



Slush Flows

una inusuale tipologia di valanghe per le Alpi

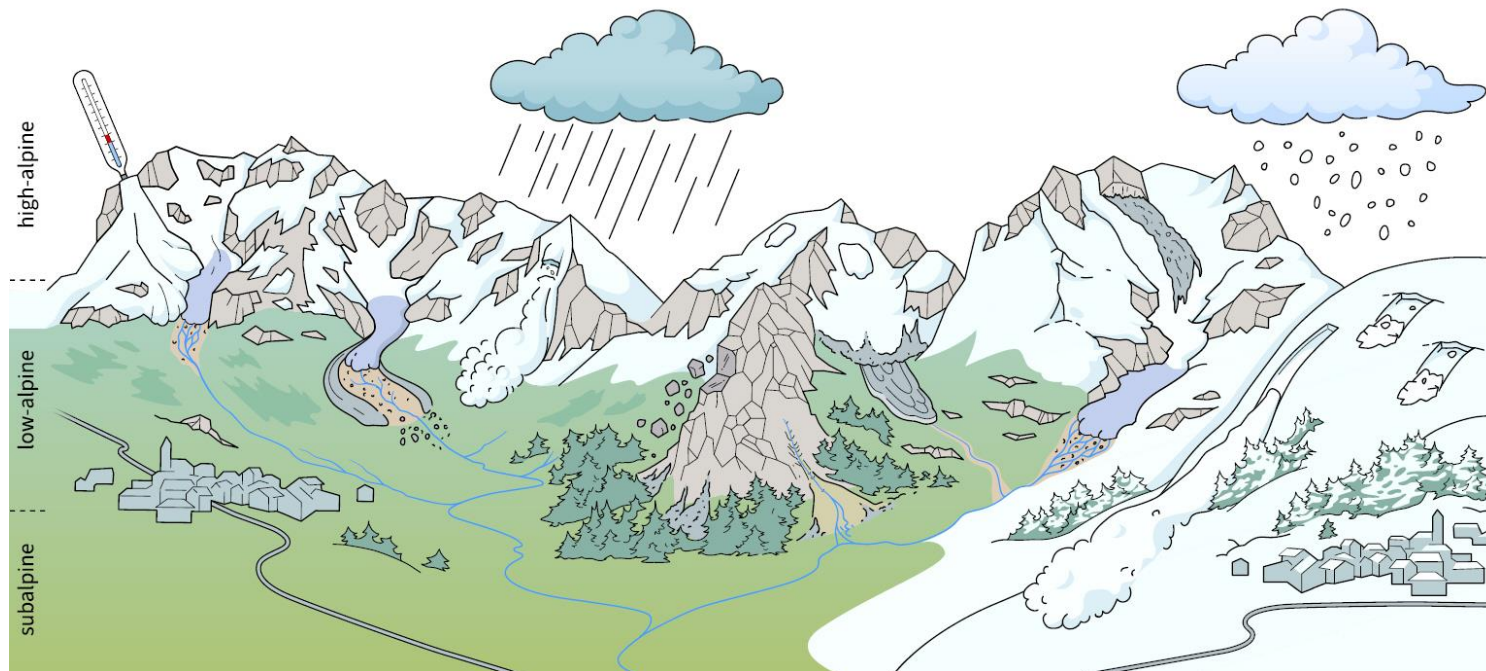


Dott. Geol. Igor Chiambretti – responsabile tecnico AINEVA

Torino, 20 novembre 2025



**Rendiconto nivometrico 2024-2025 in Piemonte e Valle d'Aosta:
cambiamenti climatici e nuove tipologie di valanghe**

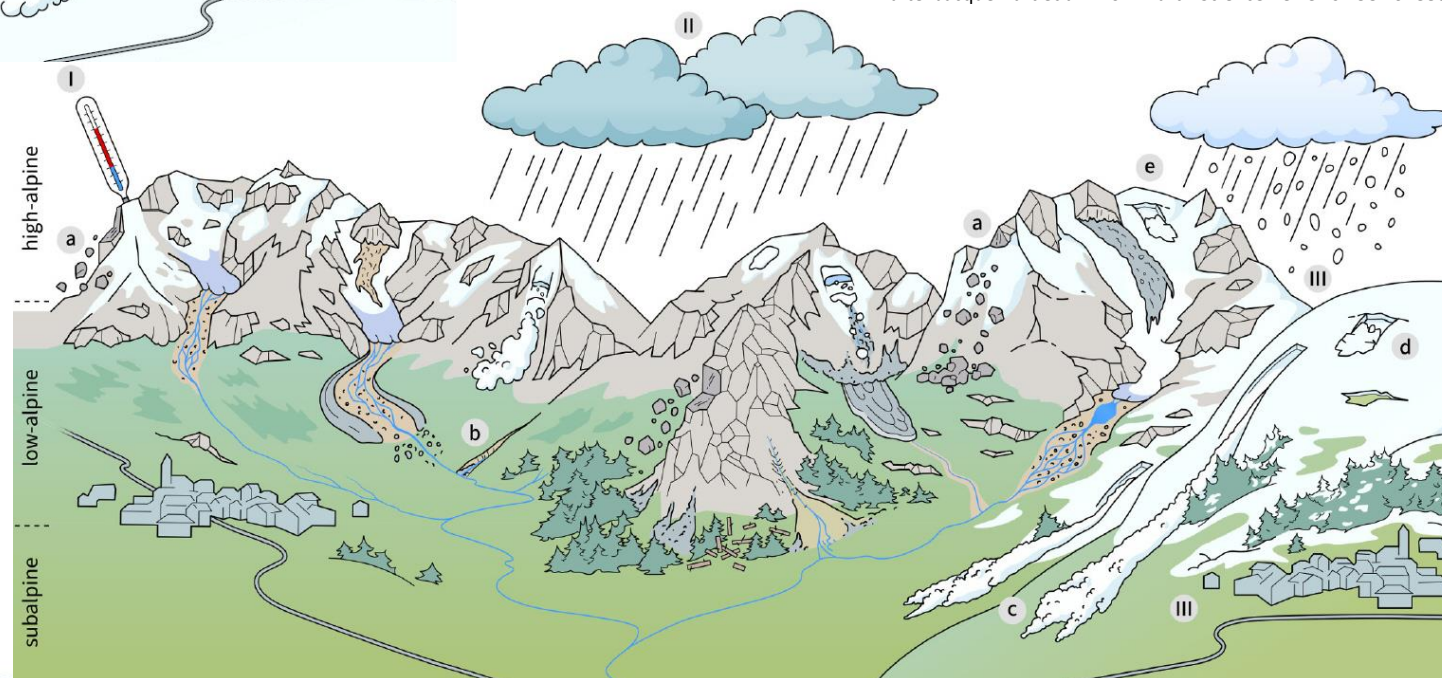


IL PASSATO

after Jacquemart et alii 2024 Earth-Science Reviews 258 104886

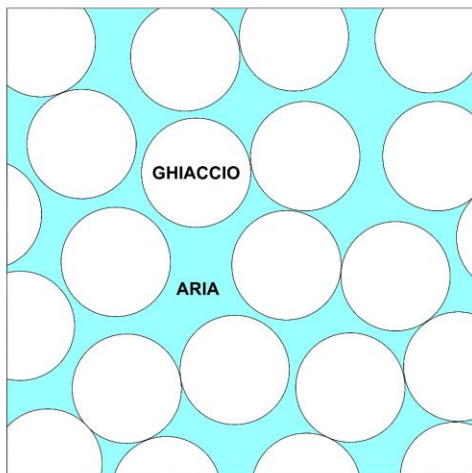
after Jacquemart et alii 2024 Earth-Science Reviews 258 104886

IL FUTURO

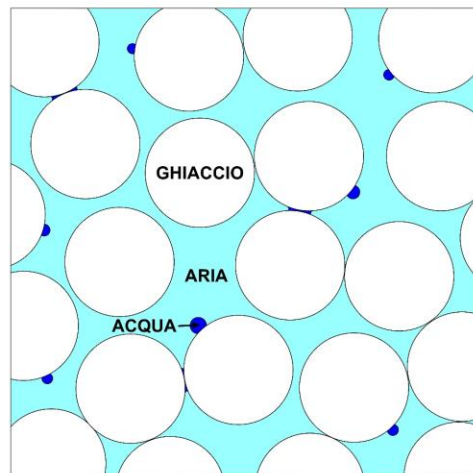


SLUSH FLOWS

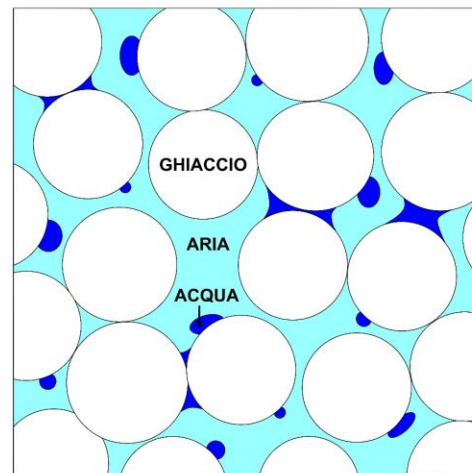
Sono **flussi di neve fusa** ovvero **fenomeni gravitativi rapidi** costituiti da una miscela di acqua e neve, paragonabili a colate di fango che si incanalano