

CARATTERI MORFOLOGICI delle VALANGHE

Studio nell'area del Bormiese

Daniele Bocchiola
Ricercatore in Idrologia e
Costruzioni Idrauliche,
Politecnico di Milano,
Dip. IIAR., Sez. CIMI,
Tel. 022399 6223
daniele.bocchiola@polimi.it

Michele Medagliani
Ingegnere Ambiente e Territorio,
Politecnico di Milano,
Dip. IIAR., Sez. CIMI,
m.medagliani@diar-idra.polimi.it

Si presenta uno studio preliminare condotto allo scopo di valutare alcune proprietà geometriche caratteristiche delle valanghe, tramite lo studio di dati relativi ad eventi osservati. Lo studio riguarda l'area del Bormiese, dove si considerano sei siti valanga di particolare rilievo. Tramite una raccolta di dati derivanti dagli archivi AINEVA e del Corpo Forestale dello Stato (CFS), si sono individuati per l'area in esame circa settanta eventi di valanga documentati in maniera discontinua e risalenti fino al 1886. Per gli eventi inclusi in tale base di dati ragionevolmente ben documentati, si è condotto uno studio quantitativo atto a definire alcune grandezze geometriche di interesse. Si analizzano le principali cause di innesco e le principali tipologie di valanga osservate. Si mostra poi uno studio atto a definire il pericolo (i.e. la probabilità) di distacco in funzione della precipitazione nivale cumulata nei giorni precedenti. Si forniscono delle equazioni da utilizzare nella pratica progettuale per la definizione delle geometrie di distacco e per una prima valutazione delle distanze di arresto. Si conducono poi delle simulazioni dinamiche tramite il metodo di Voellmy Salm (VS), che consentono di definire una calibrazione a priori a scopo di zonazione del rischio.



INTRODUZIONE

La conoscenza dei caratteri morfologici delle valanghe risulta di fondamentale importanza per l'attività di zonazione e gestione del rischio. L'utilizzo dei modelli di dinamica delle valanghe, atti a valutare le distanze di arresto e le sollecitazioni meccaniche in termini di pressioni di impatto, richiede infatti la definizione accurata delle geometrie in gioco, ovverosia di altezze e superfici del distacco e dei valori dei parametri, tipicamente dei coefficienti di attrito, con cui condurre le simulazioni. In questa memoria si presenta uno studio preliminare condotto allo scopo di valutare alcune proprietà geometriche caratteristiche delle valanghe, tramite l'elaborazione di dati relativi ad eventi osservati. Lo studio riguarda l'area del Bormiese, dove si considerano sei siti valanga di particolare rilievo. Dopo una raccolta di dati derivanti dagli archivi AINEVA (Mod. 7) e del Corpo Forestale dello Stato (CFS) si sono individuati, per l'area in esame, circa settanta eventi di valanga documentati in maniera discontinua e risalenti fino al 1886. Per gli eventi inclusi in tale base, ragionevolmente ben documentati, si è condotto uno studio quantitativo atto a descrivere alcune grandezze geometriche ed un'analisi qualitativa delle variabili di maggiore interesse. Si illustra per prima un'analisi statistica atta a caratterizzare le cause di maggior impatto sull'inesco, sia di carattere naturale, come le condizioni meteo nei 3 giorni precedenti l'evento (*p.es. Jomelli et al., 2007*), sia di carattere antropico come il passaggio di sciatori (*p.es. Jamieson e Geldsetzer, 2004*). Tale conoscenza fornisce un importante strumento di base per la valutazione di misure atte alla mitigazione del rischio stesso. Si conduce poi un'analisi

statistica della morfologia delle valanghe nelle tre zone chiave per la descrizione e classificazione dell'evento (*distacco, scorporamento, deposito, p.es. Maggioni e Gruber, 2003; Smith, 1995; McClung, 2001*). La conoscenza statistica dei caratteri peculiari del dissesto (*p.es. Gruber, 2003*) risulta necessaria in quei siti in cui le informazioni storiche sugli eventi siano scarse o del tutto assenti. Si mostra poi uno studio di tipo regressivo atto a legare tra di loro alcune caratteristiche morfometriche delle valanghe. Tale studio fornisce delle equazioni da utilizzare nella pratica progettuale per la definizione delle geometrie di distacco e per una prima valutazione delle distanze di arresto, quando non sia possibile ricorrere ad una modellazione complessa. Tale studio fornisce informazioni di interesse anche per valanghe di piccole dimensioni, ossia frequenti, solitamente trascurate nella modellazione dinamica (*p.es. Ancey et al., 2004*). Viene quindi proposto uno studio atto a definire in maniera quantitativa il pericolo (i.e. la probabilità) di distacco in funzione della precipitazione nivale cumulata nei tre giorni precedenti (*p.es. Ancey et al., 2003; Ancey et al., 1999*). In seguito, per gli eventi avvenuti in assenza di disturbo lungo il percorso valanga (*p.es. presenza di cunei o muri paravalanghe*), si conducono delle simulazioni dinamiche tramite il metodo di Voellmy Salm (VS). Tale metodo è correntemente utilizzato nel calcolo dinamico delle valanghe ed in particolare nella definizione delle zone di pericolo, in quanto permette un rapido calcolo analitico delle distanze di arresto e delle pressioni di impatto. Gli opportuni coefficienti di attrito del modello vengono valutati per ogni evento imponendo le

