

I GHIACCIAI E IL PERMAFROST



estratto da

SEGNALI
DAL CLIMA

FVG

CAMBIAMENTI
IMPATTI
AZIONI

Settembre 2025

I GHIACCIAI E IL PERMAFROST

7 I GHIACCIAI DELLE ALPI GIULIE TRA
FUSIONE E RESILIENZA: BILANCIO
DI MASSA 2023-24

11 PERMAFROST E CAMBIAMENTO
CLIMATICO: RISCHI E
CONSEGUENZE PER LE AREE ALPINE

“Segnali dal Clima in FVG” è realizzato da:
ARPA FVG - Agenzia Regionale per la Protezione dell’Ambiente
del Friuli Venezia Giulia *nell’ambito dell’attività di coordinamento
e segreteria del “Gruppo di lavoro tecnico scientifico Clima
FVG” istituito dalla Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia con
Decreto DC Difesa dell’ambiente, energia e sviluppo sostenibile,
n. 2137 del 04/05/2022*

Coordinamento editoriale:
Federica Flapp, Fulvio Stel

Elaborazione grafica:
Michela Mauro

“Segnali dal Clima in FVG” ospita articoli firmati da vari autori:
ciascun autore è responsabile per i contenuti (testi, dati e
immagini) dei propri articoli ed esclusivamente di essi.

ARPA FVG, gli altri enti del “Gruppo di lavoro tecnico scientifico
Clima FVG” e i singoli autori non sono responsabili per l’uso
che può essere fatto delle informazioni contenute in questa
pubblicazione.

Ove non diversamente specificato, le immagini sono state
fornite dagli autori dei diversi contributi, che se ne assumono la
responsabilità, o sono tratte da:

<https://pixabay.com/it/>
<https://www.google.com/maps>
<https://climatevisual.org>
<https://unsplash.com/it>
<https://www.pexels.com/it-it/>
<https://www.flickr.com>

La foto di copertina è di Emanuele Esposito

ARPA FVG
Via Cairoli, 14 - 33057 Palmanova (UD)
Tel +39 0432 922 611 - Fax +39 0432 922 626
www.arpa.fvg.it
<https://x.com/arpafvg>
<https://www.instagram.com/arpafvg/>
https://www.youtube.com/channel/UCd04ue_5J9nkZzuTet2ISrg
<https://www.linkedin.com/company/arpa-fvg/>
[posts/?feedView=all](https://www.facebook.com/arpafvg/)
<https://www.facebook.com/arpafvg/>

Questo prodotto è rilasciato con licenza Creative Commons -
Attribuzione 4.0 Internazionale (CC BY 4.0):
Può essere quindi utilizzato citando la fonte, nel rispetto delle
condizioni qui specificate:
informazioni generali [https://creativecommons.org/licenses/
by/4.0/deed.it](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.it)
licenza [https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
legalcode.it](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode.it)



Come citare questa pubblicazione:
Segnali dal clima in FVG. Notizie dal Gruppo di lavoro tecnico-
scientifico Clima FVG. (ARPA FVG, 2025)

Segnali dal Clima

Come sta cambiando il clima in Friuli Venezia Giulia e come cambierà in futuro? Con quali effetti su ambiente, economia e società? Quali strumenti e conoscenze abbiamo a disposizione, nella nostra regione, per agire sulle cause dei cambiamenti climatici e per ridurre gli impatti? Come si stanno attivando le istituzioni, la società, gli enti scientifici e di ricerca?

A queste domande, anno dopo anno, cerca di rispondere *Segnali dal clima in FVG*, una pubblicazione divulgativa che racconta i cambiamenti climatici partendo da un'ottica locale e regionale e affrontando questo grande tema da tre prospettive: CAMBIAMENTI, IMPATTI, AZIONI.

Il 2024 è stato l'anno più caldo mai registrato in Friuli Venezia Giulia, come anche a livello globale: un record che si inserisce in una tendenza climatica ben evidenziata dai dati e che proseguirà in futuro. Per far fronte ai cambiamenti del clima e alle loro molteplici implicazioni, nel 2025 la Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia ha avviato il percorso per elaborare LA STRATEGIA E IL PIANO CLIMA FVG: gli strumenti per pianificare, con un approccio integrato e innovativo, le azioni regionali per la mitigazione e per l'adattamento ai cambiamenti climatici. L'edizione 2025 dei *Segnali* si apre quindi con una sezione che illustra questo percorso, che si svilupperà con la partecipazione dei diversi attori del territorio e della cittadinanza. È quindi fondamentale promuovere la conoscenza e la consapevolezza di tutta la popolazione riguardo a questi temi.

Attraverso le pagine dei *Segnali*, gli esperti degli enti che compongono il Gruppo di lavoro tecnico-scientifico Clima FVG raccontano e spiegano i diversi eventi, fenomeni e attività collegati ai cambiamenti climatici, mettendo a disposizione le loro conoscenze con l'obiettivo di renderle accessibili e interessanti per tutta la cittadinanza. Come? Traducendo le informazioni tecnico-scientifiche in un linguaggio comprensibile e utilizzando esempi, immagini, infografiche che le rendono più chiare e immediate. Ma rendere più semplici e accessibili argomenti complessi non significa banalizzarli: attraverso la lettura di *Segnali dal clima in FVG* il lettore può rendersi conto di come tutti gli elementi - i cambiamenti dei diversi fattori climatici, le

implicazioni per i vari sistemi naturali e settori socio-economici, le risposte che possiamo mettere in campo - siano interconnessi. E di come ciò che avviene nella nostra regione sia collegato a ciò che accade su scala planetaria.

