

## Il metamorfismo della neve al suolo

A cura di Massimo Pecci

(Giovane Montagna – Commissione Centrale di Alpinismo e Sci Alpinismo)

Per comprendere fino in fondo i fenomeni di metamorfismo della neve è fondamentale distinguere subito il cristallo di neve che si forma nelle nubi e scende nell'atmosfera rispetto ai cristalli che, giunti al suolo, si aggregano formando strati (generalmente uno per ogni precipitazione o, in caso di attività eolica per ogni singolo episodio di accumulo da vento) e che poi, nel loro complesso, formano il manto nevoso o neve al suolo.

La conoscenza dello stato di metamorfismo della neve al suolo (quindi dell'evoluzione della neve lungo tutta la stagione invernale) e della stabilità del manto nevoso sono un requisito "non negoziabile" per la sicurezza; vanno entrambi appresi, decodificati nelle diverse situazioni meteorologiche e periodi dell'inverno, ed aggiornati costantemente con cura, perché **la neve è in continua trasformazione** dal primo momento in cui, nelle nubi, la prima molecola di vapore d'acqua cristallizza, sublimando, su un germe cristallino. Una volta precipitata, la neve è sottoposta a nuove trasformazioni, legate all'ambiente in cui si trova (molto diverso dall'atmosfera in cui il cristallo ha preso forma), che prendono il nome di metamorfismi.

Così come nell'atmosfera, anche al suolo i principali fattori che controllano il processo di trasformazione (metamorfismo) sono la temperatura e la pressione, comprensiva, quest'ultima, del carico statico (legato al peso dei cristalli e degli strati che via via si vanno a depositare, costituendo il manto nevoso, nel corso dell'inverno) e, anche, della quota parte dovuta all'azione dinamica del vento, oppure legata all'eventuale azione di sovraccarico meccanico di un mezzo battipista, di un animale o di escursionisti, sciatori, alpinisti.

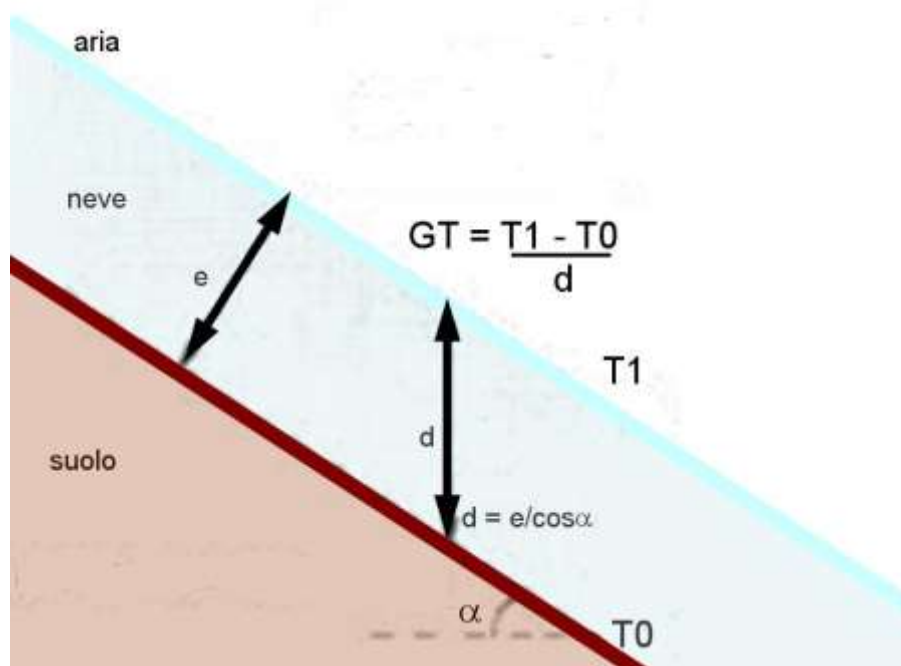
Quindi, si possono distinguere due tipi di metamorfismo, uno che entra in gioco con condizioni asciutte della neve (quando le temperature sono sempre negative), in cui analogamente all'evoluzione della neve in atmosfera, prevalgono gli scambi di vapore d'acqua grazie, anche, all'elevata porosità di questo tipo di neve; mentre, quando la neve è bagnata (le temperature sono positive), gli scambi sono dovuti principalmente alla fase liquida dell'acqua. Per quanto riguarda la neve asciutta bisogna evidenziare, ai fini della stabilità del manto nevoso, il ruolo fondamentale esercitato dal vento, che già durante le precipitazioni, con la sua forza disagregatrice, riduce i cristalli di neve a piccoli frammenti; questi ultimi, abbandonati nelle aree sottovento, grazie alla loro forma e dimensione più minuta, risulteranno meno porosi, più addensati e, quindi, più compatti, andando a creare le condizioni ideali per la formazione di pericolosi e così detti "lastroni di neve".

