



Mauro Valt@arpa.veneto.it

# NEVE

## Parte II



# **BREVE STATO DEI GHIACCIAI**

## Little Ice Age

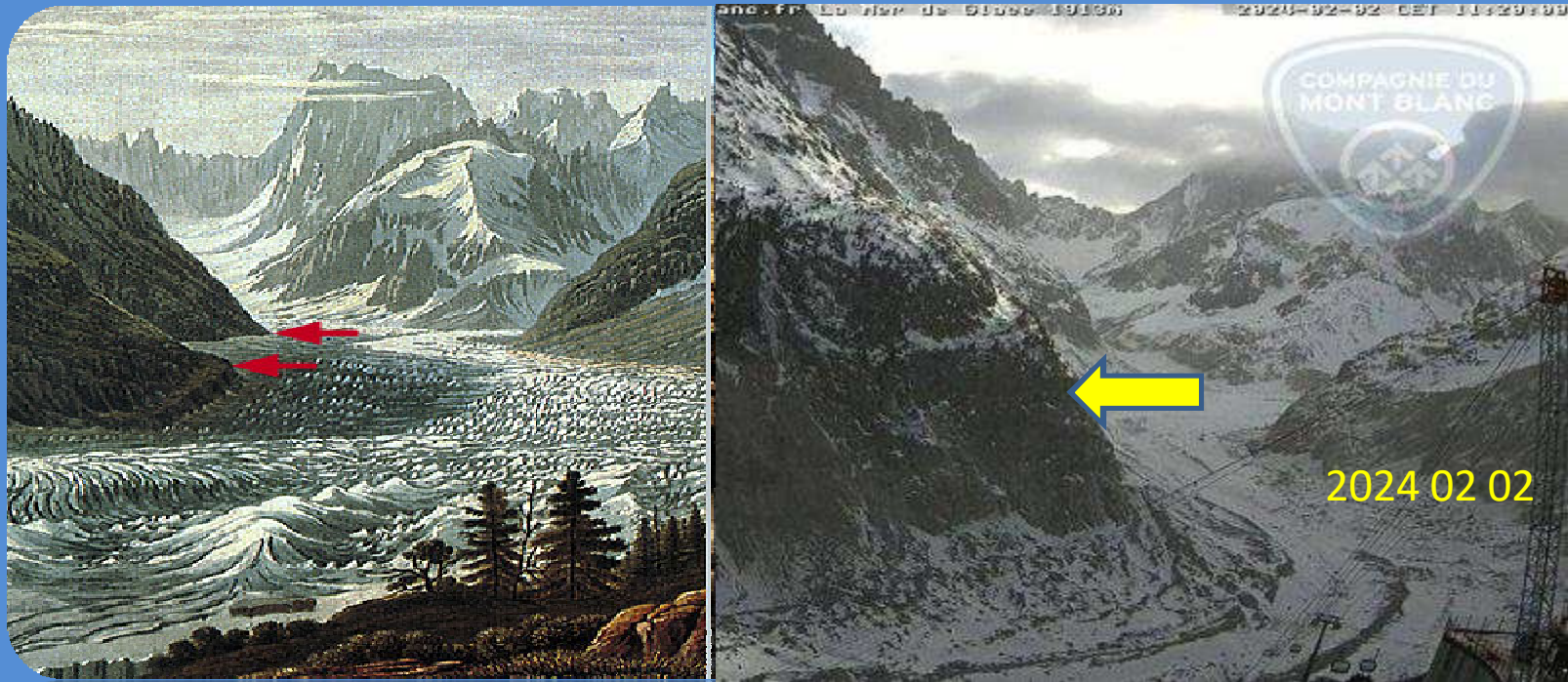
Il periodo di tempo che ha portato all'espansione dei ghiacciai di valle e di circo in tutto il mondo, con la loro massima estensione raggiunta intorno al 1700-1850 d.C. in molte regioni temperate e intorno al 1900 nelle regioni artiche.



La , regione del Monte Bianco, Alpi francesi. L'immagine di sinistra è un estratto di un dipinto di Birman subito dopo il massimo della Piccola Era Glaciale. La fotografia di destra è stata scattata da una posizione simile nel 2000. Le frecce indicano posizioni simili sui margini del ghiacciaio e indicano il livello di abbassamento della superficie del ghiacciaio.

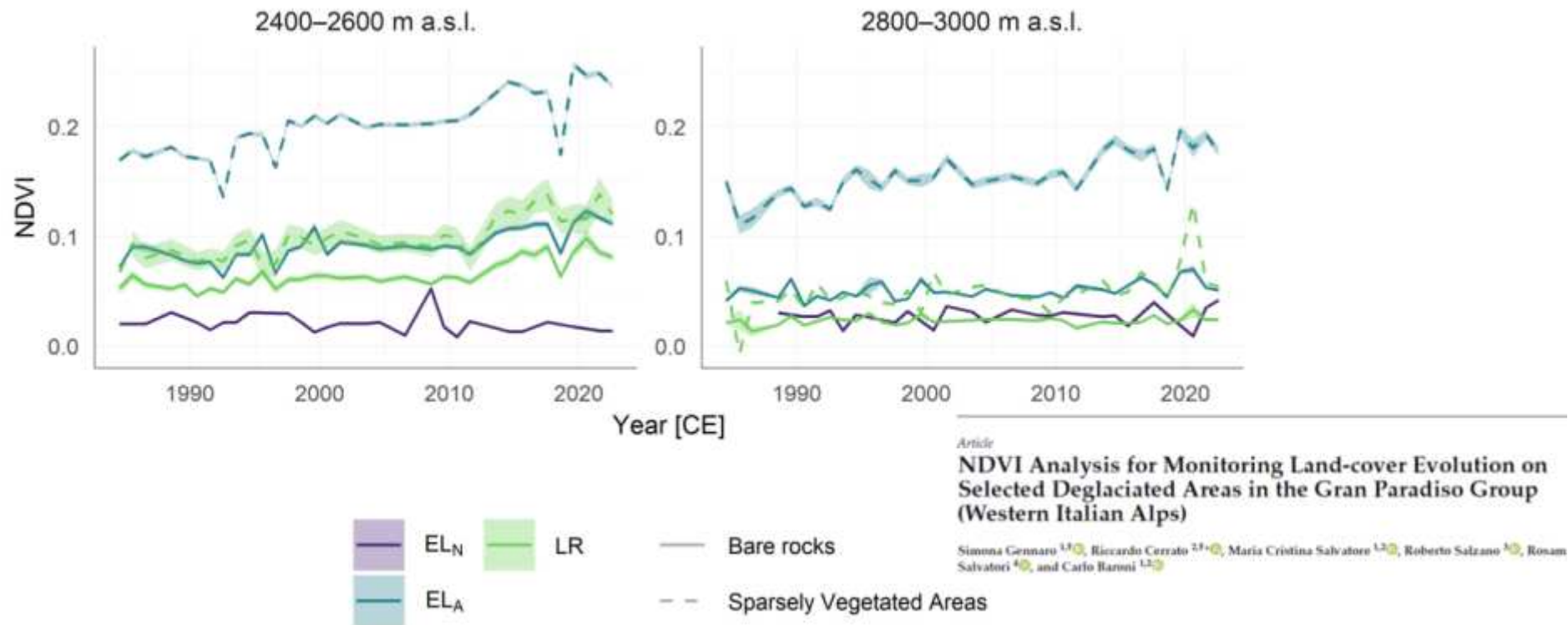
## Little Ice Age

Il periodo di tempo che ha portato all'espansione dei ghiacciai di valle e di circo in tutto il mondo, con la loro massima estensione raggiunta intorno al 1700-1850 d.C. in molte regioni temperate e intorno al 1900 nelle regioni artiche.



