

***DIPARTIMENTO “RISCHI NATURALI E AMBIENTALI”
Struttura Semplice “Geologia e nivologia”***

CAMPAGNA GLACIOLOGICA 2024



Marzo 2025

Sommario

1.	Introduzione.....	1
2.	Piano di lavoro	2
2.1.	Raccolta dati.....	3
2.2.	Elaborazioni.....	7
3.	Attività 2024 sintesi dei risultati	9
3.1.	Alpi Marittime	11
3.2.	Alpi Cozie Sud: Il Massiccio del Monviso.....	14
3.3.	Alpi Graie: Le alte Valli di Lanzo	18
3.4.	Alpi Graie: Il Massiccio del Gran Paradiso.....	23
3.5.	Alpi Pennine: Il Massiccio del Monte Rosa	28
3.6.	Alpi Lepontine: i Massicci dell'Ossola	37
4.	Piano di monitoraggio.....	39
4.1.	Baseline ghiacciai	39
4.2.	Programma di monitoraggio	42
5.	Approfondimento Monte Rosa.....	43
6.	I prodotti	60
7.	Considerazioni di sintesi	61

1. Introduzione

Nell'ambito delle attività previste dal Tavolo Tecnico nazionale "*Rischio connesso ai fenomeni di dissesto in ambienti glaciali e periglaciali*" coordinato dal Dipartimento di Protezione Civile e d'intesa con il Comitato Glaciologico Italiano, nel corso dell'autunno 2024 ARPA Piemonte ha svolto una intensa campagna glaciologica.

Nonostante il pressoché continuo tempo perturbato, tra settembre e inizio novembre, il personale dell'Agenzia ha effettuato visite sui ghiacciai e i glacionevati delle Alpi Marittime, del Monviso, sopralluoghi e sorvoli sui ghiacciai delle Valli di Lanzo, del Gran Paradiso, del massiccio del Monte Rosa (sia sul versante valsesiano che di Macugnaga) e sui ghiacciai ossolani; nel complesso sono stati visitati oltre 70 ghiacciai.

Lo scopo del monitoraggio è consistito nella valutazione visiva dello stato complessivo dei ghiacciai, della presenza di aree collassate, di dissesti che coinvolgono direttamente i corpi glaciali, di laghi di neoformazione e di eventuali situazioni di evidente pericolo. Lo sviluppo di una procedura per la fotogrammetria speditiva ha permesso la produzione di un modello 3D della conca del versante est del Monte Rosa, attraverso il quale sono stati svolti confronti con quanto rilevato nel 2023.

I rilievi del 2024 concorrono a definire una *baseline* dei ghiacciai piemontesi; questa rappresenta un livello minimo ed uniforme di conoscenza e comprende informazioni geografiche sull'ubicazione, sulla tipologia e sulla correlazione con eventi di instabilità; è corredata inoltre di osservazioni, foto e video raccolti durante i rilievi. La baseline rappresenta lo strumento di confronto per l'evoluzione futura dei corpi glaciali e delle aree circostanti. Si propone inoltre un programma di rivisitazione dei ghiacciai articolato a cadenza pluriannuale, biennale e annuale sulla base della distanza dalle aree di frequentazione antropica e del grado di evoluzione della dinamica morfologica.

Nel 2024 si è rafforzata una rete di collaborazioni di diversi attori in campo glaciologico (CNR-IRPI, Comitato Glaciologico Italiano-CGI, Società Meteorologica Italiana-SMI, Parco Nazionale Gran Paradiso-PNGP, Protezione Civile Regionale e Nazionale) all'interno della quale ARPA Piemonte può svolgere un ruolo di coordinamento per le attività di osservazione e monitoraggio dei ghiacciai piemontesi. In tale contesto si è consolidata la collaborazione con il CGI a cui ARPA Piemonte aderisce come membro dal dicembre 2023: a termine della campagna glaciologica 2024 sono state consegnate 11 schede (ghiacciai di Lourousa, Caprera, Coolidge inferiore e superiore nelle Alpi Marittime e Cozie; Croce Rossa, nelle Alpi Graie; Pizzo Bianco, Locce Nord, Signal, Monte Rosa, Nordend, Piccolo Fillar, nelle Alpi Pennine) e 4 integrazioni (ghiacciai di Sea, Martellot, Col Perduto e Carro Centrale, tutti nelle Alpi Graie).

Infine, la relazione 2024 contiene un approfondimento della conca glaciale del versante Est del Monte Rosa considerata l'area maggiormente critica del Piemonte; la sovrapposizione di dinamiche geomorfologiche di natura glaciale, gravitativa, torrentizia e valanghiva e la loro attiva dinamica necessitano un quadro conoscitivo più approfondito nell'ottica di definire un piano di osservazione e monitoraggio specifico.

2. Piano di lavoro

Nell'ambito delle attività avviate nel 2022 in adempimento alle indicazioni del Tavolo Tecnico nazionale *"Rischio connesso ai fenomeni di dissesto in ambienti glaciali e periglaciali"*, è stato svolto dall'Agenzia un approfondimento finalizzato alla classificazione preliminare dei ghiacciai in base ad un'analisi speditiva dei pericoli glaciali e periglaciali passati e attuali e degli elementi antropici presenti nelle zone limitrofe; i ghiacciai sono stati suddivisi secondo tre ambiti omogenei (Tabella 1).

Classe	Descrizione
a	aree nelle quali i ghiacciai potrebbero interferire direttamente con territori antropizzati
b	aree di alta montagna ad alta frequentazione (fruizione estesa a non esperti, ad esempio, per facile accessibilità con impianti)
c	aree di alta montagna a bassa frequentazione (fruizione esclusiva da parte di esperti alpinisti e guide alpine)

Tabella 1 – Suddivisione in ambiti omogenei in riferimento al rischio

In base all'analisi preliminare di approfondimento condotta sui principali corpi glaciali piemontesi nel corso del 2022, si è giunti al seguente quadro riepilogativo della classificazione PCN proposta (Tabella 2).

Codice CGI	Nome	Comune	Classificazione PCN proposta
321	Locce N	Macugnaga	a
322	Signal	Macugnaga	a
323-325	Monte Rosa-Belvedere	Macugnaga	a
38	Croce Rossa	Usseglio	a
356	Sabbione Sud	Formazza	b/c
357	Sabbione Nord	Formazza	b/c
43	Ciamarella	Balme	b/c
20-22	Coolidge	Crissolo	c
311	Bors	Alagna Valsesia	c
312	Piode	Alagna Valsesia	c
314-315	Sesia-Vigne	Alagna Valsesia	c
326	Piccolo Fillar	Macugnaga	c
337	Aurona-Leone	Varzo	c
40	Bessanese	Balme	c
45-46	Sea-Tonini	Groscavallo	c
47	Mulinet Sud	Groscavallo	c
57-58	Nel	Ceresole Reale	c
60	Carro Ovest	Ceresole Reale	c
64	Basei	Ceresole Reale	c
72	Noaschetta	Noasca	c
72.1	Noaschetta Est	Noasca	c
78	Roccia Viva	Locana	c

Tabella 2 – Classificazione preliminare dei ghiacciai piemontesi svolta nel 2022.

Al fine di raggiungere l'obiettivo preposto, il lavoro è stato organizzato in una fase conoscitiva svolta in due campagne glaciologiche nel corso del 2023 e del 2024 per la raccolta delle informazioni e dei dati sullo stato attuale del glacialismo piemontese, dando priorità ai ghiacciai classificati come "a" e "b" (Tabella 2) e d'intesa con il Comitato Glaciologico Italiano (CGI). Si è proceduto inoltre con la creazione di una baseline conoscitiva dei ghiacciai piemontesi al fine di acquisire informazioni di base aggiornate per la definizione dello stato attuale di ogni singolo ghiacciaio, per la descrizione delle informazioni raccolte cfr. § 2.1 e §4.1.

L'attività di raccolta dati è stata concordata con il Comitato Glaciologico Italiano, attraverso i momenti di incontro istituzionale (riunione degli operatori glaciologici di Piemonte e Valle d'Aosta tenutasi il 1° giugno

2024 a Romagnano Sesia – VC) e numerosi momenti di confronto e visite congiunte (Visita tecnica congiunta con CNR-IRPI e Dipartimento Protezione Civile Nazionale al bacino glaciale del Belvedere e Alta Valle Anzasca, 3-4 settembre 2024).

Nel corso dell'anno sono state consolidate le collaborazioni con la Società Meteorologica Italiana per lo studio del ghiacciaio di Ciardoney in Valle Soana (sopralluogo congiunto il 17 settembre 2024 per la predisposizione del bilancio di massa - http://www.nimbus.it/ghiacciai/2024/240920_CiardoneyBilancio.htm) e con il Parco Nazionale Gran Paradiso (sorvolo congiunto sui ghiacciai della Valle Orco l'11 ottobre 2024).

Arpa Piemonte con i suoi esperti è stata presente, inoltre, alla tappa piemontese della *Carovana dei Ghiacciai 2024*, la campagna internazionale promossa da Legambiente e CIPRA (Commissione Internazionale per la Protezione delle Alpi) con la partnership scientifica del Comitato Glaciologico Italiano (CGI).

2.1. Raccolta dati

La campagna di raccolta dati glaciologica svolta nel 2024 ha seguito le tecniche messe a punto nel 2023. In sintesi, le modalità utilizzate sono state le seguenti:

- rilievi a terra, salita in posizione panoramica per l'osservazione quanto più possibile completa dei corpi glaciali, riprese fotografiche da punti noti per garantire la ripetibilità di immagini storiche e future per i confronti multitemporali; sopralluoghi diretti al ghiacciaio per riconoscere e descrivere lo stato di evoluzione puntuale, ad esempio le instabilità. Sul ghiacciaio di Ciardoney, in collaborazione con la SMI sono stati eseguite le misure di ablazione presso le paline ablatometriche e si è proceduto alla nuova installazione delle paline quasi totalmente emerse dal ghiaccio (Figura 1).



Figura 1 – Perforazione nel ghiaccio con sonda vapore per la sostituzione di una palina ablatometrica, ghiacciaio del Ciardoney, 17/09/2024 (foto SMI, http://www.nimbus.it/ghiacciai/2024/240920_CiardoneyBilancio.htm)

- Sorvoli con elicottero: sono stati organizzati sorvoli al ghiacciaio del Rocciamegone (07/08/2024), alla testata delle valli di Lanzo (02/10/2024), della valle Orco (11/10/2024), al Monte Rosa (18/09/2024 e 30/10/2024) e ai ghiacciai del Sabbione (09/10/2024); i sorvoli hanno permesso l'osservazione in posizione frontale dei ghiacciai con possibilità di eseguire riprese foto-video sia ravvicinate che panoramiche (Figura 2) in funzione delle eventuali criticità riscontrate. Le stesse riprese sono state utilizzate poi per l'elaborazione fotogrammetrica.



Figura 2 – Osservazione da elicottero del ghiacciaio di Tonini, Val Grande di Lanzo, 02/10/2024 (foto ARPA Piemonte).

- Immagini satellitari Sentinel del progetto di osservazione della Terra Copernicus (<https://browser.dataspace.copernicus.eu>): la disponibilità di immagini rilevate ogni 3-6 giorni ha permesso di osservare l'evoluzione dei ghiacciai e delle aree circostanti; la bassa risoluzione delle immagini (10 m) impedisce il riconoscimento di morfologie di dettaglio ma per contro agevola l'osservazione complessiva dei ghiacciai (Figura 3); inoltre il breve intervallo di rivisitazione permette la possibilità di confronti multitemporali.

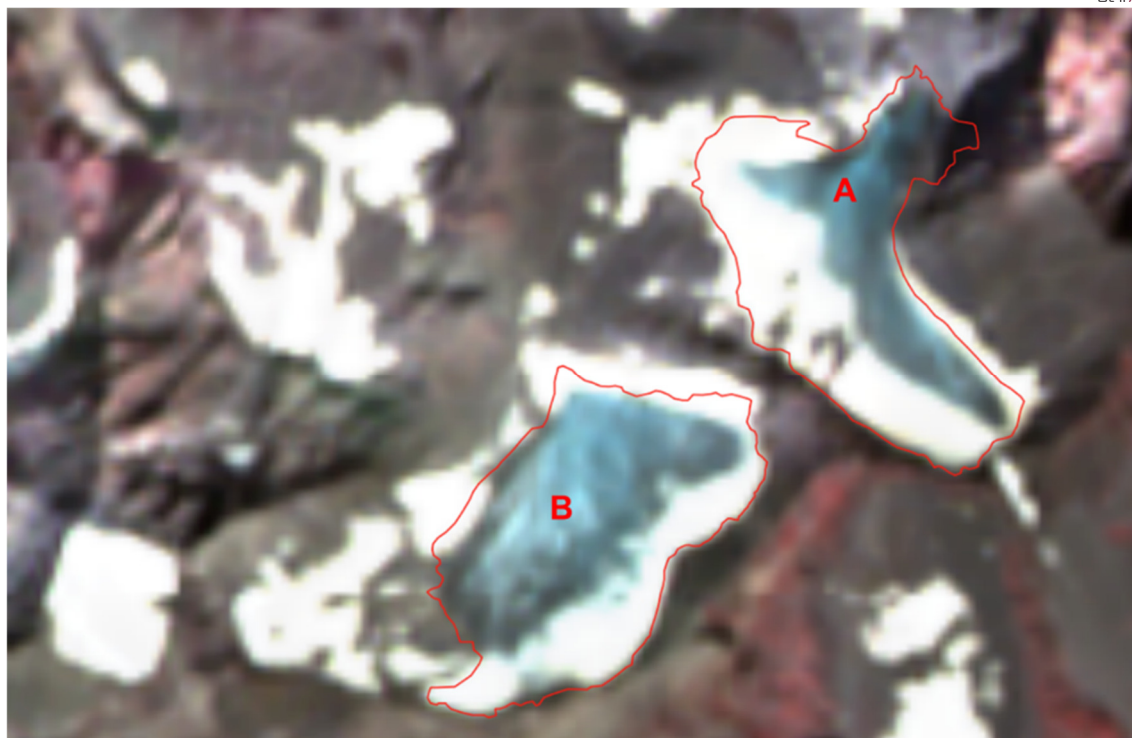


Figura 3 – Ghiacciai dell'Albaron di Sea, settentrionale (A) e meridionale (B) di cui in rosso sono riportati i limiti cartografati nel 2023; immagine Sentinel in falsi colori del 21/08/2024 dove è ben riconoscibile la copertura nevosa residua (di colore bianco) in confronto al ghiaccio scoperto (di colore blu-grigio).

- Rilievo Gigapan, nell'ambito della collaborazione con l'Università La Sapienza di Roma, progetto Geosciences IR (<https://geosciences-ir.it/>): è stata eseguita una nuova misura con tecnologia Gigapan (<http://gigapan.com/>) del versante Est del Monte Rosa, dal ghiacciaio delle Locce Nord allo JagerHorn, effettuando 1187 scatti; la scelta del giorno di ripresa è stata fortemente condizionata dal continuo meteo avverso di settembre-ottobre, per cui si è riusciti solo a fine mese di ottobre, quando le condizioni di illuminazione ed innevamento della parete sono risultate meno favorevoli rispetto alla ripresa del 27 settembre 2023. Attualmente le immagini scattate sono in elaborazione presso il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università La Sapienza.



Figura 4 – Singolo scatto del rilievo Gigapan al versante Est del Monte Rosa eseguito il 30/10/2024, dettaglio di un seracco pensile sotto la punta Nordend.

2.2. Elaborazioni

Le elaborazioni dei dati raccolti durante la campagna glaciologica svolta nel 2024 hanno seguito le tecniche messe a punto nel 2023. In sintesi, le tipologie di elaborazioni eseguite sono state le seguenti:

- **Fotogrammetria speditiva:** il materiale foto/video rilevato nel corso dei sorvoli dei ghiacciai è stato utilizzato per la generazione di ortomosaici speditivi, senza l'organizzazione di piani di volo specifici per prese fotogrammetriche ma sfruttando direttamente la rotta dell'elicottero come singolo passaggio o come A/R su ogni ghiacciaio nel contesto del sorvolo su numerosi apparati glaciali. La procedura prevede poi l'elaborazione con un classico flusso fotogrammetrico per la generazione di point-cloud, mesh, DEM e ortofoto. Nel caso specifico è stato utilizzato il modulo web di OpenDroneMap (www.opendronemap.org), standard open source di drone image processing. La georeferenziazione è avvenuta con l'approccio indiretto, tramite il riconoscimento di *Control Point* (CP) sulla cartografia ufficiale, con errori di ordine metrico sia in planimetria che in quota. Il *Ground Sampling Distance* (GSD) è risultato mediamente di 20-40 cm e il modello ha mostrato errori contenuti anche in quota per cui oltre all'ortofoto ne sono stati estratti i DEM. Gli elaborati cartografici così prodotti hanno permesso di aggiornare la cartografia dei limiti dei ghiacciai e degli elementi morfologici significativi; il confronto con DEM disponibili (Regione Piemonte 2010, ARPA Piemonte 2023) ha permesso infine di ricostruire le variazioni topografiche della superficie glaciale e quindi calcolare le perdite volumetriche subite (cfr. § 5). L'elaborazione fotogrammetrica è stata eseguita per il bacino glaciale del Belvedere (Figura 5), in Alta Valle Anzasca, dove è stato possibile mappare l'estensione e le variazioni dei ghiacciai del Pizzo Bianco, delle Locce Nord, di Signal, del Monte Rosa, del belvedere, di Nordend, del Piccolo Fillar e di Roffel Occidentale.

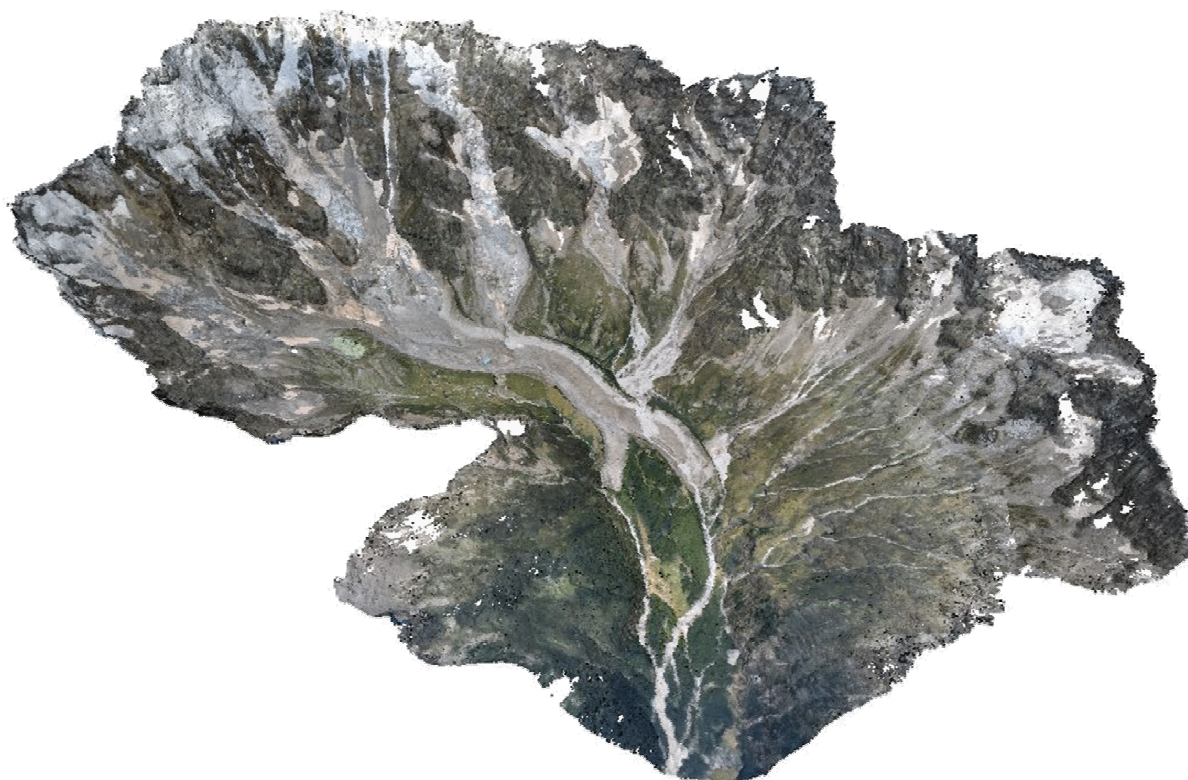


Figura 5 – Modello 3D del bacino glaciale del Belvedere ottenuto tramite fotogrammetria speditiva da elicottero, sorvolo del 18 settembre 2024.

- **Analisi multitemporali e change detection:** sono state effettuate alcune elaborazioni multitemporali di *change detection* utilizzando le immagini satellitari Sentinel, scaricate attraverso la piattaforma Eo

Browser (<https://dataspace.copernicus.eu/browser/>) ed elaborando i dati in QGIS. La tecnica ha permesso il riconoscimento e la cartografia di numerosi processi di versante, in particolare colate detritiche, che hanno interessato le Alpi Occidentali nei due eventi del 29/06/2024 e 05/09/2024 (Figura 6).

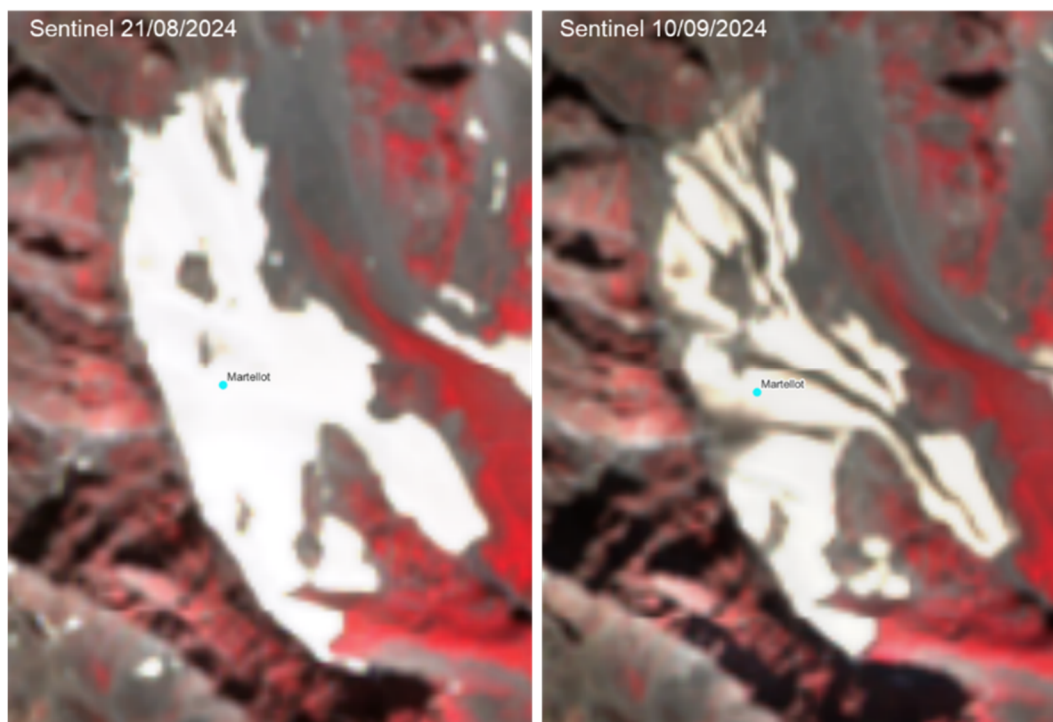


Figura 6 – Immagini Sentinel (falsi colori) pre- e post-colata detritica del 05/09/2024; sono molto evidenti gli accumuli delle colate detritiche che hanno attraversato il ghiacciaio di Martellot (Val Grande di Lanzo).