“Capire le connessioni per affrontare i cambiamenti” diventa quindi il filo conduttore che ci accompagna nel percorso di lettura di questa terza edizione dei *Segnali*, che esplora alcune nuove tematiche: IL VERDE, nelle sue diverse declinazioni; la FAUNA SELVATICA; la SALUTE UMANA. Quest'ultima è tema centrale della sezione NOI E IL CLIMA, che quest'anno si arricchisce anche di nuovi contributi sulla psicologia ambientale, l'alimentazione sostenibile e i consumi energetici futuri per climatizzare le nostre case. Tema già presente nelle precedenti edizioni è quello delle acque interne, che viene qui sviluppato con particolare riferimento alla VITA NEI FIUMI.

Nell'intero percorso di lettura, ritroviamo più volte alcuni concetti e principi trasversali, fondamentali per uno sviluppo climaticamente resiliente: i servizi ecosistemici, la naturalità e connettività degli habitat, la necessità di affrontare con approcci integrati la crisi climatica che sta diventando sistemica.

Capisaldi di questo progetto editoriale rimangono le sezioni dedicate a IL METEO E IL CLIMA, I GHIACCIAI e IL MARE, che ogni anno forniscono aggiornamenti sugli andamenti di ciascun settore grazie alle serie storiche di dati analizzate dagli esperti, a cui si aggiungono nuovi approfondimenti.

Gli articoli di *Segnali dal Clima in FVG* sono il risultato del lavoro di decine di autori appartenenti agli enti del Gruppo di lavoro Clima FVG, che vi contribuiscono su base volontaria: perciò di anno in anno variano i temi generali e gli aspetti specifici che vengono esplorati e messi in evidenza. Ma *Segnali dal clima in FVG* non “invecchia” rapidamente: rimangono quindi a disposizione online le edizioni precedenti e tutta la ricchezza delle tematiche esplorate e degli argomenti trattati.

Questo impegno divulgativo condiviso ha ricevuto un importante riconoscimento internazionale, vincendo l'*EMS 2025 Outreach & Communication Award*, il premio per la sensibilizzazione e la comunicazione attribuito dalla European Meteorological Society.

**Il gruppo di lavoro tecnico-scientifico
Clima FVG**

L'ABC DEL CLIMA

I box o le pagine a sfondo arancione spiegano termini e concetti specifici utilizzati nell'articolo, fornendo le informazioni di base necessarie per una piena comprensione.

Lo sfondo arancione evidenzia anche i MINI-RIASSUNTI inseriti nella prima pagina di ciascun articolo.

APPROFONDIMENTI

I box o le pagine a sfondo azzurro contengono ulteriori informazioni sull'argomento, esempi specifici, contenuti extra e spiegazioni tecniche per chi sia interessato a una lettura più approfondita.

CONSIGLI PRATICI

I box o le pagine a sfondo verde propongono suggerimenti sui comportamenti che ciascuno può adottare a livello personale per adattarsi a cambiamenti climatici e/o ridurre le emissioni di gas serra.

GRUPPO DI LAVORO TECNICO-SCIENTIFICO CLIMA FVG

Il gruppo di lavoro tecnico-scientifico “Clima FVG” istituito dalla Regione autonoma Friuli Venezia Giulia nel 2022 riunisce le eccellenze tecniche e scientifiche presenti in FVG, in grado di fornire all’amministrazione regionale e a tutti gli enti e soggetti del FVG le conoscenze più aggiornate per affrontare i cambiamenti climatici sul nostro territorio.

Ad ARPA FVG è stato affidato il coordinamento del team, che è composto da esperti di ICTP, OGS, CNR, delle Università di Udine e di Trieste e della stessa Regione: gli stessi che avevano elaborato e pubblicato, nel 2018, il primo **Studio conoscitivo dei cambiamenti climatici e di alcuni loro impatti in Friuli Venezia Giulia**.

Il Gruppo di lavoro Clima FVG innanzitutto facilita la condivisione e la collaborazione tra i soggetti esperti che in regione producono conoscenze tecnico-scientifiche sui cambiamenti climatici e sui loro effetti.

Fornisce quindi un **orientamento** e un **supporto consultivo alla pianificazione** regionale delle azioni per il clima e in particolare per **l’adattamento ai cambiamenti climatici**.

L’attività del gruppo Clima FVG favorisce poi il **trasferimento delle conoscenze** scientifiche ai tecnici che le applicheranno sul territorio.

E infine, tutti i componenti del gruppo di lavoro credono che sia indispensabile divulgare queste **conoscenze alla cittadinanza**, promuovendo quella che si chiama “climate literacy” ovvero **l’alfabetizzazione climatica** che mette ciascuno di noi in condizione di comprendere la propria influenza sul clima e l’influenza del clima su ciascuna persona e sulla società.

La redazione di “Segnali dal Clima in FVG” è un primo passo per dare concretezza a questo fondamentale obiettivo.

GLI ENTI E LE PERSONE



ARPA FVG – Agenzia Regionale per la Protezione dell’Ambiente



CNR - Istituto di Scienze Marine di Trieste



CNR - Istituto di Scienze Polari



ICTP - International Centre for Theoretical Physics di Trieste



OGS - Istituto nazionale di oceanografia e di geofisica sperimentale di Trieste



Regione autonoma Friuli Venezia Giulia



Università degli Studi di Trieste



Università degli Studi di Udine



Fulvio Stel (coordinatore) e Federica Flapp



Fabio Raicich



Renato R. Colucci



Filippo Giorgi



Cosimo Solidoro



Silvia Stefanelli



Giovanni Bacaro



Alessandro Peressotti

I GHIACCIAI E IL PERMAFROST

estratto da

SEGNALI DAL CLIMA FVG

CAMBIAMENTI
IMPATTI
AZIONI

notizie dal

GRUPPO DI LAVORO TECNICO SCIENTIFICO CLIMA FVG

Settembre 2025

I GHIACCIAI E IL PERMAFROST

L'aggiornamento annuale sui nostri ghiacciai e un nuovo approfondimento su un tema cruciale

Questa sezione della rivista ci porta in alta quota per esplorare due elementi chiave del paesaggio alpino, che risentono direttamente dell'innalzamento delle temperature.

