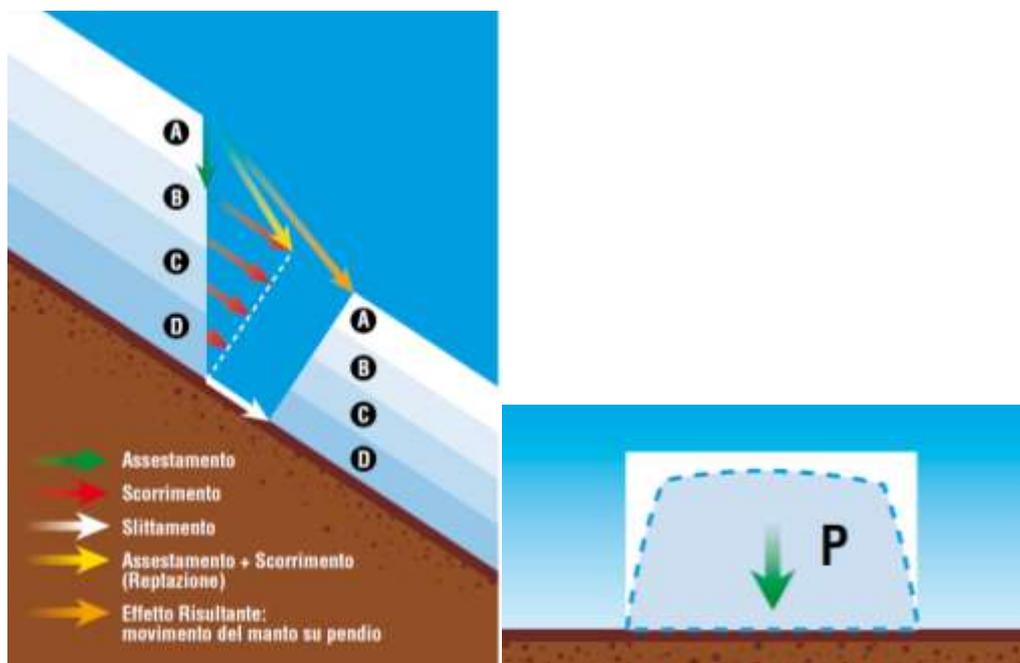


La stabilità del manto nevoso
A cura di Massimo Pecci
(Giovane Montagna – Commissione Centrale di Alpinismo e Sci Alpinismo)

Su un pendio naturale montano, generalmente sempre inclinato, si possono avere diversi movimenti - tra i singoli cristalli, tra i vari strati e complessivamente nel manto nevoso - che sono richiamati nella figura seguente.



Movimenti del manto nevoso e assestamento di uno strato di neve con espulsione dell'aria e diminuzione di volume (figura tratta da "La neve" Alfredo Praolini, Gianluca Tognoni, Elena Turroni, Mauro Valt; AINEVA, 2009)

Se non intervengono ulteriori elementi perturbanti o sollecitazioni dinamiche e se il manto nevoso rimane in equilibrio (per sufficiente resistenza rispetto al pendio dato), avremo come movimento risultante dell'intero manto nevoso un suo "lento" movimento sul pendio legato alla propria deformazione.

APPROFONDIMENTO - La deformazione del manto nevoso: stabilità del manto nevoso o un altro tipo di metamorfismo?

Abbiamo visto con le note riguardanti il metamorfismo del manto nevoso come i singoli cristalli e il manto nevoso nel suo complesso reagiscono alle differenze di temperatura che si registrano tra la base del singolo strato di neve o del manto nel suo complesso (a partire dal contatto con il terreno) e la sua superficie (a contatto con l'atmosfera), determinando un gradiente di temperatura all'interno. Il gradiente di temperatura produce scambi di energia sotto forma di calore e, quindi, di molecole d'acqua proprio in prossimità del punto triplo (a una T di $0\text{ }^{\circ}\text{C}$), quando i suoi 3 stati coesistono.