La , regione del Monte Bianco, Alpi francesi. L'immagine di sinistra è un estratto di un dipinto di Birman subito dopo il massimo della Piccola Era Glaciale. La fotografia di destra è stata scattata da una posizione simile nel 2000. Le frecce indicano posizioni simili sui margini del ghiacciaio e indicano il livello di abbassamento della superficie del ghiacciaio.

# Innalzamento di quota anche della vegetazione,

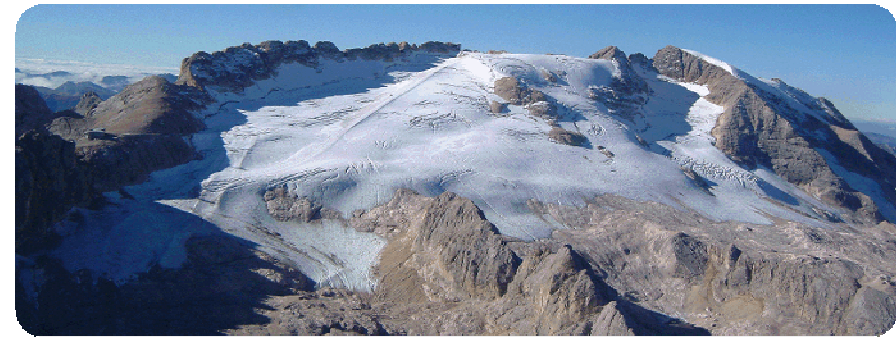


mauro.valt@arpa.veneto.it

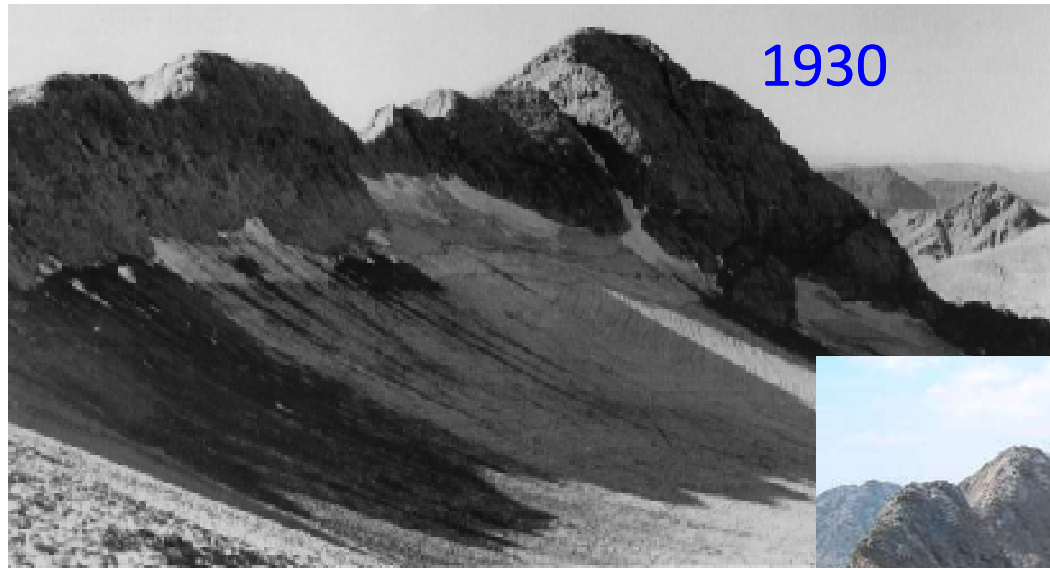
<https://www.mdpi.com/2072-4292/15/15/3847>

# LA MARMOLADA

Negli anni 2000  
Si proponevano  
Queste foto



# VEDRETTA DEL VERNALE



Negli anni 2000  
Si proponevano  
Queste foto



# FRADUSTA



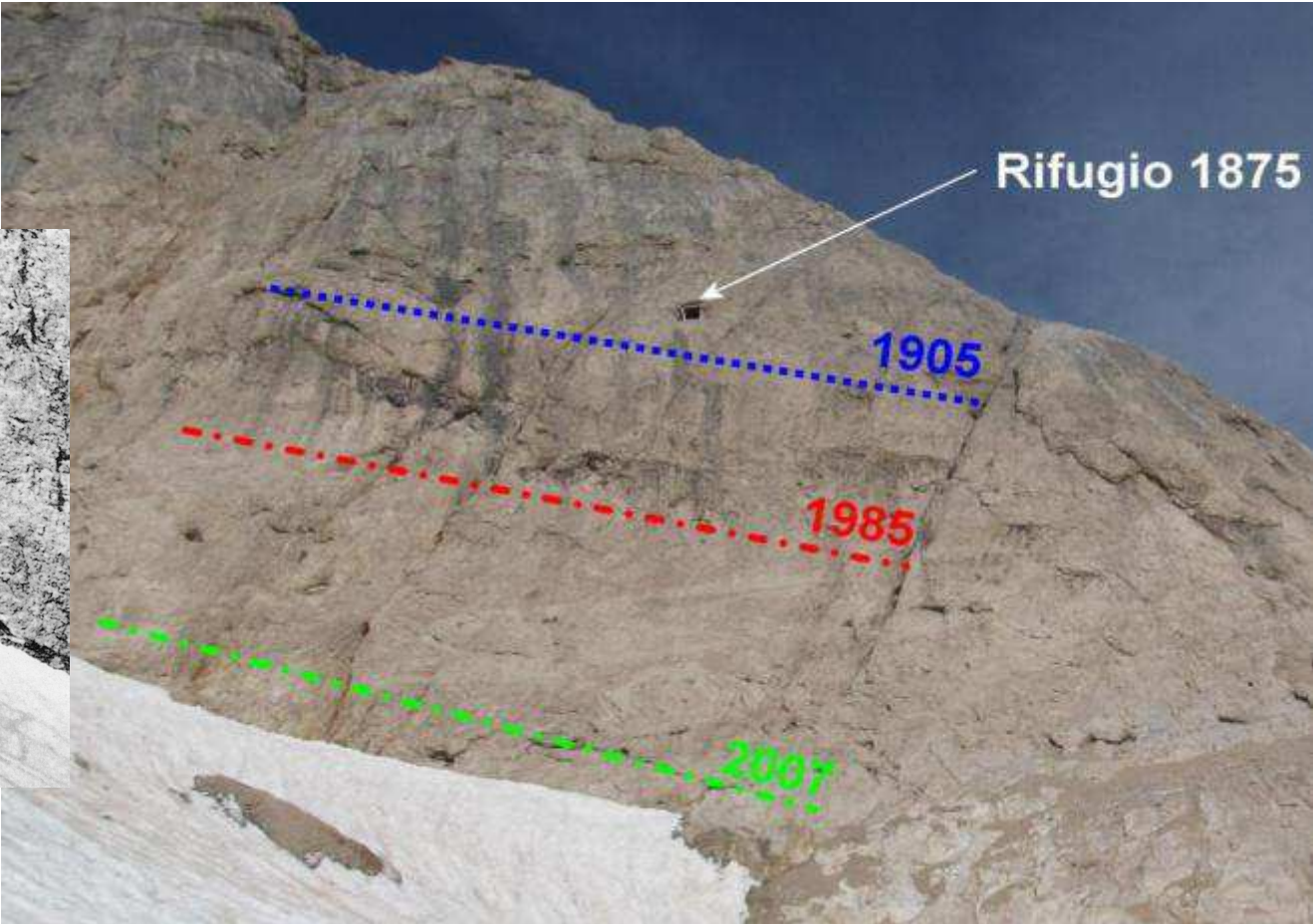
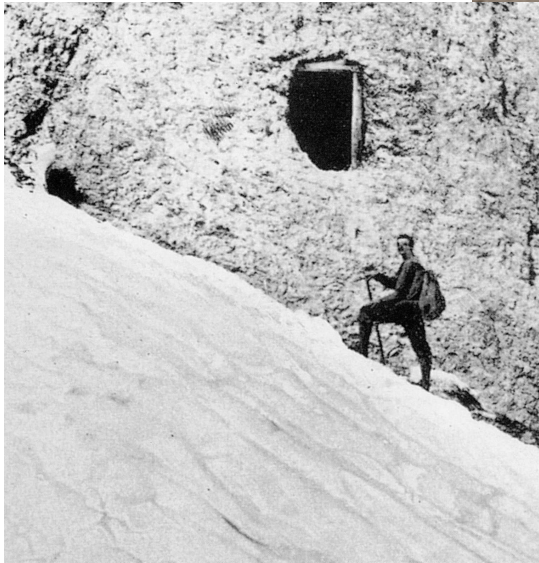
Negli anni 2000  
Si proponevano  
Queste foto