Il primo articolo analizza la salute dei ghiacciai delle Alpi Giulie, monitorata tramite i rilievi effettuati dai glaciologi. Attraverso il bilancio di massa per il 2023-24, scopriamo come ghiacciai storici come quello del Canin e del Montasio stiano reagendo. Sebbene la fusione estiva sia stata elevata, un inverno nevoso ha permesso un bilancio leggermente positivo.

Il viaggio in alta quota prosegue con il secondo articolo affrontando un argomento meno visibile ma altrettanto cruciale: il permafrost, un terreno perennemente ghiacciato che si trova in alcune aree delle nostre Alpi. Il suo degrado a causa del riscaldamento globale può portare a frane, instabilità del suolo e pericoli per le infrastrutture: l'articolo ci fa riflettere sull'importanza di monitorare questi fenomeni per garantire la sicurezza delle aree montane.

I GHIACCIAI DELLE ALPI GIULIE TRA FUSIONE E RESILIENZA: BILANCIO DI MASSA 2023-24

I ghiacciai delle Alpi Giulie, tra cui quello del Canin e l'Occidentale del Montasio, hanno subito forti perdite di massa nell'ultimo secolo.

L'anno idrologico 2023-24 ha registrato una fusione estiva elevata, ma grazie al precedente inverno nevoso il bilancio di massa è risultato leggermente positivo in entrambi.

Il Montasio ha mostrato un accumulo importante nella parte sommitale.

Questi rilievi sono cruciali per monitorare l'impatto del cambiamento climatico sulle Alpi.

Il ghiacciaio occidentale di Montasio (UD) il 1 ottobre 2024.

In Friuli sono presenti numerosi piccoli corpi glaciali, in particolare nelle Alpi Giulie dove il clima, relativamente fresco e nevoso, è favorevole alla loro sopravvivenza. I ghiacciai storicamente più studiati sono quelli del Canin e l'Occidentale del Montasio. Si tratta dei **corpi glaciali a più bassa quota del sistema alpino**, sui quali le misure sono iniziate oltre un secolo fa a opera rispettivamente di Giacomo Savorgnan di Brazzà (1883) e di Ardito Desio (1920). **Nell'ultimo secolo la perdita di massa è stata particolarmente significativa** e pari al 96% per l'area glacializzata del massiccio del Canin e il 75% per l'area dello Jof di Montasio. In quest'ultima, nel corpo glaciale occidentale, sono presenti ancora evidenti morfologie di flusso deformativo come ad esempio alcuni crepacci nella parte più alta dell'apparato. Solchi di ruscellamento e piccoli mulini glaciali costituiscono invece le morfologie estive prevalenti durante il periodo di ablazione sugli apparati glaciali del Canin.

L'ANNO IDROLOGICO 2023-24

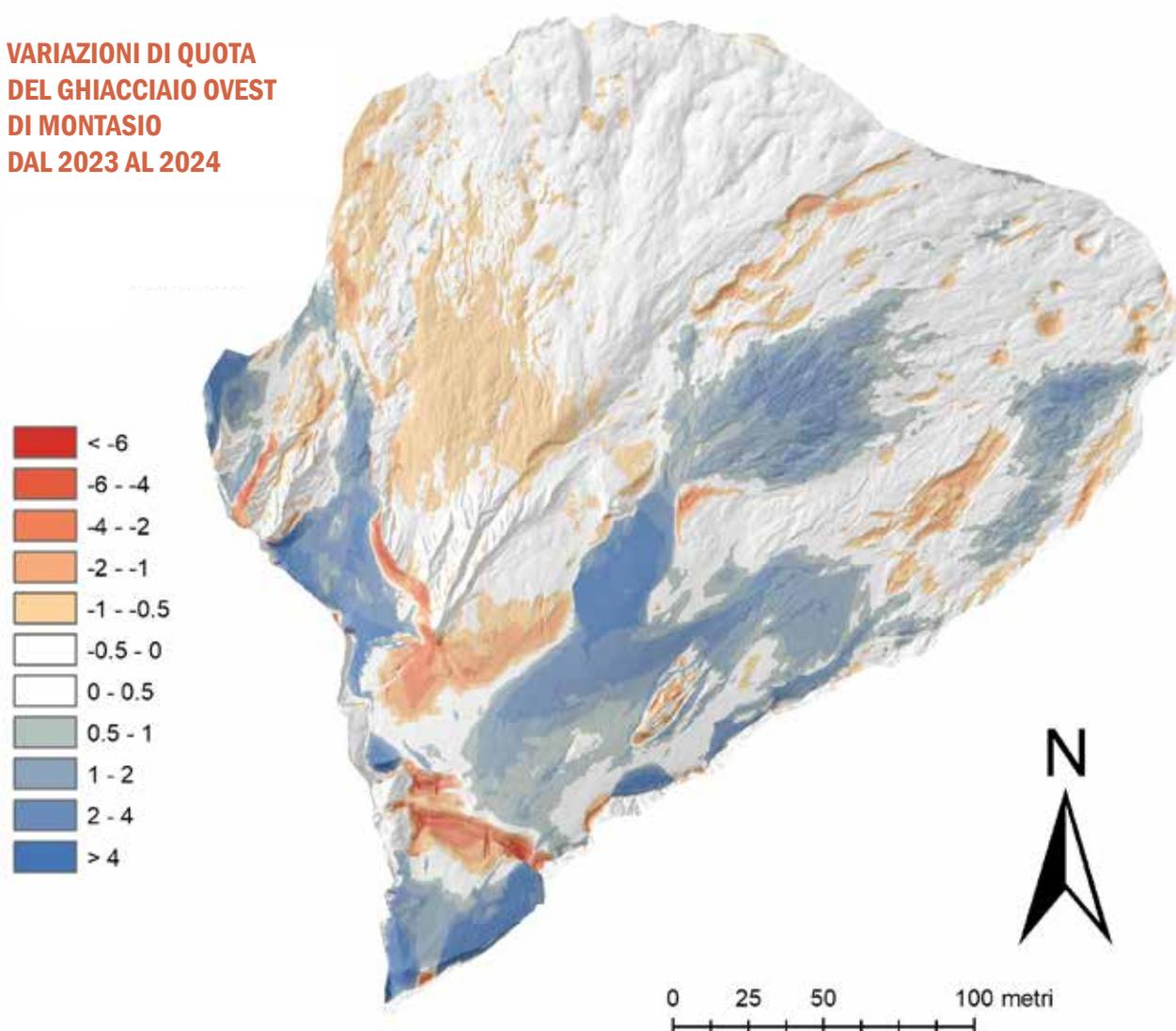
L'anno idrologico 2023-24 è stato un anno caratterizzato da un inverno più nevoso rispetto alle due annate precedenti, ma da un'estate tra le più calde mai osservate in Alpi Giulie in almeno 170 anni di osservazioni (dati diretti pregressi non sono a disposizione). Ciò nonostante, anche con una fusione estiva tra le più alte mai osservate, proprio l'ingente accumulo nevoso ha permesso un bilancio di massa leggermente positivo e non si sono verificate perdite ulteriori dopo le ultime 2 annate particolarmente negative