Da un punto di vista microscopico, oltre all'energia termica, i processi di metamorfismo sono governati anche dalla pressione. Alcuni studi recenti (Langham, 1992), hanno messo in evidenza che la neve soggetta a forti e continue sollecitazioni, derivanti dal peso del manto nevoso o dalla inclinazione del versante, si deforma in maniera permanente lungo i reticoli cristallini orientati in modo tale da avere la tensione di taglio parallela ai piani basali. Altri cristalli (orientati in modo diverso a causa di simmetrie modificate, o di danneggiamenti e/o di imperfezioni del reticolo) sopportano sollecitazioni maggiori prima di deformarsi in maniera permanente e acquistano energia libera; questo aumento di energia agisce in modo da trasferire materia a quei cristalli che hanno subito deformazioni plastiche. Di conseguenza le deformazioni, trasmettendosi con maggior

facilità lungo i piani basali, riducono ulteriormente la resistenza al taglio, mentre, contemporaneamente, le tensioni nelle altre direzioni tendono ad aumentare la concentrazione delle deformazioni e ad aumentare l'energia libera.

Analizzando il fenomeno a più larga scala, si può intuire l'effetto di questo tipo di metamorfismo sui pendii inclinati, su cui poggia un manto nevoso stratificato, formato da strati a diversa coesione e resistenza.

Per esempio, se pensiamo a un lastrone di neve (quindi con comportamento rigido) sovrapposto a strati più deformabili, s'intuisce come (per esempio, a causa di un rialzo termico) questo tipo di metamorfismo "per deformazione", favorendo il flusso di materia nelle zone con deformazioni maggiori (contatto tra i bordi del lastrone e lo strato di neve con caratteristiche di deformabilità più alta) possa favorire (nella zona più deformabile) l'accrescimento di cristalli con debolezza meccanica simile a quella tipica del metamorfismo da elevato gradiente non in grado di sostenere le sollecitazioni di taglio che possono portare al collasso del lastrone per perdita di sostegno sul bordo inferiore.

È questo il motivo per cui, oltre all'energia termica, anche l'energia meccanica (di deformazione anelastica) del manto contribuisce alla crescita preferenziale dei cristalli.

Quindi, se la sollecitazione è applicata molto lentamente, provoca delle **deformazioni viscose**, in cui il manto nevoso mantiene la capacità di assorbire e dissipare la sollecitazione; se, invece, l'applicazione della sollecitazione è veloce, il comportamento del manto nevoso sarà molto più assimilabile a quello di un corpo rigido e fragile che, in particolare a temperature molto al di sotto di 0°C, daranno origine a **fratture elastiche**.

Le sollecitazioni a cui il manto è sottoposto possono, quindi, essere di **compressione**, di **trazione** e di **taglio**.