# I ghiacciai delle Dolomiti

- Negli anni 2000 si aveva il “sentore” che qualcosa stava cambiando da circa 10 anni e le fotografie con i confronti storici, servivano per cercare delle evidenze oggettive



Riduzione degli spessori



# Ripercussione sui ghiacciai



## The climate-driven disaster of the Marmolada Glacier (Italy)

Aldino Bondesan<sup>1,2</sup>, Roberto G. Francese<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup>Department of Historical and Geographic Sciences and the Arctic World (2022/24), Geographic Sciences, University of Padua, Padova, Italy  
<sup>2</sup>Department of Military Geography, Faculty of Military Sciences, University of Indonesia, Jakarta, South Africa  
<sup>3</sup>Department of Chemistry, Life Science and Environmental Sustainability (ICES), University of Parma, Parma, Italy  
<sup>4</sup>National Institute of Oceanography and Applied Geophysics (OGS), Trieste, Italy

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169555X23001071>  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169555X23001071>  
1

Riduzione della estensione  
Crolli

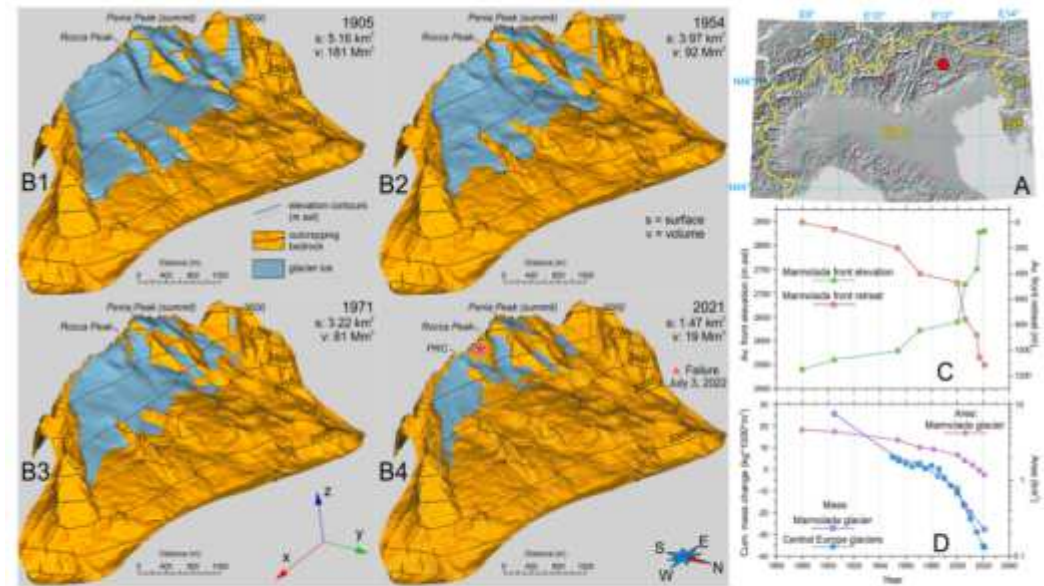


Fig. 1. Evolution of the Marmolada Glacier in the last 140 years. (A) Location map. (B1–4) 3D model of the northern slope of the massif from 1905 to 2021 showing the dramatic glacier retreat and fragmentation. The red asterisk (B4) marks the location of the failure while the label PRC indicates a meteorological station. (C) Frontal retreat and its change in elevation show a marked increase in velocity since 2000. (D) The mass change of the Marmolada Glacier nicely correlates with the mass change of Centrale Europe Glaciers (WGMS, 2021). (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article.)

**Table-1**

Synthesis of 2004 and 2014 calculated areas, ice volumes and w.e. of the Marmolada glacier.

	2004	2014	Percentage variation
AREA	1402000 m <sup>2</sup>	1097000 m <sup>2</sup>	- 22%
ICE VOLUME	25267000 m <sup>3</sup>	17499000 m <sup>3</sup>	- 30%
WATER EQUIVALENT <sup>a</sup>	16.2 m	11.5 m	- 30%

<sup>a</sup> Considering an ice density equal to 900 kgm<sup>-3</sup> and the 2004 area.

We estimate the mean ice thickness in 2004 to 18.0 m, with a maximum close to 50 m. In 2014 the average ice thickness decreased to 12.9 m, while the maximum thickness lowered to about 40 m. By integrating the two data sets, we observe a volume reduction equal to 30%, while the area covered by ice decreased by 22%, with new ice-free zones in 2014 not only related to the retreat of the front, but also within the glacier area. This caused a division of the previously unified glacier in separated ice bodies especially in its western part. If the Marmolada Glacier keeps reducing its volume at the same estimated rate of the 10 glaciological years analyzed (2004–2014), it will likely disappear by the year 2050 (i.e. in 25–30 years from now). Few small ice patches fed



## Fine dello sci estivo in Marmolada nel 2007

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425719304614>

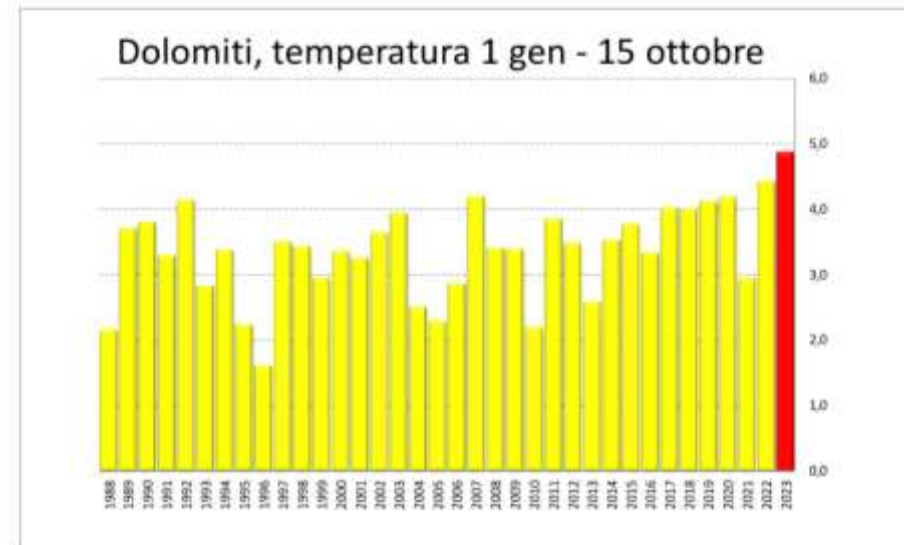
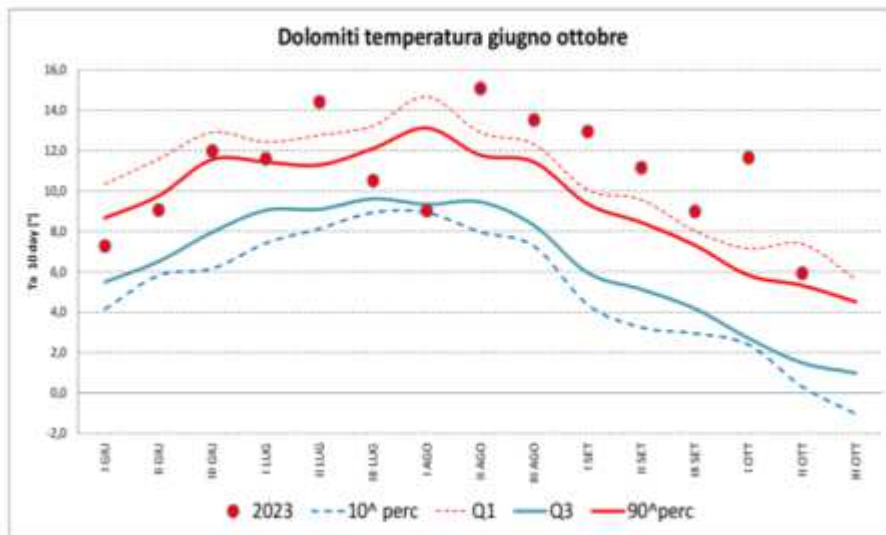
Remote Sensing of Environment  
Recent evolution of Marmolada glacier (Dolomites, Italy) by means of ground and airborne GPR surveys

