sito di Interesse Comunitario), denominato “Valle e Ghiacciaio dei Forni-Val Cedec-Gran Zebrù”.



Foto 5. Il Ghiacciaio dei Forni a luglio 2023, visto da sopra la Malga dei Forni. Appare netta sulla sinistra la separazione della colata orientale (foto C. Smiraglia).



Foto 6. Il Ghiacciaio dei Forni ad agosto 2023. Al centro la Cima Cadini, a destra le propaggini del San Matteo. Il ghiacciaio appare praticamente privo di alimentazione invernale (foto Lorenzo Moscia /Greenpeace).

3. Caratteristiche del Ghiacciaio dei Forni

Il Ghiacciaio dei Forni, già classificabile come ghiacciaio “vallivo a bacini composti o confluenti”, era costituito da tre bacini collettori dai quali scendevano altrettante colate, che con imponenti cascate di ghiaccio (“seraccate”) confluivano, formando un’unica lingua valliva. Era un grandioso e articolato sistema glaciale che verso la metà dell’Ottocento (al massimo della Piccola Età Glaciale) copriva circa 19 km². Da allora la lingua, pur con brevi fasi di ripresa, è arretrata di oltre 2 km, con un regresso sempre più accelerato, che ha visto in anni recenti sia il vero e proprio collasso del settore inferiore, sia la frammentazione

delle colate provenienti dai bacini superiori. Tutto ciò ha portato nel 2015 alla separazione dalla lingua principale dei due grandi bacini prima confluenti da est e da ovest. Il ghiacciaio ha quindi perso la sua struttura unitaria e si è trasformato in un ghiacciaio centrale vallivo e in due ghiacciai laterali di circo. Il fenomeno sta ulteriormente accelerando; nella fascia più ripida della colata centrale si sono infatti aperte “finestre” rocciose in costante ampliamento, che nell’arco di pochi anni provocheranno la frammentazione anche di quest’ultima colata.

SCHEDA SINTETICA GHIACCIAIO	
Numero Catasto C.G.I.	5071
Tipo Ghiacciaio	Vallivo
Forma	Bacini composti
Alimentazione	Diretta, valanghe
Esposizione	Nord
Superficie	10,5 km ²
Quota max bacino	3678 m
Quota max	3639 m
Quota min	2515 m
Lunghezza Massima	3135 m
Inclinazione media	20°
Attività	Forte regresso

Nota: i dati della tabella sono riferiti al 2015 quando il ghiacciaio costituiva ancora una struttura unitaria



Foto 7. Settore orientale del Ghiacciaio dei Forni, agosto 2023. Dal 2015 la colata orientale è risalita sul ripido salto roccioso ben visibile nella foto, dove si affaccia solo con una breve lingua, nettamente separata dalla colata centrale (foto C. Smiraglia).



Foto 8. Colata centrale del Ghiacciaio dei Forni, agosto 2023. La superficie è ricoperta in parte da detrito minuto o poco grossolano, che non forma una copertura continua e quindi amplifica la fusione. Sul settore più ripido che collega il bacino superiore con la lingua, le "finestre" di roccia si stanno sempre più ampliando, fenomeno che nell'arco di pochi anni porterà all'ulteriore frammentazione della colata (foto C. Smiraglia).

► 4. Le morfologie attuali

Negli ultimi anni il Ghiacciaio dei Forni ha visto una grande accelerazione dei processi che ne stanno riducendo le dimensioni e che stanno provocando un'imponente trasformazione delle sue caratteristiche morfologiche e dell'intero paesaggio di questo settore dell'alta Valtellina. In particolare, va sottolineata l'"amputazione" delle due colate orientale e occidentale già confluenti nella colata centrale. A questo si aggiungono le grandi frane di roccia e ghiaccio che si verificano continuamente sui versanti più ripidi del ghiacciaio, in particolare sulle pareti circostanti, che creano un notevole rischio per escursionisti ed alpinisti. Frammentazione e riduzioni di lunghezza e di superficie avvengono ormai prevalentemente per i crolli di vasti settori del ghiacciaio, dove le acque di fusione operano un'intensa azione di erosione. In tal modo si misurano a fine estate arretramenti del ghiacciaio non più di metri o decine di metri, come avveniva in passato, ma anche di centinaia di metri.



Foto 9. Bacino orientale dei Forni, agosto 2023. Questo settore, che attualmente può considerarsi un ghiacciaio del tutto autonomo (Ghiacciaio dei Forni Orientale), copre un vasto insieme di circhi al di sotto della cresta che va dalla Cima di Peio al Palon de la Mare e si affaccia su una vasta serie di placche rocciose abbandonate da meno di un decennio (foto C. Smiraglia).

Capitolo I - Ghiacciaio dei Forni



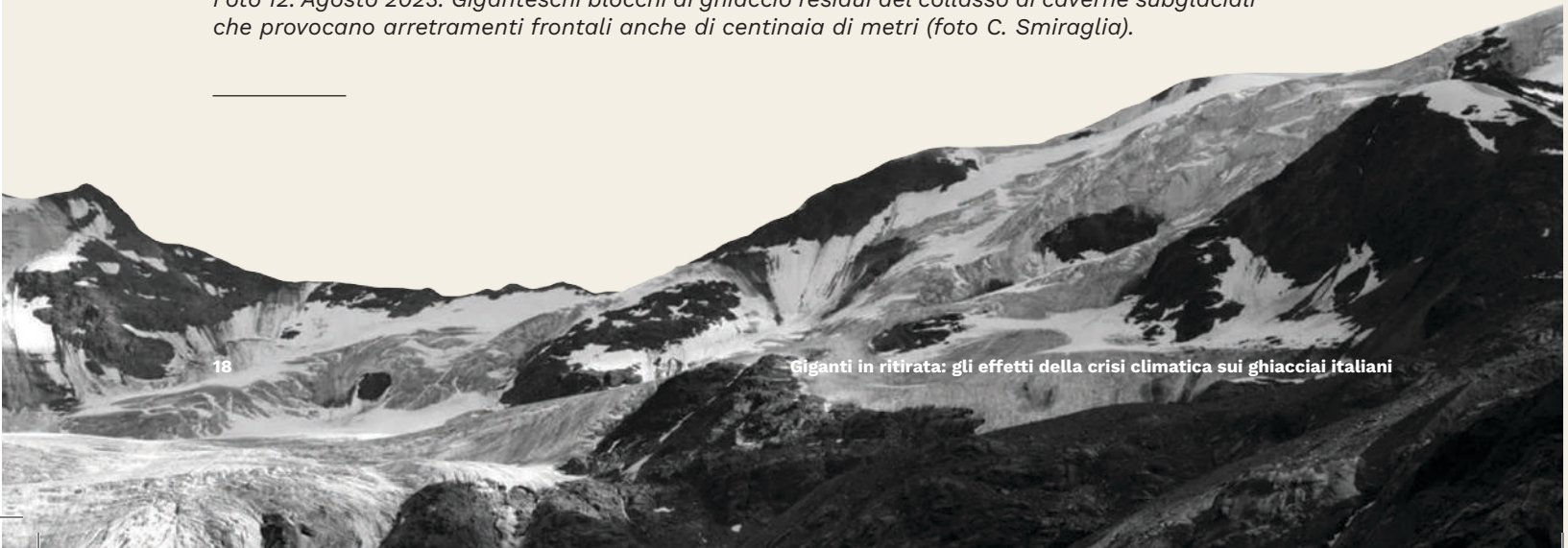
Foto 10. Il settore centrale del Ghiacciaio dei Forni è sovrastato dalla cima del San Matteo (3678 m), la cui copertura glaciale è notevolmente ridotta. Questo fenomeno ha di fatto reso impercorribile una famosa “parete nord”, già ricercata meta alpinistica. La fascia privata dal ghiaccio genera continui crolli di massi ed intere frane che percorrono buona parte del ghiacciaio; quella visibile nella foto si è verificata nell’inverno 2022 (foto C. Smiraglia).

Foto 11. La fronte del Ghiacciaio dei Forni ad agosto 2023. Il regresso della fronte del ghiacciaio non avviene, come precedentemente, solo per fusione, ma soprattutto per collasso di cavità anche gigantesche, generate dalle enormi portate del torrente subglaciale (foto C. Smiraglia).





Foto 12. Agosto 2023. Giganteschi blocchi di ghiaccio residui del collasso di caverne subglaciali che provocano arretramenti frontali anche di centinaia di metri (foto C. Smiraglia).



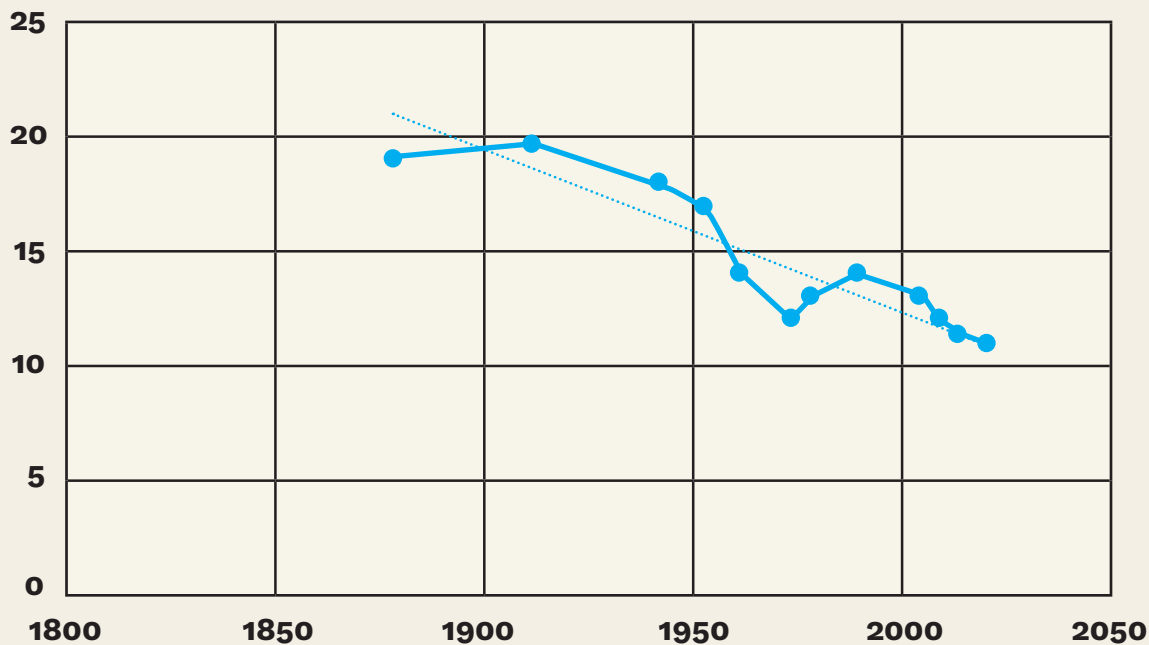
5. Dati storici



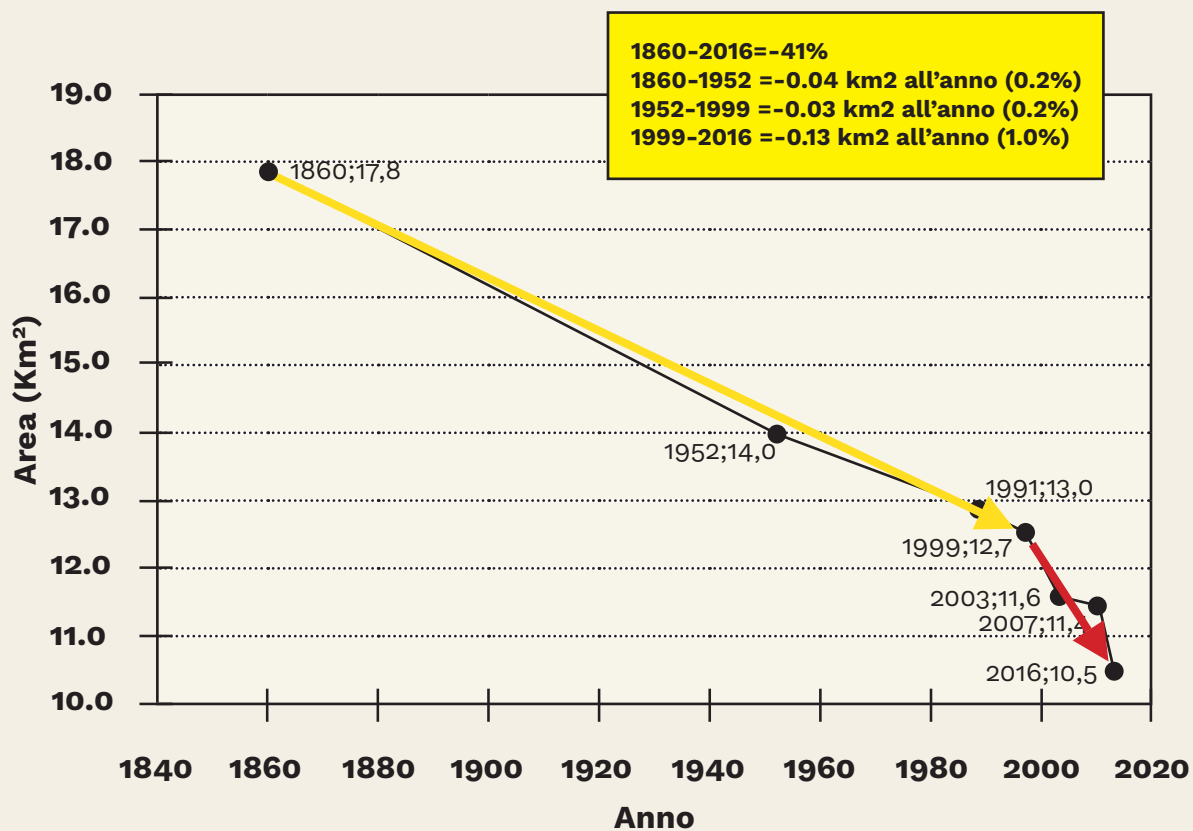
5.1. Variazioni areali

La superficie del ghiacciaio ha subito una forte contrazione e frammentazione negli ultimi 150 anni. I dati disponibili derivano dalla cartografia storica e dagli studi di molti ricercatori che hanno prodotto nel tempo ortofotocarte e cartografia tematica. La contrazione totale dal 1867 al 2017 è pari a circa 8,5 km² ovvero al 45% della superficie ricoperta a metà '800. La riduzione è inoltre di intensità sempre maggiore come evidenzia il grafico sotto proposto.

