



Quando la pioggia incontra la neve: effetti sugli ecosistemi

Michele Freppaz
Università di Torino

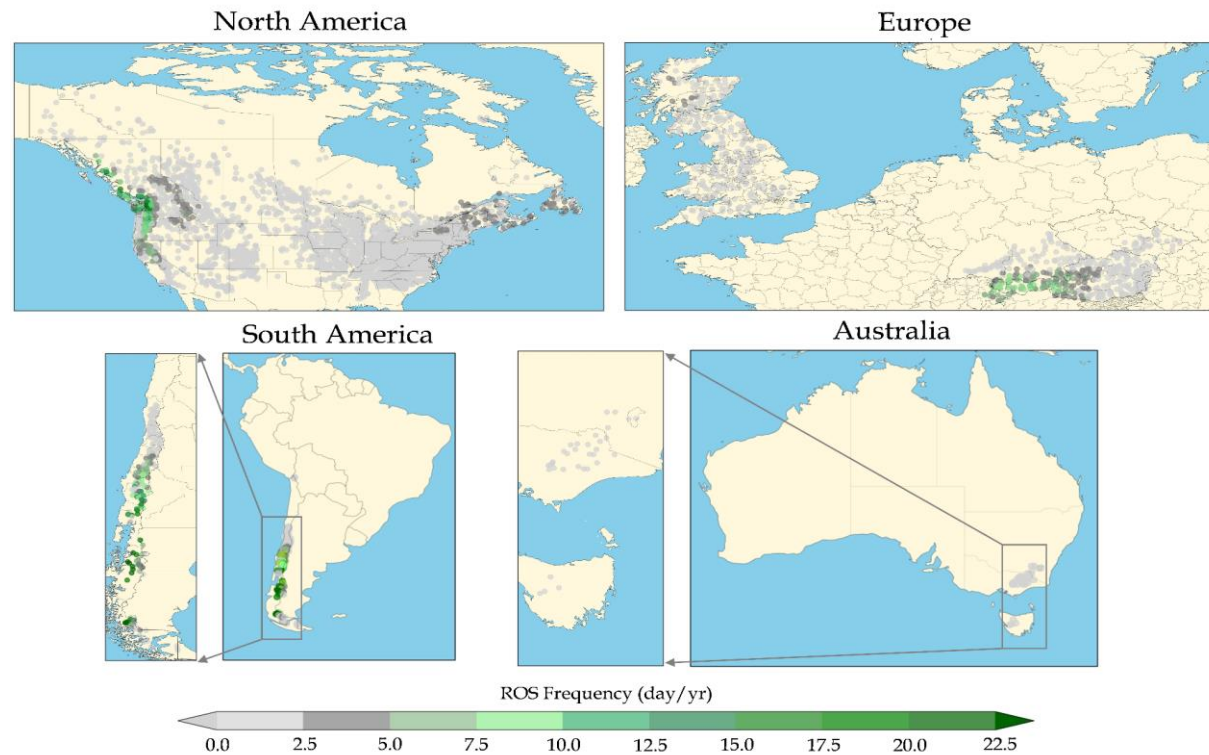


Torino, 20 novembre 2025



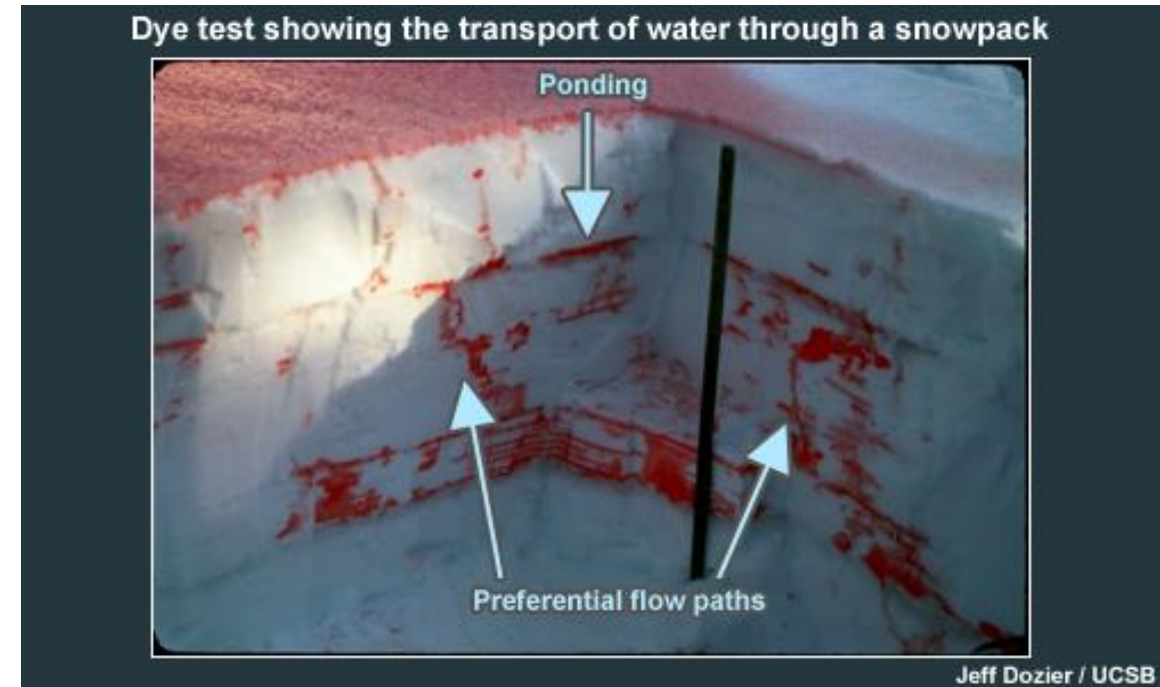
Distribuzione eventi ROS

Quando la pioggia cade sul manto nevoso genera eventi di pioggia su neve (*rain-on-snow*, ROS). I fenomeni ROS influenzano gli ecosistemi di numerose regioni, tra cui l'ovest degli Stati Uniti, l'Europa e l'Asia.



Effetti sul manto nevoso

- La pioggia attraversa in modo irregolare il manto nevoso, formando zone sature, flussi preferenziali e flussi laterali.
- Il 15-25% di una sezione trasversale del manto nevoso può trasmettere acqua ed essere quasi isoterma, mentre la restante area può essere più fredda e con meno acqua liquida.

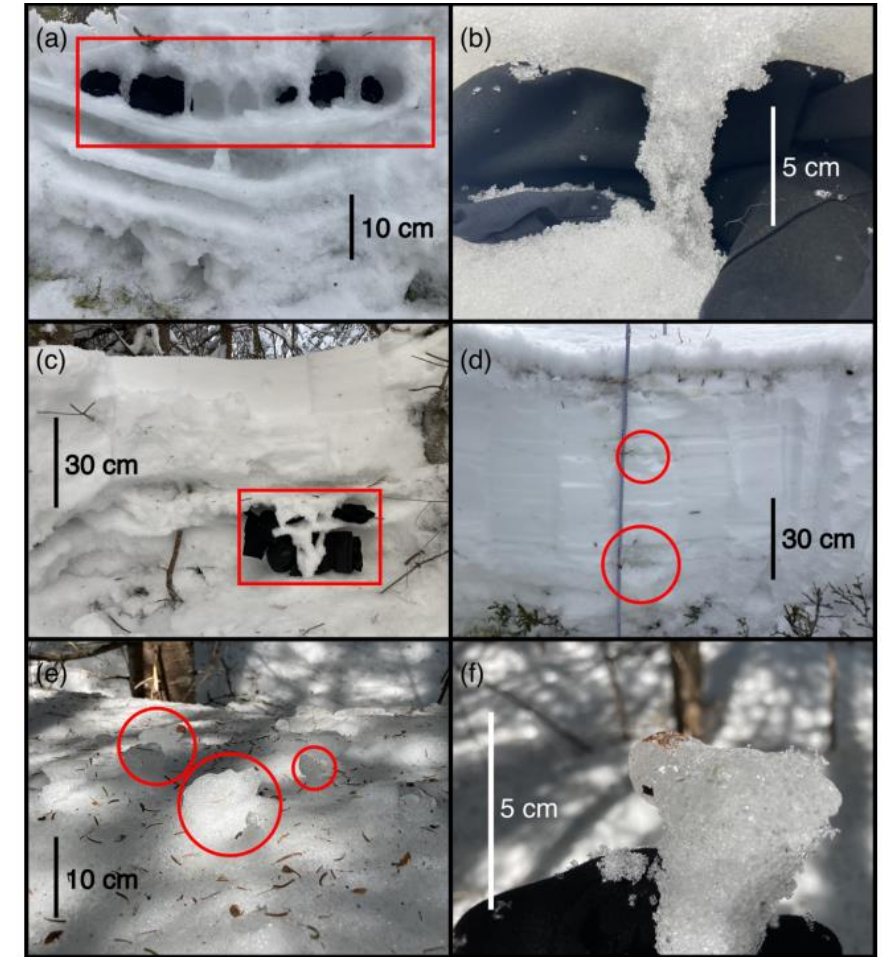


Kattelman R. Dozier J. Observations of snowpack ripening in the Sierra Nevada Journal of Glaciology 45(151):409-416 (1999)