distanze di arresto osservate. Si propone poi un semplice approccio regressivo atto a determinare a priori i coefficienti di attrito in funzione dell'altezza al distacco. Poiché quest'ultima rappresenta in pratica il principale parametro progettuale per la definizione delle zone di pericolo, l'approccio proposto consente l'opportuno utilizzo del modello VS a scopi di zonazione per l'area di studio.

AREA DI STUDIO

L'area di studio ricade nella zona del Bormiese. Tale area può, in prima approssimazione, essere considerata omogenea da un punto di vista della morfologia dei percorsi e del contesto nivometeorologico (*Riboni et al., 2005; Bocchiola et al. 2006; Bocchiola e Rosso, 2007*). La scelta di tali siti è stata dettata anche dall'esigenza di avere a disposizione un database di informazioni il più possibile completo, sia per quanto riguarda il livello di dettaglio, sia per la copertura temporale delle osservazioni. L'analisi di 6 aree valanghive permette un'analisi esplorativa da approfondire in futuro con una maggiore base di dati. I siti di studio sono:

1. Canalone del Vallecetta
2. Val Cerena
3. Val Novalena
4. Vallone del Rastello
5. Vallaccia
6. Val Gandolina

Una mappa dei siti è riportata in Figura 1, mentre una breve descrizione dei singoli casi di studio è riportata di seguito.

Canalone del Vallecetta (Valdisotto)

La zona di distacco è situata tra il Monte Vallecetta (3150 m slm) e la Cima Bianca (3015 m slm) e si sviluppa per una lunghezza di circa 1500 m con una larghezza massima del fronte di distacco

di 1300 m ed una esposizione ad Ovest/NordOvest. La zona di scorrimento è fortemente canalizzata e percorre tutto il corso del Rio Vallecetta fino a raggiungere, nella zona di arresto, l'abitato di Piazza a 1150 m slm. ed il fiume Adda (p.es. nell'evento catastrofico del maggio 1983, Riboni *et al.*, 2005).

Val Novalena (Valdisotto)

La zona di distacco si trova in prossimità del Monte Monteni (3040 m slm) e si sviluppa per un fronte che ha raggiunto la larghezza di 1000 m nell'evento del maggio 1983. L'esposizione dominante è ad Ovest. La zona di scorrimento è fortemente canalizzata e percorre l'impluvio della Val Novalena fino alla Statale dello Stelvio in prossimità dell'abitato di Tola (1130 mslm).

Vallaccia (Valdisotto)

La zona di distacco si trova alle pendici del Monte Rinalpi (3015 m slm) tra il Corno di San Colombano (3020 m slm) ed il Monte Grava (2880 m slm). I punti di distacco osservati si localizzano a quote inferiori, intorno ai 2500 metri in una zona in cui l'inclinazione locale del terreno ed in generale le condizioni topografiche consentono forti accumuli nivali e successivi fenomeni di innesco. L'esposizione dominante del versante è ad Est.

Vallone del Rastello (Bormio)

Il distacco avviene mediamente intorno ai 2700 m slm con una larghezza che ha raggiunto il suo massimo di 700 metri nell'evento del 1992 interessando la totalità del versante. La valanga si sviluppa lungo tutto l'impluvio del vallone del Rastello con una esposizione a Nord/Nord Ovest ed ha raggiunto in tre occasioni il fondovalle (1660 m slm); in un caso, nell'episodio del 21 Maggio 1978, ha ostruito la SS 38. La zona di arresto presenta comunque pendenze molto elevate, sempre