3. Attività 2024 sintesi dei risultati

Il monitoraggio è consistito nella valutazione dello stato complessivo dei ghiacciai, della presenza di aree collassate, di dissesti che coinvolgono direttamente i corpi glaciali, di laghi di neoformazione e di eventuali situazioni di evidente pericolo. Per i rilievi sui ghiacciai, attraverso sopralluoghi diretti e sorvoli in elicottero, sono stati acquisiti osservazioni dirette, foto/video, rilievi fotogrammetrici e Gigapan. Le informazioni raccolte sono state integrate con immagini e dati satellitari, a completamento degli aspetti cartografici e per i confronti multitemporali di breve e medio periodo.

Lo scopo del monitoraggio si articola in più livelli di approfondimento:

- osservazione visiva e raccolta foto/video per il popolamento della baseline (in particolare per i ghiacciai visitati per la prima volta nel corso del 2024);
- oltre a quanto sopra, confronto con le immagini raccolte nel 2023 per il riconoscimento qualitativo delle trasformazioni avvenute nel corso dell'ultimo anno (Figura 7);
- elaborazione fotogrammetrica delle immagini 2024 per la generazione di ortofoto/DEM e confronto quantitativo delle trasformazioni avvenute nel corso dell'ultimo anno in termini di estensione areale, volumetrica dei ghiacciai, ubicazione ed estensione delle instabilità.



Figura 7 – Confronto fotografico tra il rilievo di novembre 2023 (sx) vs novembre 2024 (dx) per il ghiacciaio di Lourousa.

Le attività della campagna glaciologica di ARPA Piemonte si sono svolte anche nell'ambito di collaborazioni con il Comitato Glaciologico Italiano per la programmazione dei rilievi, con il CNR-IRPI per lo studio del bacino glaciale della Bessanese e del Belvedere, con la Società Meteorologica Italiana per lo studio del ghiacciaio di Ciardoney, con il Parco Nazionale Gran Paradiso per i ghiacciai della Valle Orco. I sorvoli in elicottero sono stati eseguiti grazie al supporto con il Settore Protezione Civile della Regione Piemonte e nell'ambito della convenzione con il Soccorso Alpino e Speleologico Piemontese.

Premesso che le attività in sito sono state prima ritardate per l'abbondante neve residua ancora presente sui ghiacciai a metà agosto e poi ostacolate dalle condizioni meteorologiche perturbate che hanno interessato quasi ininterrottamente le Alpi occidentali da inizio settembre ad ottobre inoltrato, è stato comunque possibile portare a compimento il programma di osservazione dei ghiacciai, talora sfruttando limitate finestre, anche solo di poche ore, di bel tempo. A termine della campagna 2024 sono stati visitati complessivamente 72 ghiacciai piemontesi (Tabella 3), di cui 42 visitati per la prima volta e 30 visitati per la seconda volta e per cui è stato possibile un confronto con quanto rilevato nel 2023. Per 10 ghiacciai, compresi tutti nel bacino glaciale del Belvedere, in alta Valle Anzasca, è stato elaborato un modello fotogrammetrico 3D, il quale ha permesso l'estrazione di ortofoto e DEM aggiornati.

CGI N	Nome	Comune	Condizione	Class PCN	CGI N	Nome	Comune	Condizione	Class PCN
7	Lourousa	Valdieri	glacionevato		72	Noaschetta*	Noasca	montano	b
15	Caprera	Pontechianale	glacionevato		72.1	Noaschetta Est*	Noasca	montano	b
20	Coolidge Sup	Crissolo	glacionevato		73	Colle dell'Ape*	Noasca	glacionevato	
22	Coolidge Inf	Crissolo	sepolto	b	74	Punta Ceresole*	Noasca	glacionevato	
35	Rocciamelone*	Usseglio	montano		75	Gay Ovest*	Noasca	sepolto	
38	Croce Rossa	Usseglio	montano	a	75.1	Gay Est*	Noasca	sepolto	
40	Bessanese	Balme	montano	b	76	Becca di Gay*	Noasca	glacionevato	
41	Pian Gias	Balme	sepolto		77	Losa*	Locana	sepolto	
42	Collerin d'Arnas	Balme	glacionevato		78	Roccia Viva*	Locana	montano	b
43	Ciamarella	Balme	montano	c	79	Teleccio*	Locana	montano	
44	Albaron di Sea	Groscavallo	montano		79.1	Teleccio I*	Locana	glacionevato	
45	Tonini	Groscavallo	montano	b	80.1	Valsoera Nord*	Ronco Canavese	sepolto	
46	Sea	Groscavallo	sepolto		80.2	Valsoera Sud*	Ronco Canavese	sepolto	
46.1	Punta Bonneval*	Groscavallo	sepolto		81	Ciardoney	Ronco Canavese	montano	
47	Mulinet Sud*	Groscavallo	montano	b	311	Bors	Alagna Valsesia	montano	b
48	Mulinet Nord*	Groscavallo	montano		312	Piode	Alagna Valsesia	montano	b
49	Martellot*	Groscavallo	glacionevato		313	Parrot	Alagna Valsesia	glacionevato	
50	Talancia Girard*	Groscavallo	sepolto		314	Sesia-Vigne	Alagna Valsesia	montano	b
51	Levanna Orientale S*	Groscavallo	montano		316	Locce Sud	Alagna Valsesia	glacionevato	
52	Levanna Orientale N*	Groscavallo	montano		317	Flua*	Alagna Valsesia	glacionevato	
54	Forno*	Ceresole Reale	sepolto		317.1	Flua I*	Alagna Valsesia	glacionevato	
55	Col Perduto*	Ceresole Reale	estinto		319	Locce E*	Macugnaga	montano	
56	Nel Orientale*	Ceresole Reale	montano		320	Pizzo Bianco*	Macugnaga	montano	
57	Nel Centrale*	Ceresole Reale	montano		321	Locce Nord	Macugnaga	montano	a
58	Nel Occidentale*	Ceresole Reale	montano	b	322	Signal	Macugnaga	montano	a
59	Carro Est*	Ceresole Reale	montano		323	Monte Rosa	Macugnaga	montano	a
60	Carro Ovest	Ceresole Reale	montano	b	324	Nordend	Macugnaga	montano	
60.1	Carro Centrale I*	Ceresole Reale	sepolto		325	Belvedere	Macugnaga	vallivo	
60.2	Carro Centrale II*	Ceresole Reale	sepolto		326	Piccolo Fillar	Macugnaga	montano	b
61	Capra*	Ceresole Reale	montano		327	Castelfranco	Macugnaga	glacionevato	
62	Losa*	Ceresole Reale	glacionevato		329	Jazzi*	Macugnaga	glacionevato	
64	Basei*	Ceresole Reale	montano	b	330	Roffel Ovest*	Macugnaga	montano	
69	Breuil-Broglio*	Noasca	montano		356	Sabbione Sud	Formazza	vallivo	c
70	Ciamousseretto*	Noasca	glacionevato		356.1	Sabbione Centrale	Formazza	montano	
70.1	Ciamousseretto I*	Noasca	sepolto		357	Sabbione Nord	Formazza	vallivo	c
71	Goi*	Noasca	glacionevato		357.1	Sabbione Nord I	Formazza	montano	

Tabella 3 – Elenco dei ghiacciai visitati nel corso della campagna glaciologica 2024 (con * indicati quelli visitati per la prima volta)

3.1. Alpi Marittime

Le nevicate copiose che hanno caratterizzato la seconda parte della stagione invernale 2023/2024 unite ad una estate e soprattutto ad un periodo autunnale senza eccessi di caldo prolungato in quota, hanno permesso la preservazione di numerosi nevai, soprattutto dove sono ancora presenti glacionevati o ghiacciai sepolti da detrito. Una situazione esemplificativa è rappresentata dal versante nord del gruppo Clapier-Maledia-Gelas dove nel mese di settembre erano ancora visibili diffusi nevai che nel seguito si sono mantenuti e addirittura incrementati grazie alle precoci nevicate autunnali (Figura 8).

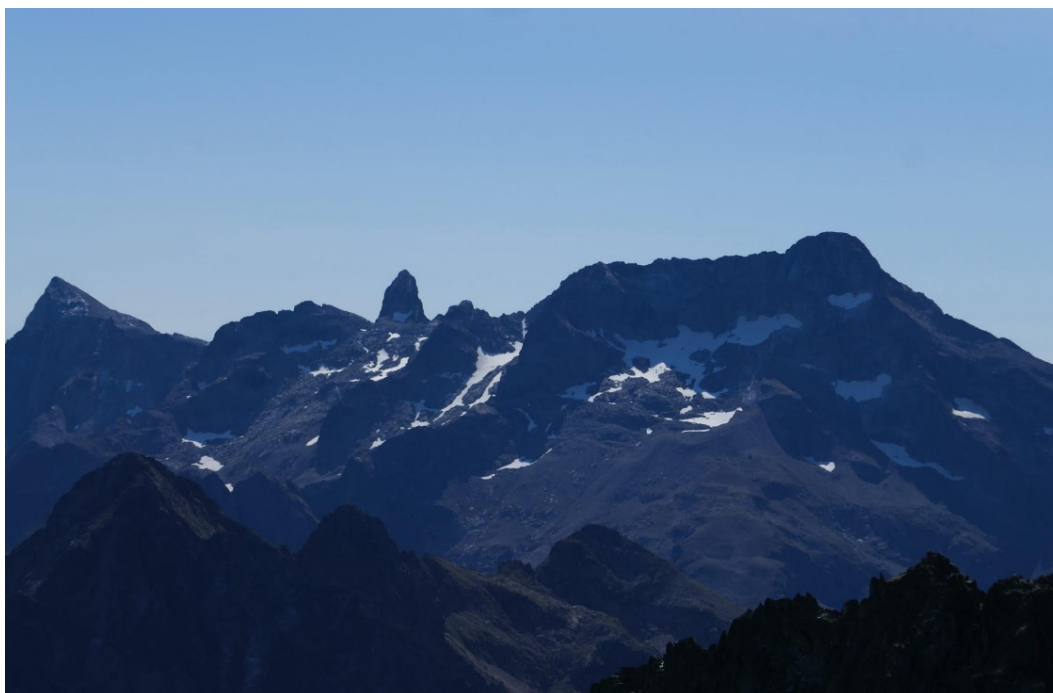


Figura 8 – Panoramica scattata nel mese di settembre 2024 che ritrae da sx a dx i rilievi del Monte Clapier, Cima della Maledia e Monte Gelas; nevai ben rappresentati soprattutto nelle aree dove sono ubicati i glacionevati del Ghiacciaio Nordest del Gelas (al centro nell'immagine) e del Ghiacciaio Nord del Gelas (a destra nell'immagine). Fotografia tratta dal sito web <https://www.gulliver.it/>

Nelle Alpi Marittime le attività di rilievo nell'anno 2024 hanno riguardato il solo **ghiacciaio di Lourousa** (Figura 9) che è stato osservato a distanza il 11 novembre 2024 percorrendo il sentiero che dal Lagarot di Lourousa permette di raggiungere la Punta Stella (2567 m s.l.m.). La conca glaciale così come il soprastante Canalone di Lourousa (Figura 10) si presentavano imbiancati dalle recenti nevicate autunnali, in condizioni simili a quelle rilevate il 7 novembre 2023; tuttavia nel 2024 le nevicate autunnali sono state più precoci dal momento che le prime, già piuttosto abbondanti oltre i 3000 m di quota, si sono verificate nel mese di settembre.

Nella conca glaciale (Figura 11) è stata rilevata una buona copertura di neve recente che, probabilmente, in gran parte maschera i residui della neve dell'ultima stagione invernale (a tratti, tra la neve bianca, affiora la neve rossastra della stagione 2023/24). Il solco di erosione in ghiaccio rilevato nel 2023 non era più visibile perché colmato dalle nevicate della stagione invernale.

La grande frana che si innescò il 20 ottobre 2023 sul versante sottostante la morena frontale non ha subito particolari modifiche morfologiche.



Figura 9 – Panoramica del versante di Lourousa, fotografia scattata il 11.11.2024 dal sentiero che conduce al Lagarot di Lourousa.



Figura 10 – Il canalone di Lourousa in veste quasi invernale grazie alle nevicate autunnali precoci; ripresa effettuata dalla Punta Stella.



Figura 11 – Il ghiacciaio di Lourousa fotografato dal sentiero che conduce alla Punta Stella; ben evidente la morena frontale che delimita il bacino glaciale e il solco di erosione sottostante che ha subito una decisa evoluzione nell'autunno 2023.

3.2. Alpi Cozie Sud: Il Massiccio del Monviso

Nell'area montuosa del Monviso i rilievi effettuati nel 2024 si sono focalizzati sui ghiacciai Caprera, Inferiore di Coolidge e Superiore di Coolidge.

Il **ghiacciaio di Caprera** (Figura 12) è stato rilevato direttamente il 10 ottobre 2024, circa un anno dopo le osservazioni compiute a distanza nel 2023. Rispetto all'anno passato era presente più neve residua dell'ultima stagione invernale 2023/24; la neve vecchia, di colorazione rossastra, era in alcune zone ricoperta da qualche centimetro di neve recente. Le placche di neve erano presenti soprattutto nella parte alta della conca glaciale, ma era ancora visibile un lembo nella zona più bassa del bacino, a ridosso della morena frontale.

Il ghiaccio era osservabile sui bordi della conca con spessori anche significativi (in destra idrografica parete in ghiaccio stratificato di circa 10 m di altezza, Figura 13) e in varie aree in condizioni di sub-affioramento, ricoperto da detriti; al piede del versante glaciale era presente una cavità in ghiaccio (Figura 14).



Figura 12 – Panoramica del ghiacciaio di Caprera, fotografia scattata il 10.10.2024 dalla sommità della morena frontale



Figura 13 – Parete in ghiaccio alla sommità destra idrografica del ghiacciaio.



Figura 14 – Cavit  in ghiaccio ubicata alla base della conca glaciale.

Il **ghiacciaio Superiore di Coolidge**   stato osservato a distanza il 2 ottobre 2024 risalendo il sentiero che collega il Lago Chiaretto con il Lago Lausetto (Figura 15).



Figura 15 – Ghiacciaio Superiore di Coolidge fotografia scattata il 02.10.2024 dal sentiero che collega il Lago Chiaretto con il Lago Lausetto.

Le nevicate precoci che si sono verificate nel mese di settembre, abbondanti soprattutto oltre i 3000 m di quota, hanno fatto assumere, alla parete NE del Monviso sulla quale   ubicato il ghiacciaio, un aspetto invernale. L'area occupata dal residuo del ghiacciaio Superiore di Coolidge era completamente innevata da

neve recente, non si distinguevano più le due placche di ghiaccio osservate distintamente nel 2022 e nel 2023; probabilmente la superficie era ricoperta in precedenza da neve rossastra dell'ultima stagione invernale 2023/24, visibile però solo a tratti dove la neve recente si è mossa sulla sottostante crosta dura (sinistra idrografica).

Il **ghiacciaio Inferiore di Coolidge** è stato rilevato direttamente 2 ottobre 2024; il ghiaccio affiorante o sub-affiorante è esiguo (Figura 16).

Sul cono detritico era presente abbondante neve dell'ultima stagione invernale fino a circa 2500 m di quota; erano anche presenti i residui di una valanga a blocchi (Figura 17) verificatasi nel mese di settembre dopo le abbondanti nevicate che hanno interessato la zona (circa 50 cm oltre i 3000 m di quota), l'accumulo ha raggiunto la quota di 2550 m circa (le quote derivano dalla cartografia ufficiale sulla base della posizione planimetrica ottenuta con GPS Garmin).

La profonda incisione rilevata nel 2023 non era più visibile, colmata dalle abbondanti nevicate della seconda parte dell'inverno 2023/24 (Figura 18). Il grande colamento detritico del 2023 non ha subito significative modificazioni o riattivazioni.



Figura 16 – Panoramica del settore di versante sede del Ghiacciaio Inferiore di Coolidge ormai quasi estinto, fotografia scattata il 02.10.2024



Figura 17 – Valanga a blocchi che si è verificata a seguito delle significative precipitazioni nevose che hanno interessato la zona nel mese di settembre 2024 oltre i 3000 m circa.



Figura 18 – Il profondo solco di erosione rilevato nel 2023 è stato completamente colmato dalla neve della stagione 2023/24.

3.3. Alpi Graie: Le alte Valli di Lanzo

I ghiacciai delle alte Valli di Lanzo sono stati visitati nel corso di un sorvolo con elicottero il 02/10/2024, in condizioni di precoce innevamento dei versanti al di sopra dei 3000 m di quota; il bacino glaciale della Bessanese è stato inoltre visitato il 24-25 luglio, in condizioni di abbondante innevamento residuo. Nel complesso è stato comunque possibile seguire l'evoluzione dei ghiacciai, con il supporto di webcam e soprattutto delle immagini satellitari Sentinel che garantiscono una rivisitazione ogni 2-3 giorni; queste sono state utili per la definizione della neve residua a termine della stagione di ablazione, avvenuta all'incirca i primi giorni di settembre, prima dell'evento meteo del 4-5 settembre che, oltre ad attivare numerosi processi di versante, ha portato abbondante neve precoce in quota che si è conservata fino all'inverno, soprattutto nei versanti ombreggiati.

Più nel dettaglio, per il **ghiacciaio della Croce Rossa**, nonostante la neve recente, sono possibili alcune considerazioni: il lago epiglaciale presente fino al 2022 lungo la cresta NW non risulta visibile, nonostante sia presente il cavo da vento a ridosso della cresta (Figura 19). L'apice SE, poco sotto la vetta, liberato dal ghiaccio nel corso dell'estate 2022, risulta coperto di neve recente e probabilmente ha mantenuto anche una copertura di neve residua. Non è valutabile se sia da confermare la perdita di copertura glaciale per tale area. Il grande crepaccio arcuato che separa il settore frontale, molto acclive, dal corpo centrale del ghiacciaio, al momento della visita è sigillato da neve fresca ma comunque visibile; dai confronti fotografici con la situazione 2023 non si ravvisano evidenti evoluzioni della struttura.



Figura 19 – Vista panoramica da Nord-Est del ghiacciaio della Croce Rossa con un consistente strato di neve lasciato dagli eventi di fine agosto/settembre (foto del 02/10/2024, fonte ARPA Piemonte).

Per il **ghiacciaio della Bessanese**, si osserva l'incessante dinamica gravitativa che interessa il crestone roccioso dello spigolo Murari: la nicchia del crollo di fine agosto 2023 ha generato ulteriori distacchi che hanno portato alla genesi di un piccolo cono detritico sul ghiacciaio al piede della parete e che si sovrappone all'accumulo del 2023 (Figura 21). L'evento meteo del 5 settembre 2024 ha prodotto alcune colate detritiche che dal versante orientale della Bessanese si sono arrestate sui coni di valanga del Crot di Ciaussinè, appena a valle della fronte del ghiacciaio (Figura 22).



Figura 20 – Il ghiacciaio della Bessanese il 29/08/2024, parzialmente coperto di neve residua (foto G. Nigrelli, CNR-IRPI)



Figura 21 – Ghiacciaio della Bessanese, area interessata dal crollo di fine agosto 2023; durante la visita del 25 luglio 2024 si è osservata la continua evoluzione della nicchia attraverso la produzione di crolli in roccia di piccole-medie dimensioni (immagine del 25/07/2024, fonte ARPA Piemonte).

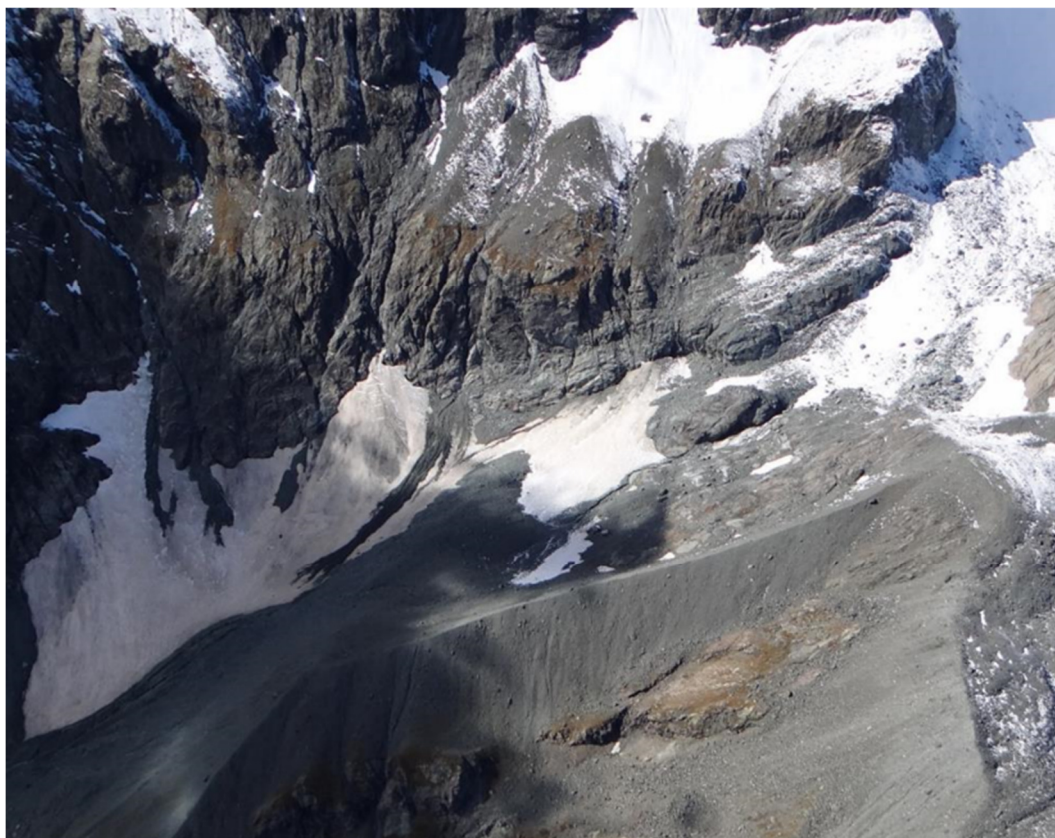


Figura 22 - Colate lungo i coni del Crot di Ciaussinè, prodotte dall'evento del 05/09/2024 (immagine del 02/10/2024, fonte ARPA Piemonte)

Sul piccolo ramo che sborda in Italia dalla cresta di confine con la Francia del **ghiacciaio del Collerin d'Arnas**, il lago di contatto glaciale riconosciuto nel 2022 ed osservato nel 2023, persiste con dimensioni un po' più ridotte, forse anche a causa della copertura nevosa visibile sulle immagini Sentinel (Figura 23).