McGurk, B. J. and P. Marsh, Flow-finger continuity in serial thick-sections in a melting Sierran snowpack, in Biogeochemistry of Seasonally Snow-Covered Catchments, edited by K.A. Tonnessen, M.W. Williams, and M. Tranter, pp. 81-88, International Association of Hydrological Sciences, Wallingford, Oxfordshire, UK, 1995.

Effetti sul manto nevoso

- Croste e strati di ghiaccio.
- Canali di percolazione: < numero, > diametro negli strati più profondi (grani di dimensione maggiore).
- Tasche di acqua liquida.
- < velocità percolazione in manto nevoso freddo (pochi cm/ora).
- > velocità di percolazione in manto nevoso umido.
- Flussi preferenziali (PFP).



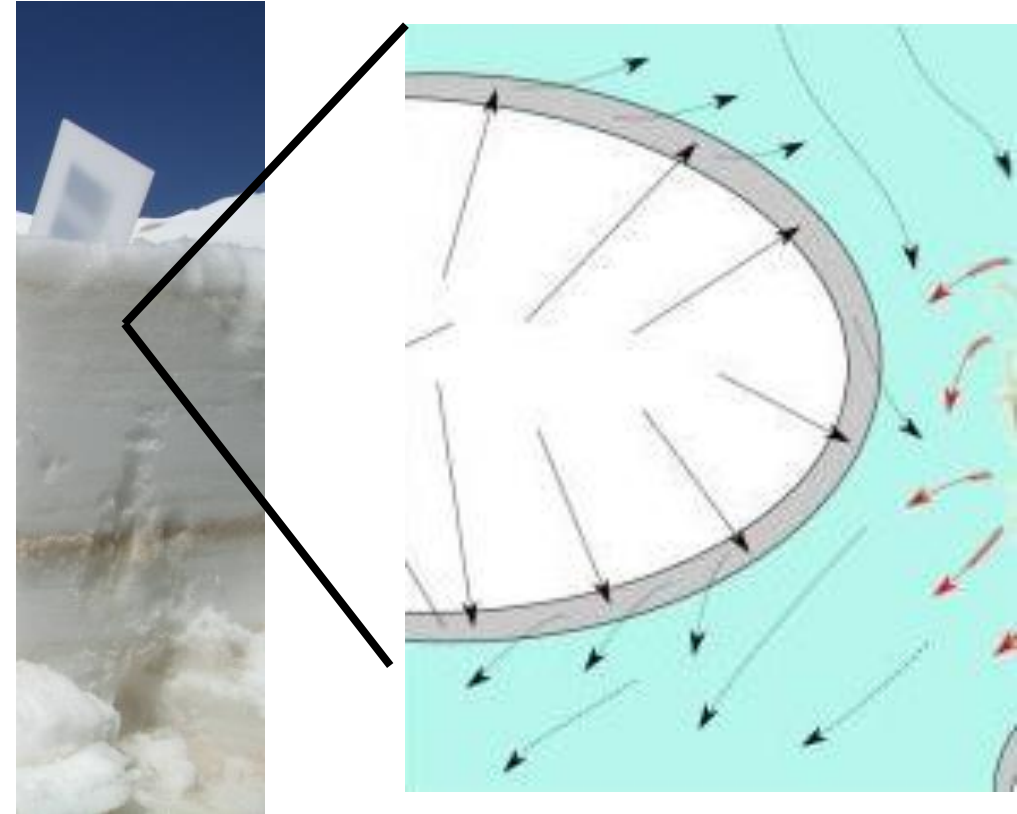
Yang et al., 2025 Field study for the impact of rain-on-snow events on snow cover during snow accumulation period. *iScience* 28(11) 113634

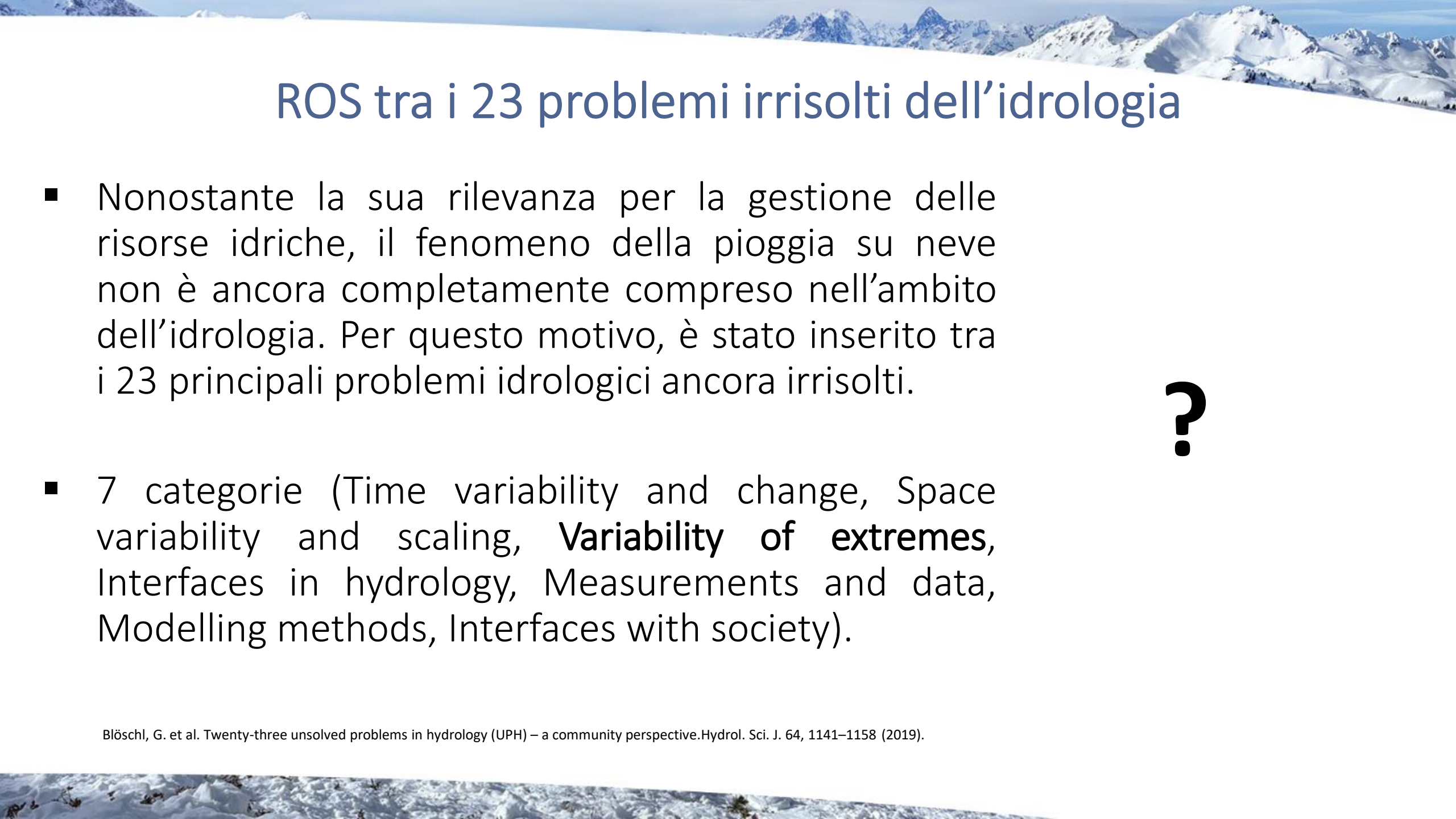
Groisman P, Knight R, Razuvaev V, Bulygina O and Karl T R 2006 State of the ground: climatology and changes during the past 69 years over Northern Eurasia for a rarely used measure of snow cover and frozen land *J. Clim.* **19** 4933–55

Bouchard et al., 2024. Impact of rain-on-snow events on snowpack structure and runoff under a boreal canopy. <https://doi.org/10.5194/egusphere-2023-3012>

Modalità rilascio specie chimiche

- La formazione di flussi preferenziali (PFP) all'interno del manto nevoso, condiziona la modalità di rilascio delle specie chimiche.
- Riduzione dello *ionic pulse* in quanto gli eventi ROS determinano una maggiore velocità di percolazione e una conseguente riduzione dei tempi di contatto dell'acqua con la superficie dei grani.





