

**Club Alpino Italiano
Sezione di Firenze
Scuola di Alpinismo “Tita Piaz”**



Metamorfismi della neve: caratteristiche ed effetti

di Lorenzo Furia

**Fonte: Documentazione Scuola Interregionale Alpinismo Sci
Alpinismo LPV**

Nivologia

Il manto nevoso è costituito da strati ognuno con caratteristiche omogenee.

Le proprietà meccaniche del manto derivano dalle caratteristiche dei vari strati e dalle interazioni fra uno strato e l'altro.

Ogni strato nevoso possiede una propria identità in conseguenza delle condizioni meteorologiche in cui si è formato ed evoluto.

Ciascun strato è costituito da uno "scheletro" di grani di ghiaccio e da spazi occupati da aria o acqua allo stato liquido.



Nivologia



Nivologia

I cristalli che compongono i vari strati subiscono continuamente delle trasformazioni da quando si depositano al suolo fino alla loro completa fusione

Possiamo avere dei processi di distruzione delle loro forme e, in particolari condizioni, anche processi di costruzione di nuove forme.

1. COSA SONO E COME AVVENGONO I METAMORFISMI?
2. COSA GLI STIMOLA?
3. QUALI SONO GLI EFFETTI SULLA STABILITA' DEL MANTO NEVOSO?
4. COME EVITARE I PENDII INSTABILI?



I Metamorfismi dei cristalli di neve



I processi di trasformazione dei cristalli, detti metamorfismi, sono fondamentalmente di quattro tipi:

- metamorfismi della neve asciutta (c'è pochissima acqua allo stato liquido):
 - metamorfismo da [gradiente](#) debole (isoterma) ([formazione di neve vecchia granulosa](#))
 - metamorfismo da gradiente medio o elevato ([formazione di cristalli angolari](#))
- metamorfismo della neve bagnata, da fusione e rigelo ([formazione di neve primaverile](#))
- metamorfismo meccanico ([formazione di neve ventata](#))



Il gradiente di temperatura

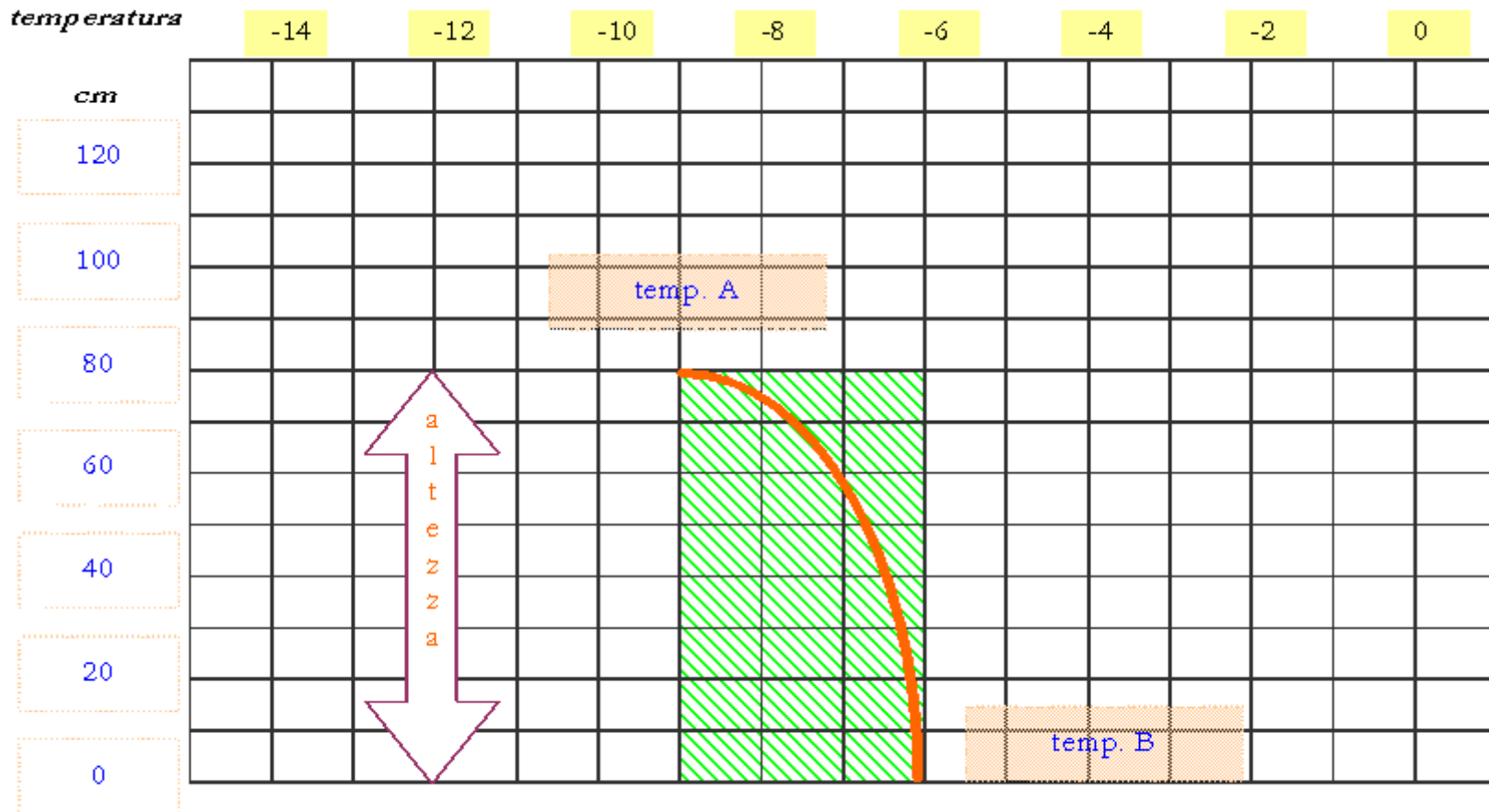
Che cosa è il gradiente?

Il gradiente di temperatura nel manto nevoso è dato dal rapporto tra una differenza di temperatura in due punti (posti sulla stessa verticale) e la loro distanza.

- **debole** ($< 0,05^{\circ}\text{C}/\text{cm}$)
- **medio** (gradiente compreso tra $0,06-0,2^{\circ}\text{C}/\text{cm}$)
- **elevato** (gradiente $> 0,2^{\circ}\text{C}/\text{cm}$)