Figura 23 – Estensione del lago del ghiacciaio del Collerin d'Arnas, come osservata nel 2022 sull'ortofoto Google e come visibile in Sentinel a fine agosto 2024, al culmine della stagione di ablazione.

Dalle scarpate detritiche della morena del piccolo **ghiacciaio di Punta Bonneval**, ormai estinto, e dalle sottostanti scarpate della morena laterale sinistra del **ghiacciaio di Sea**, si è alimentata una colata detritica (Figura 24) il cui accumulo ha sepolto per circa $\frac{3}{4}$ della lunghezza un piccolo lago proglaciale alla fronte del ghiacciaio di Sea; il lago è stato riconosciuto sulle immagini Sentinel a partire dal 17/07/2024, raggiungendo la massima estensione il 21/08/2024 con 110 m lunghezza e circa 25 m di larghezza (Figura 25). La colata è avvenuta durante l'evento meteo intenso del 5/09/2024, come ipotizzato dall'analisi delle immagini Sentinel.

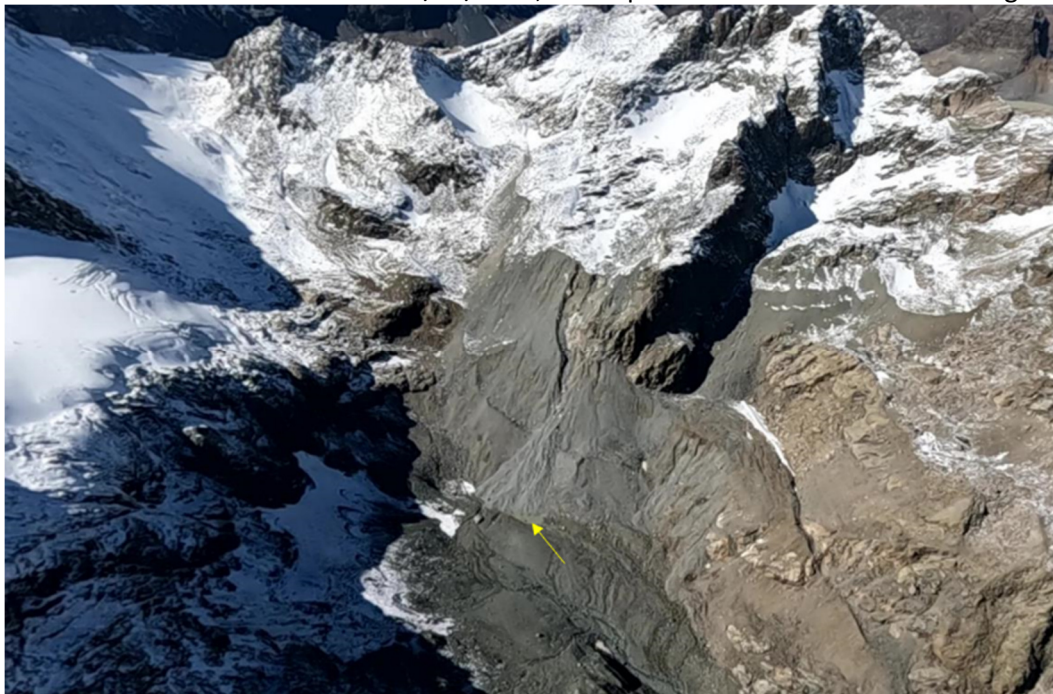


Figura 24 – Ghiacciaio di Sea, innevato, all'ombra e di fronte, al sole, indicato dalla freccia gialla, l'accumulo di colata detritica descritto. La posizione della freccia indica la parte distale, residua, del lago proglaciale, sepolto quasi interamente dall'accumulo detritico (immagine del 02/10/2024, fonte ARPA Piemonte).

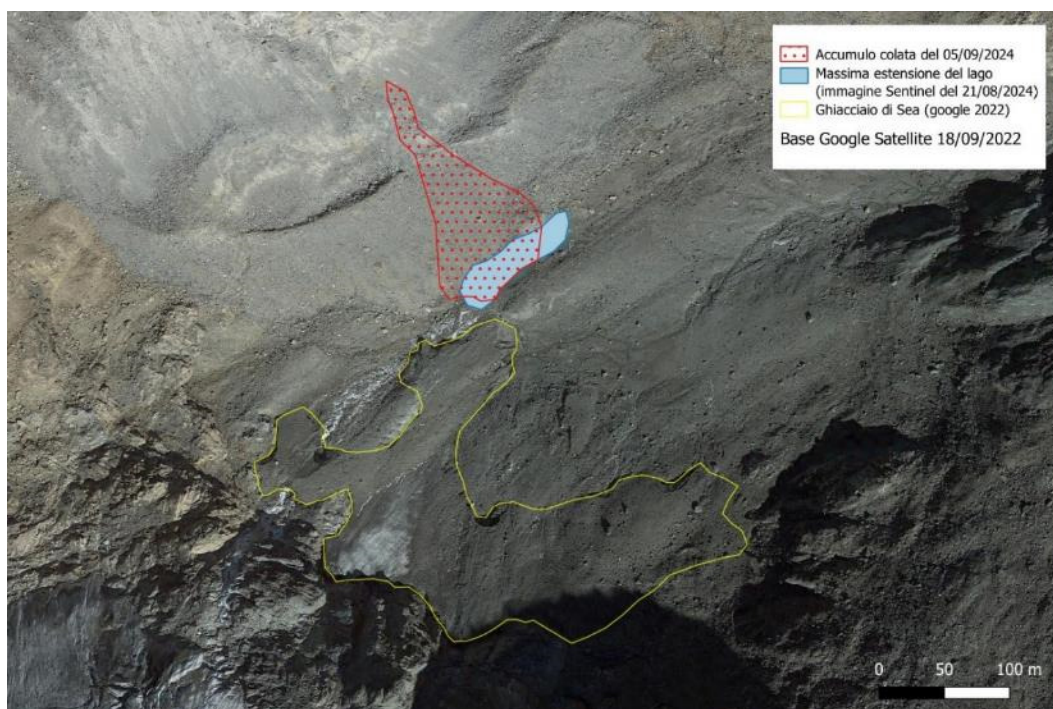


Figura 25 – Cartografia della massima estensione del lago proglaciale (tratta da Sentinel del 21/08/2024) e dell'accumulo di colata detritica che lo ha quasi completamente sepolto (tratta da Sentinel del 10/09/2024) su base Ortofoto Google Satellite del 18/09/2022 (i limiti del ghiacciaio di Sea sono approssimativi in quanto obliterati dal detrito, si riconoscono nell'ortofoto alcune scarpate in ghiaccio, arcuate, possibile indizio della presenza di una bocca glaciale).

Altre colate detritiche si sono originate dai canali in roccia delle pareti sovrastanti il **ghiacciaio di Martellot**, queste si sono propagate lungo il ghiacciaio stesso per arrestarsi sui coni di valanga ancora presenti sul ghiacciaio e a valle (Figura 27). Sulla base delle immagini Sentinel si ipotizza che le colate si siano prodotte durante l'evento del 05/09/2024 (Figura 26).

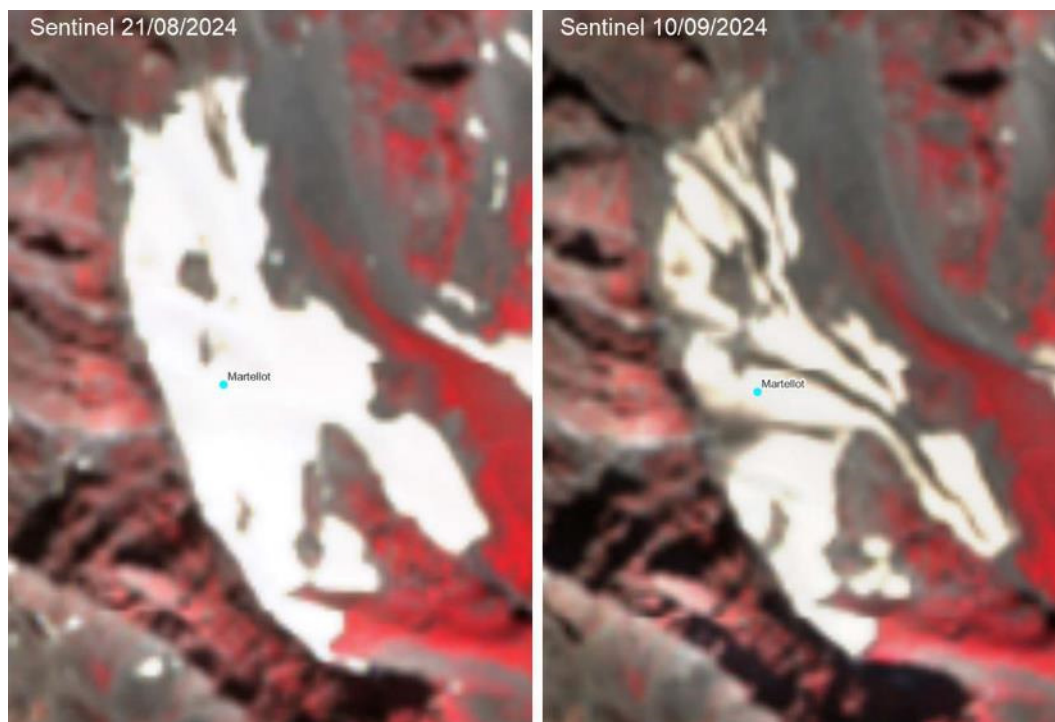


Figura 26 – Immagini Sentinel (falsi colori) pre- e post-colata detritica del 05/09/2024; sono molto evidenti gli accumuli delle colate detritiche che hanno attraversato il ghiacciaio.



Figura 27 – Ghiacciaio di Martellot, innevato, attraversato da numerosi accumuli di colata detritica attribuiti all'evento del 05/09/2024 (immagine del 02/10/2024, fonte ARPA Piemonte).

3.4. Alpi Graie: Il Massiccio del Gran Paradiso

I ghiacciai del lato piemontese del Parco Nazionale del Gran Paradiso sono stati visitati per la prima volta nell'ambito delle campagne glaciologiche di ARPA Piemonte, nel corso di un sorvolo congiunto con il personale del Parco, eseguito l'11 ottobre 2024. Come anticipato, a causa della neve precoce, i ghiacciai si presentavano già interamente coperti di neve fresca, ciononostante è stato possibile raccogliere un'abbondante mole di materiale foto/video per la definizione della baseline ghiacciai (Figura 28 e Figura 29). Anche in questo caso un elemento ricorrente è stata l'evidenza di processi gravitativi attivatisi in particolare durante l'evento meteo del 05 settembre 2024, come descritto di seguito.



Figura 28 – Ghiacciaio di Nel Occidentale, come si presentava nel corso del sorvolo dell'11/10/2024: nonostante l'innevamento recente è possibile riconoscere i caratteri principali quali i crepacci, i piccoli seracchi a sinistra nella foto e la posizione delle fronti, abbastanza ben riconoscibili per il contrasto rispetto alle rocce del substrato, fonte ARPA Piemonte.



Figura 29 – Ghiacciaio di Basei, innevato l'11/10/2024, fonte ARPA Piemonte.

Evidenze di instabilità sono state riconosciute su segnalazione del personale del PNGP nell'area dove sorgeva il **ghiacciaio di Col Perduto**, descritto come estinto già nel catasto 1995 anche se probabilmente sotto il detrito sopravvive ancora qualche placca di ghiaccio residuo. L'evento meteo del 05/09/2024 ha prodotto

una colata che si è propagata dal colle omonimo fino alle morene di quota 2700 m slm circa (Figura 30). Le incisioni ben riconoscibili sulla morena, in particolare la cerchia più esterna, sono preesistenti e solo rinfrescate dall'evento del 05/09/2024 (Figura 31 e Figura 32).

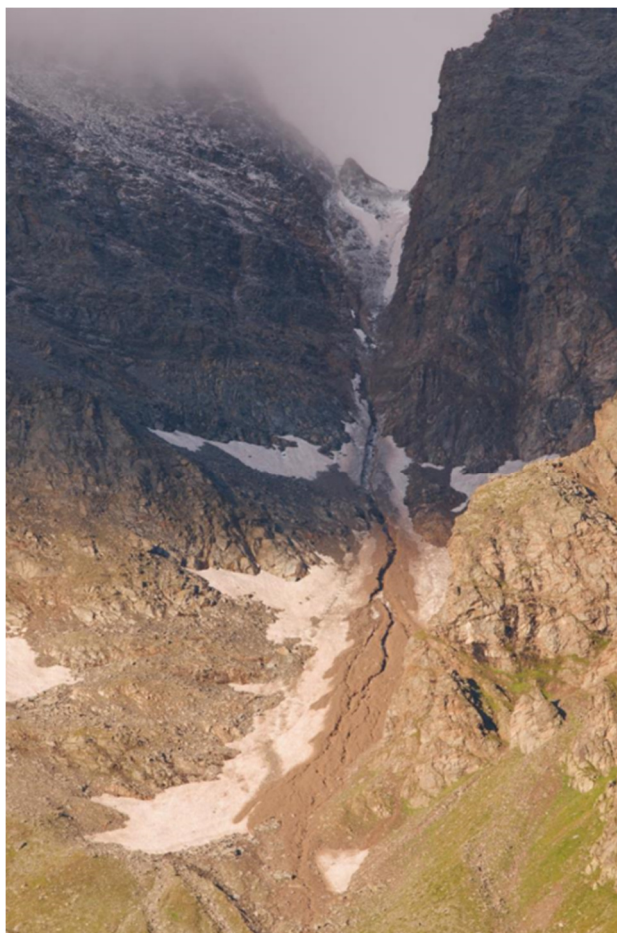


Figura 30 – Canale del Col Perduto, attraversato dalla colata detritica del 05/09/2024 (foto PNGP, 09/09/2024).



Figura 31 – Versante nord-orientale della Levanna Orientale (a sinistra) e della Levannetta (a destra) e vista panoramica dell'anfiteatro morenico della PEG, solcato da numerose incisioni, l'11/10/2024, fonte ARPA Piemonte.

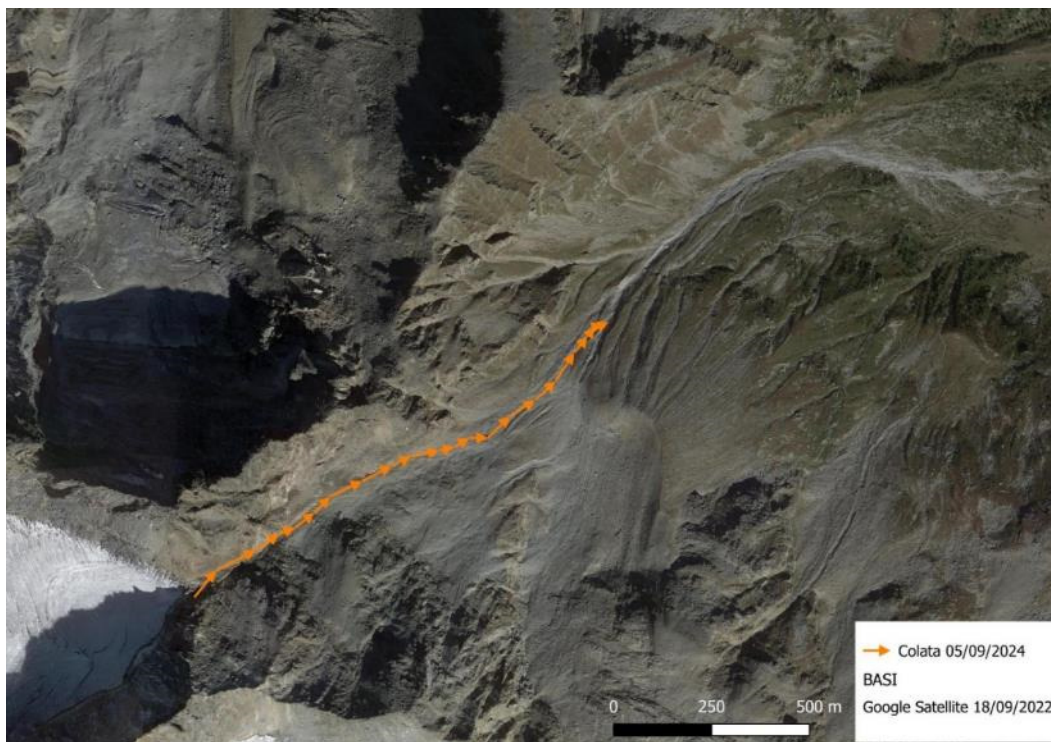


Figura 32 – Mappa della colata del 5 settembre 2024 su ortofoto Goggle (18/09/2022)

Ai piedi del **ghiacciaio del Carro Centrale**, su segnalazione del personale del PNGP sono stati osservati i segni di una importante colata detritica che ha profondamente inciso la morena frontale (Figura 34). La colata è stata prodotta dall'evento meteo del 05/09/2024, come anche ben riconoscibile dalle immagini Sentinel (Figura 33); le acque concentrate hanno prodotto un'incisione lunga 650 m e larga 20-30 m sul lato esterno della morena frontale; il materiale detritico asportato è stato rideposto al piede dei salti rocciosi, in due ampi accumuli di colata detritica separati da una piccola incisione; nel dettaglio di Figura 34 e di Figura 35:

1. ghiacciaio del Carro Centrale I
2. grande incisione prodotta nella morena, tra le quote 2750 m e 2450 m slm che termina a ridosso di una bancata rocciosa;
3. primo accumulo di colata, al piede del salto roccioso, esteso per circa 19.000 m² tra le quote 2400 m e 2270 m slm;
4. piccola incisione
5. secondo accumulo, esteso per circa 36.000 m² tra le quote 2250 m e 2150 m slm nei pressi dell'Alpe Mandetta.

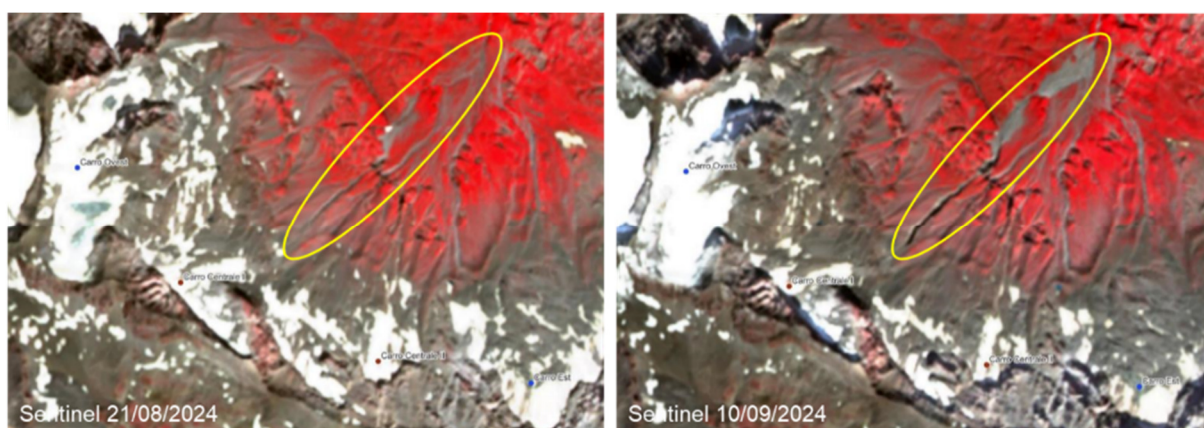


Figura 33 – Sequenza multitemporale sulle immagini Sentinel pre- e post-evento del 05/09/2024, falsi colori (<https://browser.dataspace.copernicus.eu>)

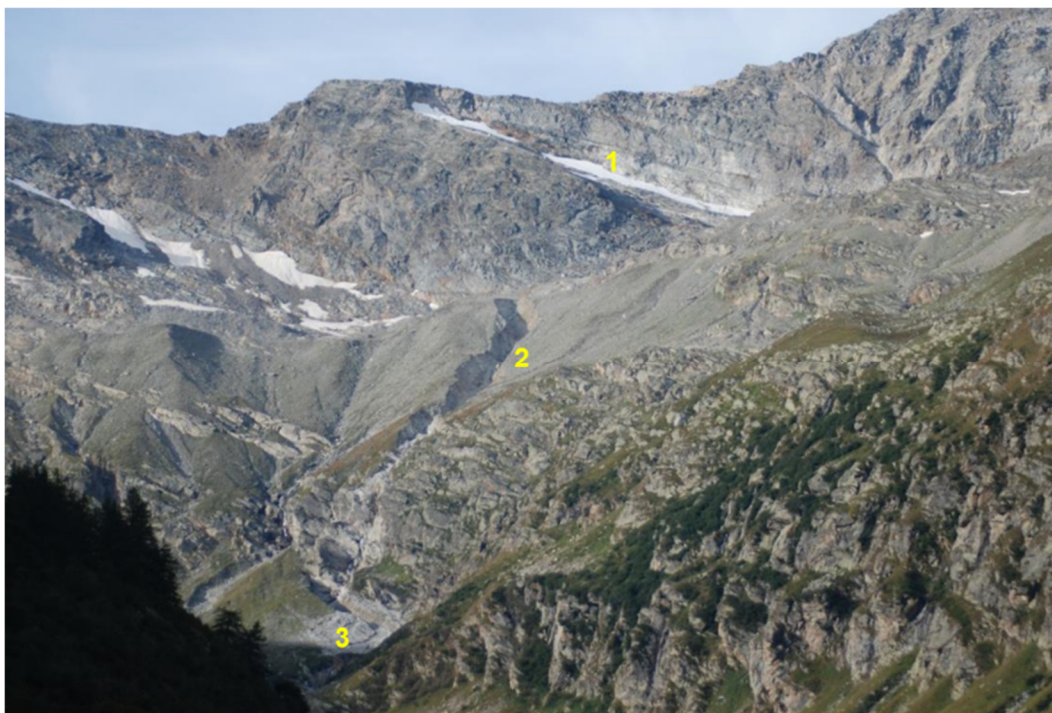


Figura 34 – Vista panoramica della conca del ghiacciaio del Carro Centrale I interessata dalla colata detritica del 05/09/2024, dettagli nel testo (foto PNGP, 11/09/2024).