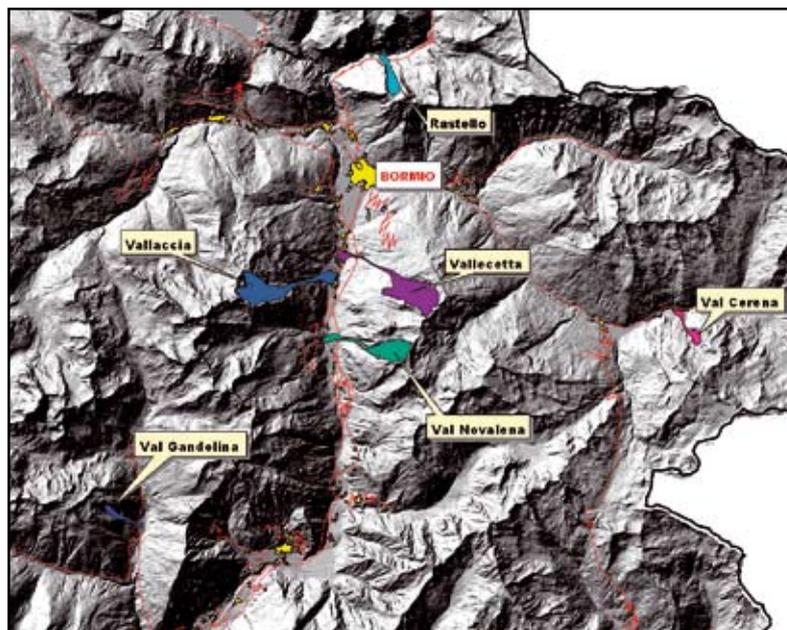


Fig. 1 - Siti investigati. Si riporta l'estensione dei massimi eventi osservati dedotta dalla cartografia del Catasto Valanghe CFS. In rosso le strade ed in giallo i centri abitati.

maggiori di 15°; per questo motivo gli eventi valanghivi raggiungono con facilità il fondovalle.

Val Gandolina (Grosio)

La valanga trae origine intorno ai 2000 mslm, sul versante esposto ad Est del Monte Saline (2621 m slm). La zona di scorrimento è fortemente canalizzata all'interno della Val Gandolina e sbocca in prossimità dell'abitato di Predasc (1300 m slm) in Val Grosina. In 4 casi (1976, 1977, 1988, 1994) la valanga ha ostruito la strada della Val Grosina.

Val Cerena (Valfurva)

La zona di distacco è localizzata ad una quota di 2600 mslm a valle della Vedretta di Cerena. La zona di scorrimento è prevalentemente esposta a Nord ed è fortemente canalizzata. L'arresto ha interessato frequentemente il fondovalle ed ha sbarrato il corso del torrente Frodolfo in 5 occasioni nei pressi dell'abitato di Cerena.

MATERIALI E METODI DI ANALISI

Si sono qui analizzate alcune grandezze e caratteristiche, descritte qui nel dettaglio:

- **le modalità di distacco:**
 - *puntuale* (l'innesco avviene in un singolo punto, la valanga



va ampliandosi in larghezza ed assumendo una forma allargata; normalmente le valanghe generate in questo modo sono a debole coesione);

- *punti diversi* (l'area di distacco risulta irregolare o comunque frastagliata ed interessa anche un fronte molto vasto, generando quindi fenomeni anche di notevole entità);
- *lineare* (il fronte di distacco è compatto e ben identificabile in una frattura netta del manto, normalmente questo tipo di distacco è legato ad una valanga a lastroni);
- *misto* (sono presenti entrambe le forme puntuale e lineare);

