

Effetti della pioggia sulle caratteristiche fisiche e sulla stabilità del manto nevoso

Mauro Valt

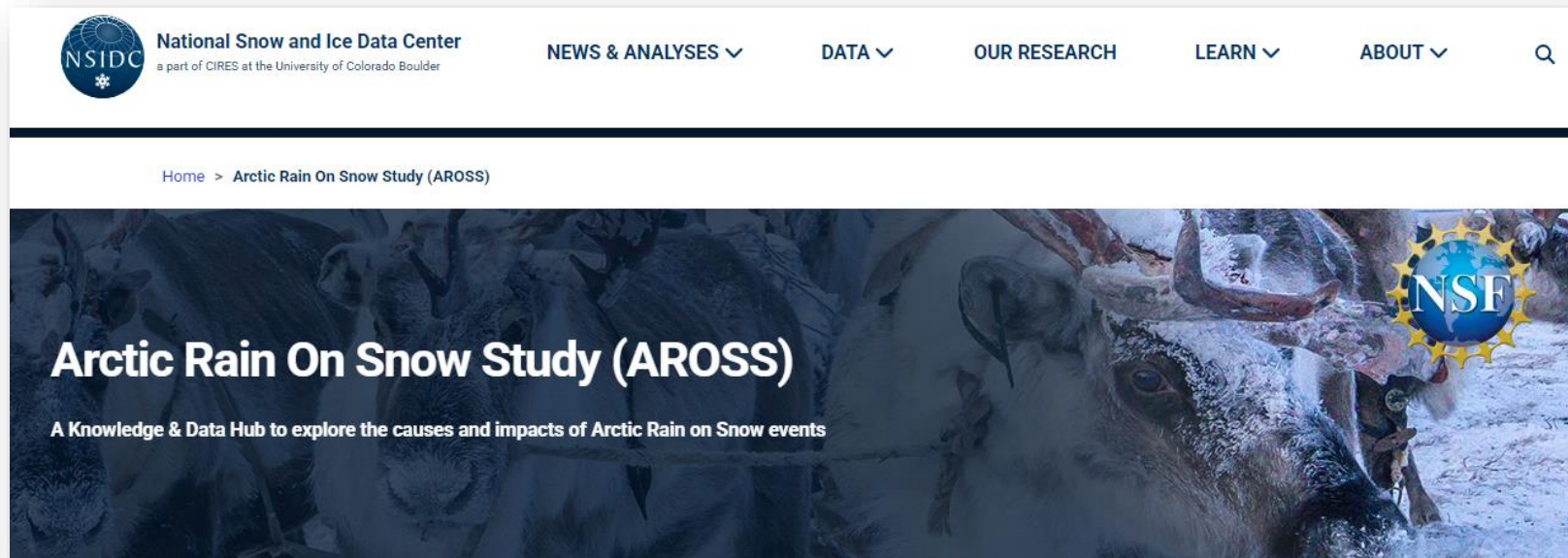
Torino, 20 novembre 2025



Agenzia Regionale per la Prevenzione
e Protezione Ambientale del Veneto

ROS (Rain on Snow):un tema attuale

- Gli eventi di pioggia su neve (ROS) si verificano quando la pioggia cade su un manto nevoso esistente e si congela, formando una crosta di ghiaccio che può avere gravi conseguenze per la fauna selvatica, le infrastrutture e le comunità. Con il continuo riscaldamento dell'Artico, che si sta rapidamente intensificando, si prevede che gli eventi di ROS diventeranno più gravi e frequenti.



<https://nsidc.org/rain-on-snow>

ROS (Rain on Snow):un tema attuale

L'aumento della pioggia sulla neve ha conseguenze che vanno oltre la formazione di una spessa e dura crosta di ghiaccio. "Ogni volta che osserviamo più a fondo e da vicino ciò che sta accadendo nell'Artico, scopriamo che gli impatti sono più forti e peggiori di quanto pensassimo"... Ad esempio, la pioggia sulla neve influisce sulle temperature del permafrost. Quando la pioggia cade sul manto nevoso, l'acqua penetra verso il basso, riscaldando il permafrost. Quando si ricongela, si verifica un notevole rilascio di calore. Quando avviene questo i microbi nel permafrost in fase di degrado diventano attivi, e rilasciano metano.

<https://nsidc.org/news-analyses/news-stories/vision-journey-arctic-rain-snow-study>

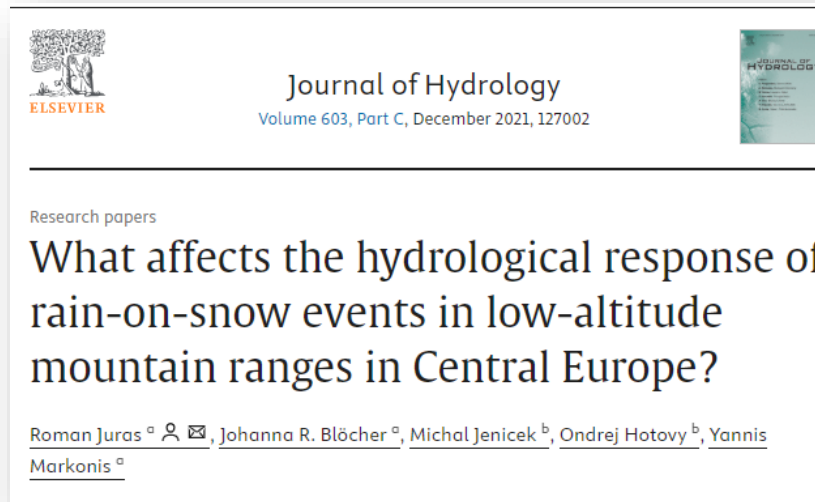


E sulle ALPI?

- Questi eventi sono solo recentemente oggetto di studio



- Nel nostro caso abbiamo implicazioni sull'attività valanghiva spontanea e sulle valanghe di slittamento



<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022169421010520>



<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/02626667.2023.2177544>



<https://egusphere.copernicus.org/preprints/2024/egusphere-2023-3012/egusphere-2023-3012.pdf>

Sulle Alpi italiane gli eventi di ROS sono in aumento

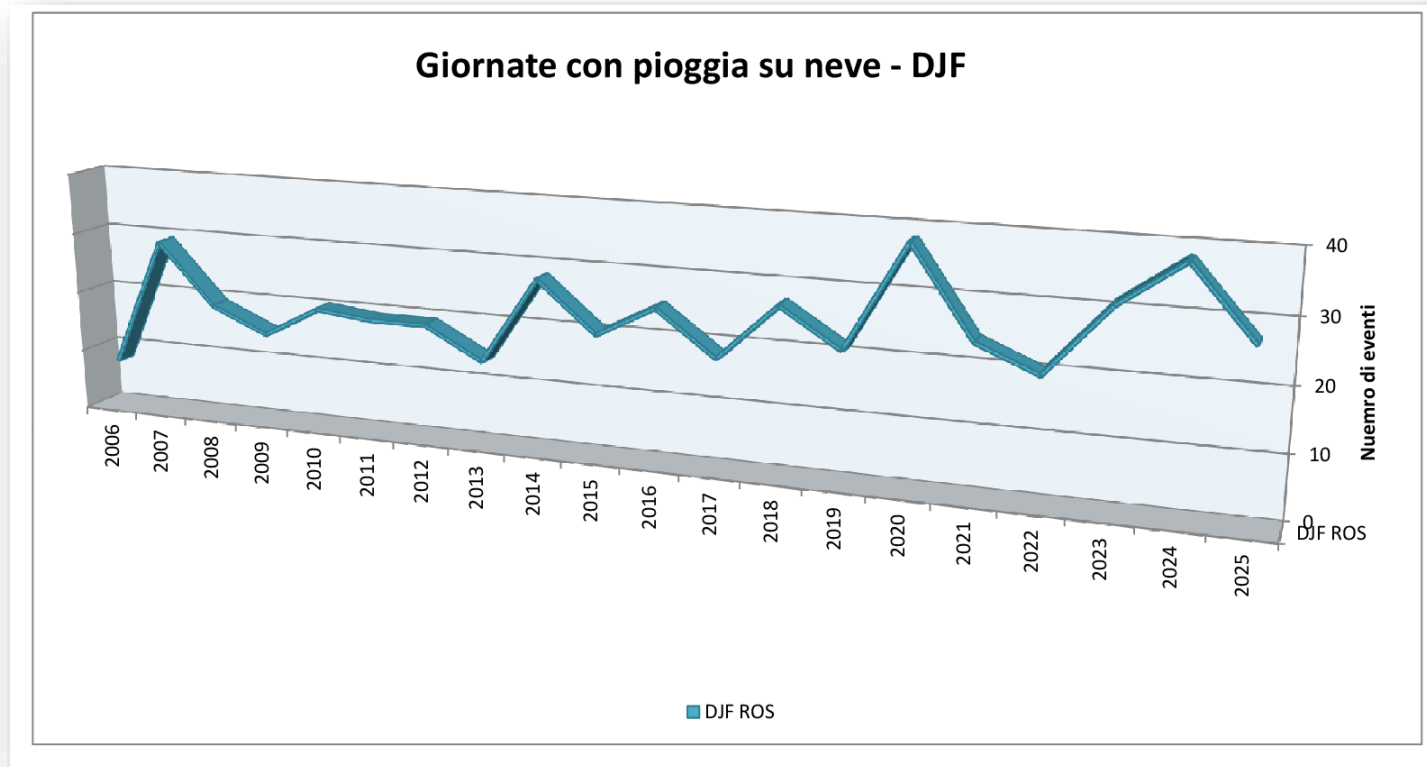
- Negli ultimi 20 anni, il numero di giornate con pioggia sulla neve, oltre i 1500 m di quota, sono in aumento (mesi di dicembre, gennaio, febbraio)



EVENTI DI PIOGGIA SU NEVE (ROS) nelle Alpi meridionali

Di Mauro Valt
ARPV-Centro Valanghe di Anabba, Via Anabba-Predoi, 5,
32020 Livinalonga del Col di Lana (BL) - ITALY
maurovalt@arpa.veneto.it