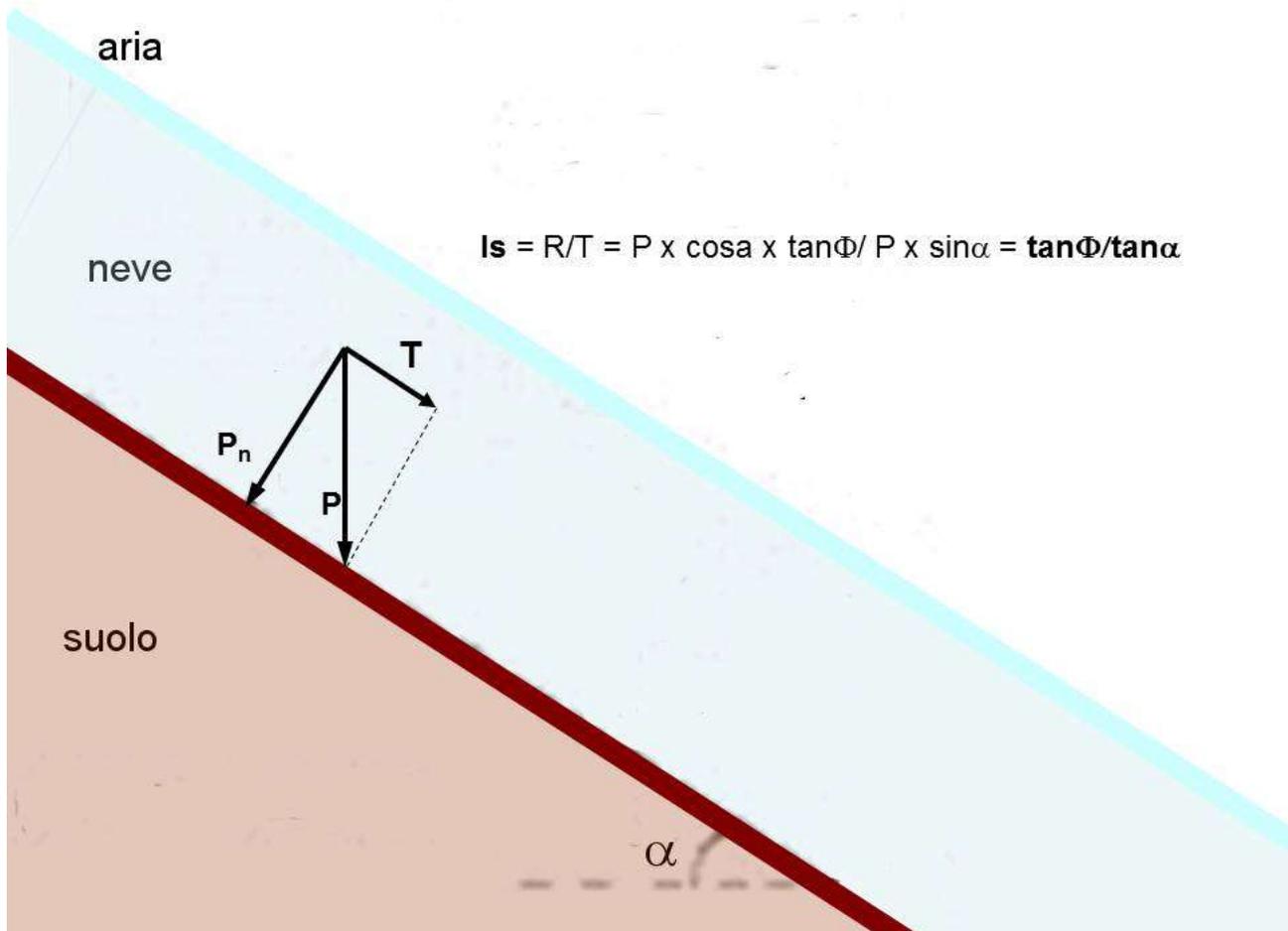
La capacità di reazione della neve alla compressione è relativamente buona, mentre è decisamente minore per trazione e taglio e dipende dal tipo di neve e dalla velocità di sollecitazione

Come situazioni estreme possiamo pensare:

- 1) al peso di una nuova nevicata che pur rappresentando un carico e, quindi, una sollecitazione, viene applicata lentamente (ore o anche giorni) inducendo un fenomeno di lenta deformazione che può avere sul manto l'effetto finale di assestamento,
- 2) al sovraccarico istantaneo legato alla discesa di uno sciatore che con le sue curve saltate potrebbe generare fratture nel manto e innescare il distacco di una valanga.

La stabilità del manto nevoso e le valanghe

La stabilità del manto nevoso può essere, quindi, definita come il rapporto tra l'insieme delle forze resistenti e l'insieme delle forze agenti ed è schematizzato nella figura seguente.