Fig. 2

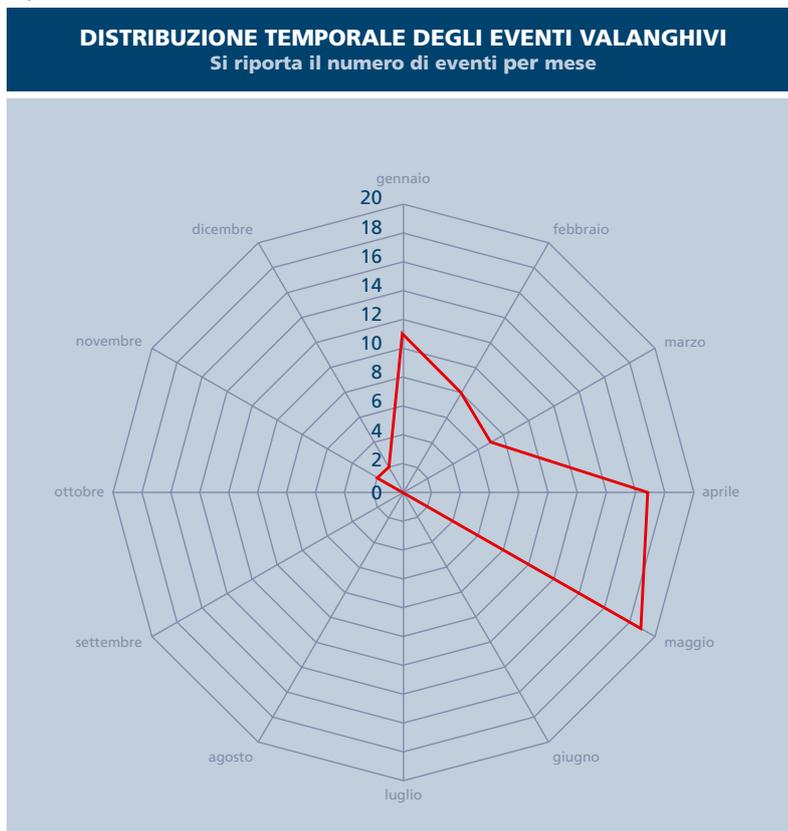
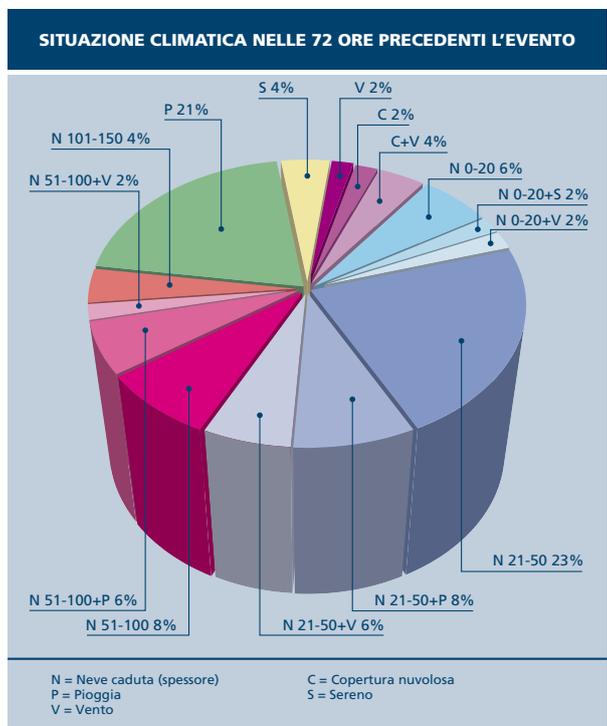
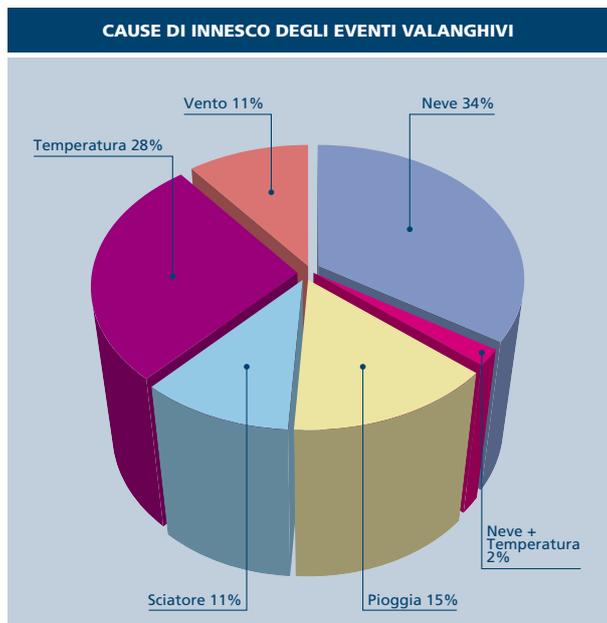


Fig. 3
Fig. 4



• **le condizioni atmosferiche che hanno caratterizzato il sito nelle 72 ore precedenti l'evento:**

- Neve (N), viene registrato il quantitativo di neve caduta suddividendolo in 4 classi a seconda dello spessore accumulatosi in 72 ore;
- Pioviggia (P);
- Vento (V);
- Copertura nuvolosa (C);
- Sereno (S);

• **la presunta causa dell'innescò:**

- temperatura (TEMP), ossia si riportano elevati incrementi di temperatura, tipico dei fenomeni primaverili;
- VENTO, condizioni di sovraccarico da vento;
- NEVE, sovraccarico da neve conseguente a fenomeni di precipitazione intensi;
- PIOGGIA, precipitazioni piovose che generano metamorfismo di fusione con percolazione di acqua liquida nel manto nevoso fino a raggiungere il terreno o strati interni impermeabili.
- SCIATORE, valanga causata dal

passaggio di uno o più sciatori.

