

Dipartimento Rischi Naturali e Ambientali – ARPA Piemonte

SiFraP - SISTEMA INFORMATIVO FRANE IN PIEMONTE

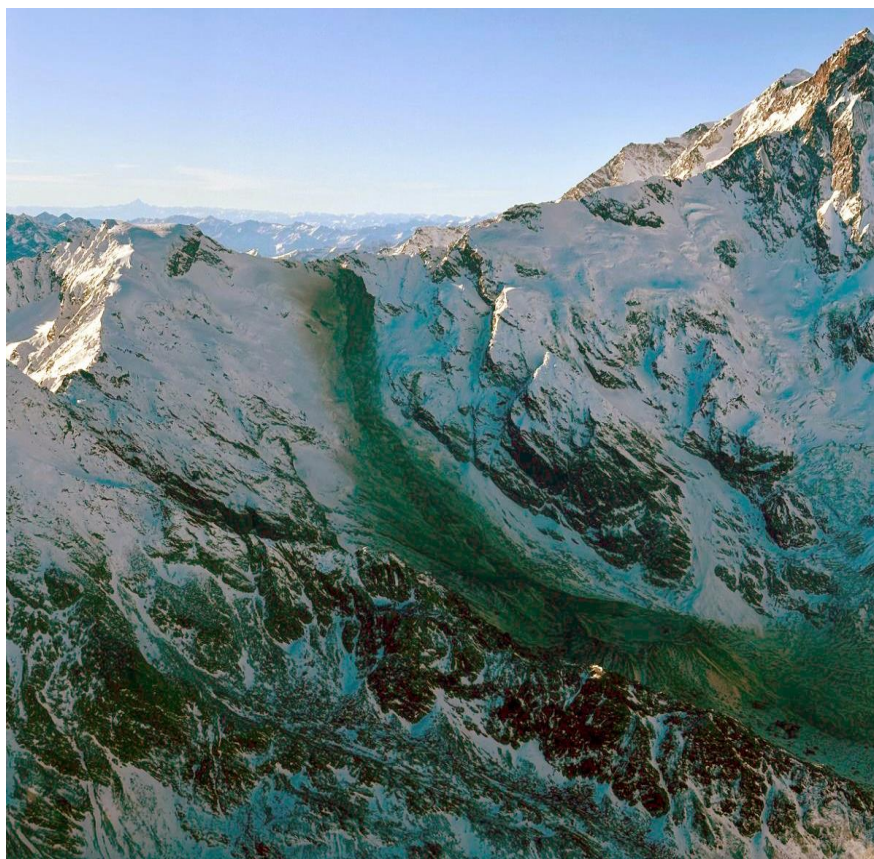
Scheda descrittiva di approfondimento

(Ultimo aggiornamento della scheda aprile 2025)

Provincia di Verbania-Cusio-Ossola

Comune di Macugnaga

Frana dal Colle delle Locce



Vista frontale della frana del Colle delle Locce del 26/12/2024 (foto del 28/12/2024, cortesia M. Vittone, Soccorso Alpino Macugnaga).

Ultimo aggiornamento: 08/04/2025

Descrizione generale

Il 27 dicembre 2024 viene osservato l'accumulo di una frana che ha interessato il versante settentrionale del Colle delle Locce, in alta Valle Anzasca. L'area presenta una continua copertura nevosa che rende particolarmente netto il contrasto con l'accumulo detritico ed evidenzia l'area raggiunta dalla polvere generata dal soffio.

Il crollo ha preso origine da uno sperone roccioso situato 200 m a NW del Colle delle Locce, impostato nei micascisti del Monte Rosa; la nicchia si estende per circa 175 m in senso N-S, quasi 100 m in senso E-W per un dislivello di oltre 200 m (Figura 2).



Figura 1 – La nicchia di distacco a NW del Colle delle Locce (foto Soccorso Alpino¹)

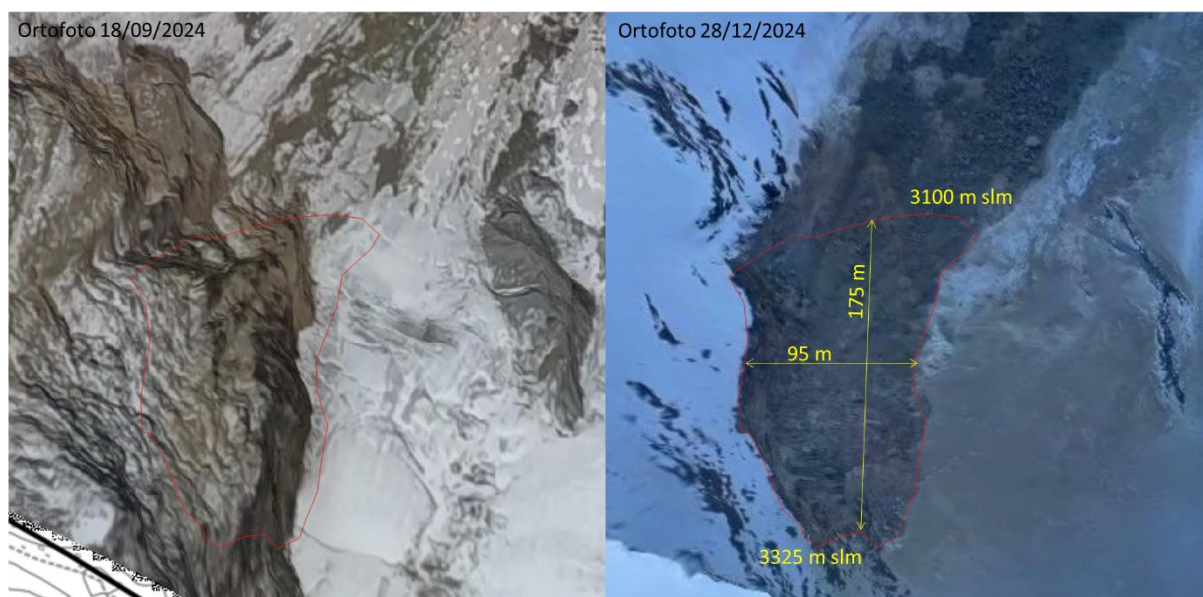


Figura 2 – Confronto pre- (settembre 2024) e post-crollo su ortofoto, dettagli nel testo.

¹ <https://www.rainews.it/tgr/piemonte/articoli/2025/01/macugnaga-la-frana-non-si-ferma-le-immagini-del-soccorso-alpino-778137fd-43e6-4128-9dcc-2a596e14e840.html>

Lo sperone crollato si trova adiacente all'alto ghiacciaio Settentrionale delle Locce, il quale è stato soggetto negli ultimi decenni ad un continuo processo di riduzione areale e volumetrica, analogamente alla stragrande maggioranza dei ghiacciai alpini e non solo. Nel dettaglio nell'area della nicchia, in confronto al 2010, in planimetria il ghiacciaio si è ritirato di pochi metri, come osservabile dall'ortofoto di Figura 3, mentre le perdite di spessore sono state dell'ordine dei 15-20 m con picchi di oltre 25 m in corrispondenza dell'apertura della finestra rocciosa visibile in centro all'immagine (Figura 3). Il collasso dello sperone roccioso ha coinvolto e asportato parti del ghiacciaio delle Locce (Figura 4), quantificati di seguito.