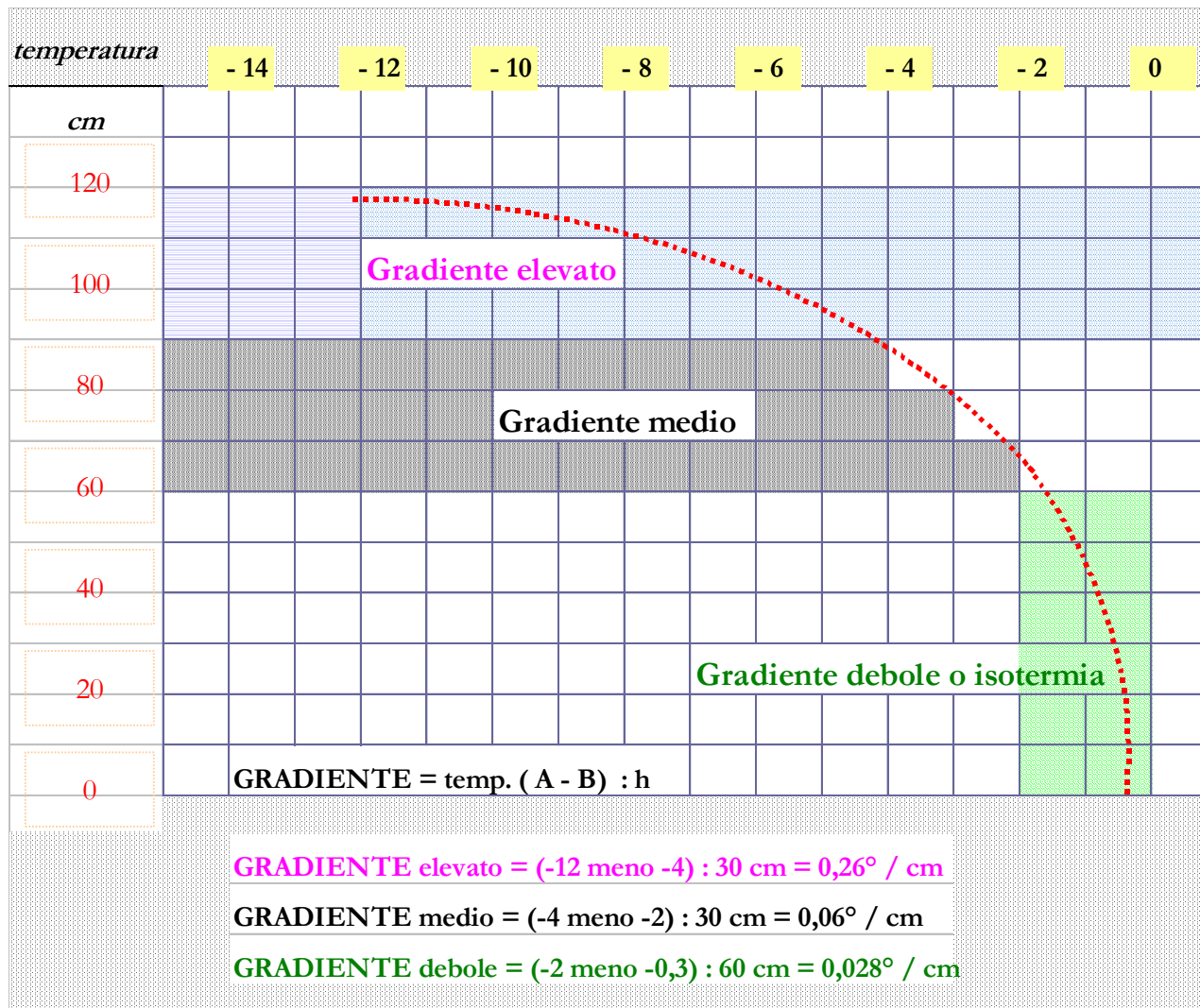
Il gradiente di temperatura



$$\text{GRADIENTE} = \text{temp. (A - B)} : h$$

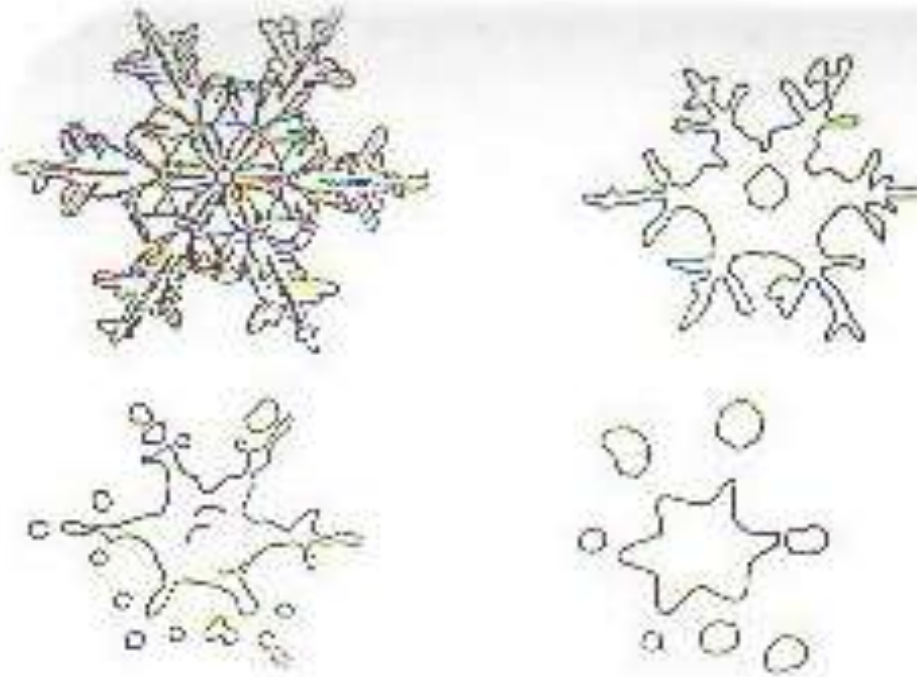


Il gradiente di temperatura

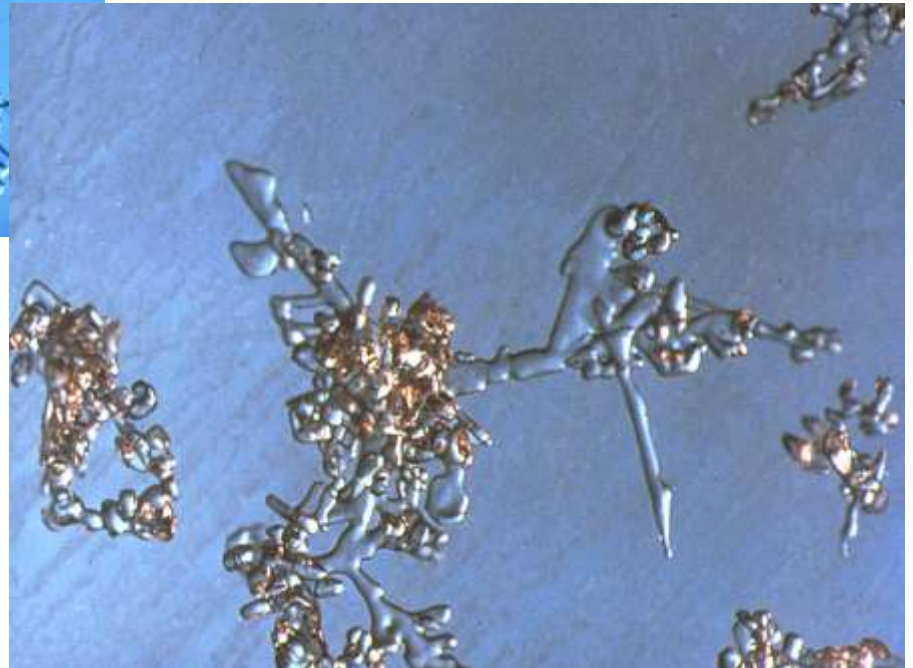


metamorfismo da gradiente debole (isotermia)

Il metamorfismo per **gradiente debole (isotermia)** trasforma i cristalli di neve fresca in neve vecchia granulosa, provocando l'assestamento e il consolidamento dello strato nevoso (dalla coesione per feltratura a quella per sinterizzazione). Con il tempo mite questo processo richiede solo qualche giorno, mentre con freddo intenso può durare settimane.

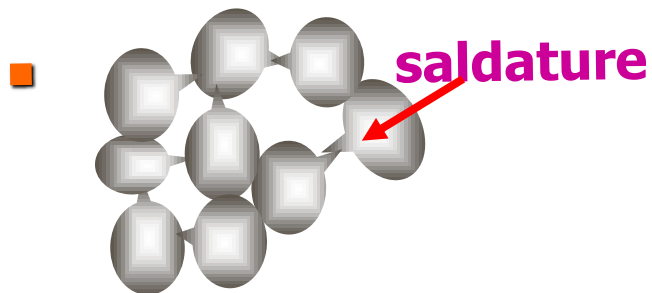


metamorfismo da gradiente debole (isotermia)



metamorfismo da gradiente debole (isotermia)