• **le caratteristiche morfologiche nella zona di deposito:**

ripiano, canalone, versante, fondovalle;

• **i dislivelli percorsi (ΔA):** calcolato in metri come differenza tra la massima quota di distacco osservata e la minima quota di arresto;

• **l'altezza della frattura al distacco (h_0):** spessore medio stimato della frattura generatrice dell'evento (in metri);

• **l'altezza del manto nevoso nella zona di distacco (h_s);**

• **il volume al distacco (V_0):** è calcolato (in m^3) stimando la superficie interessata dal distacco e moltiplicandola per l'altezza media al distacco;

• **il volume all'arrivo (V_R):** è un dato osservato (in m^3), riportato nella documentazione relativa agli eventi;

• **la larghezza del fronte al distacco (W_0):** larghezza massima (in metri) osservata nella zona di distacco, è una delle variabili più influenti per la caratterizzazione

degli eventi significativi (Failletaz *et al.*, 2002);

• **la lunghezza del distacco (B_0):** dimensione dell'area di distacco nella direzione di massima pendenza in metri.

RISULTATI

Distribuzione temporale, tipologia e cause

I siti in esame sono interessati da eventi valanghivi specialmente nel periodo primaverile e tardo invernale (Figura 2), con un massimo nel mese di maggio, quando gli accumuli di neve sono ancora significativi e si possono innescare fenomeni di rilevante escursione termica nell'arco delle giornate. Si nota (Figura 3) come la presenza di alte temperature e piogge sia la causa di eventi valanghivi in circa il 43% dei casi. I fenomeni che si innescano in questo modo sono principalmente le valanghe a lastroni di neve bagnata primaverile ed in questa classe rientrano quasi la totalità degli eventi più catastrofici registrati (16 Aprile 1926, 5 Maggio 1977, 1 e 16 Maggio 1983 nel Canalone Vallecetta, 23 Aprile 1986 in Val Gandolina, 16 Maggio 1983 in Val Novalena, 26 Aprile 1986 alla Vallaccia). Il sovraccarico da neve è la causa del distacco nel 34% dei casi, con valanghe tipicamente a lastroni di neve soffice. Allo stesso modo agisce il vento che, nell'11% delle situazioni esaminate, agisce trasportando la neve e, accumulandola in siti di potenziale innesco, genera instabilità del manto (tipicamente valanghe da lastroni di neve compatta). Nel 2% dei casi forti precipitazioni e basse temperature, tipiche della piena stagione invernale, possono generare valanghe a debole coesione di neve asciutta. La scarsità di registrazioni di fenomeni rientranti in questa

tipologia può essere causata dalla spesso limitata entità degli stessi e quindi dalla loro scarsa significatività. Solo nell'11% dei casi esaminati la valanga è stata causata dall'uomo.

La circostanza che nell'89% dei casi esaminati le valanghe sono state generate per cause naturali mostra come uno studio delle principali condizioni atmosferiche che precedono l'evento risulta utile ai fini della previsione del rischio. Appare evidente (Figura 4) come un fattore essenziale nell'innesco sia l'apporto di neve nella zona di distacco (67% dei casi). L'entità di tale apporto non è però direttamente proporzionale al numero di eventi: è facile notare come solo nel 20% dei casi le precipitazioni abbiano superato i 50 cm nei 3 giorni precedenti, mentre la condizione più gravosa appare una precipitazione intermedia tra i 21 ed i 50 cm. Entro tali valori, tutto sommato frequenti, la precipitazione nivale, associata a sovraccarichi da vento e temperature elevate, è in grado di mettere in crisi la stabilità del manto. Da rilevare anche che nel 21% dei casi è la pioggia la condizione dominante e probabilmente anche la causa stessa dell'innesco. La natura e le caratteristiche climatiche dei siti esaminati portano ad una prevalenza di valanghe a lastroni (82% e più precisamente 46% di fondo e 36% di superficie) caratterizzate essenzialmente (Figura 5) da un distacco di tipo lineare (72%). Il distacco da un singolo punto è stato osservato solamente nel 2% dei casi, a conferma della rarità degli eventi valanghivi di neve a debole coesione (18% non mostrato qui). Nel restante 26% dei casi, costituito da eventi con distacco puntiforme multiplo e misto, le valanghe a lastroni sono quelle più frequenti (83% non mostrato qui). Proseguendo