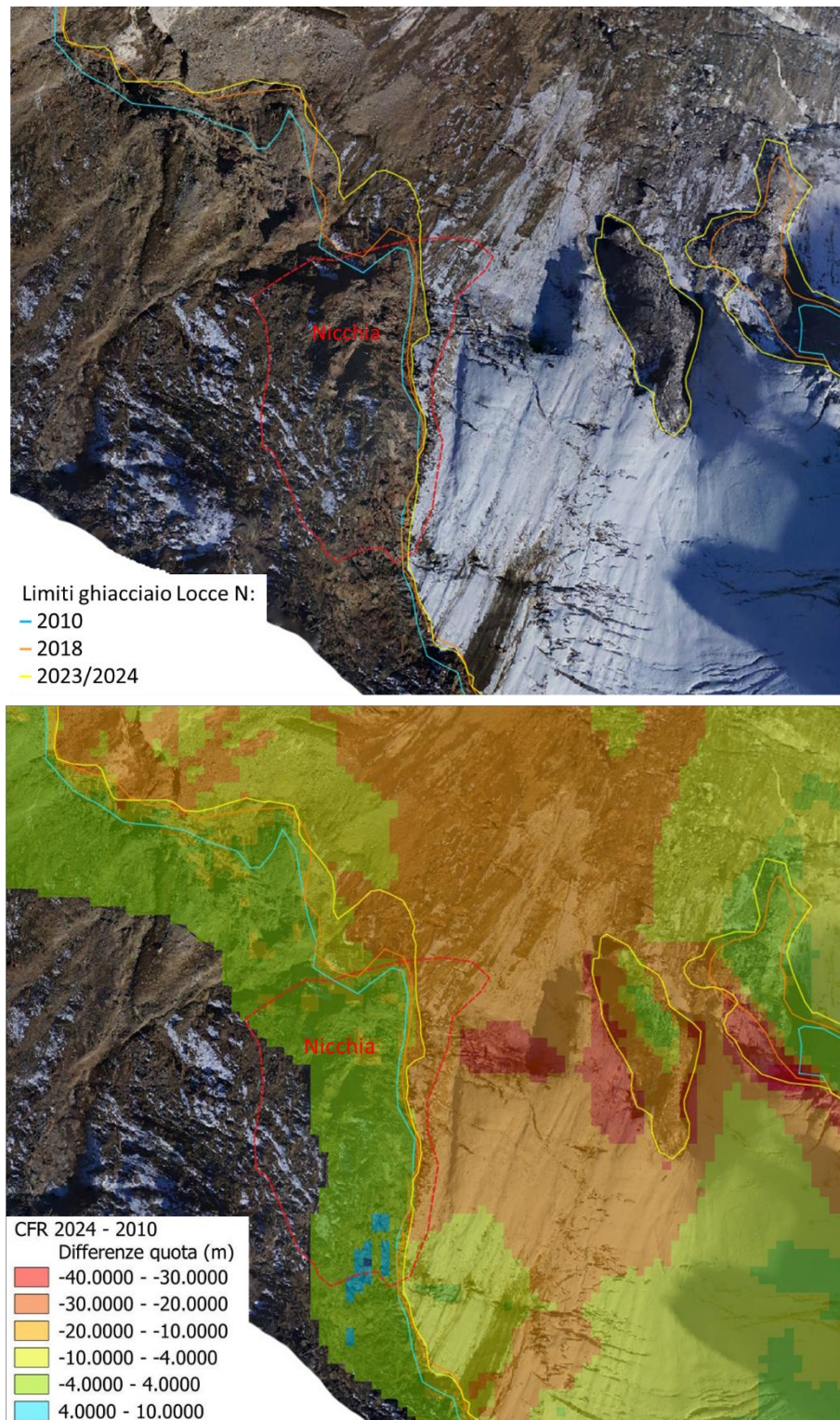


Figura 3 – Variazione dei limiti (sopra) e di quota (sotto) della superficie del ghiacciaio Settentrionale delle Locce in corrispondenza della nicchia di distacco, tra il 2010 e settembre 2024 (ortofoto di settembre 2023).

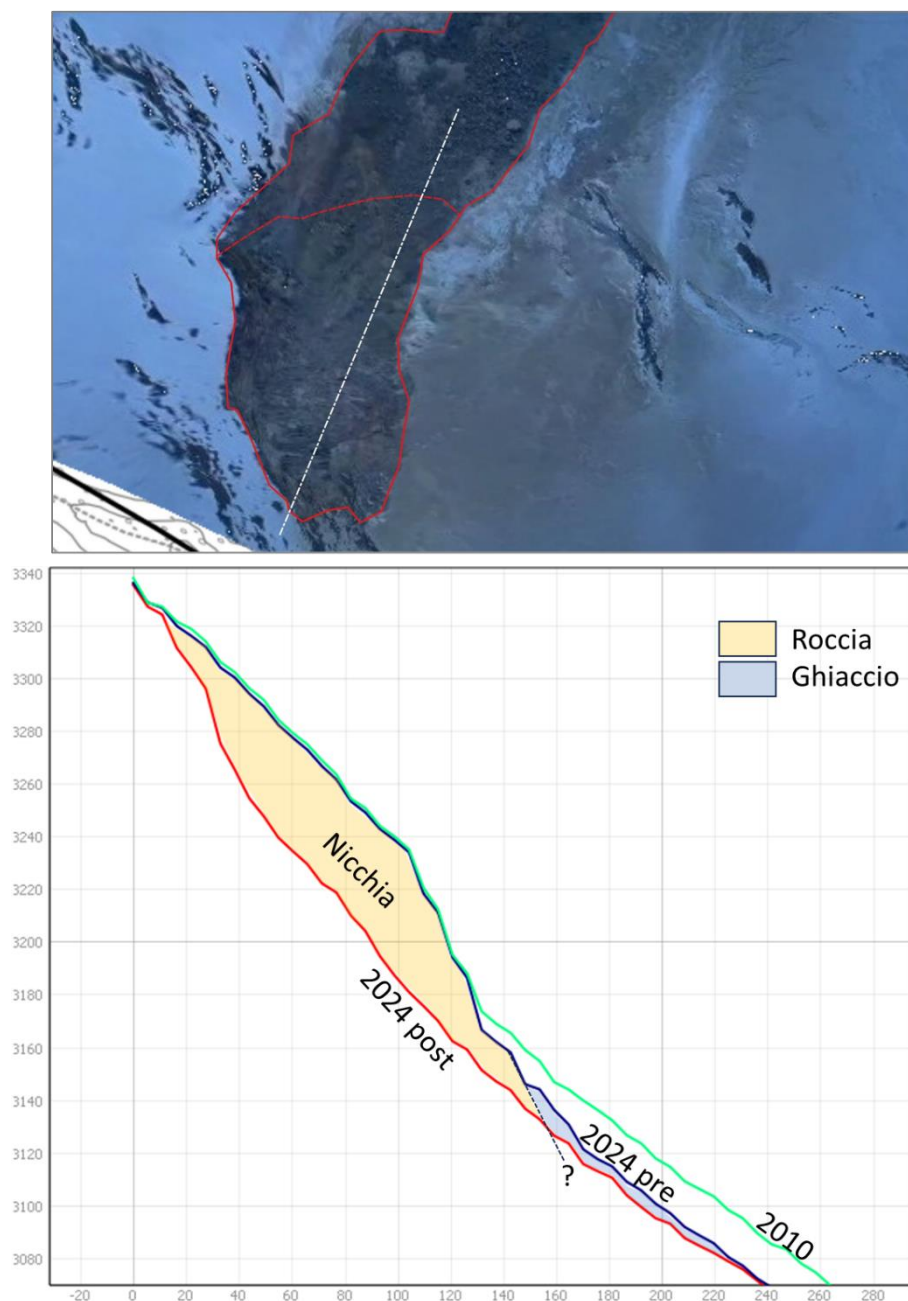


Figura 4 – Sezione topografica attraverso la nicchia ottenuta dai DEM Regione Piemonte 2010, ARPA Piemonte 18/09/2024 (pre-evento) e 28-29/12/2024 (post-evento); da notare come la perdita di spessore del ghiacciaio Settentrionale delle Locce abbia esposto il piede dello sperone roccioso poi crollato.

L'accumulo si è allungato sul ghiacciaio e, superata la fronte, ha raggiunto la sponda meridionale del lago delle Locce, dopo aver percorso circa 2,2 km (planimetrici) e circa 1100 m di dislivello. Il materiale si è accumulato in parte al piede della nicchia, dove si osservano blocchi plurimetrici, e poi verso valle dove si è distribuito in maniera irregolare, colmando le ondulazioni del ghiacciaio e del versante; in prossimità del lago delle Locce si riconosce un deposito continuo esteso per circa 500 m e largo 150/200 m. Tale deposito entra di circa 20 m all'interno del perimetro del lago rilevato a settembre 2024. In tutta la conca è ben riconoscibile l'area di deposizione della polvere generata dal crollo, area che si estende fin oltre la piana dell'Alpe Pedriola, a circa 3,5 km dalla nicchia, ma è stata segnalata anche sulle piste al Belvedere, a circa 5 km di distanza dalla nicchia. In considerazione della distanza raggiunta dall'accumulo (H/L: 0.52) e della velocità presunta, testimoniata dalla proiezione di polvere a chilometri di distanza, il fenomeno può essere interpretato come rock-avalanche.



Figura 5 – Vista dell'accumulo nei giorni subito successivi all'evento (foto VVFF).

La disponibilità di materiale foto/video raccolti dalle guide alpine, dai Vigili del Fuoco e dal Soccorso Alpino ha permesso di elaborare un'ortofoto e un DEM speditivi, georeferenziati mediante appoggio sul rilievo fotogrammetrico da elicottero rilevato il 18 settembre 2024 da ARPA Piemonte. È stato quindi possibile delimitare l'area della nicchia e l'area di accumulo, individuando i settori di deposito più continuo e apparentemente più potente (Figura 6); in una vista più complessiva è stato definito anche l'areale di deposizione della polvere generata dal crollo, dove riconoscibile sull'ortofoto e sulle immagini Sentinel (Figura 7); i limiti inferiori dell'areale sono approssimativi in quanto la colorazione marrone assunta dalla neve non presenta un limite netto ma sfumato, talora non ben individuabile.