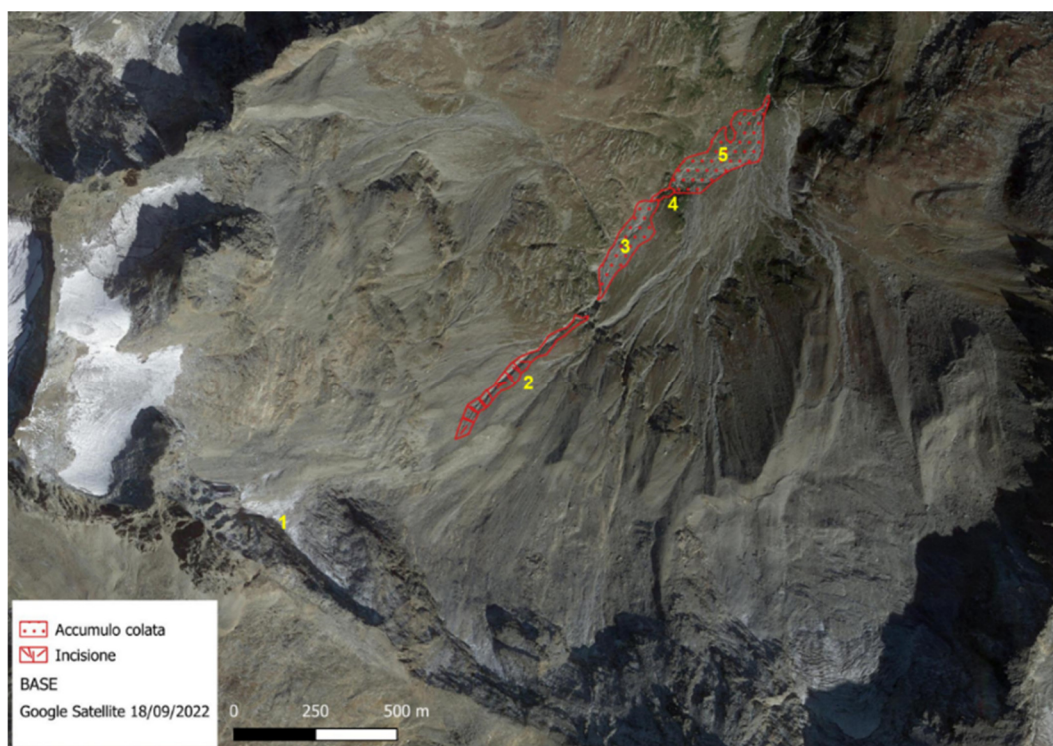


Figura 35 – Cartografia degli effetti della colata del 05/09/2024 su base Google del 18/02/2022, descrizione nel testo.

Sul **ghiacciaio di Noaschetta Occidentale**, oltre all'ampia morena mediana, si è osservata l'evoluzione del lago di contatto glaciale sul fianco destro, riconosciuto già almeno dal 2006 e contornato da una scarpata in ghiaccio verticale (Figura 36). Sulla base dell'estensione tratta dall'immagine Sentinel del 21/08/2024, si osserva la continua migrazione del lago verso Nord, seguendo la contrazione del ghiacciaio, e la riduzione delle sue dimensioni, culminate nel 2018 con circa 18.500 m² e ora ridotte a meno di 7.000 m². Inoltre, un piccolo lago era comparso nel 2022 alla fronte, a contatto con la morena mediana di destra; nel 2024, sulla base dell'immagine Sentinel del 21/08/2024, questo sembra essersi esteso ad oltre 7.000 m²; durante la visita dell'11/10/2024, risultava però non visibile perché coperto di neve.

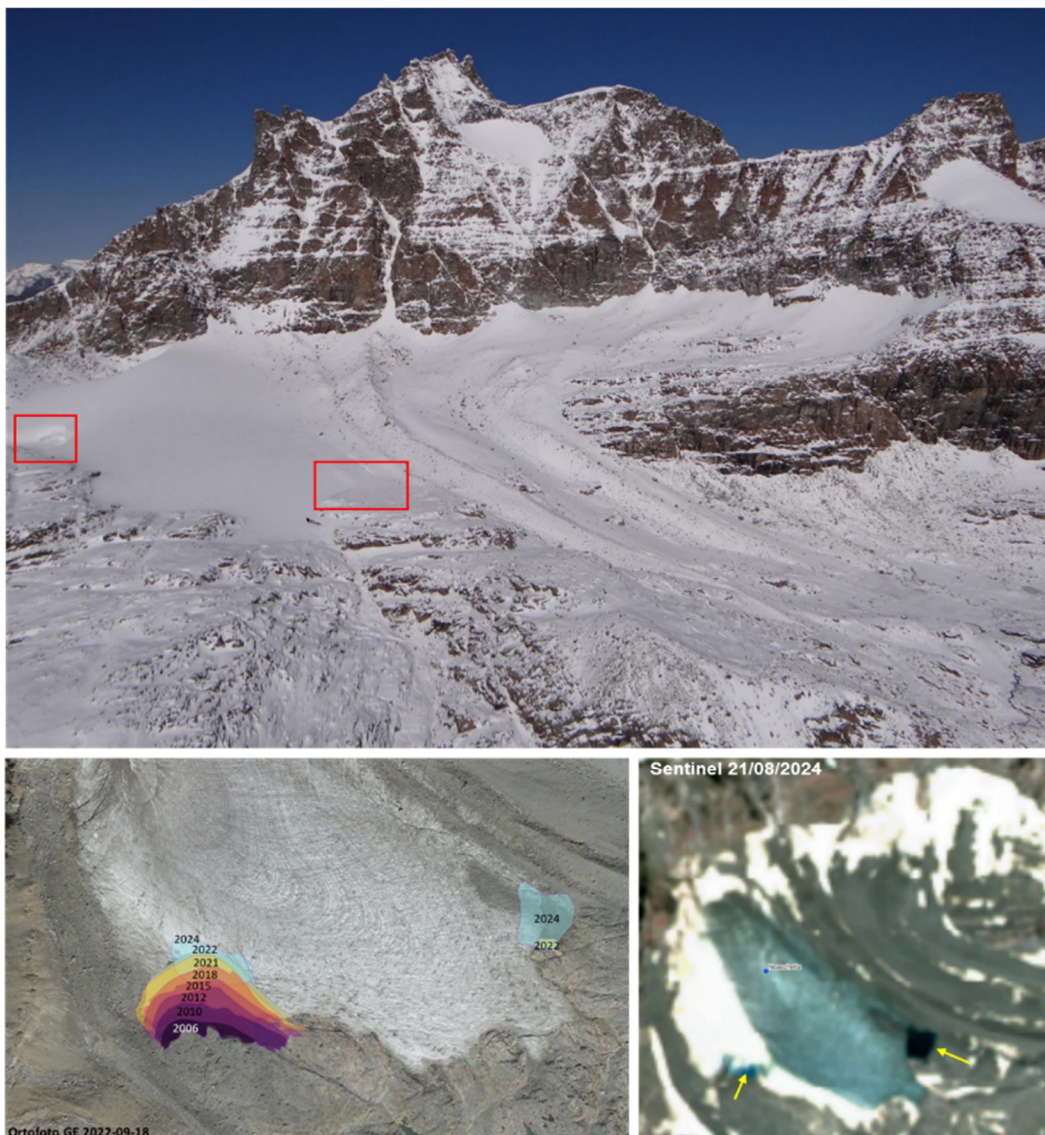


Figura 36 – Ghiacciaio di Noaschetta Occidentale, durante la visita dell'11/10/2024 (in alto), nei riquadri la posizione dei due laghi di contatto glaciale, la cui estensione storica è riportata nell'ortofoto in basso a sinistra (su base Google del 18/09/2022) e l'estensione 2024 nell'immagine Sentinel (in basso a destra) del 21/08/2024, fonte ARPA Piemonte.

3.5. Alpi Pennine: Il Massiccio del Monte Rosa

Il massiccio del Monte Rosa, settore maggiormente glacializzato delle Alpi piemontesi, raggiunge le maggiori quote e l'energia di rilievo più elevata; rappresenta inoltre il settore montano con le dinamiche di instabilità più diffuse, nel quale si sommano differenti processi attivi. Per tali ragioni il massiccio è stato visitato numerose volte da luglio a ottobre, come illustrato di seguito, ed oggetto di un esteso approfondimento (cfr § 5) al quale si rimanda per i dettagli.

Nel corso dell'estate, l'area è stata inoltre interessata da due eventi pluviometrici intensi:

- il 29/06/2024¹ che ha generato estesi e diffusi processi di piena torrentizia e di colata detritica, lungo tutto il fianco sinistro del bacino glaciale del Belvedere e poi la conca di Macugnaga, con gravi danni all'abitato;
- il 05/09/2024², evento che ha colpito maggiormente altre aree del Piemonte ma che nell'area ha prodotto una piena torrentizia e limitati processi di colata detritica.

Le visite all'area (Tabella 4) sono iniziate proprio con i sopralluoghi a seguito dell'evento di fine giugno, a conclusione dei quali è stata organizzata una visita congiunta con il Dipartimento di Protezione Civile Nazionale, Regione Piemonte, ARPA Piemonte, organizzata dal CNR-IRPI. A termine dell'estate sono state svolte le attività di osservazione e monitoraggio dei ghiacciai avvenute da terra e tramite sorvoli con elicottero, messo a disposizione dalla Regione Piemonte, Settore Protezione Civile. A fine ottobre è stato anche eseguito il secondo rilievo con tecnologia Gigapan, in collaborazione con l'Università La Sapienza di Roma, nell'ambito del progetto Geosciences IR (<https://geosciences-ir.it/>).

02/07/2024	Visita e sorvolo post evento 29/06/2024
18/07/2024	Sopralluogo con CNR-IRPI
09/08/2024	Salita Capanna Margherita
03/09/2024	Visita congiunta CNR – DPCN – Reg. Piemonte
11/09/2024	Sopralluogo con Unito
18/09/2024	Sorvolo versante Est
30/10/2024	Sorvolo versante Sud + Gigapan parete Est

Tabella 4 – Visite eseguite nel 2024 al massiccio del Monte Rosa per il monitoraggio dei ghiacciai e dei processi di instabilità attivi

Le visite a terra si sono concentrate nell'area del bacino glaciale del Belvedere, mentre con i sorvoli in elicottero sono stati osservati tutti i ghiacciai del massiccio della Val Sesia (Bors, Piode, Parrot, Sesia-Vigne, Locce Sud) e dell'alta valle Anzasca (Pizzo Bianco, Locce Nord, Signal, Monte Rosa, Nordend, Belvedere, Piccolo Fillar, Castelfranco, Roffel. La raccolta di dati foto/video ha permesso la restituzione di un modello fotogrammetrico dell'area, secondo la procedura speditiva sperimentata nel 2023. In particolare, è stato possibile confrontare la situazione riscontrata nel settembre 2023 con quella attuale, ad un anno di distanza.

In sintesi, nel 2024 si è osservato:

- l'abbondante innevamento primaverile residuo, diffuso già a quote medie (2400 m nei versanti rivolti a Nord, 2800 m a Sud) e sostanzialmente continuo sopra i 3000-3100 m di quota, ben riconoscibile per il colore ocra dato dalla concentrazione delle polveri sahariane cadute in primavera; numerosi accumuli di valanga residuo erano ancora ben visibili a termine della stagione di ablazione (Figura 37);
- al di sopra dei 3200 m, la copertura nevosa è continua ed indistinguibile tra neve fresca e neve residua; in ottobre sono stati osservati già importanti accumuli di valanga caduti con le prime nevicate autunnali (Figura 38);
- gli accumuli detritici delle colate prodotte dagli eventi meteorologici del 29 giugno e del 5 settembre scorsi: questi hanno interessato le aree di Nordend, Piccolo Fillar, Castelfranco, Jazzi, raggiungendo

¹ Rapporto di evento ARPA Piemonte: https://www.arpa.piemonte.it/sites/default/files/media/2024-09/rapporto_evento_29_30_giugno_agg_v2.pdf

² Rapporto di evento ARPA Piemonte: https://www.arpa.piemonte.it/sites/default/files/media/2024-09/Rapporto_evento_4_5settembre2024.pdf

- in molti casi la superficie del ghiacciaio del Belvedere (Figura 40); da notare la grande estensione dell'accumulo detritico generato al piede del canale Imseng esteso per oltre 1 km di lunghezza per 200 m di larghezza a coprire parte della lingua del ghiacciaio del Monte Rosa;
- il collasso del lato interno delle morene del Belvedere in particolare sul suo lato destro tra le Locce e il lobo meridionale, con dislocazioni di circa 5-6 m sulla verticale; prosegue l'approfondimento dell'incisione dello scaricatore artificiale del lago delle Locce (- 8 m in un anno).



Figura 37 – I seracchi del ghiacciaio di Signal, ripresi il 18/09/2024, innevati dalla neve residua del 2023 e dalle spruzzate di metà settembre.



Figura 38 – Cono di valanga che si estende dalla fronte fino al sottostante ghiacciaio del Belvedere; sotto l'accumulo fresco, di colore bianco, si intravedono i resti del cono costituito da neve residua, di colore rosso sporco (foto W. Alberto, A. Filipello, 30/10/2024).



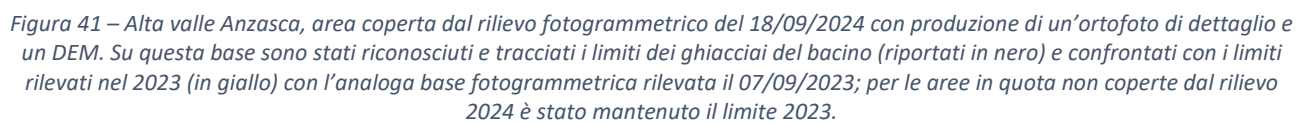
Figura 39 – Ghiacciaio di Sesia-Vigne, lato valsesiano del Monte Rosa, confronto fotografico tra i rilievi di settembre 2023 e ottobre 2024, in condizioni già di abbondante copertura nevosa fresca.



Figura 40 – Fronte del ghiacciaio del Belvedere raggiunto dalle colate (da sinistra verso destra) del t. Piccolo Fillar (evento del 29/06/2024), del t. Castelfranco (evento principale del 27/08/2023 a cui si è aggiunto l'evento del 05/09/2024), Jazzi (evento del 29/06/2024); ben visibili sul lobo settentrionale le due rigole scavate dalle acque di piena del t. Castelfranco che hanno contribuito ad alimentare il t. Anza già dalla fronte glaciale.

L'elaborazione di un nuovo modello fotogrammetrico, a partire dagli scatti fotografici eseguiti da elicottero il 18/09/2024, ha permesso la produzione di un'ortofoto e di un modello digitale del terreno (DEM – Digital Elevation Model) aggiornati (Figura 41). La georeferenziazione è avvenuta attraverso appoggio sulla cartografia esistente (Regione Piemonte 2010 / Agea 2021), gli errori planimetrici ed in quota sono di ordine metrico.

I limiti dei ghiacciai sono stati tracciati sull'ortofoto 2024, dove riconoscibili (Figura 42); dove invece questi sono coperti da neve residua sono stati tenuti quelli del 2023; nel settore più elevato, non rilevato dal rilievo fotogrammetrico a causa della copertura nuvolosa, sono stati mantenuti i limiti del 2023.



Dove le fronti glaciali sono risultate libere da detrito e scoperte dalla neve, per cui la posizione è ben riconoscibile sull'ortofoto rilevata, è stato possibile calcolare un arretramento medio misurando la distanza planimetrica secondo la massima pendenza per i ghiacciai delle Locce Nord (Figura 42), Nordend e Piccolo Fillar (Figura 43); i dati complessivi sono riassunti nella Tabella 5.



Figura 42 – Fronte del ghiacciaio Settentrionale delle Locce: a destra la parte orientale, disgiunta dal flusso principale, alimentata dai coni di valanga; a sinistra la parte occidentale, attivamente alimentata dal flusso glaciale (base ortofoto 2024 ARPA Piemonte).

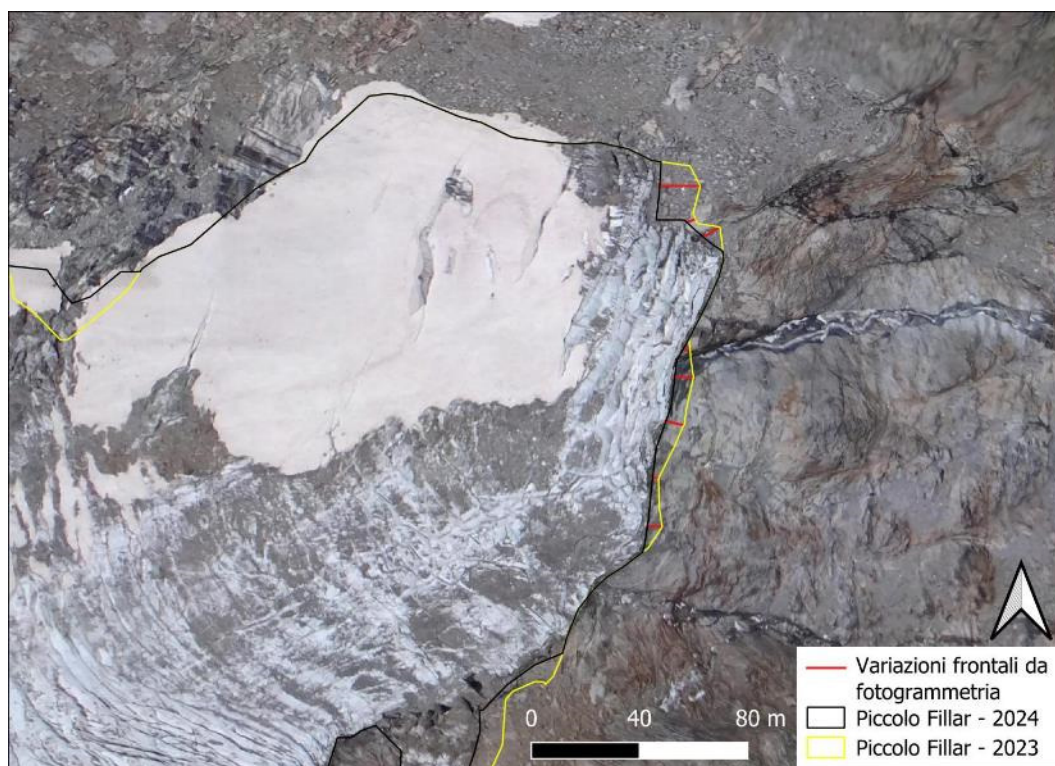


Figura 43 – Fronte del ghiacciaio del Piccolo Fillar (base ortofoto 2024 ARPA Piemonte); sono riportati i limiti 2023 e 2024 e i siti di misura dell'arretramento, calcolato in planimetria. Da notare il consistente accumulo di valanga ancora presente sulla metà settentrionale della lingua.

Ghiacciai	N° punti misura	Variazione media 2023-2024
Locce Nord	8	-11 m
Nordend	2	-16 m
Piccolo Fillar	9	-5 m

Tabella 5 – Variazioni frontali misurate nel confronto 2023-2024, variazione planimetrica.

La perimetrazione dei limiti dei ghiacciai ha permesso inoltre la misura delle superfici, calcolata in planimetria; il confronto multitemporale dal 2010 al 2024 (Tabella 6) mostra trend in contrazione, con un rallentamento nell'ultimo anno, favorito dall'abbondante innevamento tardo invernale-primaverile.

	Area 2010 (km ²)	Area 2018 (km ²)	Area 2023 (km ²)	Area 2024 (km ²)
Locce Nord	1.10	1.03	0.91	0.91
Signal	0.66	-	0.56	0.56
Monte Rosa	2.20	-	2.01	2.02
Nordend	0.63	-	0.46	0.46
Belvedere	1.75	-	1.45	1.43
Piccolo Fillar	0.39	0.38	0.33	0.33
fonte	Ortofoto Regione Piemonte 2010	Ortofoto AGEA 2018	Ortofoto Arpa Piemonte 2023	Ortofoto Arpa Piemonte 2024

Tabella 6 – Variazione della superficie planimetrica dei ghiacciai del versante orientale del Monte Rosa, in tabella e grafico: le perimetrazioni sono tratte dalle ortofoto sulla base di un'analisi originale ARPA Piemonte.

Il **ghiacciaio Settentrionale delle Locce** si presenta con una copertura di neve residua irregolare, ben visibile per il caratteristico colore rosso sporco, nella parte medio bassa fino alle sponde del lago delle Locce; invece, la parte medio alta, da quota 3100 m circa, il ghiacciaio risulta coperto da neve di colore bianco, non distinguibile tra residua e fresca (Figura 44). Nel corso dell'ultimo anno, il ghiacciaio ha subito solo lievi modifiche dei margini e della fronte, si veda al riguardo la Figura 41; in particolare le fronti, dove non coperte da neve residua, hanno mostrato un arretramento irregolare: sfruttando le ortofoto rilevate il 07/09/2023 e il 18/09/2024, è stato misurato l'arretramento planimetrico in 8 punti differenti, con valori variabili da 3 a 19 m e con una media di 11 m di arretramento (Figura 42). Il corpo glaciale isolato, presente a Nord-Est al di sotto delle pareti rocciose, risulta in gran parte coperto da neve residua; la piccola porzione di fronte scoperta mostra sostanziale stabilità, gli unici arretramenti sono registrati in destra e in centro, in corrispondenza dell'apertura di una bocca glaciale (NB la fronte di questo corpo raggiunge la quota minima dell'intero ghiacciaio, a 2520 m di quota, non conteggiata come quota fronte di riferimento in quanto si tratta di un corpo glaciale isolato, non in continuità con il flusso glaciale principale). Il calcolo dell'area planimetrica totale del ghiacciaio (Tabella 6) ha mostrato un lieve aumento rispetto al 2023, imputabile in gran parte all'avanzata del lobo occidentale (Figura 45), dove si riconosce un accumulo di blocchi di ghiaccio, frammisto a detrito. L'avanzata di questa porzione è in atto almeno dal 2010.