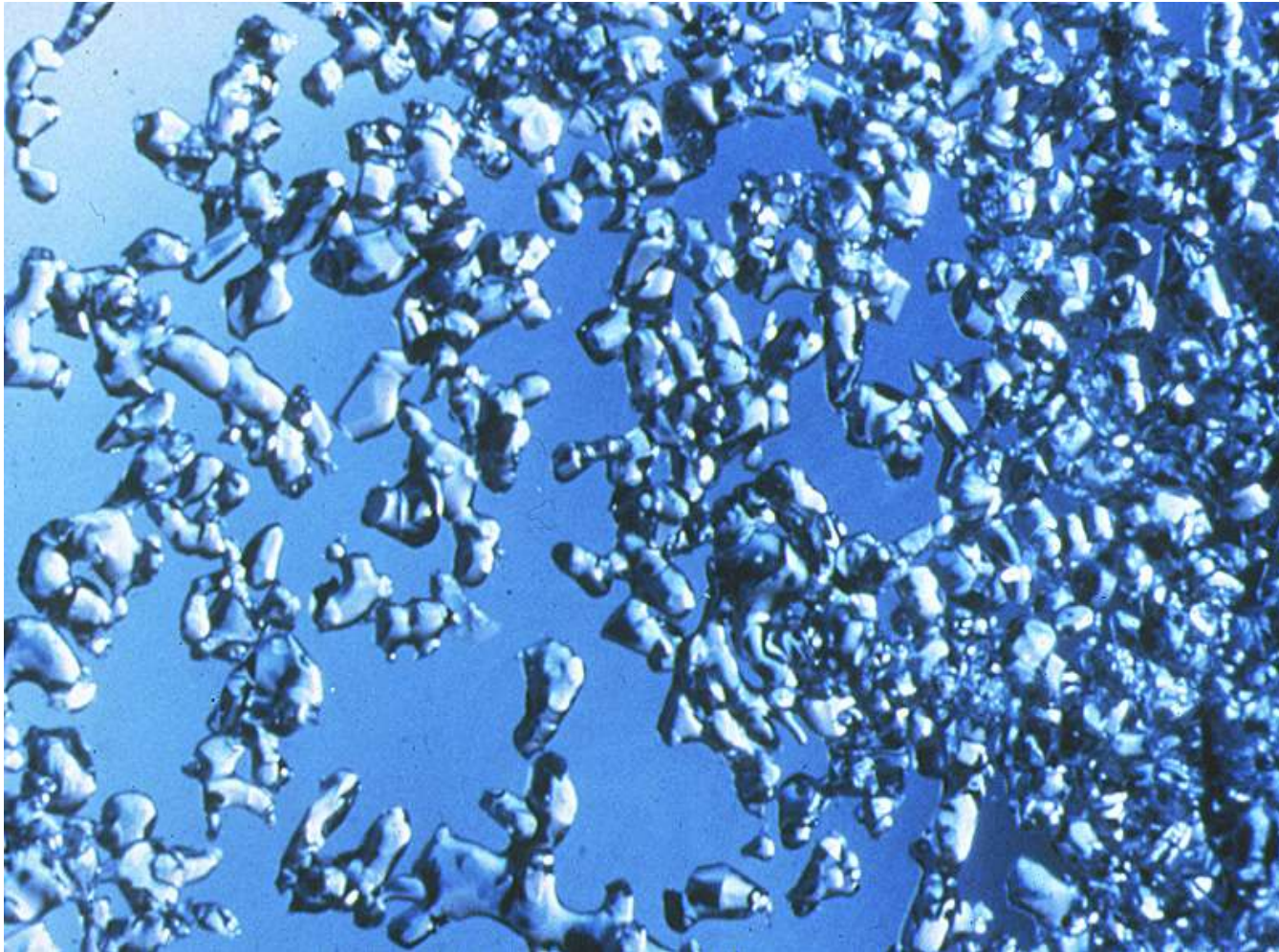
I cristalli di neve fresca si trovano in condizioni di equilibrio precario, la natura tende a semplificare queste forme complesse riducendone la superficie. Le piccole punte dei cristalli di neve cominciano a sublimare (trasformazione dallo stato solido a quello gassoso) e il vapore d'acqua che ne risulta si deposita al centro del cristallo. In questo modo si ottengono grani tondi che occupano meno spazio dei cristalli iniziali: la neve si assesta, i cristalli si toccano e formano dei legami (sinterizzazione), aumenta la densità e la coesione del manto nevoso. Dalla superficie dei grani le molecole di acqua si trasferiscono alle parti concave (colli)



Questi processi trasformano i cristalli di neve fresca, più o meno ramificati, in pulviscoli di ghiaccio (simbolo •) con un diametro inferiore a 0,5 mm.

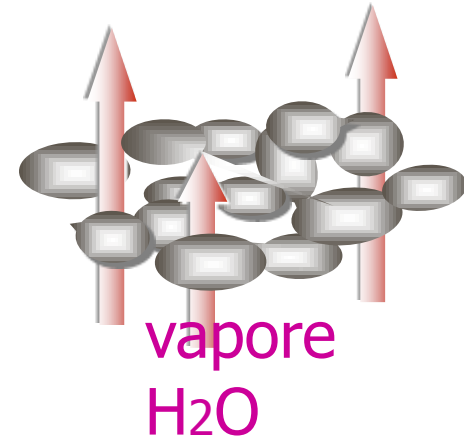


metamorfismo da gradiente debole (isotermia)



metamorfismo da gradiente medio e elevato

Quando vi è elevata differenza di temperatura all'interno del manto nevoso si verifica una condizione di squilibrio dovuta al fatto che l'aria che circonda i cristalli negli strati inferiori è più calda e meno densa rispetto all'aria negli strati superiori. Si attiva quindi una circolazione verticale dell'aria dalle quote inferiori alle quote superiori.



L'aria calda trascina una certa quantità di vapor d'acqua, che, ricristallendosi al contatto con i cristalli più freddi nelle quote superiori, si deposita su questi.

Nella fase iniziale i cristalli aumentano progressivamente le loro dimensioni diventando spigolosi (simbolo □ dimensione fra 0,3 e 0,5 mm) mentre le dimensioni delle saldature (colli) rimangono costanti. Con gradiente elevato si ha invece la formazione di cristalli a calice (simbolo Λ dimensione fra 0,5 e 1 mm).



metamorfismo da gradiente elevato

Questi cristalli vengono chiamati "cristalli a calice" o "angolari". I cristalli nella fase finale di questa trasformazione assumono infatti una caratteristica forma a calice con dimensioni consistenti (0,5-8 mm). La velocità di questo processo dipende dal gradiente termico all'interno del manto nevoso.

ATTENZIONE !!!

Anche la vecchia neve granulosa può essere trasformata in cristalli angolari



metamorfismo da gradiente elevato

I cristalli angolari si possono creare, non solo vicino al suolo, ma anche negli strati intermedi, per esempio quando si ha la deposizione di neve fresca su un manto nevoso umido o su una crosta da rigelo.

Il metamorfismo costruttivo si sviluppa in particolare su pendii esposti ai quadranti nord, con temperature ambientali basse, con poca neve, in presenza di arbusti (che facilitano il passaggio dell'umidità) e cavità tra i massi, ecc..

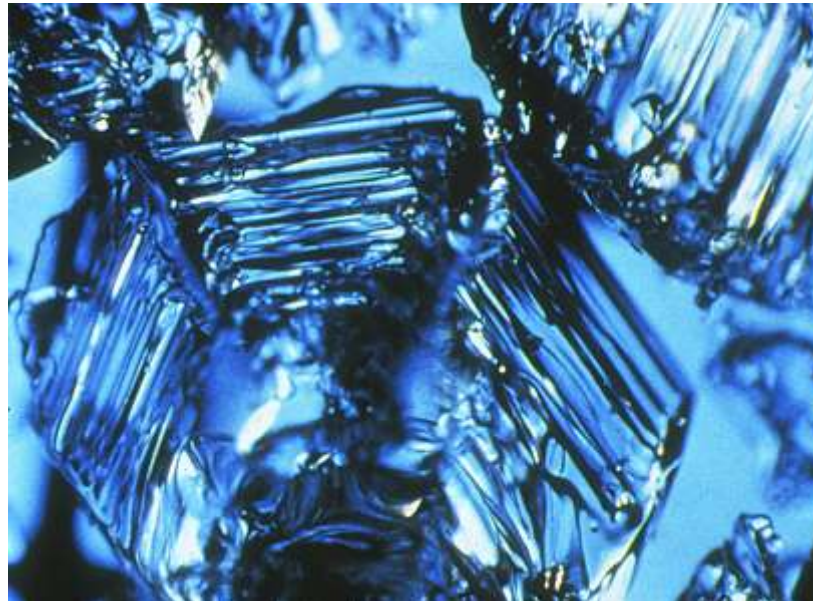
Attenzione quindi agli inverni freddi e con scarse precipitazioni che, come confermano le statistiche, non sono meno pericolosi degli altri.



metamorfismo da gradiente elevato

I cristalli, con le loro forme piramidali cave o sfaccettate spigolose, sono senza coesione tra loro e molto fragili. Quando questo strato viene sollecitato i cristalli si frantumano provocando un brusco assestamento del manto nevoso che tende a scivolare su di essi.

Questi cristalli non si modificheranno più nel corso dell'inverno, fino a quando inizierà il processo di [fusione](#).



metamorfismo da fusione

In primavera (in determinate condizioni anche in inverno) il manto nevoso o la sua superficie può raggiungere la temperatura di 0°C, cioè il punto di fusione della neve.

Il riscaldamento produce un film d'acqua sulla superficie.

- Se l'acqua è presente in modeste proporzioni, riempie le cavità dei cristalli e li avvolge di un velo sottile: la neve diventa umida.
- Quando inizia a percolare verso il basso, più o meno velocemente a seconda della densità degli strati, la neve diventa bagnata, tipica nelle ore pomeridiane della primavera.



metamorfismo da fusione

L'acqua scendendo negli strati del manto nevoso, riempie le cavità tra i singoli cristalli e smussa gli spigoli, sostituendo la vecchia coesione per sinterizzazione, con la "coesione per capillarità" (allo stesso modo in cui due lastre di vetro bagnate si legano fra di loro).

Ma quando l'acqua di fusione diventa abbondante, i legami tra i cristalli sono rapidamente distrutti e il manto nevoso diventa scivoloso, può mettersi in movimento causando valanghe di neve a debole coesione, bagnata.