Sulle Alpi le precipitazioni invernali, in mm di acqua equivalente non, evidenziano particolari tendenze. Tuttavia, specie negli ultimi 40 anni, gli spessori di neve al suolo si sono ridotti, l'altitudine della neve affidabile



https://aineva.it/wp-content/uploads/Pubblicazioni/Rivista98/NV98_2.pdf

Metodologia di indagine

- Fonte dei dati AINEVA, uffici valanghe (in parte open data)
- Dati delle osservazioni giornaliere (MOD 1)
- Tutti i dati disponibili sulle Alpi italiane (oltre 800.000 osservazioni giornaliere)



Metodologia di indagine – dati utilizzati

Osservazioni meteorologiche del giorno (WW)

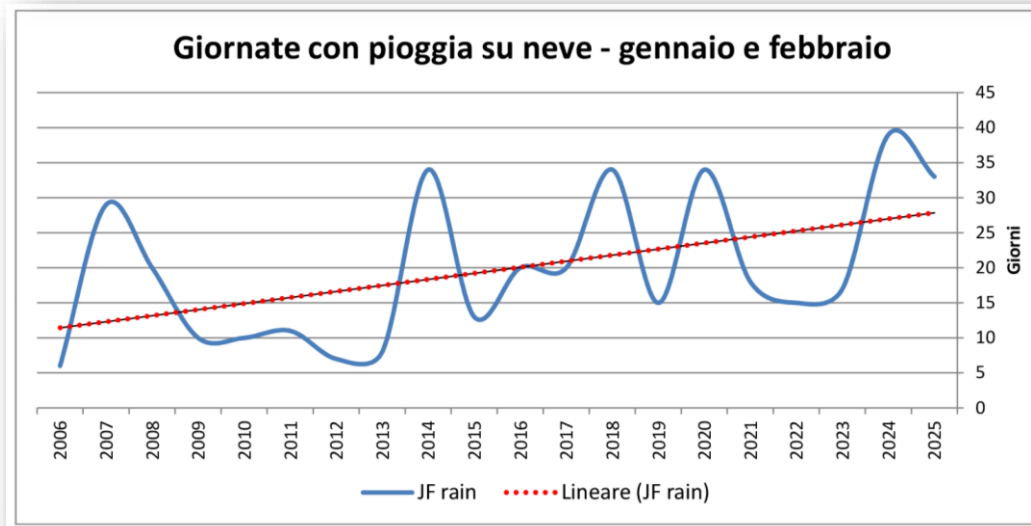
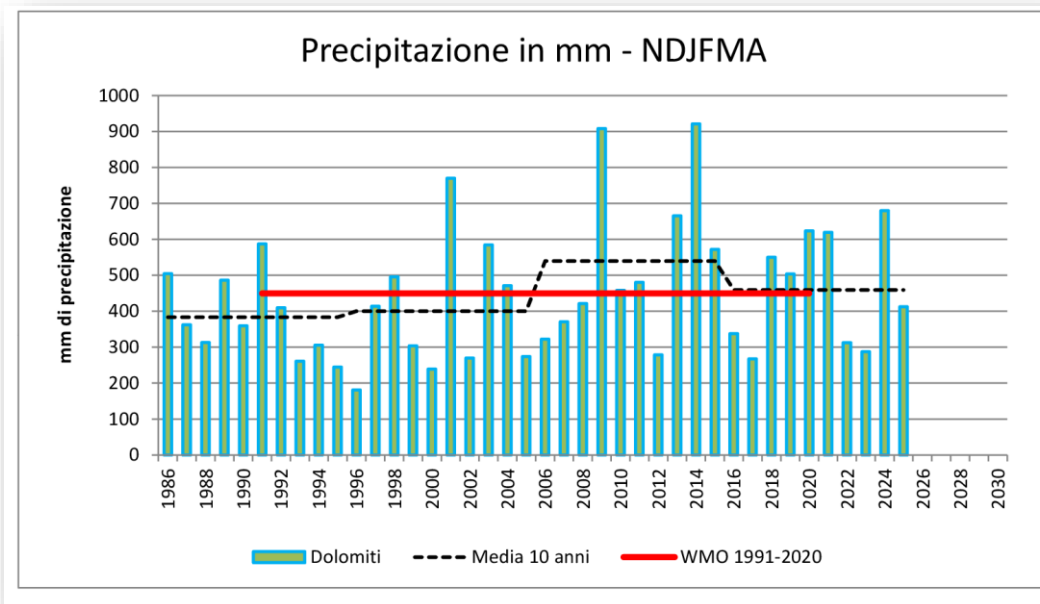
- Pioggia sulla stazione
- Rovescio di pioggia
- Rovesci di neve pioggia
- Osservazioni codificate sulla misura della neve fresca e della neve al suolo (codifica 800)



Risultati 1996-2025

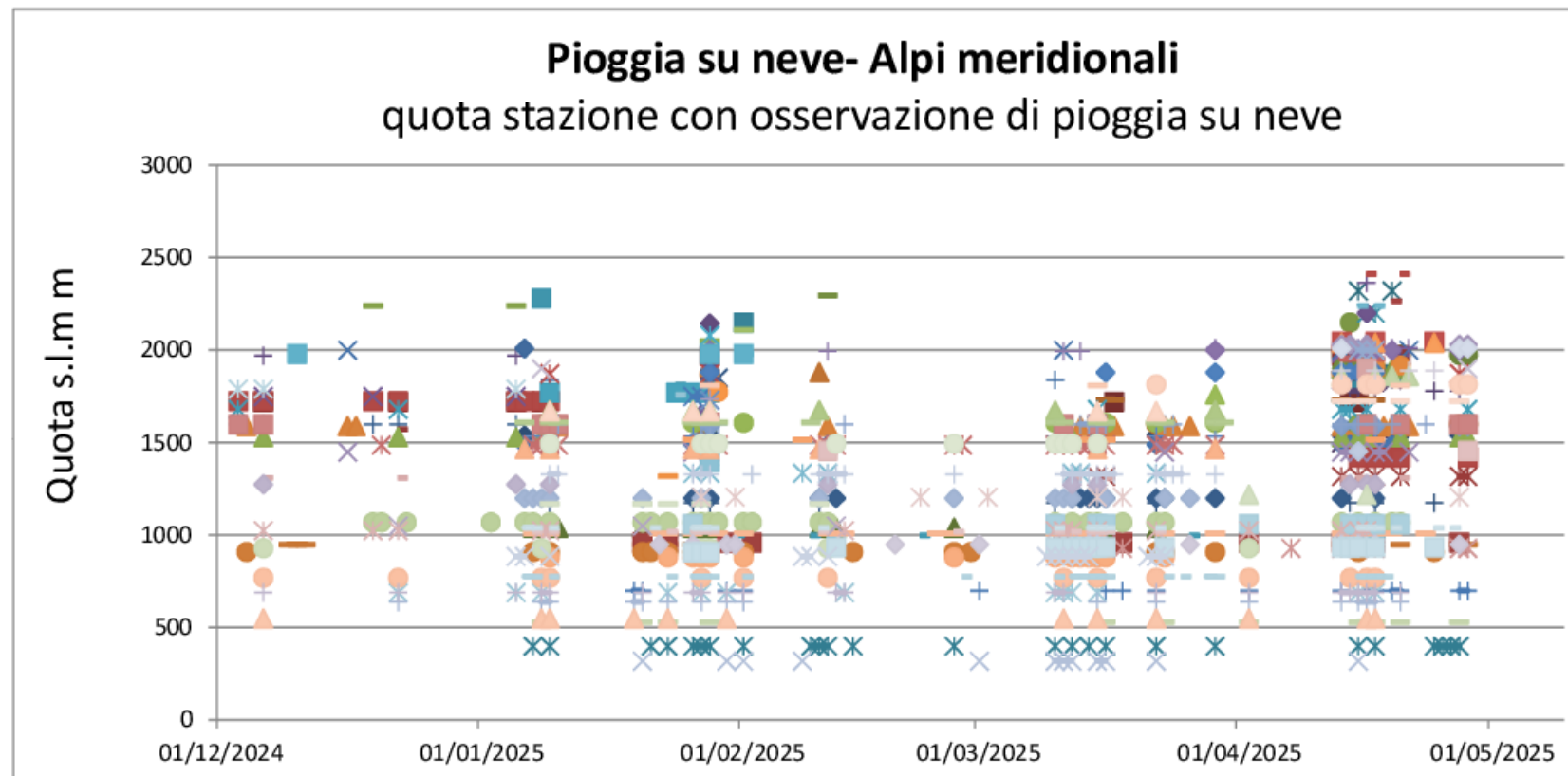
La precipitazione invernale non è variata di molto. In certe aree evidenzia un trend positivo [senza effetto pluviometro riscaldato]

Gli eventi di pioggia sulla neve (ROS) hanno un trend positivo (numero di giornate)