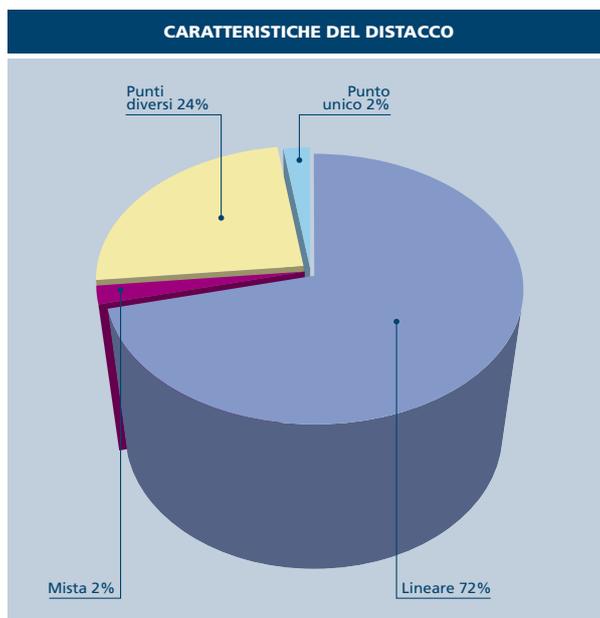


Fig. 5

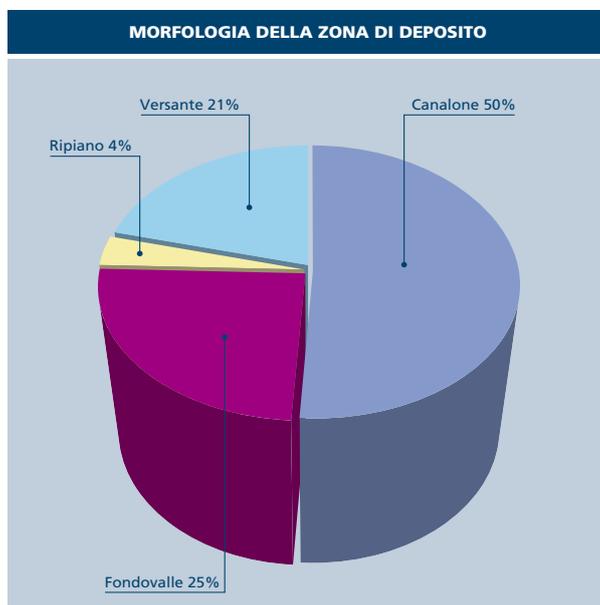


Fig 6

nell'analisi fino alla zona di arresto (Figura 6), è utile osservare come nel 25% dei casi la valanga, pur traendo origine da quote considerevoli (mediamente > 2500 m slm), riesca a raggiungere (mediamente al di sotto dei 1500 m slm) il fondovalle abitato o comunque antropizzato (vedi strade e centri abitati in Figura 1), con evidenti conseguenze.

Probabilità di distacco

In primo luogo si è cercato di definire una relazione che potesse descrivere la probabilità di distacco in relazione allo spessore della copertura nivale. Tale informazione risulta di grande interesse, in particolare quando

si voglia riprodurre il processo di precipitazione nivale e conseguente instabilizzazione del manto a scopi di mappatura del rischio su base statistica (p.es. Ancey *et al.*, 2004). Si è valutata per prima la frequenza con cui si osserva una data altezza al distacco maggiore di h_0 , F_{d0} . Si è ipotizzato poi che lo spessore al distacco h_0 coincidesse con la

massima altezza di neve caduta nei tre giorni (72 ore) precedenti, h_{72} (c3d, p.es. Ancey e Meunier, 1999; Barbolini *et al.*, 2002), $h_0 \approx h_{72}$. Utilizzando poi la distribuzione regionale dei massimi di h_{72} valida per l'Alta Valtellina recentemente valutata dagli autori (Bocchiola *et al.*, 2006), si è stimata la frequenza di non superamento $F_{0,h_{72}}$ del valore di altezza al distacco osservato $h_0 \approx h_{72}$. Dividendo poi il valore di F_{d0} con quello di $F_{0,h_{72}}$ si è valutata la probabilità di distacco per una altezza pari ad h_0 , $F = F_{d0}/F_{0,h_{72}}$. Si è notato come questa curva sia ben approssimata da una distribuzione uniforme (Figura 7, si veda per confronto p.es. Ancey *et al.*, 2004). Il grafico di Figura 7 può essere utilizzato per valutare la probabilità di distacco di una valanga noto il valore di h_{72} nel sito di interesse. I dati a disposizione degli autori mostrano come non si siano osservate valanghe con spessori al distacco inferiori a $h_{0min} = 20$ cm. Per valori di $h_{72} > h_{0min}$, è possibile valutare il fattore di crescita, dato dal rapporto $h_0/h_{72,av}$, dove si pone $h_{72} = h_0$ ed $h_{72,av}$ coincide con il valore indice, o media locale, utilizzato nel metodo regionale di valutazione di h_{72} . Tale valore può essere valutato tramite media campionaria nelle sezioni strumentate (Bocchiola *et al.*, 2006) oppure

ne per siti non strumentati (p.es. Barbolini *et al.*, 2002). Entrando nel grafico di Figura 7, è possibile valutare la probabilità che si verifichi una valanga, nell'ipotesi approssimata che il distacco avvenga per la profondità h_{72} . Poiché la maggior parte dei metodi di simulazione valanghe a scopi di zonazione del rischio si basa sull'utilizzo di h_{72} (p.es. Salm *et al.*, 1990; Barbolini *et al.*, 2004), tale approccio sembra di sicuro interesse.

