

# BARRIERE FERMA

**Roberto Castaldini**  
ingegnere forestale libero  
professionista - consulente  
via Mocenigo, 4 - 37138 Verona  
info@studiocastaldini.it

La determinazione delle effettive azioni esercitate dalla pressione della neve sulle strutture di sostegno permanenti del manto nevoso nella zona di distacco delle valanghe risulta essere un'operazione assai complessa. Per il calcolo si fa generalmente riferimento alle Direttive Svizzere per la **"Costruzione di opere di premunizione contro le valanghe nella zona di distacco"** edizione 2007 emanate dall'UFAM (Ufficio Federale per l'Ambiente) e dal WSL (Istituto Federale Svizzero per lo Studio della Neve e delle Valanghe) di Davos. Le formule riportate nelle Direttive rappresentano inevitabilmente e necessariamente una semplificazione rispetto a quanto avviene in natura, ma presentano il grande pregio di essere di immediata comprensione, di facile impiego e la loro validità è stata perlopiù confermata dall'esperienza sul campo. L'adottare come riferimento per il calcolo delle forze agenti sulla struttura le Direttive Svizzere (DS) non esonera tuttavia il progettista dell'intervento da una indispensabile verifica della loro applicabilità, e, se il caso, da una opportuna ed attenta taratura dei parametri, particolarmente per contesti geografici e climatici differenti da quello alpino svizzero. A tal fine si sono riscritte le formule nel modo più generale possibile in funzione dei parametri  $D_k$ ,  $\rho$  e  $\psi$ , e si è eseguita una semplice analisi di sensitività dei principali parametri in gioco. I grafici così ottenuti possono costituire un rapido e utile strumento per un pre-dimensionamento di massima delle strutture fermaneve.

pressione  
specifica del  
manto nevoso

# NEVE



## PREMESSA

La determinazione delle azioni esercitate dalla pressione della neve sulle strutture di sostegno permanenti del manto nevoso nella zona di distacco delle valanghe risulta essere un'operazione assai complessa. Spesso infatti si manifestano fenomeni difficilmente prevedibili anche con attente osservazioni e misurazioni. Il manto nevoso è un mezzo stratificato, disomogeneo, anisotropo dove la densità e le velocità di scorrimento e di slittamento, che determinano l'entità degli sforzi di taglio e quindi la pressione, variano da strato a strato e da zona a zona; inoltre il manto nevoso modifica le proprie caratteristiche meccaniche più o meno rapidamente nel tempo e nello spazio, in funzione della temperatura.

Le formule di calcolo, cui si fa generalmente ricorso, riportate nel presente articolo, rappresentano inevitabilmente e necessariamente una semplificazione rispetto a quanto avviene in natura.

Nella loro formulazione originaria furono proposte da R. Haefeli nel 1954 e successivamente modificate sulla base di dati empirici da B. Salm (1960) e M.R. De Quervain (1963) ed infine recepite dalle Direttive svizzere. Tali formule presentano

il grande pregio di essere di immediata comprensione, di facile impiego e la loro validità è stata perlopiù confermata dalle misurazioni effettuate nella realtà (Kummerli 1958, Margreth 1995, Rammer 2009).

Per il calcolo delle forze agenti sulla struttura si fa dunque generalmente riferimento alle Direttive Svizzere per la "Costruzione di opere di premunizione contro le valanghe nella zona di distacco" edizione 2007 emanate dall'UFAM (Ufficio Federale per l'Ambiente) e dal WSL (Istituto Federale Svizzero per lo Studio della Neve e delle Valanghe) di Davos, mentre per il dimensionamento strutturale e la verifica si adottano gli usuali metodi della Scienza delle Costruzioni, in particolare quello semi-probabilistico agli stati limite (SLU ed SLE), facendo riferimento, nel caso specifico italiano, alle *Nuove Norme Tecniche* (NTC2008) D.M. Infrastrutture 14 gennaio 2008 e 06 maggio 2008 ed alla Circolare interpretativa del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici n. 617 del 02 febbraio 2009, ovvero, nel caso europeo, all'Eurocodice 3 sulle costruzioni di acciaio (nella maggior parte dei casi le strutture fermane sono strutture di acciaio; possono essere

strutture di legno, nel caso di rastrelliere o ponti da neve temporanei; nonostante qualche raro esempio di installazione in Svizzera, il calcestruzzo armato precompresso di fatto non si adopera più a causa dei maggiori peso, dimensioni e costi).

L'adottare come riferimento per il calcolo delle forze agenti sulla struttura le Direttive Svizzere (DS), la cui validità è riconosciuta a livello internazionale e supportata da più di cinquant'anni di esperienza e di validazione sul campo di opere realizzate e calcolate in base alle stesse, non esonera il progettista dell'intervento da una indispensabile verifica della loro applicabilità, e, se il caso, da una opportuna ed attenta taratura dei parametri, particolarmente per contesti geografici e climatici differenti da quello alpino svizzero. E' evidente infatti che la neve degli Appennini, dei Pirenei o quella del Caucaso, dell'Islanda, della costa occidentale degli Stati Uniti presenta caratteristiche assai diverse dalla neve alpina e il non tenerne debito conto può comportare spiacevoli sorprese, fino al collasso delle strutture.