lungo corsi d'acqua e impluvi (Gude and Scherer, 1998). Questi eventi rappresentano un **rischio naturale significativo**, la cui gestione è di fondamentale importanza nella pianificazione territoriale (Hestnes and Bakkehøi, 2004). Sebbene la loro dinamica sia complessa, la loro potenza distruttiva è notevole, con pressioni d'impatto che possono eguagliare quelle delle grandi valanghe di neve asciutta (Jóhannesson et al., 2019). Il fenomeno si colloca in una **posizione di transizione** tra le **piene torrentizie**, le **colate detritiche** e le **valanghe** (Gude & Scherer, 1998), possedendo caratteristiche uniche sia nella fase di innesco sia in quella di movimento.



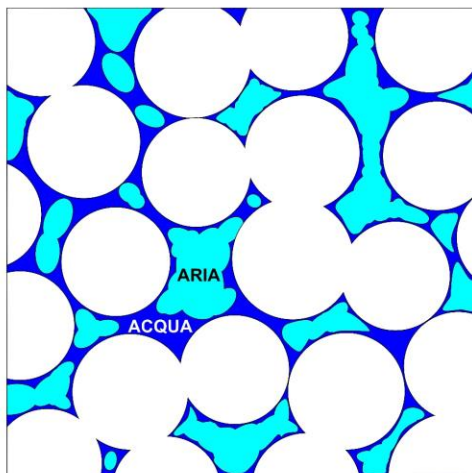
NEVE ASCIUTTA
 $T_s \ll 0^\circ\text{C}$; $\theta = 0\%$
 ACQUA TOTALMENTE
 ASSENTE