MONTASIO OCCIDENTALE

L'accumulo invernale medio sul ghiacciaio del Montasio è stato di 8.22 m (4.20 m di equivalente in acqua). Lo spessore massimo della neve, nella parte sommitale del ghiacciaio, ha superato i 30 m grazie ad accumuli di neve da valanga dalla parete nord dello Jôf di Montasio.

Il primo ottobre 2024, data del rilievo autunnale, il ghiacciaio mostrava ancora un **cospicuo accumulo nella parte sommitale**, con l'evidenza marcata della crepacciata terminale (*bergschrund*) che ne dimostra la dinamica. L'accumulo residuo era tale da compensare la perdita di massa della parte bassa e il bilancio annuale è risultato leggermente positivo con un incremento medio di quota di 0.24 m, **corrispondenti a un bilancio annuale di +0.16 m di acqua equivalente**. Il dato risulta estremamente significativo se confrontato con la generalizzata abbondante perdita di massa di tutti i ghiacciai alpini nello stesso periodo. **La grande cavità che si era formata nel 2023 è risultata quasi completamente chiusa**, tuttavia dalla piccola apertura residua è stato possibile esplorarne il tratto terminale che evidenziava uno spessore del ghiaccio ancora importante.

VARIAZIONI DI QUOTA DEL GHIACCIAIO OVEST DI MONTASIO DAL 2023 AL 2024



Variazioni di quota (m) della superficie del ghiacciaio occidentale di Montasio tra il 3 ottobre 2023 e il 1 ottobre 2024.