Parametri geometrici

Poiché il volume di neve al distacco è una delle variabili più importanti nello studio delle valanghe, appare utile studiare qui la sua influenza sullo sviluppo delle stesse. Inoltre, sembra di interesse studiare singolarmente le grandezze che determinano l'entità dei volumi (larghezza W_0 , lunghezza B_0 , spessore h_0), sia a scopi conoscitivi sia progettuali. In primo luogo, si può osservare (Figura 8) la relazione tra i valori di volume al distacco (V_0) e di distanza percorsa dalla valanga, espressa in termini di dislivello (ΔA). Il volume V_0 è stato stimato tramite valutazione dell'estensione della zona di distacco condotta tramite incrocio dell'informazione fornita dal Mod. 7 con la cartografia GIS della zona, moltiplicata poi per la profondità media del distacco h_0 . Esprimendo le grandezze in termini logaritmici si nota una evidente correlazione lineare sia per quanto riguarda la globalità degli eventi a disposizione, sia per i singoli siti. La relazione risultante, riportata nella tabella a lato, può essere utilizzata in prima istanza per la valutazione progettuale dei dislivelli attesi in funzione del volume al distacco.

Anche la larghezza del fronte di distacco W_0 sembra essere assai influente nello sviluppo



Fig. 8

Regressioni lineari tra le variabili geometriche e dinamiche					
x	y	pendenza	intercetta	p-value	R
Log(V_0)	Log(ΔA)	0.25	1.70	$1.03 \cdot 10^{-7}$	0.83
Log(W_0)	Log(ΔA)	0.44	1.80	$4.41 \cdot 10^{-8}$	0.70
W_0	B_0	0.59	151.46	$1.50 \cdot 10^{-3}$	0.62
h_s	h_0	0.68	0.12	$2.47 \cdot 10^{-8}$	0.70
$h_0/h_{72,av}$	μ/μ_{av}	0.07	0.88	$4.44 \cdot 10^{-6}$	0.80
A_{av}	μ_{av}	$-1.12 \cdot 10^{-4}$	0.56	$2.10 \cdot 10^{-2}$	0.93

p-value < 1% indicano significatività della regressione
R è il coefficiente di determinazione

della valanga. Si nota come il legame lineare tra il logaritmo della larghezza ed il dislivello percorso, espresso anch'esso in scala logaritmica, sia notevole e pressoché omogeneo nei vari siti (Figura 9). Dai dati in possesso si può poi osservare come la seconda dimensione planimetrica caratteristica dell'area di distacco, ossia la lunghezza B_0 , sia notevolmente correlata alla larghezza W_0 (Figura 10). Tale dato porta a concludere che persiste, per i siti in esame, una omogeneità per quanto riguarda la forma del distacco.

E' comunque da notare come per il sito della Val Cerena il grafico di B_0 vs h_0 mostri un comportamento peculiare. Al crescere della larghezza del fronte, la lunghezza del distacco, nella direzione del pendio, non aumenta con la stessa velocità caratteristica degli altri siti. Ciò potrebbe derivare dalla conformazione topografica della zona di distacco, contraddistinta da pendenze elevate del versante già nelle vicinanze della sommità. Tale configurazione non permette accumuli significativi lungo tutta l'area in quota, ma rende idonea al distacco solamente una fascia ristretta che si estende maggiormente nella direzione ortogonale al pendio e limita il suo sviluppo lungo il versante. Per quanto riguarda la terza dimensione della massa al distacco, da un confronto dello spessore medio dello strato distaccatosi h_0 con quello neve al suolo h_s al momento del distacco (Figura 11), sembra evidente l'esistenza di un legame tra le due grandezze. Risulta di particolare rilevanza il fatto che la frazione di neve distaccatasi appare costante, i.e. h_0 è direttamente proporzionale ad h_s . In Figura 12 si riportano i valori di volume di neve cumulati nella zona di deposizione V_r