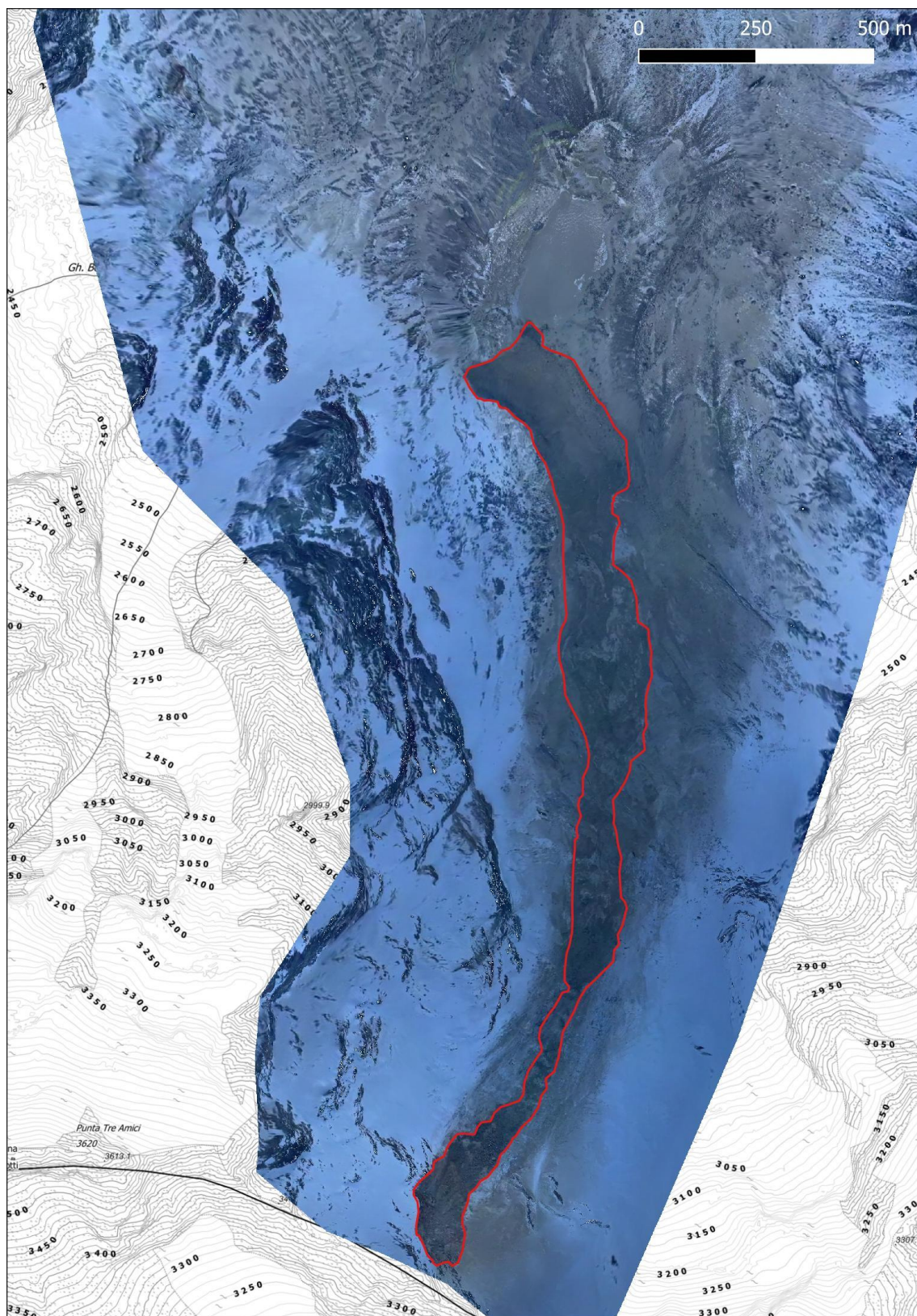


Figura 6 – Ortofoto speditiva ottenuta dall'estrazione dei frame video raccolti nei giorni seguenti l'evento; in rosso è delimitata l'area della nicchia e dell'accumulo, dove questo è significativamente più continuo; all'esterno è evidente l'area raggiunta dalla polvere generata dal crollo, che si estende a Nord, sul ghiacciaio del Belvedere e sulla piana dell'Alpe Pedriola.

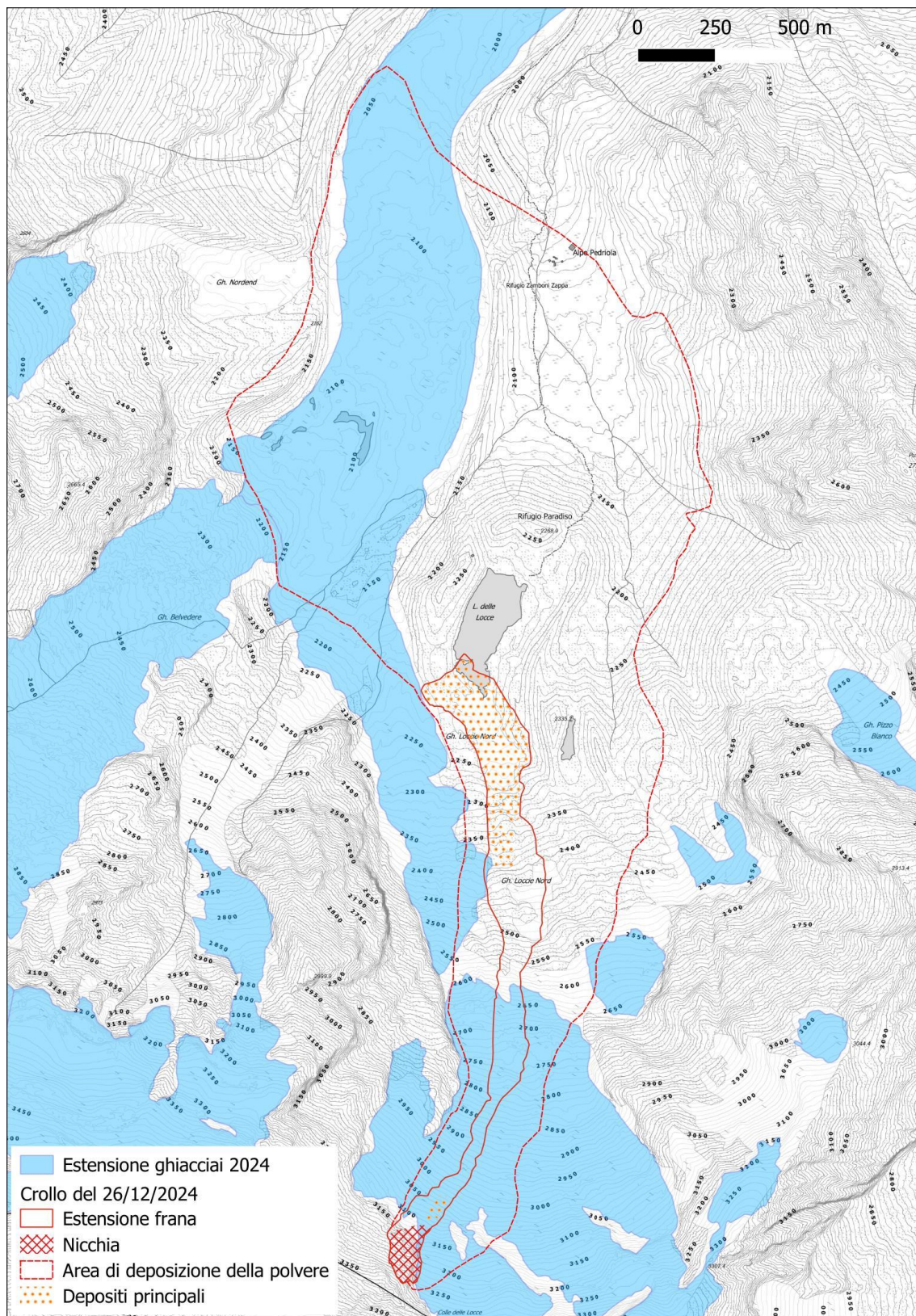


Figura 7 – Mappa complessiva dell’evento di rock-avalanche del 26/12/2024 dal Colle delle Locce: si riporta l’estensione della nicchia, degli accumuli ben riconoscibili e della principale area di transito, che nell’insieme concorrono a definire l’estensione della frana come riportato nel DB SIFRAP. Nella mappa è stato anche indicato l’areale raggiunto dalla deposizione della polvere generata dal crollo e l’estensione dei ghiacciai come riconosciuta nel rilievo del 18/09/2024.

La disponibilità di modelli fotogrammetrici rilevati a settembre 2024 (pre-frana) e a dicembre 2024 (post-frana), entrambi di Arpa Piemonte, ha permesso un confronto diretto delle ortofoto (Figura 8) ed inoltre una valutazione quantitativa della variazione altimetrica della superficie.