Anno	Area km ²	Fonte
1867	18,99	Payer
1879	19,58	Pogliaghi
1908	17,35	Desio
1942	16,05	Desio
1954	14,08	D'Agata et al.2014
1961	12,71	Desio
1975	13,24	WGI
1981	13,66	D'Agata et al. 2014
1990	12,90	D'Agata et al. 2014
2003	12,11	D'Agata et al. 2014
2007	11,34	NCGI
2012	11,10	CGI-SGI
2016	10,49	Paul et al., 2020

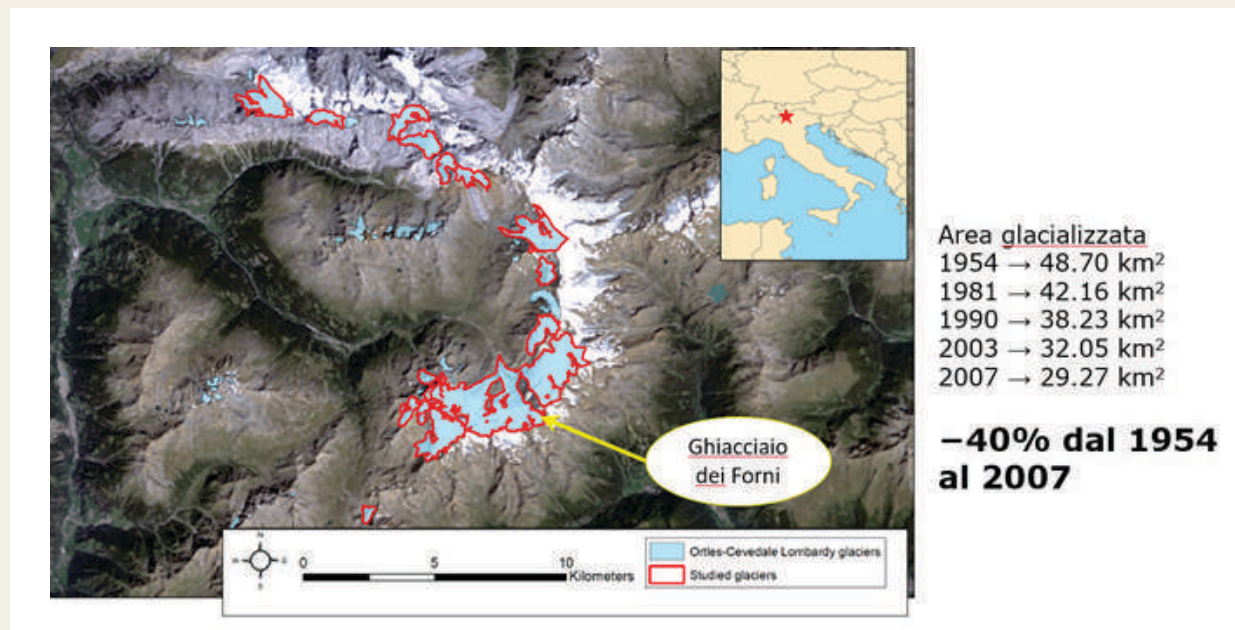


Superficie del GHIACCIAIO DEI FORNI (in Km2) dal 1867.

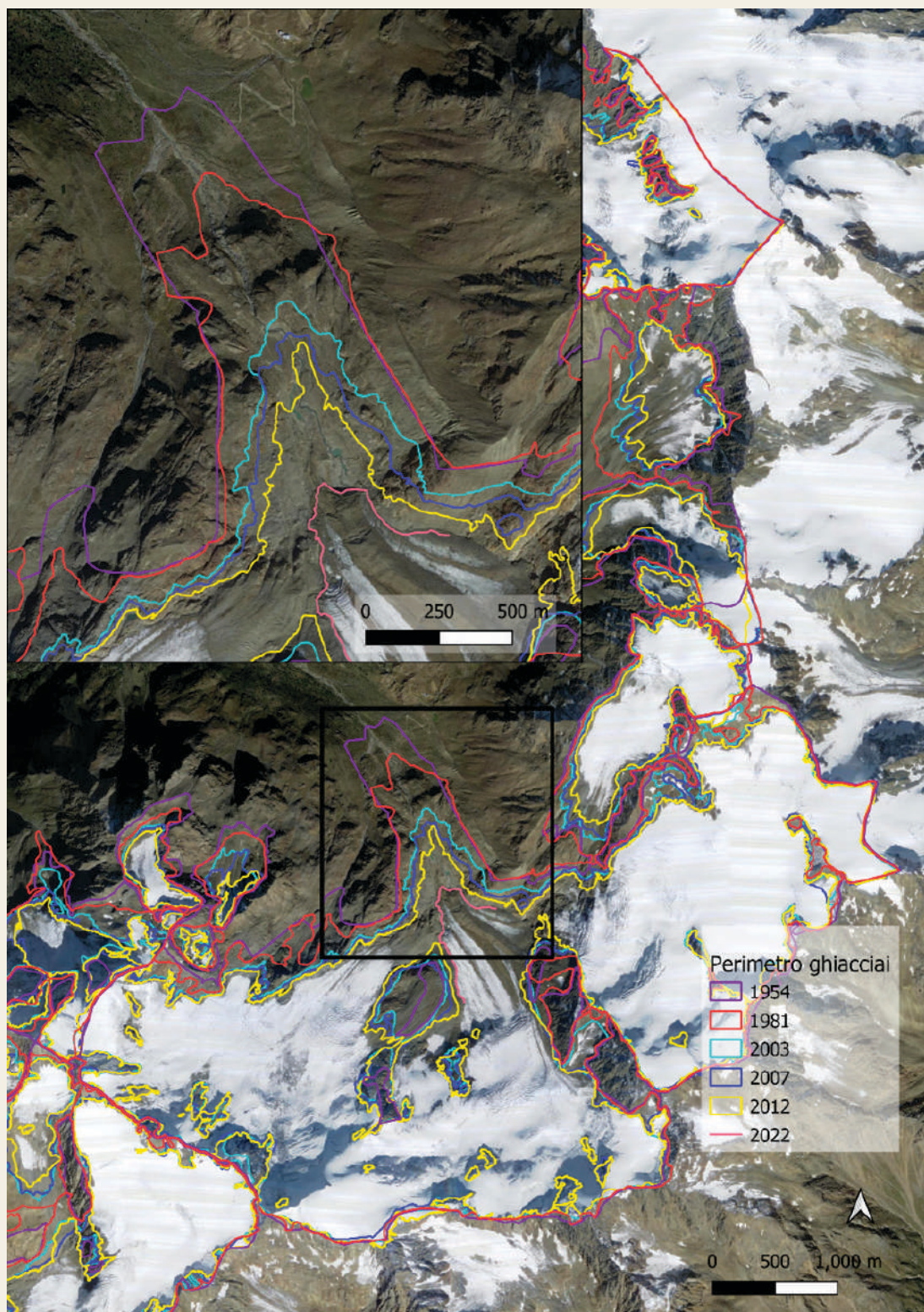


Variazioni dell'intensità della contrazione glaciale dei Forni. Negli ultimi anni si assiste ad un'accelerazione del regresso.

Se consideriamo tutti i ghiacciai presenti all'interno del Parco Nazionale dello Stelvio (circa 40 apparati) la riduzione è ancora più intensa e il 40% di superficie è perso nell'intervallo 1954-2007. I ghiacciai più piccoli sono infatti più rapidi nel rispondere ai cambiamenti climatici.



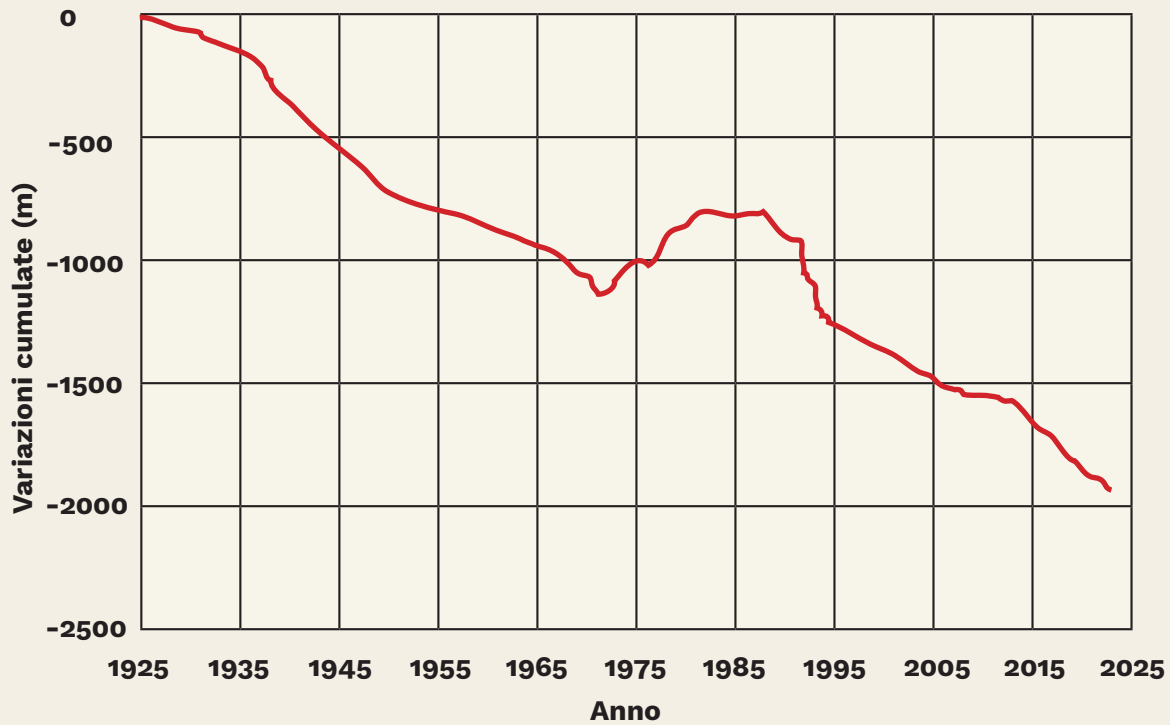
Variazioni areali di tutti i ghiacciai del PNS dal 1954 al 2007.



Confronto dei perimetri del Ghiacciaio dei Forni dal 1954 al 2016. È evidente sia la forte contrazione areale che la frammentazione dell'apparato. È riportata anche la posizione della fronte da rilievo con drone del 2022 (Belloni et al., 2022).

5.2. Variazioni frontali

Le variazioni frontali del ghiacciaio dei Forni negli ultimi 150 anni assommano a oltre 2 km lineari. I dati sono stati raccolti dagli operai volontari del Comitato Glaciologico italiano e sono stati pubblicati sulla rivista del Comitato oggi denominata Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria.



Variazioni Frontali cumulate del Ghiacciaio dei Forni (dati CGI).

5.3. Confronti fotografici multitemporali



1890

Foto 13. (foto di V. Sella-Archivio CGI)



2023

Foto 14. (foto di Lorenzo Moscia-Greenpeace)



1947

Foto 15. (foto di A. Desio-Archivio CGI)



2018

Foto 16. (foto di C. Smiraglia)



Foto 17. La stella azzurra indica la posizione della fronte del ghiacciaio che scende fin poco sotto il ciglio roccioso ben visibile dal Rifugio Branca. Il cerchio rosso localizza formazioni rocciose utili per il confronto fra le due foto. (foto di S. Belloni-Archivio CGI).



