



Figura 1 -Ghiacciaio Antelao Superiore nel settembre 2023 - ph A. Securo

Il declino dei ghiacciai nelle Dolomiti dagli anni '80 a oggi

Andrea Securo⁽¹⁾⁽²⁾, Renato R. Colucci⁽²⁾⁽³⁾

1. Università Ca' Foscari
2. Istituto di Scienze Polari (ISP) del CNR
3. Società Meteorologica Alpino-Adriatica

Riassunto

I piccoli ghiacciai delle Dolomiti sono in rapida contrazione, ma la loro ridotta estensione e il terreno impervio in cui si trovano rendono difficile il monitoraggio da satellite, a cui si aggiunge l'assenza di rilievi sul campo a cadenza annuale. Riprocessando campagne fotografiche aeree acquisite fra gli anni Ottanta e i primi anni Duemila e combinando quest'ultime con rilievi da drone (2023) e da LiDAR via elicottero (2010, 2014) abbiamo ricostruito le variazioni di volume dei ghiacciai Dolomitici durante gli ultimi quarant'anni. Nei monti pallidi, i ghiacciai montani - quindi dotati di movimento gravitativo - sono scesi da svariate decine a sole dodici unità, alcune delle quali arrivano dalla frammentazione del Ghiacciaio della Marmolada. I risultati mostrano una drammatica riduzione dello spessore di ghiaccio dagli anni Ottanta, con un terzo della perdita complessiva verificatasi nell'intervallo tra il 2010 e il 2023. Sebbene i tassi di fusione locali varino e rimangano leggermente meno severi rispetto alla media alpina generale, non passerà molto tempo prima che le Dolomiti perdano del tutto i loro ghiacciai. Il sito più celebre e di maggior estensione, ovvero il Ghiacciaio della Marmolada, rappresenta da solo oltre il 66% del volume di ghiaccio perso nell'intera regione.

Abstract: The decline of the Dolomites glaciers since 1980s

Small glaciers in the Italian Dolomites are rapidly shrinking, yet standard satellites struggle to monitor them due to their small size and steep terrain and in situ monitoring is not performed on a yearly basis. By pairing historical aerial photographs (1980s–2010s) with high-precision drone mapping and LiDAR surveys (2010, 2014, 2023), we have reconstructed the first long-term record of glaciers change in the region, where active glaciers have dropped from dozens down to just 12. The results show dramatic ice loss since the 1980s, with one-third of the overall elevation loss occurring in the short period between 2010 and 2023. Although local melting rates vary and remain slightly less severe than the broader Alpine average, a single site – the Marmolada glacier – accounts for 66% of the region's total lost ice volume. It won't be too long for the Dolomites to lose all their mountain glaciers.

Introduzione

La crisi climatica globale sta impattando anche le catene montuose europee, dove il riscaldamento atmosferico procede a ritmi superiori alla media globale. Nelle nostre Alpi, questo aumento termico ha generato una delle più imponenti contrazioni volumetriche e areali dei ghiacciai registrata su scala planetaria, con una riduzione che sfiora il 40% del volume glaciale nel solo periodo compreso tra il 2000 e il 2023. Tale rapida perdita di massa è guidata non solo dalle temperature crescenti, ma anche da profonde mutazioni nei pattern di circolazione atmosferica, che influenzano la distribuzione delle precipitazioni, i tassi di umidità e l'accumulo nevoso invernale. Sebbene il territorio alpino sia storicamente la culla della glaciologia moderna e vanti sistemi di monitoraggio e telerilevamento all'avanguardia, permangono settori caratterizzati da una disponibilità di dati quantitativi estremamente frammentaria.