Per quanto riguarda la neve bagnata invece, va posta particolare attenzione al ruolo giocato dalla temperatura; infatti, in questo caso l'aumento della fase liquida può portare rapidamente il manto in una condizione di debolezza e plasticità, come si verifica nelle valanghe primaverili (manto nevoso in condizioni isotermitiche).

Come già detto i due tipi di metamorfismo a cui è sottoposto il manto nevoso sono: 1) metamorfismo della neve asciutta e 2) metamorfismo della neve bagnata. Vediamoli nel dettaglio

### 1) Metamorfismo della neve asciutta

La neve viene considerata asciutta quando non contiene acqua allo stato liquido, quindi, in presenza di temperature negative: il manto nevoso risulta, così, costituito unicamente da acqua nella fase cristallina e da aria, presente tra i singoli cristalli o grani. La neve asciutta può subire tre tipi di metamorfismo, che, in queste condizioni, sono controllati quasi unicamente dal “Gradiente di Temperatura”, definibile come il rapporto tra la differenza di temperatura che si stabilisce tra due punti all’interno del manto nevoso e la distanza verticale tra di essi.



Il Gradiente di temperatura nel manto nevoso (ridisegnato da “Dalla parte della neve” di M. Pecci – Altrimedia edizioni, 2011)

1) Quando il gradiente di temperatura all’interno del manto nevoso è debole (limitata differenza di temperatura tra la neve e l’aria:  $<0,05 \text{ } ^\circ\text{C/cm}$ ), prevale il carico statico dei cristalli e degli strati di neve superiori su quelli sottostanti: i cristalli arborescenti originari (“**fiocchi di neve**”) si arrotondano, le superfici sporgenti si smussano e si ottengono, alla fine, **grani** arrotondati, con un diametro pari a circa 0.5 mm, che si saldano tra loro attraverso ponti di ghiaccio. Questo metamorfismo (in passato veniva definito “distruttivo” in quanto la struttura arborescente dell’originario fiocco di neve veniva “distrutta” in un grano) provoca, normalmente, un assestamento complessivo, andando ad aumentare la coesione della neve.

2) Quando il gradiente del manto nevoso è medio ( $0,06 \text{ } ^\circ\text{C/cm} < \text{gradiente} < 0,19 \text{ } ^\circ\text{C/cm}$ ), i grani posti al contatto con il suolo risultano più “caldi”, dal momento che il suolo possiede una temperatura di circa  $0^\circ\text{C}$  (a meno che al di sotto non vi sia un ghiacciaio o il così detto permafrost – terreno o roccia perennemente gelati