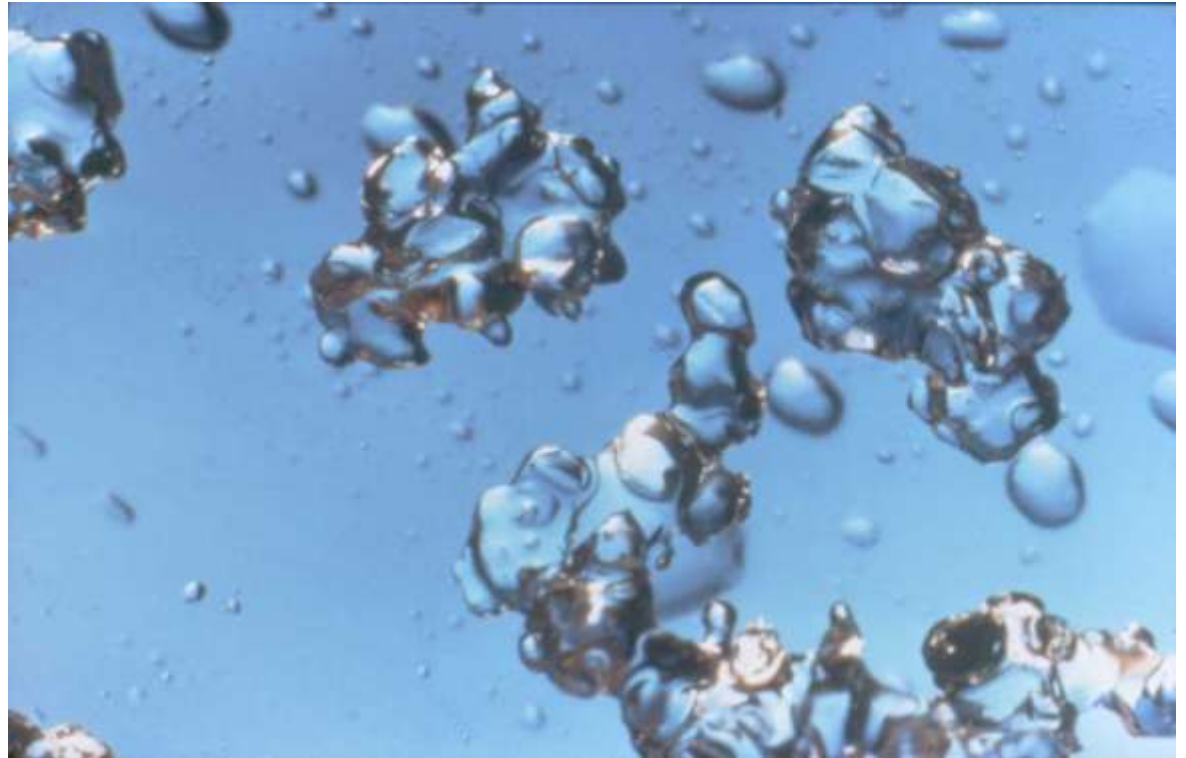


metamorfismo da fusione



Se la temperatura ritorna sotto lo 0°C l'acqua di fusione gela cementando tra loro i cristalli di neve, coesione per rigelo, formando croste di neve gelata, anche dello spessore di qualche decina di cm ([neve trasformata](#)).

La neve di fusione o primaverile a grani grossi (simbolo \circ dimensione fra 0,6 e 1 mm) si forma quindi per [fusione](#) e successivo [rigelo](#).



metamorfismo meccanico

effetti del vento sui cristalli:

il vento modifica la neve, oltre che durante la precipitazione, anche dopo la sua deposizione al suolo. I continui urti spezzano le ramificazioni riducendo la neve ad una polvere di cristalli di ghiaccio con diametro inferiore a 0,5 mm.



La neve ventata ha proprietà meccaniche completamente diverse da quelle della neve fresca: non è plastica, presenta sempre coesione (**formazione di lastroni**) ed ha un comportamento fragile.



RIEPILOGO

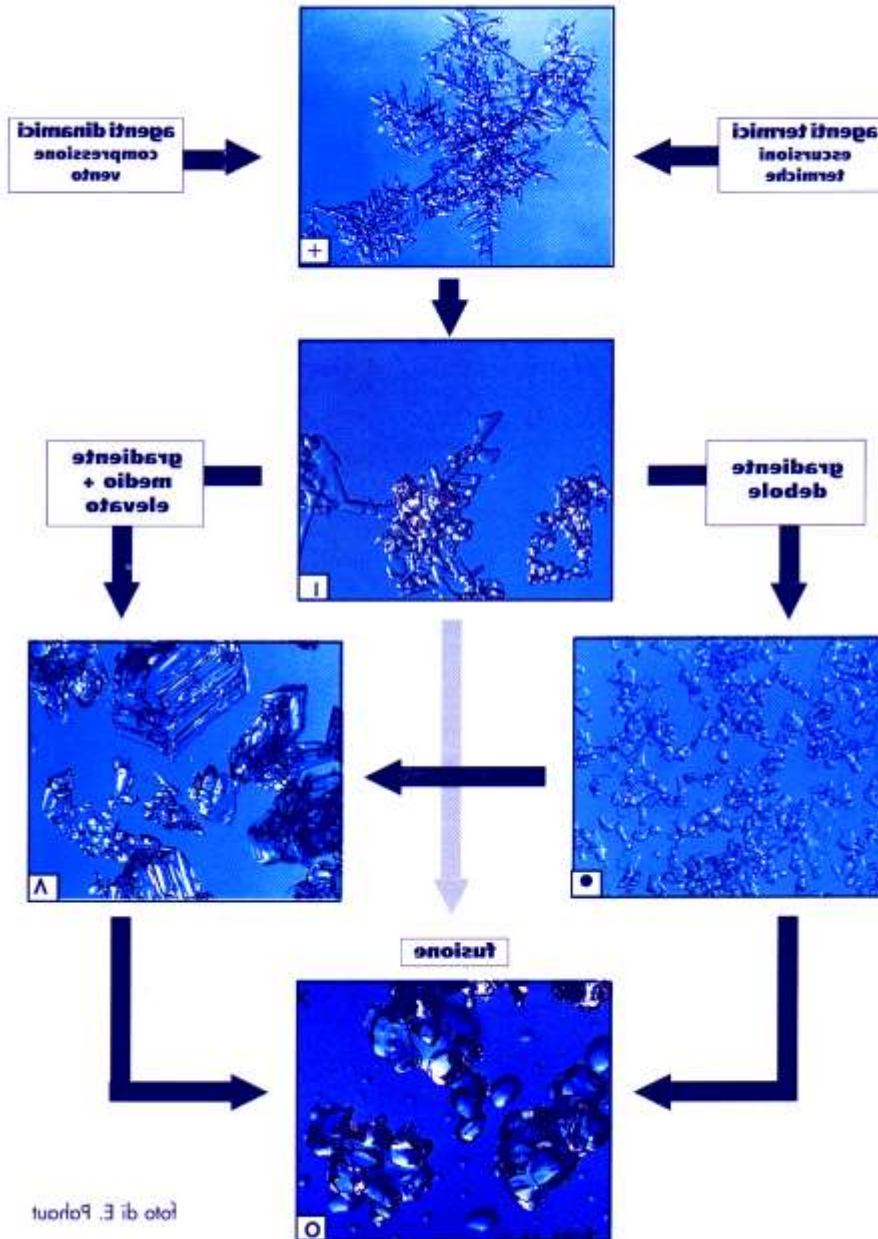


foto di E. Porout



L'evoluzione della neve al suolo



Gli agenti che influenzano il manto nevoso sono:

- temperatura
- vento (e altri eventi atmosferici)
- pressione



TEMPERATURA

La temperatura della neve è influenzata da due mezzi con cui è in contatto:

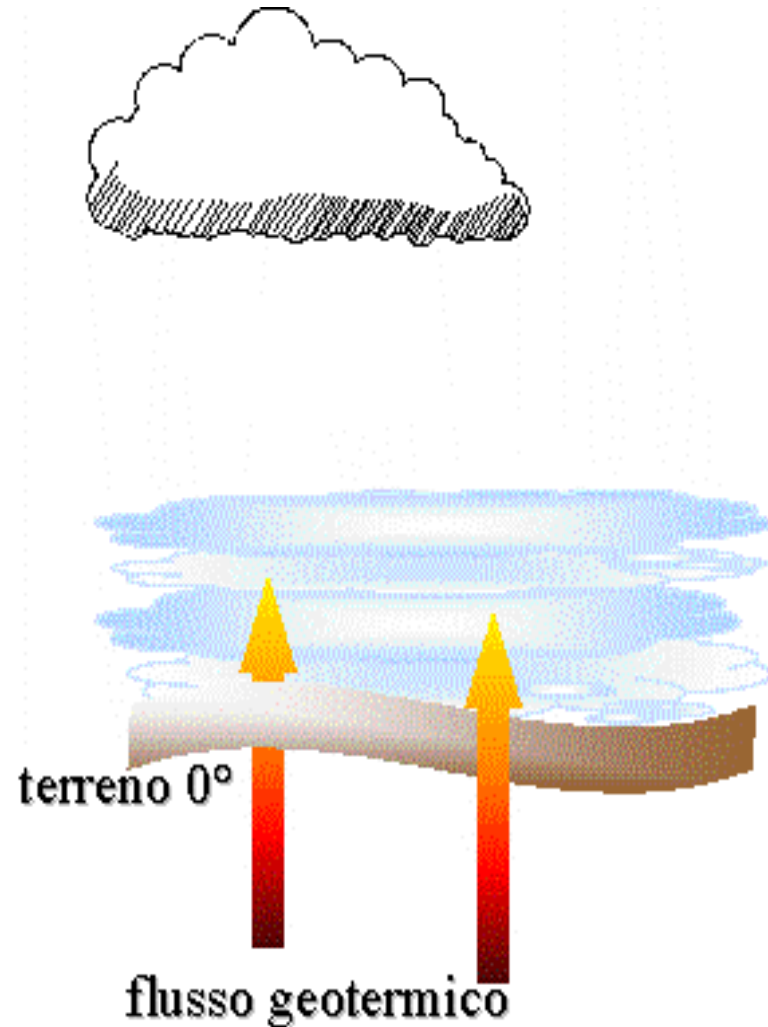
- il suolo
- l'atmosfera



TEMPERATURA

Scambio di calore suolo-neve:

il manto nevoso risente del calore interno della Terra che tende a disperdersi nell'atmosfera. Essendo un ottimo materiale isolante la neve trattiene buona parte di questo calore mantenendo una temperatura di circa 0°C alla base del manto nevoso.



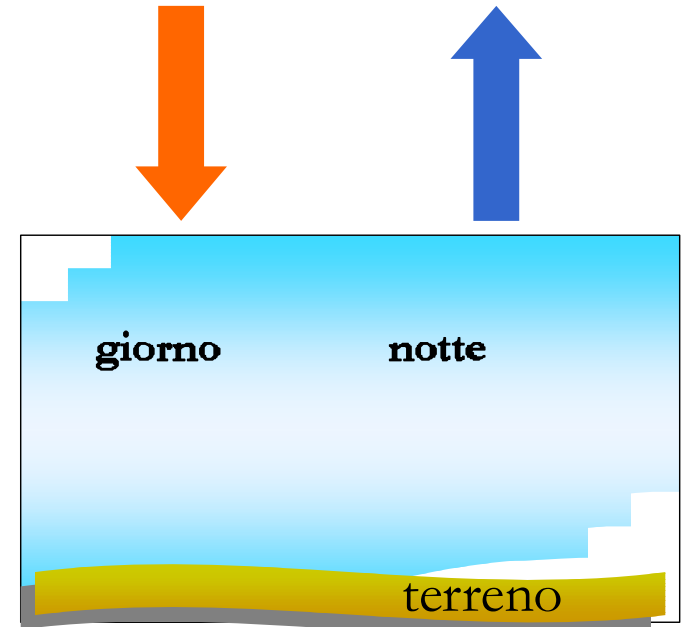
TEMPERATURA

Scambi di calore neve-atmosfera:

si verifica un continuo scambio termico tra neve e aria, in relazione alle situazioni meteorologiche:

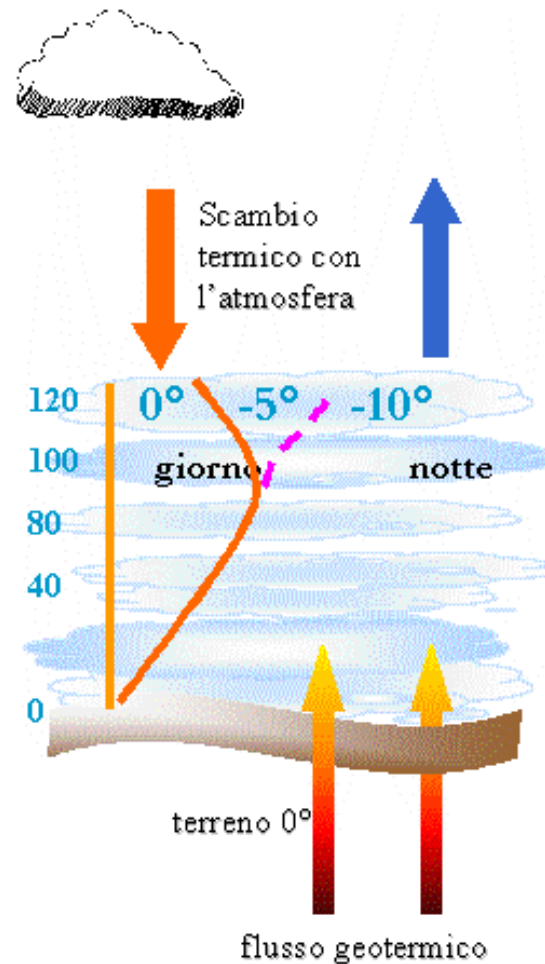
se la temperatura dell'aria è superiore a quella del manto nevoso, questo acquisisce calore e quindi si ha un bilancio termico positivo (es: di giorno o nelle notti primaverili calde);

se la temperatura dell'aria è inferiore a quella del manto nevoso, questo cede calore e quindi si ha un bilancio termico negativo (es: di notte o nelle giornate invernali fredde sui pendii a nord).



TEMPERATURA

In conseguenza delle variazioni di temperatura alla superficie e dell'apporto di calore per flusso geotermico dal basso, la distribuzione della temperatura all'interno del manto nevoso può assumere un andamento diversissimo tra suolo e superficie (da 0°C a -20°C e oltre).

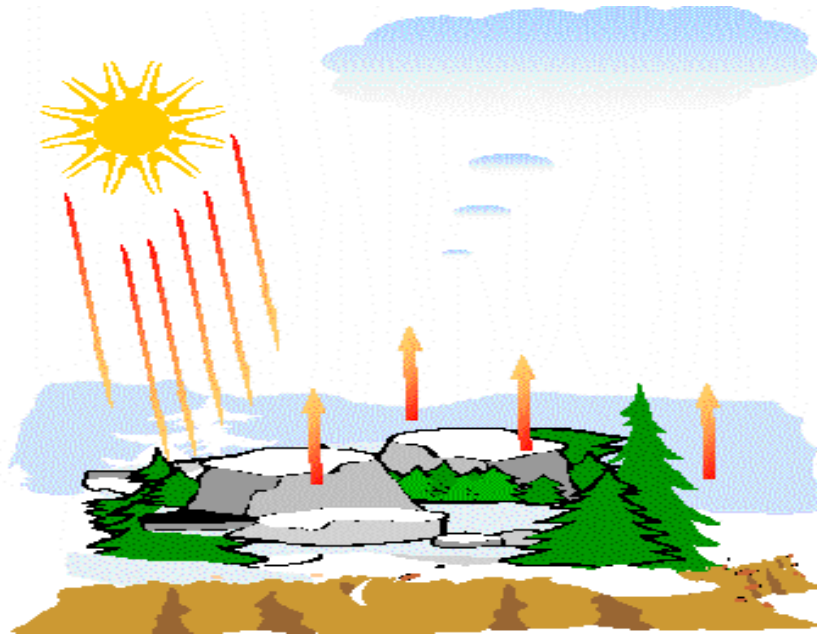


TEMPERATURA

Irraggiamento diretto:

è dato dall'azione dei raggi del sole che incidono direttamente sul manto nevoso.