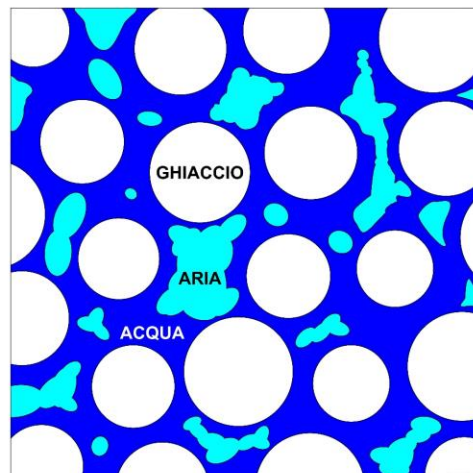
NEVE UMIDA
 $T_s = 0^\circ\text{C}$; $\theta = 0\%-3\%$
 ACQUA INVISIBILE A 10X



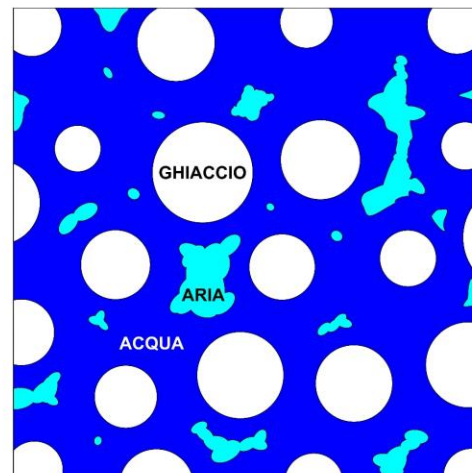
NEVE BAGNATA
 $T_s = 0^\circ\text{C}$; $\theta = 3\%-8\%$
 ACQUA VISIBILE A 10X
 «MENISCHI»
 REGIME PENDOLARE



NEVE MOLTO BAGNATA
 $T_s = 0^\circ\text{C}$; $\theta = 8\%-15\%$
 ACQUA ESTRAIBILE
 REGIME FUNICOLARE



NEVE FRADICIA
 $T_s = 0^\circ\text{C}$; $\theta \gg 15\%$
 ACQUA ESTRAIBILE
 REGIME FUNICOLARE

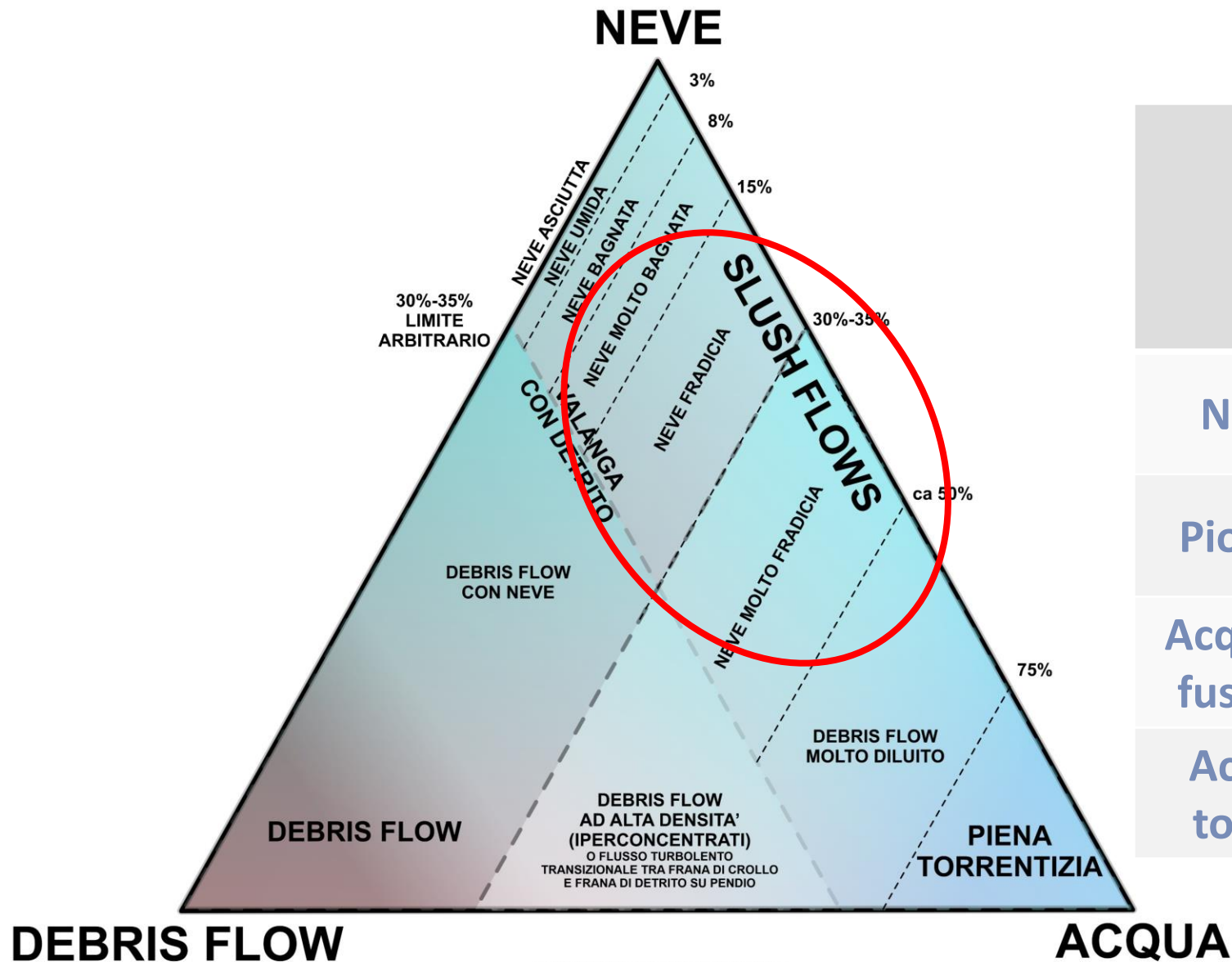


NEVE MOLTO FRADICIA
 $T_s = 0^\circ\text{C}$; $30\% < \theta \leq 50\%$
 ACQUA ESTRAIBILE
 REGIME FUNICOLARE

Gli slush flows sono tipicamente innescati da un elevato apporto d'acqua al manto nevoso, che può derivare da intense piogge sul manto nevoso o da una rapida fusione primaverile

(Hestnes & Bakkehøi, 2004).