ROS tra i 23 problemi irrisolti dell'idrologia

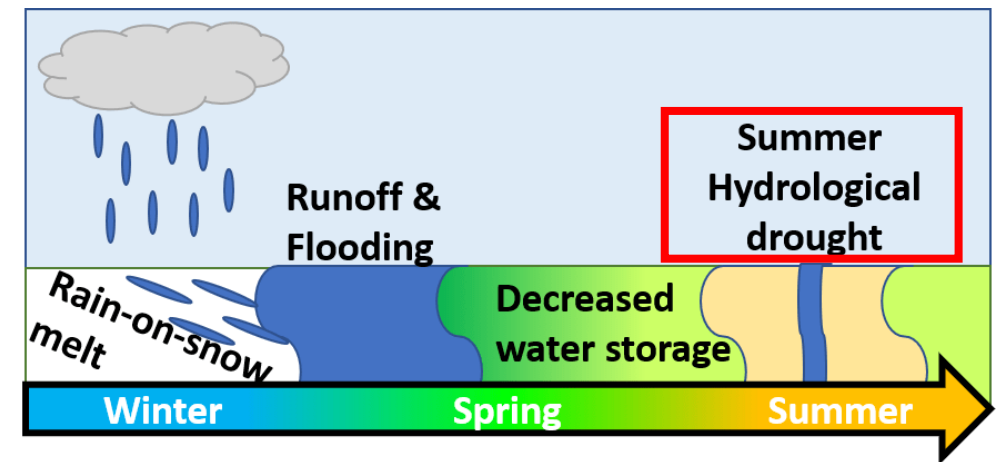
- Nonostante la sua rilevanza per la gestione delle risorse idriche, il fenomeno della pioggia su neve non è ancora completamente compreso nell'ambito dell'idrologia. Per questo motivo, è stato inserito tra i 23 principali problemi idrologici ancora irrisolti.
- 7 categorie (Time variability and change, Space variability and scaling, **Variability of extremes**, Interfaces in hydrology, Measurements and data, Modelling methods, Interfaces with society).

?

ROS: conseguenze a lungo e breve termine

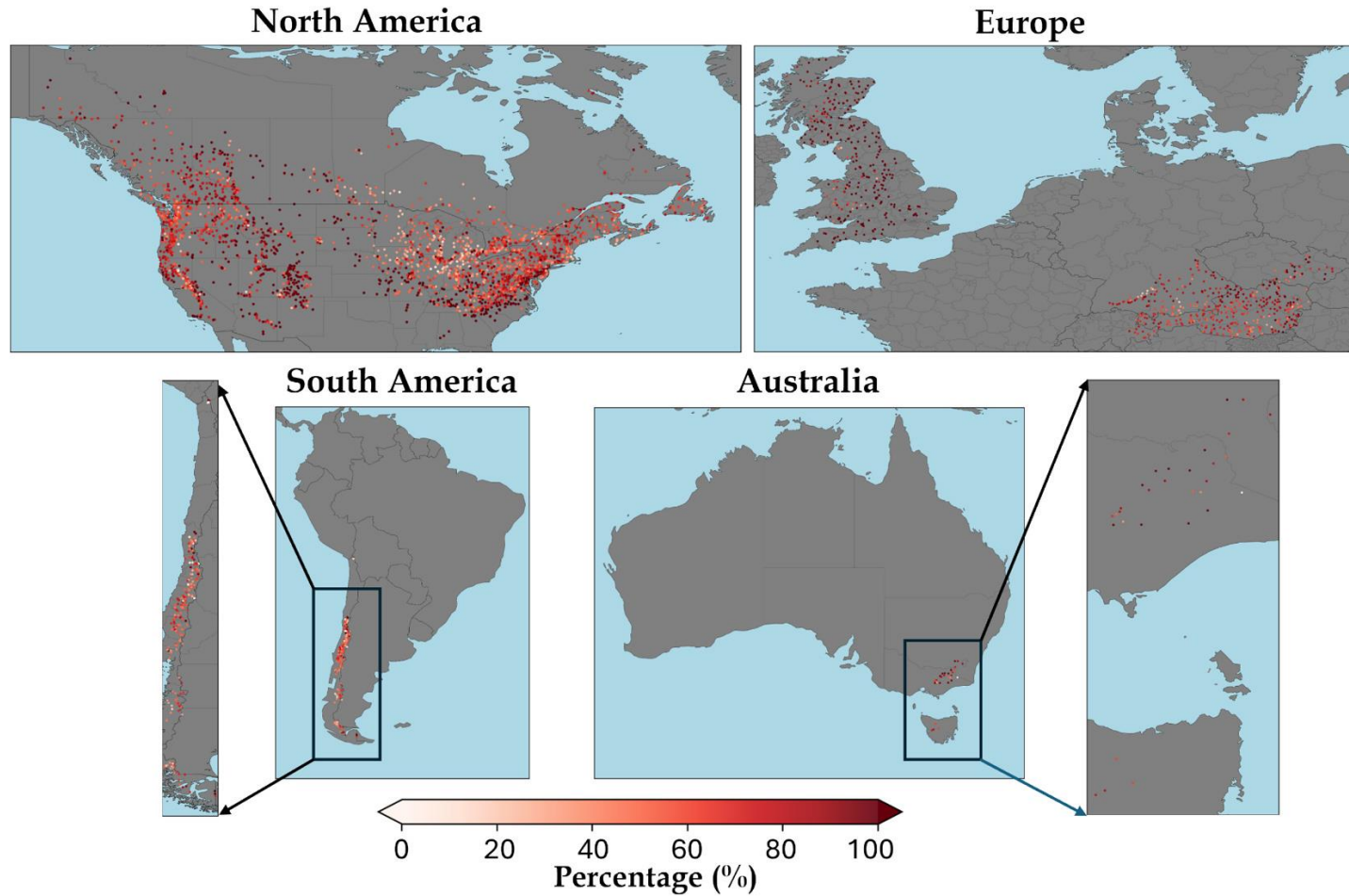
Gli eventi di pioggia su neve introducendo *precipitazioni calde* all'interno del manto nevoso, accelerano il processo di fusione, determinando:

- (1) riduzione dello spessore e estensione del manto nevoso
- (2) anticipo fusione primaverile
- (3) eventi di piena fluviale
- (4) eventi franosi



<https://blogs.iu.edu/sciu/2021/04/24/rain-on-snow/>

Effetti: le piene fluviali



Percentuale di
eventi ROS che
causano piene
fluviali.