Figura 44 – Ghiacciaio Settentrionale delle Locce ripreso dall'omonimo lago; in primo piano il grande cono detritico che scende dalla Punta Tre Amici verso il Lago delle Locce e verso il ghiacciaio del Belvedere; ben visibili i numerosi accumuli di neve rossa residuo delle abbondanti nevicate primaverili (foto W. Alberto, 11/09/2024).

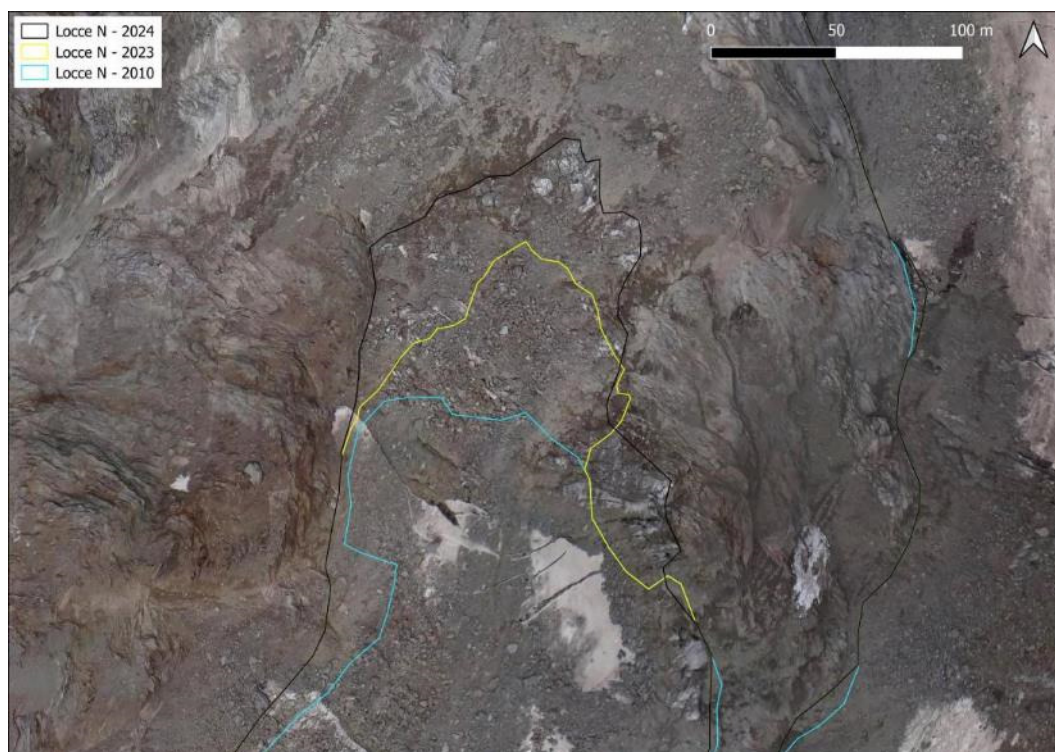


Figura 45 – Fronte del lobo NW, semisepolta dal detrito ed alimentata da un grosso cono di valanga proveniente dal versante orientale della Punta Tre Amici: variazione della posizione tra il 2010 e il 2024; sfondo ortofoto 2024 ARPA Piemonte.

Il **ghiacciaio di Signal** si presenta con una continua copertura di neve indistinguibile tra residua e fresca, al di sopra della linea di seracchi a circa 3200 m di quota (Figura 37). La lingua in destra risulta coperta in modo

irregolare da neve residua con il caratteristico colore rosso sporco, fino al di sotto della fronte; la fronte stessa risulta coperta sia da neve residua che da un cono di valanga delle precoci nevicate di inizio settembre, per tale motivo la sua posizione è ritenuta stabile. Nel corso dell'ultimo anno, il ghiacciaio ha subito solo lievi modifiche dei margini e della fronte (Figura 41). I coni di valanga che occupano i canali al di sotto dei seracchi e poi fino alla lingua del Belvedere, completamente scomparsi nel 2023, si sono ricostituiti grazie agli ingenti apporti valanghivi della primavera 2024 e sopravvivono al momento della visita come ampie placche di neve rossa, parzialmente coperta da detrito; nella visita del 18/09 era già presente un piccolo cono di valanga fresco, poi molto ingrandito nell'ultima visita del 30/10/2024 (Figura 38).

Il **ghiacciaio del Monte Rosa** si presenta con una continua copertura di neve indistinguibile tra residua e fresca, al di sopra dei 3100 m di quota circa. La colata principale risulta coperta in modo irregolare da neve residua con il caratteristico colore rosso sporco, fino in prossimità della confluenza nel ghiacciaio del Belvedere (Figura 46). Il grande cono misto presente allo sbocco del canale Imseng risulta notevolmente più rigonfio rispetto al 2023 anche se le dimensioni planimetriche sono sostanzialmente stabili (Figura 41): questo è costituito dalla somma di apporti di valanga, dei seracchi di monte e del detrito movimentato lungo la parete Est. In occasione dell'evento meteo del 29/06/2024, piogge intense hanno interessato tutta l'alta valle Anzasca, in particolare il suo fianco sinistro, fino in alta quota, circa 4000 m: evidenti segni di colata si sono osservati lungo i versanti.



Figura 46 – Ghiacciaio del Monte Rosa, in primo piano la zona di confluenza nel ghiacciaio del Belvedere (foto W. Alberto, 11/09/2024).

Il **ghiacciaio di Nordend** si presenta con una continua copertura di neve indistinguibile tra residua e fresca, al di sopra dei 3100 m (lato destro del ghiacciaio) - 3300 m di quota circa (lato sinistro). La colata principale risulta coperta in modo irregolare da neve residua con il caratteristico colore rosso sporco, fino in prossimità della fronte; sulla superficie del ghiacciaio trovano posto ampi accumuli di valanga, frammentati dalla dinamica glaciale. Verso valle la colata di ghiaccio presenta una cospicua copertura detritica, alimentata sul suo lato sinistro dai canali in roccia che solcano il versante del Monte Rosa; la copertura detritica diventa pressoché continua verso la fronte, al di sotto dei 2500 m di quota.

Il **ghiacciaio del Piccolo Fillar** si presenta con una continua copertura di neve residua, in media al di sopra dei 2900 m mentre alcuni accumuli di valanga si spingono fino a fianco della fronte, per una superficie innevata totale pari ad oltre la metà del ghiacciaio. Nel complesso il ghiacciaio si presenta con un aspetto molto meno annerito rispetto al 2023 (Figura 47).

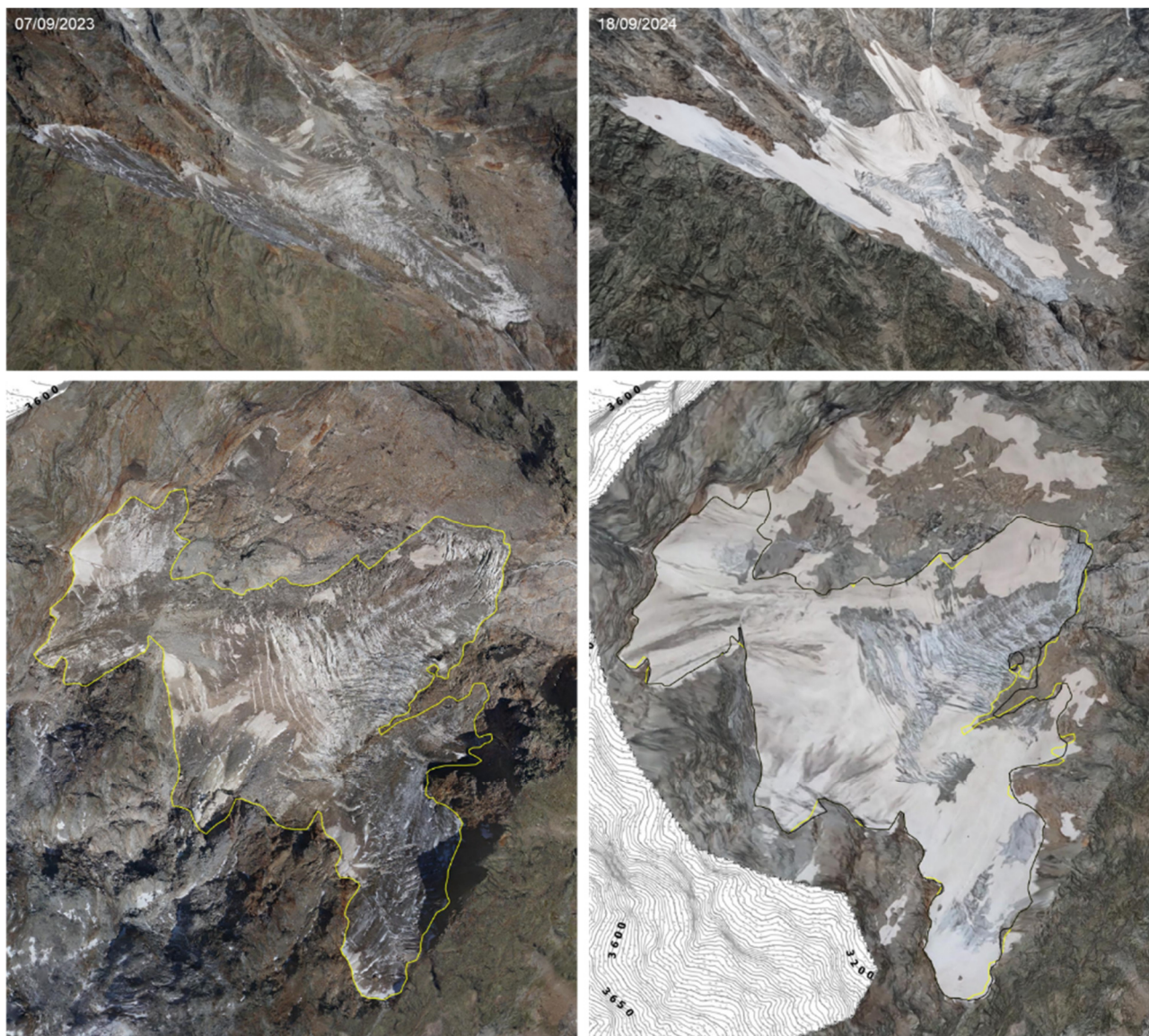


Figura 47 – Ghiacciaio del Piccolo Fillar, confronto tra le riprese fotografiche (in alto), le ortofoto planimetriche (in basso), eseguite nel settembre 2023 rispetto a quelle del settembre 2024, e i limiti del ghiacciaio rilevati sulle ortofoto 2023 e 2024 (ARPA Piemonte).

Si osserva l'abbondante copertura nevosa residua per il consistente accumulo di valanghe avvenuto nella primavera 2024, a testimonianza si riconoscono numerose strisciate grigie di detrito fine a formare piccoli ventagli tipici della deposizione valanghiva di fondo.

3.6. Alpi Lepontine: i Massicci dell'Ossola

I ghiacciai dell'area ossolana sono stati oggetto di osservazioni speditive tramite sorvolo in elicottero effettuato il 9 ottobre 2024. In particolare, sono stati sorvolati gli apparati glaciali dell'Arbola (ghiacciaio del Sabbione Meridionale) e dell'Hosandhorn (ghiacciaio del Sabbione Settentrionale). È stata anche osservata l'area in prossimità del lago dei Gemelli di Ban dove nell'estate 2022 resisteva in modo visibile in superficie una piccola plaga residuale dell'antico ghiacciaio omonimo che in occasione del sorvolo 2024 non è stato più osservato, confermando quanto già osservato nel sorvolo 2023. Non si esclude, tuttavia, che placche di ghiaccio residuale resistano al di sotto della estesa copertura detritica. A causa della copertura nuvolosa, non è stato possibile osservare direttamente altri apparati glaciali dell'area ossolana, a parte piccole placche di ghiaccio residuale nei tratti più riparati della cresta che collega la Punta dei Camosci (2928 m) alla Punta del Ghiacciaio di Ban (2975 m).

Rispetto alla campagna glaciologica effettuata da Arpa Piemonte nel 2023 nell'area del Lago del Sabbione, le osservazioni da elicottero effettuate nel 2024 risultano di difficile interpretazione in quanto è presente, al momento del sorvolo, una copertura di neve fresca caduta nei giorni precedenti. Nonostante ciò, si riesce ad apprezzare il generale arretramento delle fronti ed una riduzione delle aree e degli accumuli glaciali. A causa della copertura di neve fresca, non è possibile osservare fenomeni di instabilità dei versanti rocciosi nelle aree circostanti i ghiacciai; sono osservabili, invece, modeste valanghe nevose spontanee che dalle creste più elevate e ripide si propagano per alcune decine/centinaia di metri lungo i versanti senza tuttavia interessare le aree non innevate.



Figura 48 – Area dei ghiacciai dell'Arbola (visibile sulla destra in alto, semi-nascosta dalla copertura nuvolosa) che costituiscono i residui dell'area di alimentazione del ghiacciaio del Sabbione meridionale. Sono visibili, anche se mascherate dalla recente nevicata, le due lingue principali, oramai completamente distinte e non più confluenti.

Non sono state osservate evoluzioni geomorfologiche significative del settore interessato dalla recente formazione del lago proglaciale alla fronte del piccolo corpo glaciale anonimo la cui testata raggiunge il Blinnenjoch e che un tempo costituiva una delle aree di alimentazione del ghiacciaio del Sabbione Settentrionale. Il piccolo lago, osservato durante il sorvolo del 2023, risulta completamente ricoperto dalla recente nevicata ed eventuali modificazioni della superficie e dell'area circostante risultano completamente mascherate.



Figura 49 – Settore di testata del ghiacciaio dell'Hosandhorn. L'area di alimentazione del ghiacciaio settentrionale del Sabbione risulta ormai completamente smembrata in piccoli corpi glaciali non più in relazione con la lingua principale. Nell'inquadratura si intravede l'area proglaciale in cui si è formato il piccolo laghetto, ora completamente mascherato dalle recenti nevicate.



Figura 50 – Settore frontale della lingua del ghiacciaio settentrionale del Sabbione ripreso da monte. Anche se mascherato dalle recenti nevicate si percepisce la forma appiattita della lingua e la sua parte terminale da cui prende origine il torrente glaciale. La sottile copertura nevosa mette in risalto la forma di modellamento di esarazione (in particolare sul versante sinistro) occupata dal ghiacciaio fino a pochi decenni fa.

4. Piano di monitoraggio

A partire dal 2022 sono stati svolti sopralluoghi, sorvoli ed indagini per la definizione di un livello di conoscenza diffuso ed uniforme sui ghiacciai piemontesi. Con il susseguirsi delle campagne glaciologiche 2023 e 2024, la raccolta dati ha proceduto verso una standardizzazione di informazioni geografiche, alfanumeriche e fotografiche. La collaborazione con il CGI e il CNR-IRPI ha permesso di arricchire le conoscenze con informazioni storiche e con database sull'ubicazione e l'estensione dei ghiacciai e sulle instabilità geomorfologiche delle aree glaciali/periglaciali. L'obiettivo è uno stato di conoscenza uniforme, una *baseline*, che rappresenta la registrazione dello stato attuale (o almeno il più aggiornato possibile) e lo strumento di confronto per l'evoluzione futura dei corpi glaciali e delle aree circostanti.

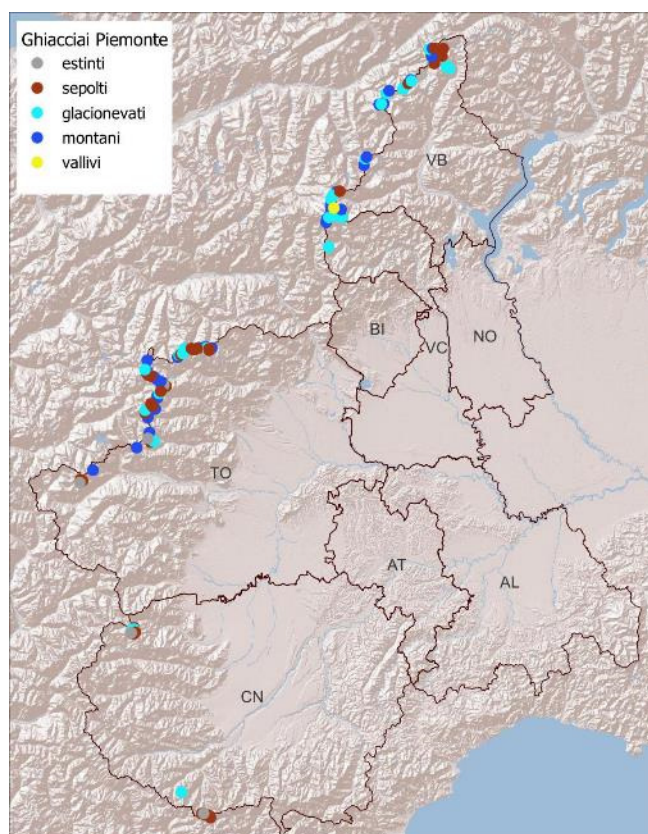


Figura 51 – Distribuzione e tipologia dei ghiacciai piemontesi

4.1. Baseline ghiacciai

I dati raccolti nella *baseline* sono di diversa natura ed origine, perlopiù raccolte da ARPA Piemonte nel corso delle campagne glaciologiche, ma anche provenienti da fonti esterne. Nel dettaglio i dati sono così organizzati:

- una raccolta fotografica (tabella FOTO), con riprese ripetute annuali o quanto più aggiornate possibile; le foto risiedono sui server ARPA e sono raccolte per data e ghiacciaio di riferimento; alle foto è associata la posizione di scatto e la fonte;
- una raccolta video (tabella VIDEO), con riprese ripetute annuali o quanto più aggiornate possibile; le foto risiedono sui server ARPA e sono raccolte per data e ghiacciaio di riferimento; al video è associata la rotta di ripresa e la fonte;
- un database cartografico con la raccolta delle basi cartografiche (tabelle ORTOFOTO e DEM) più aggiornate disponibili per ogni ghiacciaio; di queste sono specificati l'anno di ripresa e la fonte;
- un database vettoriale, geografico, per le instabilità individuate (tabella INSTABILITA'); a seconda della tipologia è costituito da elementi puntuali, lineari o poligonali: di ciascuno ne è indicato il tipo e la data di accadimento, se conosciuta; il DB è popolato da elementi provenienti da differenti fonti

di ARPA Piemonte (Sifrap, BDE, rilievi originali) o esterne (Catasto delle frane di alta quota nelle Alpi, del CNR-IRPI - <https://geoclimalp.irpi.cnr.it/catasto-frane-alpi/>);

- un database vettoriale, geografico, per ogni ghiacciaio (tabella **GHIACCIAI**) che rappresenta il nucleo del DB; è costituito da un livello base di elementi puntuali (un punto per ogni ghiacciaio, in maniera univoca) a cui è associata la codifica del CGI e il nome ufficiale; dove disponibili sono presenti i poligoni relativi all'estensione, riferiti ad una precisa campagna di rilievo; questi poligoni derivano dai catasti CGI (aggiornati fino al 2012/2013) e dai rilievi originali, fotogrammetrici di ARPA Piemonte (aggiornati al 2023/2024). Alla tabella ghiacciai sono associate le informazioni provenienti dalle altre tabelle descritte sopra, in relazioni molti a uno;
- in associazione alle informazioni di cui sopra, per ogni ghiacciaio è presente l'indicazione delle campagne glaciologiche di ARPA Piemonte (tabella **CAMPAGNE**) nelle quali è stato visitato.

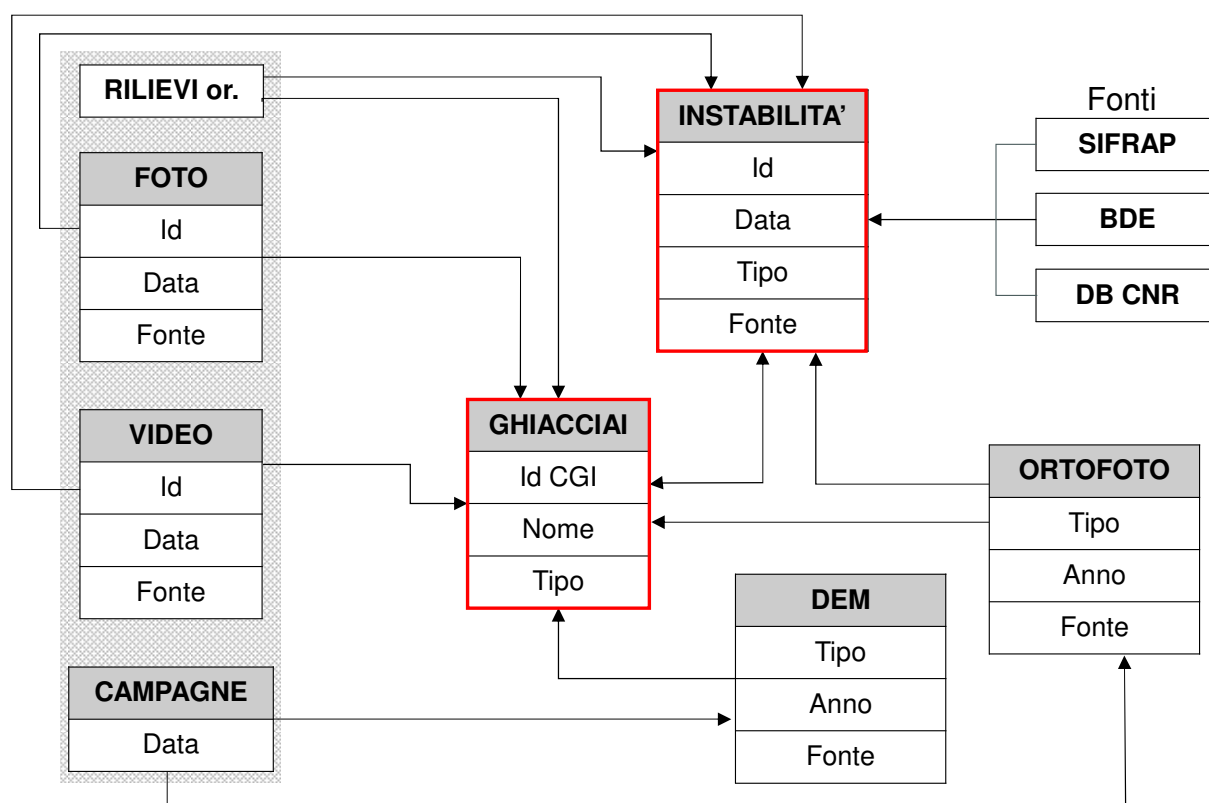


Figura 52 – Schema relazionale della baseline ghiacciai

Per i casi più significativi, le informazioni di carattere geografico ed alfanumerico sono accompagnate da una descrizione testuale che illustra tramite fotografie e cartografie la situazione riscontrata nel corso della campagna. Per le campagne glaciologiche 2022, 2023 e 2024 queste informazioni, oltre che illustrate nelle relazioni annuali, sono state raccolte nelle schede descrittive dei ghiacciai ed inviate al CGI; in totale sono state consegnate 41 schede e 19 integrazioni:

Campagna glaciologica	N° schede	N° integrazioni	Totale
2022	10	6	16
2023	20	9	29
2024	11	4	15

Tabella 7 – Schede ed integrazioni alle schede consegnate al CGI

Alla baseline si affiancano alcuni approfondimenti dei casi più significativi per dinamica dell'instabilità naturale in confronto alla frequentazione antropica.