Le Dolomiti, situate nel settore sud-orientale delle Alpi, rappresentano un esempio emblematico di questa carenza scientifica. In questo territorio dalla straordinaria complessità geografica, socio-economica e paesaggistica, i piccoli ghiacciai di montagna situati al di sotto della linea di equilibrio ambientale, in passato spesso chiamata linea delle nevi perenni, stanno subendo una rapidissima

degradazione. Il monitoraggio di queste piccole masse glaciali tramite telerilevamento satellitare convenzionale risulta estremamente complesso a causa delle ridotte dimensioni di questi corpi glaciali e dell'aspra topografia circostante. Queste limitazioni e la difficoltà di raggiungere alcuni di questi siti hanno lasciato l'area dolomitica priva di record storici continui.

La ricostruzione storica della presenza glaciale nelle Dolomiti rivela un declino ininterrotto che affonda le sue radici nelle prime osservazioni sistematiche della fine del XIX secolo. Il primo studio organico sul glacialismo dolomitico risale agli anni Ottanta dell'Ottocento e fu redatto dal geografo austriaco Eduard Richter. Successivamente, tra il 1893 e il 1909, il geografo italiano Olinto Marinelli condusse un'indagine pionieristica e dettagliata su trentanove ghiacciai della regione Dolomitica, arricchendo la letteratura scientifica con fotografie, cartografie topografiche e dati quantitativi che costituiscono ancora oggi la prima vera panoramica completa della criosfera dolomitica all'alba del XX secolo. Nei decenni successivi, le informazioni sono confluite principalmente negli inventari dei ghiacciai italiani pubblicati nel 1925 dal Generale Porro, nel 1962 dal Comitato Glaciologico Italiano e nel 2015 nell'ultimo Catasto

aggiornato, redatto da Smiraglia e Diolaiuti. L'analisi comparativa di questi cataloghi evidenzia discrepanze e ritardi nell'aggiornamento dei dati locali. Per esempio, alcune masse glaciali segnalate come estinte nell'inventario del 1962 mostravano ancora la presenza di ghiaccio residuo nel catasto del 2015, sebbene quasi completamente prive della loro componente dinamica.

I dati storici evidenziano come alla fine degli anni Cinquanta le Dolomiti ospitassero ancora trentatré ghiacciai montani attivi, per una superficie complessiva di oltre 8 Km². Un'indagine parziale condotta dall'Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto (ARPAV) nel 2009 su ventisette corpi glaciali, che rappresentavano circa il 72% della superficie glaciale totale dell'epoca, ha rivelato un dimezzamento dell'estensione areale tra il 1910 e il 2009.

Con dati risalenti allo stesso anno, il catasto nazionale (pubblicato nel 2015) ha censito cinquantuno corpi glaciali dolomitici, coprenti una superficie totale di poco superiore ai 5 Km² ed equivalente all'1,4 % dell'intera area glacializzata italiana.

Di questi cinquantuno corpi, solo tredici venivano classificati come ghiacciai montani veri e propri, mentre ben trentotto erano ormai ridotti a semplici glacionevati, con una presenza diffusa di copertura detritica abbondante o totale su diciotto apparati.

Negli ultimi decenni, la contrazione si è ulteriormente inasprita, riducendo a soli nove i ghiacciai attivi, alcuni al limite della classificazione, sopravvissuti nell'intera regione dolomitica. Il numero può eventualmente salire se vengono considerati i nuovi settori formatisi dalla frammentazione del Ghiacciaio della Marmolada.

Lo studio

Per colmare questo vuoto conoscitivo e quantificare con precisione i cambiamenti volumetrici avvenuti negli ultimi quarant'anni nelle Dolomiti, uno studio scientifico condotto dal nostro team in collaborazione con altri ricercatori dell'Istituto di Scienze Polari ha integrato metodologie di telerilevamento ad altissima risoluzione con l'analisi climatologica locale. I rilievi moderni, effettuati a partire dal 2010 e conclusi nel 2023, si sono avvalsi di droni e di rilievi da elicottero. Le variazioni topografiche antecedenti al 2010 sono state invece ricostruite applicando algoritmi fotogrammetrici alle immagini aeree storiche d'archivio risalenti al periodo tra il 1980 e i primi anni Duemila. Questo approccio metodologico ha permesso di ricostruire modelli digitali della superficie ad altissima risoluzione di tutti i ghiacciai attualmente attivi nelle Dolomiti e di calcolarne il bilancio di massa geodetico, stimando quindi la perdita totale di questi ghiacciai in m³ d'acqua. Per comprendere i fattori climatici sottostanti a questa evoluzione, i dati telerilevati sono stati correlati con le registrazioni