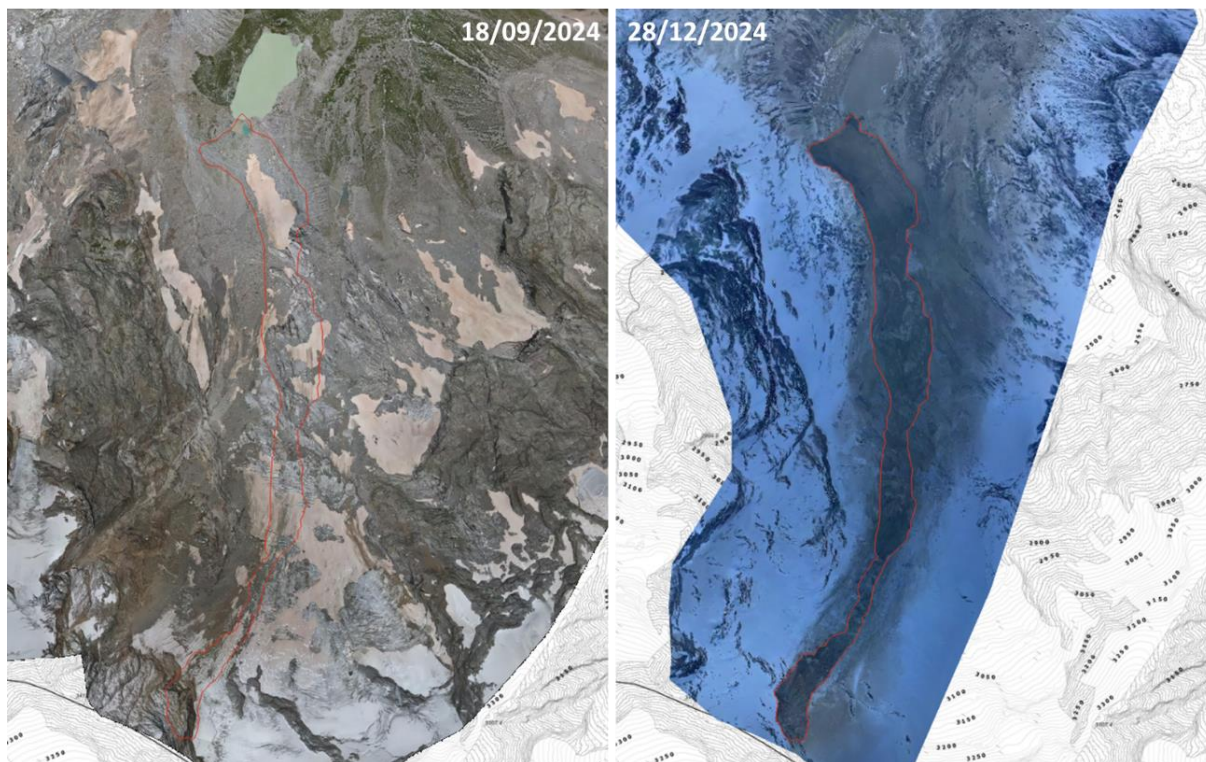


Figura 8 – Confronto tra le ortofoto pre-frana (a sinistra) e post-frana (a destra), in rosso è indicato il limite morfologico della frana.

Il modello di dicembre 2024 è stato allineato come nuvola di punti in Cloud Compare sulla nuvola di punti del modello di settembre 2024, usato come reference; per l'allineamento è stata usata solo la parte esterna della frana (Figura 9). La matrice di rototraslazione della nuvola allineata correttamente è stata applicata all'intera nuvola, contenente anche la frana. Questa è stata importata in Qgis e ne è stato prodotto un DEM.

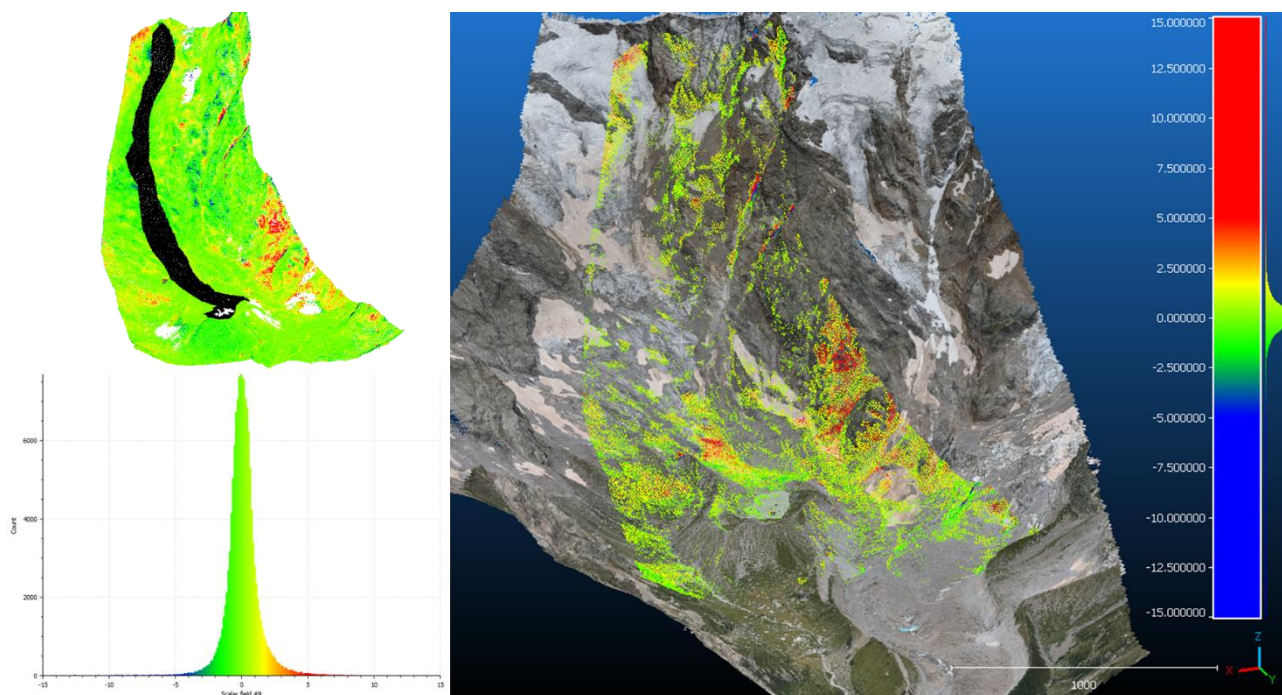


Figura 9 – Calcolo delle distanze tra le nuvole di punti pre- e post-frana; a sinistra diagramma di frequenza delle distanze per l'area esterna alla frana, utilizzata per la coregistrazione del modello post-frana su quello pre-frana.

Il confronto tra i DEM di settembre 2024 e di dicembre 2024 presenta risultati attendibili sia nella zona di nicchia, dove le differenze tra i modelli sono molto marcate, sia nella zona di transito e di accumulo, dove le differenze sono meno marcate. Nel confronto visivo (Figura 10) si riconoscono le zone erose (in giallo/rosso) e le zone di accumulo (in azzurro/blu), ben contenute nel poligono di frana tracciato su basi morfologiche utilizzando l'ortofoto di dicembre 2024 (Figura 8).

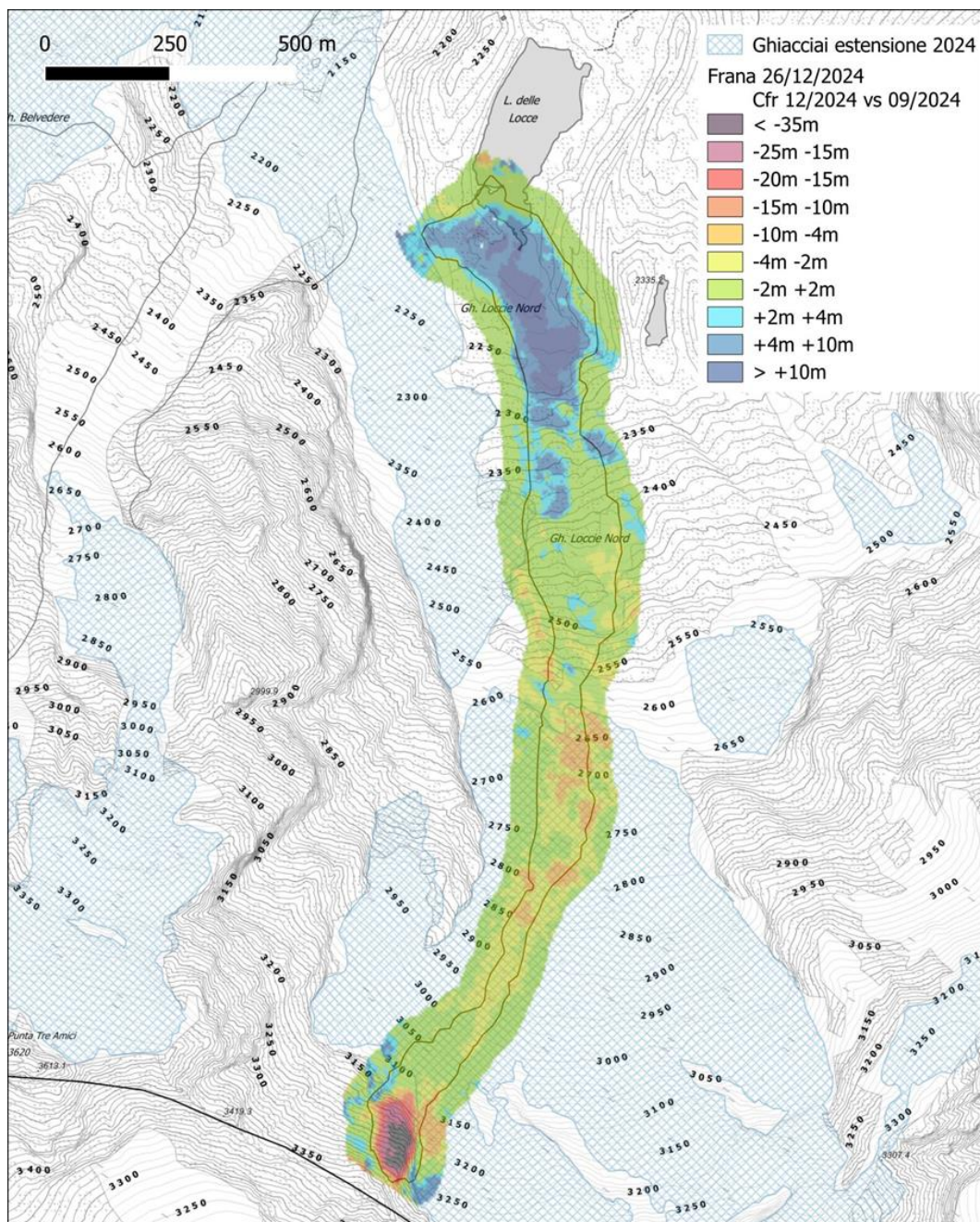


Figura 10 – Differenze verticali di quota tra il modello pre-frana (settembre 2024) e quello post-frana (dicembre 2024)