Solo quando $\theta \gg 15\%$ possono realizzarsi le condizioni predisponenti allo slush flows.

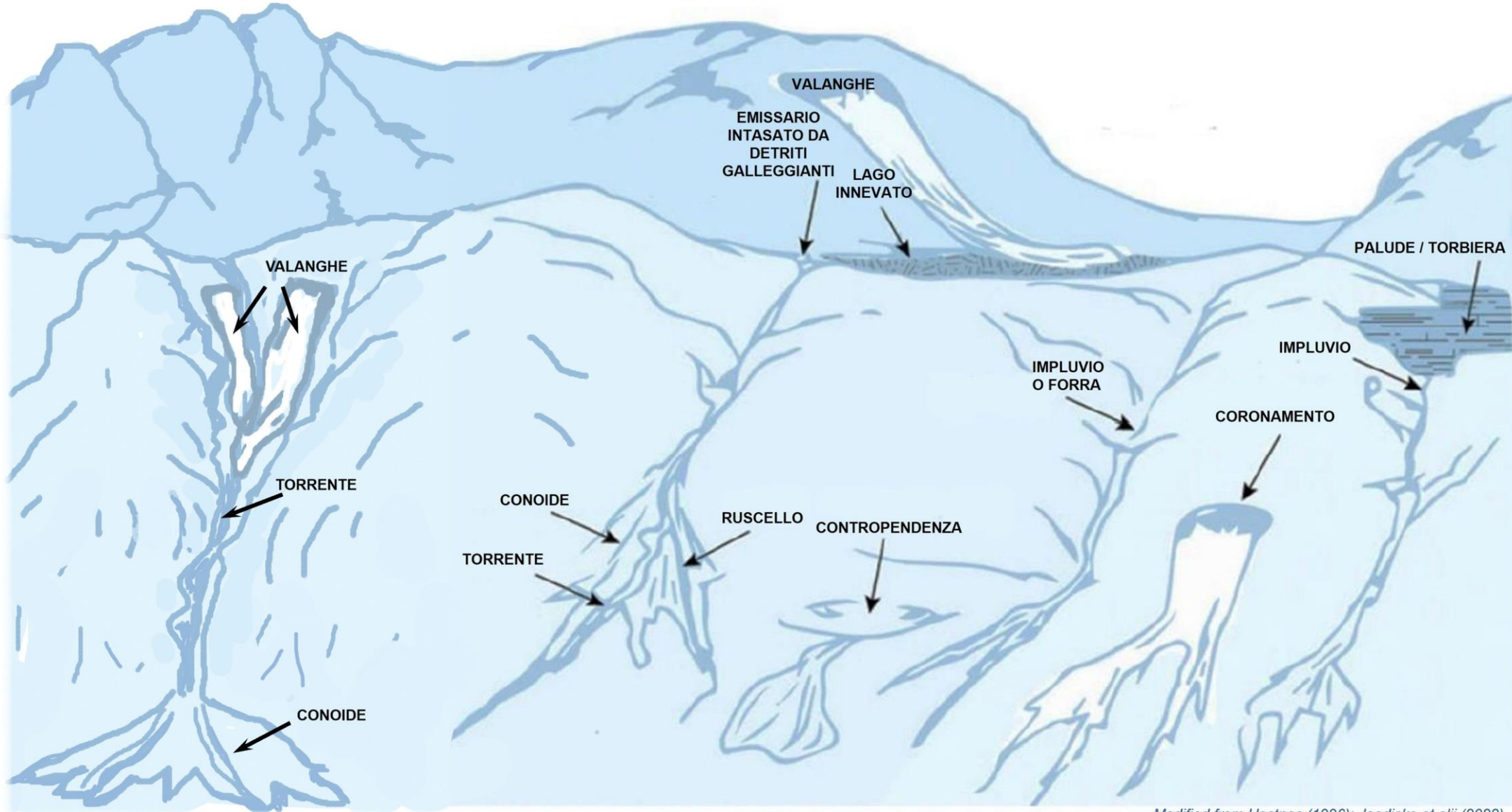


	Fronti Caldi Ciclonici	Fusione Primaverile
	Apporto d'Acqua [mm]	Apporto d'Acqua [mm]
Neve	Range: 2-155 Media: 51	Range: 0-13 Media: 3
Pioggia	Range: 9-128 Media: 59	Range: 6-107 Media: 59
Acqua di fusione	Range: 2-52 Media: 21	Range: 54-332 Media: 141
Acqua totale	Range: 21-170 Media: 80	Range: 109-354 Media: 200

LE ZONE D'INNESCO TIPICHE

I canali di drenaggio/impluvi nonché gli specchi lacustri e le contropendenze rappresentano le zone di innesco primarie, dove il rilascio è più facile ed immediato. Al contrario, l'innesco da torbiere e pendii aperti è generalmente ritardato, avvenendo solo dopo un accumulo d'acqua più prolungato (Hestnes & Bakkehøi, 2004). In contesti specifici, sono stati osservati anche inneschi associati a sorgenti intermittenti, attivate da un improvviso innalzamento del livello della falda freatica, e su piste da sci, dove la compattazione artificiale del manto nevoso altera i naturali processi di drenaggio (Furdada et al., 1999). Serve, comunque, un substrato impermeabile o già saturo e scarsamente drenante.