Foto 18. La fronte è risalita ben oltre il salto roccioso (foto di C. Smiraglia).



Foto 19. Il Ghiacciaio dei Forni durante la fase di espansione del 1970-1985. La lingua scende fin nel pianoro al di sotto del Rifugio Branca. Il cerchio rosso evidenzia le stesse formazioni rocciose delle foto precedenti (foto C. Smiraglia).



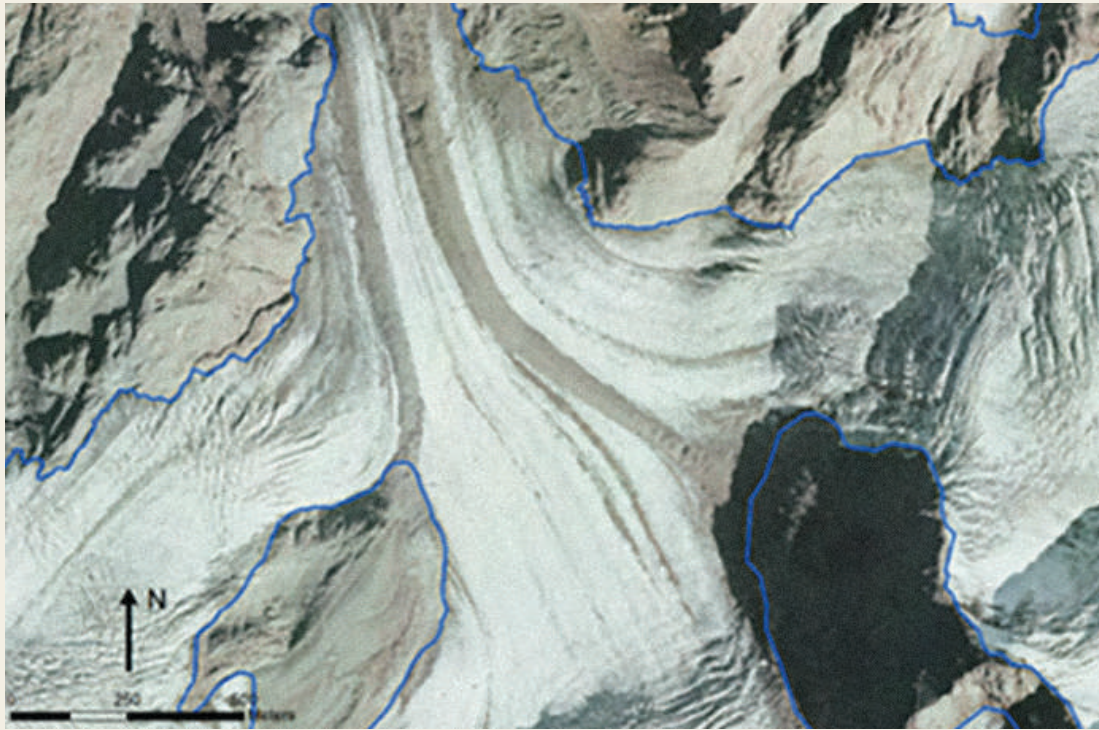
Foto 20. Il Ghiacciaio dei Forni durante l'attuale fase di regresso. La fronte è risalita ben oltre il salto roccioso visibile dal Rifugio Branca. Il cerchio rosso evidenzia le stesse formazioni rocciose delle foto precedenti (foto C. Smiraglia).

► **6. Il darkening o annerimento del Ghiacciaio dei Forni e dei ghiacciai italiani**

Il ghiacciaio dei Forni, come moltissimi altri ghiacciai italiani, non sta solo riducendo le sue dimensioni, sta anche cambiando il suo aspetto, la sua superficie, la sua “pelle”. È ormai impossibile riconoscere nei ghiacciai montani la “dimora delle nevi”, l’ambiente candido e immacolato dei vecchi racconti alpinistici. Il ghiaccio oggi non appare bianco e cristallino ma è invece ad ampi tratti marrone e grigiastro. Il ghiaccio glaciale è sempre più scuro per la presenza di polveri, detrito e impurità che si depositano alla superficie e ne limitano il candore. La stazione meteorologica galleggiante posta sul ghiacciaio dei Forni e attiva dal 2005 misura anche la radiazione solare incidente e riflessa alla superficie del ghiacciaio. I dati acquisiti fanno riflettere. Meno del 15% della radiazione solare viene oggi riflessa dalla superficie glaciale. Questo vuol dire che l’85% della radiazione solare è assorbita dal ghiaccio e concorre alla sua fusione! Valori così elevati non si trovano nei manuali di glaciologia pubblicati fino al 2010! Cosa è successo al Ghiacciaio dei Forni e agli altri ghiacciai montani? Questi dati testimoniano un fenomeno conosciuto come “darkening” o annerimento dei ghiacciai, un processo sempre più intenso e diffuso sia per cause naturali (i frammenti di detrito che cadono dalle pareti rocciose incassanti) che per cause antropiche (il particolato o black carbon derivante dalla combustione dei motori diesel senza FAP, dagli incendi boschivi e dalle attività industriali di pianura). Questo annerimento è ben visibile sia confrontando fotografie a distanza di qualche anno sia osservando la Terra dallo spazio grazie al telerilevamento. Utilizzando immagini acquisite da satelliti Landsat tra il 1987 e il 2012, messe gratuitamente a disposizione dalla NASA, UNIMI ESP (Fugazza et al; 2019) ha verificato che l’annerimento dei ghiacciai è un fenomeno concreto e in atto e che interessa quasi tutti i 40 ghiacciai del Parco Nazionale dello Stelvio, seppure con diversa intensità. I ghiacciai in questo modo diventano non solo sempre più grigi ma sono anche più fragili. Infatti, via via che si scuriscono assorbono sempre più radiazione solare e fondono sempre più velocemente.



*Foto 21 e 22.
Due immagini del settore
superiore del ghiacciaio
dei Forni scattate
a 3 anni di distanza.
L'annerimento è evidente.*



Due ortofoto del Ghiacciaio dei Forni a 4 anni di distanza. E' evidente l'annerimento della lingua.

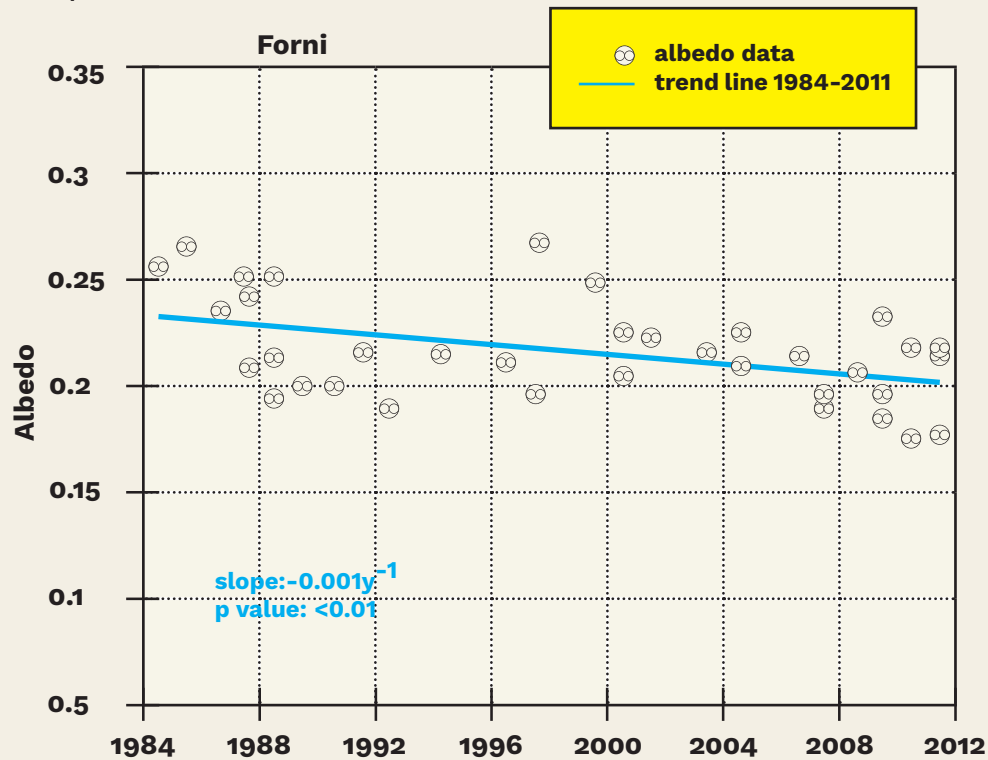
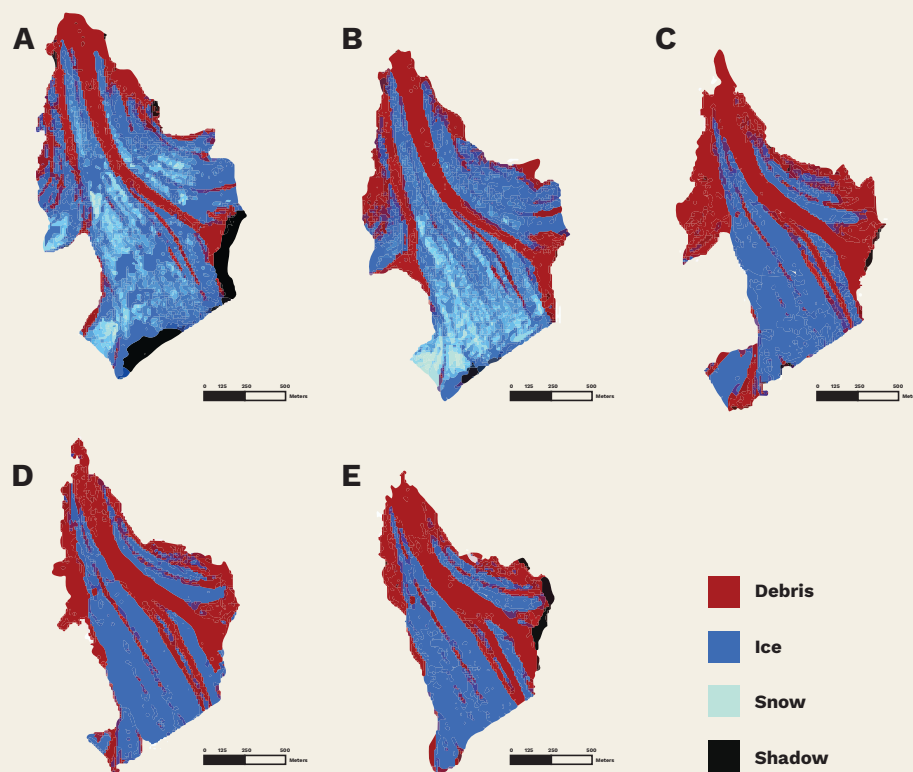
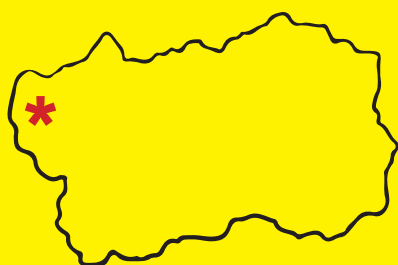


Grafico illustrante la riduzione di riflettività del ghiacciaio dei Forni dal 1984 al 2012 ottenuto grazie ai dati di riflettanza di immagini Landsat elaborate da UNIMI ESP (Fugazza et al; 2019).



Aumento della copertura detritica (in bordò) sulla lingua del ghiacciaio dei Forni dal 2003 (a) al 2007 (b), 2012 (c), 2014 (d) e 2015 (e). I dati provengono da analisi di ortofoto aeree elaborate da UNIMI ESP (Azzoni et al., 2018). Foto scattate nell'estate 2023 sul Ghiacciaio dei Forni durante lo svolgimento delle attività per la quantificazione della contaminazione da microplastiche (foto Diolaiuti).