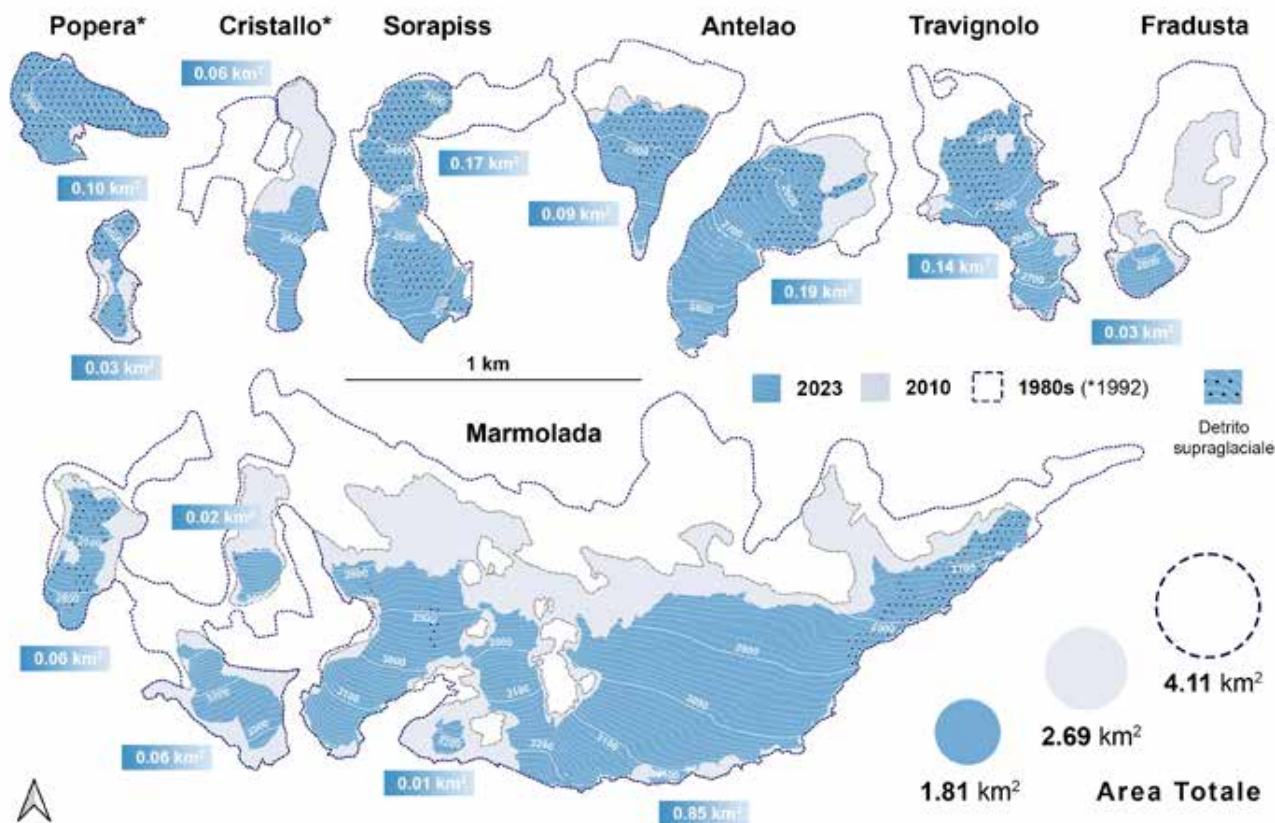


Figura 2 - Variazioni areali dei ghiacciai delle Dolomiti: anni '80, 2010 e 2023 - immagine modificata da Securo et al., 2025