È solo l'ultimo capitolo di una storia cominciata dieci anni fa sul ghiacciaio della Marmolada (la Regina delle Dolomiti, dove lo stop definitivo allo sci estivo arrivò nel 2007 al termine di una lunga agonia), proseguita sul Presena l'anno successivo e quindi in Val Senales nel 2013. I teli estivi — utilizzati ovunque contro il sole estivo — si sono rivelati una semplice cura palliativa, inutile per curare il male terminale che affligge i ghiacciai da quasi quarant'anni. Sulle Alpi italiane lo sci estivo resisteva solo sullo Stelvio, il valico più alto d'Europa, caso unico di una stazione sciistica aperta solo d'estate ormai da cinquant'anni e palestra storica per i campioni dello sci italiano. Il campione altoatesino Gustav Thoeni su questi versanti è sempre stato di casa, ma sulle piste del Livrio ci veniva tutta la valanga azzurra ad allenarsi durante la bella stagione. Ora gli impianti di risalita sono fermi e solo l'acqua, che scorre a valle incessante, giorno e notte, rompe il silenzio della

<https://www.repubblica.it/cronaca/2017/08/22/news/c-era-una-volta-lo-sci-d-estate-la-risa-esa-dell-ultimo-ghiacciaio-173564734/>

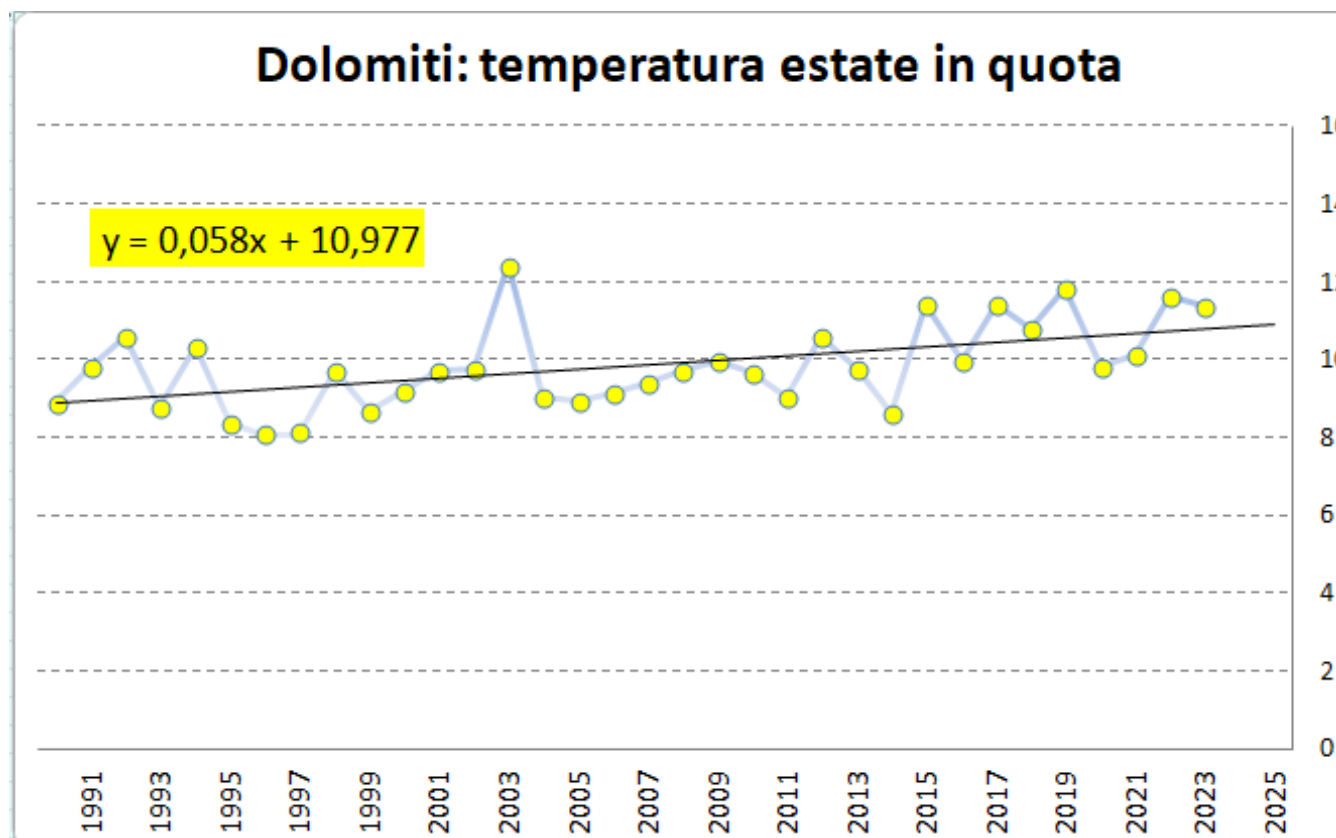


# Una delle cause è la temperatura elevata



Estati molto calde (estate 2023)

Nel grafico i valori di temperatura dei mesi di giugno, luglio e agosto. Si può osservare il trend positivo di circa 0.6 °C ogni 10 anni (+2,4° C in 40 anni!!)



News

Diario di bordo

Il WSL sui social media

## Cambiamenti climatici e ... permafrost

05.12.2023 | Jochen Bettzleche | WSL News | SLF News

**Il terreno permanentemente ghiacciato - il permafrost - sta diventando sempre più raro sulla Terra. Si riscalda a causa dei cambiamenti climatici fino a scongelarsi. Questo lo rende un buon indicatore per rilevare i cambiamenti climatici. Allo stesso tempo, aumentano i pericoli alpini, perché con il disgelo del terreno aumenta il potenziale di instabilità dei pendii.**