CAPITOLO II

Ghiacciaio del Miage, Valle d'Aosta (Monte Bianco)



1. L'estate 2023 del Lago del Miage: spedizione congiunta di Greenpeace e CGI

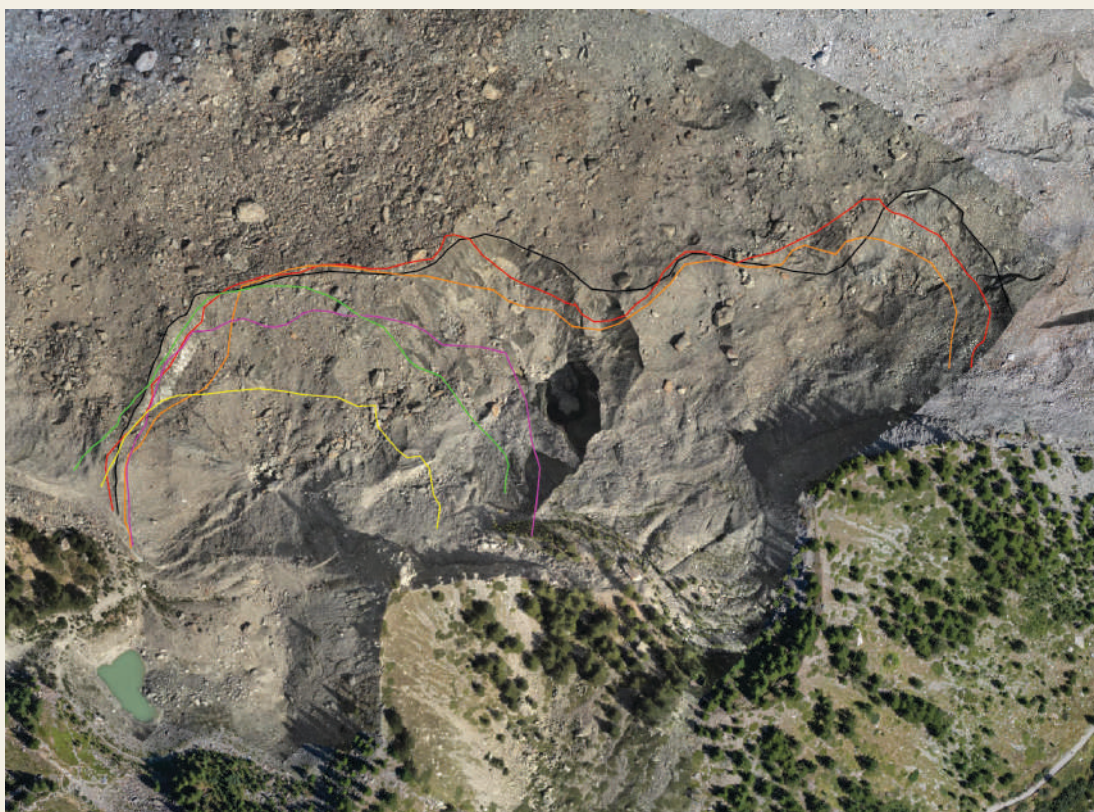


Figura 1. Trasformazione dal 1999 della falesia di ghiaccio che delimita il bacino del lago. Con la linea azzurra è indicata la linea di morena laterale destra che contiene l'area del bacino. Come si può notare l'area dell'invaso è in continua crescita.

Volume acqua perso area lago (0,1 km²) al 2023

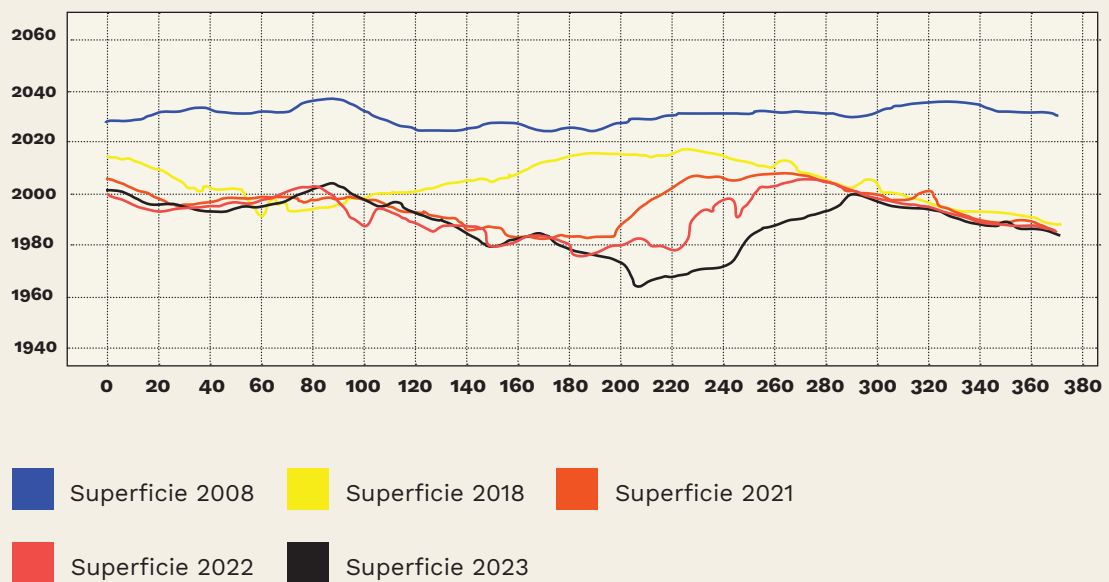
1.1 miliardi litri – 2023-2018

0.8 miliardi litri – 2022-2018

0.5 miliardi litri – 2021-2018



Figura 2 con Sezione. Nella figura in alto è possibile vedere una sezione longitudinale della zona del lago. In basso nella sezione sono indicati gli stage temporali da cui è possibile notare l'abbassamento della superficie del ghiacciaio e il relativo aumento di volume di invaso.



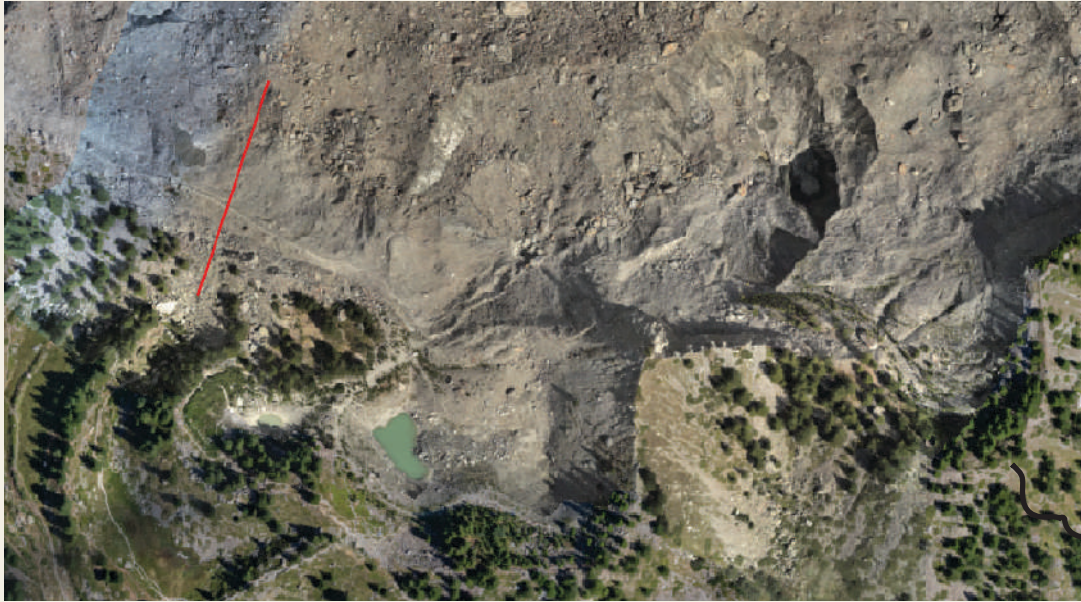
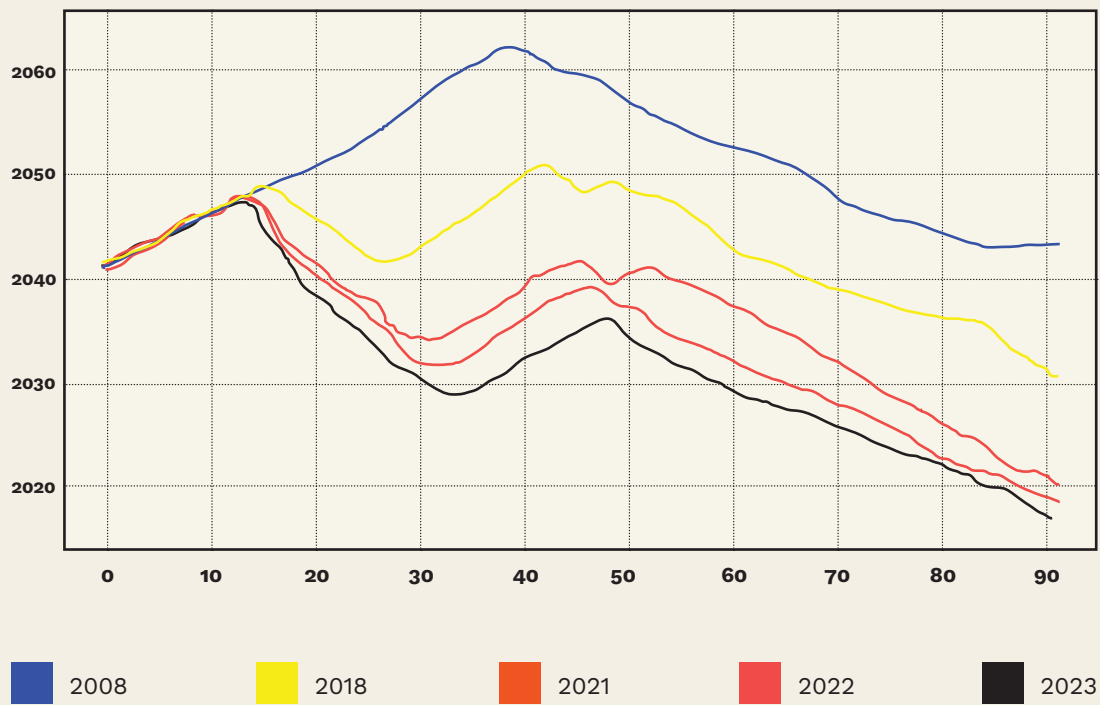


Figura 3 con Sezione. Nella figura in alto è possibile vedere una sezione trasversale a monte del lago. In basso nella sezione sono indicati gli stage temporali da cui è possibile notare l'abbassamento della superficie del ghiacciaio rispetto alla morena laterale visibile a sinistra della sezione.