CANIN ORIENTALE

Settembre 2023

Maggio 2024

Settembre 2024

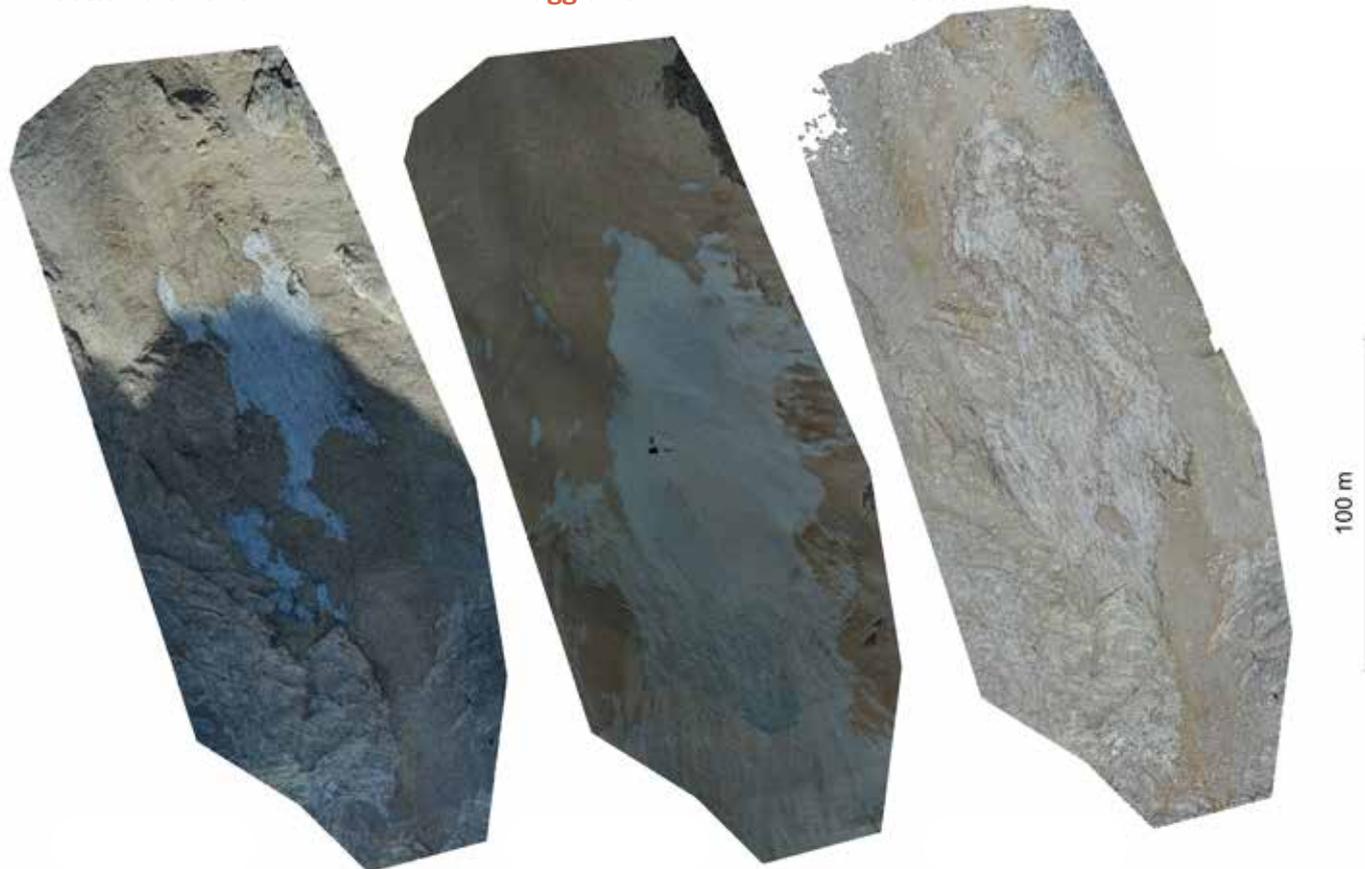


Foto da drone del corpo glaciale orientale del Canin il 3 ottobre 2023, il 29 maggio 2024 e il 1 ottobre 2024.

Si noti la massiccia presenza di detrito nell'immagine del 2023 e gli ingenti depositi di polvere Sahariana a maggio 2024 in seguito a episodi ricorrenti di neve "sporca" nella primavera 2024.

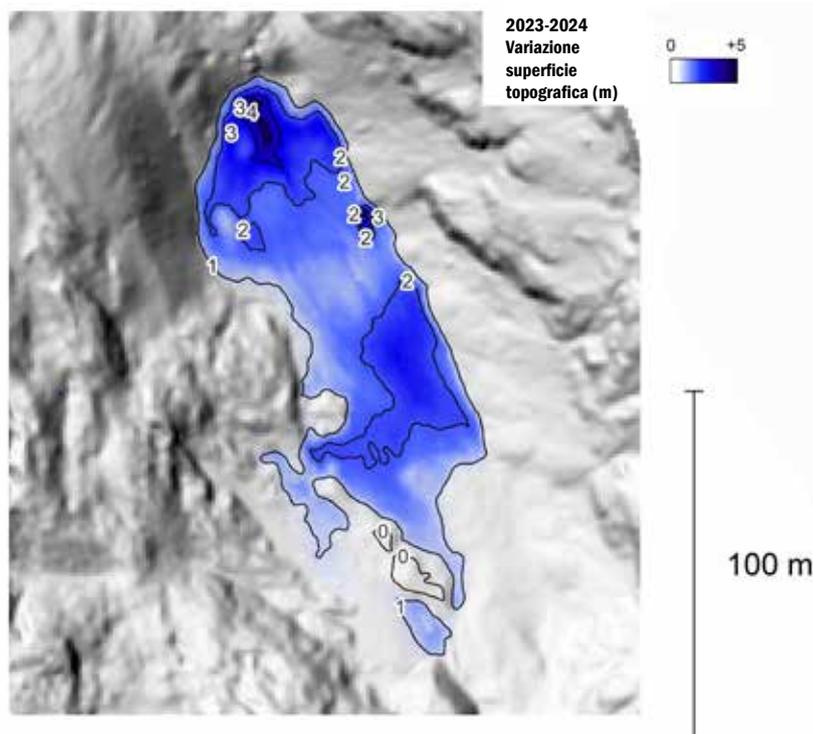
CANIN ORIENTALE

In area Canin i rilievi annuali sono eseguiti dalla Società Meteorologica Alpino-Adriatica. L'accumulo invernale sul corpo glaciale orientale, a circa 300 m di quota più in alto dell'occidentale di Montasio, è stato di 9.65 m (4.92 m di acqua equivalente) e le perdite estive 4.38 metri di acqua equivalente pari a un **bilancio annuale di +0.54 m di acqua equivalente**.

Renato R. Colucci
ISP-CNR e SMAA

Federico Cazorzi, Sara Cucchiario
Università degli Studi di Udine

Andrea Securo
Università Cà Foscari e SMAA



Variazioni di quota (m) della superficie del corpo glaciale orientale del Canin tra il 3 ottobre 2023 e il 1 ottobre 2024.