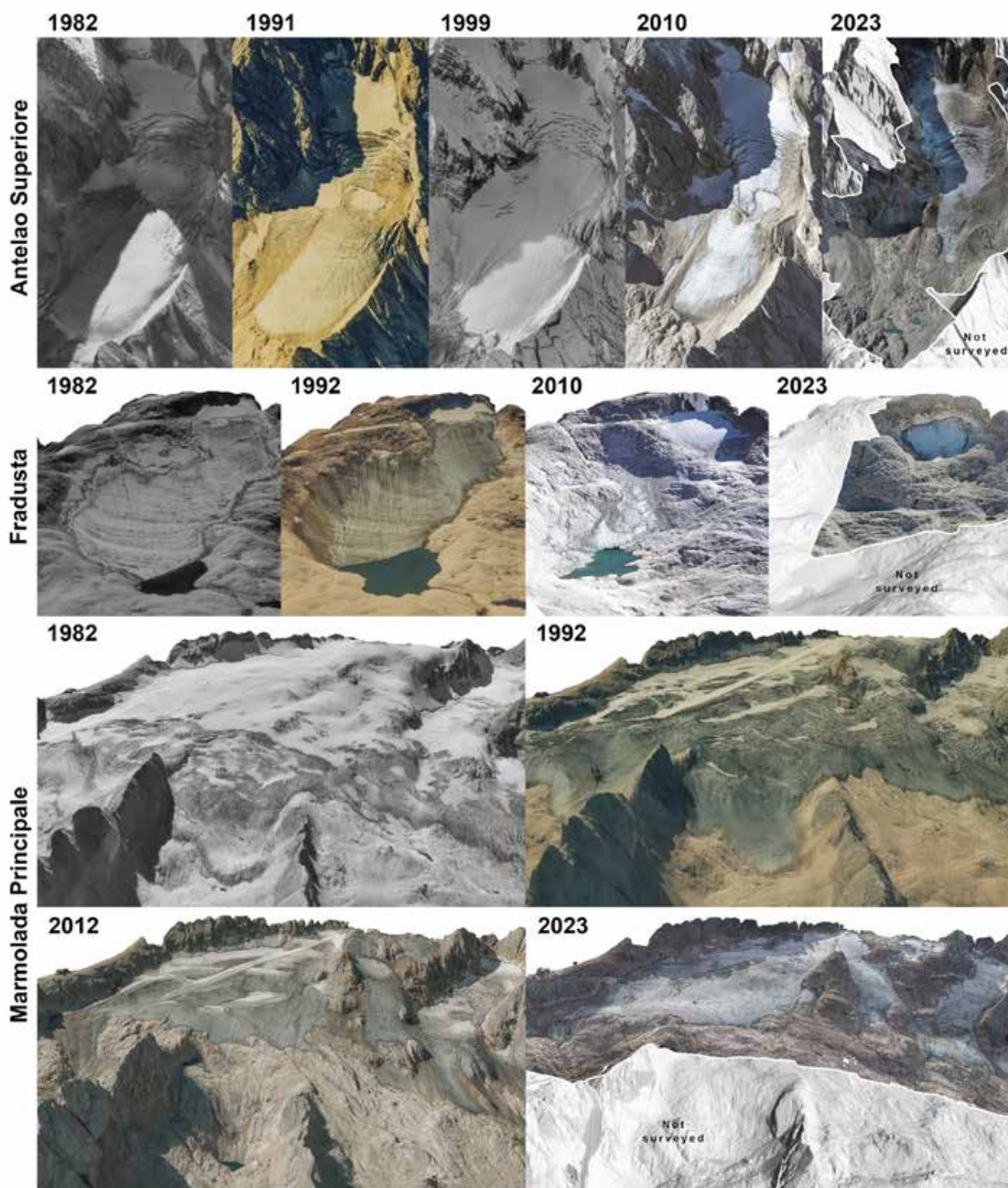


Figura 3 - Ricostruzioni 3D di alcuni ghiacciai delle Dolomiti fra gli anni '80 e il 2023: Antelao Superiore, Fradusta e Marmolada Principale - immagine modificata da Securo et al., 2025