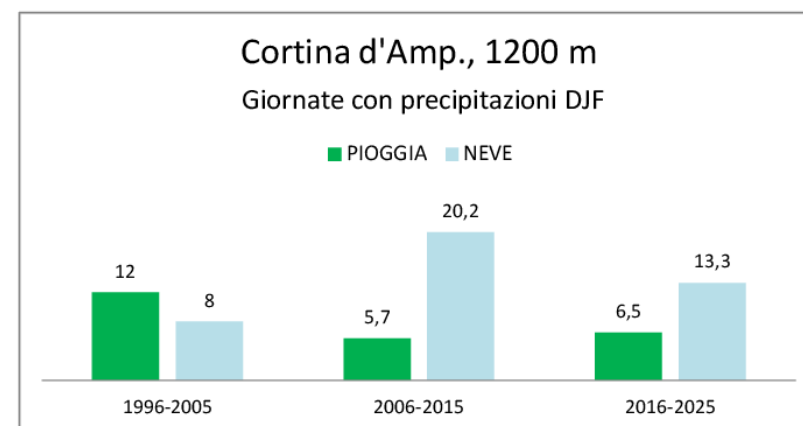
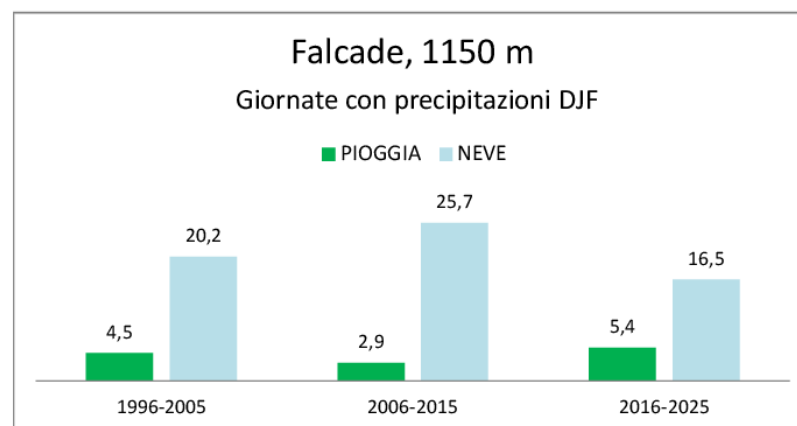
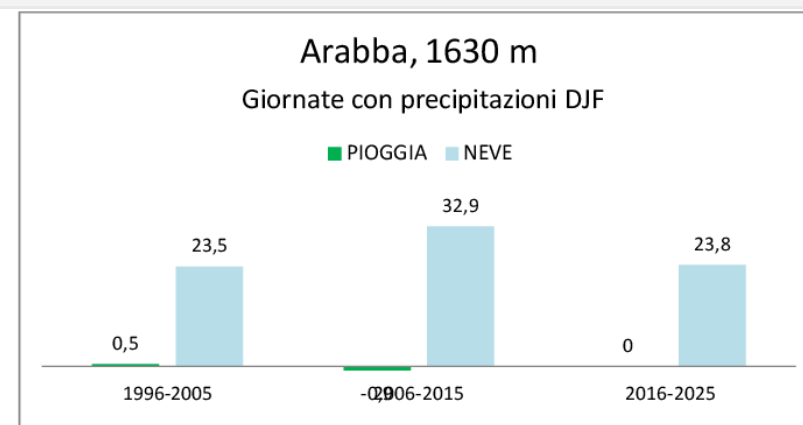
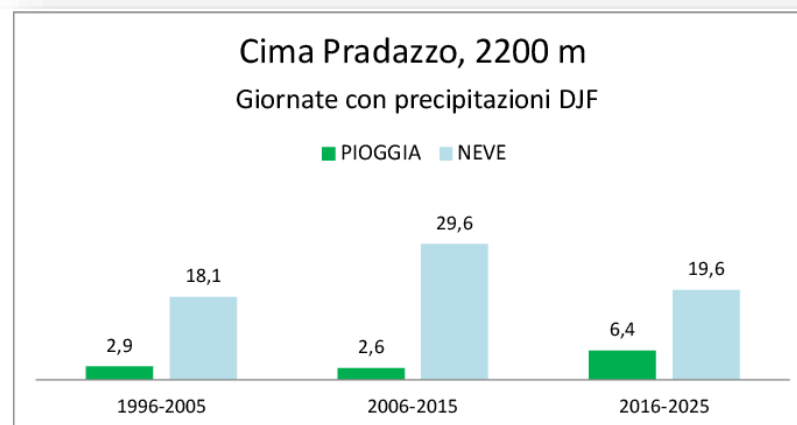
Esempio stagione 2024-2025

- Ogni simbolo è una stazione con la sua quota e il giorno della osservazione del ROS



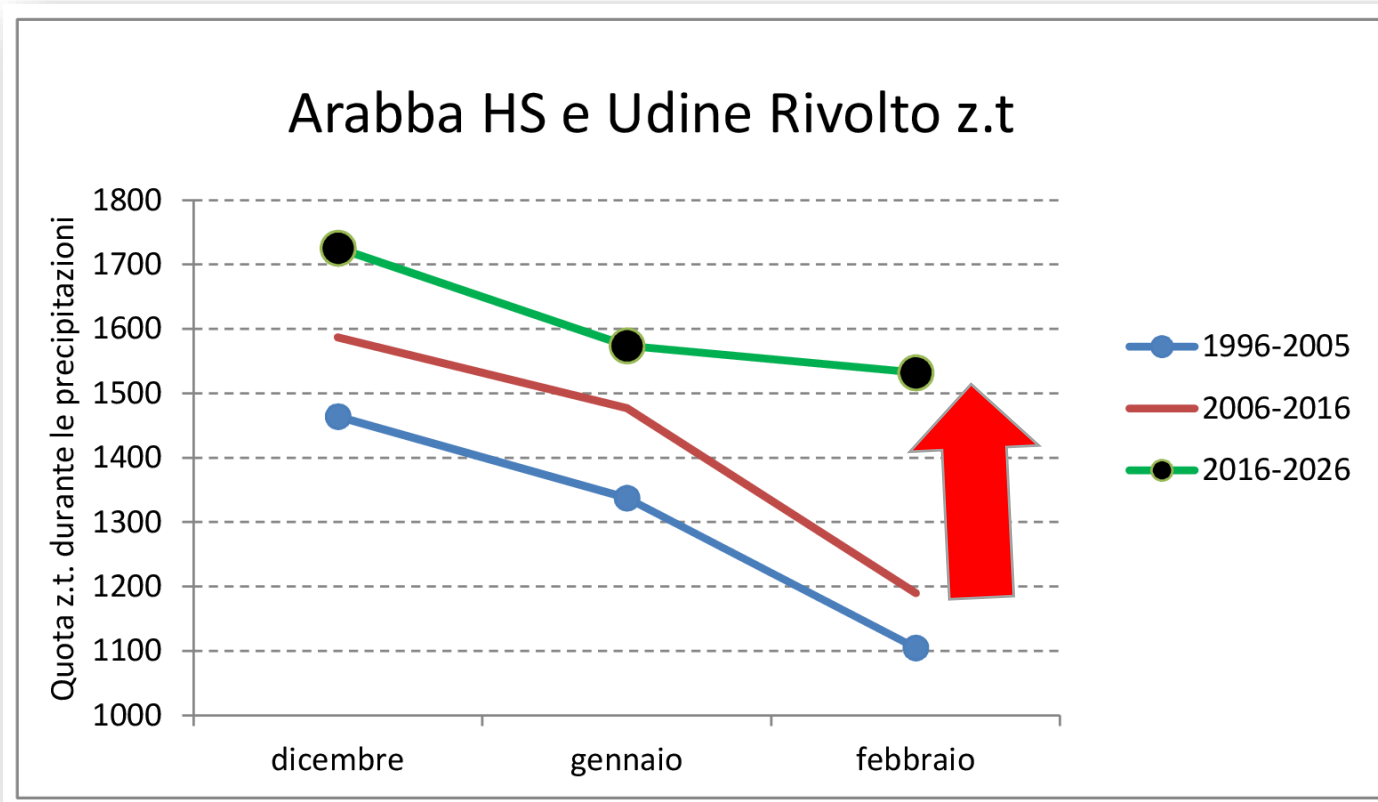
Piove sempre più in alto in inverno-

- La pioggia totale è sempre la stessa.
- I giorni di pioggia sono più intensi
- Nevica di meno e meno giornate



Limite neve/pioggia più in alto

- Negli ultimi 10 anni si è innalzato il limite neve/pioggia, oltre i 400 m rispetto a 30 anni fa nel mese di febbraio



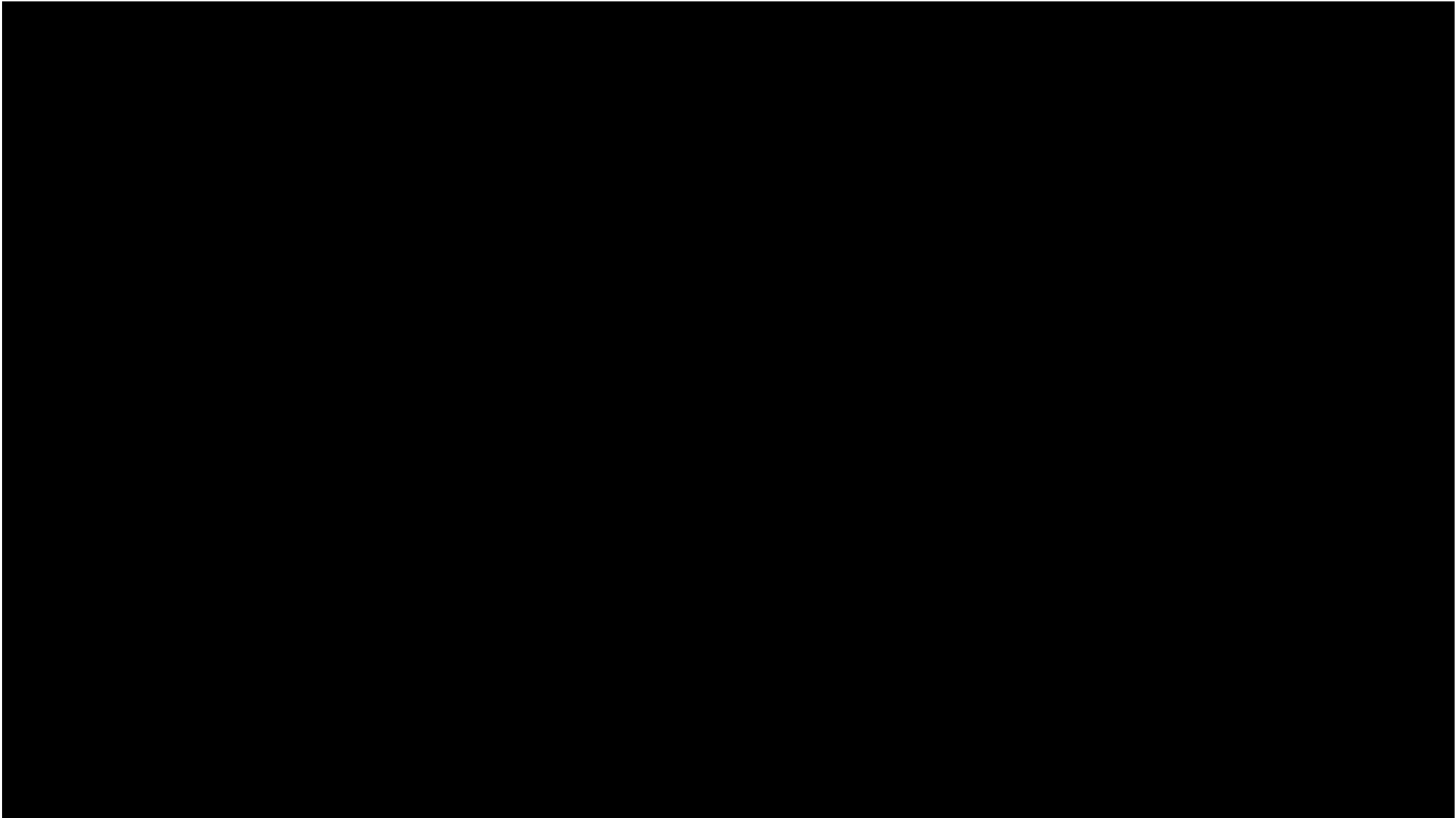
E che cosa succede alla neve?