Il riscaldamento che ne risulta influenza solo la porzione superficiale del manto, perchè la neve riflette (albedo) le radiazioni solari (onda corta) quasi totalmente (80-90 %)

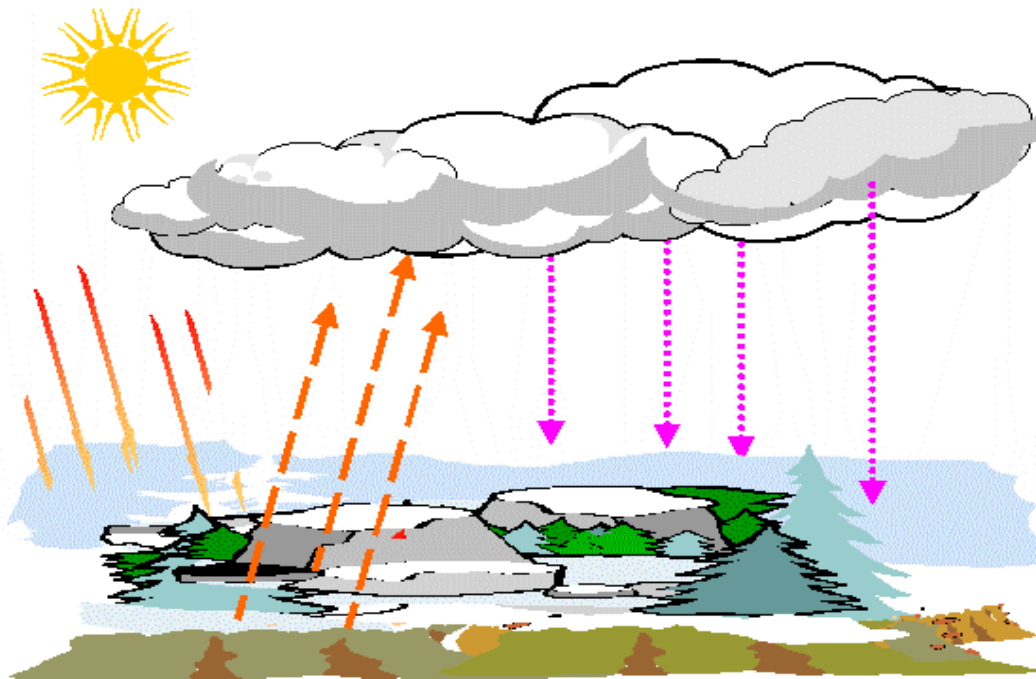


TEMPERATURA



Irraggiamento indiretto:

è dato dall'azione sul manto nevoso delle radiazioni provenienti dalla terra o dalle nuvole. Il riscaldamento che ne risulta interessa il manto in tutto il suo spessore, poiché questo tipo di radiazione (onda lunga) viene assorbito più facilmente dalla neve (effetto serra).



VENTO

L'azione del vento sulla neve si esplica con:

- effetti meccanici sui cristalli
- maggiore scambio termico aria-neve

Il moto turbolento causato dai vortici di vento accelera lo scambio termico tra aria e neve.

Un vento freddo sottrae calore dalla neve e può generare croste ghiacciate, mentre un vento caldo apporta calore alla neve e può causare un riscaldamento intenso e repentino del manto.



VENTO



Se il vento è caldo e secco (föhn) la temperatura della neve si innalza ed induce a processi di evaporazione-sublimazione, con contemporanea eliminazione del vapore d'acqua per assorbimento da parte dell'aria secca. Si verifica quindi una veloce diminuzione dello spessore del manto nevoso per fusione.



Altri eventi atmosferici

La **pioggia** non causa una fusione significativa del manto nevoso ma ne provoca una riduzione dello spessore dovuta all'aumento di peso degli strati superficiali carichi d'acqua.

La pioggia provoca diminuzione della coesione per l'aumento di acqua libera nel manto nevoso.



Altri eventi atmosferici



La **nebbia**, avendo una temperatura più elevata di quella della superficie della neve, a contatto con manto nevoso cede una parte di umidità. Questa condensa o brina sulla superficie della neve, cedendo calore latente e quindi riscaldandola.



Pressione



La pressione è data dal peso della neve degli strati superiori su quelli sottostanti.

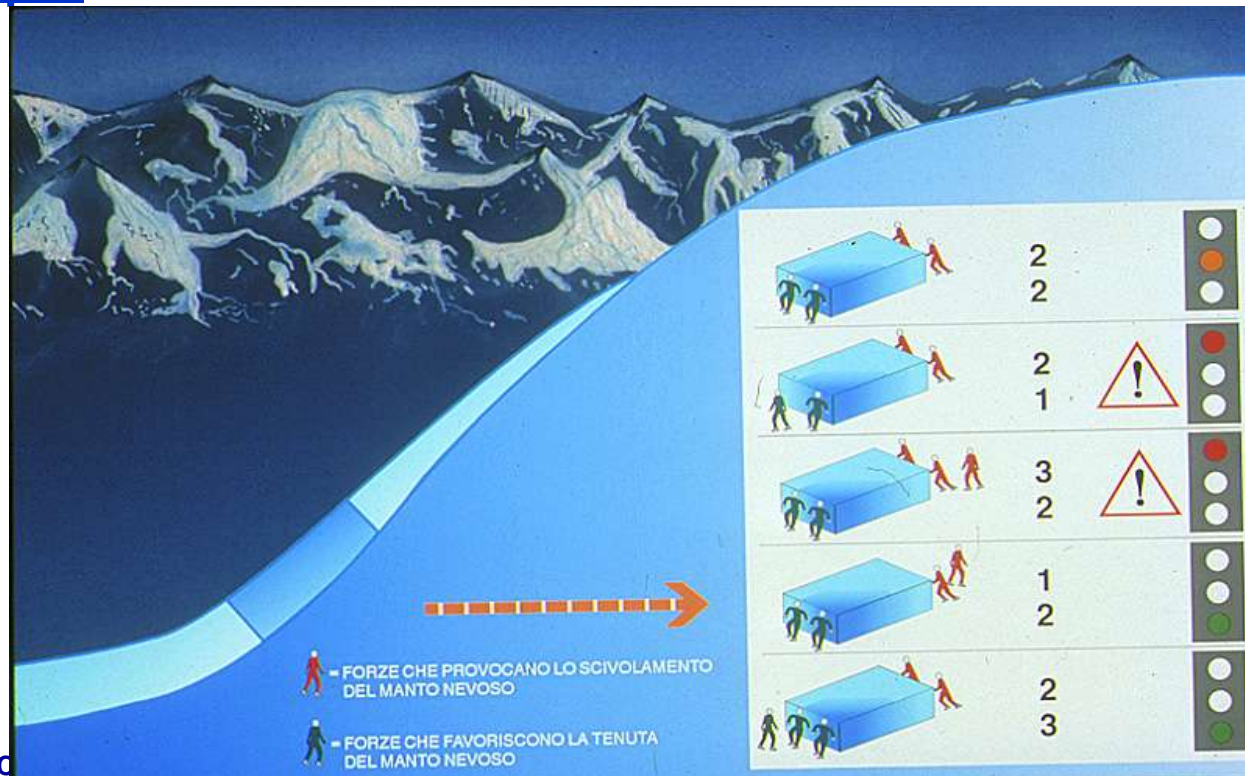
Essa ha l'effetto di addensare la neve ridefinendo la struttura dei cristalli e ha un ruolo importante nell'accelerare il metamorfismo da gradiente debole favorendo la formazione dei grani arrotondati.



Stabilità del manto nevoso

La probabilità di distacco di un pendio è determinata da:

- La resistenza del manto nevoso alle sollecitazioni
- Il tipo e intensità di sollecitazione



La resistenza alle sollecitazioni



Dipende da:

- Resistenza degli strati del manto nevoso a:
 - Compressione (densità di ogni strato)
 - Trazione (coesione di ogni stato)
 - Taglio (coesione tra gli strati)
 - Basale (esistenza di strati deboli)
- Pendenza
- Ancoraggi naturali (alberi, rocce ecc)



Densità



La neve ha densità molto varia, da quella bassa della neve appena caduta nelle giornate fredde, a quella alta della neve di ghiacciaio

TIPO DI NEVE	DENSITÀ (Kg/m ³)
Neve fresca molto leggera	Circa 30
Neve fresca	100
Grani fini e arrotondati (debole gradiente)	200-450
Grani sfaccettati (medio gradiente)	200-400
Grani di brina di profondità (forte gradiente)	150-350
Grani da fusione e rigelo	300-500



Tipi di coesione

I diversi tipi di coesione sono:

- Per feltratura
- Sinterizzazione
- Per capillarità
- Per fusione e rigelo

Un manto nevoso coeso resiste maggiormente alla trazione ma amplia la dimensione spaziale delle tensioni