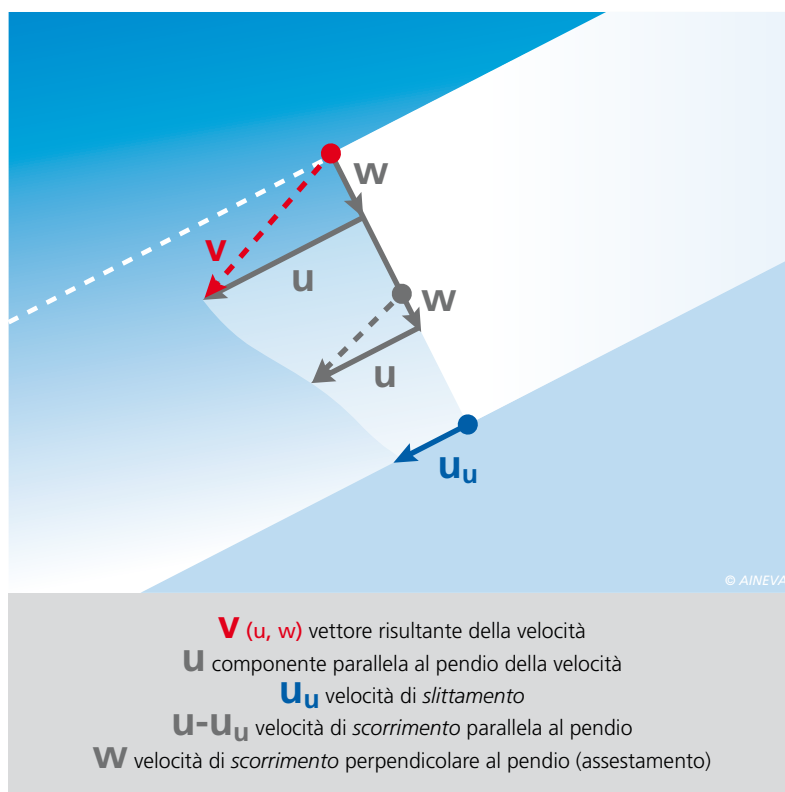
A tal fine si è ritenuto interessante eseguire una semplice analisi di sensitività dei principali parametri in gioco, ovvero definire la variazione della pressione specifica della neve al variare di una o più variabili di input, restando costanti tutte le altre.

## PRESSIONE SPECIFICA DELLA NEVE SULLE OPERE DI SOSTEGNO

La pressione esercitata dal manto nevoso su un piano verticale alla linea di massima pendenza è generalmente causata dallo smorzamento locale del movimento di scorrimento (pressione di scorrimento – deformazione plastica interna) e dell'eventuale movimento di slittamento del manto nevoso lungo la superficie del terreno (pressione di slittamento) (figura 1).

Scopo delle opere di sostegno è quello di impedire il distacco di valanghe o, per lo meno, di rendere inoffensivi i movimenti di neve, che non possono essere comple-

Fig. 1 - velocità di scorrimento e di slittamento nel manto nevoso (da DS, 2007).



tamente arrestati, al loro sorgere in modo tale da non acquistare velocità e quindi energia distruttiva. Le valanghe in pieno movimento esercitano forze che le opere di sostegno, di regola, non sono in grado di sopportare.

Le opere di sostegno devono opporre allo scorrimento ed eventualmente allo slittamento del manto nevoso una superficie di sostegno ancorata al terreno, più o meno perpendicolare al pendio e con un'altezza almeno pari a quella del manto nevoso con un tempo di ritorno 100 anni. Ciò comporta un'azione di sbarramento, e le velocità di scorrimento e di slittamento si riducono man mano che la neve si avvicina all'ostacolo. Nella zona di sbarramento, che, per la neve alpina, si estende praticamente su una distanza parallela al pendio uguale ad almeno 3 volte l'altezza verticale della neve  $H_k$  (tale distanza dipende essenzialmente dall'entità dello slittamento e dal tipo di neve), si producono nella neve tensioni di compressione supplementari parallele al pendio. figura 2).

Queste tensioni sono assorbite dalla superficie di sostegno con una conseguente diminuzione delle tensioni di taglio ed, eventualmente, di trazione, cause principali della formazione di valanghe di neve a lastroni, che, come noto, sono le più temibili e pericolose. In caso di frattura del manto nevoso, le opere di sostegno impediscono il distacco della vecchia coltre nevosa e limitano la superficie della zona in cui possono propagarsi le fratture di taglio.

Secondo le Direttive svizzere la pressione specifica esercitata dalla neve su di un'opera di stabilizzazione del manto nevoso dipende dai seguenti fattori locali:

- $\rho$  = densità della neve, dipende dal tipo di neve.
- $H_{estr}$  = altezza estrema della neve sul posto dell'opera misurata verticalmente (valore più elevato dell'altezza massima della neve misurata in posto durante un lungo periodo di anni o prevista con metodi di analisi statistica).

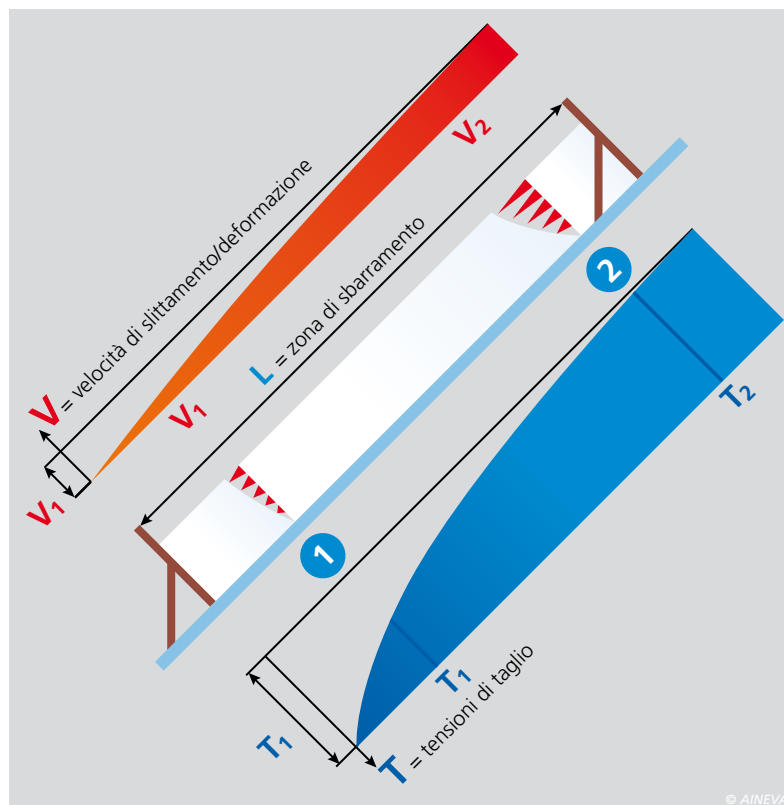


Fig. 2 - Andamento delle velocità di creep e delle tensioni di taglio e relativa zona di sbarramento all'interno del manto nevoso in presenza di un'opera di sostegno (da S. Margreth, 1995).