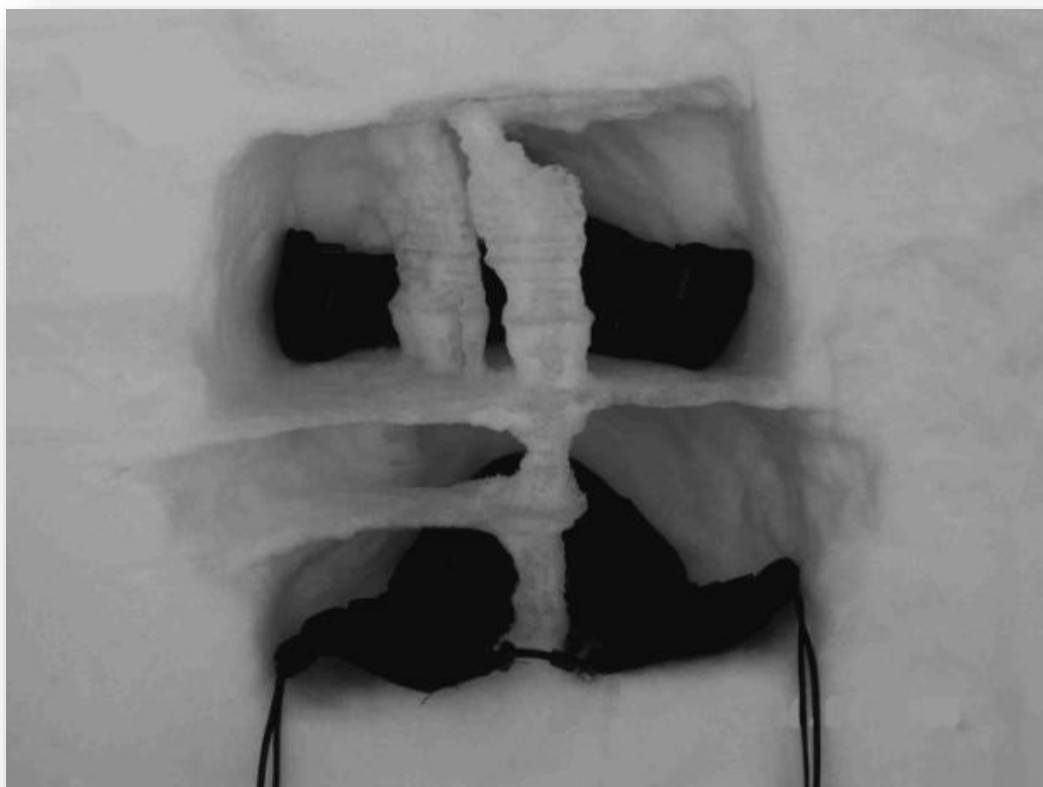
Pioggia su neve

L'acqua di fusione o della pioggia, non penetra nel manto nevoso in modo omogeneo ma attraverso canali preferenziali





Questo porta alla formazione di colonne di ghiaccio di percolazione



Strati di ghiaccio nel manto nevoso

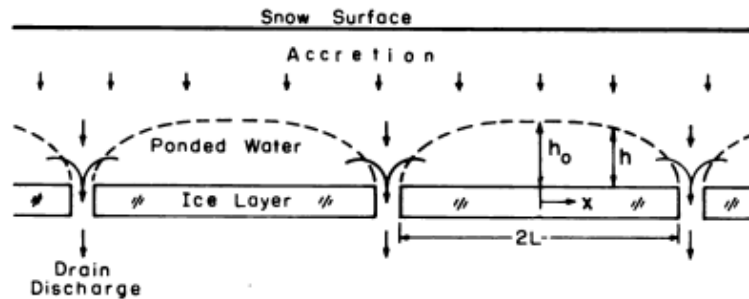
<https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=uc1.31210025591981&seq=17>

EFFECTS OF STRATIGRAPHIC LAYERS ON WATER FLOW THROUGH SNOW

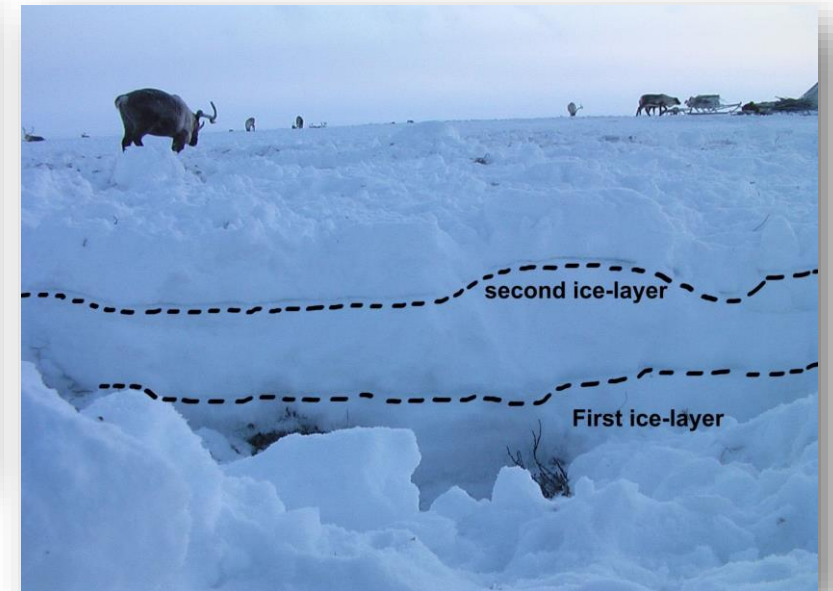
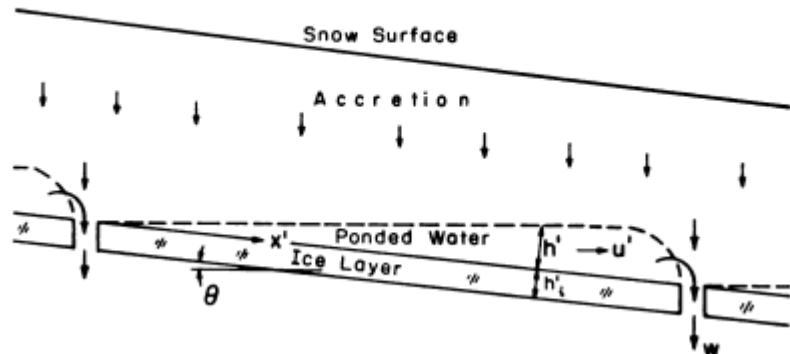
Samuel C. Colbeck