Effetti: le piene fluviali

Le piene causate da eventi di pioggia su neve (rain-on-snow floods) sono riconosciute come una delle cinque tipologie di piena che si verificano nei sistemi fluviali montani a clima temperato (long-rain floods, short-rain floods, flash floods, **rain-on-snow floods**, and snowmelt floods)



MeteoSwiss & ETH Zurich (2025): Climate CH2025 - Scientific Report. Federal Office of Meteorology and Climatology MeteoSwiss, Zurich, <https://doi.org/10.18751/climate/scenarios/ch2025/sr/1.0/>
Rossler et al., 2014 Hydrol. Retrospective analysis of a nonforecasted rain-on-snow flood in the Alps – a matter of model limitations or unpredictable nature? Earth Syst. Sci., 18, 2265–2285, 201
Merz & Blöschl, 2003 A process typology of regional floods. Water Resources Research VOL. 39, NO. 12, 1340,

Effetti: le frane

- L'acqua proveniente dalla fusione del manto nevoso e dalla pioggia satura velocemente il suolo.
- Innesco di debris flow e frane superficiali.



Figure 4.15: **Debris fan in the Lötschental caused by combined rain-snow flood event, 2011** © Jules Seiler Geoplan AG Source: [WSL](#)

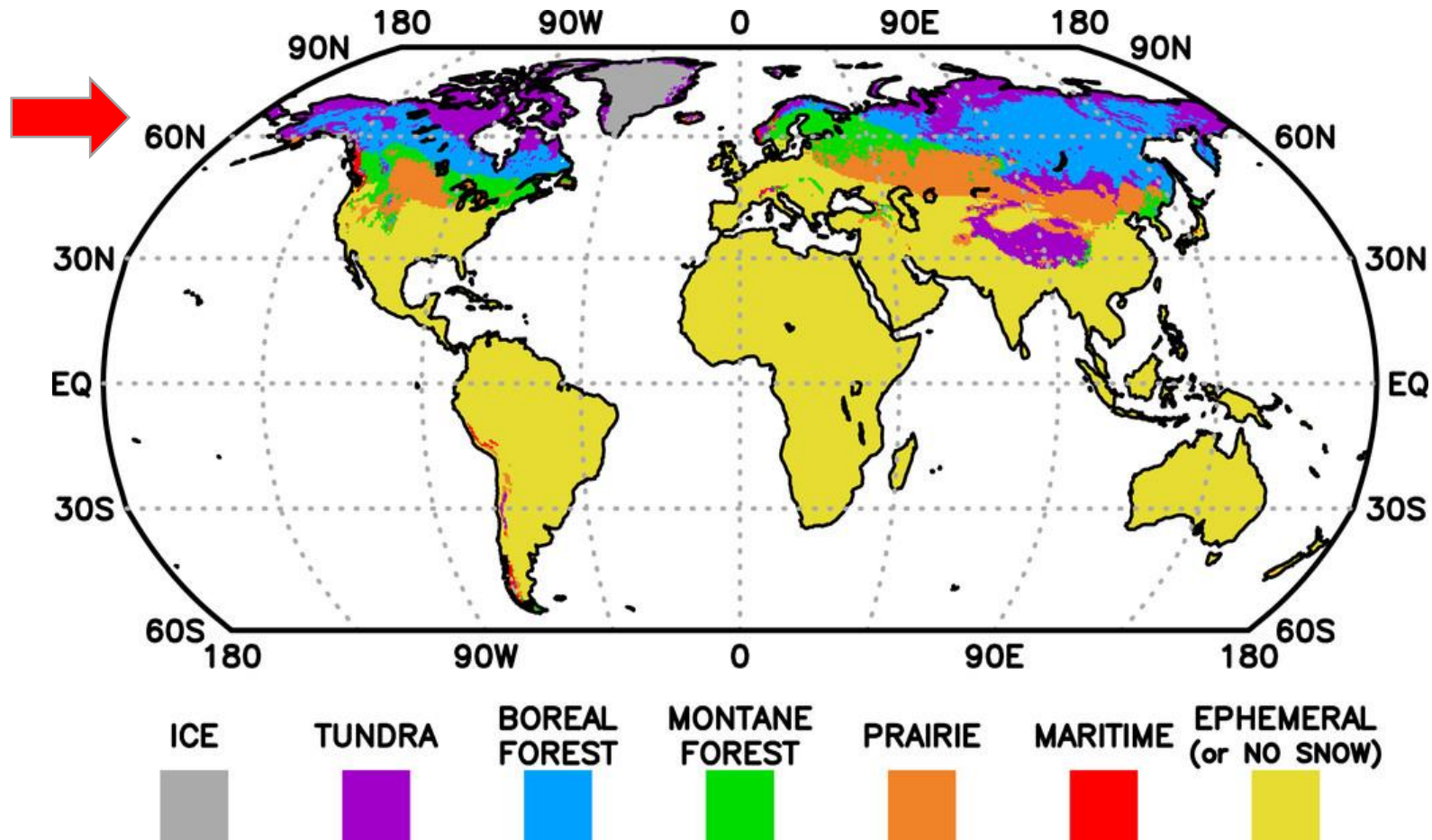
MeteoSwiss & ETH Zurich (2025): Climate CH2025 - Scientific Report. Federal Office of Meteorology and Climatology MeteoSwiss, Zurich, <https://doi.org/10.18751/climate/scenarios/ch2025/sr/1.0/>

Harr R.D., 1981 Some characteristics and consequences of snowmelt during rainfall in western Oregon. Journal of Hydrology, 53 (1981) 277-304

Wulamu et al., 2024 Triggering mechanics and early warning for snowmelt-rainfall-induced loess landslide. [Scientific Reports](#) volume 14, Article number: 26787 (2024)

Chiarelli et al., 2023 Modeling snowmelt influence on shallow landslides in Tartano valley, Italian Alps. Science of the Total Environment vol. 856 Part. 1., 158772.

Effetti sulla temperatura del suolo in tundra artica



Global snow classification. Antarctica is mostly Ice and therefore not shown. Journal of Hydrometeorology 22, 11, 2021; [10.1175/JHM-D-21-0070.1](https://doi.org/10.1175/JHM-D-21-0070.1)

La neve della tundra artica

Recommended (adopted herein)	Sturm et al. (1995)	Physical environment	Snow property	Geographic description
Tundra	Tundra	Cold, windy	Shallow, hard wind slabs	High mountain and polar
Boreal Forest	Taiga	Cold, forested	Shallow, depth hoar	Subpolar
Montane Forest	Alpine	Warm, forested	Moderate depth, mixed types, warm snow	Mountains
Prairie	Prairie	Warm, windy	Shallow, soft wind slabs, some melting	Plains
Maritime	Maritime	Warm, high precipitation	Deep, wet	Coastal influence
Ephemeral	Ephemeral	Very warm	Always melting, intermittent, not persistent	Everywhere in autumn, always in temperate and subtropic locations

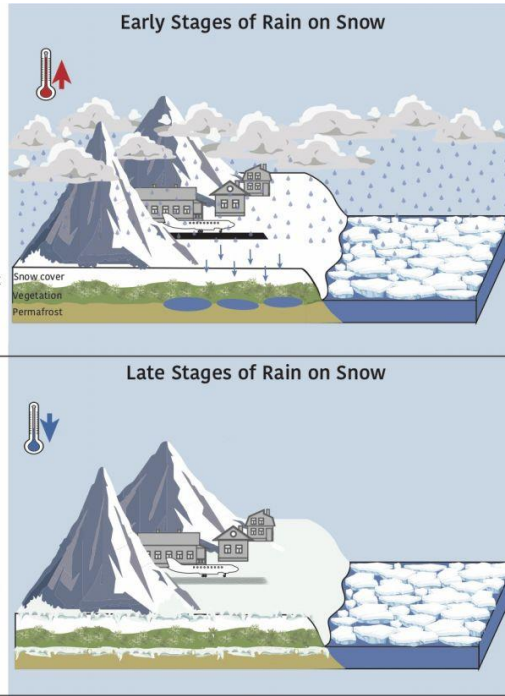
	<i>n</i>	Depth (m)	Depth SD (m)	Density (kg m ⁻³)	Density SD (kg m ⁻³)	SWE (m)	SWE SD (m)
All data	25 688	1.08	1.11	312	93	0.39	0.49
Tundra	31 %	0.44	0.25	284	75	0.13	0.08
Boreal Forest	6%	0.60	0.23	217	56	0.13	0.06
Montane Forest	18%	1.30	0.83	335	86	0.46	0.36
Prairie	13%	0.89	0.73	312	85	0.30	0.31
Maritime	32%	1.77	1.50	343	101	0.68	0.67
Ephemeral	—	—	—	—	—	—	—