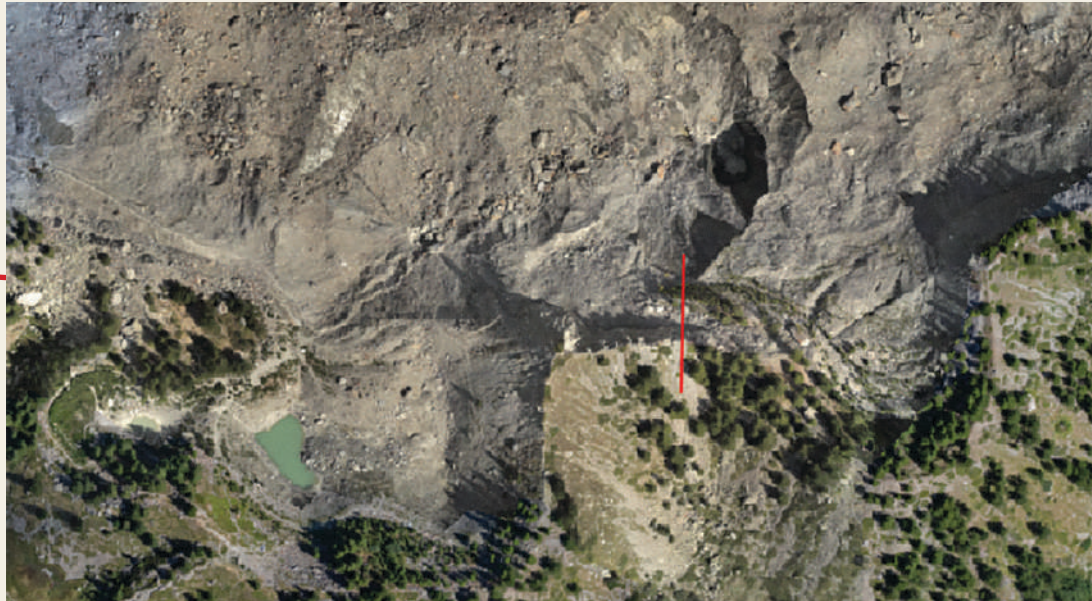
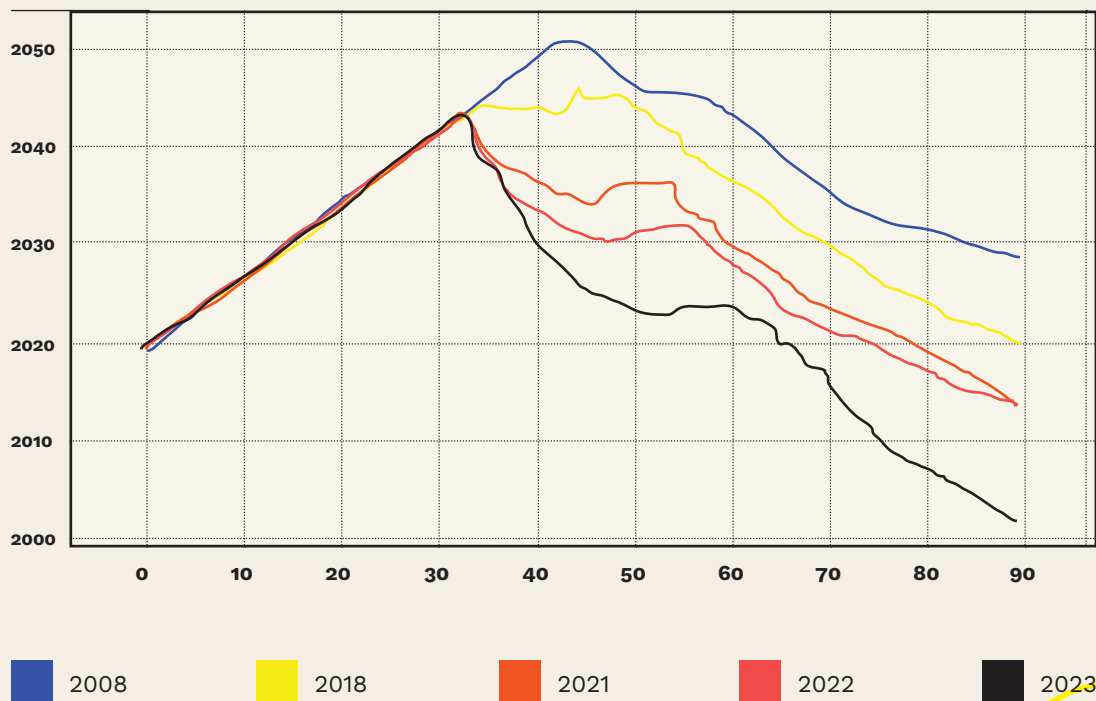
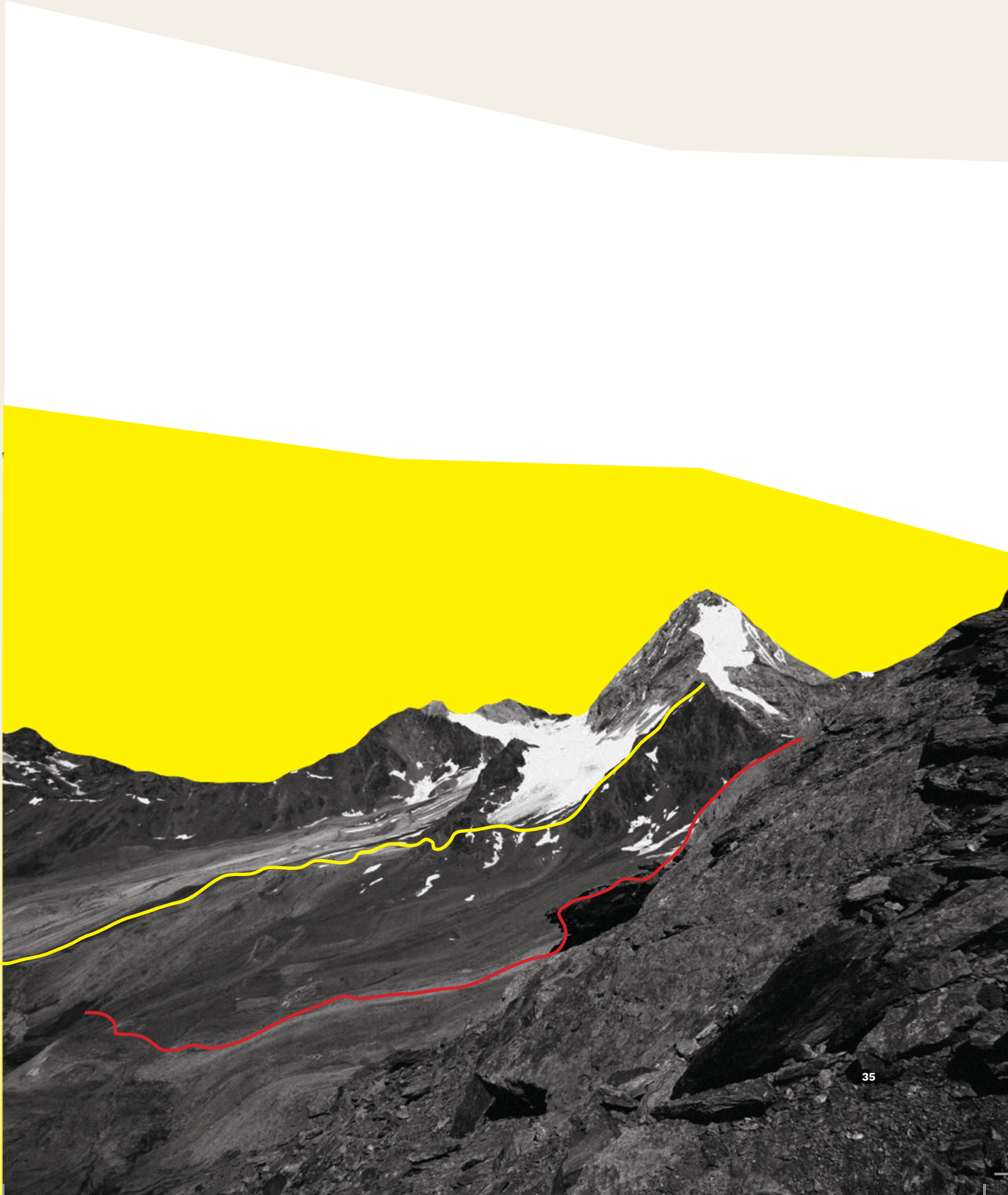


Figura 4 con Sezione. Nella figura in alto è possibile vedere una sezione trasversale del lago a partire dalla morena laterale destra. In basso nella sezione sono indicati gli stage temporali da cui è possibile notare l'abbassamento della superficie del ghiacciaio rispetto alla morena laterale visibile a sinistra della sezione.





► 2. Inquadramento geografico

Il Ghiacciaio del Miage è ubicato nel settore mediano della Val Veny, sul suo versante sinistro idrografico, tra il Ghiacciaio del Brouillard (ad Est) e quello della Lex Blanche (ad Ovest) sul versante sud del Massiccio del Monte Bianco. Si raggiunge per correndo l'autostrada A5 in direzione del traforo del Monte Bianco T1, fino all'uscita in corrispondenza della statale n°26, dalla quale si svolta a sinistra all'altezza della frazione di La Saxe, poco oltre l'abitato di Courmayeur; scendendo verso valle si segue la deviazione sulla destra per la Val Veny. Si attraversa la Dora di Veny e si prosegue sulla strada comunale fino alla frazione de La Visaille dove una sbarra blocca l'accesso alle auto. Da questo punto proseguendo a piedi, si segue la strada per il rifugio Elisabetta-Soldini fino al lago del Combal. Da qui, tramite un sentiero che sale lungo l'imponente morena, si accede al Ghiacciaio del Miage.



Foto 1. Vista panoramica del massiccio del Monte Bianco dal versante della Val Veny, con in primo piano il Ghiacciaio del Miage e la sua caratteristica fronte trilobata. In secondo piano le colate glaciali parallele dei Ghiacciai del Brouillard (a sinistra) e del Freney (a destra). Sull'estremo lato sinistro della foto il massiccio del Tre-la-Tete e il Ghiacciaio di Lex Blanche.

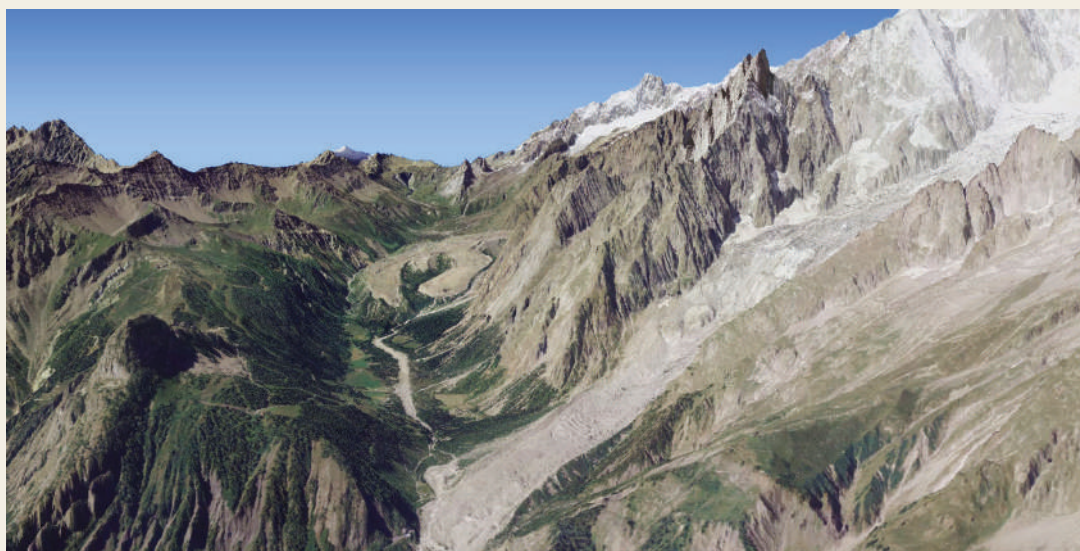


Foto 2. La Val Veny e il bacino glaciale della Brenva con la vetta del Monte Bianco: visione tridimensionale simulata a partire da dati digitali – quota virtuale 4000 m. slm.

3. Caratteristiche del Ghiacciaio del Miage

SCHEMA SINTETICA GHIACCIAIO	
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
Lunghezza Massima	10329 m
Inclinazione media	12°



Il Ghiacciaio del Miage è uno dei maggiori ghiacciai vallivi italiani, con caratteristiche tali che nella classificazione tradizionale è stato definito di tipo himalayano. La sua lingua percorre un lungo vallone (Valle del Miage) del 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 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. L'effetto isolante della copertura detritica ha permesso al Ghiacciaio del Miage di conservare una fronte a quote molto basse (lobo Sud, circa 1710 m slm) tra le minori del versante italiano delle Alpi.

A fronte dell'entità dei ritiri frontali che viene misurata negli ultimi anni per la quasi totalità dei ghiacciai dell'Arco Alpino, il ghiacciaio del Miage presenta una situazione più stazionaria senza grandi variazioni dalla massima espansione del XIX secolo. 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 frequentarlo 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 dal CGI eseguendo scansioni Laser da terra che consentono di ottenere un modello digitale di estrema precisione dell'area. Il confronto tra i dati ottenuti nei diversi rilievi consente una valutazione quantitativa precisa dell'entità delle variazioni morfologiche e quindi di spessore del ghiaccio.

I modelli 3D ottenuti con le scansioni Laser da terra sono però limitati dall'effettiva visibilità della superficie dai punti di rilievo e dalla portata dello strumento (nel caso specifico tra 1 e 2 km). Per ovviare a tali limiti, nell'agosto 2022 è stato realizzato un rilievo aerofotogrammetrico da elicottero per l'intera lingua valliva del Ghiacciaio del Miage finalizzato alla restituzione di una ortofoto e un modello di elevazione (DEM) di dettaglio dell'intero corpo glaciale.

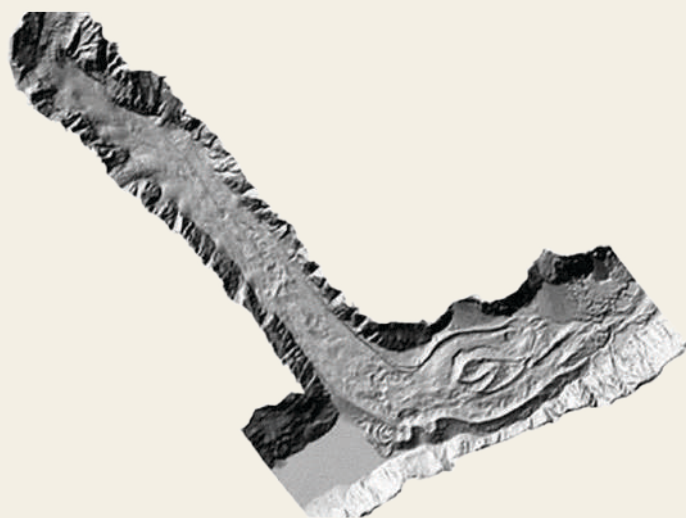


Figura 5. Dettaglio sul Ghiacciaio del Miage - Modello digitale di elevazione (sopra) e ortofoto (sotto) ottenuti dal rilievo fotogrammatico 2022.



Nel corso della campagna 2023, svolta insieme a Greenpeace, è stata rilevata un'area di 0,3 km² attorno al Lago del Miage mediante rilievo fotogrammetrico da drone elicottero.