September 1973

EFFECTS OF STRATIGRAPHIC LAYERS ON WATER FLOW THROUGH SNOW

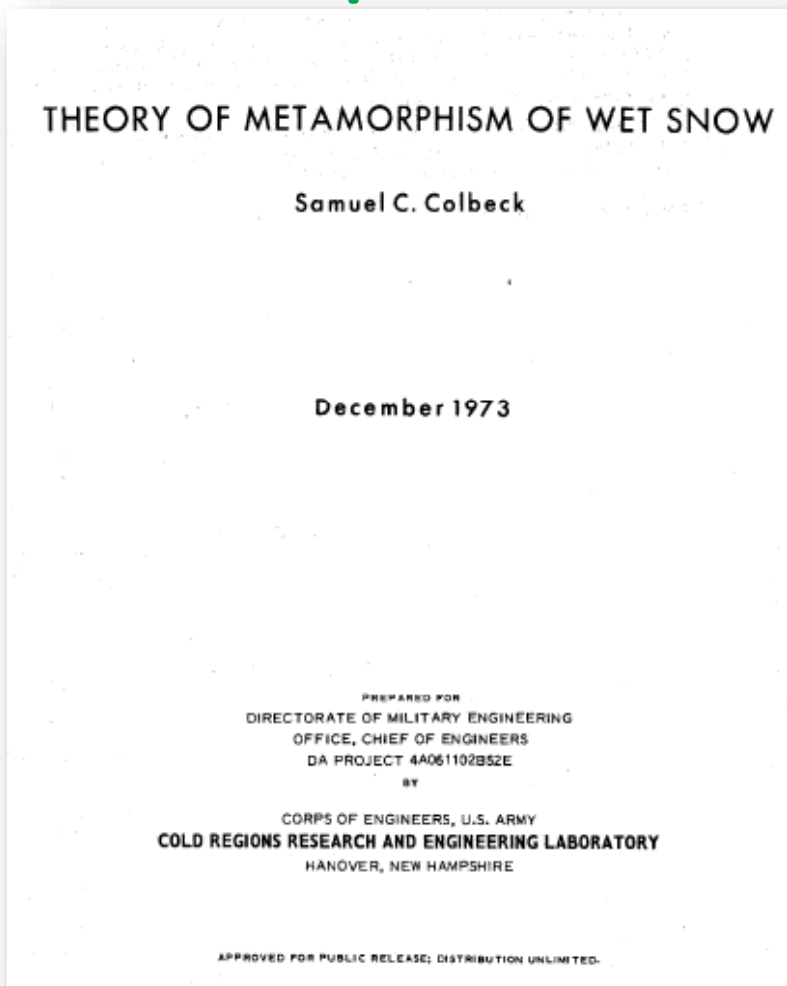


EFFECTS OF STRATIGRAPHIC LAYERS ON WATER FLOW THROUGH SNOW

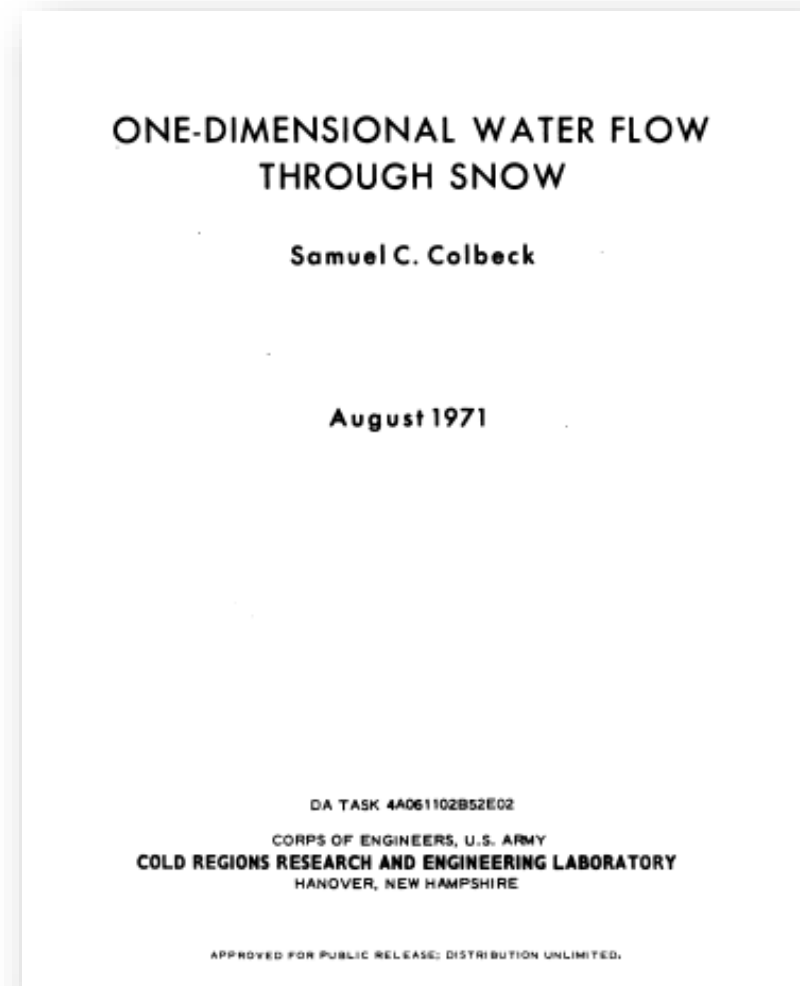


<https://nsidc.org/news-analyses/news-stories/vision-journey-arctic-rain-snow-study>

Altri importanti lavori di Colbeck



... il metamorfismo,
la resistenza e la
densificazione
della neve bagnata
sono determinate
dalla presenza di
piccoli gradienti di
temperature
attorno alle
particelle bagnata..



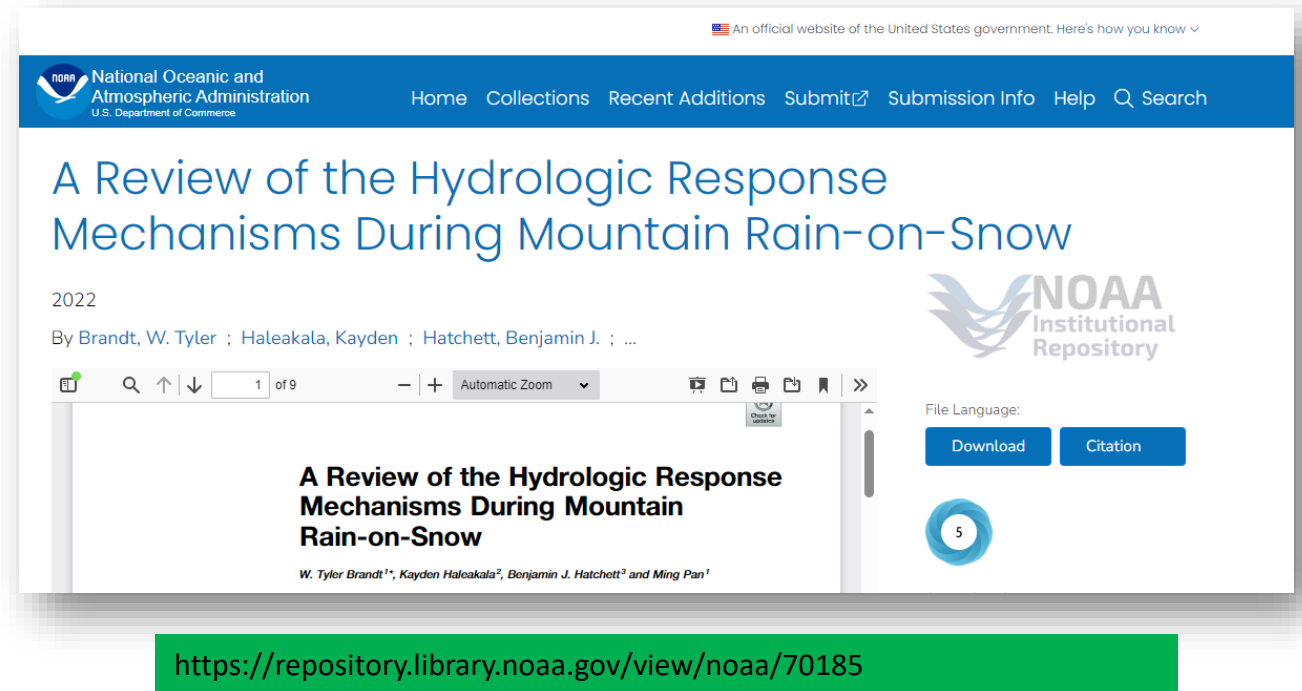
https://books.google.it/books?id=Ilun4CbOfcQC&printsec=frontcover&source=gbs_atb&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

<https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=uc1.31210025591833&seq=21>

Manto nevoso attivo o passivo

Il **m. n. attivo**,
contribuisce
prontamente con
l'acqua di **fusione** ai
deflussi.

Il **m.n. passivo** non
fonde ma **trasporta**
l'acqua piovana
attraverso la
matrice nevosa



Manto nevoso attivo o passivo

Un elevato deflusso dovuto al ROS, richiede una ampia area di copertura nevosa e precipitazioni prolungate e ad alta intensità su gran parte della SCA.

In particolare in presenza di nevi effimere a bassa quota, con scarso contenuto in freddo (manto nevoso attivo).

La copertura forestale, la sua struttura e densità, influenza l'accumulo di neve attraverso l'intercettamento, riduce gli effetti del vento e il bilancio energetico sulla neve.

<https://doi.org/10.5194/egusphere-2023-3012>

Quindi ci possono essere delle implicazioni diverse per le valanghe in campo aperto o con presenza di zone boscate.

Manto nevoso passivo

- Definiamo un manto nevoso passivo come quello che trasporta principalmente la pioggia (vale a dire, i contributi in acqua della fusione della neve $\leq 10\%$).
- Poiché la fusione della neve può essere limitata, l'SWE può rimanere invariato, o addirittura aumentare, confrontando gli equivalenti idrici pre e post evento ROS a causa dell'accumulo di acqua liquida all'interno del manto nevoso e/o delle nevicate intermittenti.

Eventi nevosi regolari generano un contenuto di freddo, consentendo, a un manto nevoso stagionale e profondo, di tamponare i modesti fattori meteorologici.

I manti nevosi più superficiali (ovvero la neve effimera) sono maggiormente a rischio di fusione durante la ROS.

Manto nevoso passivo

I manti nevosi più superficiali (ovvero la neve effimera) sono maggiormente a rischio di fusione durante la ROS.

Quindi sono maggiormente possibili le **valanghe di superficie di neve bagnata subito dopo una nevicata in caso di ROS**, rispetto alla pioggia su neve su una neve vecchia, anche se con poco spessore.