Per valutare la significatività del confronto, i risultati sono stati espressi in funzione di sigma (≈ 1 dev. Standard = 2.3 m sulla popolazione dei punti esterni al poligono di frana e contenuti all'interno di un buffer di 50 m da questo, con una maglia regolare di 5 m; su oltre 9400 punti, lo scarto medio è risultato di -0,6 m e la deviazione standard di 2,3 m.) in Figura 11 si osserva che nel confronto tra la morfologia pre-frana e post-frana, tutta la nicchia e gran parte dell'accumulo presentano valori > 3 sigma, valori quindi ben maggiori del limite di significatività assunto in 1 sigma.

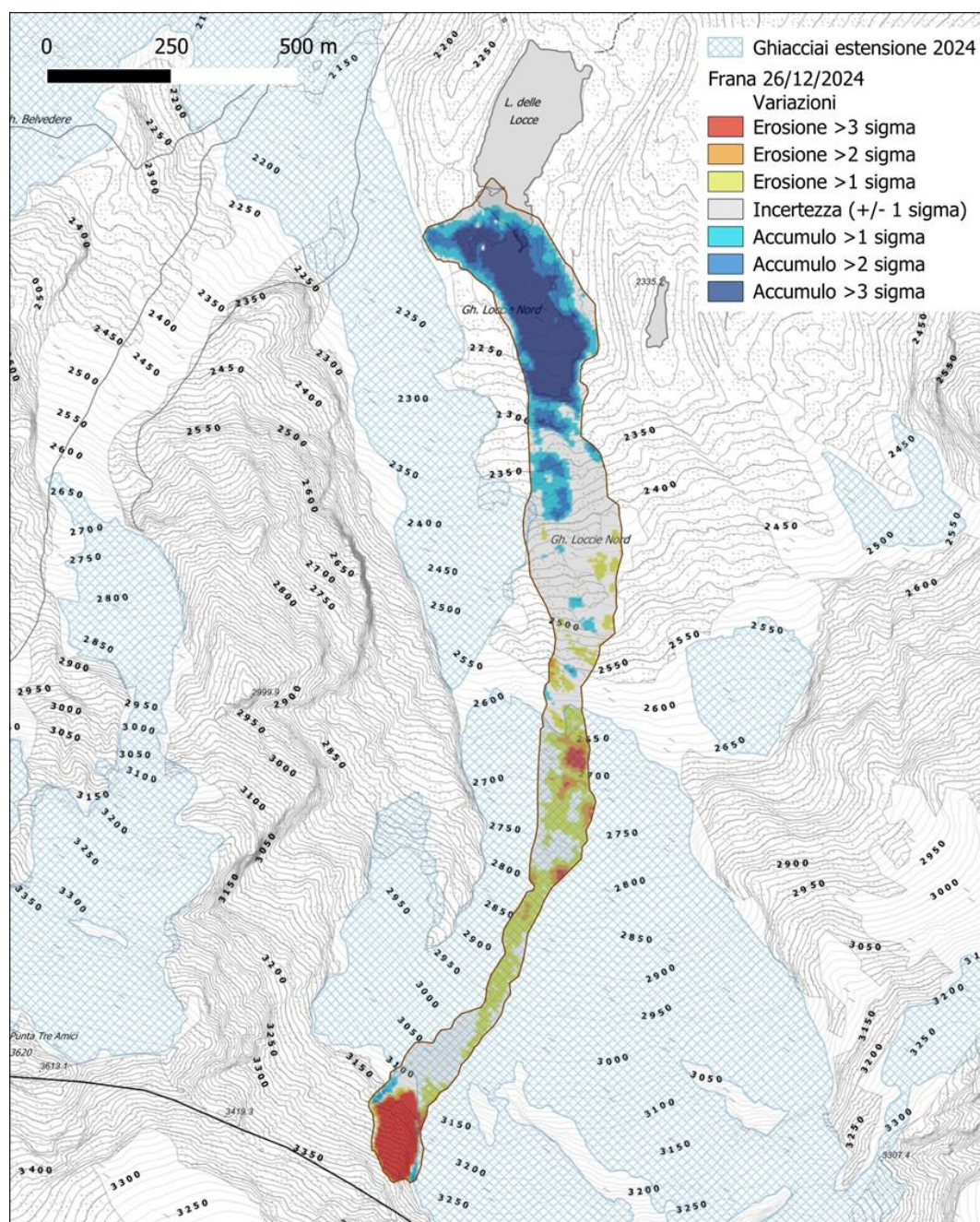


Figura 11 – Rappresentazione delle differenze altimetriche tra le topografie pre- e post-frana in funzione della deviazione standard misurata nelle aree esterne alla frana.

Il calcolo degli errori tra i due modelli pre- e post-frana ha seguito il metodo illustrato in Securo et al. (2025): le nuvole di settembre e di dicembre 2024 sono state confrontate in Cloud Compare, utilizzando l'algoritmo *Multiscale Model to Model Cloud Comparison* (plug-in M3C2; Lague et al., 2013). Gli output di M3C2 (*uncertainty distance* e distanza verticale tra i modelli) sono stati rasterizzati con cella 5 m e importati in Qgis:

- La somma quadratica della media delle due componenti per l'area esterna alla frana (buffer di 50 m) ha dato l'incertezza complessiva per il calcolo della differenza di quota, pari a 1.15 m;
- Le statistiche zonali tra le varie parti della frana (nicchia in roccia, erosione di ghiaccio, transito ed accumulo) hanno fornito i principali dati morfometrici della frana (Figura 12);
- Escludendo le aree di incertezza (variazioni di quota ± 1 sigma), il calcolo dei volumi solo quindi per le aree maggiormente significative ha dato risultati sostanzialmente analoghi.

	Area m ²	Spessore medio/max m	Volume m ³	Incertezza volume* m ³
Accumulo (detrito + ghiaccio)	91.300	6.4/16	+582.000	±105.100
Settore di solo transito	81.500	/	/	/
Erosione sul ghiacciaio	50.500	-3.1/-11	-158.000	±58.100
Nicchia (roccia)	14.400	-21.5/-50	-310.000	±16.600

(* metodo in Securo et al., 2025)

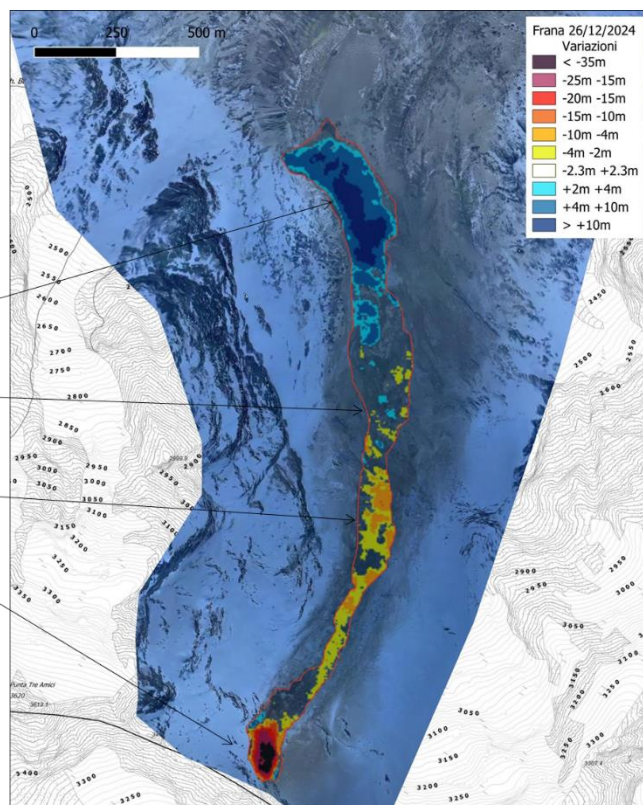


Figura 12 – Risultati del confronto tra il modello pre-frana (settembre 2024) e post-frana (dicembre 2024)

Il confronto tra il DEM ricostruito a seguito dell'evento e il DEM rilevato il 18 settembre 2024 tramite volo fotogrammetrico ha permesso quindi una stima del volume movimentato: il distacco in roccia ha coinvolto circa 310.000 m³, il transito sul ghiacciaio delle Locce hanno determinato l'erosione di circa 158.000 m³ di ghiaccio (spessore massimo eroso pari a 11 m, medio pari a circa 3 m). Il materiale si è depositato a valle del ghiacciaio, in prossimità del Lago delle Locce, formando un accumulo di detrito, ghiaccio (e neve) di circa 580.000 m³, con spessori massimi di 16 m e medi di 6 m (Figura 13).