Effetti sulla temperatura dei suoli a permafrost



Warm moist air moves into region bringing a rise in temperatures, overcast skies, and rainfall

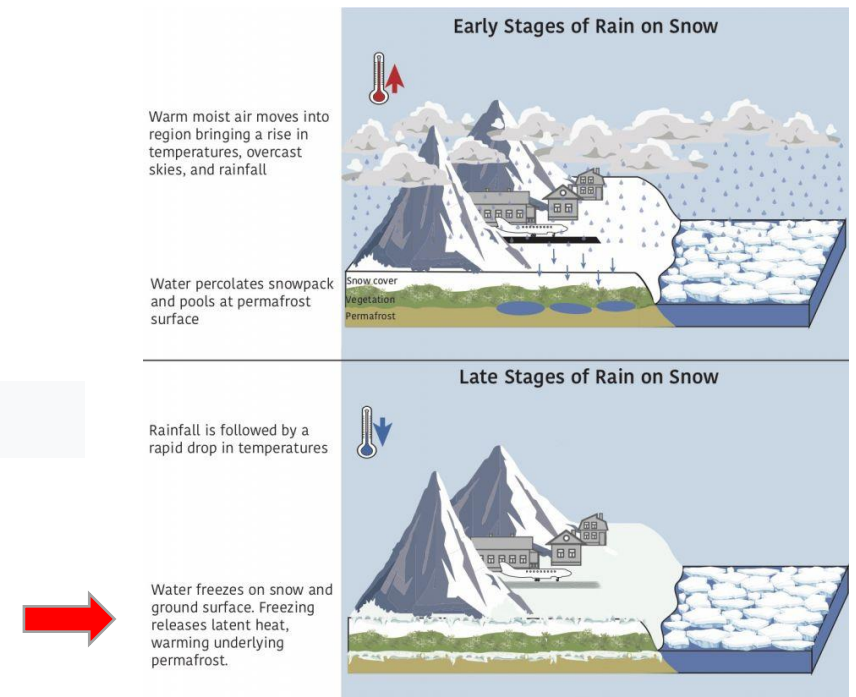
Water percolates snowpack and pools at permafrost surface



Effetti sulla temperatura dei suoli a permafrost

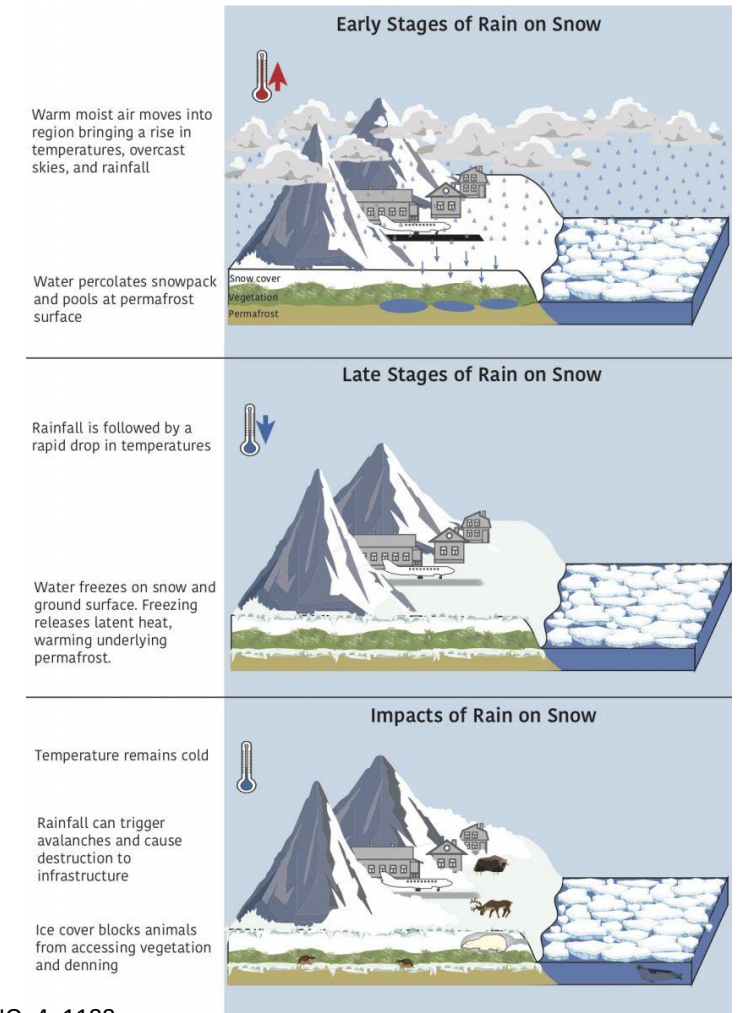
Scongelamento del permafrost

- Gli eventi ROS portano la temperatura del suolo a 0°C in aree a permafrost, in cui la temperatura sarebbe < 0°C.
- Quando l'acqua congela lentamente sulla superficie del suolo, cede calore latente e riscalda il suolo sottostante (e la neve sovrastante).

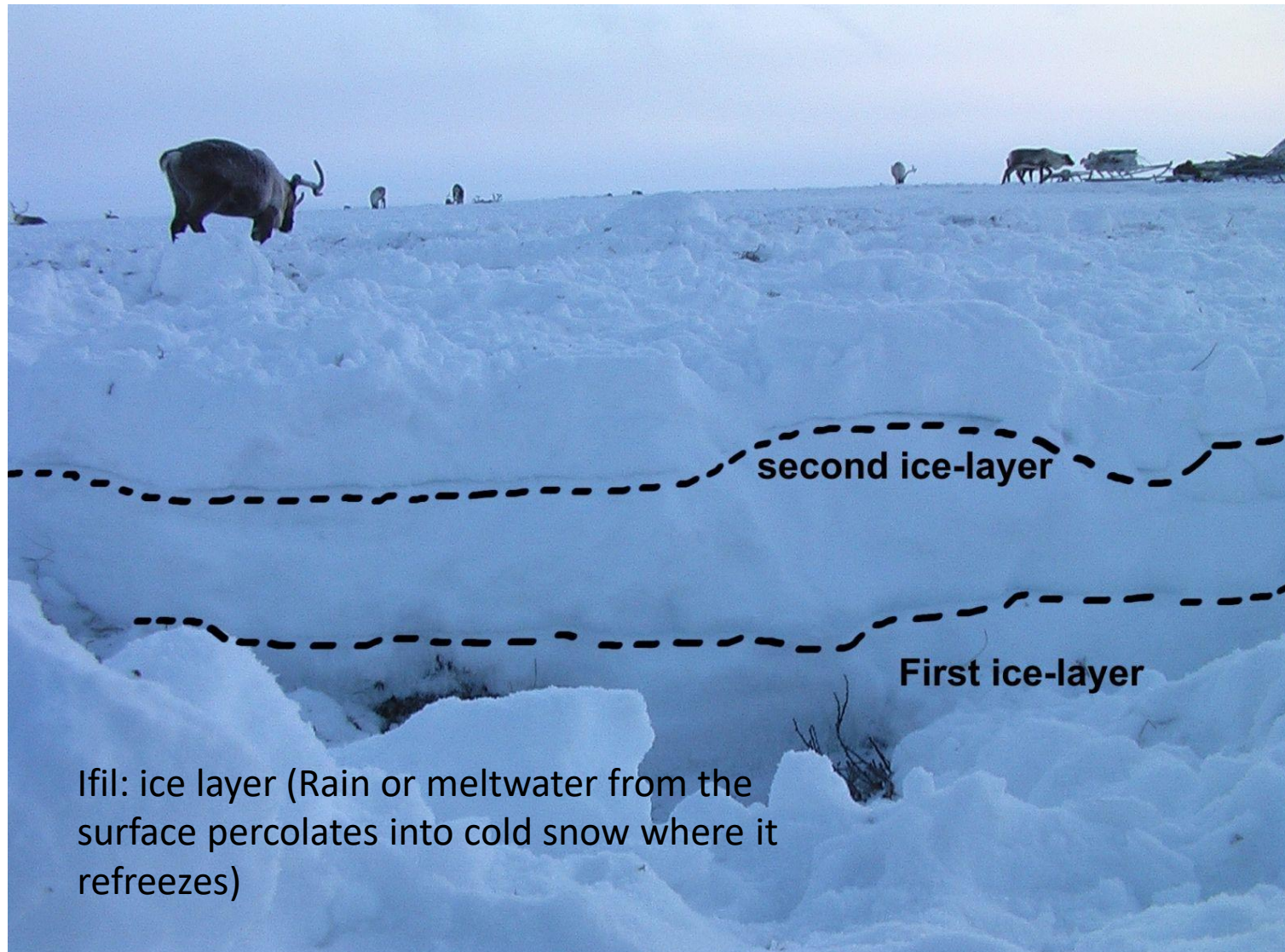


Formazione strati di ghiaccio

- Quando la pioggia cade sulla neve e ricingela, si formano strati di ghiaccio che impediscono a renne, buoi muschiati e altri animali di procurarsi il foraggio nel corso dell'inverno.