- $k$  = fattore di scorrimento, dipendente dalla densità della neve e dalla acclività del terreno.
- $N$  = coefficiente di slittamento, dipendente dal tipo di vegetazione, dalla rugosità del terreno e dalla sua esposizione al sole.
- $f_c$  = fattore di altitudine, che caratterizza la dipendenza della densità della neve dall'altitudine.
- $f_r$  = fattore marginale, dipendente dagli intervalli laterali tra le opere e dal coefficiente di slittamento.
- $f_s$  = fattore di riduzione per tener conto di una superficie di appoggio flessibile da adottare nel caso di reti da neve.
- $H_k$  = altezza tra il bordo superiore della rete ed il suolo, misurata verticalmente.
- $D_k$  = distanza tra il bordo superiore della rete ed il suolo, misurata perpendicolarmente al pendio (spessore della neve).
- $\psi$  = angolo massimo di inclinazione del pendio nella zona di distacco.

Alcuni di questi fattori vengono determinati sul posto, mentre altri si ottengono da relazioni generali.

Nella sua formulazione più generale, riportata nelle Direttive svizzere, la compo-

nente parallela al pendio della pressione specifica (per metro lineare) della neve,  $S'_N$ , su una superficie perpendicolare al pendio e di lunghezza illimitata lungo la linea di livello è data dalla seguente formula:

$$S'_N = f_s \cdot \rho \cdot g \cdot k \cdot f_c \cdot \frac{H_k^2}{2} \cdot N \quad [1]$$

dove:

$f_s$  = fattore di riduzione per superfici flessibili, funzione dello slittamento del manto nevoso lungo il terreno, della freccia, della forma, inclinazione e delle dimensioni della maglia della rete; per condizioni di slittamento medio e per neve alpina può assumersi  $f_s = 0,8$  per le reti da neve,  $f_s = 0,9$  per ombrelli da neve ed  $f_s = 1,0$  per ponti e rastrelliere da neve.

$\rho$  = densità media della coltre nevosa di altezza estrema, espressa in  $t/m^3$ , dipende dal tipo di neve. Per le Alpi le Direttive svizzere assumono  $\rho = 270 \text{ kg/m}^3$ : tale valore è valido per le Alpi svizzere ad un'altitudine di 1500 m s.l.m ed un'esposizione ONO-N-ENE; in contesti meteo-climatici diversi da quello alpino, quali ad esempio in Islanda, Caucaso occidentale, le montagne della costa pacifica degli Stati

Uniti e del Canada, dove la neve risulta essere molto più umida, si dovrà considerare una densità media di  $400 \text{ kg/m}^3$  ed eventualmente di  $500 \text{ kg/m}^3$  o superiore, a seconda dei singoli siti;

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$  accelerazione di gravità terrestre

$k = \xi \cdot \sin(2 \cdot \psi)$  coefficiente di scorrimento, funzione della densità media  $\rho$  della neve e della inclinazione media  $\psi$  del pendio nella zona di distacco ove

$\xi = 2,5 \cdot \rho^3 - 1,8571 \cdot \rho^2 + 1,0607 \cdot \rho + 0,542$  con  $\rho$  espresso in  $\text{t/m}^3$

$f_c = 1 + 0,02 \cdot \left(\frac{z}{100} - 15\right) = 0,0002 \cdot z + 0,7$

fattore di altitudine il cui valore può variare da un minimo di 1,0 a un massimo di 1,3 e che rappresenta l'aumento gene-

ralmente osservato della densità media della neve in funzione dell'altitudine  $z$  m s.l.m.; per l'arco alpino le Direttive svizzere stabiliscono che ad altitudini inferiori a 1.500 m s.l.m si assume  $f_c = 1,0$ , mentre ad altitudini superiori a 3.000 m s.l.m. si assume  $f_c = 1,3$ .

$H_k$  = altezza del manto nevoso misurata verticalmente. Per il dimensionamento deve essere  $H_k > H_{estr}$  dove  $H_{estr}$  corrisponde all'altezza estrema del manto nevoso misurata verticalmente calcolata nel punto di installazione dell'opera per un determinato tempo di ritorno (Le Direttive svizzere prevedono opportunamente un tempo di ritorno di 100 anni). Si ha inoltre  $H_k = D_k / \cos \psi$  ove  $D_k$  è lo spessore del manto nevoso, misurato normalmente alla linea di massima pendenza.

$N$  = coefficiente di slittamento, funzione

della rugosità del terreno e dell'esposizione al sole, che per l'arco alpino, conformemente alla figura 3 che riprende la tabella 5 delle Direttive Svizzere varia da 1,2 (pendii non esposti al sole con una superficie di elevata rugosità) a 3,2 (pendii esposti al sole con una superficie liscia). Con riferimento alla figura 1, il valore di  $N$  dipende sostanzialmente dalla velocità di slittamento sul terreno  $u_u$  e dalla velocità di scorrimento (deformazione plastica della neve alla superficie del manto nevoso)  $u_p = u - u_u$ , secondo la seguente equazione:



$$N = \sqrt{1 + 3 \cdot \frac{u_u}{u_p}}$$

In contesti climatici e morfologici diversi da quello alpino possono aversi valori maggiori del coefficiente di slittamento  $N$ , da studiarsi caso per caso misurando le velocità di slittamento e di scorrimento del manto nevoso in situ.