IL BILANCIO DI MASSA

Il bilancio di massa serve a misurare le variazioni di massa del ghiacciaio. Le variazioni di massa si misurano in “equivalente in acqua” (internazionalmente *w.e.* - *water equivalent*) che corrisponde alla massa d’acqua che si otterrebbe dalla fusione della neve o del ghiaccio. Così, data la diversa densità, una variazione di 1 m in spessore corrisponde a circa 900 mm *w.e.* se si tratta di ghiaccio, mentre, se si tratta di neve, lo stesso metro di spessore corrisponde a una variazione compresa tra 100 mm (se neve fresca) e oltre 500 mm (se neve a fine stagione).

Di norma ogni anno si fanno due rilievi principali della superficie del ghiacciaio, a fine maggio e a fine settembre.

A fine maggio si misura l’accumulo di neve che, per differenza con il precedente rilievo di fine settembre, costituisce il bilancio invernale, sempre positivo.

A fine settembre si rileva la quota della superficie del ghiacciaio e, per differenza con il rilievo effettuato 12 mesi prima, si determina se, e dove, ci sono stati incrementi di quota o perdite di quota. Il valore medio degli incrementi e delle perdite determina il bilancio annuo, positivo se il ghiacciaio è cresciuto, negativo se la fusione è stata dominante.

PERMAFROST E CAMBIAMENTO CLIMATICO: RISCHI E CONSEGUENZE PER LE AREE ALPINE

Foto: Boris Radosavljevic, CC BY 2.0, via Wikimedia Commons

Degradazione del permafrost, Herschel Island - Canada .

Il permafrost è un terreno perennemente al di sotto degli 0°C che si trova in ambienti freddi e alpini, dove è presente in modo discontinuo alle quote più elevate.

La sua degradazione, accelerato dal riscaldamento globale, porta instabilità del suolo, frane e rischi per le infrastrutture di alta quota.

Inoltre, il suo scongelamento nelle aree polari può liberare CO_2 e metano, intensificando il riscaldamento globale.

Monitorare e gestire il permafrost è cruciale per prevenire impatti ambientali e garantire la sicurezza delle aree montane.

Il permafrost è un aspetto importante della criosfera, parte fondamentale e integrante del sistema climatico nei paesaggi periglaciali e in quelli alpini di alta quota. In questo contesto presentiamo il concetto generale e, in particolare, le condizioni climatiche che portano alla formazione e alla conservazione del permafrost nei diversi ambienti terrestri.

Il permafrost, per definizione, è il terreno che rimane al di sotto degli 0°C per almeno due anni consecutivi. Più brevemente, possiamo definirlo come terreno perennemente criotico. Il termine criotico, più appropriato rispetto a congelato (che implica la presenza di ghiaccio), indica semplicemente una temperatura del suolo inferiore a 0°C . In effetti, la presenza di acqua in fase solida non è necessaria per caratterizzare il permafrost, che viene definito esclusivamente in base allo stato termico del terreno. Solo per questo motivo, è importante ricordare che il permafrost si scongela o si degrada con temperature superiori agli 0°C , mentre il ghiaccio fonde.

LA TEMPERATURA NEI DIVERSI STRATI

Salvo in circostanze molto particolari, il permafrost non si estende fino alla superficie del suolo, poiché la radiazione solare e le temperature sopra lo zero determinano lo scongelamento dello strato più superficiale durante l'estate. Fanno eccezione le aree al di sotto di nevai perenni o ghiacciai a base fredda. **Lo strato più superficiale, che gela e scongela su base stagionale, è chiamato strato attivo (active layer).**

Per comprendere come si comporta la temperatura del terreno nelle aree interessate dal permafrost, il diagramma a "Y" illustra **l'andamento della temperatura del suolo dalla superficie verso il basso**. Gli estremi annuali sono naturalmente più accentuati vicino alla superficie, e diventano gradualmente meno marcati con l'aumentare della profondità.

A una certa profondità, la temperatura rimane costante durante tutto l'anno e viene indicata con l'acronimo ZAA = *Zero Annual Amplitude*. Da quel punto in poi, la temperatura comincia a salire costantemente secondo il gradiente geotermico, a un ritmo di circa 25–30 °C al chilometro.