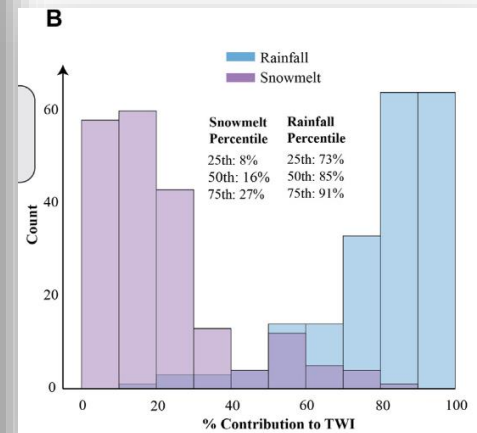
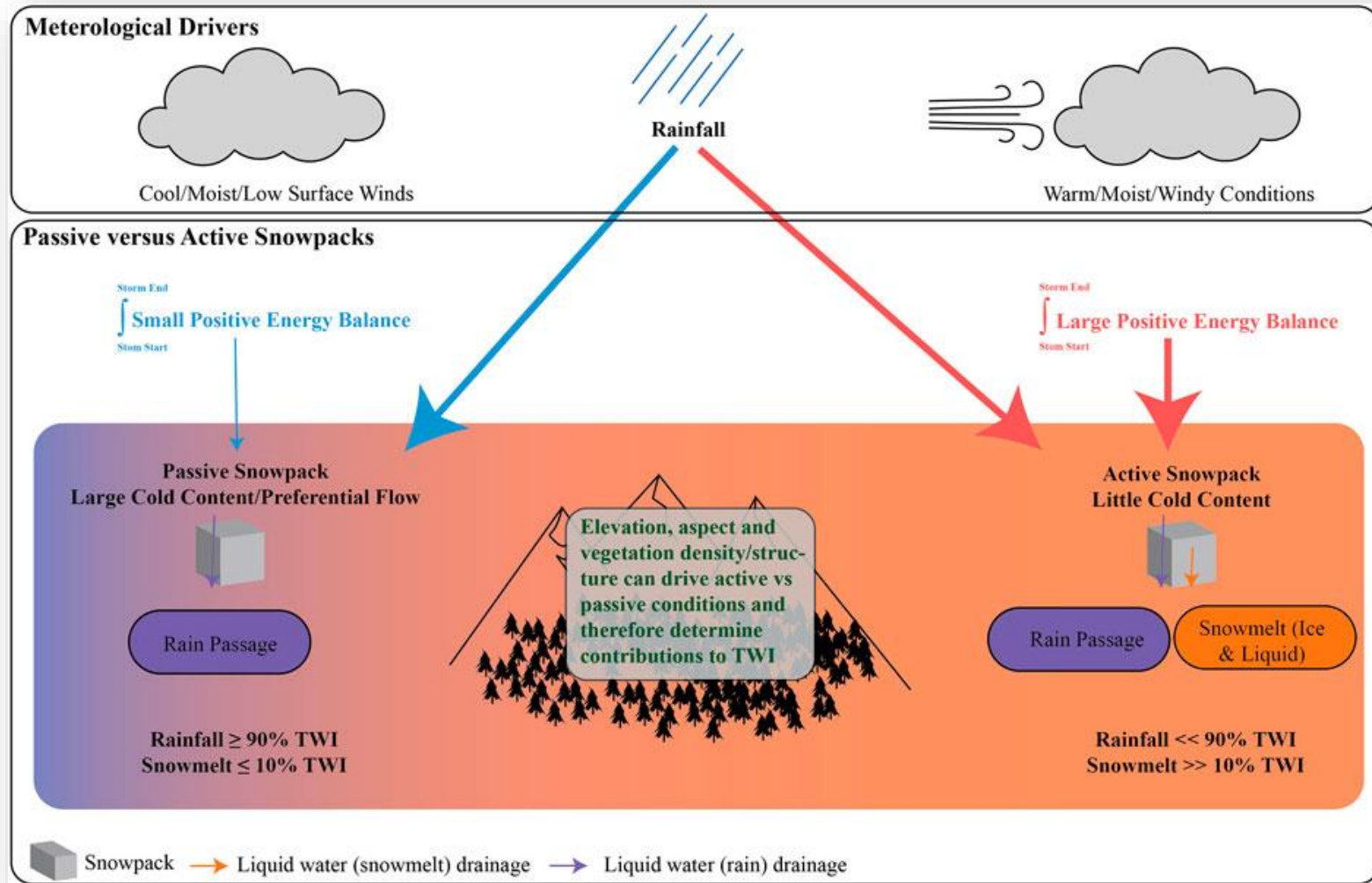
La foto non è rappresentativa

Manto nevoso attivo

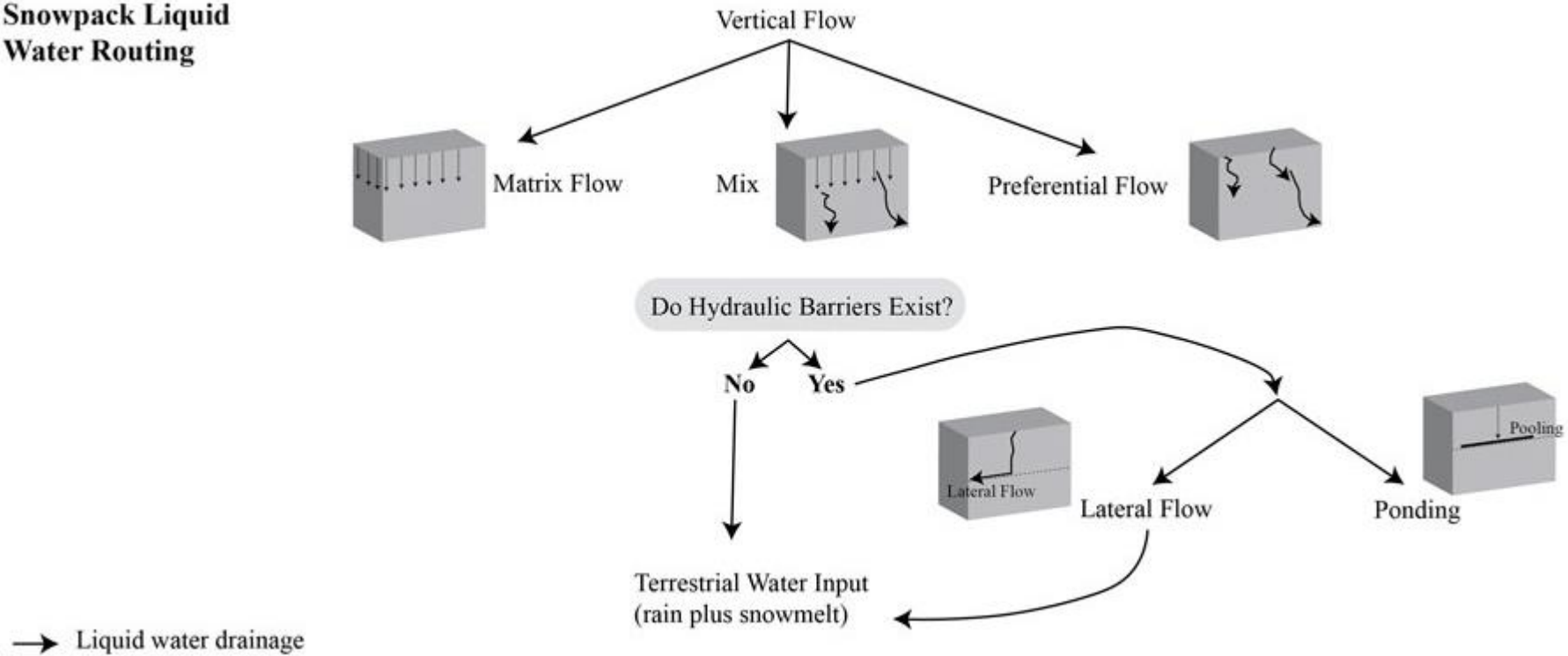
- I **manti nevosi attivi** producono volumi di neve fusa relativamente grandi (vale a dire, contribuendo $\gg 10\%$.)
- Tuttavia in un manto **nevoso passivo (freddo)** e **un bilancio energetico positivo** trasformeranno un manto nevoso **passivo** in uno **attivo**, generando la fusione della neve.



Manto passivo o attivo



Snowpack Liquid Water Routing



Water Outflow Timing

Preferential Flow Paths/Lateral Flow + Satisfied Irreducible Liquid Water Content



Matrix Flow/Water Ponding + Unsatisfied Irreducible Liquid Water Content (i.e., Water Retention)



Movimenti dell'acqua nelle neve

- La percolazione all'interno di un materiale poroso è guidata dall'energia potenziale del fluido, ma modulata dalla conduttanza (secondo la legge di Darcy).



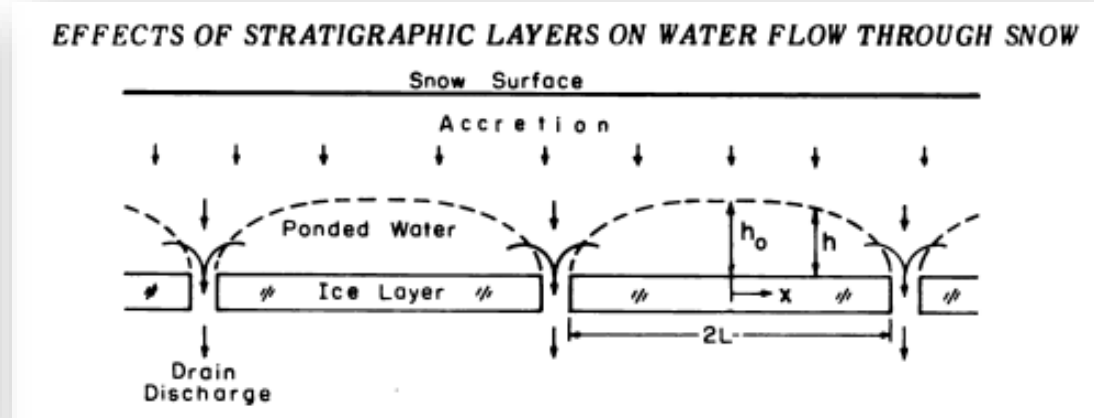
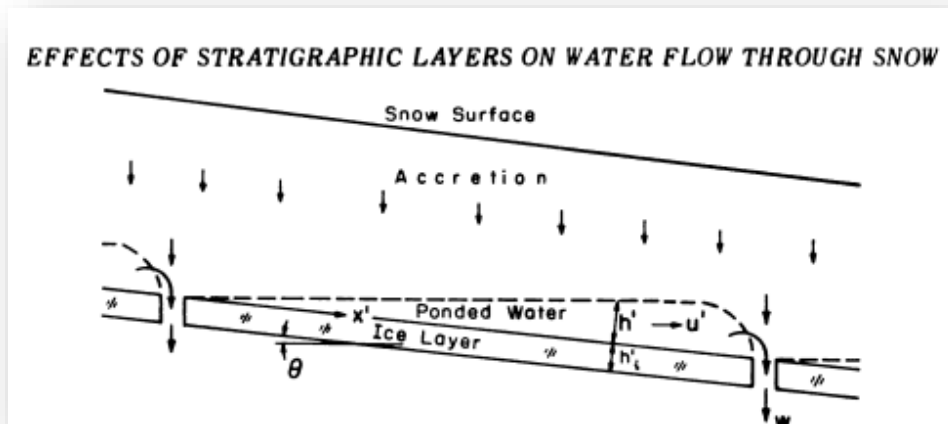
In **assenza di una barriera idraulica**, i gradienti di energia verticali (ovvero la gravità) inducono un flusso verticale. Il flusso verticale rientra in due classi di meccanismi:

- 1) **flusso di matrice;**
- 2) **flusso preferenziale.**

Movimenti dell'acqua nelle neve

Studi con traccianti di coloranti hanno rivelato che:

- 1) possono essere presenti elementi sia della **matrice** (solitamente in superficie) sia del flusso preferenziale (solitamente più in profondità),
- e che 2) il flusso **preferenziale** può "accumularsi" o generare un flusso laterale se sono presenti barriere idrauliche (lenti di ghiaccio o barriere capillari). Sfrutta le differenze di densità e convogliano l'acqua grazie a una minore porosità