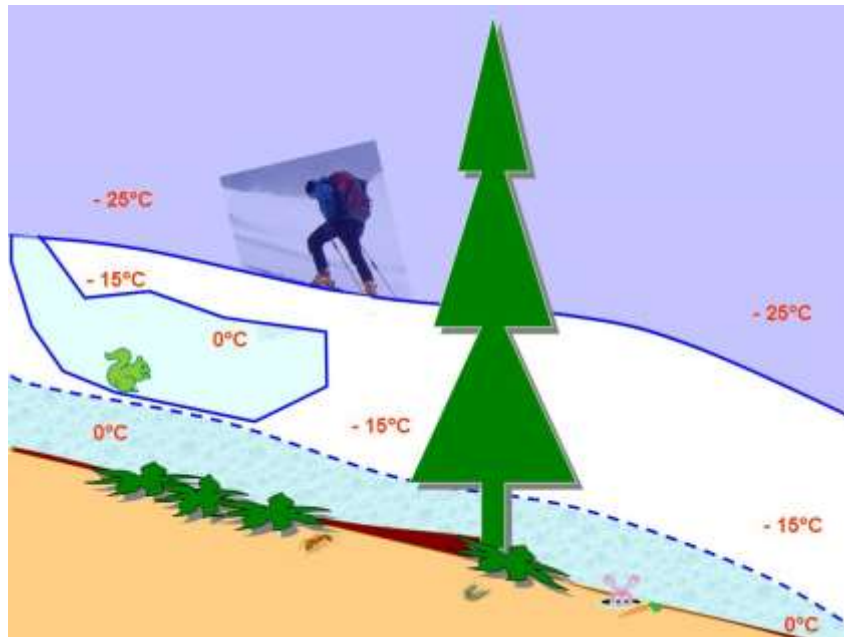
– con presenza di temperature negative), per effetto del gradiente geotermico naturale (che tende a trasportare energia e, quindi, calore dall'interno della terra verso la superficie). La parte esterna dei grani basali, a contatto con il suolo, sublima e le molecole di acqua allo stato di vapore, così prodotto e dopo un percorso brevissimo (e dipendente dall'energia in gioco), rigela alla base dei grani immediatamente vicini e/o soprastanti, più freddi. I cristalli che si vengono a formare non seguono i processi chimico-fisici che hanno originariamente portato alla formazione dei cristalli all'interno delle nubi in atmosfera da germi di ghiaccio (perché al suolo esistono condizioni di temperatura e pressione diverse rispetto a quelle esistenti nelle nubi), ma l'accrescimento avviene per sublimazione diretta del vapore sulla superficie esterna dei grani, che quindi tendono a “sfaccettarsi” secondo superfici piane e sovrapposte. Questi cristalli particolari vengono definiti, infatti, sfaccettati o striati, raggiungono dimensioni intorno al millimetro e gli strati di neve che ne risultano sono caratterizzati da densità e resistenza minore rispetto agli strati composti da grani.

3) Quando il gradiente di temperatura all'interno del manto nevoso è elevato ( $>0,2$  °C/cm) e perdura nel tempo, i *cristalli striati* continuano a svilupparsi attraverso il processo di crescita, che viene definita, anche, “cinetica” quando produce facce, vertici e angoli tipici di tutti i cristalli: allora, alla base dei grani si formano come dei gradini, che accrescendo formano *cristalli sfaccettati*; quando il processo continua; i cristalli sfaccettati si accrescono nello spazio, ai bordi dell'originario cristallo striato, isolando un volume cavo e vuoto all'interno; si formano così piramidi striate con diametro anche di parecchi mm. Questi cristalli vengono chiamati “*cristalli a calice*”, perché cavi all'interno, o più genericamente “*brina di fondo*”. Con lo stesso meccanismo e per la stessa forte variazione di temperatura si forma la brina di superficie, i cui cristalli hanno la caratteristica forma a “coda di rondine”, “luccicano” riflettendo la luce del sole e si rompono con il tipico “crik-crok” se calpestati. Questo tipo di metamorfismo veniva definito in passato “costruttivo”, per gli effetti sui cristalli.

Brina di fondo, con il tipico aspetto di sale grosso e comportamento non coesivo al test della pala (si forma un cumulo di cristalli senza legami e in veloce disgregazione) e brina di superficie non hanno alcuna coesione tra loro e vanno a costituire i cosiddetti “strati deboli” che sono all'origine della potenziale instabilità del manto nevoso e che può dar luogo a valanghe di lastroni di fondo (in presenza di brina di fondo) o valanghe di lastroni di superficie in presenza di brina di superficie, successivamente ricoperta da uno strato di neve (depositato da una successiva nevicata). Risulta chiaro, allora, che la valutazione della stabilità del manto nevoso deve andare alla ricerca dell'eventuale presenza di questi strati deboli e non si può basare su un'osservazione superficiale.

La potenziale instabilità del manto nevoso, una volta innescato il metamorfismo da gradiente medio e forte, permane nel corso dell'inverno, non può essere rilevato dall'esterno, ma solo scavando una trincea nella neve, o saggiandone la resistenza dalla superficie con una sonda da valanga, e scompare solo in concomitanza con la fusione della neve o a seguito di un riscaldamento significativo, ad esempio nel corso di una sciroccata forte e persistente.

In sintesi, quindi, il gradiente di temperatura è legato al valore della temperatura esterna e allo spessore del manto nevoso: ne discende che le situazioni spazio-temporali potenzialmente favorevoli alla formazione di strati deboli sono i versanti a nord e i lunghi periodi dell'inverno caratterizzati da temperature basse, cosa questa che va a demolire le credenze, ancora oggi molto diffuse, che sui versanti nord (o in ombra) e con basse temperature le condizioni siano sicure, perché il freddo, congelando, dovrebbe esercitare un'azione stabilizzatrice.