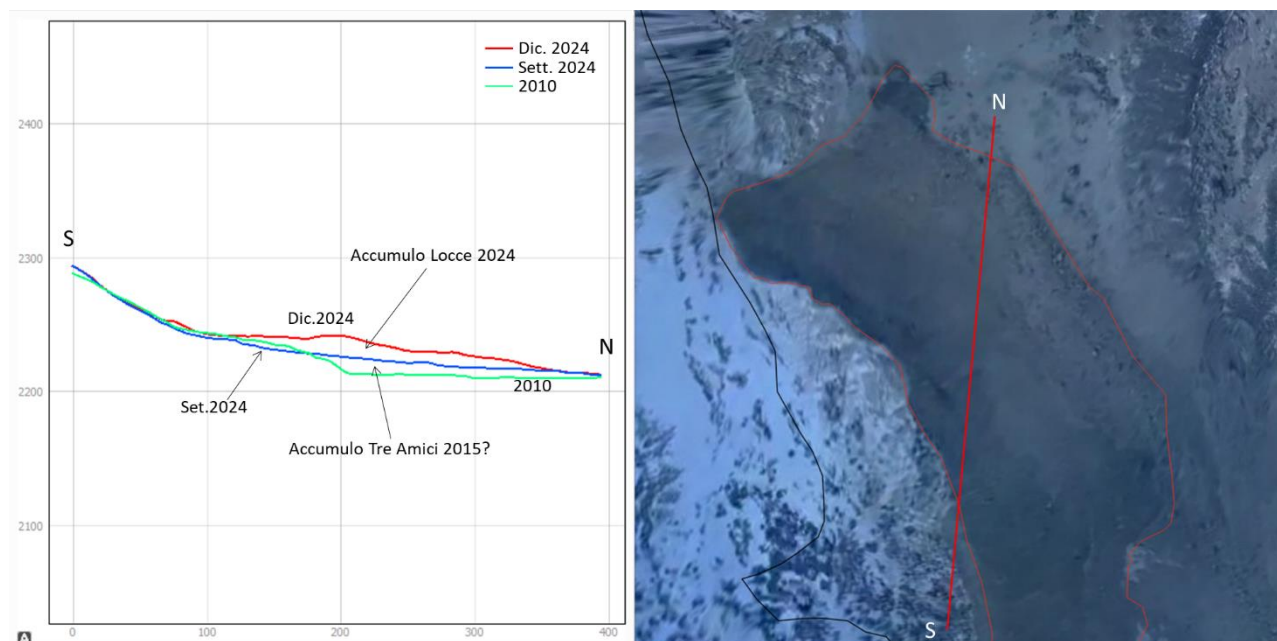


Figura 13 – Sezione longitudinale dell'accumulo: il deposito di dicembre 2024 si è messo in posto sopra l'accumulo della frana della Punta Tre Amici di dicembre 2015.

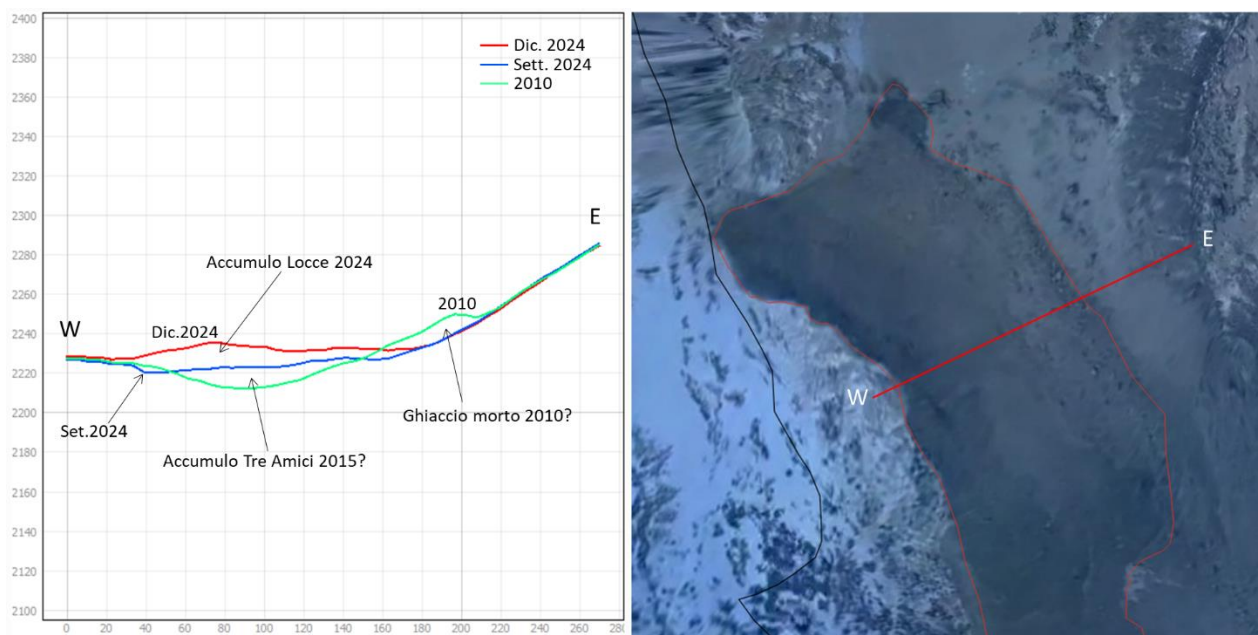


Figura 14 – Sezione trasversale dell’accumulo: anche in questa sezione si riconosce la sovrapposizione del deposito di dicembre 2024 sopra l’accumulo della frana della Punta Tre Amici di dicembre 2015; sul fianco interno della morena destra delle Locce si osserva un abbassamento della superficie topografica tra il 2010 e il 2024, ipotizzabile come la scomparsa di una lente di ghiaccio morto.

La datazione dell’evento è stata possibile in maniera indiretta, in quanto non sono attualmente state raccolte testimonianze dirette della caduta della frana; il 26 dicembre l’area è stata inquadrata dalla costellazione Sentinel, rendendo disponibile un’immagine del versante ancora innevato, mentre il 27 dicembre mattina l’accumulo è già stato osservato direttamente dalle guide alpine; l’accadimento è quindi riconducibile all’intervallo compreso tra la sera del 26 e la notte seguente. L’analisi delle misurazioni strumentali disponibili alla stazione meteo “Macugnaga Rifugio Zamboni”² gestita da ARPA Piemonte indica una concomitanza di valori anomali alle 16:30 (UTC) del 26 dicembre (Figura 15), possibile effetto del soffio della caduta della rock-avalanche, il cui areale di espansione ha abbondantemente raggiunto la piana dell’Alpe Pedriola (Figura 16)?

Lo Swiss Seismological Service (SED) presso l’ETH di Zurigo segnala un sisma³ con epicentro nel sottosuolo nell’alta Val Quarazza, circa 2 km a SE della Punta Grober con magnitudo 2.1 e *event type=landslide* alle 22:14 (UTC) del 26/12/2024.

² <https://perseo.ad.arpa.piemonte.it/apps2/SelOraAll/>

³

http://seismo.ethz.ch/en/earthquakes/switzerland/massmovementpage.html?originId=%27c21pOmNoLmV0aHouc2Vkl3NjMjBhZy9PcmInaW4vTkxMLjIwMjQxMjI2MjMjMjExLjA4ODg0Mi4xMjc4NjA=%27&date_ch=2024-12-26&time_ch=23:24®ion=Val%20Sesia%20I&magnitude=2.1