Indice di stabilità (I_s) nel manto nevoso (ridisegnato da “Dalla parte della neve” di M. Pecci – Altrimedia edizioni, 2011)

Al fine di valutare la stabilità del manto, si introduce l'indice di stabilità (I_s), che viene definito come il rapporto tra le forze resistenti (R), dirette lungo la componente normale della forza peso P_n e con verso opposto, e le forze agenti (T), dirette parallelamente al pendio, secondo la formula indicata in figura, in cui compare anche Φ , che rappresenta l'angolo di attrito interno della neve (caratteristica propria di ogni materiale) e che è tanto maggiore quanto maggiore è la resistenza dei singoli cristalli, a sua volta legata al grado di incastro tra i singoli cristalli di neve o grani.

Il distacco di una valanga si verifica quando le forze agenti combinate (T , nella figura) che agiscono lungo il pendio e che costituiscono le sollecitazioni di taglio, sono anche di pochissimo superiori alla resistenza al taglio della neve (forze resistenti). In questo caso il valore dell' I_s è di poco inferiore ad 1 e il surplus di sollecitazione va ad agire sullo strato debole, dando istantaneamente inizio alla rottura con cui comincia la dinamica di una valanga

È, quindi, fondamentale monitorare l'evoluzione temporale e spaziale del manto nevoso, in relazione all'andamento climatico – quindi durante tutta la stagione invernale - per cogliere le fasi di metamorfismo pregresse e, prevederne, per quanto possibile, le tendenze future al fine di individuare quali sono le condizioni che possono innescare la formazione di cristalli sfaccettati e a calice e, quindi, la formazione e l'accrescimento di uno strato debole e quando si facilita ed accelera la formazione o l'accrescimento di lastroni soprastanti (come abbiamo detto, in tutti i periodi connotati da presenza di vento).

Come già detto, l'indice di stabilità (Is) o di sicurezza al distacco risulta, quindi, funzione del rapporto tra la tangente dell'angolo d'attrito statico della neve presente al suolo (Φ), che è una caratteristica peculiare di ogni strato di neve, e l'angolo d'inclinazione del pendio (α); come possiamo misurarli o tenerne conto nelle nostre valutazioni nel corso della gita (Filtro 2 e Filtro 3 della regola del 3x3)?

Con il **test della pala** siamo in grado di valutare in maniera speditiva se la neve è coesa o meno; infatti se il campione prelevato mantiene la sua forma sulla pala vuol dire che è dotato di coesione e se addirittura tende a comportarsi come un mattoncino vuol dire che siamo in presenza di neve a lastroni; se invece si disgrega formando un cumulo a forma di cono rovesciato in cui i singoli cristalli (spesso visibili a occhio nudo) si muovono liberamente, vuol dire che siamo in presenza di neve a debole o nulla coesione; quando l'aspetto e il comportamento è quello somigliante a sale grosso, vuol dire che siamo in presenza di cristalli a calice.

Con il **test della sonda**, come anche visto nella sezione dedicata al profilo del manto nevoso, siamo in grado di avere in maniera speditiva un riscontro immediato dello spessore e del grado di resistenza/durezza dei singoli strati, avendo immediatamente informazioni sull'eventuale presenza di strati deboli e del loro spessore, in corrispondenza delle "cadute di resistenza" nel corso dell'infissione.

Con il **test dei bastoncini**, disposti a guisa di cateti di un triangolo rettangolo isoscele, di cui l'ipotenusa (base) è la superficie del manto nevoso e il vertice con angolo retto non è a contatto con la neve: siamo in grado di valutare l'inclinazione del pendio, in particolare dei pendii con inclinazione compresa tra 45° (vertice tra i cateti in corrispondenza delle impugnature dei bastoncini) e 25° (vertice in corrispondenza della metà del bastoncino posto sulla verticale al pendio), potenzialmente generatori di valanghe con neve a lastroni.

Peraltro, è anche importante sottolineare che l'esecuzione dei test rende utili ed utilizzati i componenti del kit di autosoccorso anche nel corso delle normali gite (e non solo per le operazioni di soccorso)...