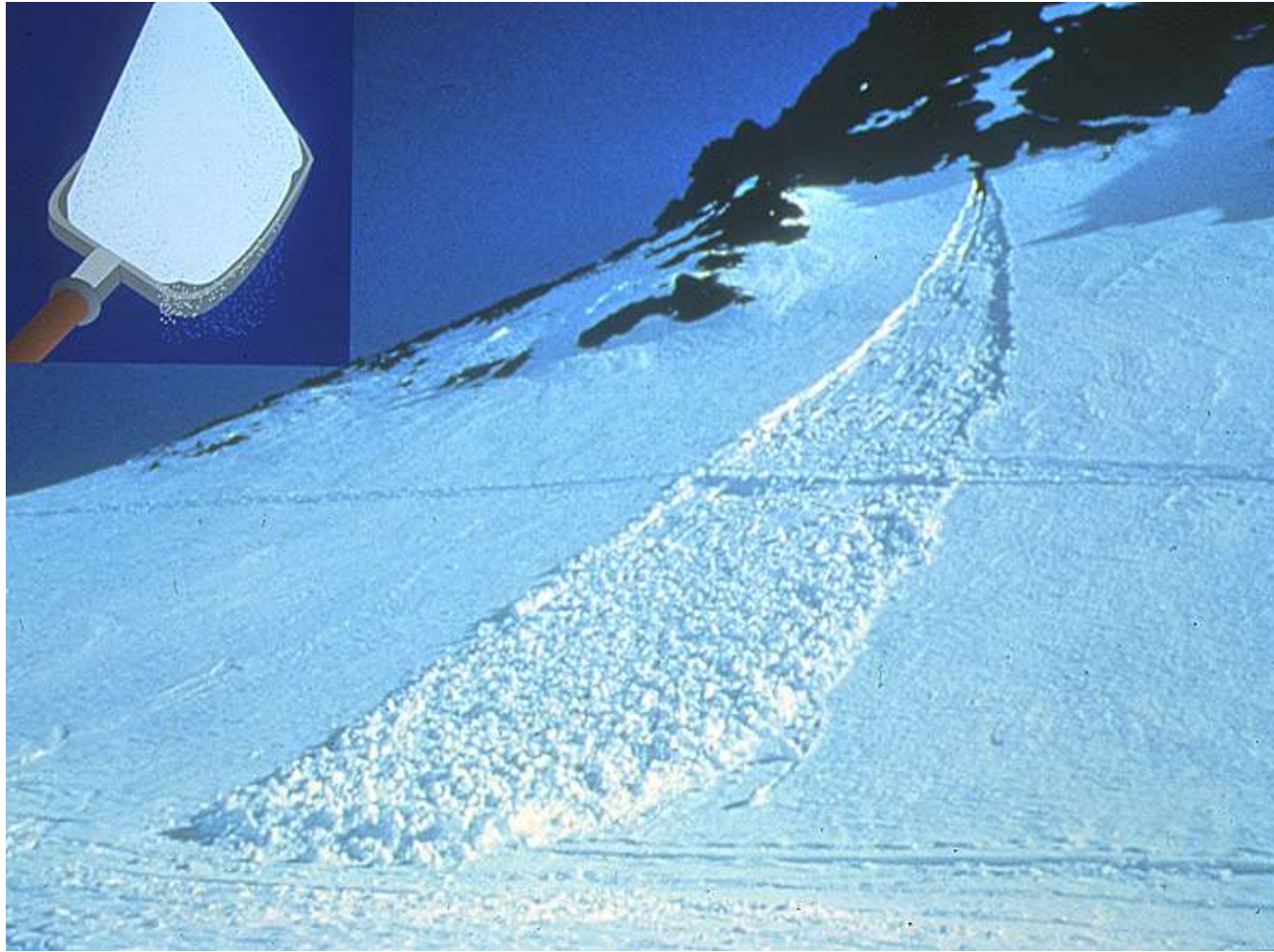
La coesione è valutabile considerando la durezza della neve.



Durezza



Bassa coesione



Alta coesione



Tipo di sollecitazione

Della sollecitazione è rilevante:

- l'intensità
- il tipo ovvero la gradualità/immediatezza



RIASSUNTO

Effetti degli elementi naturali sulla stabilità dei pendii

	Spessore	Densità	Coesione	Stabilità
<i>Temperatura >0° C</i>				
fusione	--	+	-	-
rigelo	=	=	++	+ +
<i>Temperatura <0° C</i>				
gradiente debole	-	+	+	+
gradiente elevato	=	-	-	-
<i>Eventi atmosferici</i>				
vento	+/-	+	+	-
pioggia	-	+	-	-
nebbia	--	+	-	-
neve	+	-	-	-



RIASSUNTO



Effetti della temperatura sulla stabilità del manto nevoso (regole pratiche utilizzabili come base decisionale)*

- riscaldamento massiccio e brusco (föhn, scirocco, pioggia, zero termico elevato, rialzo temperatura) **accresce il pericolo a breve termine**;
- riscaldamento lento, non eccessivo, **riduce le tensioni** nella copertura di neve asciutta e produce un benefico assestamento e un consolidamento;
- il freddo **conserva il pericolo esistente** (le tensioni del manto nevoso non scompaiono);
- un raffreddamento **consolida un manto nevoso umido** (raffreddamento notturno con cielo sereno);