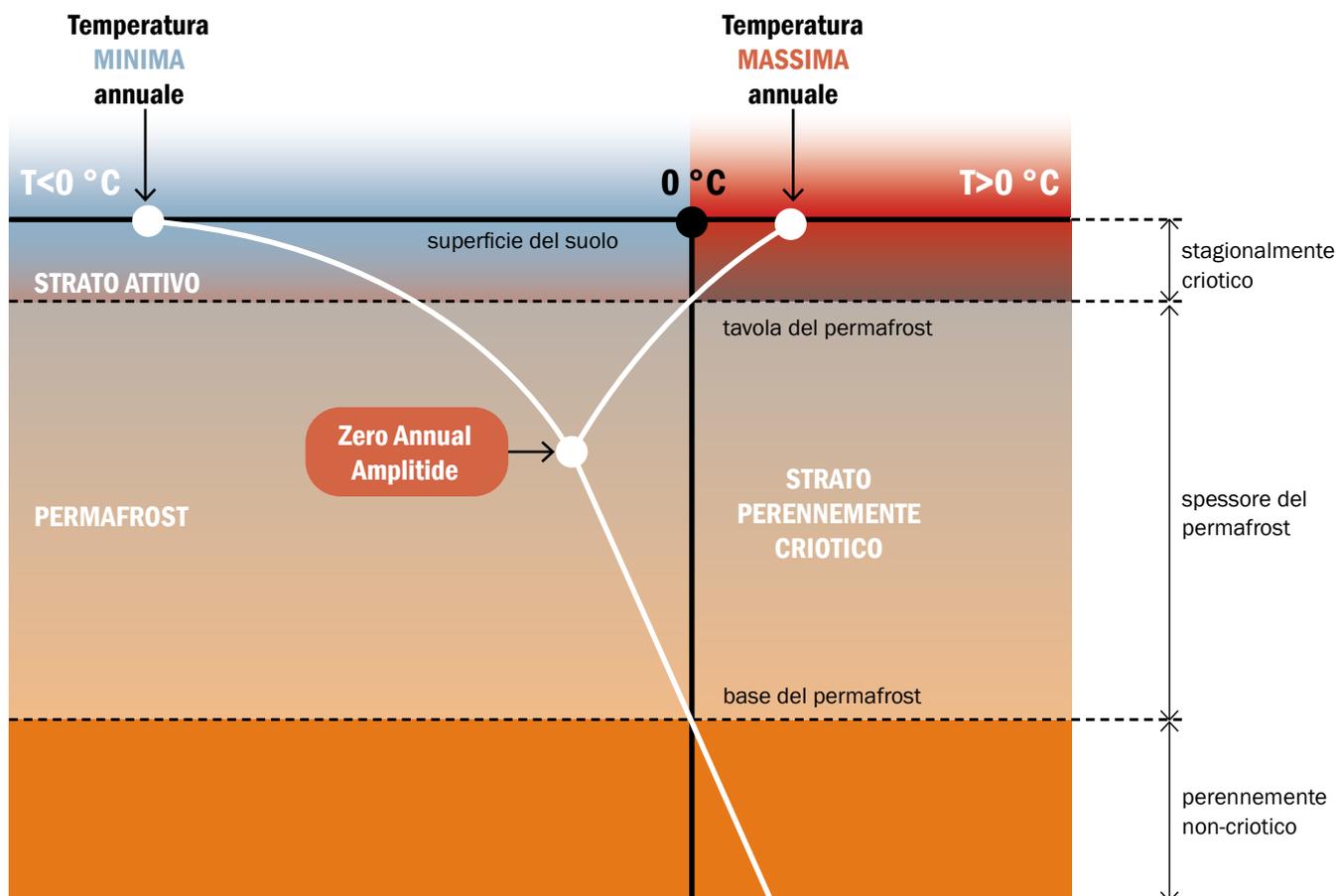
Quando la curva a "Y" interseca l'isoterma degli 0 °C nel terreno, si incontra la così detta **tavola del permafrost (permafrost table)**, situata appena al di sotto dello strato attivo. Al di sotto di questa profondità si trova lo **strato perennemente criotico, ovvero il permafrost vero e proprio**. Quando la curva a "Y" interseca per la seconda volta l'isoterma degli 0 °C nel terreno, si è raggiunta la **base del permafrost**. Da questa profondità in poi, il terreno è perennemente non criotico e sempre scongelato.

IL DOMINIO PERIGLACIALE

Il dominio periglaciale si riferisce, per definizione, all'estensione globale della cosiddetta zona periglaciale. In base all'associazione spaziale di alcune microforme del terreno e ai valori soglia climatici che le caratterizzano, è possibile riconoscere **diverse zone periglaciali**.

Nell'emisfero settentrionale esse includono i deserti polari e i semi-deserti dell'Artico, la tundra, la foresta boreale, le aree sub-artiche di natura sia marittima sia continentale, e l'esteso altopiano Qinghai-Xizang in Tibet, ad alta quota.

Nell'emisfero meridionale, una simile distribuzione comprende le quote più elevate



e la punta meridionale del Sud America, le isole sub-antartiche, la Penisola Antartica e le varie aree libere dai ghiacci nel continente antartico, come ad esempio le *Dry Valleys* (Valli Secche).

I **climi periglaciali alpini** sono quelli in cui altitudine, esposizione dei versanti e ombreggiamento controllano l'andamento annuale della temperatura. Non sono estesi quanto gli altri ambienti climatici precedentemente descritti. Nelle Alpi europee e nelle Montagne Rocciose nordamericane, **il limite superiore del bosco** (*timberline*) si colloca generalmente a un'altitudine compresa tra i 2000 e i 4000 metri.

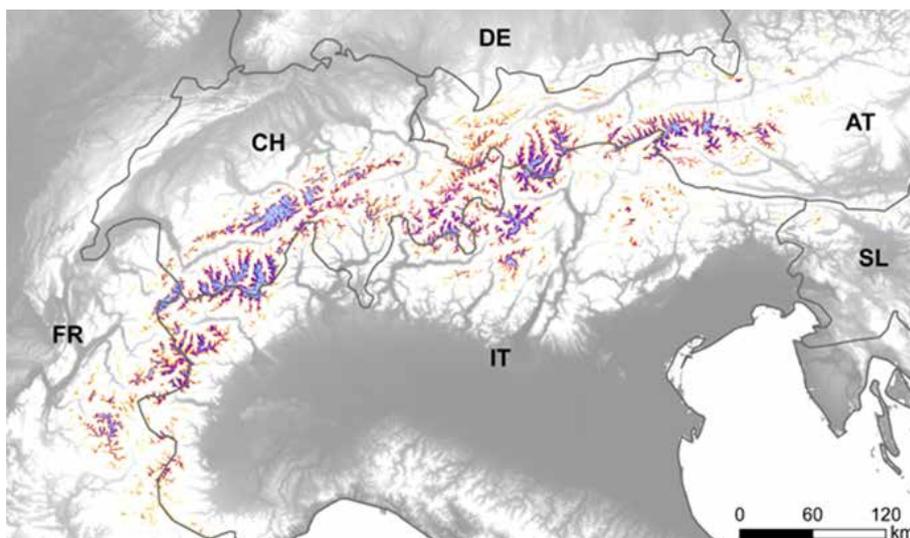
IL PERMAFROST NELLE AREE ALPINE

Nelle **aree alpine**, il **permafrost** è generalmente assente al di sotto del limite degli alberi, ma è **presente in modo discontinuo alle quote più elevate**. Solo sulle vette più alte e in particolare sui versanti in ombra, il permafrost è continuo. La carta della distribuzione del permafrost nelle Alpi elaborata in seno al progetto Permanet è stata redatta tenendo in considerazione un indice di probabilità di terreni interessati da permafrost a seconda di una molteplicità di parametri quali ad esempio il clima locale, la copertura vegetale, la copertura nevosa, l'esposizione dei versanti, la presenza di *rock glacier* ecc.