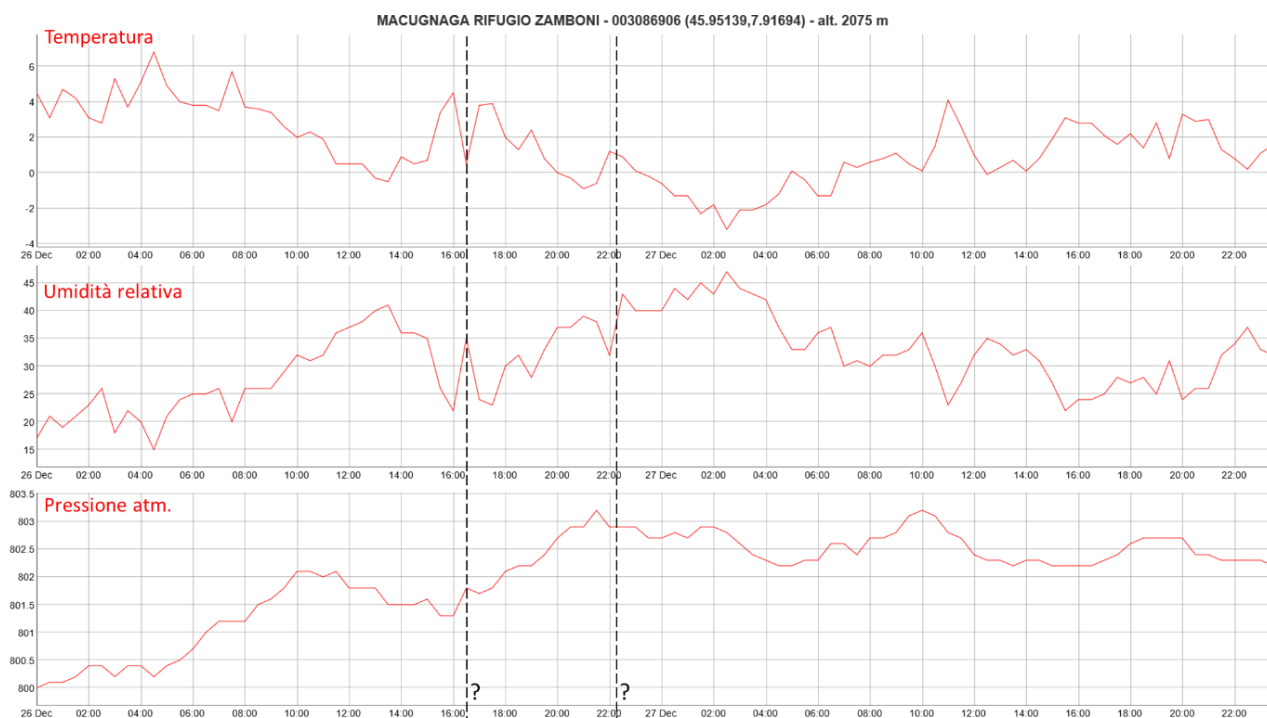


Figura 15 – Dati del termometro, dell’igrometro e del barometro installati alla stazione “Macugnaga Rifugio Zamboni”, situata nella piana dell’Alpe Pedriola, a meno di un km a Nord dell’unghia dell’accumulo; con il tratteggio sono indicate le 16:30 UTC del 26/12/2024, dove sono riconoscibili anomalie di misura simultanee e le 22:14 UTC ora della segnalazione del sisma.



Figura 16 – Vista dell’area del ghiacciaio delle Locce dall’Alpe Pedriola: in lontananza l’area di accumulo della rock-avalanche, la cui fronte è nascosta dall’imponente massa della morena del ghiacciaio delle Locce, in centro alla foto; in tratteggiato rosso il limite approssimativo dell’area di deposizione delle polveri della frana all’interno della quale è ricompreso il rifugio Zamboni e la stazione meteo (foto del 28/12/2024, cortesia M. Vittone).

La rock-avalanche del 26 dicembre rappresenta il più recente evento di instabilità di un’area caratterizzata da una spiccata dinamica ambientale; in particolare, guardando agli ultimi decenni e con rapidità crescente nel nuovo secolo, la copertura glaciale dell’intera conca dominata dal Monte Rosa 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, illustrati in una carta delle instabilità attive o di recente attivazione (Figura 19). Una considerazione peculiare va alla frequenza di accadimento di significative rock-avalanche: in meno di vent’anni è stato possibile assistere a tre fenomeni attivati nell’area (Figura 17): il 21 aprile 2007 dalla parete Est del Monte Rosa, il 16 dicembre

2015 dalla P.ta Tre Amici e il 26 dicembre 2024 dal Colle delle Locce; in particolare sorprende la similitudine dei due eventi nel bacino delle Locce, entrambi con nicchia appena sopra i 3000 m di quota e accumulo che si è spinto fino alle rive dell'omonimo lago.

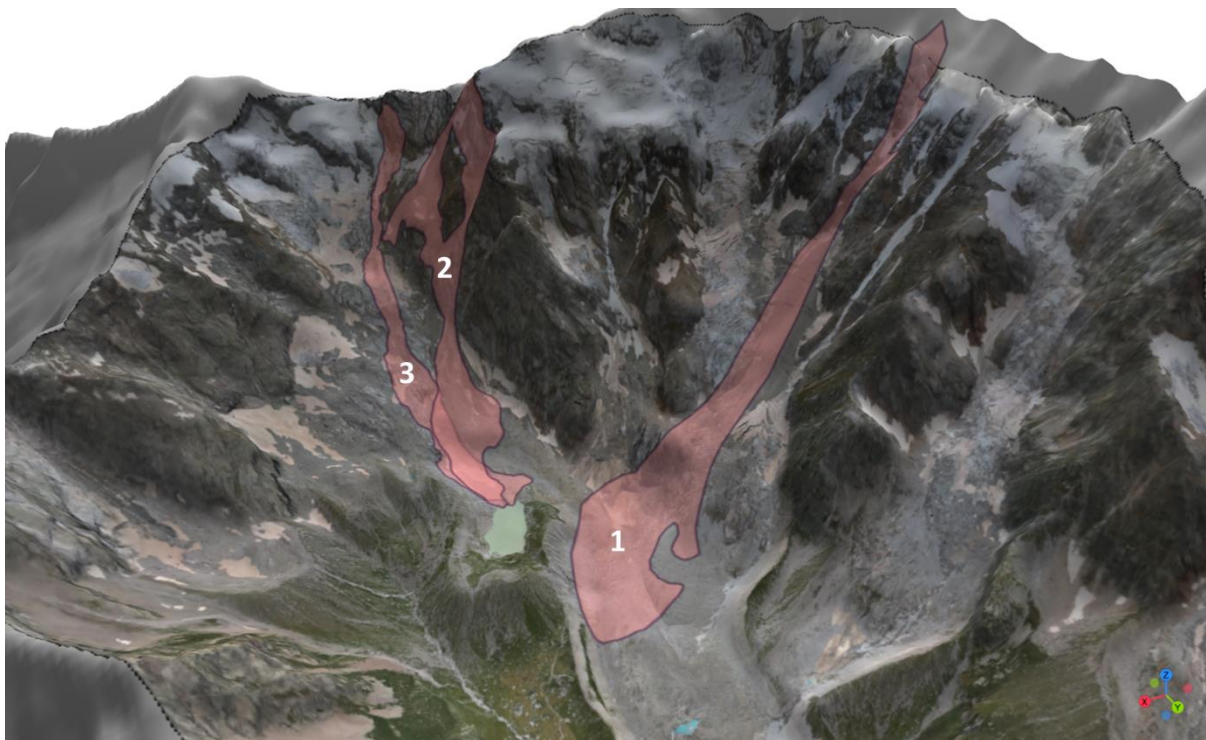


Figura 17 – Modello 3D della conca del versante Est del Monte Rosa con indicate le aree di coinvolgimento delle rock-avalanche del 2007 (1), del 2015 (2) e l'attuale del 26 dicembre 2024 (3).

Nell'ambito degli approfondimenti dell'instabilità dell'area del Belvedere, è stata redatta una carta dei processi geomorfologici attivi attualmente oppure che hanno mostrato fasi di attività nel biennio di osservazione dell'area (2023-2024), in concomitanza con le campagne glaciologiche⁴. Tale carta 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.

⁴ Per i dettagli delle campagne glaciologiche: <https://www.arpa.piemonte.it/scheda-informativa/ghiacciai>



Figura 18 – Lingua del ghiacciaio del Belvedere coinvolto a più riprese da recenti 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., 2004 e definiscono delle classi a diverso comportamento:
 - $<25^\circ$ settori sostanzialmente stabili per cui non è conosciuta l'attivazione di ice-avalanche;
 - $>25^\circ$ settori di instabilità per i ghiacciai temperati;
 - $>45^\circ$ settori di instabilità per i ghiacciai freddi (la soglia a 60° è stata aggiunta per enfatizzare le aree maggiormente acclivi).
- Rock-avalanche: sono riportati gli areali dei tre fenomeni citati (2007⁵, 2015⁶, 2024).

Di seguito la carta delle instabilità attive dell'Alta Valle Anzasca e degli eventi che negli ultimi anni hanno determinato importanti effetti geomorfologici (Figura 19).

⁵ Mortara, G., Tamburini, A., (edited by) (2009).