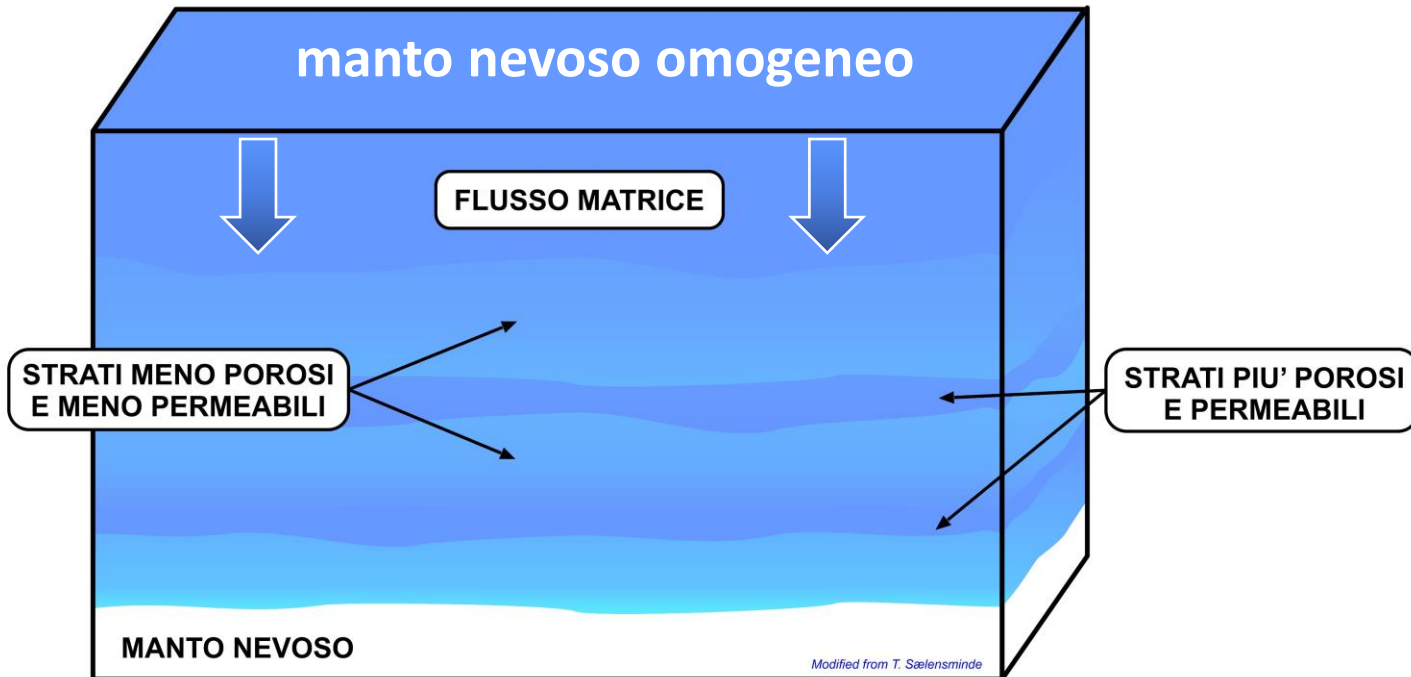
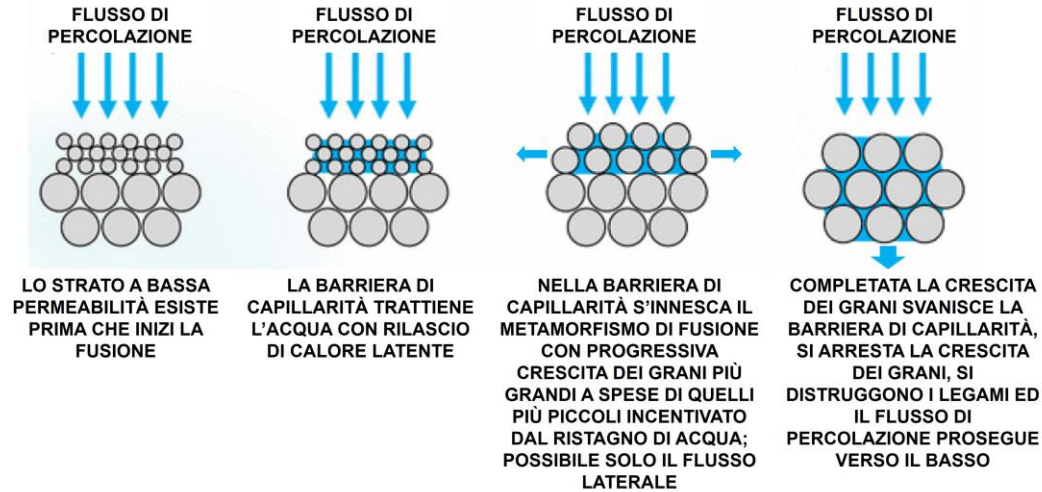
LE ZONE D'INNESCO TIPICHE



Modified from Hestnes (1996); Jaedicke et alii (2022)