La pressione specifica della neve  $S'_N$  fornita dalla [1] è generalmente considerata come costante ed uniformemente distribuita sull'altezza dell'opera di sostegno. Si tratta di una semplificazione drastica in quanto la distribuzione della pressione all'interno del manto nevoso è assai complessa anche in presenza di una coltre nevosa omogenea. La formula [1] deriva da una semplificazione delle equazioni differenziali del manto nevoso (componente statica e componente dinamica) considerato come mezzo continuo assimilabile ad un fluido viscoso di tipo newtoniano incompressibile con comportamento lineare. La realtà è molto più complessa ed in letteratura esistono trattazioni di tipo numerico più sofisticate che partono da modelli costitutivi non lineari decisamente più accurati, che consentono, tra l'altro, di conoscere la reale distribuzione delle pressioni della neve sulla struttura ed ai quali è opportuno far riferimento per lo studio di casi particolarmente complessi.

Si può facilmente dimostrare che la formula [1] può risciversi nel modo seguente:

Fig. 3 - Valori del coefficiente di slittamento  $N$  in funzione dell'esposizione e della rugosità della superficie nella zona di distacco della valanga. (da DS, 2007).

CLASSI DI TERRENO	COEFFICIENTE DI SLITTAMENTO	
	esposizione ONO-N-ENE	esposizione ENE-S-ONO
		
<b>CLASSE I</b>		
accumulo di grossi blocchi ( $d > 30 \text{ cm}$ )	<b>1,2</b>	<b>1,3</b>
terreno fortemente ricoperto da blocchi rocciosi di piccole e grandi dimensioni		
<b>CLASSE II</b>		
superfici ricoperte da grandi cespugli di ontano o da pini striscianti alti almeno 1 m	<b>1,6</b>	<b>1,8</b>
gibbosità fortemente pronunciate (di altezza superiore a 50 m) ricoperte da cotica erbosa o arbusti		
tracce di passaggio del bestiame in modo pronunciante		
ciottoli grossi ( $d = 10 \div 30 \text{ cm}$ )		
<b>CLASSE III</b>		
cotica erbosa a stelo breve, cosparsa di piccoli cespugli (erica, rododendro, mirtillo, ginepri, cespugli di ontano e pini striscianti - con altezza inferiore a 1 m)	<b>2,0</b>	<b>2,4</b>
ciottoli piccoli ( $d < 10 \text{ cm}$ ) alternati a cotica erbosa e piccoli cespugli		
gibbosità poco pronunciate (fino a 50 m) ricoperte da cotica erbosa e piccoli cespugli, eventualmente alternate a cotica erbosa liscia e piccoli cespugli		
cotica erbosa con tracce di passaggio di bestiame poco pronunciate		
<b>CLASSE IV</b>		
cotica erbosa liscia, a stelo alto, uniforme	<b>2,6</b>	<b>3,2</b>
lastre di roccia lisce affioranti con stratificazione parallela al pendio		
conche paludose		

© AINEVA

$$S'_N = f_s \cdot f_c \cdot D_k^2 \cdot N \cdot \mu + \tan \psi \quad [2]$$

dove:

$$\mu = 24,525 \cdot \rho^4 - 18,218 \cdot \rho^3 + 10,406 \cdot \rho^2 + 5,317 \cdot \rho \quad [3]$$

Nella formula [2], come peraltro è logico aspettarsi facendo riferimento all'esperienza della realtà fisica del fenomeno, si evince che per il calcolo della pressione specifica della neve su di una struttura fermaneve risulta essere determinante, e quindi dimensionante, il valore dello spessore del manto nevoso  $D_k$ . Passando da un valore di  $D_k = 3,0$  m ad uno di  $D_k = 4,0$  m, a fronte di un incremento del 33% del valore di  $D_k$  si ha un incremento del 78% del valore di  $S'_N$  e di  $S'_Q$ ; vale a dire un corrispondente incremento relativo pari a più del doppio.

La funzione  $\mu$  indicata nella [3] è una funzione polinomiale continua di 4° grado in  $\rho$ , dove  $150 \text{ kg/m}^3 \leq \rho \leq 550 \text{ kg/m}^3$ ; in tale range di valori la funzione  $\mu$  ha un andamento curvo sempre crescente ed assume un valore massimo pari a 5,285 ed un valore minimo pari a 0,983. Per  $\rho = 270 \text{ kg/m}^3$  si ha  $\mu = 1,966$ . Passando dal valore  $\rho = 270 \text{ kg/m}^3$  (assunto a base dei calcoli nelle Direttive svizzere) ad un valore  $\rho = 550 \text{ kg/m}^3$ , a fronte di un incremento della densità pari a  $550 / 270 = 2,04$ , corrispondente al 103% in più, si ha un incremento del valore  $\mu$  pari a 2,69 corrispondente ad un 169% in più.

La componente perpendicolare al pendio della pressione specifica (per metro lineare) della neve  $S'_Q$  su una superficie di sostegno perpendicolare al pendio si manifesta quando, a contatto della stessa, viene impedito l'assestamento (aderenza, rugosità) ed è funzione di  $S'_N$  secondo la formula:

$$S'_Q = S'_N \cdot \frac{a}{N \cdot \tan \psi} \quad [4]$$

Dove  $a$  è una costante che può variare tra  $0,30 \leq a \leq 0,50$ .