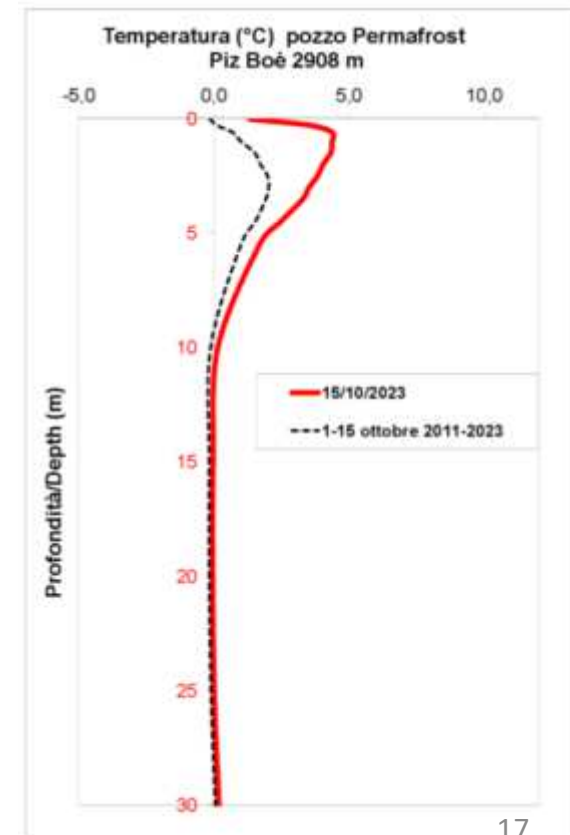
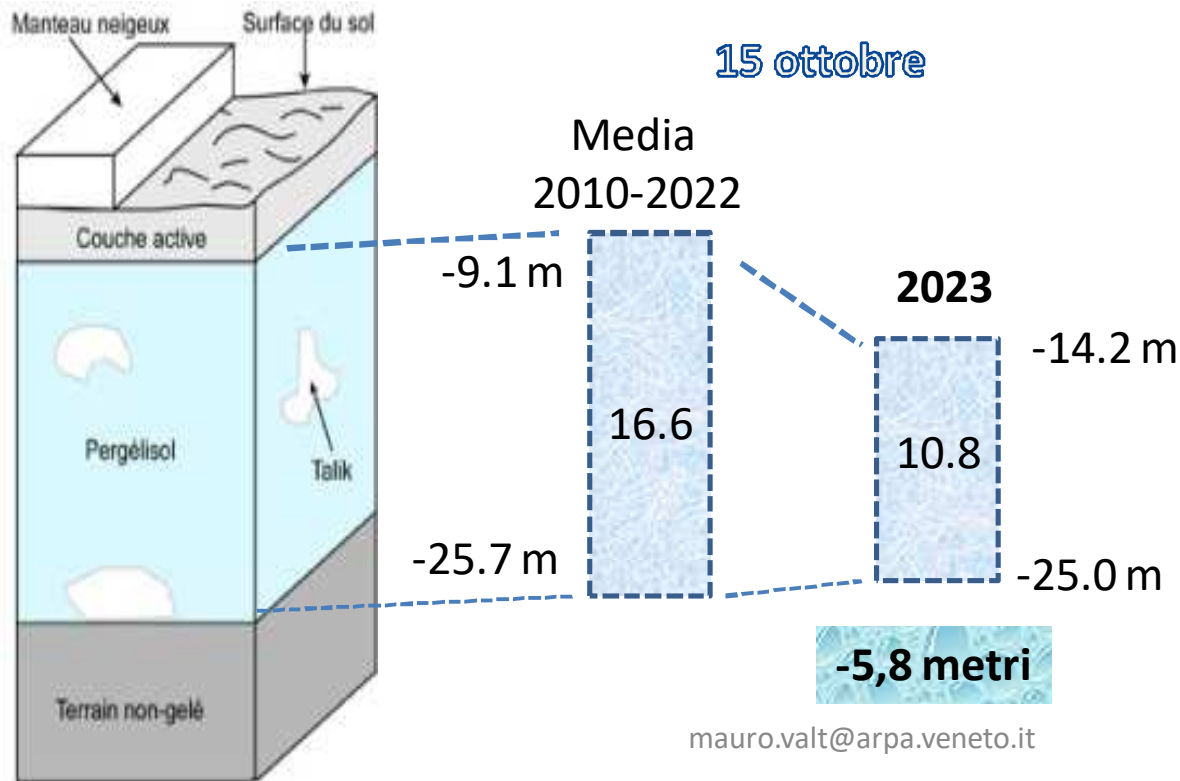
Costruire sul permafrost: supporto galleggiante  
(Foto: Marcia Phillips / SLF)

Il permafrost nelle Alpi si sta riscaldando di circa un grado per decennio. Questo ha conseguenze dirette per le persone e l'economia. Nelle regioni d'alta montagna con permafrost, c'è il rischio che in futuro si verifichino più frequentemente cadute di massi e frane, il che è altrettanto pericoloso per gli appassionati di sport di montagna che per gli insediamenti e le infrastrutture. Le stazioni ferroviarie di montagna, i tralicci, i ristoranti, i rifugi, le condutture idriche, i paravalanghe, i sistemi di telecomunicazione, le gallerie e i binari ferroviari svolgono un ruolo importante in montagna per il turismo, la comunicazione, l'approvvigionamento energetico o la protezione dai rischi naturali - e sono a rischio se il permafrost si scioglie.



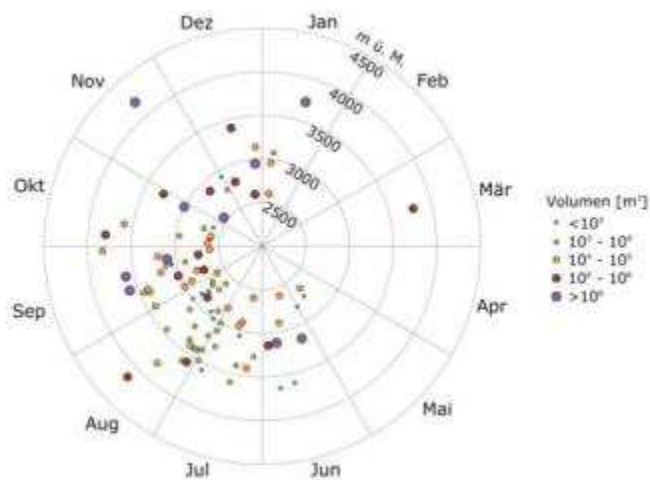
mauro.valt@arpa.veneto.it

# Permafrost- Piz Boè 2908 m



# Crolli, danni infrastrutture

Esposizioni tipiche, Svizzera

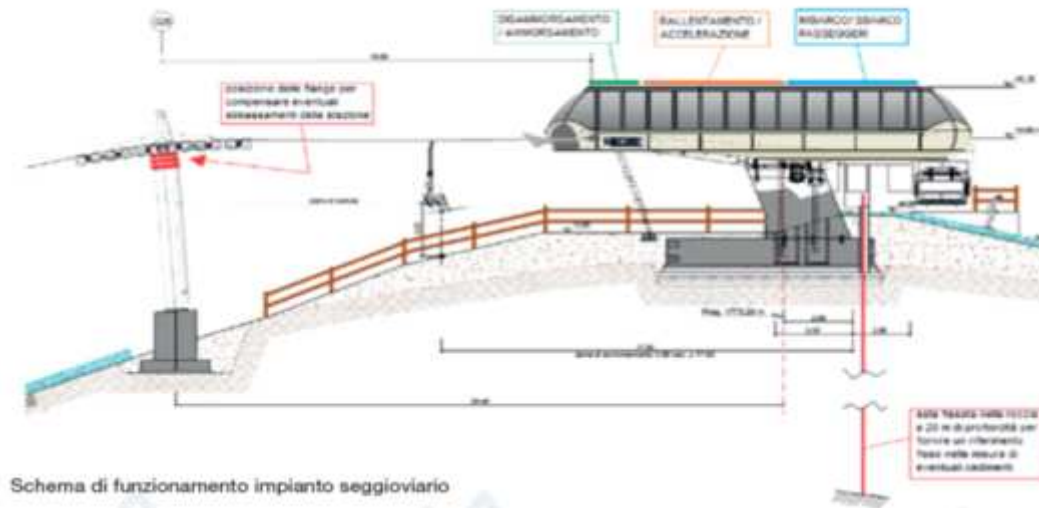


<https://www.slf.ch/it/permafrost/permafrost-e-pericoli-naturali/crolli-di-rocce-nel-permafrost/>