termiche e pluviometriche provenienti da venti stazioni meteorologiche automatiche della rete ARPAV e due stazioni gestite dalla Provincia Autonoma di Bolzano, garantendo un'adeguata copertura spaziale dei sei gruppi montuosi (Popera, Cristallo, Sorapiss, Antelao, Marmolada e Pale di San Martino) che ospitano i ghiacciai superstiti.

I risultati ottenuti

I risultati delle elaborazioni indicano una contrazione drammatica sia in termini areali che volumetrici. L'estensione areale complessiva dei ghiacciai montani nelle Dolomiti è passata da 4,1 Km² negli anni Ottanta a soli 1,8 km² nel 2023, registrando un decremento netto del 56%.



Figura 4 - Antelao Superiore nel settembre 2023 - ph A Securo



Figura 5 - Dettaglio di alcuni crepacci del Ghiacciaio del Travignolo, sulle Pale di San Martino - ph A. Securo



Figura 6 - Ghiacciaio del Travignolo (Pale di San Martino) nel settembre 2025. Si noti l'importante copertura detritica nella porzione frontale del ghiacciaio, dove vi è anche un piccolo lago proglaciale - ph A. Securo



Figura 7 - Placca di ghiaccio residua del Ghiacciaio della Fradusta nel settembre 2025 - ph A. Securo

Il processo di fusione ha mostrato una preoccupante accelerazione nell'ultimo sotto-periodo analizzato, compreso tra il 2010 e il 2023, durante il quale si è consumata una perdita del 33% della superficie glaciale in soli tredici anni. Questa stima rappresenta peraltro una valutazione prudente per difetto della perdita reale della criosfera dolomitica, poiché dal conteggio finale sono esclusi tutti quei ghiacciai che, presenti negli anni Ottanta, si sono estinti, sono stati sepolti dal detrito o sono stati declassati a glacionevati privi di movimento nell'ultimo quarantennio. La perdita totale di ghiaccio di ghiacciaio nell'intero periodo di osservazione ammonta a circa 105 milioni di m³ di ghiaccio.

L'analisi dello spessore dei medesimi corpi glaciali evidenzia un assottigliamento verticale generalizzato di eccezionale gravità. La variazione media della quota della superficie topografica dei ghiacciai dolomitici ha registrato un calo di oltre cinque metri nel corso degli anni Ottanta, seguito da un tracollo di quattordici metri tra gli anni Settanta-Novanta e il 2010, e da un ulteriore decremento di oltre nove metri tra il 2010 e il 2023. Il bilancio cumulativo finale rileva una perdita media di

spessore pari a 28,6 metri, un valore impressionante che equivale all'altezza di un edificio di nove o dieci piani. Di questa perdita di spessore verticale, il 33% è avvenuto nell'intervallo temporale recente tra il 2010 e il 2023. I ghiacciai che hanno subito i tassi di assottigliamento più estremi sono la Marmolada, la Fradusta e l'Antelao Superiore, i quali hanno visto ridursi lo spessore del proprio ghiaccio di oltre cinquanta metri in corrispondenza delle rispettive fronti glaciali.