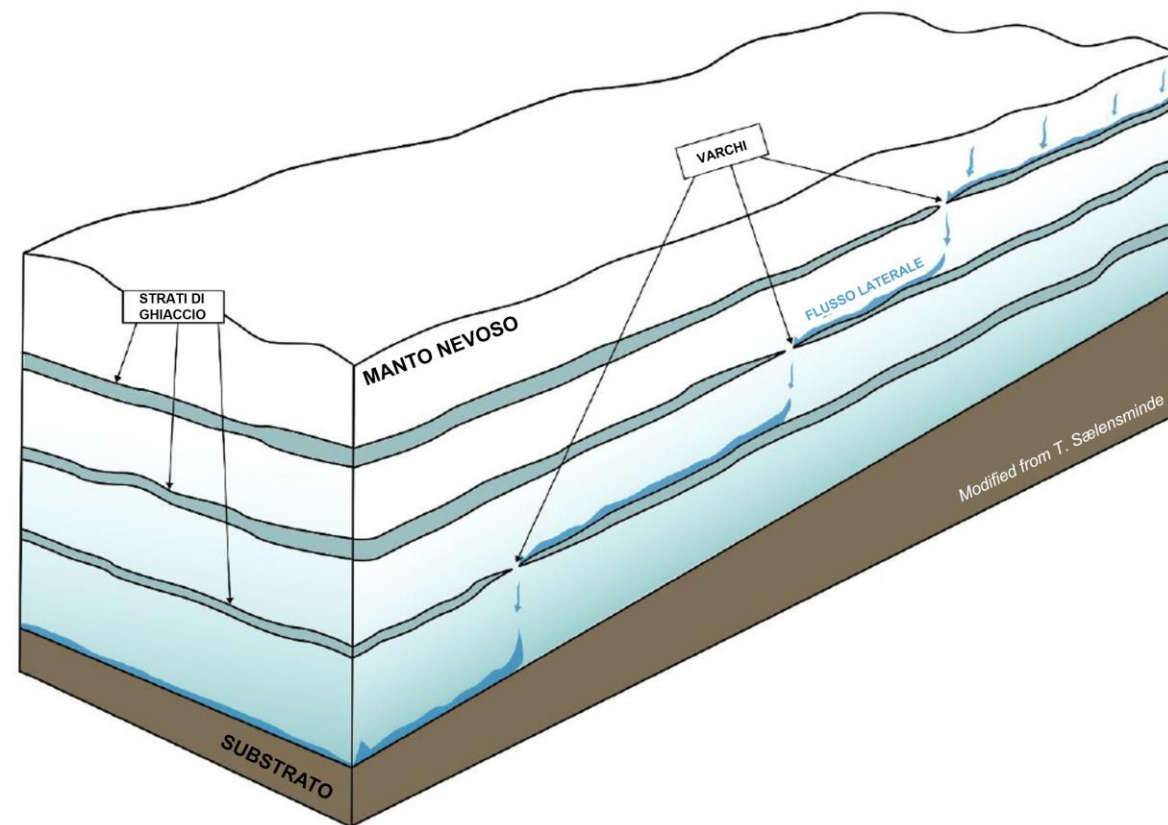
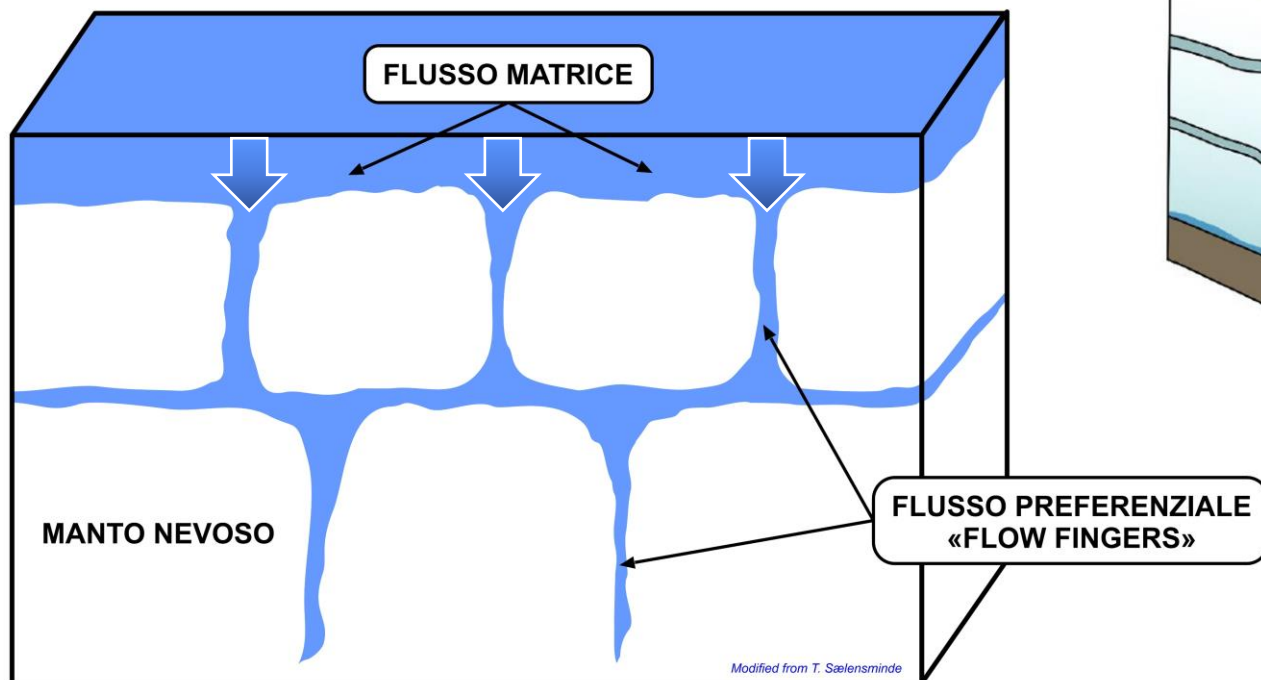
LE BARRIERE DI CAPILLARITÀ

Modified from Webb et al. (2018)



Le caratteristiche fisiche del manto nevoso influenzano direttamente la sua stabilità e la suscettibilità all'innesco degli slush flows. Le condizioni più instabili sono rappresentate da un manto nevoso omogeneo, a grana grossa, con uno strato basale di brina di profondità (Hestnes & Bakkehøi, 2004; Hestnes et al., 1994). La neve fresca a debole coesione e la neve con grani di grandi dimensioni sono le tipologie più inclini a fluidificare e a generare un flusso (Hestnes et al., 1994).

manto nevoso disomogeneo



La ricerca sul campo (Norvegia) ha permesso di definire **valori di soglia quantitativi** per la previsione del rischio acuto, differenziati in base alle condizioni del manto nevoso.