mauro.valt@arpa.veneto.it

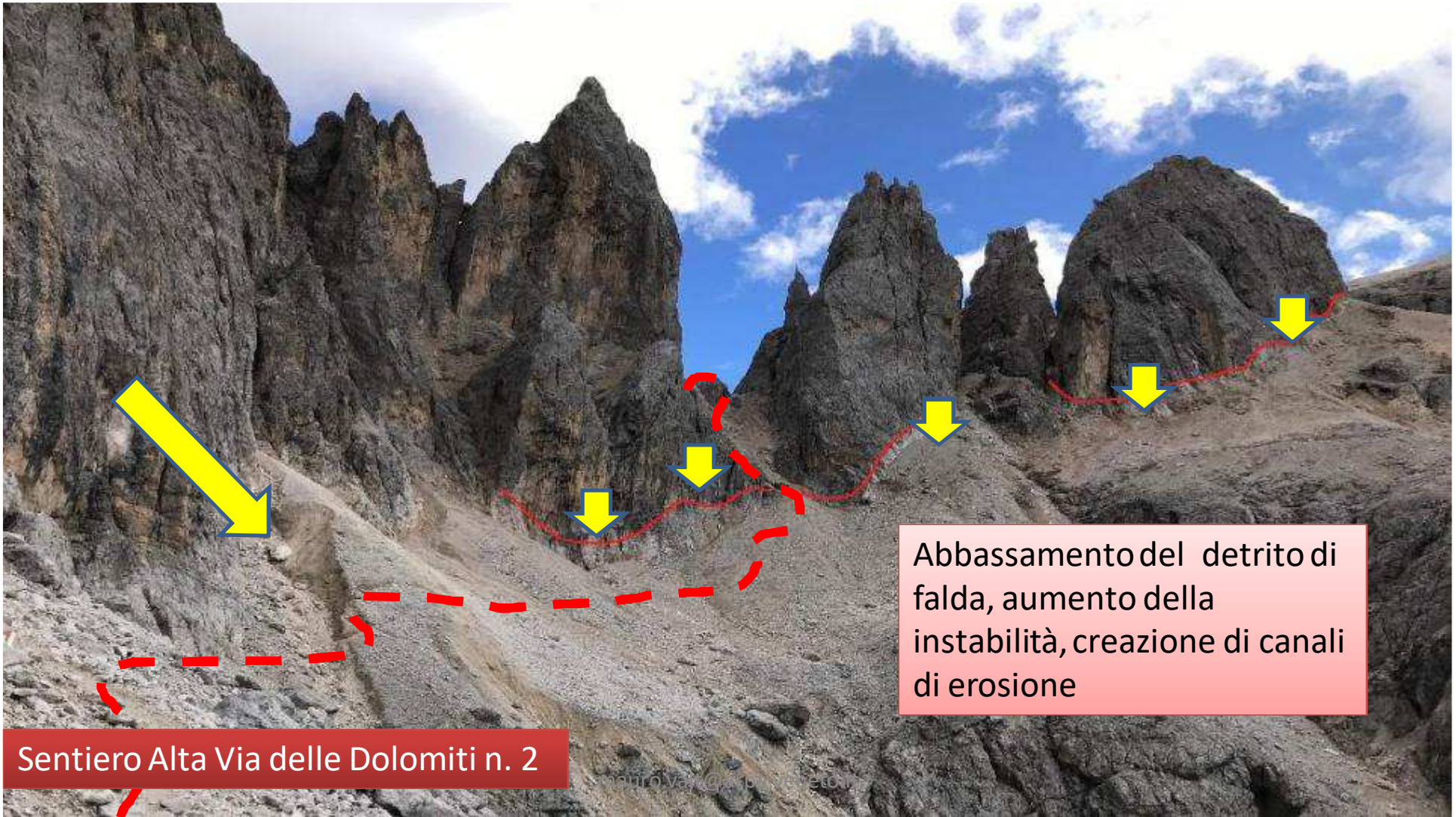
**Torre Trepbor 07/06/2004** 18

# Problematiche del permafrost TOFANA progetto rescue permafrost





ABBASSAMENTO  
AUMENTO CADUTA  
SASSI, DISSESTI



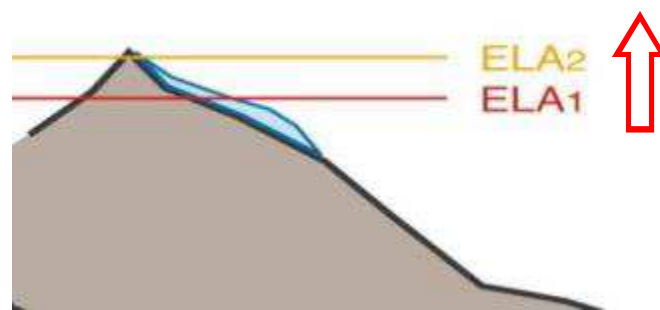
Abbassamento del detrito di falda, aumento della instabilità, creazione di canali di erosione

Sentiero Alta Via delle Dolomiti n. 2

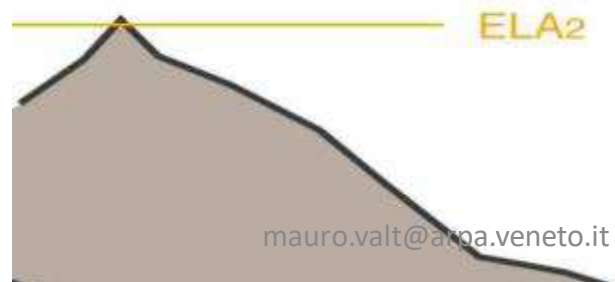
**Prima del cambiamento climatico**



**Durante il cambiamento nella fase di riaggiustamento**

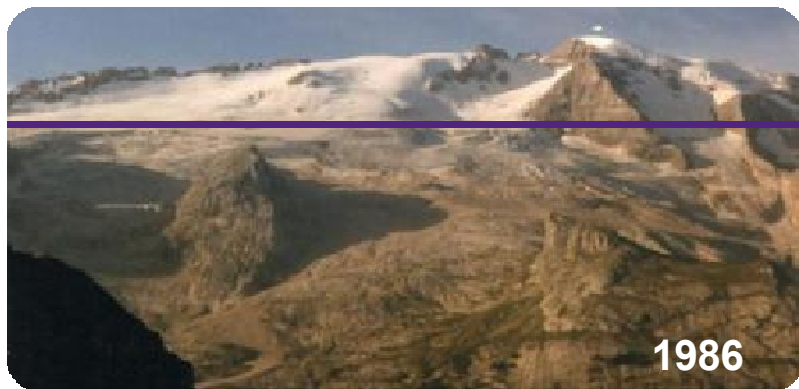


**Dopo il riaggiustamento**



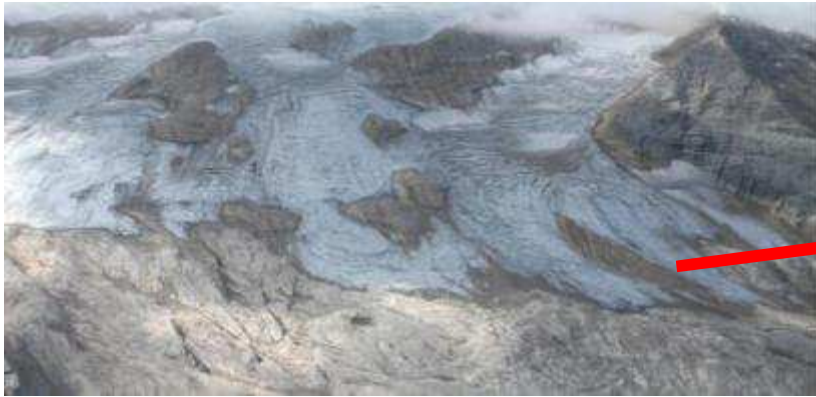
# Cambiamento climatico = disequilibrio

2024



↑  
ELA





Morte (forse temporanea) di un ghiacciaio:  
da ghiacciaio a rock glacier

mauro.vait@arpa.veneto.it



**Scomparsa dei piccoli  
apparati**



ABBASSAMENTO  
AUMENTO CADUTA  
SASSI, DISSESTI

# Più laghi effimeri



mauro.valt@arpa.veneto.it

# Adattamento nell' alpinismo

Cambiamento delle abitudini anche in montagna.  
Negli anni '80 erano state pubblicate delle guide sull'arrampicata su ghiaccio anche per le Dolomiti.  
Oggi queste "vie di ghiaccio" sono scomparse e alcune sono diventate percorsi estremi di sci alpinismo.