LA DEGRADAZIONE DEL PERMAFROST: RISCHI GLOBALI E LOCALI

C'è in effetti molta preoccupazione legata alla degradazione del permafrost nelle aree polari, principalmente perché **potrebbe innescare potenti feedback positivi** dovuti al rilascio di biossido di carbonio e metano in atmosfera, con la **possibilità di accelerare ulteriormente il riscaldamento globale**. Poiché la temperatura superficiale globale ha continuato a salire negli ultimi decenni, anche il rischio di degradazione del permafrost è aumentato.

Uno degli **aspetti pratici più rilevanti della**



Carta della distribuzione del permafrost nelle Alpi (progetto Permanet <https://www.permanet-alpinespace.eu/home.html>).

degradazione del permafrost in ambiente alpino riguarda le infrastrutture di alta quota, i crolli in roccia, la destabilizzazione di rifugi e impianti di risalita, e mutamenti nella dinamica dei *rock glacier*.

Temperature più miti in inverno, diminuzione della copertura nevosa estiva indotta da estati sempre più calde e lunghe sono solo i principali fattori che contribuiscono a questo fenomeno. Quando il permafrost inizia a perdere la sua condizione criotica, le lenti di ghiaccio al suo interno tendono a fondere, **riducendo la coesione del suolo e aumentando il rischio di frane e crolli**. Le aree esposte maggiormente alla radiazione solare e con meno vegetazione sono quelle generalmente più vulnerabili.

AUMENTA L'INSTABILITÀ DEL SUOLO

Le frane sono uno dei rischi più evidenti associati alla degradazione del permafrost. Vari studi dimostrano che, a seguito del riscaldamento, **le frane nel territorio alpino sono aumentate** in frequenza e intensità. La destabilizzazione delle masse rocciose può avere conseguenze catastrofiche e la crescente instabilità del suolo richiede una continua sorveglianza e un adattamento delle politiche di gestione del territorio.

La presenza di permafrost è fondamentale anche per la **stabilità delle costruzioni umane, quali impianti di risalita, rifugi montani e strade**. La degradazione del permafrost compromette la base su cui queste strutture si reggono, causando crepe, cedimenti e malfunzionamenti.

I costi di riparazione e rinforzo delle infrastrutture sono di conseguenza in aumento, e molti operatori turistici e amministratori locali si trovano a volte a dover affrontare l'impossibilità di garantire la sicurezza dei visitatori e degli abitanti locali. Alcuni impianti di risalita ad alta quota stanno valutando strategie di riposizionamento o ricostruzione, aumentando i costi e la complessità della gestione territoriale.

SI SCONGELANO I *ROCK GLACIER*, SI PERDE STABILITÀ E ACQUA

Infine i *rock glacier*, corpi lobati costituiti da una **combinazione di ghiaccio e detriti**, svolgono un ruolo sempre più cruciale nel **bilancio idrico** delle regioni alpine dal momento che i ghiacciai montani sono in rapida fusione. Lo scongelamento delle lenti di ghiaccio all'interno di queste formazioni altera le loro dinamiche di scorrimento, aumentando il **rischio di movimenti rapidi e inaspettati**. Tali cambiamenti non solo influenzano il paesaggio, ma possono anche avere impatti significativi sulle risorse idriche locali.

SERVE UN APPROCCIO MULTIDISCIPLINARE

È evidente che le problematiche legate alla degradazione del permafrost richiedono un approccio multidisciplinare per la complessità e le possibili ricadute del problema, con conseguenze che vanno ben oltre la semplice perdita di terreno congelato. Ricercatori, ingegneri, e pianificatori devono collaborare per sviluppare strategie efficaci di monitoraggio e gestione. Le tecniche di ingegneria civile possono contribuire a rinforzare le strutture a rischio, mentre un attento monitoraggio delle temperature e della stabilità del suolo può prevenire incidenti. Inoltre, è fondamentale sensibilizzare le comunità locali e i turisti sui rischi connessi e sulle misure di prevenzione.

Nel prossimo futuro sarà sempre più fondamentale adottare misure di adattamento e mitigazione per affrontare queste sfide, garantendo la sicurezza e la sostenibilità delle aree alpine nel contesto di un clima in cambiamento.

Renato R. Colucci
ISP-CNR

Rock glacier, Alpi della Zillertal - Austria.



*Un ringraziamento a tutti coloro
che hanno contribuito alla realizzazione
dei “Segnali dal Clima in FVG”,
sia con i loro testi, dati e immagini,
sia con le loro riflessioni, osservazioni
e disponibilità a condividere
idee e conoscenze.*

**Il pdf integrale e i pdf tematici di Segnali dal clima in FVG 2025,
insieme a quelli delle precedenti edizioni, sono disponibili su:**

<https://www.arpa.fvg.it/temi/temi/meteo-e-clima/sezioni-principali/cambiamenti-climatici/segnali-dal-clima-in-fvg/>