Formazione di strati di ghiaccio



locked pastures

Formazione di strati di ghiaccio

Formazione di strati di ghiaccio da pioggia (congelante)

Dicembre 2017



Parco Naturale Alpi Marittime ha aggiunto 5 nuove foto.

15 dicembre alle ore 9:32 · 📷

Pericolose le uscite con ciasstre e con gli sci. Indispensabili i ramponi
DECINE DI ANIMALI MORTI PER SCIVOLAMENTO SUL GHIACCIO

Decine di camosci, caprioli e alcuni stambecchi sono stati trovati morti in Valle Gesso dal personale del Parco e da residenti.

La causa è il ghiaccio persistente ed esteso che ha ricoperto la superficie nevosa in seguito alle precipitazioni a carattere piovoso sino ad alta quota associate alle temperature di diversi gradi sotto lo zero.

Tali condizioni critiche per la fauna non sono meno pericolose per le escursioni a piedi, con le ciasstre e con gli sci al di fuori di eventuali tracciati battuti. Finché non cambierà la situazione, in caso di uscite, sono indispensabili i ramponi.

Per la presenza di valanghe e di ghiaccio è stato segnalato il pericolo e chiuso temporaneamente l'itinerario che sale al Pian delle Gorre, in Valle Pesio.



Approfondimenti meteo-nivologici

aggiornamento del 18/12/2017

Innevamento

Nel fine settimana si sono ancora registrate deboli nevicate limitatamente alle zone di confine settentrionali e nord-occidentali, accompagnate da venti forti da ovest che hanno continuato a rimaneggiare la neve recente. Le nevicate registrate negli ultimi 10 giorni determinano un innnevamento in media o talvolta superiore alla media del periodo. Tuttavia l'ultima settimana è stata caratterizzata da un'intensa ventilazione che ha interessato l'intero arco alpino piemontese determinando, in particolare sulle zone di confine e oltre i 2200-2400m, ampie zone erose fino al terreno su creste e dorsali alternate ad accumuli in conche canali e avvallamenti, anche di dimensioni importanti.

Manto nevoso

Sui settori di confine N e W l'intensa attività eolica ha ridistribuito la neve al suolo, determinando un manto nevoso eterogeneo e di spessore variabile; si osservano zone erose alternate a cornici, lastroni duri dove l'azione del vento è stata più incisiva e accumuli, che poggiano su di un manto nevoso con strati basali deboli. Sulla fascia prealpina, dove l'azione del vento è stata meno intensa, tale situazione si osserva al di sopra dei 2200-2400m, pertanto gli accumuli potenzialmente pericolosi risultano meno diffusi. Sui settori meridionali, dove le ultime precipitazioni sono state piovose anche in quota, si trovano croste molto lisce e ben visibili, di spessore anche importante, che conferiscono un buon consolidamento al manto nevoso, ma costituiscono una superficie pericolosa per gli escursionisti e potrebbero mantenersi per diverso tempo diventando piani di scivolamento preferenziali se sepolti da una nuova nevicata.



Neve fradicia, satura d'acqua, anche a pendenze ridotte ($\sim 15^\circ$)

Slush flows

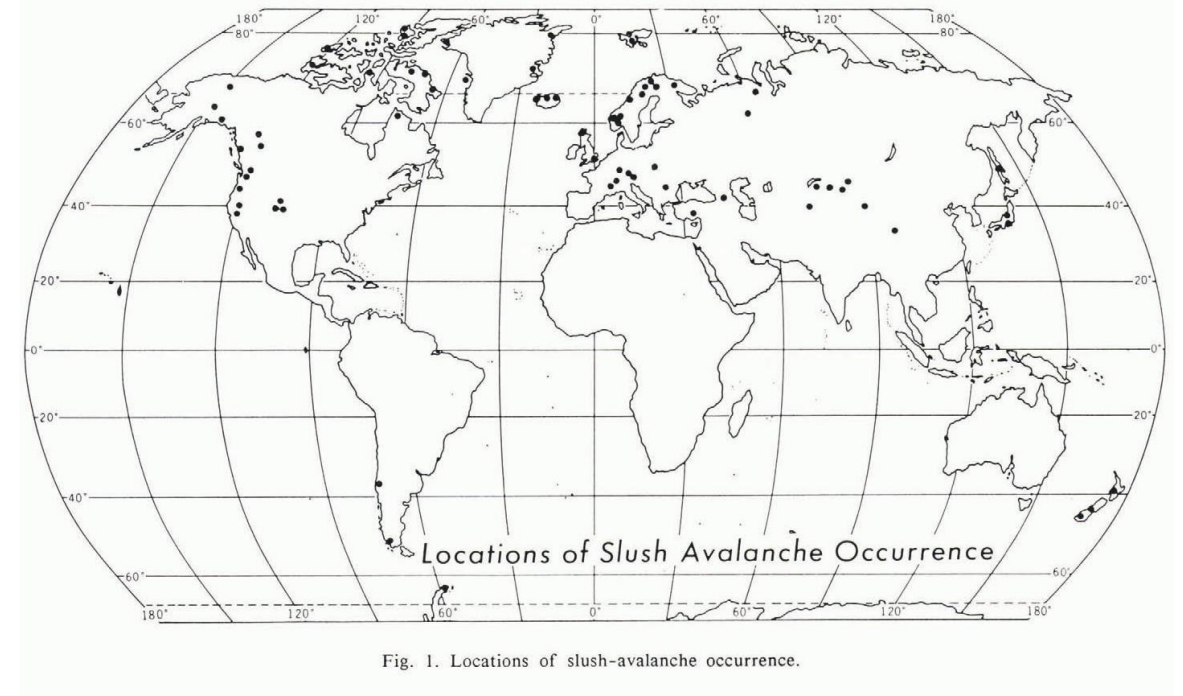
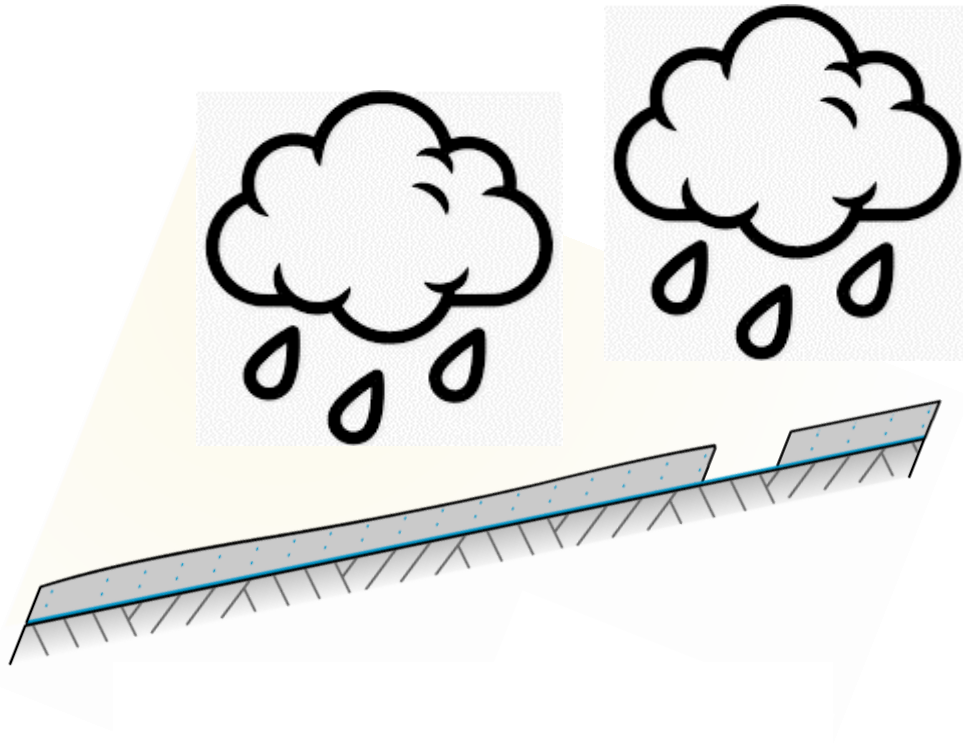


Fig. 1. Locations of slush-avalanche occurrence.