Sostituendo il valore di  $S'_N$  nella [4] si

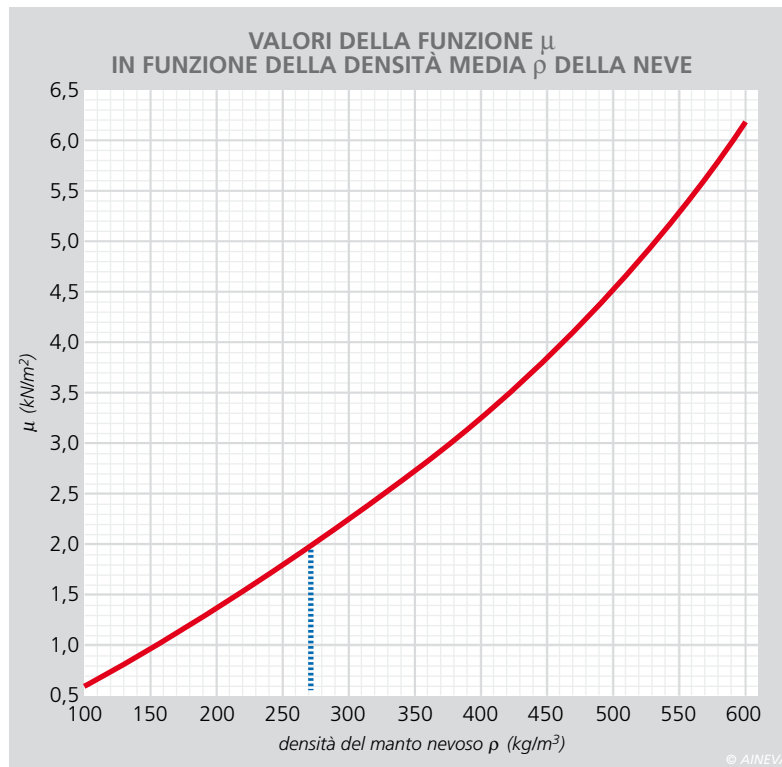


Fig. 4 - Valori di  $\mu$  in funzione della densità media del manto nevoso  $\rho$ .

ottiene la seguente espressione:

$$S'_Q = f_s \cdot f_c \cdot \mu \cdot a \cdot D_k^2 \quad [5]$$

da cui si ricava che  $S'_Q$  è invariante rispetto a  $N$  e rispetto a  $\psi$ .

Quando la superficie della struttura di sostegno non è normale al pendio, le componenti  $S'_N$  ed  $S'_Q$  devono essere rispettivamente incrementate delle componenti  $G'_N$  e  $G'_Q$  dovute al peso  $G'$  del prisma di neve formato tra la superficie di sostegno e il piano normale al pendio, al fine di ottenere la pressione specifica della neve risultante  $R'$ . Il valore di  $G'$  dipende dalla geometria e dal tipo di struttura (ponti, rastrelli, reti da neve).

Inoltre, in corrispondenza delle estremità della fila di strutture, poiché la neve può fluire a lato della superficie mentre l'effetto di sostegno si manifesta anche oltre l'estremità della struttura, per effetto della coesione del manto nevoso, si devono tenere in debito conto le forze di bordo supplementari  $S'_R$ . Tali forze, conformemente alle Direttive svizzere, dipendono dal coefficiente di slittamento  $N$ , dalle dimensioni, dalla forma e dalla rugosità della superficie della struttura di sostegno e sono direttamente proporzionali a  $S'_N$ .

Il valore di  $S'_N$  risulta dunque essere determinante anche ai fini del calcolo di  $S'_Q$  e di  $S'_R$  e quindi, in definitiva delle forze risultanti  $R$  sulla struttura di sostegno del manto nevoso.

## ANALISI DI SENSITIVITÀ

Può essere interessante vedere come variano i valori  $S'_N$  ed  $S'_Q$  in funzione del variare dei termini  $\rho$  ( $\mu$ ),  $N$ ,  $\psi$  e  $D_k$ , assumendo  $a = 0,50$  e  $f_c$  ed  $f_s$  costanti.

Le formule [2] e [5] sono state dunque graficate, assumendo valori costanti per  $f_s = 0,8$  (corrispondente al caso tipico delle reti da neve, che risulta essere la tipologia di struttura fermaneve maggiormente impiegata sull'arco alpino) e per  $f_c = 1,1$  (corrispondente al caso tipico di quota della zona di distacco pari a 2000 m s.l.m. in accordo alle Direttive svizzere) e facendo variare singolarmente i seguenti parametri:

- densità media del manto nevoso nella zona di distacco  $\rho$  ( $\text{t/m}^3$ )
- spessore del manto nevoso nella zona di distacco  $D_k$  (m)
- angolo di inclinazione del pendio nella zona di distacco  $\psi$  ( $^\circ$ )
- coefficiente di slittamento nella zona di distacco  $N$

Fig. 5 - Variazione del valore delle componenti  $S'_N$  ed  $S'_Q$  della pressione specifica della neve sull'opera di sostegno in funzione del valore della densità media del manto nevoso  $\rho$  per diversi valori di spessore del manto nevoso  $D_k$ , nel caso in cui  $\psi = 45^\circ$  ed  $N = 3,2$ .