Condizione del Manto Nevoso	Parametro Critico	Valore di Soglia
Neve fresca omogenea	Livello totale dell'acqua nel manto nevoso	> 0.4 m
Neve fresca omogenea	Tasso di innalzamento del livello dell'acqua	> 0.05 m/h
Neve a grana fine omogenea	Livello totale dell'acqua nel manto nevoso	> 0.6 m
Neve a grana fine omogenea	Tasso di innalzamento del livello dell'acqua	> 0.07 m/h
Neve a grana grossa con brina di profondità alla base	Livello totale dell'acqua nel manto nevoso	> 0.3 m
Neve a grana grossa con brina di profondità alla base	Tasso di innalzamento del livello dell'acqua	> 0.05 m/h
Manto nevoso stratificato con croste e strati di ghiaccio	Tasso di innalzamento del livello dell'acqua	> 0.10 m/h



Indicatori sul Campo e Sistemi di Monitoraggio

Oltre ai parametri misurabili, l'osservazione diretta del terreno fornisce indicatori visivi preziosi che segnalano un aumento del potenziale di rischio. Tra i più importanti vi sono (Hestnes & Bakkehøi, 2004):

- **Livello dell'acqua nel manto nevoso:** osservazione diretta del livello idrico in pozzi o in trincee del manto nevoso.
- **Acqua che scorre sulla superficie del manto nevoso:** segni evidenti di saturazione e incapacità del manto nevoso di assorbire ulteriore acqua (**colore grigio o bluastro** del manto nevoso; **ruscellamento superficiale** sul manto nevoso).
- **Piccoli depositi di slush:** presenza di piccole colate o accumuli di neve fusa, indicativi di instabilità locale.
- **Rapido innalzamento del livello dell'acqua:** un **aumento veloce del livello idrico nel manto nevoso** è un precursore critico.
- **Collasso del manto nevoso:** **cedimenti e assestamenti localizzati** del manto nevoso.

Per un monitoraggio continuo e operativo: **celle piezometriche** e/o **celle di carico** per misurare il livello dell'acqua, **sensori di temperatura** (nel suolo e in aria), un **sensore di altezza della neve** e una **webcam** per l'osservazione visiva **remota** (Hestnes & Bakkehøi, 2004). Questi sistemi possono inviare allerte automatiche al **superamento dei valori di soglia**, fornendo uno strumento efficace per la gestione del rischio. La conoscenza dei precursori e dei parametri critici deve essere integrata con la comprensione della dinamica del flusso per una valutazione completa del pericolo.