Parmentier T, Elvehøy H, Haugen T, Widforss A, Sund M 2024 An investigation of the development of liquid water content in different snow types as input to slushflow early warning."Proceedings, International Snow Science Workshop, Tromsø, Norway, 2024.

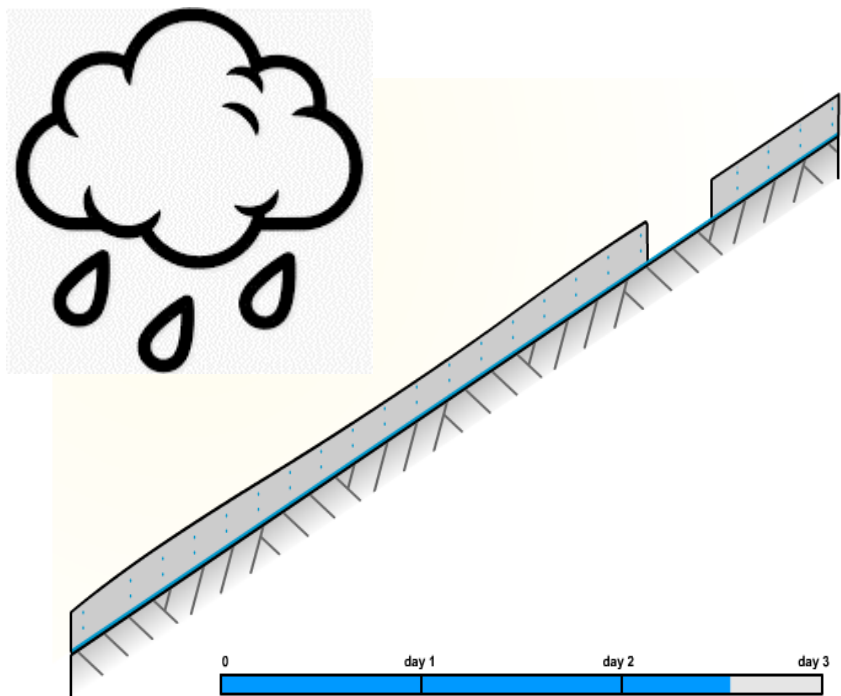
Slush flows



<https://unofficialnetworks.com/2025/02/01/norway-developing-new-methods-to-forecast-slush-avalanches-before-disaster-strikes/>

Glide-snow avalanches possono manifestarsi sia con un manto nevoso freddo e secco, sia con un **manto nevoso umido**.

Valanghe da slittamento



Stimberis & Rubin, 2011. Glide avalanche response to an extreme rain-on-snow event, Snoqualmie Pass, Washington, USA. *Journal of Glaciology* 57(203): 468-474

Valanghe da slittamento



23 Febbraio



27 Febbraio



1 Marzo

Maggioni, M., Godone, D., Frigo, B., Freppaz, M. Snow gliding and glide-snow avalanches: Recent outcomes from two experimental test sites in Aosta Valley (northwestern Italian Alps) (2019) Natural Hazards and Earth System Sciences, 19 (11), pp. 2667-2676. DOI: 10.5194/nhess-19-2667-2019

Ceaglio, E., Mitterer, C., Maggioni, M., Ferraris, S., Segor, V., Freppaz, M. The role of soil volumetric liquid water content during snow gliding processes (2017) Cold Regions Science and Technology, 136, pp. 17-29. DOI: 10.1016/j.coldregions.2017.01.007.

Stanchi, S., Freppaz, M., Ceaglio, E., Maggioni, M., Meusburger, K., Alewell, C., Zanini, E. Soil erosion in an avalanche release site (Valle d'Aosta: Italy): Towards a winter factor for RUSLE in the Alps (2014) Natural Hazards and Earth System Sciences, 14 (7), pp. 1761-1771. DOI: 10.5194/nhess-14-1761-2014.

Erosione del suolo



Erosione del suolo



Scenari

Entro la fine del secolo, gli eventi di pioggia su neve si verificheranno prevalentemente ad alte latitudini e altitudini, con frequenze fino a tre volte superiori rispetto alle condizioni storiche (1950-2014).

Riduzione degli eventi di pioggia su neve a medie altitudini e medie latitudini ➡ la pioggia non cadrà più sulla neve, ma direttamente sul suolo.

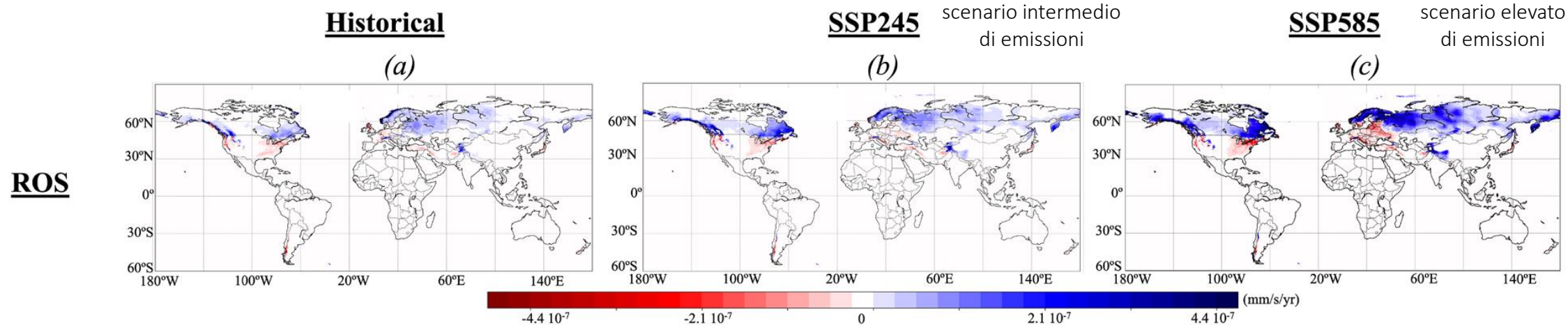
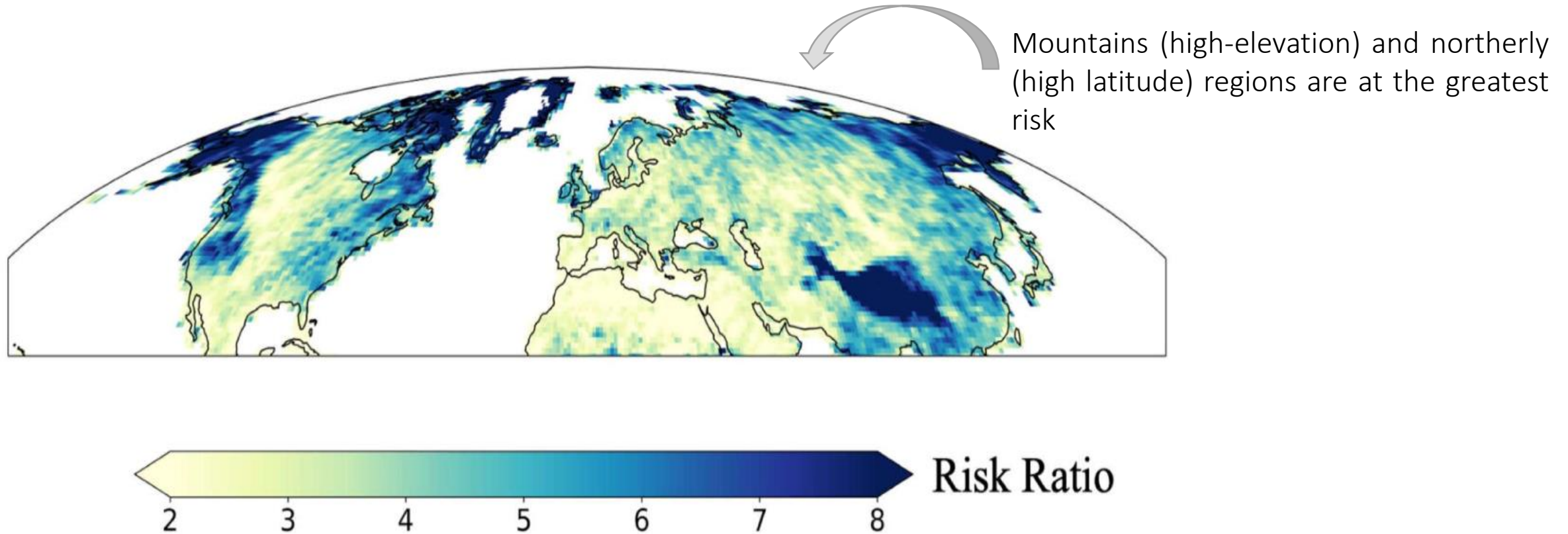