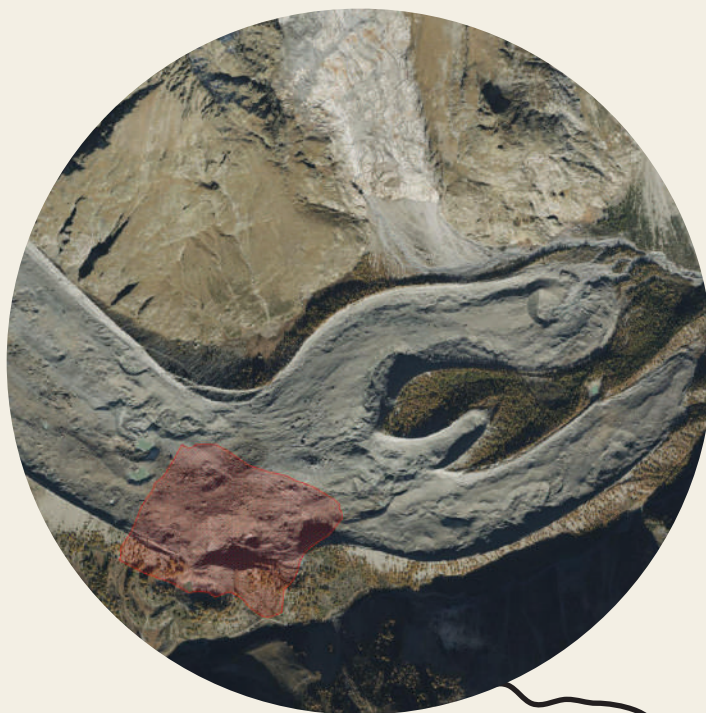


Figura 6. Area rilevata con drone durante la campagna 2023 (retinato rosso).



Figura 7. Vista della nuvola di punti 3D ottenuta dal rilievo fotogrammetrico con drone effettuato il 02/09/2023.

4. Fotografie e panoramiche attuali del Ghiaccio del Miage



Foto 3. - Vista della Val Veny e della fronte del Ghiacciaio del Miage da Courba Tzeleuna il 01/09/2023.



Foto 4. Dettaglio della fronte del Miage ripreso dal Courba Tzeleuna il 01/09/2023.



Foto 5. Valle del Miage vista dall'Arp Vieille il 01/09/2023.



Foto 6. Conca dei laghi glaciali del Miage ad agosto 2023: l'unico lago presente è all'interno delle cerchie moreniche in posizione distale rispetto al ghiacciaio. (Foto Lorenzo Moscia / Greenpeace).



Foto 7. Morena destra del Ghiacciaio del Miage, a valle del lago del Miage. Si nota lo stato di dissesto in atto sul lato interno (al centro dell'immagine) della morena, dovuto al continuo abbassamento della superficie glaciale di cui si notano le scarpate, di colore grigio scuro, segno dell'affioramento di ghiaccio "sporco", annerito dalla presenza di detrito fine. Tale annerimento, a differenza del bianco della neve o del ghiaccio pulito, sta determinando una rapida fusione del ghiaccio presente lungo le scarpate.

► 5. Dati storici

5.1 Variazioni areali dei ghiacciai del Monte Bianco

L'estensione e lo stato dei ghiacciai italiani vengono monitorati da oltre un secolo dal Comitato Glaciologico Italiano. Periodicamente vengono prodotti report, quali il resoconto annuale delle campagne glaciologiche, e cartografie, in occasione della redazione dei catasti. L'insieme di tali elaborazioni permette una visione complessiva dello stato evolutivo delle masse glaciali, come riportato in Figura 8.

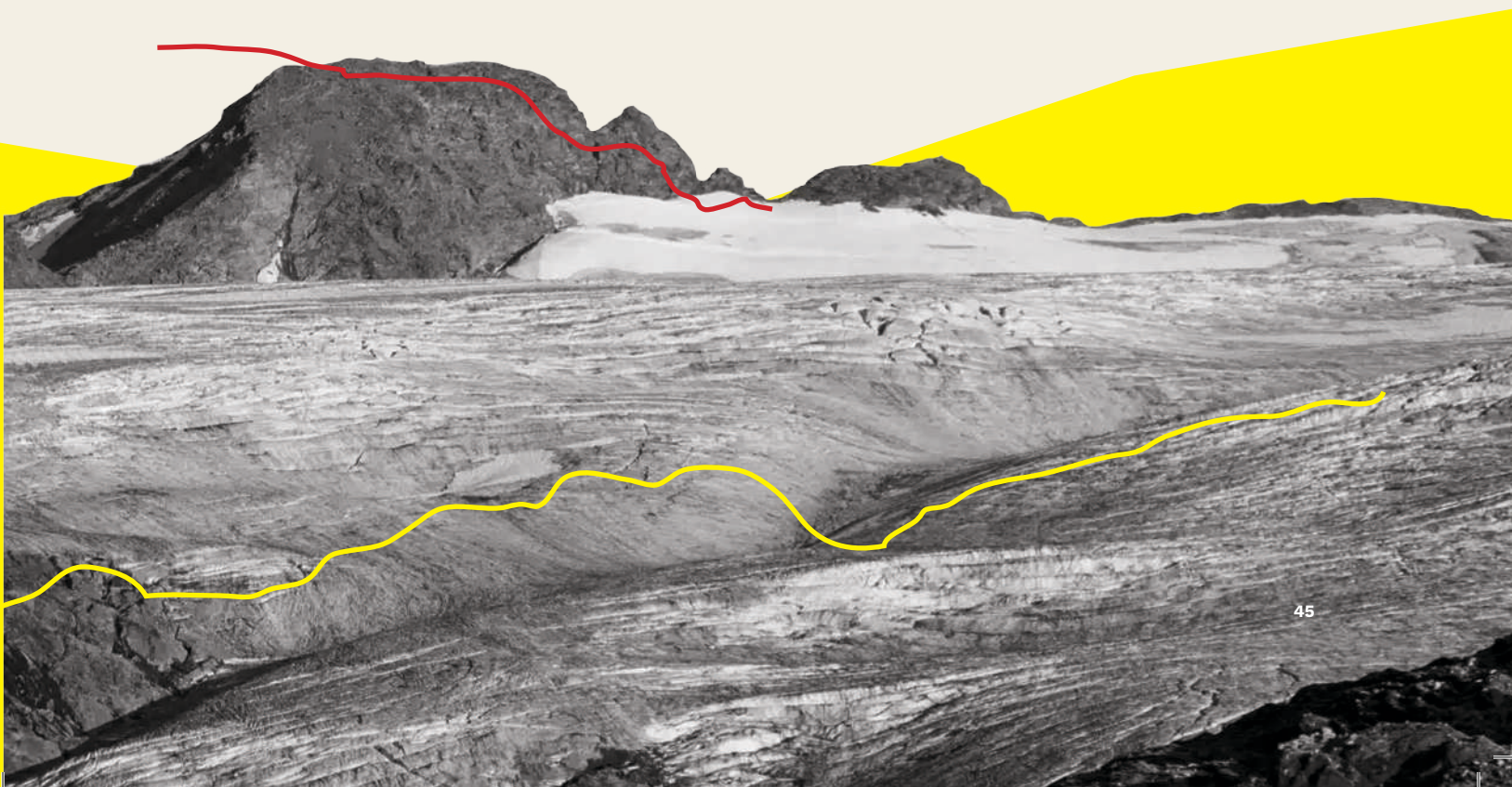


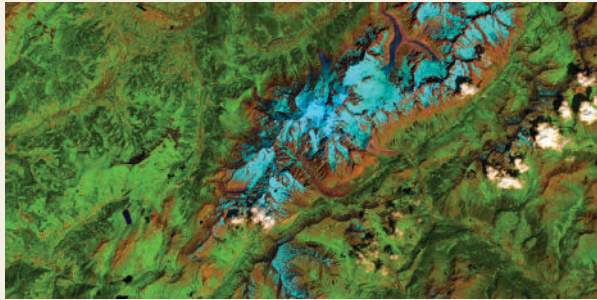
Figura 8. Estensione delle masse glaciali nell'area del Monte Bianco nel corso degli ultimi due secoli: a partire dalla massima estensione registrata al culmine della cosiddetta Piccola Età Glaciale (PEG, datata convenzionalmente 1815, indicata con bordo giallo - Fonte CNR-IRPI Torino) fino ai giorni nostri (bordo nero, catasto CGI 2015, progetto Glariskalp), passando per stadi intermedi (1952, bordo blu; 1988, bordo viola; 2006, bordo marrone).

5.2 Copertura nevosa infrarosso multitemporale delle ultime stagioni per evidenziare accumuli valanghivi

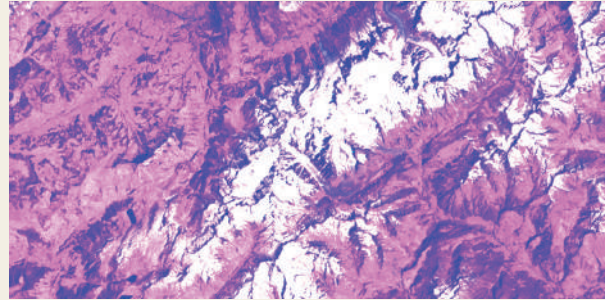
La copertura nevosa viene evidenziata attraverso l'analisi delle immagini multispettrali provenienti

Dai sensori montati sulla piattaforma satellitare LANDSAT. La firma spettrale della neve in lunghezze d'onda comprese tra il visibile e l'infrarosso vicino, dipende da diversi fattori quali la granulometria, lo stato evolutivo della neve (asciutta- bagnata), la rugosità superficiale. La combinazione sotto forma di sintesi additive delle bande spettrali LANDSAT permette un'ottimale discriminazione di neve e ghiaccio dalle altre superfici naturali presenti e dalle nubi. In particolare, la riflettanza della neve è maggiore dell'80% nel visibile ed infrarosso, che scende poi e a riflessioni molto basse alle lunghezze d'onda dell'infrarosso medio. La rappresentazione in falsi colori di queste bande spettrali consente quindi di produrre immagini in cui la neve ed il ghiaccio risultano nettamente distinguibili dagli altri target superficiali e dalle nubi. In particolare, nella combinazione RGB= B2 B6 B7, la copertura nivo- glaciale apparire con toni blu chiaro ciano. Le immagini LANDSAT sono disponibili a partire dal 1972 (Landsat 1) ogni due settimane, con una risoluzione geometrica che parte dagli 80 metri (Landsat MSS) fino ad arrivare ai 28,5 metri dei più moderni Landsat TM - ETM+. Le immagini scelte devono presentare poca o assente copertura nuvolosa e pertanto quelle effettivamente disponibili sono state scelte a distanza di 5/10 anni sempre al termine della stagione per evidenziare l'effettivo andamento della copertura nevosa nell'area del massiccio del Monte Bianco.