Matrice

Percolazione

Movimenti dell'acqua nelle neve

i manti nevosi stratificati sembrano più propensi a generare un flusso preferenziale, producendo tempi di risposta al deflusso più rapidi

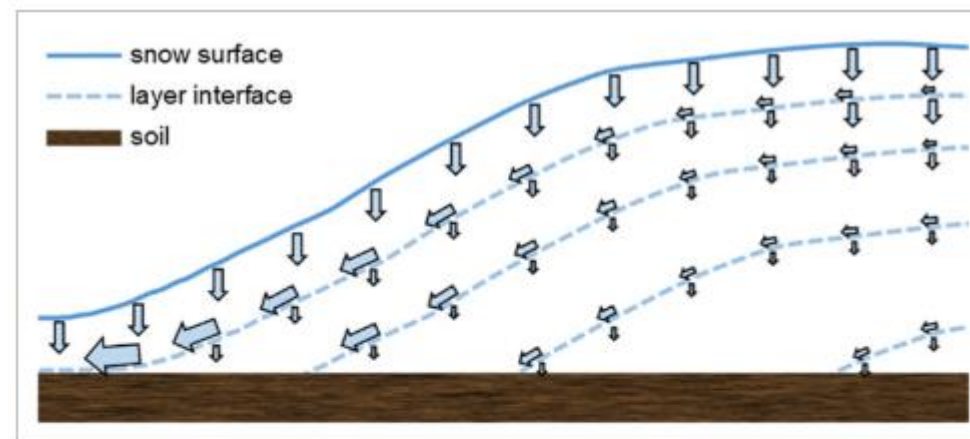


Figura 1

Apri nel visualizzatore di figure | Presa della corrente

Modello concettuale dei percorsi di flusso dell'acqua di scioglimento della neve lungo le interfacce dello strato nevoso con pendenze diverse rispetto alla superficie del terreno. Ciò si traduce in un flusso accumulato in punti con minore spessore di neve.

<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/2017WR020866>

Valanghe da slittamento- classificazione

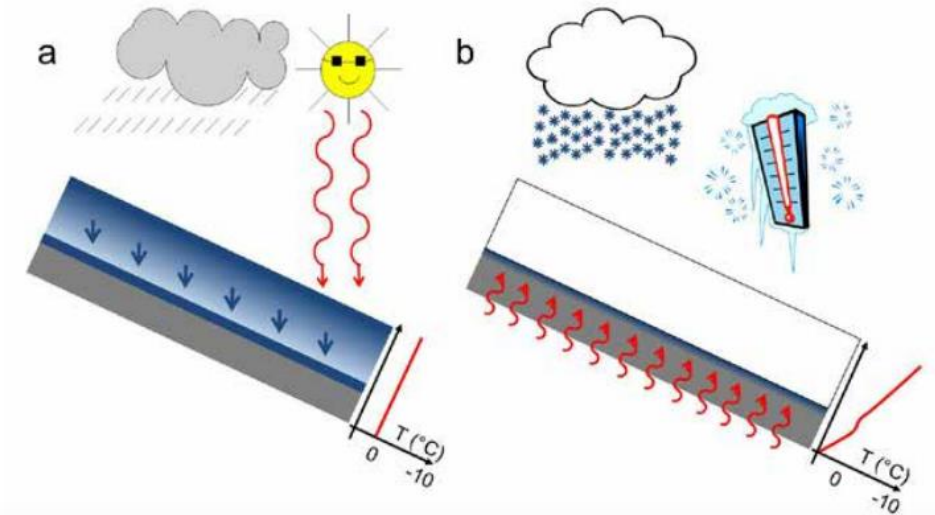
- **Gli eventi di superficie** (acqua interfacciale generata in superficie) **sono valanghe in cui l'acqua all'interfaccia suolo-neve ha avuto origine dalla superficie della neve attraverso la percolazione di acqua di fusione o pioggia**
- **Gli eventi di interfaccia** (acqua interfacciale generata dall'interfaccia) sono valanghe in cui lo strato di acqua liquida si è formato all'interfaccia suolo-neve. Possibili fonti d'acqua per gli eventi di interfaccia includono la fusione geotermica dello strato di neve più basso o l'aspirazione capillare di acqua dal suolo nella neve a causa delle proprietà idrauliche del suolo e della neve



Valanghe da slittamento- analisi di 2 casi

- Negli eventi pioggia su neve (25 dicembre 2023, 27 gennaio 2024), abbiamo osservato che la pioggia è penetrata nel terreno attraverso il manto nevoso.
- l'acqua fredda percolante ha anche causato una breve diminuzione della temperatura del terreno
- **Ciò indica che l'acqua ha raggiunto l'interfaccia tra suolo e neve per circa 0,5-1,5 giorni prima del distacco della valanga.**

<https://tc.copernicus.org/articles/19/1453/2025/>



EGU European Geosciences Union

The Cryosphere

ARTICLES & PREPRINTS SUBMISSION POLICIES PEER REVIEW EDITORIAL BOARD ABOUT EGU PUBLICATIONS

Article

Articles / Volume 19, Issue 3 / TC, 19, 1453–1468, 2025

<https://doi.org/10.5194/tc-19-1453-2025>
© Author(s) 2025. This work is distributed under the Creative Commons Attribution 4.0 License.

Research article |

01 Apr 2025

The source, quantity, and spatial distribution of interfacial water during glide-snow avalanche release: experimental evidence from field monitoring

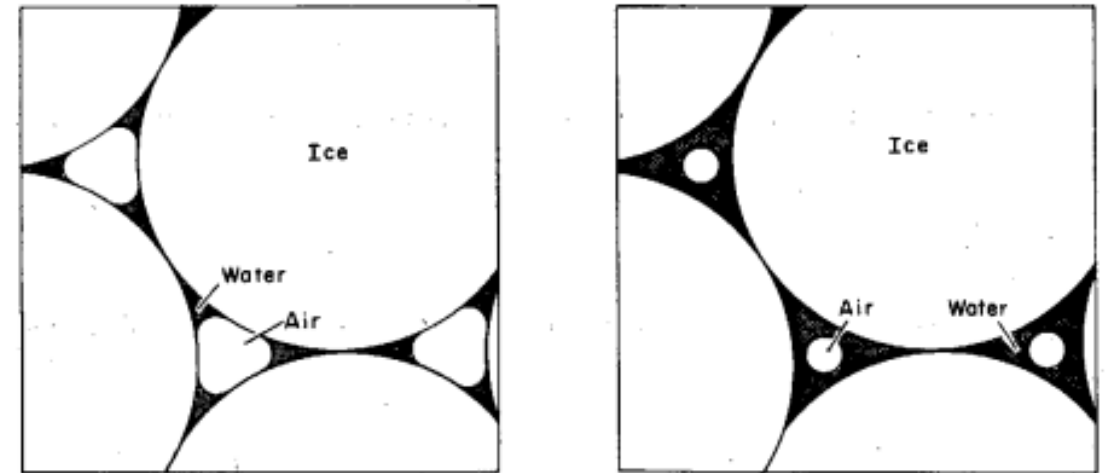
Amelie Fees , Michael Lombardo, Alec van Herwijnen, Peter Lehmann, and Jürg Schweizer

Download
▶ Article (4949 KB)
▶ Full-text XML
▶ BibTeX
▶ EndNote

Short summary
Glide-snow avalanches release at the soil-snow interface due to a loss of friction, which is...

Fisica della neve

- Il comportamento della neve bagnata determina il rilascio delle valanghe e il deflusso dell'acqua nei manti nevosi stagionali (Colbeck, 1973)



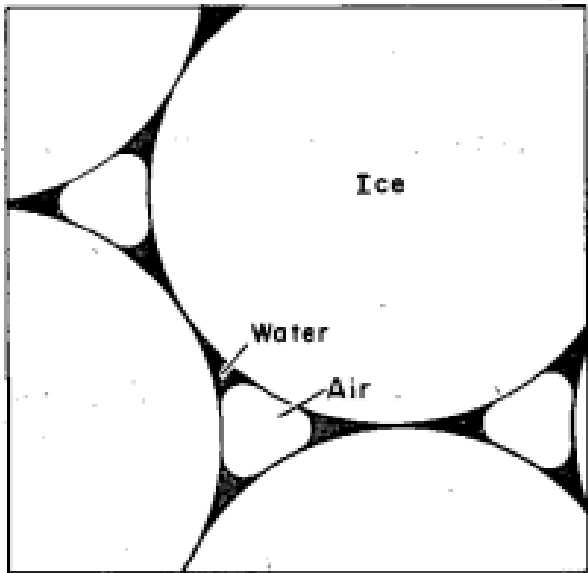
a. *Pendular regime.*

b. *Funicular regime.*

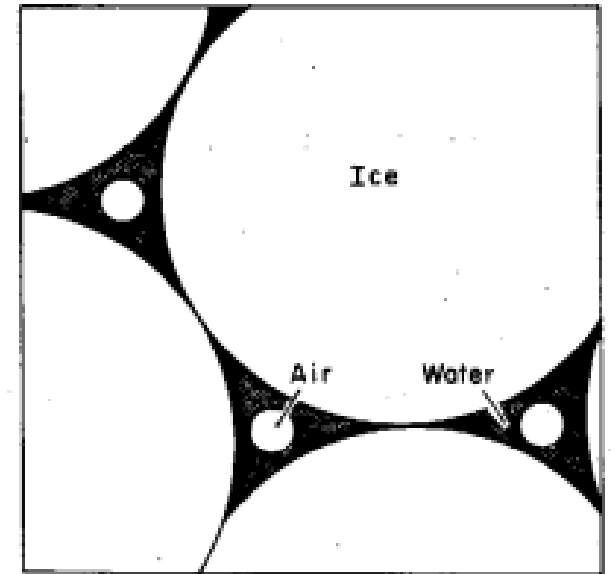
Figure 1. Idealized view of wet snow in the pendular and funicular modes of saturation.

Fisica della neve bagnata - *accenni*

I regimi della saturazione della neve bagnata, vengono distinti come **pendulari** e **funicolari**, cioè a **bassa** o **elevata** saturazione di acqua.