# Adattamento nello sci: neve programmata



**NEVESPORT**  
MOTORI

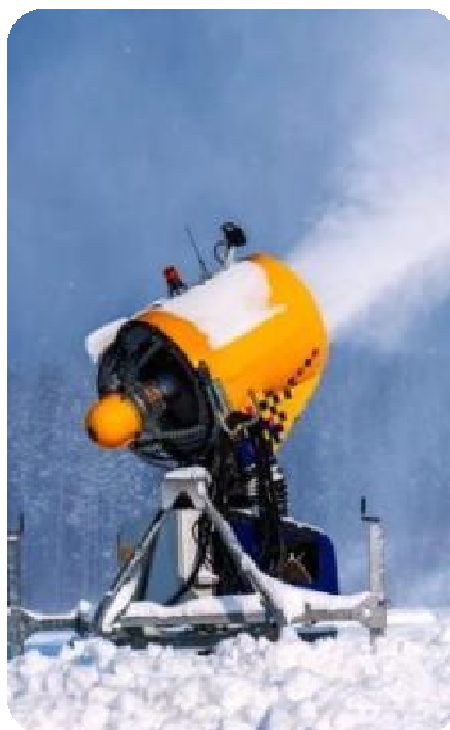
E' nato sotto le insegne della pace un nuovo cannone. Spara neve invece che proiettili: diventerà presto un buon amico per gli sciatori.

## IL CANNONE SPUTA NEVE

Lo sci non costituisce solo un sano divertimento per tutti, ma anche una grossa industria inarrestabile alla quale gravitano molti e importanti interessi. Ora questa industria è per sua natura stessa soggetta all'aleatorietà delle condizioni atmosferiche: senza neve non si scia! E' per questo che, spinta dal notevole potenziale economico che gravita intorno al mondo dello sci, l'industria specializzata si è da tempo orientata verso la progettazione di macchine adatte alla « fabbricazione » di efficiente neve artificiale. Dopo i primi tentativi tentativi, dopo le prime prove « nevicata », si è a poco a poco giunti alla realizzazione di apparecchiature molto avanzate per tecnica e produttività. Una di queste, certamente la più moderna e funzionale tra quelle fin qui costruite, ha fatto da poco la sua apparizione sul mercato italiano, importata da una ditta all'avanguardia nel « fronte » della neve, la Frischi di Orsico. La nuova macchina per la neve artificiale è fabbricata in Germania dalla Lindle AG, ed ha già riscosso un notevole successo, soprattutto negli Stati Uniti, dove è da molti responsabili di stazioni invernali considerata ormai insostituibile per lavori di innalzamento veri e propri e per opere di riassetto e « cura » delle piste.

La macchina per neve artificiale Lindle ha la forma di un grosso cannone montato su una piattaforma. Il tutto non è

Nevesport-n.-14-30-Aprile-1969



mauro.valt@arpa.veneto.it

Pista di sci nordico  
Pista larga 8 m, spessore 40 cm  
costo 5.000 Euro al Km

Pista di sci alpino Agordino  
Costo 1,9-3,0 Euro al m<sup>3</sup>.  
5 comprensori: 100. Km di piste, 3,2 Milioni di ettari innevati, 1,5 Milioni di m<sup>3</sup> di acqua, spessore medio 50 cm di neve in pista.

Fattore di conversione  
acqua/neve 1,9 (1 m<sup>3</sup> di acqua, 1,9 m<sup>3</sup> di neve)

# Neve programmata



Pista di sci nordico

Pista larga 8 m, spessore 40 cm  
costo 5.000 Euro al Km

Pista di sci alpino Agordino

Costo 1,9-3,0 Euro al m<sup>3</sup>.

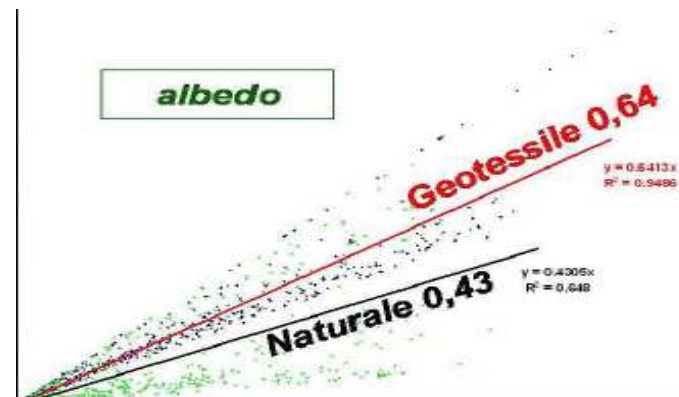
5 comprensori: 100. Km di  
piste, 3,2 Milioni di ettari  
innevati, 1,5 Milioni di m<sup>3</sup>  
di acqua, spessore medio  
50 cm di neve in pista.

Fattore di conversione  
acqua/neve 1,9 (1 m<sup>3</sup> di  
acqua, 1,9 m<sup>3</sup> di neve)

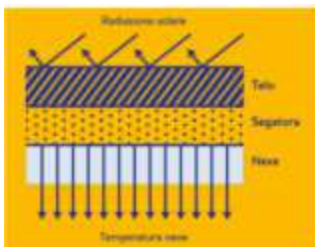
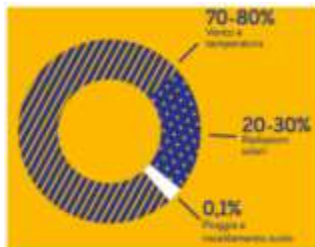
# Mitigazione: geotessili a protezione della neve



Circa 40.000 metri quadrati di geotessile



# Mitigazione: snowfarming



A Livigno la neve stoccata dall'inverno, circa 45000 m<sup>3</sup>, viene utilizzata in due occasioni: la prima, ad Agosto, per l'evento 1k Shot e Gara da li Contrada, 3000 m<sup>3</sup> di neve il resto ad per'anello di sci fondo a partire da ottobre.

mauro.valt@arpa.veneto.it

**FUTURO?**



I Ghiacciai alpini hanno raggiunto la massima estensione negli ultimi 10 mila anni

- 1850-2015: I ghiacciai si sono ridotti arealmente del 60%
- Attualmente: I ghiacciai sono alla minima estensione degli ultimi 7-10 mila anni
- XXI secolo: I ghiacciai alpini spariranno al di sotto dei 3000 m nelle prossime decadi
- Il ritiro dei ghiacciai ha e avrà grandi implicazioni sulla pericolosità alle alte quote, sulla disponibilità della risorsa idrica e sull'innalzamento del livello del mare, oltre ogni variazione conosciuta dall'*Homo Sapiens*

# MANTO NEVOSO

La copertura nevosa presenta forti variazioni naturali da un anno all'altro e reagisce alle variazioni della temperatura e delle precipitazioni.

Poiché la temperatura dell'aria è il parametro più robusto dei modelli climatici, gli scenari per l'evoluzione futura del manto nevoso sono più attendibili alle quote con una forte sensibilità alla temperatura, cioè alle basse e medie quote (fino 1500-2000 m). Oltre i 2000 m, pur con le variazioni di temperature previste, farà comunque freddo per far sì che nevichi e l'evoluzione futura del manto nevoso dipenderà dalla quantità delle precipitazioni e quindi dagli scenari meteorologici futuri.

Secondo alcuni autori, anche in futuro (2021-2050), la neve naturale mostrerà un'ampia variabilità di anno in anno e una variabilità multidecadale che potrà mascherare l'effetto del riscaldamento a lungo termine su scala regionale.

Tuttavia le simulazioni dei modelli climatici regionali mostrano una drastica diminuzione sia della durata della copertura nevosa sia della risorsa idrica in Europa entro la fine del XXI secolo.