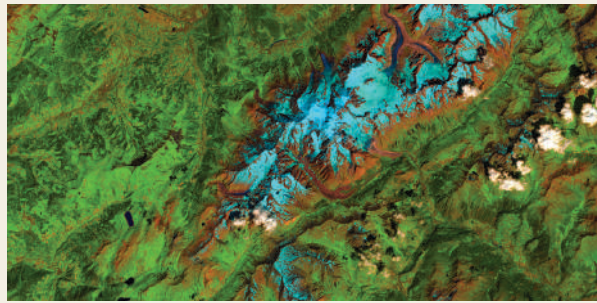




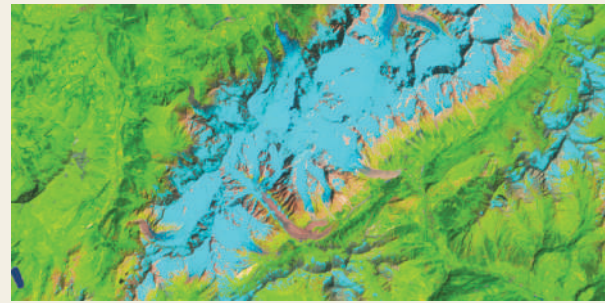
Luglio 2023



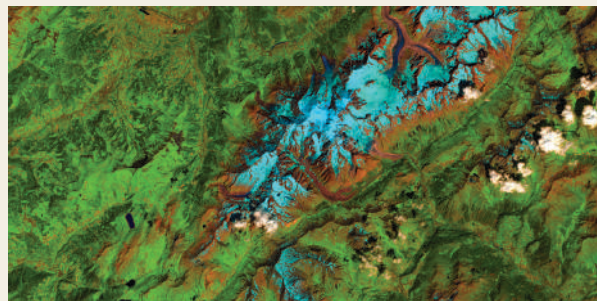
Luglio 1975



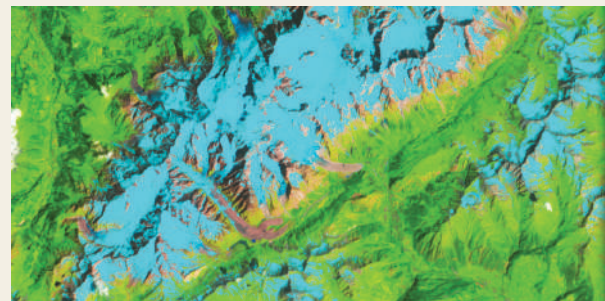
Luglio 2023



Luglio 1985

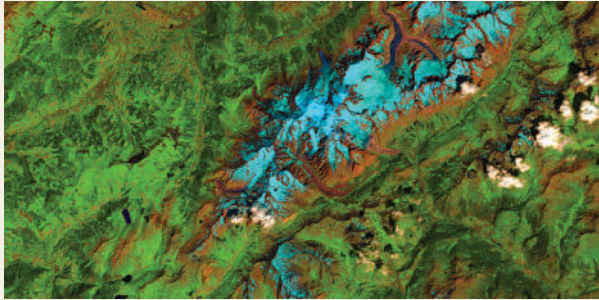


Luglio 2023

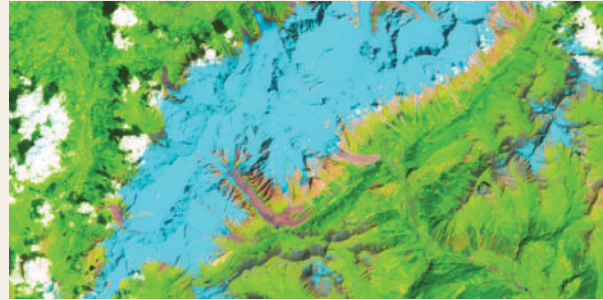


Luglio 1995

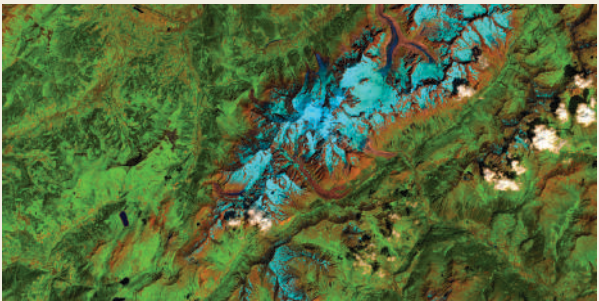
Capitolo II - Ghiacciaio del Miage



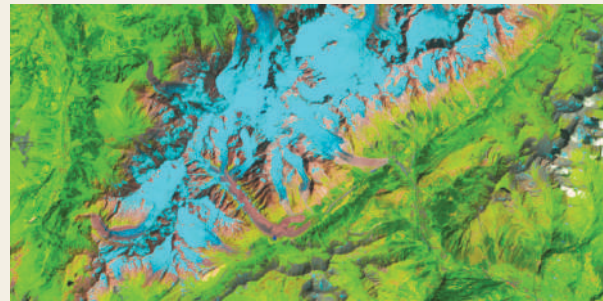
Luglio 2023



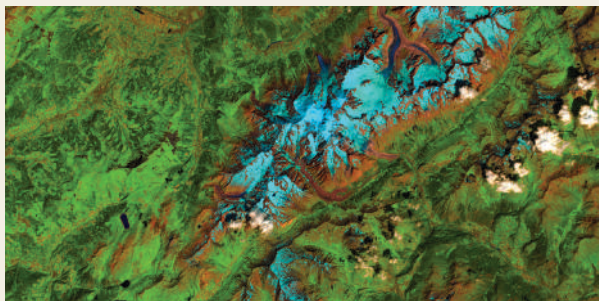
Luglio 2000



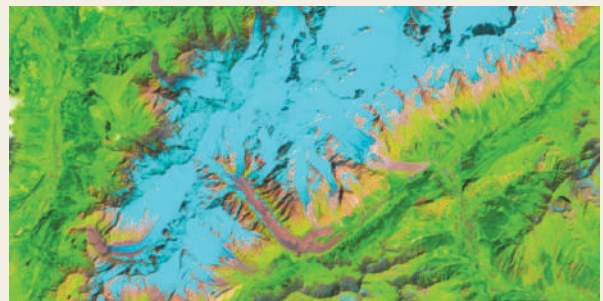
Luglio 2023



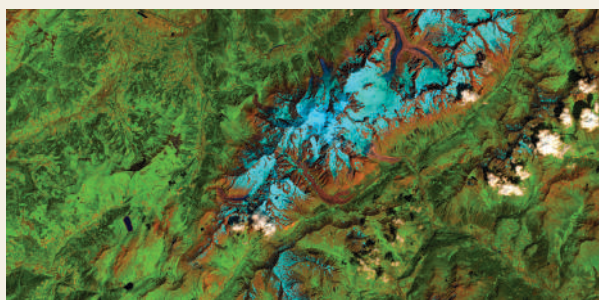
Luglio 2003



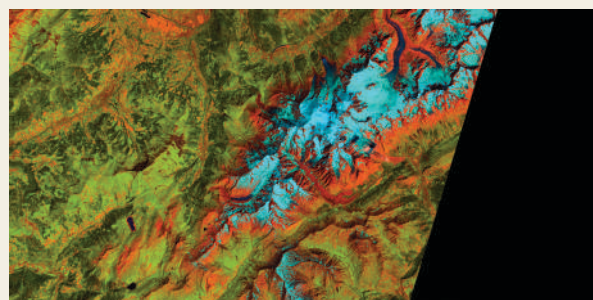
Luglio 2023



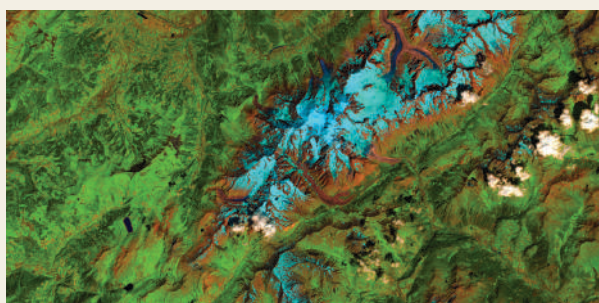
Luglio 2010



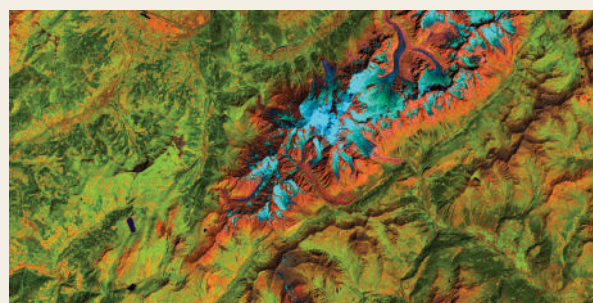
Luglio 2023



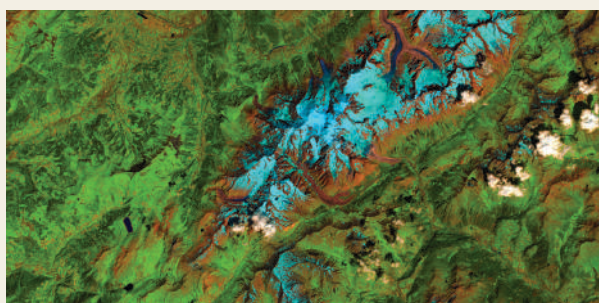
Luglio 2015



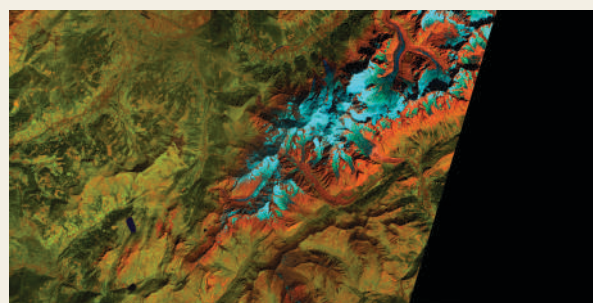
Luglio 2023



Luglio 2022



Luglio 2023



Settembre 2023

Figura 9. Nelle immagini in sequenza dagli anni '70 (Landsat1) è possibile vedere la differenza dell'innevamento rispetto alla stagione 2023 Luglio e Settembre (Landsat 9).

5.3. Valutazione delle perdite di volume

Come anticipato sopra, il confronto di modelli topografici della superficie del ghiacciaio rilevati a distanza di tempo permette di quantificare le masse di ghiaccio scomparse nell'intervallo di tempo indagato. Tale valutazione è condizionata dalla disponibilità di modelli digitali di elevazione e risente della loro precisione e dettaglio.

Per il Ghiacciaio del Miage è stato possibile utilizzare tre diversi DEM con copertura dell'intera lingua glaciale su un intervallo di tempo di 65 anni:

- **1957-59** Topografia rilevata in occasione dell'Anno Internazionale della Geofisica e digitalizzata dal GeoSITLAB dell'Università di Torino;
- **2008** Topografia Regione Valle d'Aosta, rilievo Laser Scanner aerotrasportato, modello con cella 2m;
- **2022** Topografia Comitato Glaciologico Italiano, rilievo fotogrammetrico da elicottero, modello con cella 50cm.

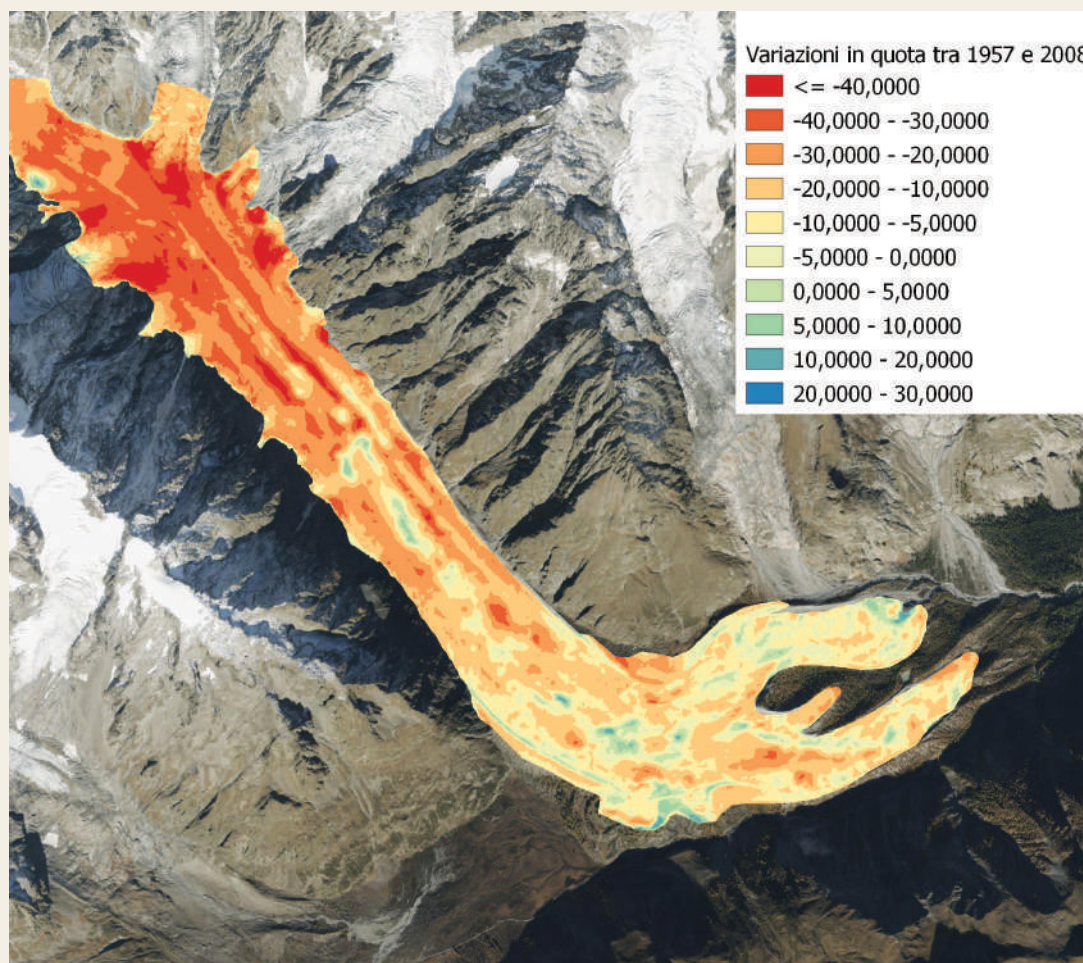


Figura 10. Mappa delle variazioni in quota tra la superficie del Ghiacciaio del Miage tra il 1957 e il 2008. A colori rossi corrisponde un abbassamento, con toni di verde/blu innalzamenti.