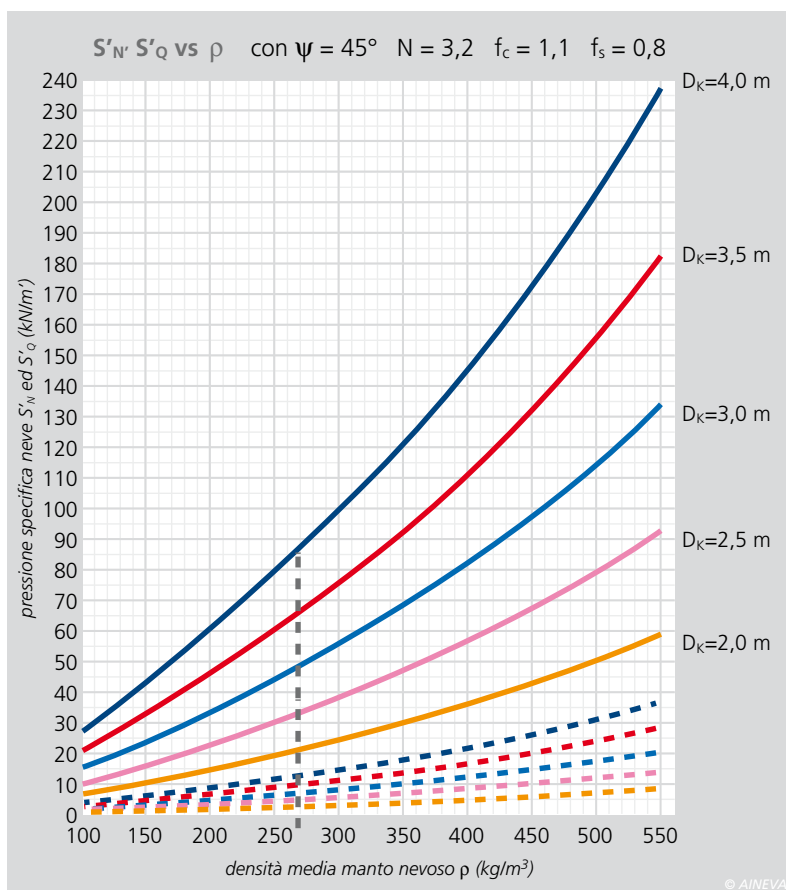
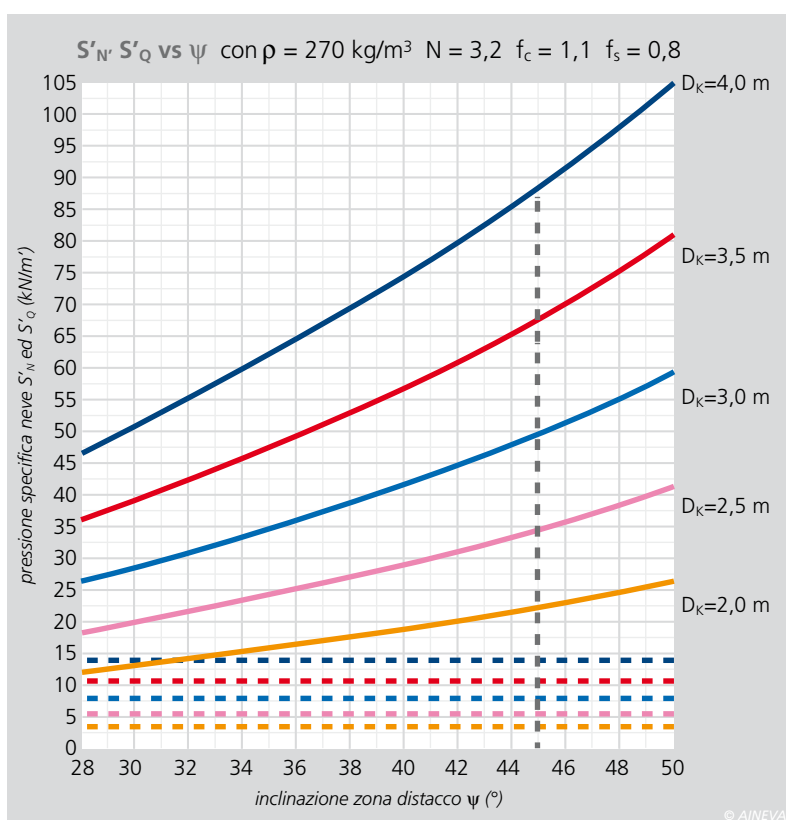


Fig. 6 - Variazione del valore delle componenti  $S'_N$  ed  $S'_Q$  della pressione specifica della neve sull'opera di sostegno in funzione del valore dell'inclinazione del pendio nella zona di distacco  $\psi$  per diversi valori di spessore del manto nevoso  $D_k$ , nel caso in cui  $\rho = 270$  kg/m<sup>3</sup> ed  $N = 3,2$ .



La figura 5 evidenzia che il valore della componente parallela al pendio della pressione specifica della neve,  $S'_N$ , nell'intervallo  $100 \text{ kg/m}^3$  (neve fresca farinosa)  $\leq \rho \leq 550 \text{ kg/m}^3$  (neve molto

umida), cresce con andamento curvilineo di forma approssimativamente parabolica al crescere del valore della densità media  $\rho$ . All'aumentare della densità  $\rho$ , per i diversi valori di spessore del manto nevoso

$D_k$ , le parabole tendono a divergere. Ciò sta a significare, che la pressione specifica della neve non è direttamente proporzionale alla densità media del manto nevoso e che un aumento della densità media si riflette in un maggiore aumento della pressione specifica della neve. Passando da un valore di densità media di  $270 \text{ kg/m}^3$  (valore standard conforme alle Direttive svizzere per le Alpi svizzere) ad uno di  $450 \text{ kg/m}^3$ , a fronte di un corrispondente incremento del 66,67% del valore della densità media, si ha un incremento del 95,60% del valore di  $S'_N$ : in pratica, quasi un raddoppio della forza agente sull'opera di sostegno! Anche il valore della componente perpendicolare al pendio della pressione specifica della neve,  $S'_Q$ , segue lo stesso andamento approssimativamente parabolico assumendo però valori corrispondenti che risultano essere 6,4 volte inferiori di quelli di  $S'_N$ .

La figura 6 evidenzia che il valore della componente parallela al pendio della pressione specifica della neve,  $S'_N$ , nell'intervallo  $28^\circ \leq \psi \leq 50^\circ$ , cresce con andamento curvilineo di forma parabolica al crescere del valore dell'inclinazione  $\psi$  della zona di distacco, mentre il valore della componente normale al pendio della pressione specifica della neve,  $S'_Q$ , rimane costante, cioè risulta essere del tutto indipendente dal valore di  $\psi$ . Poiché, nella maggior parte dei casi, l'inclinazione della zona di distacco delle valanghe, almeno per quanto concerne la neve di tipo alpino, è compresa tra i  $30^\circ$  e i  $50^\circ$ , nella [2] essendo ( $\tan 30^\circ =$ )  $0,577 \leq \tan \leq 1,192$  ( $= \tan 50^\circ$ ) si può notare come passando da  $30^\circ$  a  $50^\circ$  di inclinazione della zona di distacco si ha un raddoppio del valore della componente parallela al pendio della pressione specifica della neve  $S'_N$ .