Quindi in condizioni invernali (T negative), per avere il distacco di una valanga sono necessari alcuni **fattori predisponenti** quali, principalmente:

- una costituzione (**stratigrafia**) del manto in **grado di promuovere valanghe**, che saranno **superficiali**, in presenza di strati deboli intermedi, oppure **di fondo**, in presenza di strati deboli/brina di fondo alla base del manto, a contatto con il terreno;
- **pendii** così detti **critici dei versanti innevati**, compresi tra circa 25° e circa 45°, in corrispondenza dei quali, statisticamente e nel corso di tanti anni di monitoraggio da parte del Centro Svizzero per lo studio delle valanghe di Davos, è stata rilevata la maggior concentrazione delle valanghe di neve a lastroni provocate dall'uomo nelle sue attività di frequentazione della neve;
- **spessori** così detti **critici degli strati deboli**, del lastrone soprastante e del manto nel suo complesso.

La **causa innescante** generalmente è il **sovraccarico** che, a sua volta, può essere **naturale** (peso di ulteriori strati di neve, legati a neviccate, peggio se ingenti e in intervalli di tempo ravvicinati, oppure sollecitazioni dinamiche legate a terremoti) o **artificiale** (gruppo di alpinisti, escursionisti e sciatori, oppure, meno

frequentemente, animali che passano sul manto nevoso, oppure vibrazioni legate ad uno scoppio o ad altre attività antropiche).

In condizioni primaverili (T positive), per avere il distacco di una valanga sono necessari alcuni *fattori predisponenti* quali, principalmente, la presenza di acqua allo stato libero nella neve, che va a diminuire la coesione tra i singoli grani e tra i vari strati, quindi per condizioni della neve da bagnata a molto bagnata e fradicia (con contenuto in acqua superiore a circa il 12%). Questa caratteristica è valutabile con il **test del guanto**, che si realizza premendo con la mano moderatamente la neve, se ne fuoriesce dell'acqua liquida che va a bagnare il guanto con una sottile pellicola siamo in presenza di neve almeno bagnata.

Tra le *cause innescanti* vanno considerati principalmente:

- *il rialzo termico, peggio se repentino, che può essere legato sia all'evoluzione atmosferica, ma anche, nel corso della giornata, all'evoluzione diurna della temperatura che provoca la fusione della neve andando ad aumentare l'acqua libera nel manto;*
- *la presenza e le attività dell'uomo.*

Questo è il motivo per cui in condizioni primaverili le gite cominciano e si concludono presto, al fine di porsi in condizioni di maggior sicurezza.

Teniamo conto che le condizioni primaverili si possono verificare anche nel corso dell'inverno (cosa che si sta verificando spesso negli ultimi tempi) e viceversa.

Teniamo anche conto di alcune indicazioni sperimentali o per meglio dire legate all'esperienza che ciascuno di noi è in grado di cogliere e che ci possono aiutare nel corso della gita a valutare alcune condizioni potenzialmente critiche, e che ognuno di noi può ipotizzare e successivamente verificare, come ad esempio, se nella progressione abbiamo necessità di mettere i ramponi o i rampanti su un pendio che sta diventando troppo inclinato, siamo sicuramente all'interno dell'intervallo di inclinazione critico, prossimo ai 35°-40°, dove anche gli strati di neve più dura fanno fatica a rimanere ancorati ad un eventuale strato debole sottostante in equilibrio precario; oppure, se la neve appena deposta si scrolla dai rami piegati sotto il sole vuol dire che essa è in rapida umidificazione e che, quindi, probabilmente comincerà a succedere la stessa cosa in corrispondenza delle rocce più scure, dando luogo a scaricamenti e valanghe di neve a debole coesione, ecc...

BIBLIOGRAFIA

CRESTA R. (2000) - *La neve e le valanghe*. Mulatiero Editore, Ciriè (CN)

LANGHAM E. J. (1992) - *Fisica e proprietà della neve*. *Neve e Valanghe*, 15, pagg. 58-69, Aineva, Trento

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

PRAOLINI A., TOGNONI G., TURRONI E., VALT M. (2009) - *Le valanghe*, AINEVA,