Il Ghiacciaio della Marmolada, che rappresenta la massa glaciale più estesa dell'intera regione dolomitica con una superficie residua di circa 1 km² registrata nel 2023, costituisce il fulcro di questa catastrofe ambientale, avendo contribuito da solo al 66% della perdita volumetrica e di massa complessiva dell'intera area di studio. Già nel 2019, una ricerca condotta dall'Università di Trieste insieme al CNR aveva evidenziato una drastica riduzione dello spessore della Marmolada pari al 30% nel solo decennio tra il 2004 e il 2014. Tale studio aveva teorizzato che, ai tassi di fusione correnti, il ghiacciaio sarebbe andato incontro a frammentazione e successiva estinzione entro circa



Figura 8 - Porzione superiore del Ghiacciaio Alto di Popera (Dolomiti di Sesto) in cui si nota la forte presenza di detrito e qualche placca di firn - ph A. Securo



Figura 9 - Ghiacciaio della Marmolada Principale nel luglio 2026. Sullo sfondo la stazione di Punta Rocca - ph A. Securo



Figura 10 - Dettaglio sulla fronte del Ghiacciaio della Marmolada nel luglio 2026 - ph A. Securo



Figura 11 - Alcuni settori del Ghiacciaio della Marmolada nel luglio 2026. In alto a sinistra la zona del distacco della valanga di ghiaccio e roccia del luglio 2022, ora diminuito in spessore sensibilmente - ph A. Securo



Figura 12 - Fronte del Ghiacciaio della Marmolada nel luglio 2026 - ph A. Securo

trent'anni, anche in presenza di una teorica stabilizzazione dei parametri climatici. Il riscaldamento dell'ultimo decennio ha smentito questa ipotesi cautelativa, accelerando ulteriormente il declino. I successivi rilievi geofisici e glaciologici, intensificati specialmente a seguito del catastrofico distacco della valanga di ghiaccio e roccia avvenuto il 3 luglio 2022, confermano queste osservazioni.

Negli ultimi quarant'anni i ghiacciai delle Dolomiti hanno mostrato una risposta particolare al riscaldamento globale: a partire dagli anni Novanta, infatti, il loro ritmo di fusione è risultato meno accentuato – in termini relativi – rispetto alla media del resto dell'arco alpino. Questa maggiore resilienza è dovuta innanzitutto alla loro dimensione ridotta e a favorevoli fattori microclimatici e topografici locali. Le profonde nicchie montuose in cui sono oramai ritirati tutti i ghiacciai dolomitici, eccetto la Marmolada, li proteggono dalla radiazione solare diretta. A questo si aggiungono le valanghe che vi accumulano importanti surplus di neve e la copertura di detriti rocciosi che agisce come uno schermo termico, isolando il ghiaccio.

I dati meteorologici analizzati nel periodo 1985-2023 spiegano i motivi del collasso dei ghiacciai: un deciso riscaldamento estivo, con temperature cresciute di 0,4-0,6 °C a decennio. Se fino al 2000 prevalevano le stagioni fredde, nei decenni successivi si sono concentrate le estati più calde in assoluto, con lo storico picco massimo toccato nel 2003 e la sola eccezione fresca del 2014. In parallelo, anche le precipitazioni invernali sono leggermente aumentate, con gli anni più nevosi registrati in prevalenza dopo il 2008 e culminati nel record del 2014. Tuttavia, il rialzo termico ha nettamente sopraffatto l'incremento della neve, segnando la transizione verso un clima regionale più caldo e umido che accelera la fusione del ghiaccio. Sul fronte della neve in quota, in questo caso sopra i 1900 metri, la quantità totale annua non mostra un calo di lungo termine, ma un aumento delle annate estreme: si alternano infatti annate eccezionalmente nevose (come il 2014) ad altre molto secche (come il 2023), in cui il manto nevoso è rimasto sotto la media fino alla tarda primavera.