La figura 7 evidenzia che il valore della componente parallela al pendio della pressione specifica della neve,  $S'_N$ , nell'intervallo  $1,5 \text{ m} \leq D_k \leq 5,0 \text{ m}$ , cresce con andamento curvilineo di forma

parabolica al crescere del valore dello spessore del manto nevoso  $D_k$  nella zona di distacco, mentre il valore della componente normale al pendio della pressione specifica della neve,  $S'_Q$ , cresce anch'esso in modo parabolico, ma risulta essere del tutto indipendente dal valore di  $N$ .

All'aumentare dello spessore  $D_k$ , per i diversi valori del coefficiente di slittamento  $N$ , le parabole tendono a divergere.

Passando da un terreno di classe 3 con esposizione al sole, caratterizzato da  $N = 2,4$  ad un terreno di classe 4 con esposizione al sole, caratterizzato da  $N = 3,2$ , si ha un incremento del valore di  $S'_N$  pari al 33% mentre  $S'_Q$  rimane costante.

Si vuole inoltre richiamare l'attenzione sul fatto che passando da un valore di  $D_k = 3,0$  m ad uno di  $D_k = 4,0$  m, a fronte di un incremento del 33% del valore di  $D_k$  si ha un incremento del 78% del valore di  $S'_N$  e di  $S'_Q$ ; vale a dire un corrispondente incremento di  $S'_N$  e  $S'_Q$  pari a più del doppio. Ciò comporta un notevole aumento delle forze agenti sulla struttura di sostegno del manto nevoso e quindi, in definitiva, delle forze agenti sulle fondazioni.

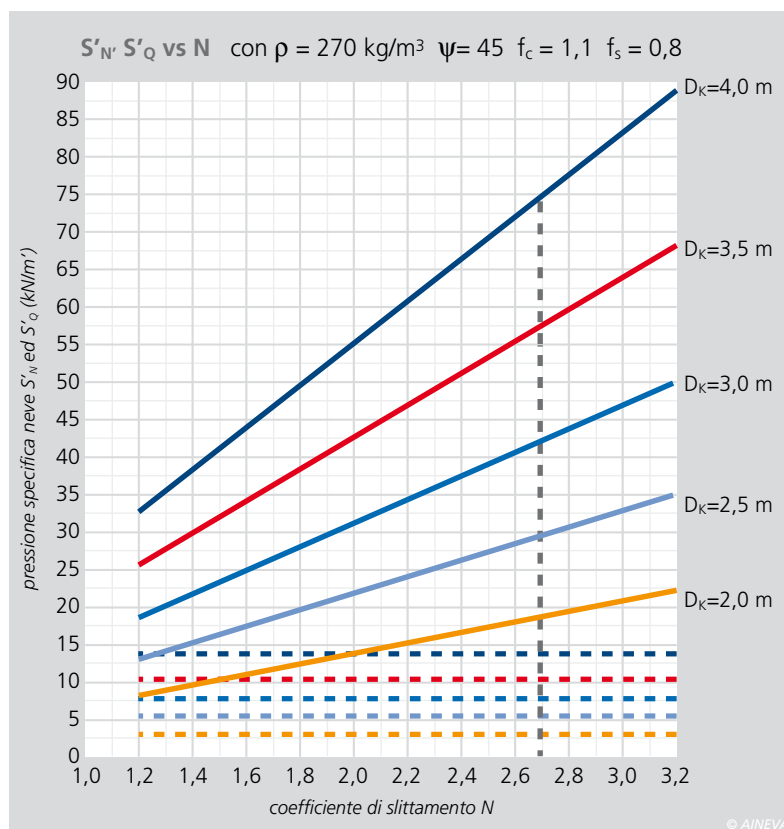
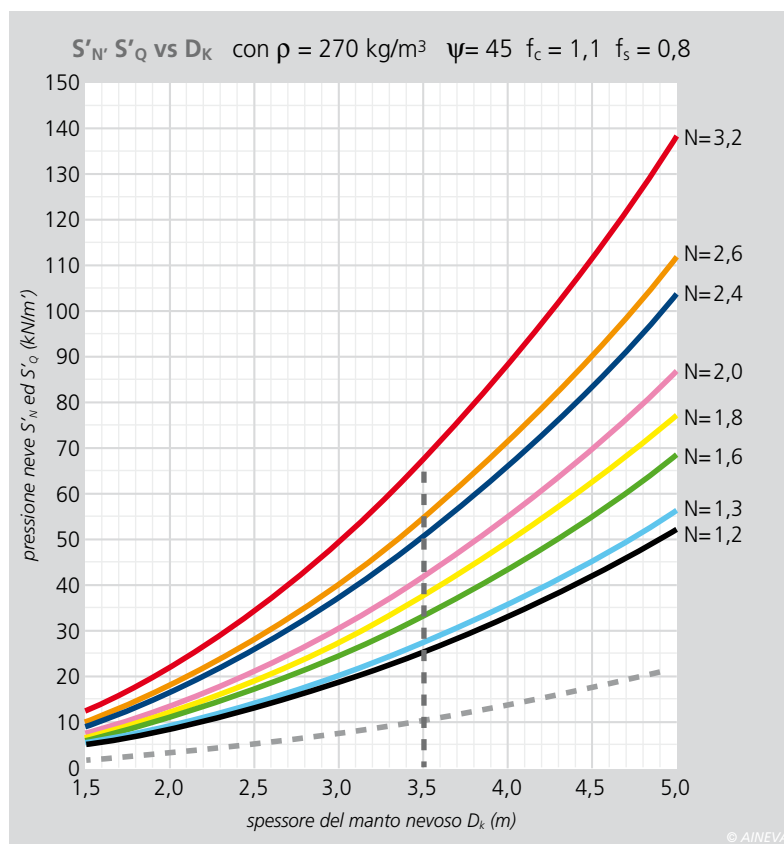
Per questo motivo, oltre un certo valore di  $D_k$  (max 4,5 m), le strutture di sostegno del manto nevoso diventano decisamente antieconomiche o quantomeno estremamente complesse da fondare su terreni di scadenti caratteristiche meccaniche.