** modello fortemente semplificato*



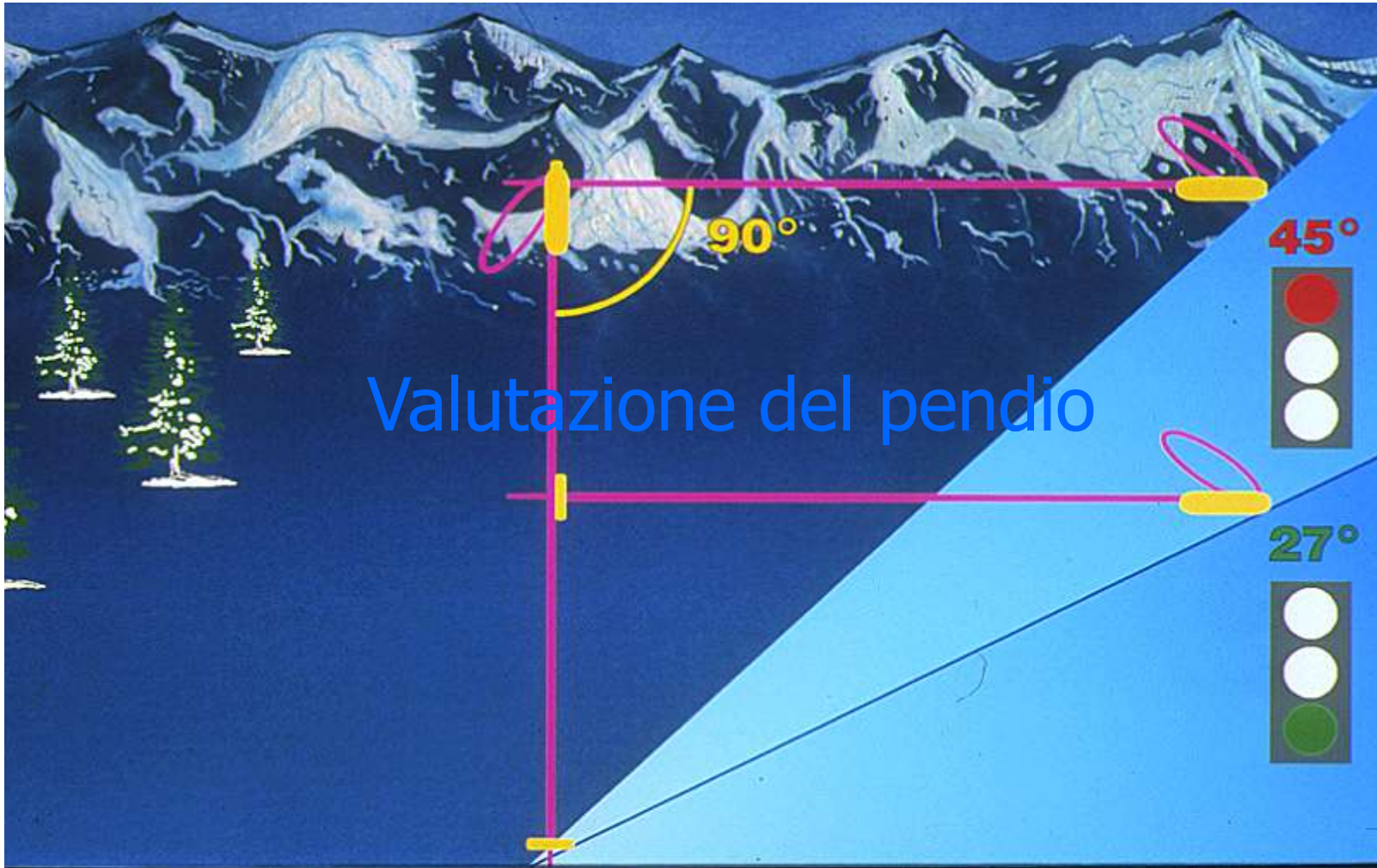
COME EVITARE I PENDII INSTABILI



- VALUTAZIONE DELLA PENDENZA
- DISTANZE DI SICUREZZA
- SCELTA DELLA MICROTRACCIA



Valutazione della pendenza



Distanze di sicurezza



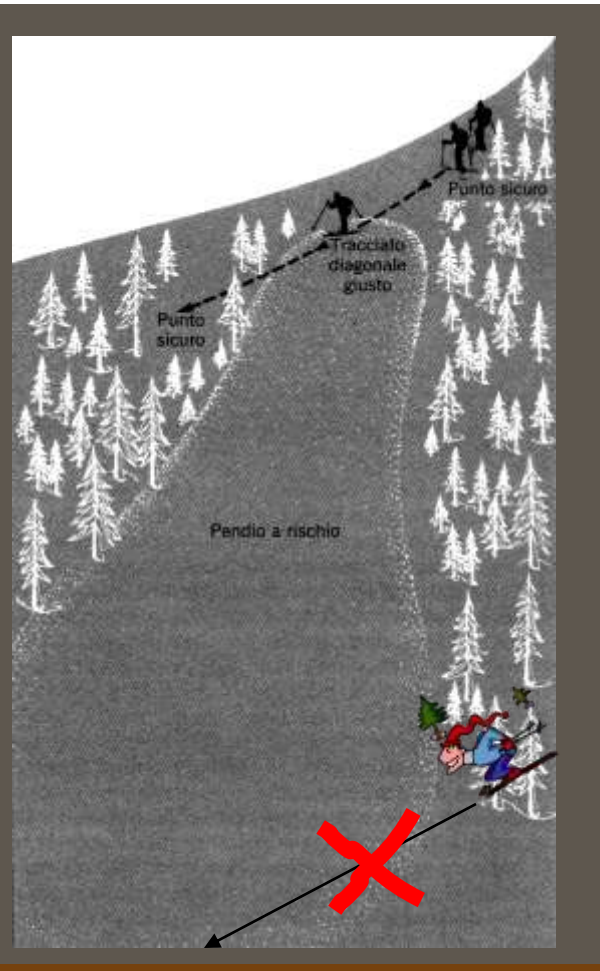
Distanze di sicurezza

Precauzioni da prendere

L'attraversamento di canali o radure nel bosco, richiede sempre attenzione.

Sono queste le zone in cui per decelerazione del vento troviamo accumuli di neve che possono formare pericolosissime situazioni difficilmente riconoscibili.

Quando possibile questi tratti si attraverseranno nella parte alta rispettando la regola di passare uno alla volta.

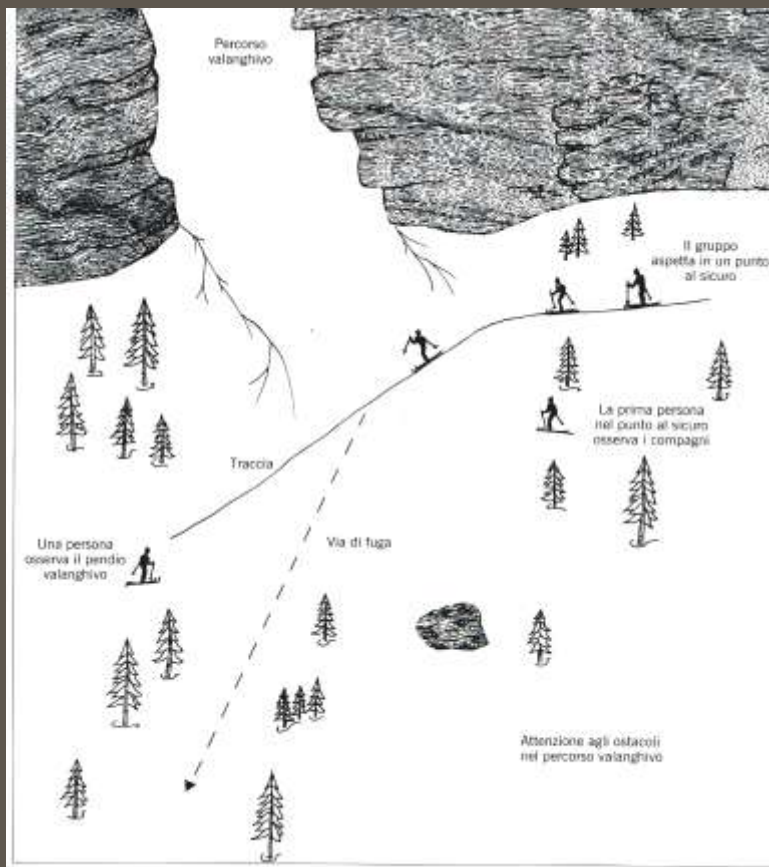


Distanze di sicurezza



Precauzioni da prendere

In una situazione analoga a quella rappresentata a lato, predisporre: un osservatore in zona sicura per osservare i compagni che attraversano il canale, e uno per osservare l'eventuale percorso della valanga, individuare le vie di fuga, localizzare eventuali ostacoli del percorso valanghivo. L'attraversamento verrà condotto passando uno per volta per non sovraccaricare il pendio.



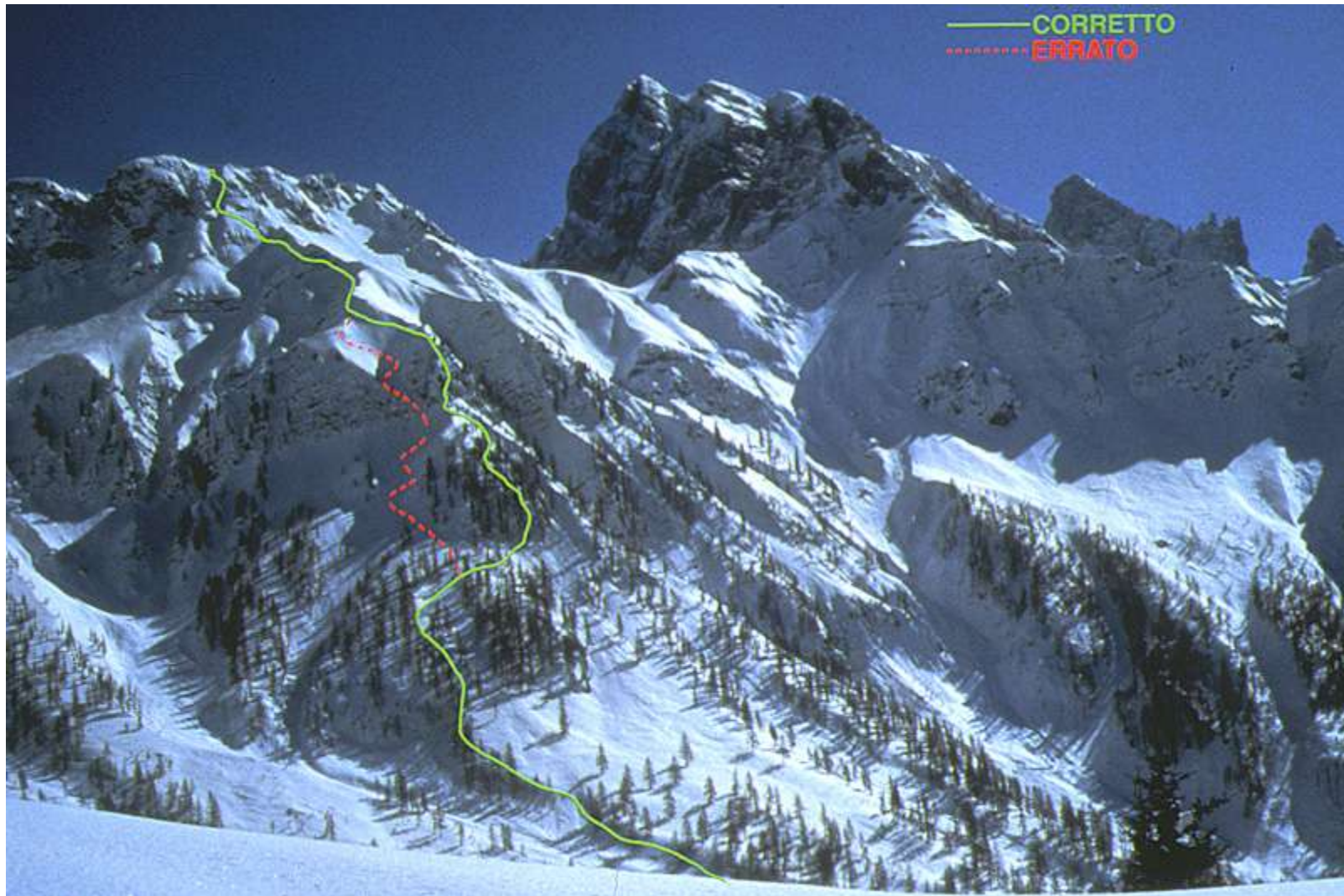
Scelta della microtraccia



Scelta della microtraccia



Scelta della microtraccia



Scelta della microtraccia





...anche ora la neve si sta trasformando...