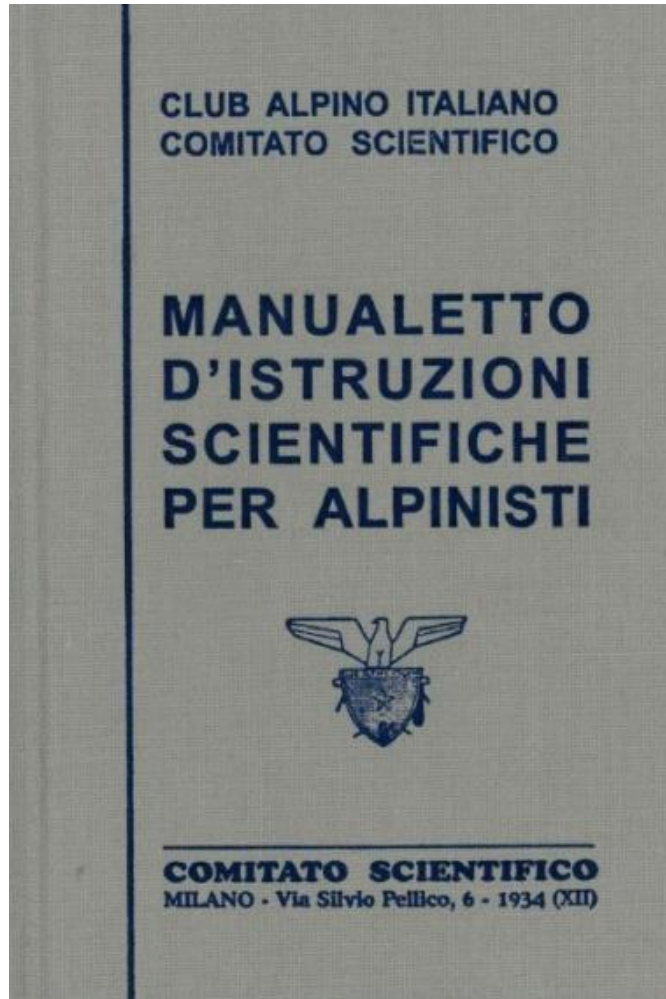
Figure modified from Maina F.Z., Kumar S.V. Global patterns of rain-on-snow and its impacts on runoff from past to future projections. Nature Communications (2025)

Quando la pioggia incontra il suolo



Areas in the darkest blue are 8 times more likely to experience an extreme rainfall event (compared to 1950-1979).

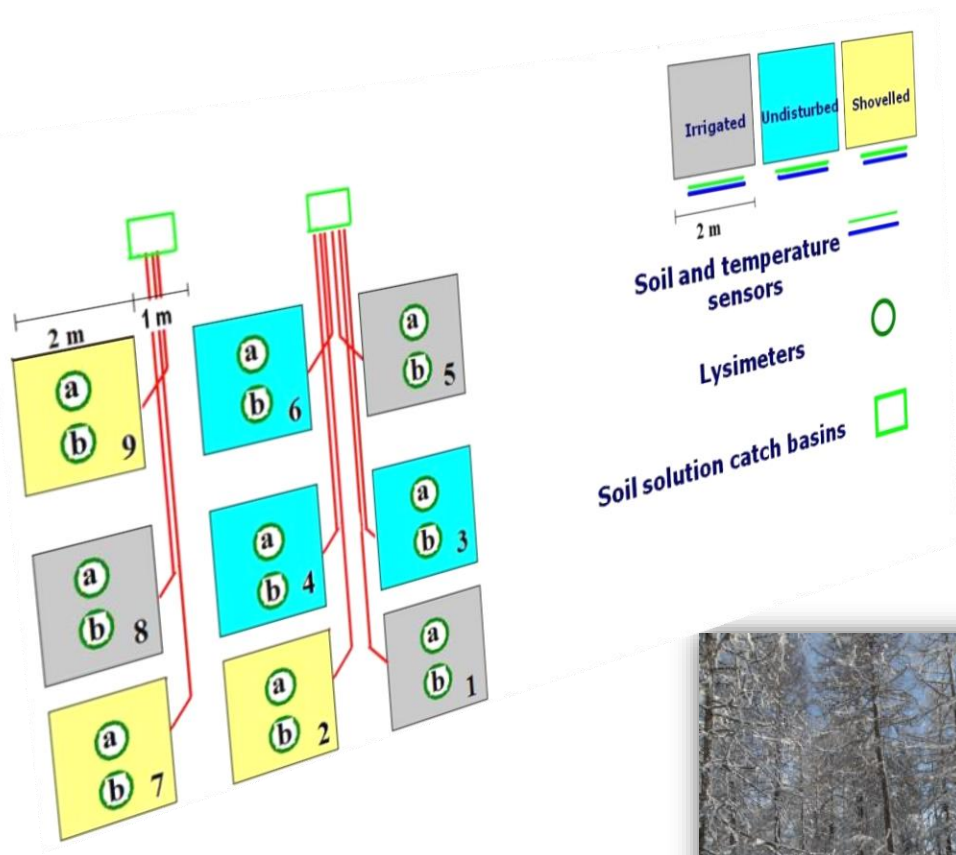
Uno sguardo sul passato



Manualetto di Istruzioni Scientifiche per Alpinisti del CAI (1934)

[...] L'alpinista che avrà occasione di osservare della pioggia al di sopra dei 3500 metri durante la stagione estiva abbia cura di prenderne nota e di darne comunicazione [...]. Sulla neve molte osservazioni utilissime, se anche saltuarie, possono essere fatte dall'alpinista, che si reca in montagna in qualsiasi epoca dell'anno: in autunno prenderà nota dell'altitudine del limite inferiore della copertura nevosa sul suolo; in genere detto limite corrispondente ad una linea molto netta.

Un salto nel passato...



Monginevro
2009-2011

Drizzled snow plots (I) to simulate 3 ROS (10 mm each one) in January



Undisturbed plot (U)



Snow removal plot (S) till the end of January

Un salto nel passato...



HYDROLOGICAL PROCESSES
Hydrol. Process. 28, 5309–5321 (2014)
Published online 10 September 2013 in Wiley Online Library
(wileyonlinelibrary.com) DOI: 10.1002/hyp.10008

Soil C and N response to changes in winter precipitation in a subalpine forest ecosystem, NW Italy

Davide Viglietti,* Michele Freppaz, Gianluca Filippa and Ermanno Zanini
DISAFA, NatRisk, University of Turin, Grugliasco (TO), Turin, Italy



Grazie per l'attenzione

michele.freppaz@unito.it



Corso di Laurea in
Scienze e tecnologie per la montagna

Un Campus immerso nel verde

Laboratori all'avanguardia



2025
International
Year of Glaciers
Preservation