La temperatura al suolo rimane molto vicina a 0 °C, ma positiva, per effetto del flusso geotermico, anche se le temperature dell'aria sono molto basse (-25 °C, nel disegno); inoltre la neve è un buon isolante e consente la sopravvivenza sia al suo interno (nelle buche provvisorie di animali, ma anche nei ricoveri d'emergenza per l'uomo, come, ad esempio, nelle trune e negli igloo, dove si formano sacche d'aria più calda), sia all'interno del suolo, con temperature sempre prossime a 0 °C, anche quando le temperature della neve sono molto basse (- 15 °C, nel disegno, ridisegnato da "Dalla parte della neve" di M. Pecci – Altrimedia edizioni, 2011)

### **Metamorfismo della neve umida**

La coesione, nel caso del manto nevoso invernale freddo (quindi con temperature negative), dipende solo dall'angolo di attrito interno, a sua volta legato al grado di incastro dei fiocchi o dei grani; quando comincia a manifestarsi il metamorfismo della neve umida (durante la stagione invernale, occasionalmente, in concomitanza di sciroccate o per effetto dell'insolazione diurna, oppure regolarmente durante la stagione primaverile) l'acqua allo stato solido dei cristalli può cominciare a fondere in acqua liquida. La neve viene definita umida quando contiene una certa quantità di acqua allo stato liquido e quest'acqua è libera di muoversi. La neve umida è, quindi, una miscela costituita da ghiaccio, aria e acqua; con temperatura prossima a 0 °C (condizioni di isotermità).

All'inizio l'acqua liquida rimane "attaccata" ai cristalli per effetto dei legami idrogeno", con un comportamento di *pseudocoazione*, che, a sua volta, è legata

alla capillarità dell'acqua liquida presente ed è favorevole alla stabilità. Quando il processo di fusione prosegue, la quantità di acqua liquida aumenta, diventando, contemporaneamente libera di circolare tra i singoli grani, andandoli a destabilizzare e rendendoli come “galleggianti” all'interno del liquido: progressivamente si va a diminuire fino ad annullare (se il processo di fusione prosegue) la *pseudocoazione* e, quindi, la resistenza.

Se il manto nevoso si raffredda (a causa di correnti d'aria fredda o per mancanza d'insolazione diretta, come durante la notte), l'acqua gela e salda di nuovo i grani tra loro attraverso dei ponti di ghiaccio. Il manto nevoso diventa, in questo modo, duro e stabile, andando a formare le cosiddette “croste da (fusione e) rigelo”.

Se invece, per la forte insolazione (soprattutto sui versanti esposti ai quadranti meridionali) o per un repentino rialzo termico, dovuto, ad esempio, ad un “impulso sahariano” o sciroccale, la fusione aumenta superando il punto critico di equilibrio che corrisponde circa al 12% di acqua, la fase liquida diviene continua e le interfacce aria/ghiaccio tra i cristalli non esistono più o saranno molto limitate e tutta la massa di neve può trovarsi in condizione di instabilità e scivolare, in massa, verso il basso, dando luogo, anche, ad estese valanghe di fondo di neve umida o “primaverili”.

Il metamorfismo da fusione determina la scomparsa del manto nevoso e mette fine al metamorfismo dei cristalli di neve, che diventano grani bagnati e, quindi, successivamente acqua liquida.

In conclusione, non esiste un tipo di metamorfismo buono, perché utile alla nostra sicurezza o cattivo, perché promotore di instabilità; il metamorfismo della neve è una caratteristica intrinseca del cristallo di neve e, quindi, del manto nevoso.

Sta a noi capire in quale situazione di metamorfismo e con quale storia passata la neve che dovremo affrontare nella gita del fine settimana ci si presenterà, ma, ancora una volta dovremo approfondire questo rapporto con la neve e non ci potremo limitare ad una conoscenza superficiale, ma dovremo necessariamente trasferire la nostra attenzione dalla superficie al suo interno, se vogliamo veramente cominciare a valutarne la stabilità con un minimo di criterio...

## BIBLIOGRAFIA

PECCI M. (2008) - Dispense del Corso di Glaciologia. Università degli Studi “Roma Tre”, AA 2008-2009

PECCI M (2011) Dalla parte della neve”– Altrimedia edizioni