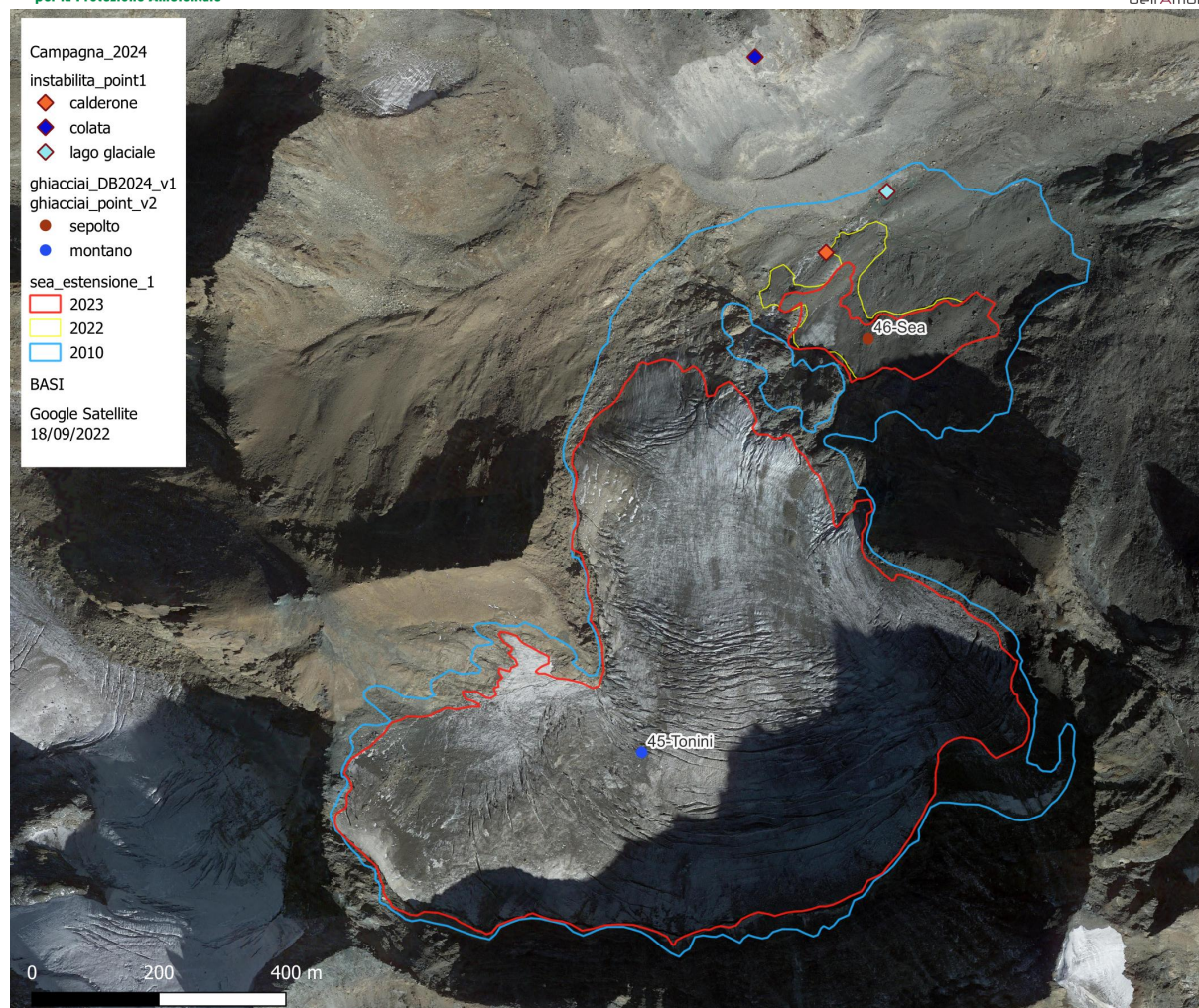


Figura 53 – Esempio della baseline cartografica dei ghiacciai Tonini e Sea, alla testata della val Grande di Lanzo: sono riportati i limiti dei ghiacciai per le annate in cui sono stati tracciati, il numero CGI, il nome e la tipologia del ghiacciaio, gli elementi di instabilità presenti, la cartografia e la data di ripresa.

4.2. Programma di monitoraggio

La risultanza di due anni di osservazione dei ghiacciai consente di delineare differenti necessità di rivisitazione dei ghiacciai piemontesi; i parametri utilizzati riflettono le analisi svolte nel 2022 e contemplano la lontananza dai territori antropizzati e dalle aree di frequentazione (alta, bassa) da cui è risultata la classificazione PCN (al riguardo si veda la Tabella 1). A tali elementi si affiancano valutazioni sulla presenza di dinamiche geomorfologiche attive, ad esempio osservate e censite nel biennio 2023-2024, per cui se ne rende necessario il controllo dell'evoluzione nel tempo. Di seguito la proposta di un programma di rivisitazione ed approfondimento dei ghiacciai piemontesi, sintetizzato in Tabella 8:

- Per i ghiacciai inseriti nella classe "A" si propongono visite distribuite nell'anno, anche attraverso l'osservazione da remoto e, al fine di monitorare quantitativamente l'evoluzione morfologica del ghiacciaio e delle aree circostanti, si propone di organizzare studi ed approfondimenti specifici, tra cui un rilievo fotogrammetrico con cadenza annuale;
- Per i ghiacciai inseriti nelle classi "B" e "C" si propone una visita annuale, preferibilmente tramite sorvolo per l'osservazione qualitativa dello stato di evoluzione; nel caso si osservino importanti trasformazioni morfologiche e/o l'attivazione di particolari instabilità, si propone di estendere i rilievi fotogrammetrici anche a questa tipologia;
- Per i ghiacciai non classificati, si propone una visita biennale; nel caso tali ghiacciai siano interessati da significative attivazioni di dinamiche morfologiche, allora si propone di aumentare la frequenza ad annuale; anche in questo caso, eventuali peculiari trasformazioni morfologiche suggeriscono l'organizzazione di rilievi fotogrammetrici.

Classificazione PCN	Tipo di rilievo	Cadenza di rivisitazione
Classe A	Osservazione in sito e da remoto Studi specifici Rilievi fotogrammetrici	Pluriannuale Annuale Annuale
Classe B, C	Osservazione in sito e da remoto	Annuale
Nessuna classe	Osservazione in sito e da remoto	Biennale

Tabella 8 – Proposta di programma di osservazione dei ghiacciai piemontesi

5. Approfondimento Monte Rosa

L'alta Valle Anzasca, caratterizzata dalla presenza del ghiacciaio del Belvedere e dei bacini glaciali e periglaciali adiacenti, è un caso esemplare delle tipologie di processi d'instabilità che possono svilupparsi in ambiente glaciale e periglaciale, e delle modifiche indotte dai cambiamenti climatici e ambientali in atto.

La testata della valle è impostata nella maestosa parete Est del Monte Rosa, il massiccio più glacializzato delle Alpi Occidentali. Fino agli anni 1980, la parete Est del Monte Rosa presentava una estesa copertura glaciale, libera da detrito, tanto da meritare l'appellativo di "parete himalayana". A partire dalla fine degli anni 1980, e con rapidità crescente nel nuovo secolo, la copertura glaciale ha subito una riduzione areale, ma soprattutto volumetrica, impressionante, liberando estese aree di roccia e detrito. La rapidità e l'intensità delle trasformazioni in atto hanno determinato l'attivazione di una varietà di processi d'instabilità, che qui riassumono l'intera gamma dei fenomeni peculiari degli ambienti glaciali e periglaciali. A ulteriore conferma, negli ultimi due anni, l'area è stata interessata da tre eventi intesi, il 27/08/2023, il 29/06/2024 e il 05/09/2024, con piene torrentizie ed effetti al suolo localizzati o diffusi.

Per tale motivo l'area del bacino glaciale del Belvedere è stata scelta come sito di approfondimento d'indagine, in aderenza alle attività previste dal Tavolo Tecnico *"Rischio connesso ai fenomeni di dissesto in ambienti glaciali e periglaciali"*.



Figura 54 – Ubicazione delle principali criticità presenti nel bacino glaciale del Belvedere

Tutti gli elementi di instabilità riconosciuti (Figura 54), relativi a processi geomorfologici attivi al momento della redazione della carta (novembre 2024) oppure che hanno mostrato fasi di attività nel biennio di osservazione dell'area (2023-2024), sono stati delimitati e cartografati in una mappa delle instabilità; questa rappresenta la base per gli approfondimenti dei numerosi aspetti della dinamica geomorfologica dell'area. Allo scopo sono stati cartografati i seguenti elementi:

- “canali in erosione”: alvei torrentizi, incisioni che hanno subito un approfondimento e/o allargamento riconoscibile nell’intervallo di tempo considerato; i principali agenti morfogenetici sono le acque incanalate (in particolare quelle dell’evento del 29/06/2024), le valanghe, le scariche di detrito.
- Accumuli detritici: depositi di materiale detritico incoerente dovuti all’attività torrentizia e gravitativa: sono riportati gli accumuli di colata detritica del 27/08/2023 e del 29/06/2024 cartografati nelle rispettive schede SIFRAP; inoltre sono riportati i principali accumuli gravitativi della Punta Tre Amici (la cui cartografia è una versione aggiornata rispetto al SIFRAP in quanto tiene conto dell’attuale geometria dell’accumulo, composto dalla sovrapposizione di più eventi di crollo) e del Canalone Imseng, di natura poligenica per il contributo indistinguibile della dinamica gravitativa, torrentizia e valanghiva.



Figura 55 – Lingua del ghiacciaio del Belvedere coinvolto a più riprese da eventi di piena torrentizia e di trasporto in massa.

- Frane e relative nicchie: fenomeni di frana attiva al momento dei rilievi, cartografati come poligono del corpo di frana e come linea a rappresentare la nicchia di distacco; principalmente sono riportati in carta le diverse frane, talora di scivolamento, talora di natura complessa, che coinvolgono in più punti le scarpate interne delle morene del ghiacciaio del Belvedere.
- Aree in degradazione: settori dove le dinamiche di erosione e trasporto superficiale sono attive; in particolare sono state riportate le scarpate interne delle morene non coinvolte in fenomeni di frana in massa ma interessate di instabilità diffusa, caratterizzata dal crollo di piccole quantità di detrito grossolano ma frequente e dal colamento della matrice fine.
- Fronti seraccate: principali scarpate in ghiaccio sospese con aspetto prominente.
- I ghiacciai sono stati tematizzati sulla base della pendenza della superficie, allo scopo di distinguere ed enfatizzare i settori a maggiore pendenza; i limiti (25° - 45°) sono stati scelti in accordo a Huggel et al., 2004³ e definiscono delle classi a diverso comportamento:
 - <25° settori sostanzialmente stabili per cui non è conosciuta l’attivazione di ice-avalanche;
 - >25° settori di instabilità per i ghiacciai temperati;
 - >45° settori di instabilità per i ghiacciai freddi (la soglia a 60° è stata aggiunta per enfatizzare le aree maggiormente acclivi).

³ Huggel, C., Haeberli, W., Kääb, A., Bieri, D., & Richardson, S. (2004). An assessment procedure for glacial hazards in the Swiss Alps. *Canadian Geotechnical Journal*, 41(6), 1068-1083.

Di seguito la carta delle instabilità dell'Alta Valle Anzasca (Figura 56).

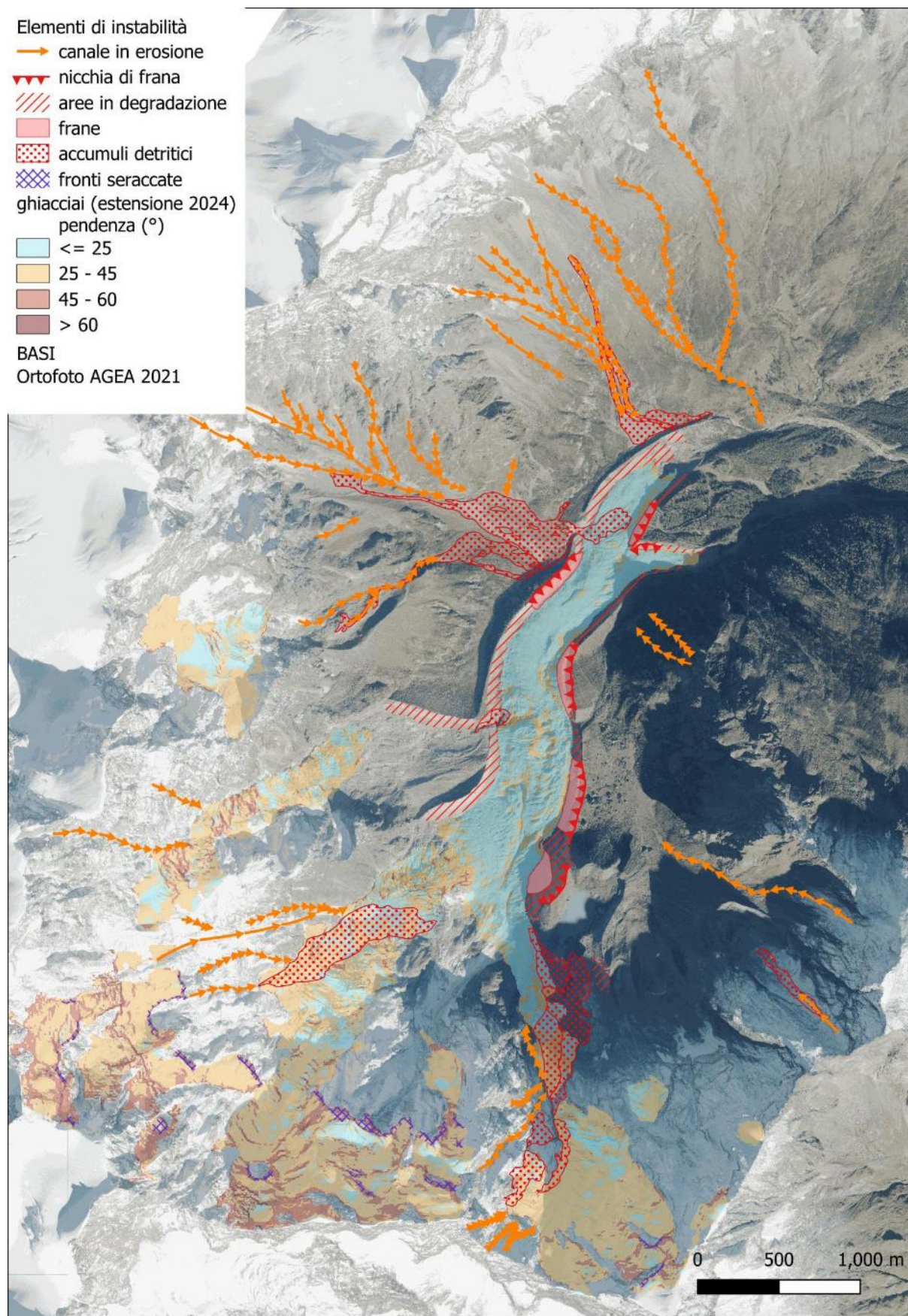


Figura 56 – Mappa delle instabilità attive al settembre 2024, processi attivi nel biennio 2023-2024

Instabilità morene del ghiacciaio del Belvedere

Nel corso dei sopralluoghi, si sono osservati gli effetti del collasso dei lati interni delle morene del lobo sinistro, settentrionale, nelle località di Miravalle e Belvedere in destra (Figura 57), Fillar in sinistra. Il processo è attivo e controllato sia dall'abbassamento della superficie del ghiacciaio con diminuzione della contropinta, sia probabilmente dalla presenza di ghiaccio all'interno delle morene, soggetto a fusione; a partire dal 20 luglio scorso si è osservata la migrazione del torrente proglaciale del lobo sinistro (principale alimentazione del t. Anza) dalla posizione centrale della fronte glaciale (fino al 20 luglio) a una posizione totalmente laterale in destra, esterna alla fronte glaciale (dal 20 luglio, fino almeno al 3 settembre), possibile indizio dell'apertura di un condotto nel nucleo in ghiaccio della morena destra (Figura 58). In conseguenza di ciò, il Comune ha avviato un sondaggio a carotaggio continuo del cuore della morena sul piazzale del Belvedere; il sondaggio era in corso il 3 settembre e non si hanno riscontri del materiale estratto.

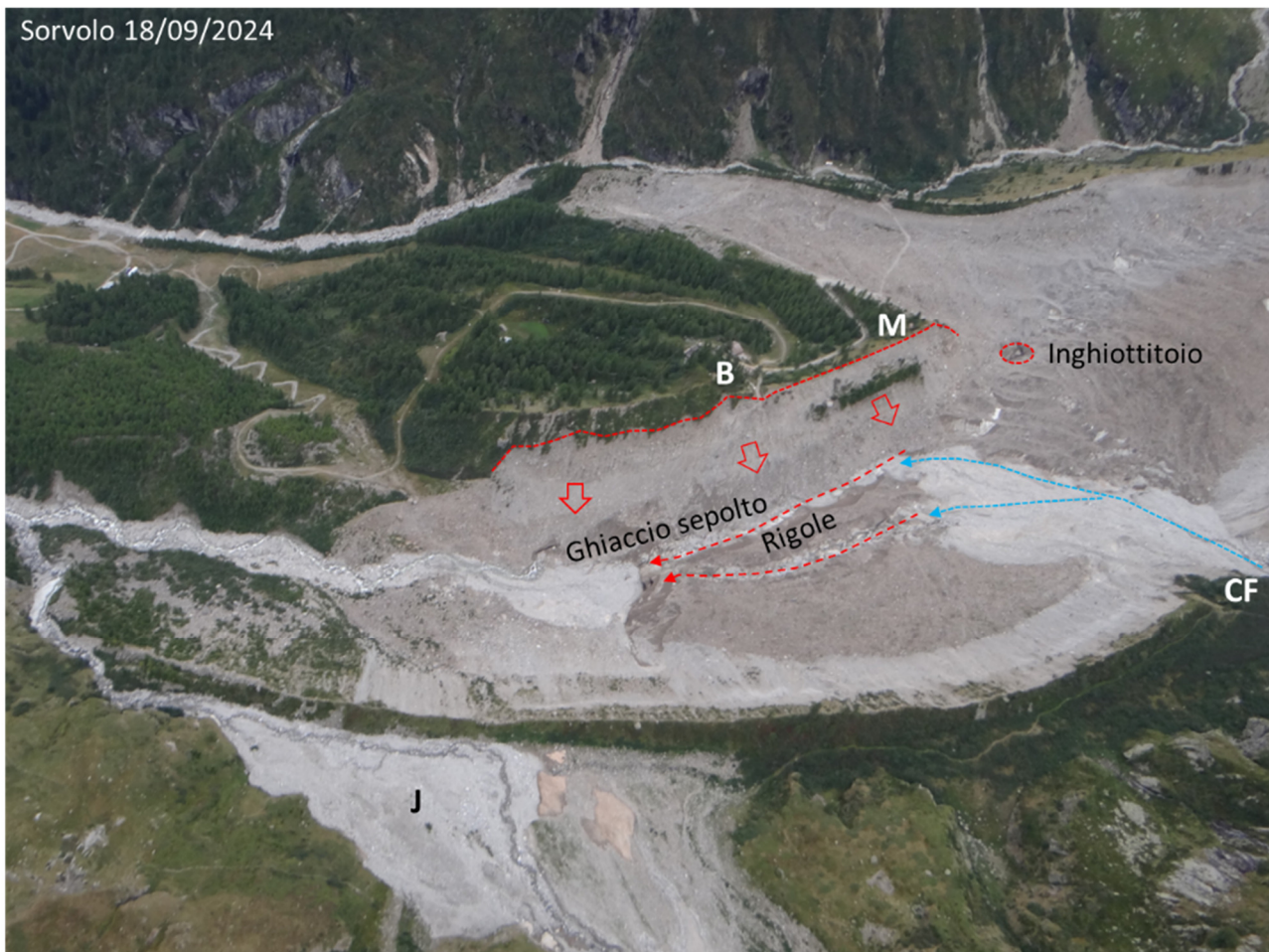


Figura 57 – Lobo terminale settentrionale del Belvedere: la sua morena destra presenta diffusi elementi di instabilità che si esplicano in uno scivolamento planare in blocco in località Miravalle (M), dove a maggio 2024 si è registrato l'abbattimento della webcam di Meteolive VCO, e in una degradazione complessiva di tutta la scarpata, che a Belvedere (B) ha interrotto la pista e l'accesso al ghiacciaio. Da notare inoltre che questo lobo ha intercettato l'idrografia superficiale dei bacini Castelfranco e Piccolo Fillar, in seguito all'evento del 27 agosto 2023 durante il quale il torrente Castelfranco (CF - fuori foto a destra) ha sfondato la morena sinistra del Belvedere e apportato un abbondante accumulo detritico sul ghiacciaio. Lo scorrimento delle acque in superficie ha scavato due profonde rigole parallele, di cui l'incisione attiva in quella destra sta contribuendo a scalzare al piede la morena già instabile. Le due rigole, dopo la formazione nell'agosto 2023, hanno subito un deciso approfondimento durante gli eventi del 29 giugno e del 5 settembre scorsi. In basso l'accumulo di colata detritica del torrente Jazzi (J), prodotta durante l'evento di fine giugno.