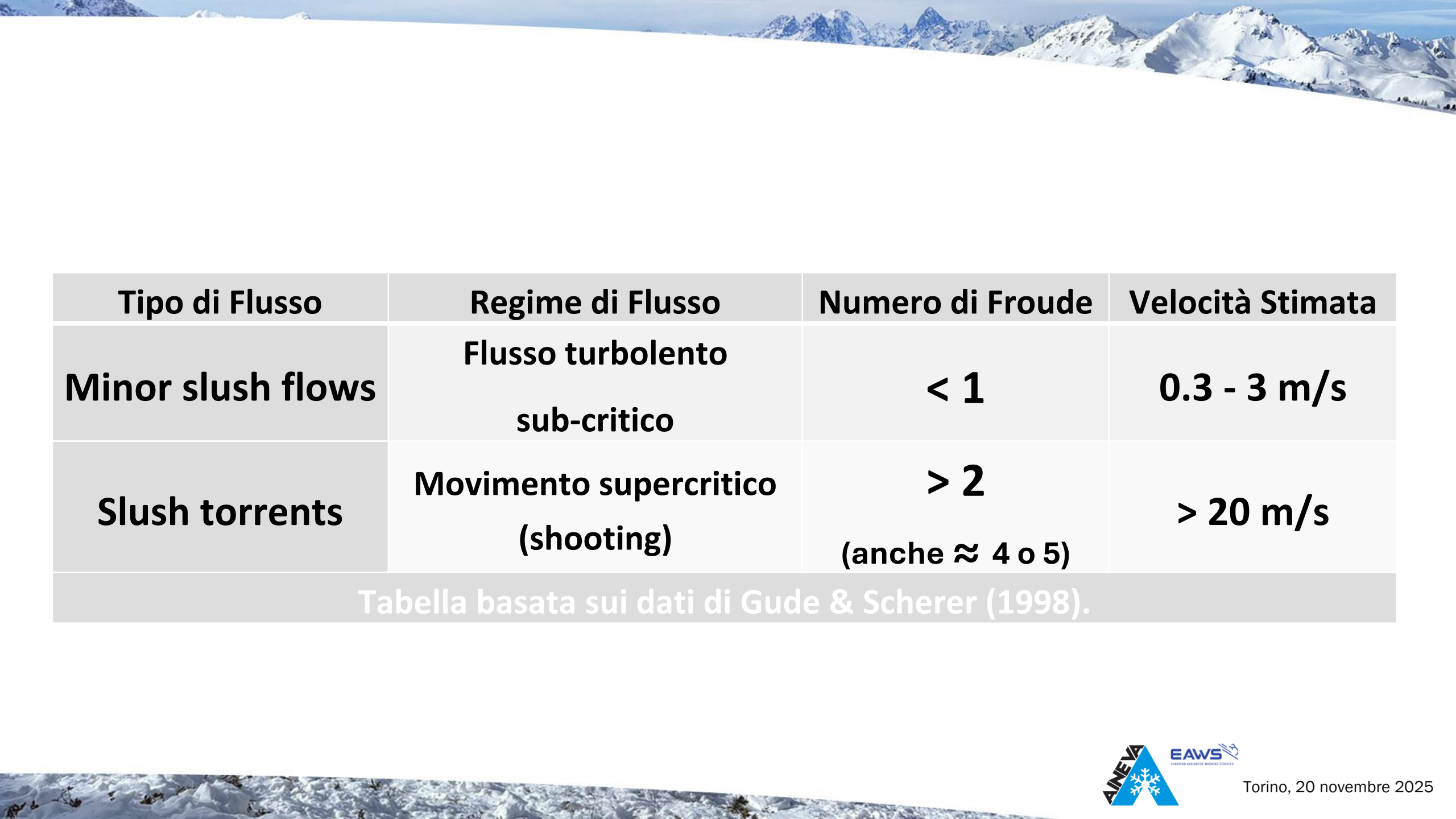


Jet su ostacolo

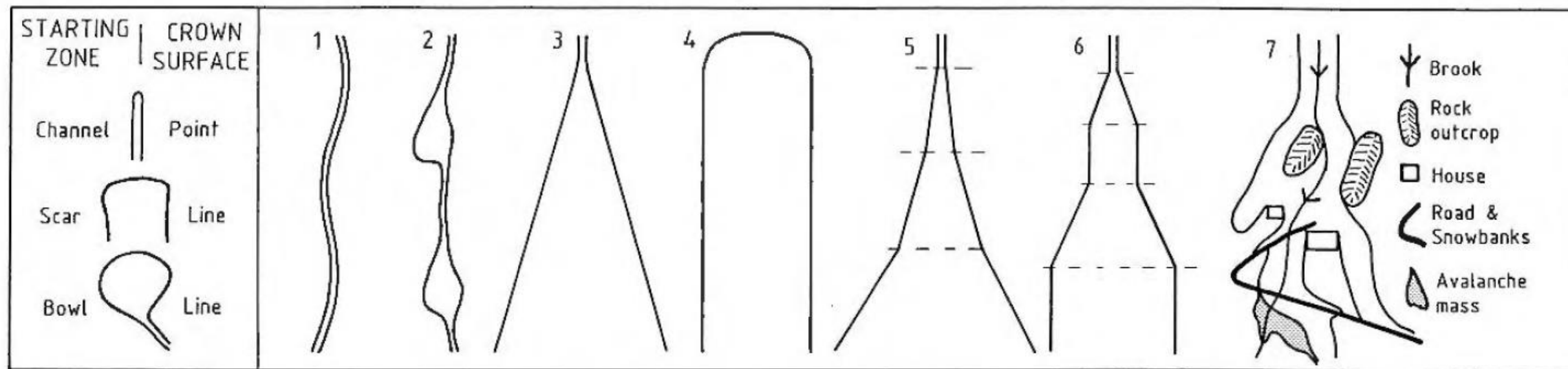
Flusso statico su barriera con
risalto idraulico e jet su ostacolo
a monte

La dinamica di uno slush flow è governata dalla pendenza, dal grado di confinamento del canale e dal volume della massa mobilitata. L'accelerazione è determinata principalmente dalla pendenza, mentre la massa può aumentare significativamente lungo il percorso a causa dell'erosione e dell'inglobamento di neve e acqua (processo noto come *entrainment*) (Gude & Scherer, 1998). Studi basati su back-calculation di eventi reali hanno permesso di stimare velocità di flusso dell'ordine di 10-15 m/s

(Jóhannesson et al., 2019).



Tipo di Flusso	Regime di Flusso	Numero di Froude	Velocità Stimata
Minor slush flows	Flusso turbolento sub-critico	< 1	0.3 - 3 m/s
Slush torrents	Movimento supercritico (shooting)	> 2 (anche ≈ 4 o 5)	> 20 m/s
Tabella basata sui dati di Gude & Scherer (1998).			



Hestnes & Bakkehøi, 2004

Zone di distacco: **puntiformi**, con **coronamento**, da **contropendenze/bacini**.

Zone di scorrimento: 1. **Canalizzate**; 2. **Canalizzate con zone indefinite alternate**; 3. **Pendii aperti (Conoidi)**; 4. **Pendii aperti**; 5. Per **brusche riduzioni di gradiente (rotture di pendenza)**; 6. **Zone con gradienti di pendenza alternati**; 7. Zone con gradienti di pendenza alternati per la **presenza di ostacoli/manufatti**: barre rocciose, edifici, attraversamenti (ponti a sezione ridotta), strade in rilevato od argini di neve di precedenti depositi di valanga, depositi di valanga in alveo.









Al termine della loro corsa, i flussi di neve fusa lasciano depositi caratteristici ma **facilmente confondibili con colate detritiche o depositi alluvionali torrentizi** (Saemundsson et al., 2021). I depositi possono essere anche molto sottili, con spessori di soli 10-20 cm, e contenere una vasta gamma di sedimenti erosi lungo il percorso (Haas et al., 2015). Se il terreno del deposito è in pendenza, l'acqua in eccesso tende a drenare rapidamente, lasciando una massa di neve satura (Hestnes, 1998).



GRAZIE PER L'ATTENZIONE

PER INFORMAZIONI:

igor.chiambretti@aineva.it