Nonostante la gravità del ritiro glaciale, alcune masse residue conservano ancora oggi visibili segni di movimento (es. crepacci) e sono dei perfetti esempi di piccoli ghiacciai alpini (es. Antelao Superiore, Marmolada Principale, Sorapiss Occidentale). Vi sono poi una serie di ghiacciai ancora oggi definiti come montani che sono al limite della classificazione, sia per dimensioni che per movimento. Esempi sono Fradusta Superiore o Popera Pensile, che potrebbero a brevissimo essere considerati dei glacionevati.

Conclusioni

Come visto in precedenza, l'andamento climatico di lungo termine ha inesorabilmente innalzato

la quota della linea di equilibrio ambientale nella regione dolomitica di circa trecento metri negli ultimi quarant'anni, posizionandola attualmente a un'altitudine vicina ai 3300 metri sul livello del mare. Poiché la vetta più elevata delle Dolomiti, Punta Penia sulla Marmolada, raggiunge un'altitudine massima di soli 3343 metri, la quasi totalità della superficie ghiacciata dolomitica si trova oggi situata al di sotto del limite di sopravvivenza climatica. Significa che la neve non può più resistere fino a fine stagione al di sopra dei corpi glaciali e permetterne la sopravvivenza a medio-lungo termine. Anche ipotizzando uno scenario di stabilizzazione climatica basato sulle temperature degli ultimi trent'anni, senza ulteriori incrementi termici futuri, la scomparsa definitiva dei ghiacciai delle Dolomiti si verificherà nell'arco dei prossimi decenni, lasciando spazio a masse detritiche con ghiaccio sepolto o a corpi periglaciali privi di dinamica.

Bibliografia

- ARPAV: *Dati ambientali*, <https://www.arpa.veneto.it> (ultimo accesso: 2024-02-28)
- BONDESAN, A. FRANCESE, R. G.: *The climate-driven disaster of the Marmolada Glacier (Italy)*, *Geomorphology*, 431, 108687, <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2023.108687>
- CASTIGLIONI, B. (1925) - *Alcuni ghiacciai nelle Dolomiti e il loro ambiente orografico e climatico*, *Bollettino C.A.I.*, 42, 323–379
- CIBIEN, M., FERRARESE, L., MENEGHEL, F., (2007) - *The Glaciers of Mount Antelao (Dolomites, Italy) since the Little Ice Age*, *Geogr. Fis. Din. Quat.*, 30, 131–139
- COLUCCI, R. R. (2016) - *Geomorphic influence on small glacier response to post-Little Ice Age climate warming: Julian Alps, Europe*, *Earth Surf. Proc. Land.*, 41, 1227–1240 - <https://doi.org/10.1002/esp.3908>
- COLUCCI, R. R., GUGLIELMIN, M. (2015) - *Precipitation-temperature changes and evolution of a small glacier in the southeastern European Alps during the last 90 years*, *Int. J. Climatol.*, 35, 2783–2797, <https://doi.org/10.1002/joc.4172>
- PAUL, F., RASTNER, P., AZZONI, R. S., DIOLAIUTI, G., FUGAZZA, D., LE BRIS, R., NEMEC, J., RABATEL, A., RAMUSOVIC, M., SCHWAIZER, G., SMIRAGLIA, C. (2020) - *Glacier shrinkage in the Alps continues unabated as revealed by a new glacier inventory from Sentinel-2*, *Earth Syst. Sci. Data*, 12, 1805–1821 - <https://doi.org/10.5194/essd-12-1805-2020>
- SECURO, A., GOBBO, C. D., BACCOLO, G., BARBANTE, C., CITTERIO, M., BLASI, F. D., MARCER, M., VALT, M., COLUCCI, R. R., (2024) - *The Glaciers of the Dolomites: last 40 years of melting*, Zenodo [data set], <https://doi.org/10.5281/zenodo.11109783>
- SMIRAGLIA, C., DIOLAIUTI, G., AZZONI, R., (2015): *Il nuovo catasto dei ghiacciai italiani = The new Italian glacier inventory*, EvK2CNR, ISBN 9788894090802