Sorvolo 18/09/2024



Figura 58 – La bocca di neoformazione del 20 luglio 2024 si è aperta in corrispondenza di una posizione francamente occupata dal ghiacciaio nel 2015, ora semisepolta da detriti scivolati dal fianco interno della morena laterale destra. “Se la nuova bocca dovesse permanere attiva è possibile che arretri per crolli frontali come avvenuto in corrispondenza della bocca dismessa. La demolizione meccanica di questo settore di ghiacciaio potrebbe accelerarne la consunzione e compromettere ulteriormente la stabilità della morena destra per riduzione del sostegno al piede. Frane di porzioni di morena potrebbe peraltro occludere la nuova bocca” (G. Mortara).



2024-07-18

Figura 59 – Morena sinistra del lobo meridionale: il sentiero di accesso al rifugio Zamboni, particolarmente frequentato nella stagione estiva, sta subendo danneggiamenti per la formazione di crepe e scarpate (stelle gialle); il processo è accentuato dal continuo abbassamento della superficie glaciale e dal collasso del lato interno della morena.

Trasformazioni ghiacciaio del Belvedere:

Il ghiacciaio del Belvedere rappresenta attualmente uno dei siti a maggior dinamicità dell'ambiente alpino, in cui si sovrappongono processi di natura glaciale, gravitativa, torrentizia e valanghiva controllati da una elevata energia di rilievo, dalle rapide trasformazioni in corso nella geometria dei corpi glaciali e dalla sempre maggiore disponibilità di detrito (Figura 60).



Figura 60 – Il ghiacciaio del Belvedere ripreso durante il sorvolo del 18/09/2024

Si riporta la carta delle variazioni di quota della superficie glaciale tra il 2010 e il 2024 (Figura 61), da cui si evincono alcune considerazioni:

- l'abbassamento della superficie è generalizzato per tutta la lingua, ad esclusione dell'area dell'ex lago effimero, la cui depressione è stata colmata dall'apporto di ghiaccio e detrito del ghiacciaio del Monte Rosa;
- l'abbassamento medio nel periodo è di 19 m, la perdita di volume di ghiaccio è pari a 34 milioni di metri cubi;
- i valori di massimo abbassamento si registrano alla fronte del lobo nord (75 m circa) e in corrispondenza di alcune attuali depressioni del ghiacciaio; di particolare interesse quelle poste a ridosso delle morene, che causano l'instabilità osservata.

Il sorvolo, le elaborazioni e i confronti prodotti rappresentano un avanzamento del programma di osservazione e monitoraggio dello stato di evoluzione delle masse glaciali e delle instabilità del Monte Rosa che Arpa Piemonte persegue con sorvoli periodici e con il supporto di tecnologie geomatiche (Figura 61).

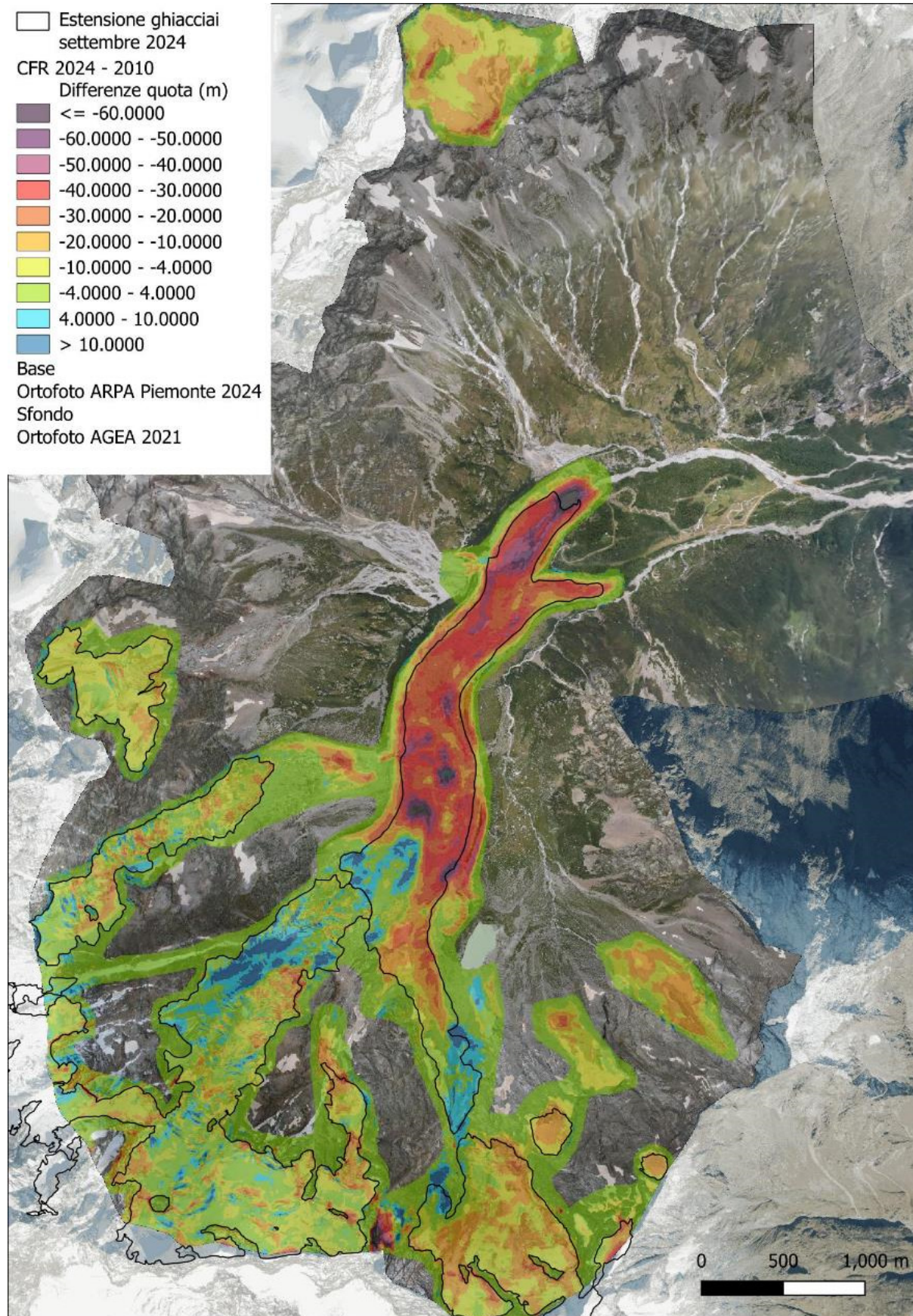


Figura 61 – Mappa delle variazioni di quota registrate dal confronto tra i modelli fotogrammetrici del 2010 e del 2024: in verde nessuna variazione apprezzabile, in blu aumento di quota dovuto all'accumulo di neve o detrito, in rosso diminuzione di quota dovuta alla perdita di ghiaccio per fusione o all'abbassamento della superficie topografica per frana oppure per fenomeni di erosione.

Sorvolo 18/09/2024



Figura 62 – Area di origine della lingua del Belvedere dai flussi glaciali del ghiacciaio del Monte Rosa e delle Locce. All'alimentazione contribuiscono anche gli apporti detritici derivanti dalle pareti del versante Est del Monte Rosa e della P.ta Tre Amici. Con + è indicato il riempimento della depressione dell'ex lago effimero; con – sono indicate le depressioni: la 1, profonda e caratterizzata dalla presenza di un inghiottitoio che intercetta le acque provenienti dal lago delle Locce (vedi oltre); la 2 forma un piccolo lago epiglaciale; la 3 incipiente, a forma di cratere ("calderone").

03/09/2024

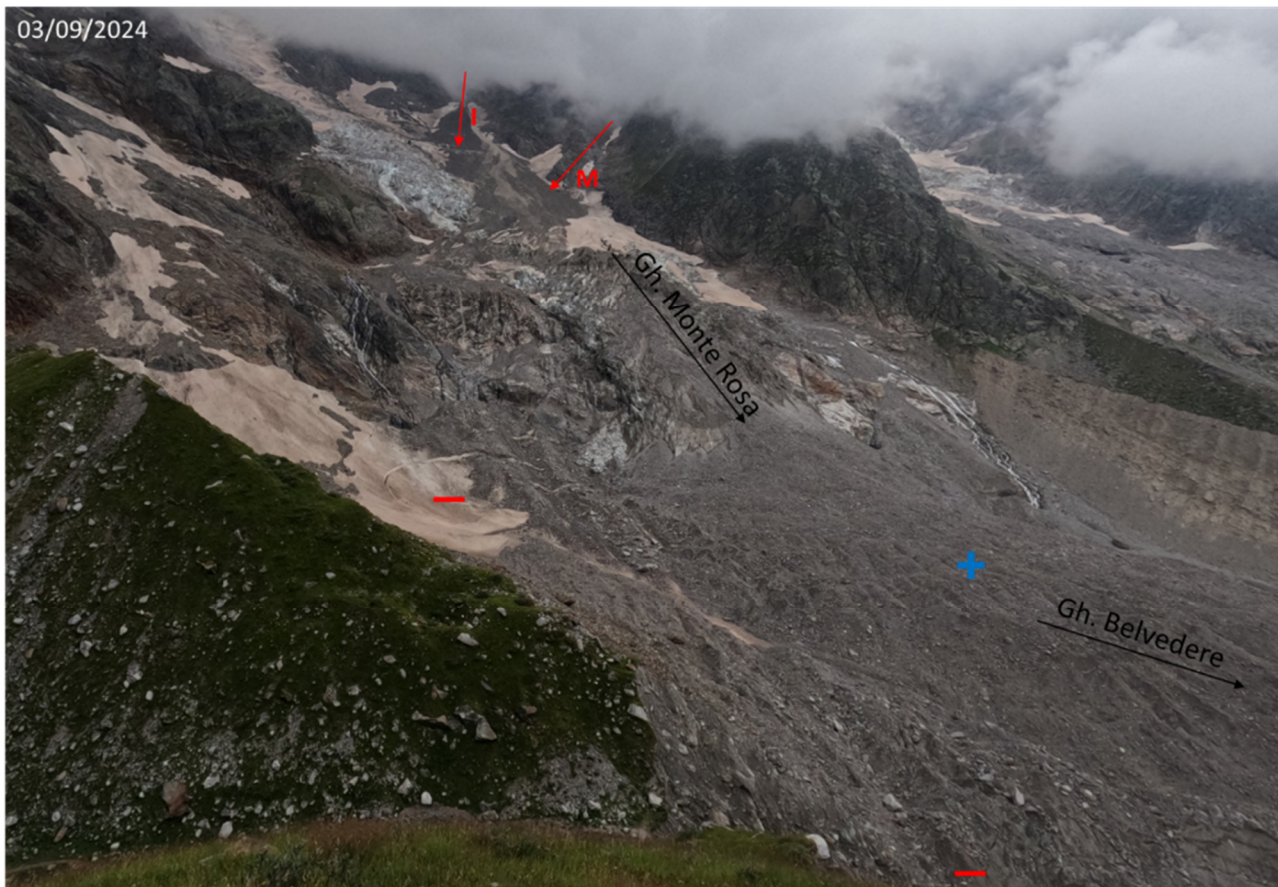


Figura 63 – Stessa area vista dalla morena delle Locce: alle considerazioni precedenti si osserva la posizione dei canali Marinelli (M) e Imseng (I) responsabili, in particolare questo secondo, dell'apporto di grandi quantità di detrito sulla superficie dei ghiacciai.

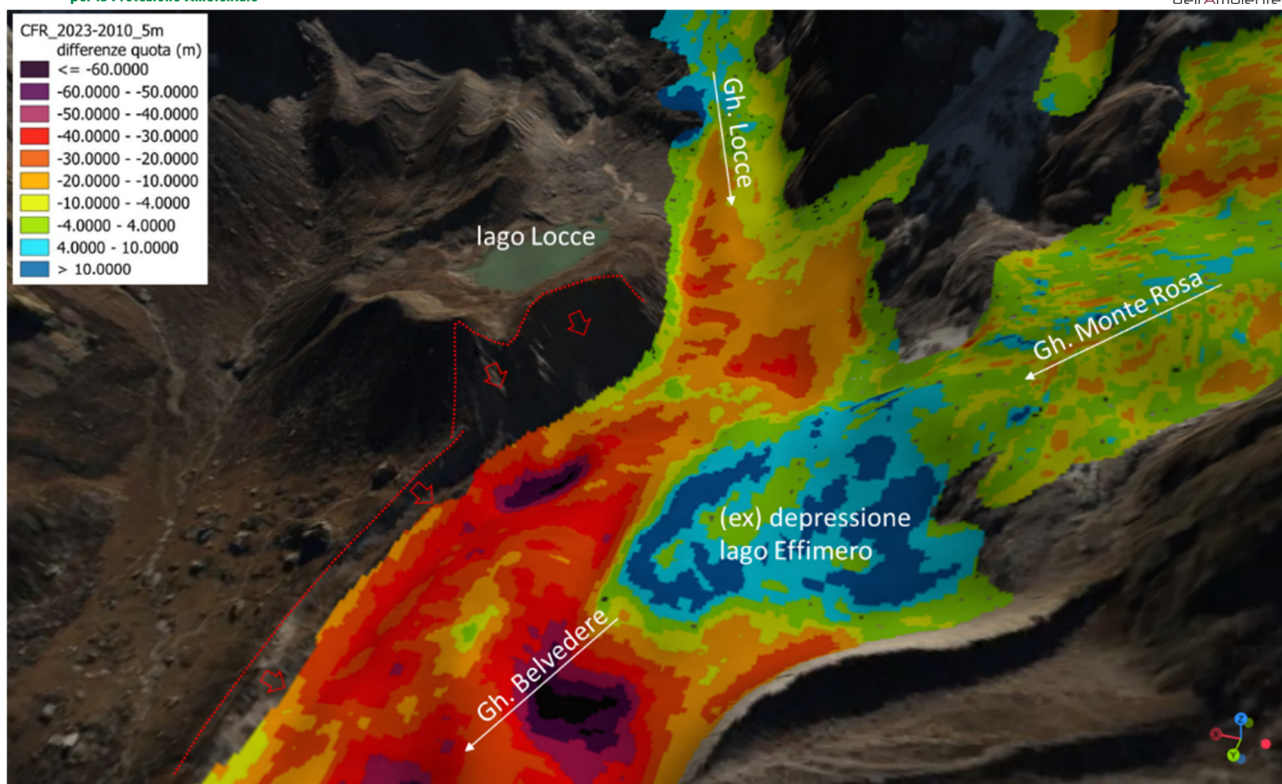


Figura 64 – Vista 3D della connessione tra i ghiacciai delle Locce e del Monte Rosa nella lingua del Belvedere. È riportato la variazione della quota della superficie topografica tra il 2010 e il 2023. Da notare il colmamento (in azzurro/blu) della depressione un tempo occupata dal lago Effimero ed ora riempita dal flusso di ghiaccio (e detrito) proveniente dal ghiacciaio del Monte Rosa; evidente anche la depressione sviluppata nel ghiacciaio del Belvedere alla base della frana della morena delle Locce.

Instabilità morene Belvedere-Locce

La morena sinistra del ghiacciaio delle Locce, condivisa parzialmente con il fianco destro del ghiacciaio del Belvedere, mostra chiari segni di instabilità, dovuti al forte abbassamento della superficie del Belvedere a seguito dell'evento di surge (culminato nei primi anni 2000). L'instabilità si manifesta attraverso lo scivolamento in blocco della morena destra del ghiacciaio del Belvedere, dalla connessione con quella delle Locce fino alla Cappella Pisati, circa 500 m più a valle; la dislocazione ha coinvolto l'intero fianco interno della morena, traslando di oltre 20 m verso il basso la cresta morenica. Il fianco della morena delle Locce ha subito uno scivolamento a partire circa dal 2005, seguito dalla degradazione dell'intera scarpata prodotta dallo scivolamento (Figura 66). Questo fenomeno ha coinvolto anche lo scaricatore artificiale del lago delle Locce, che in origine convogliava le acque verso la piana dello Zamboni e solo di recente sono state intercettate dalla frana della morena delle Locce. Ora queste vengono recapitate direttamente sul ghiacciaio del Belvedere, dove si è formato un profondo inghiottitoio; l'acclività della scarpata inoltre ha determinato un rapido arretramento della stessa con distruzione dell'opera di scarico (Figura 67 e Figura 68). Il processo di arretramento è accelerato sia dal continuo abbassamento (fino a 60 m tra il 2010 e il 2023) della superficie del ghiacciaio del Belvedere che funge da livello di base locale, sia dall'approfondimento lineare prodotto dalle acque di scarico che stanno incidendo la scarpata.



Figura 65 – Processi di instabilità in atto all'intersezione tra la morena del Belvedere e la morena delle Locce:

- 1: Scivolamento planare in blocco del lato interno della morena del Belvedere, attivo dal 2015 circa.*
- 2: Collasso del lato esterno della morena delle Locce verso il Belvedere, attivo dal 2005, iniziato come scivolamento/colamento, ora attivo soprattutto come degradazione superficiale. L'orlo superiore ha già raggiunto la cresta morenica*
- 3: Collasso dell'opera di scarico artificiale del Lago delle Locce, avvenuto nel 2016.*
- 4: Incisione lineare operata dalle acque di scarico non più recapitate verso la piana della Zamboni ma intercettate dal ghiacciaio del Belvedere; a valle si è formato un piccolo cono alimentato dal materiale detritico eroso a monte.*
- 5: Degradazione superficiale delle scarpate moreniche, processo in forte evoluzione; coinvolge tutte le scarpate ed è accelerato dall'abbassamento della superficie glaciale del Belvedere*
- 6: inghiottitoio glaciale che raccoglie le acque provenienti dallo scarico artificiale del lago delle Locce. Attualmente parzialmente ostruito dal materiale detritico proveniente dalle scarpate.*

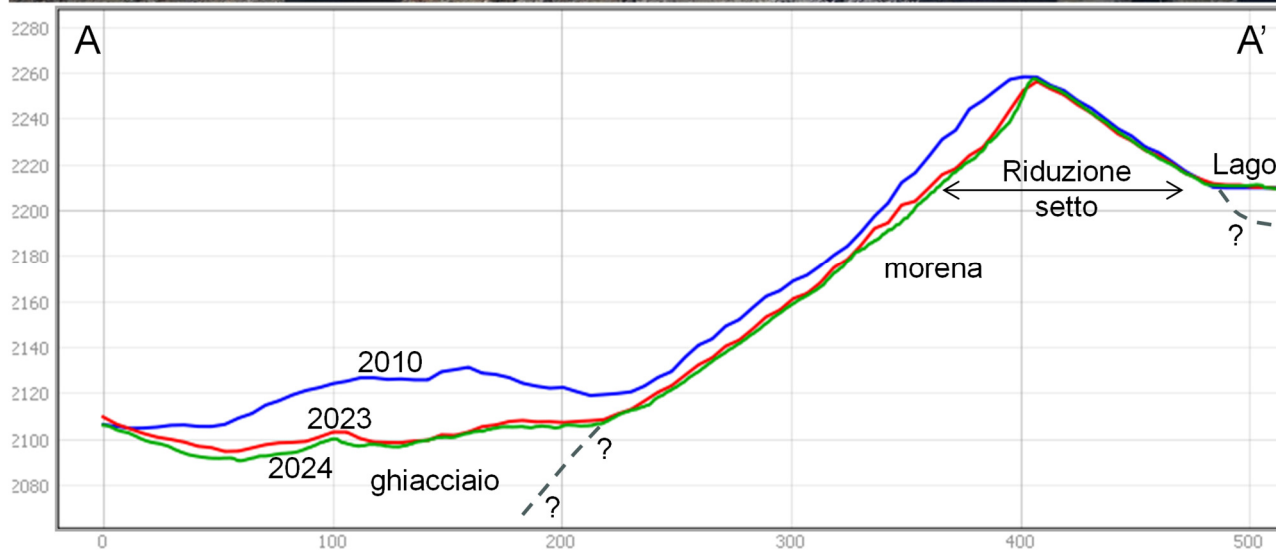


Figura 66 – Sezioni topografiche lungo la frana della morena delle Locce, dal lago al ghiacciaio del Belvedere: è riportato l'andamento della superficie topografica nel 2010, nel 2023 e nel 2024. Si osserva una forte perdita di spessore di circa 30 m del ghiacciaio del Belvedere e un arretramento generalizzato della scarpata di frana di 10 m, più importante verso la cresta (20 m).

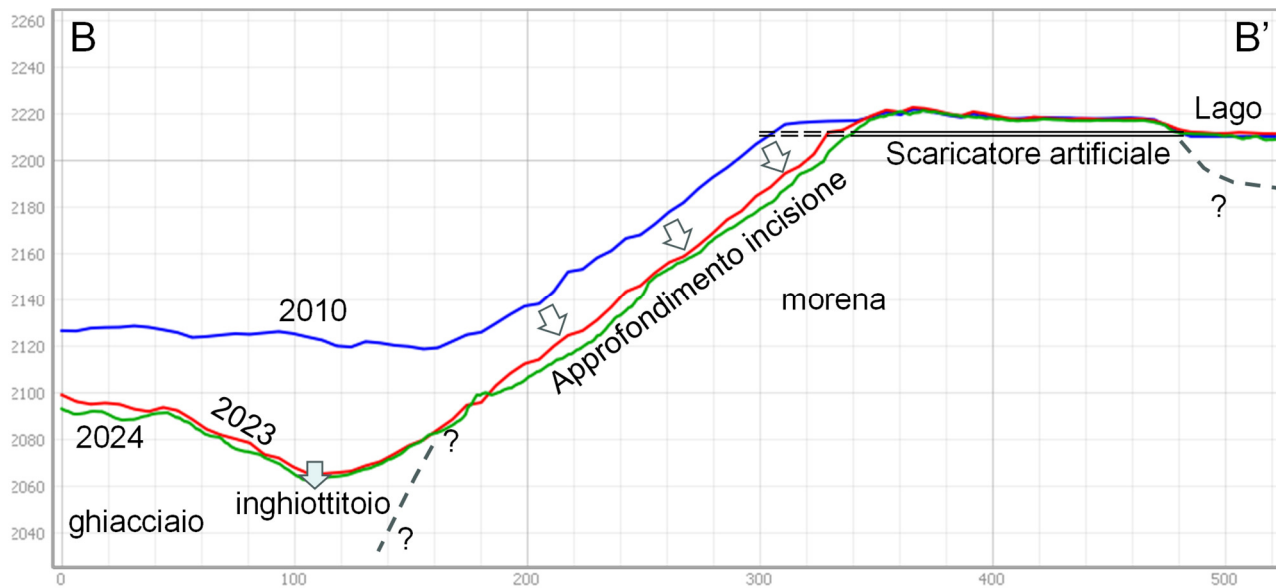


Figura 67 - Sezione lungo l'intaglio artificiale della morena delle Locce, variazione della topografia tra il 2010, il 2023 e il 2024. La perdita di spessore del ghiacciaio al piede della morena ha raggiunto i 60 m in corrispondenza dell'inghiottitoio. L'arretramento medio della superficie supera i 20 m



Figura 68 – Evoluzione dello scaricatore artificiale del Lago delle Locce

Instabilità pareti rocciose

Lungo i versanti del massiccio del Monte Rosa sono attive numerose frane di crollo di cui sono conosciuti alcuni eventi storici: 21 aprile 2007 rock-avalanche dalla parete Est del Monte Rosa il cui accumulo si è distribuito alla confluenza Locce / Monte Rosa / Belvedere.