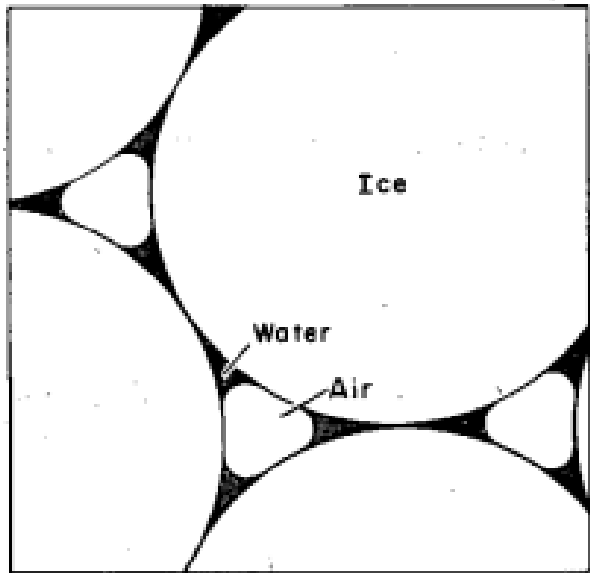


a. *Pendular regime.*



b. *Funicular regime.*

Fisica della neve bagnata – *regime pendolare*



a. *Pendular regime.*

A bassi valori di saturazione, il volume d'acqua è maggiore del requisito capillare ma inferiore a quello necessario per far coalescere i grani (unione).

La fase gassosa esiste in percorsi più o meno continui.

Massimo limite del 8% del volume dei pori, oltre diventa funicolare.

La resistenza della neve è migliore più bassa è la saturazione .

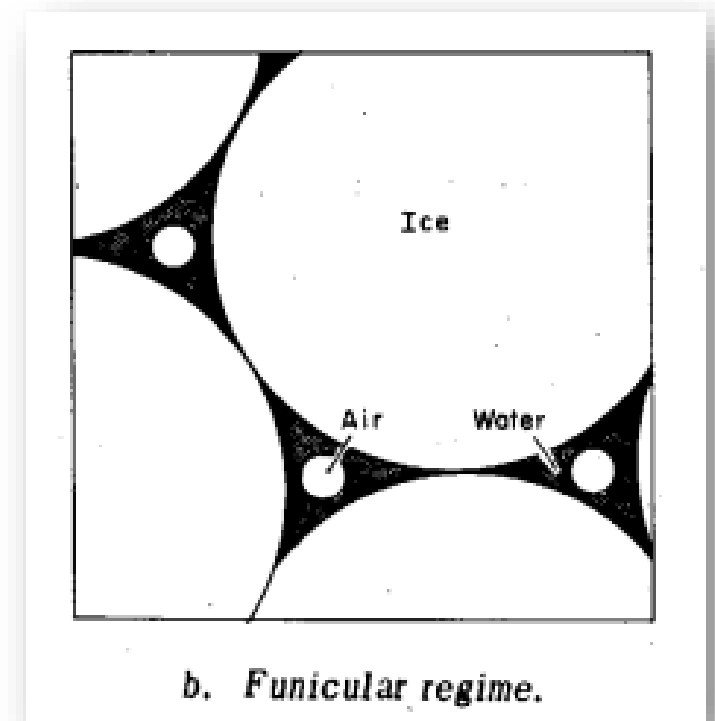
Fisica della neve bagnata – *regime funicolare*

Nel regime funicolare, le “particelle” d’acqua si uniscono fra di loro, formando “bolle” di aria intrappolate tra i grani di ghiaccio. La permeabilità aumenta.

I processi portano a grani grandi.

Si ha una rapida perdita di resistenza meccanica e una rapida densificazione.

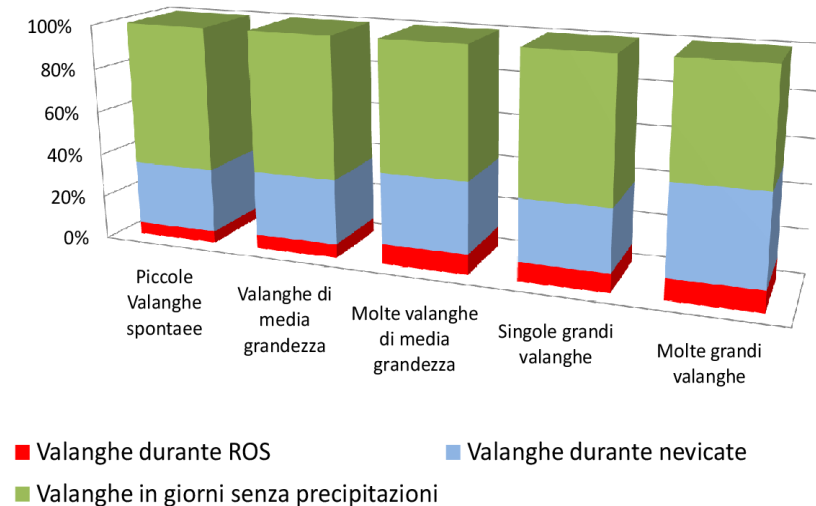
Diventano gli strati di scorrimento delle valanghe di neve bagnata su strati impermeabili.



Valanghe di neve bagnata

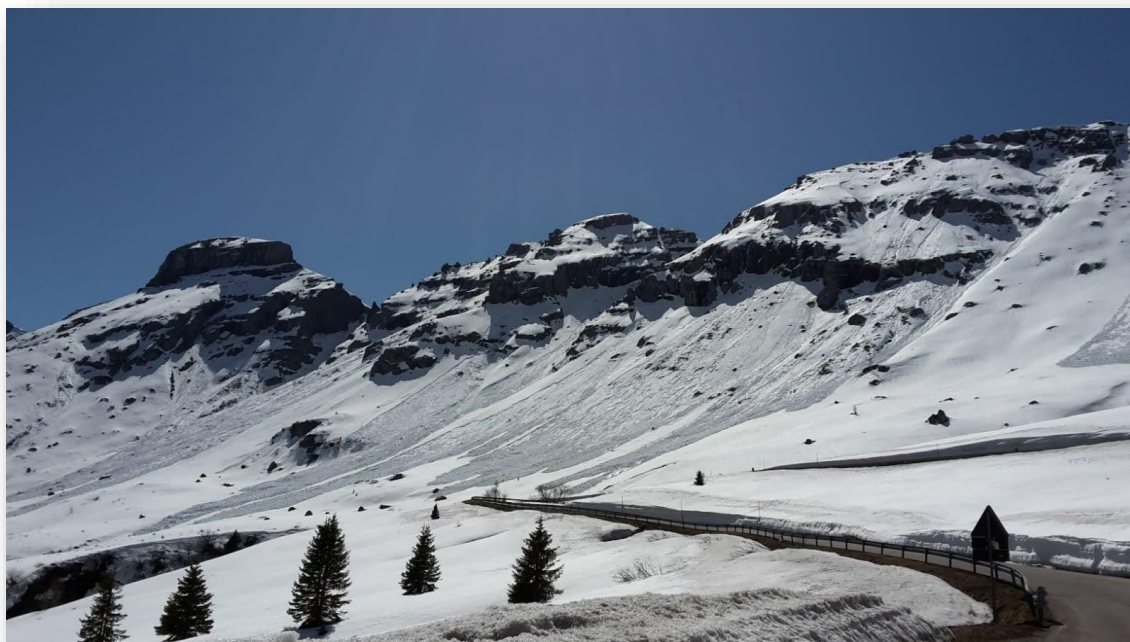


Tipologia di valanghe osservate 2016-2025

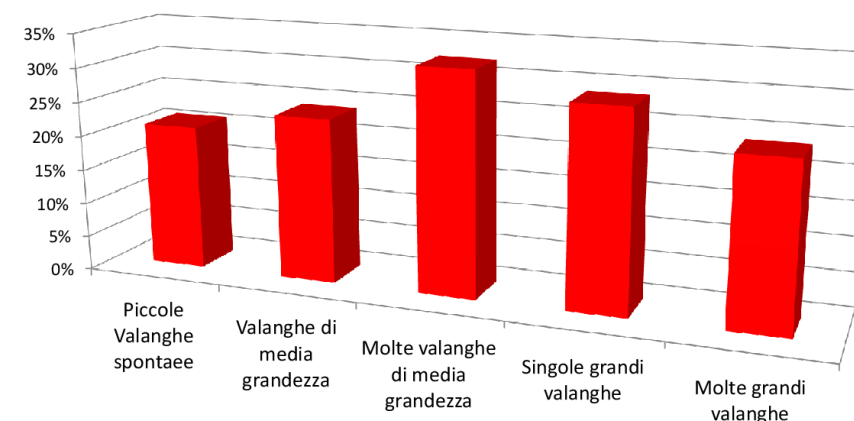


L'osservazione della attività valanghiva durante una precipitazione è sempre molto complessa e difficile e ostacolata dalla visibilità

Valanghe di neve bagnata



**Tipologia di eventi durante le precipitazioni-
eventi ROS**



In occasione delle precipitazioni (ROS + neve) gli eventi di valanghe di media grandezza o singole grandi valanghe evidenziano una intensità maggiore rispetto alla media durante i ROS

Concludendo

- Gli eventi di pioggia sulla neve hanno effetti diversi sul manto nevoso in funzione se è di tipo “attivo” o “passivo”
- La fusione del manto nevoso dipende dai flussi turbolenti, dalla radiazione ad onde lunghe, dal flusso geotermico, calore sensibile trasportato dalla pioggia
- Più frequenti valanghe su manti nevosi “caldi” per una risposta più veloci. Manti freddi possono diventare caldi
- Più frequenti valanghe su nevi recenti o effimere
- In funzione delle “barriere idrauliche” nel manto nevoso (strati compatti) e della presenza di regimi funicolari ($> 8\%$), piani di scorrimento di valanghe
- Negli eventi di ROS maggior frequenza di valanghe più grandi
- In due casi studio le valanghe di slittamento sono iniziate 1-2 gg dopo la saturazione del terreno

An aerial photograph of Italy with its regional boundaries outlined in white. The map uses a color gradient where darker green indicates higher elevation and reddish-brown indicates lower elevation. A yellow rectangular box is centered over the Italian peninsula, containing the text '• Grazie per l'attenzione'.

• Grazie per l'attenzione