La figura 8 evidenzia che il valore della componente parallela al pendio della pressione specifica della neve,  $S'_N$ , nell'intervallo  $1,2 \leq N \leq 3,2$  m, cresce con andamento rettilineo (con retta avente pendenza crescente al crescere del valore  $D_k$ ) al crescere del valore del coefficiente di slittamento  $N$ :  $S'_N$  è direttamente proporzionale ad  $N$ ; mentre il valore della componente normale al pendio della pressione specifica della neve,  $S'_Q$ , rimane costante e pertanto risulta essere del tutto indipendente dal valore di  $N$ . Poiché il valore del coefficiente di slittamento  $N$ , per la neve alpina, varia tra 1,2 (pendii non esposti al sole, con rugosità elevata) e 3,2 (pendii esposti al sole con

rugosità molto bassa), passando dal valore minimo  $N=1,2$  al valore massimo  $N=3,2$  si ha un incremento della pressione specifica della neve  $S'_N$  pari a ca. 2,7 volte.

I grafici riportati in figura 5, 6, 7 e 8

possono costituire un rapido ed utile strumento per un preliminare calcolo di massima delle pressioni specifiche agenti sulle reti da neve e, moltiplicando i valori della pressione specifica per 1,25, sui ponti e sulle rastrelliere da neve.







## CONCLUSIONI

La determinazione delle azioni esercitate dalla pressione della neve sulle strutture di sostegno permanenti del manto nevoso nella zona di distacco delle valanghe è assai complessa. Spesso infatti si manifestano fenomeni difficilmente prevedibili anche con attente osservazioni e misurazioni.

La formulazione proposta da R. Haefeli nel 1954 e successivamente recepita a base delle Direttive Svizzere per la **“Costruzione di opere di premunizione contro le valanghe nella zona di distacco”** edizione 2007 emanate dall'UFAM (Ufficio Federale per l'Ambiente) e dal WSL (Istituto Federale Svizzero per

lo Studio della Neve e delle Valanghe) di Davos, rappresenta necessariamente una semplificazione rispetto a quanto avviene in natura. Tuttavia tale formulazione presenta il grande pregio di essere di immediata comprensione, di facile applicazione e la sua attendibilità, almeno su nevi di tipo alpino, è stata per lo più confermata dalle misurazioni effettuate nella realtà (Margreth 1995, Rammer 2009).

Per tale motivo, per il calcolo delle forze agenti sulle strutture di sostegno del manto nevoso (strutture fermaneve), si fa generalmente riferimento alle Direttive Svizzere, la cui validità è riconosciuta a livello internazionale e supportata da più di cinquant'anni di esperienza e di vali-

dazione sul campo di opere realizzate e calcolate in base ad esse; tuttavia l'adottare tali direttive non esonera il progettista dell'intervento da una indispensabile verifica della loro applicabilità, e da una opportuna ed attenta taratura dei parametri in esse presenti, per contesti geografici e climatici differenti da quello alpino svizzero.

Inoltre le strutture fermaneve standard sono generalmente classificate in base allo spessore del manto nevoso  $D_k$  ed al coefficiente di slittamento  $N$ , assumendo solitamente  $\psi = 45^\circ$  e  $f_c = 1,1$ .

Si sono pertanto riscritte nel modo più generale possibile, in funzione di  $D_k$ ,  $N$ ,  $\rho$  ( $\mu$ ) e  $\psi$ , le formule riportate dalle Direttive

svizzere per il calcolo delle componenti parallela e perpendicolare al pendio della pressione specifica della neve, in modo tale da renderle facilmente ed immediatamente impiegabili in contesti diversi da quello alpino svizzero e si è proceduto ad una semplice analisi di sensitività dei principali parametri in gioco.

Senza alcun dubbio, il parametro più sensibile è lo spessore del manto nevoso  $D_k$ , il quale compare elevato al quadrato nella formula, ma è sicuramente interessante osservare il modo in cui varia, con andamento curvilineo di forma parabolica, la pressione specifica della neve sull'opera di sostegno in funzione della densità media  $\rho$  del manto nevoso e in funzione dell'inclinazione del pendio  $\psi$  nella zona di distacco della valanga.

I grafici ottenuti possono costituire un rapido ed utile strumento per un predimensionamento di massima delle strutture fermaneve.



## Bibliografia

- Castaldini Roberto "Barriere fermaneve omologate UFAPP/ SNV e NTC 2008" articolo pubblicato sulla rivista "Neve e Valanghe" n. 70, agosto 2010
- "Costruzione di opere di premunizione contro le valanghe nella zona di distacco – Direttiva Tecnica" Ufficio Federale dell'Ambiente UFAM e Istituto Federale per lo Studio della Neve e delle Valanghe WSL, edizione 2007.
- Margreth Stefan "New technical Guideline on snow supporting structures in avalanche starting zones" International Snow Science Workshop, Whistler, BC Canada, - September 2008
- Margreth Stefan "Snow pressure measurements on snow net systems" ANENA Symposium Chamonix – maggio 1995.
- Margreth Stefan "Experiences on the use and the effectiveness of permanent supporting structures in Switzerland" International Snow Science Workshop, Banff, Canada – October 1996.
- McClung D.M., Larsen J.O., Hansen S.B. "Comparison of snow pressure measurements and theoretical prediction" Canadian Geotechnical Journal Vol. 21 n. 2, May 1984, p. 250-258.
- McClung D.M., Larsen J.O., "Snow creep pressures: effects of structure boundary conditions and snowpack. Properties compared with field data" Cold Regions Science and Technology Vol. 17, 1989, p. 33-47.
- Rainer E., Rammer L. Wiatr T. "Snow loads on defensive snow net systems" International Symposium on Mitigative Measures against Snow Avalanches, Egilsstadir, Iceland, - Marzo 2008.
- Rammer L., Granig M. "Three years snownet project Hafelekar / Innsbruck" International Snow Science Workshop, Davos CH – September 2009