Figura 69 – Carta e foto della rock avalanche del 2007: nella foto si riconosce l'accumulo che ha parzialmente colmato la depressione del lago effimero; da notare la frana incipiente della morena delle Locce (fonte G. Mortara)



Figura 70 – Crollo del 16/12/2015 dalla P.ta Tre Amici (foto G. Tagliaferri, www.nimbus.it), il cui accumulo ha raggiunto e sovrascorso la superficie ghiacciata del lago delle Locce; cfr. scheda SIFRAP 103-50610-00.

L'intero anfiteatro roccioso dalle Locce al Monte Rosa, in conseguenza alla sua deglaciazione, mostra segni di instabilità gravitativa; questa si esplica attraverso la produzione di detrito che si accumula alla base dei canali (Figura 71 e Figura 72) si veda ad esempio i canali Imseng e Marinelli e sporca la parete.



Figura 71 – Parete Est del Monte Rosa, canali Imseng (I) e Marinelli (M)



Figura 72 – Accumulo detritico prodotto allo sbocco del canalone Imseng, sul ghiacciaio del Monte Rosa. A dimostrazione dell'attività in atto, l'intero accumulo detritico visibile è appoggiato sui depositi di valanga della primavera 2024, ben riconoscibili per il colore rosso sporco.

Colate detritiche versante sinistro Belvedere

Durante l'evento del 29 giugno scorso, il torrente Anza ha prodotto un importante alluvionamento a partire dalla fronte del ghiacciaio del Belvedere fino a Pecetto. Determinanti sono stati i contributi degli affluenti di sinistra, in particolare i torrenti che scendono dal bacino di cima Jazzi e dall'Alpe Roffel orientale. In quota si sono prodotte erosioni all'interno delle incisioni torrentizie preesistenti, talvolta incidendo anche la coltre nevosa ancora abbondante (Figura 73).



Figura 73 - Torrente Jazzi attivato durante l'evento del 29 giugno: si osservano i canali di incisione nella parte alta del versante e l'accumulo detritico in conoide, parzialmente nascosto dalla morena sinistra del ghiacciaio del Belvedere e che si sovrappone parzialmente all'accumulo di valanga.

Il torrente che scende dalla Nordend ha sfondato la morena laterale del ghiacciaio del Belvedere, scavando una profonda incisione nel materiale glaciale e producendo un piccolo cono sulla superficie del ghiacciaio, ben riconoscibile dal confronto fotografico con l'anno scorso (Figura 74). Le acque del torrente vengono inghiottite dal ghiacciaio del Belvedere.

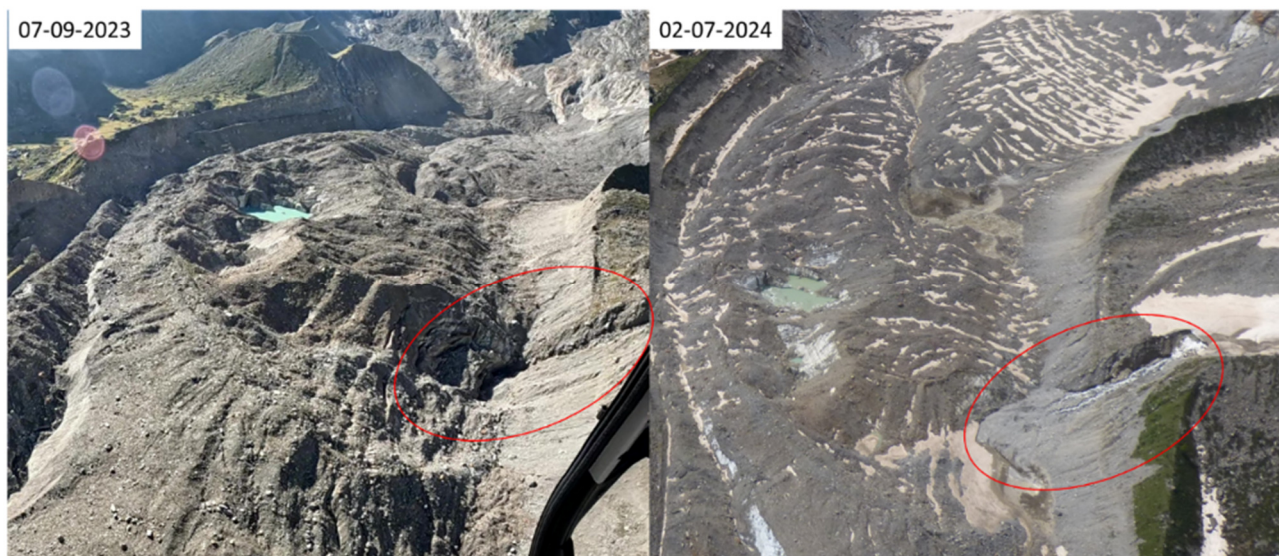


Figura 74 - Immissione del t. Nordend, da destra in foto, nel ghiacciaio del Belvedere. Confronto fotografico tra prima e dopo l'evento del 29 giugno, si evidenzia l'incisione della morena e l'edificazione di un piccolo conoide appoggiato sulla superficie del ghiacciaio del Belvedere.

Sempre sul versante sinistro del ghiacciaio del Belvedere, il torrente del Piccolo Fillar ha prodotto una colata detritica (scheda SIFRAP 103-77647-00) il cui accumulo ha interessato parte del conoide coalescente con il torrente Castelfranco. Questa fa seguito alla ben maggiore colata detritica che ha interessato il conoide del torrente Castelfranco il 27 agosto 2023 (Figura 75).

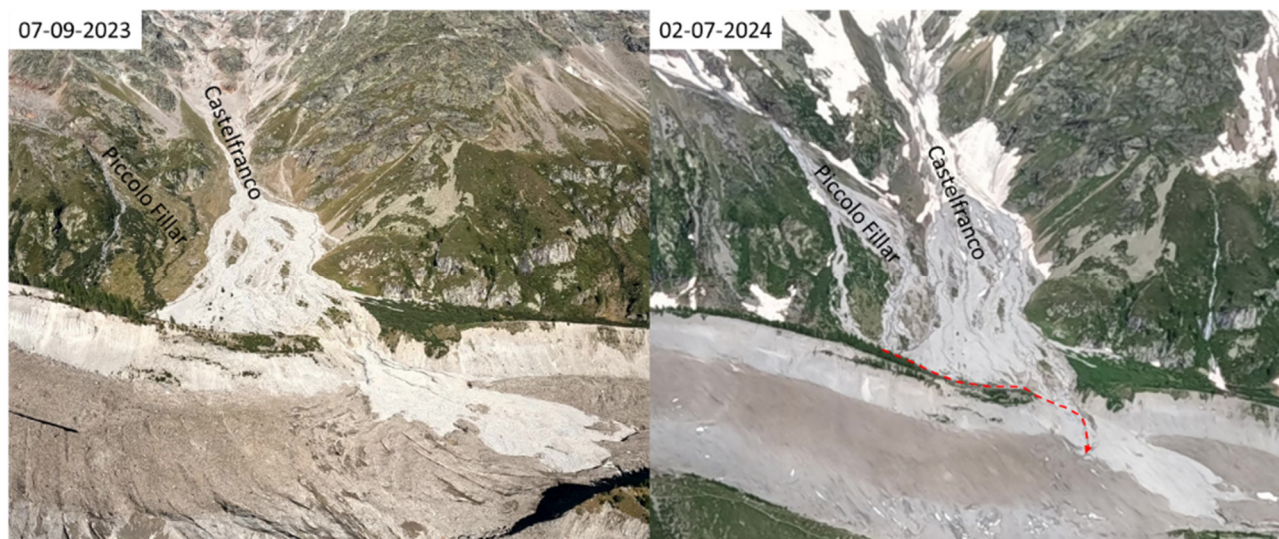


Figura 75 – Confronto multitemporale pre- e post- evento: da notare l'attivazione della colata detritica sul conoide del torrente del Piccolo Fillar. Ben riconoscibile in centro alle foto, in particolare in quella del 2023, la colata del t. di Castelfranco, ripresa pochi giorni dopo l'evento del 27 agosto 2023. La colata del 29 giugno 2024 lungo il t. del Piccolo Fillar ha raggiunto il fianco destro dell'accumulo preesistente del Castelfranco, sopravanzandone l'unghia a ridosso della morena del Belvedere, fino a invadere il ghiacciaio dove la frazione liquida è stata assorbita dagli inghiottitoi glaciali (freccia rossa).

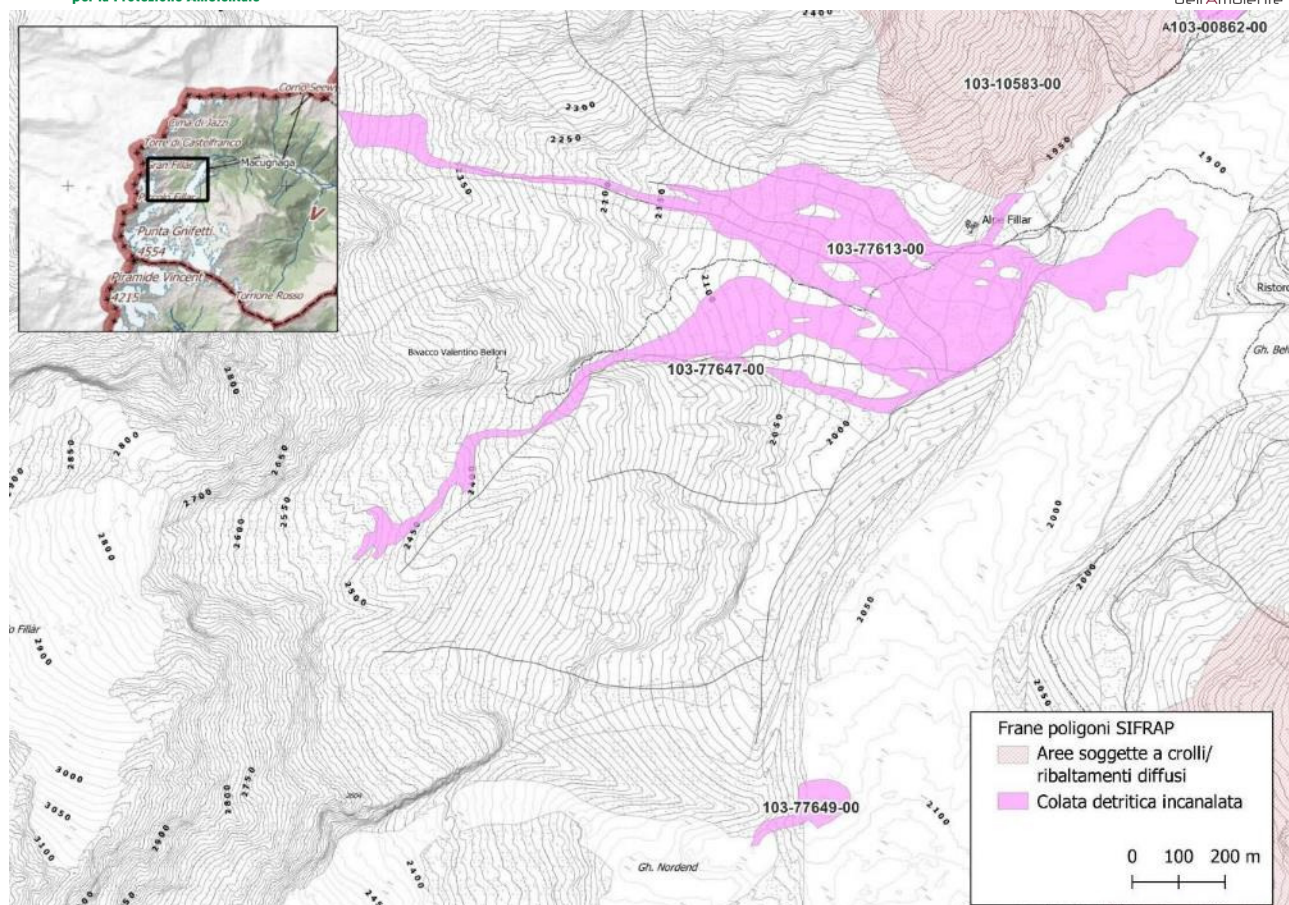


Figura 76 - Mappa delle aree interessate sul fianco sinistro del Belvedere durante l'evento del 29/06/2024: scheda Sifrap 103-77647-00 colata detritica del Piccolo Fillar; scheda SIFRAP 103-77649-00 colata detritica del Nordend.

6. I prodotti

Vengono riportati in sintesi i principali prodotti scientifici e divulgativi redatti dal personale di Arpa Piemonte, relativamente alle tematiche oggetto della presente relazione, nel 2024.

WEB

NEWS ARPA: <https://www.arpa.piemonte.it/notizia/giornata-internazionale-della-montagna>

<https://www.arpa.piemonte.it/scheda-informativa/capanna-margherita-losservatorio-fisico-meteorologico-piu-alto-deuropa>

News SNPA: <https://www.snpambiente.it/snpa/arpa-piemonte/neve-valanghe-temperature-e-stato-di-salute-dei-ghiacciai-il-bilancio-snpa-dellultima-stagione-invernale/>

Nimbus: http://www.nimbus.it/ghiacciai/2024/240920_CiardoneyBilancio.htm

Convegni/seminari:

Alberto W., Filipello A., Lanteri L., Del Negro L., Mensio L. & Salandin A. (2024). Tecniche fotogrammetriche speditive per la cartografia nel primo post-emergenza e il monitoraggio dei rischi naturali. Workshop “I fenomeni d’instabilità naturale in alta montagna. La colata detritica del 13 agosto 2023 a Bardonecchia: previsione, prevenzione e mitigazione dei processi”, Bardonecchia 20-21 giugno 2024, Sessione Poster e pubblicato su Geologia dell’Ambiente, Suppl. N. 4/2024 (XXXII), 13-14.

Mortara G., Tamburini A., Alberto W., Bettoni M., Sergio L. & Chiarle M. (2024). Interferenza dell’attività torrentizia con la dinamica glaciale: la colata detritica del 27 agosto 2023 nel bacino del T. Castelfranco (Monte Rosa, Valle Anzasca). Workshop “I fenomeni d’instabilità naturale in alta montagna. La colata detritica del 13 agosto 2023 a Bardonecchia: previsione, prevenzione e mitigazione dei processi”, Bardonecchia 20-21 giugno 2024, Sessione Poster e pubblicato su Geologia dell’Ambiente, Suppl. N. 4/2024 (XXXII), 39-40.

7. Considerazioni di sintesi

L'attività 2024 dell'Agenzia in campo glaciologico prende avvio dalle risultanze delle analisi e della classificazione dei ghiacciai piemontesi prodotta nel 2022 nell'ambito del Tavolo Tecnico nazionale *"Rischio connesso ai fenomeni di dissesto in ambienti glaciali e periglaciali"* e prosegue le attività di rilievo del 2023.

Il programma annuale di osservazione dei ghiacciai di ARPA Piemonte è stato completato tra settembre e novembre 2024, nonostante l'avvio ritardato per l'abbondante neve residua ancora presente sui ghiacciai a metà agosto e poi ostacolato dal meteo perturbato che ha interessato quasi ininterrottamente le Alpi occidentali nell'autunno. A termine della campagna 2024, sono stati visitati complessivamente 72 ghiacciai piemontesi, su un totale di 107; per 30 ghiacciai è stato possibile un confronto fotografico con quanto osservato nel 2023 mentre 42 ghiacciai sono stati visitati per la prima volta. Per 10 ghiacciai, compresi nel bacino glaciale del Belvedere in alta Valle Anzasca, è stato elaborato un modello 3D per il confronto quantitativo delle trasformazioni avvenute nel corso dell'ultimo anno in termini di estensione areale, volumetrica dei ghiacciai, ubicazione ed estensione delle instabilità.

Il programma di monitoraggio dei ghiacciai, attraverso sopralluoghi diretti e sorvoli in elicottero, ha previsto osservazioni dirette, foto/video, rilievi fotogrammetrici e Gigapan. Le informazioni raccolte sono state integrate con immagini e dati satellitari, a completamento degli aspetti cartografici e per i confronti multitemporali di breve e medio periodo.

I rilievi del 2024 concorrono a definire una *baseline* dei ghiacciai piemontesi; questa rappresenta un livello minimo ed uniforme di conoscenza e comprende informazioni geografiche sull'ubicazione, sulla tipologia e sulla correlazione con eventi di instabilità; è corredata inoltre di osservazioni, foto e video raccolti durante i rilievi. La *baseline* rappresenta la registrazione dello stato attuale (o almeno più aggiornato possibile) e lo strumento di confronto per l'evoluzione futura dei corpi glaciali e delle aree circostanti. Si propone inoltre un programma di rivisitazione dei ghiacciai articolato in pluriennale, annuale e biennale sulla base della distanza dalle aree di frequentazione antropica e del grado di evoluzione della dinamica morfologica.

Lo scopo del monitoraggio si è quindi articolato in più livelli di approfondimento: il popolamento della baseline mediante osservazione visiva e raccolta foto/video in particolare per i ghiacciai visitati per la prima volta nel corso del 2024; il riconoscimento qualitativo delle trasformazioni avvenute nel corso dell'ultimo anno mediante confronto con le immagini raccolte nel 2023; il confronto quantitativo delle trasformazioni avvenute nel corso dell'ultimo anno in termini di estensione areale, volumetrica dei ghiacciai, ubicazione ed estensione delle instabilità ottenuto mediante elaborazione fotogrammetrica delle immagini 2024 per la generazione di ortofoto/DEM.

A termine della campagna glaciologica è possibile tracciare una **sintesi dello stato dei ghiacciai piemontesi**: l'abbondante innevamento tardo invernale/primaverile, tra i maggiori degli ultimi decenni e caratterizzato da un colore rosso sporco per l'accumulo di polveri sahariane, è sopravvissuto in maniera molto discontinua. Alcuni ghiacciai hanno perso quasi completamente la copertura di neve, mentre altri ne hanno conservato una buona copertura anche a fine estate, generalmente concentrata in accumuli di valanga. Di questi, importanti accumuli sono sopravvissuti anche a quote piuttosto basse, ben al di sotto dei 3000 m, fatto ormai desueto. La neve autunnale è stata piuttosto precoce, portando in settembre già numerose spruzzate al di sopra dei 3000 m di quota ed arrestando così la fusione estiva dei ghiacciai.

Nel complesso il 2024 risulta meno negativo rispetto alle annate precedenti, di cui il 2022 e il 2023 hanno rappresentato un estremo in termini di perdite di ghiaccio. Dove è stato possibile misurarlo, l'arretramento è risultato contenuto e la perdita di massa, pur avvenuta, è stata un po' sotto la media trentennale.

Alcuni eventi alluvionali dell'estate 2024 hanno determinato effetti al suolo fino alle alte quote; in numerosi casi sono state osservate instabilità gravitative che hanno coinvolto direttamente i corpi glaciali: si cita il ghiacciaio di Martellot attraversato da numerose colate, un lago proglaciale del ghiacciaio di Sea è stato sepolto dall'accumulo di una colata detritica scesa dalle morene dell'estinto ghiacciaio di Punta Bonneval, il Carro Centrale la cui morena è stata profondamente incisa; tutti questi eventi sono occorsi con l'evento del

5 settembre. Durante l'evento del 29 giugno, le piogge hanno colpito intensamente l'alta valle Anzasca in alta quota, fin oltre i 4000 m, determinando l'erosione della neve e, più a valle, l'incisione dei ripidi alvei dei torrenti. Il materiale detritico prelevato ha poi prodotto diffusi fenomeni di colata detritica che hanno coinvolto direttamente i ghiacciai e le morene di Nordend, del Piccolo Fillar, del Belvedere, di Jazzi e di Roffel.

La rapidità e l'intensità delle trasformazioni in atto nel bacino glaciale del Belvedere hanno determinato l'attivazione di una varietà di processi d'instabilità, che qui riassumono l'intera gamma dei fenomeni peculiari degli ambienti glaciali e periglaciali, per tale motivo l'area è stata scelta come sito di approfondimento d'indagine. È stata prodotta una cartografia delle instabilità attive e i singoli processi sono stati analizzati più nel dettaglio. Per il 2025 si propone l'approfondimento degli aspetti più critici: il collasso della morena delle Locce, potenzialmente in grado di destabilizzare l'omonimo lago, e la stabilità della parete Est del Monte Rosa, che per dimensioni e quote risulta tuttora poco conosciuta.

Le attività della campagna glaciologica di ARPA Piemonte hanno beneficiato di collaborazioni con il Comitato Glaciologico Italiano per la programmazione dei rilievi, con il CNR-IRPI per lo studio del bacino glaciale della Bessanese e del Belvedere, con la Società Meteorologica Italiana per lo studio del ghiacciaio di Ciardoney, con il Parco Nazionale Gran Paradiso per i ghiacciai della Valle Orco. I sorvoli in elicottero sono stati eseguiti grazie al supporto con il Settore Protezione Civile della Regione Piemonte e nell'ambito della convenzione con il Soccorso Alpino e Speleologico Piemontese. I rilievi del 2024 concorrono quindi a definire una base di conoscenza comune dei ghiacciai piemontesi e rappresenta lo strumento di monitoraggio per l'evoluzione futura dei corpi glaciali e delle aree circostanti.