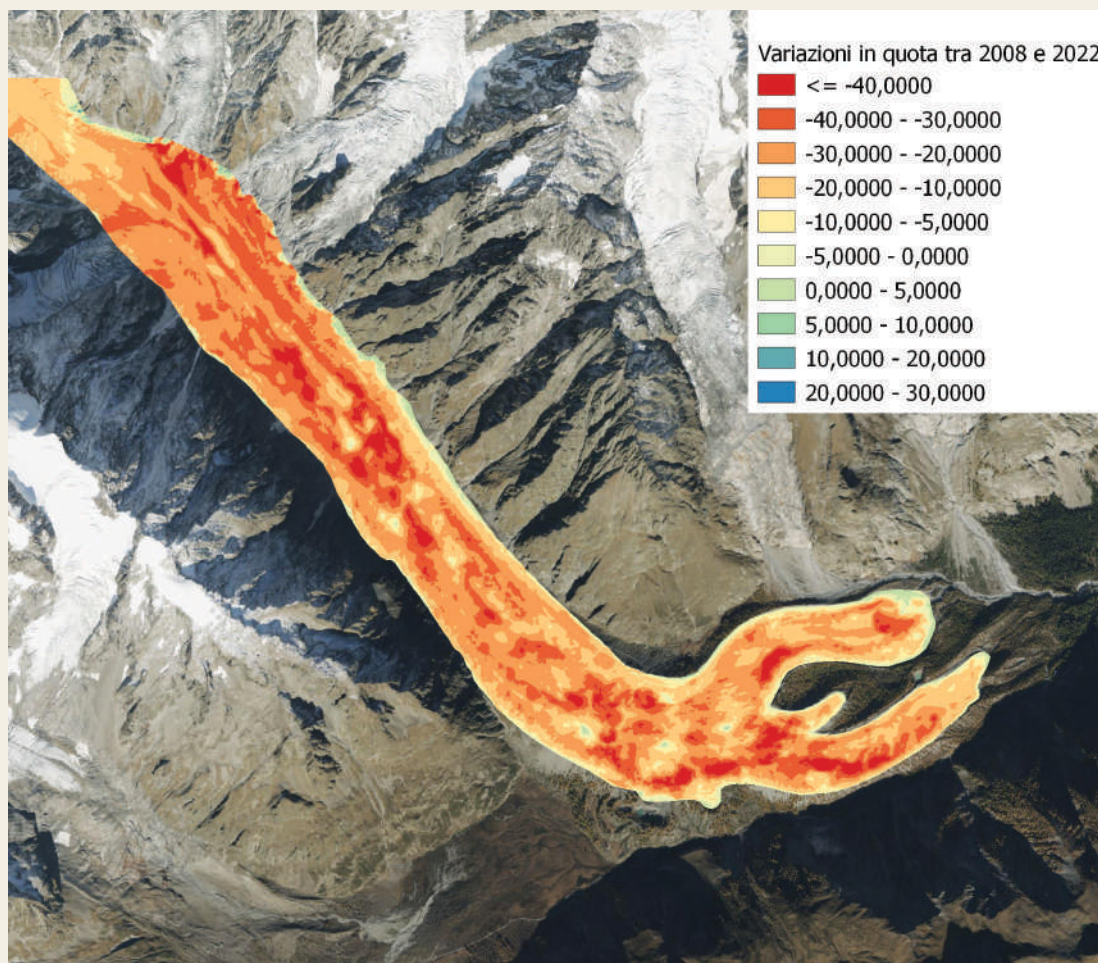


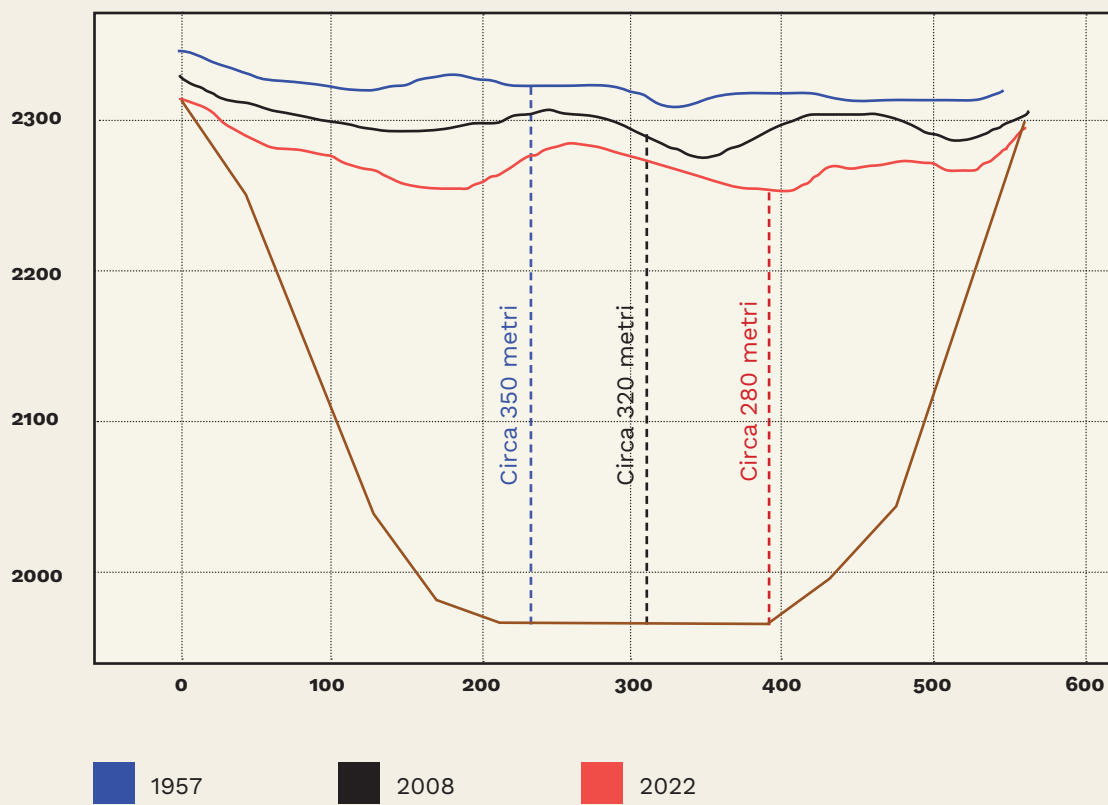
Figura 11. Mappa delle variazioni in quota tra la superficie del Ghiacciaio del Miage tra il 2008 e il 2022. A colori rossi corrisponde un abbassamento, con toni di verde/blu innalzamenti.

Nei confronti 1957/2008/2022 è possibile trarre le seguenti valutazioni complessive:

- periodo 1957/2008: fase caratterizzata da un aumento di volume conseguente alla fase fredda degli anni '70, con culminazione nella seconda metà degli anni '80, poi avvio della riduzione della massa glaciale. Nel complesso sull'intera lingua glaciale vanno persi 94 milioni di m³ di ghiaccio, pari ad un abbassamento medio della superficie glaciale di circa 20 m.
- periodo 2008/2022: fase caratterizzata da una sempre maggiore perdita di massa. Nel complesso sull'intera lingua glaciale vanno persi 110 milioni di m³ di ghiaccio, pari ad un abbassamento medio della superficie glaciale di circa 23 m.

Ad illustrazione di tale situazione si riporta una sezione significativa posta a monte del lago del Miage.

5.4. Valutazione dei volumi di ghiaccio dal 1957 al 2022



**Variazioni volumetriche del Ghiacciaio del Miage
nella sua interezza a partire dal 1957 sino al 2022**

Differenze di volume in acqua sull'intero Ghiacciaio
del Miage 2008-1957
85 miliardi di litri di acqua

Differenze di volume in acqua sull'intero Ghiacciaio
del Miage 2022-2008
100 miliardi di litri di acqua



5.5. Confronti fotografici multitemporali

Punto di Vista Lago del Miage



1957



1980



2023

Punto di Vista Arp Vieille – Sentiero Balcone



AGOSTO 1897

Foto: F. Porro de' Somenzi, A. Druetti

1980



2023



Punto di Vista Sentiero Balcone – Dettaglio dei Lobi



1957



2011



2023

Punto di Vista Mont Fortin - Panorama



Figura 12: 1781 - Incisione di M.T. Bourrit, F. Bartolozzi



Foto 8: Agosto 1897 - F. Porro de' Somenzi, A. Druetti.

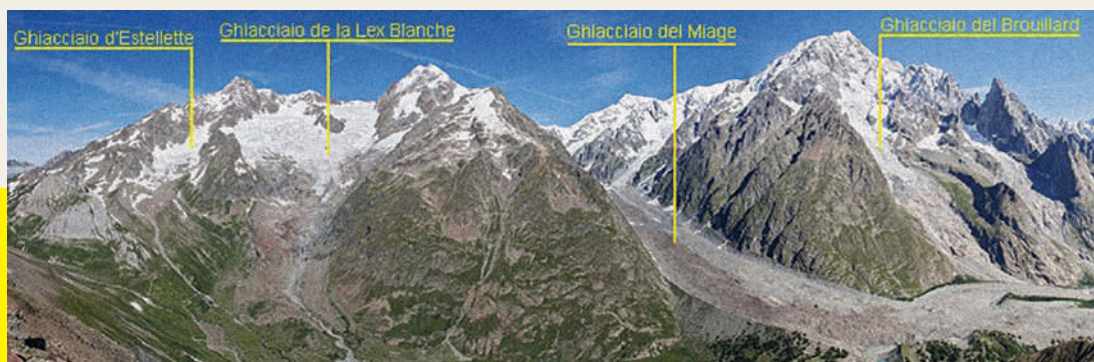
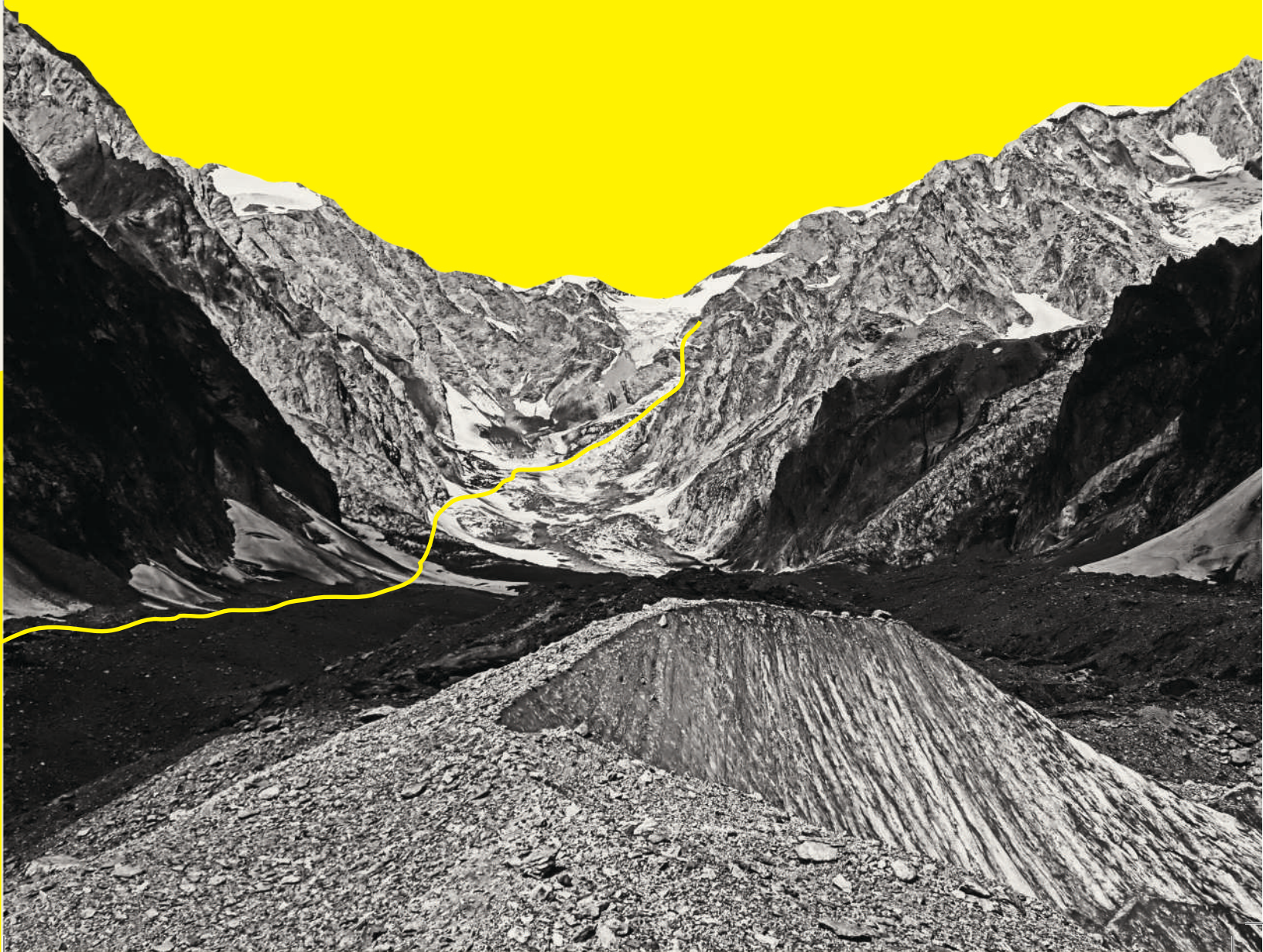


Foto 9: Agosto 2016 - Foto: Massimo Riso



Note