Per le Alpi a un'altitudine di 1500 m le simulazioni recenti prevedono una riduzione della SWE dell'80-90% entro la fine del secolo.

Tuttavia, va notato che l'aumento della temperatura dell'aria previsto per i prossimi decenni è accompagnato da grandi incertezze sui cambiamenti delle precipitazioni invernali. Per l'Europa continentale, i modelli climatici non mostrano una chiara variazione delle precipitazioni fino al 2050 e un leggero aumento delle precipitazioni invernali.

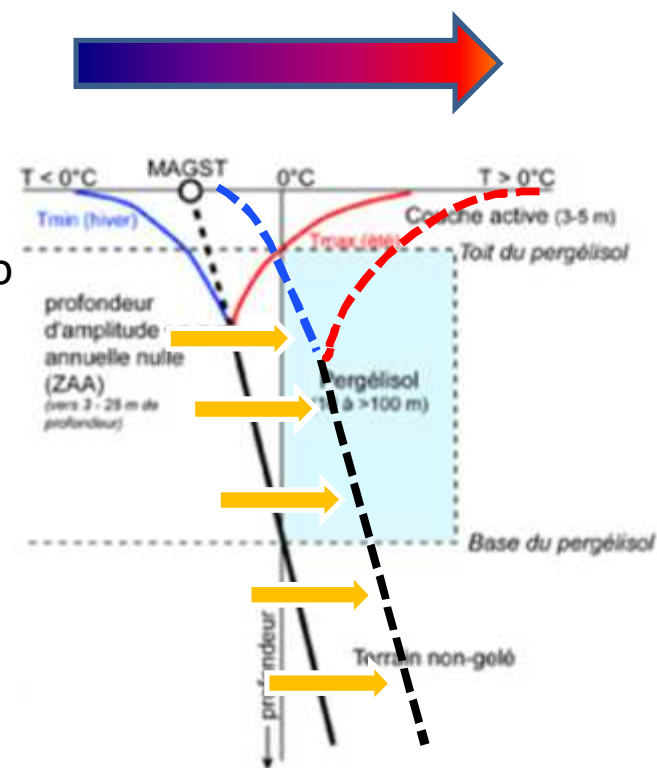
Il clima futuro molto probabilmente non consentirà l'esistenza di una copertura nevosa permanente durante l'estate, anche alle quote più elevate delle Alpi e dello sci estivo, con ovvie implicazioni per i ghiacciai rimanenti.

A causa del progressivo riscaldamento, i vincoli per produzione di neve programmata aumenteranno fortemente nelle Alpi europee, soprattutto a basse e medie e medie altitudini fino a circa 1500 m, poiché le fasce orarie per la produzione di neve (le tecnologie odierne con limiti tecnici legati alla temperatura) si ridurranno fortemente a tutte le quote.

# Permafrost

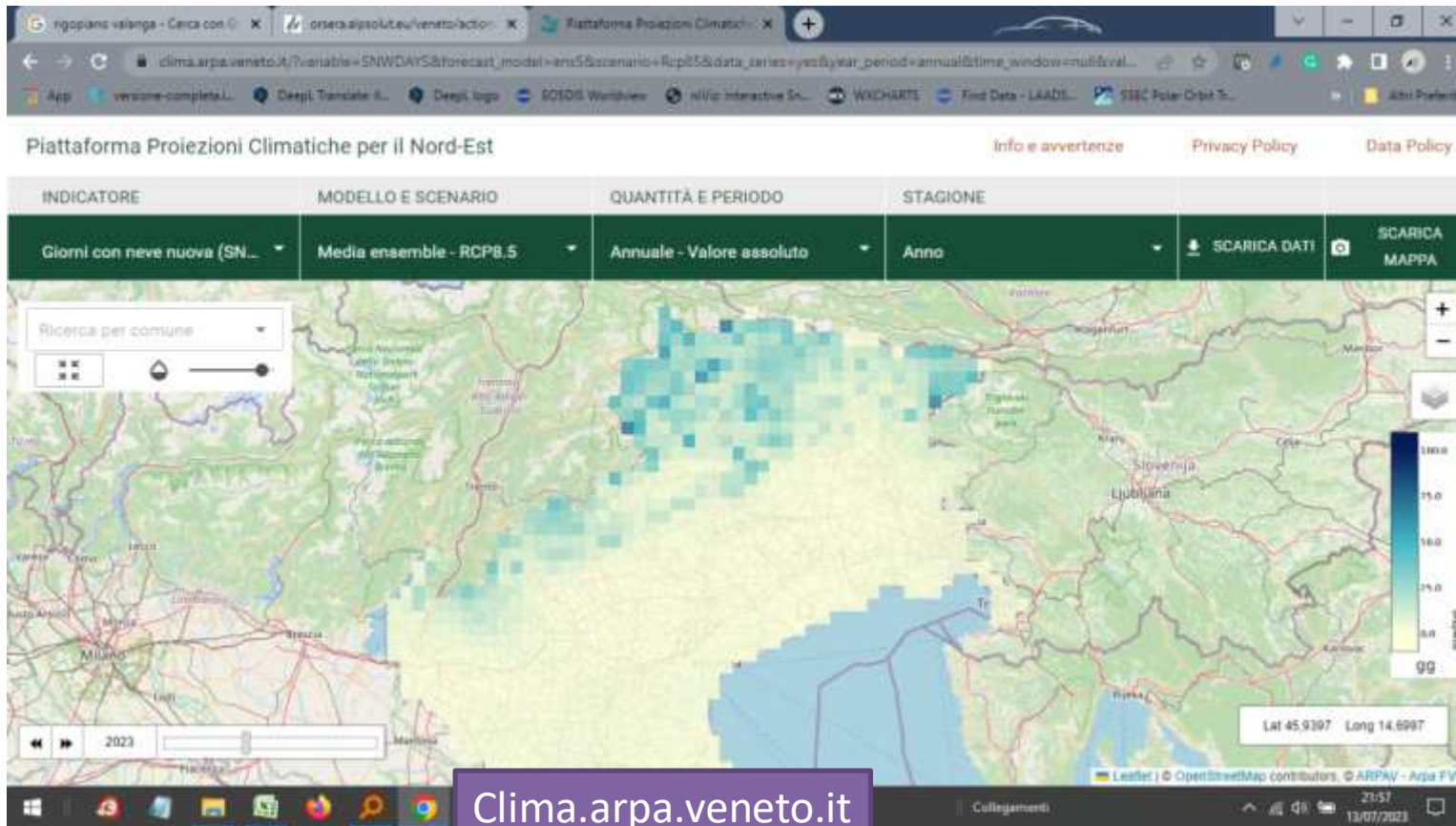
Il riscaldamento globale determinerà:

1. progressivo riscaldamento del permafrost → da freddo a temperato (t più vicine a 0 °C)
2. approfondimento dello strato attivo
3. estensione delle aree non più in equilibrio con le condizioni climatiche
4. aumento dell'instabilità di pareti e versanti → probabilità di dissesti e interferenze con infrastrutture
5. maggiore frequenza dei fenomeni



maggior propensione al dissesto dei territori interessati dal permafrost

mauro.valt@arpa.veneto.it





# Variabili

- Agli inizi degli anni ottanta l'eruzione del vulcano messicano El Chichon ha provocato un lieve raffreddamento che ha contrastato la diminuzione globale della neve, ma si è trattato di un fenomeno circoscritto nel tempo



(Nortanicola, <https://www.eurac.edu/it/magazine/in-tutte-le-aree-montane-del-mondo-la-neve-si-ferma-in-media-due-settimane-in-men>).

A photograph of a single yellow tulip flower lying on a snowy surface. The flower is in the lower right quadrant, with its stem and green leaves partially buried in the snow. The background is a vast, white, snow-covered field under a grey, overcast sky. The text 'Grazie per l'attenzione' is overlaid in white, sans-serif font across the middle of the image.

Grazie per l'attenzione