⁶ Modificato da https://bdgm.arpa.piemonte.it/sifrap/sifrap_ii_liv_scheda.php?cod_frana=103-50610-00

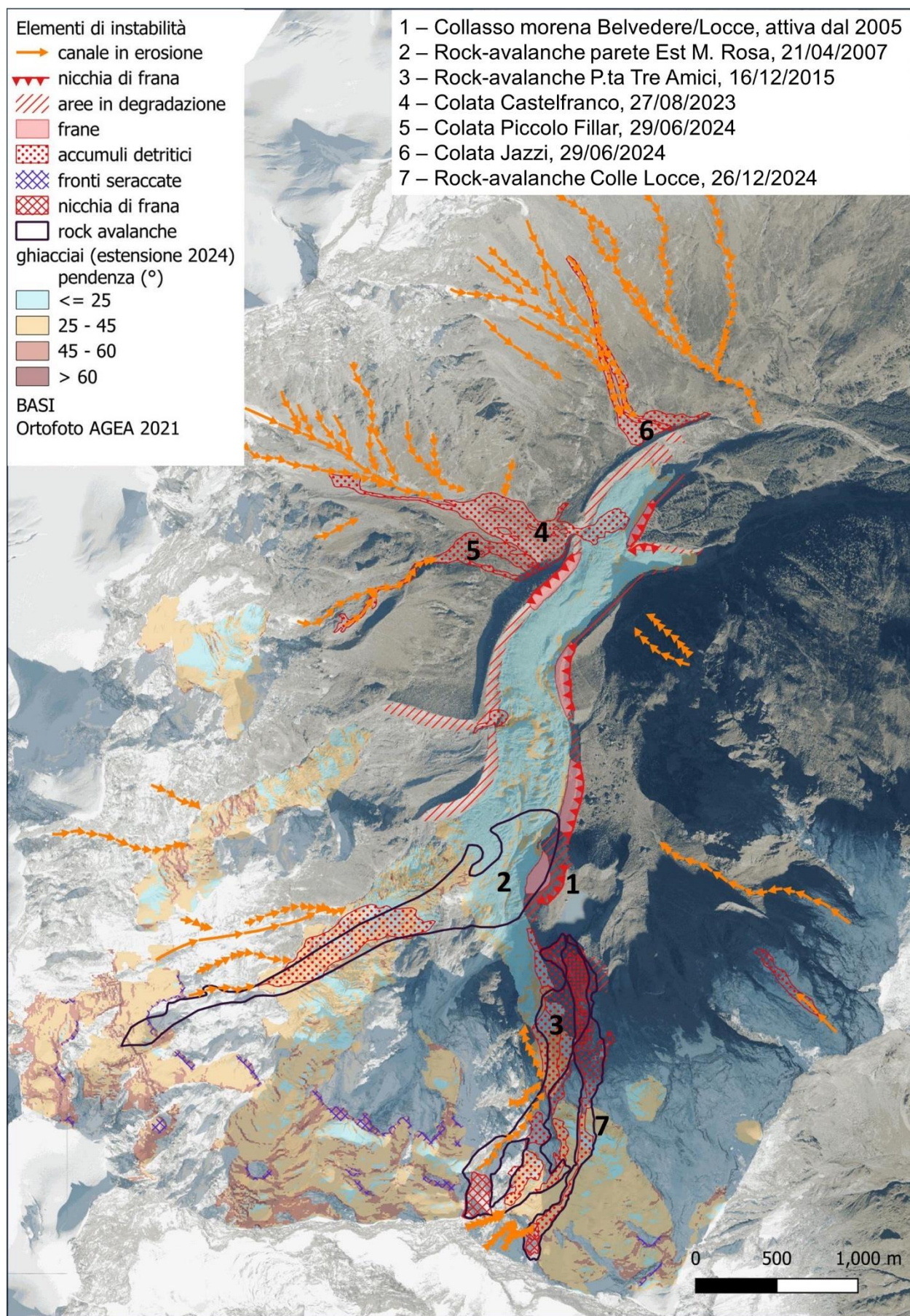


Figura 19 – Carta delle instabilità geomorfologiche attive e sintesi dei principali eventi che hanno coinvolto l'area negli ultimi anni.

Instabilità precedente e successiva al crollo del 26/12/2024

Sono stati ricercati eventuali segni precursori del crollo nelle immagini dei giorni/mesi precedenti: nel corso dei due sorvoli eseguiti nell'ambito della campagna glaciologica 2024 di ARPA Piemonte, rispettivamente del 18/09 e del 30/10, non si osservano evidenze chiare di instabilità; si segnala la presenza diffusa di detrito fresco lungo il versante, ma senza concentrazioni "anomale" al di sotto dello sperone crollato (Figura 20).



Figura 20 – Sperone del Colle delle Locce ripreso a settembre e ad ottobre 2024: non si evidenziano chiari segnali di instabilità in atto.

Nel corso di ottobre si segnalano alcune attivazioni sui contrafforti sotto la Punta Tre Amici, riconosciute dalla webcam di Meteolive (Figura 21), nel sorvolo del 30/10 (Figura 20) e poi nuovamente visibile a metà dicembre (dal 16/12 sulle immagini Sentinel, Figura 22).



Figura 21 – Ripresa webcam Meteolive (www.meteolivevco.it) del 15 ottobre: attivazione alla base della P.ta Tre Amici (cerchio giallo) visibile poi anche il 30/10 (vedi figura precedente); mentre dallo sperone sotto il Colle delle Locce non si osservano instabilità (cerchio rosso).

Nell'immagine Sentinel del 26/12 (Figura 22), scattata poche ore prima l'evento principale, è stata osservata una strisciata di detrito che si allunga sul ghiacciaio, partendo dallo sperone poi crollato. Questa traccia non si vede nell'immagine precedente del 24/12.

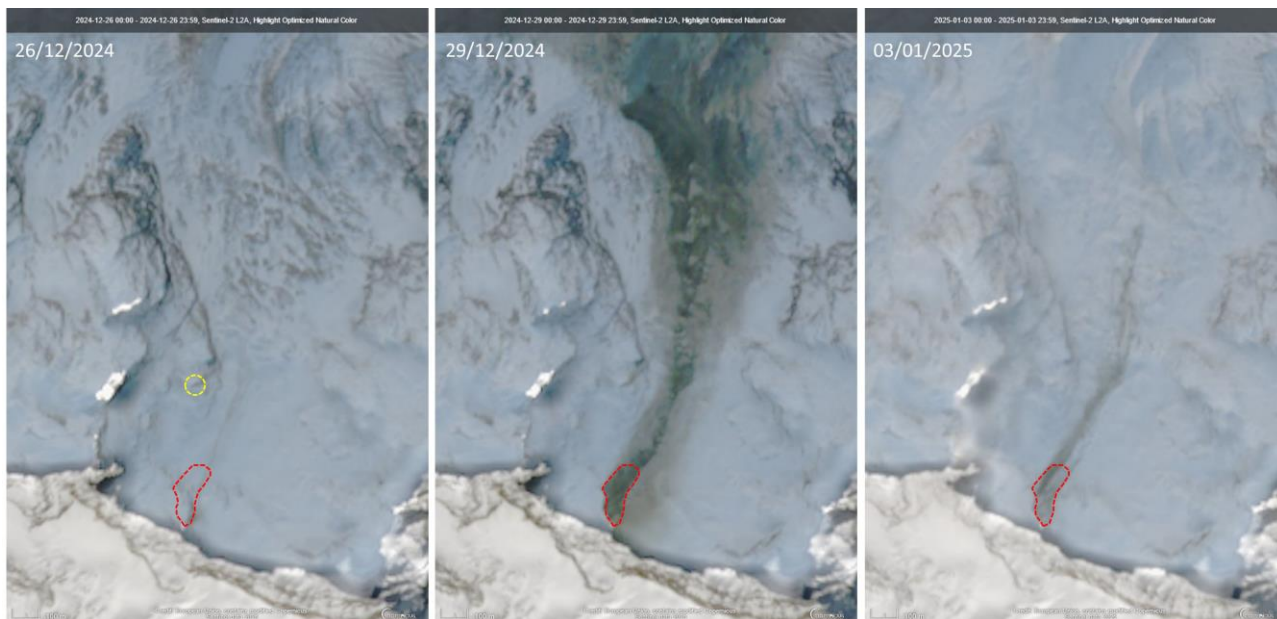


Figura 22 – Nell'immagine del 26/12 si osserva una leggera traccia scura, segnale di instabilità, al di sotto dello sperone poi crollato la sera (in rosso). Il cerchio giallo indica l'area di distacco dei crolli avvenuti al di sotto della P.ta Tre Amici e descritti sopra. Il 03/01, dopo una nevicata che ha coperto le tracce dell'evento principale, si osserva un nuovo accumulo di crollo, con estensione minore.

Attività seguente al crollo principale: nell'immagine Sentinel del 03/01 (Figura 22) si osserva un nuovo accumulo di crollo messo in posto dopo una nevicata che ha coperto l'accumulo del 26/12: si direbbe la stessa riattivazione documentata nel video online di VCO News del 06/01 (Figura 23). L'area e i volumi interessati sembrano molto minori dell'evento del 26/12.



Figura 23 – Riattivazione visibile dal 03/01/2025, frame video di VCO News del 06/01/2025 (<https://youtu.be/aI0VFdhV5Uc>)

Bibliografia

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.

Lague, D., Brodu, N., & Leroux, J. (2013). Accurate 3D comparison of complex topography with terrestrial laser scanner: application to the Rangitikei canyon (N-Z), *ISPRS J. Photogramm.*, 82, 10–26.

Mortara, G., Tamburini, A., (edited by) (2009). Il ghiacciaio del Belvedere e l'emergenza del lago Effimero. Ed. Società Meteorologica Subalpina, Castello Borello, Bussoleno, Italy (ISBN 978-88-903023-5-0). 191 pp.

Securo, A., Del Gobbo, C., Baccolo, G., Barbante, C., Citterio, M., De Blasi, F., Marcer, M., Valt, M., & Colucci, R. R. (2025). The glaciers of the Dolomites: the last 40 years of melting. *The Cryosphere*, 19(3), 1335-1352.