confrontati con i valori al distacco V_0 . Tali dati sono di grande interesse, poiché come noto i fenomeni di scambio di massa durante il percorso rappresentano processi fondamentali per la modellazione dinamica delle valanghe (p.es. Sovilla *et al.*, 2007). Si riporta anche il rapporto di intrappolamento, E_r (dalla dizione anglofona entrainment ratio) definito come $E_r = V_r / V_0$. Sebbene E_r raggiunga in alcuni casi valori elevati, fino ad un massimo di $E_{r,max} = 4.33$, per il Rastello, il valore medio si attesta su $E_{r,av} = 0.93$, ad indicare in media una sostanziale equivalenza tra il volume di partenza e quello di arrivo, con una lieve tendenza al deposito lungo il percorso. I risultati di ricerche simili condotte, ad esempio, sul territorio svizzero, per valanghe rare (p.es. Sovilla, 2004) mostrano mediamente valori di E_r notevolmente superiori all'unità. Si osservi che i valori qui ottenuti possono risentire di imprecisioni, in particolare in relazione alla valutazione delle geometrie al distacco, di difficile esecuzione in virtù delle quote spesso elevate. Inoltre, la natura degli eventi, in molti casi tardo primaverili, fa sì che alle quote inferiori al distacco non vi sia manto nevoso di considerevole entità. In tale circostanza, la quantità di materiale erodibile risulta trascurabile. I risultati qui illustrati sembrano in generale mostrare la necessità di valutazioni affidabili dei volumi al distacco ed all'arrivo allo scopo di calibrare e validare modelli dinamici con scambio di massa. Nella tabella sopracitata si riporta un sunto delle analisi di regressione qui condotte, per alcune delle variabili analizzate.

Simulazioni dinamiche tramite il metodo Voellmy-Salm

Si conducono qui delle simulazio-

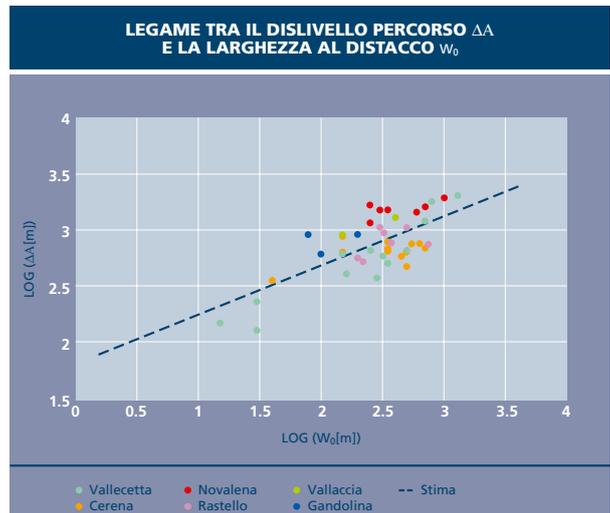


Fig. 9

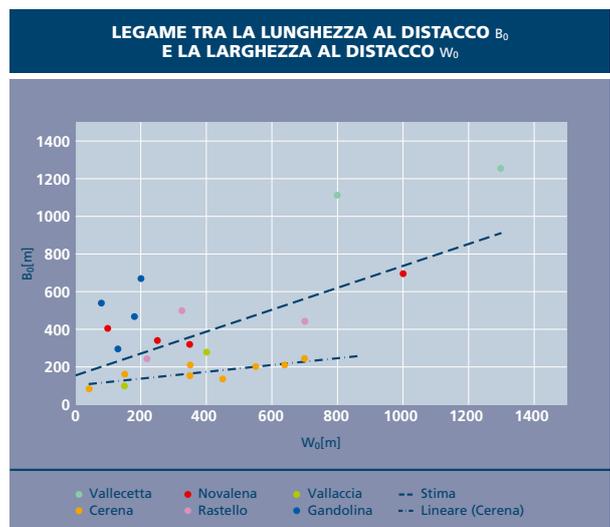


Fig. 10

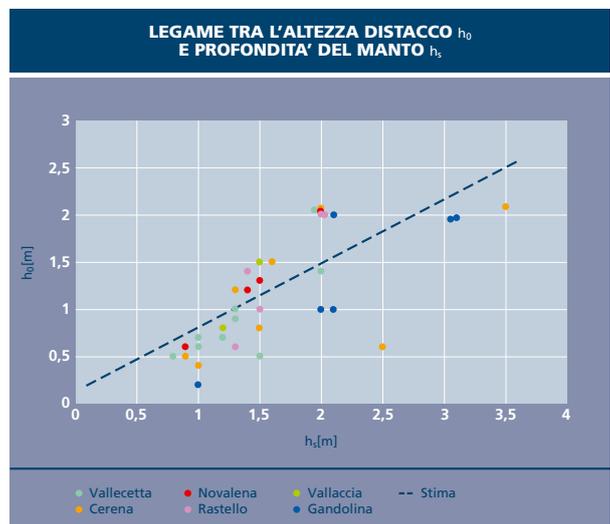


Fig. 11

ni dinamiche tramite il metodo di Voellmy Salm (VS). Tale metodo come noto viene correntemente utilizzato nella definizione delle zone di pericolo e permette un rapido calcolo analitico delle distanze di arresto e delle pressioni di impatto. Gli opportuni coefficienti di attrito del modello

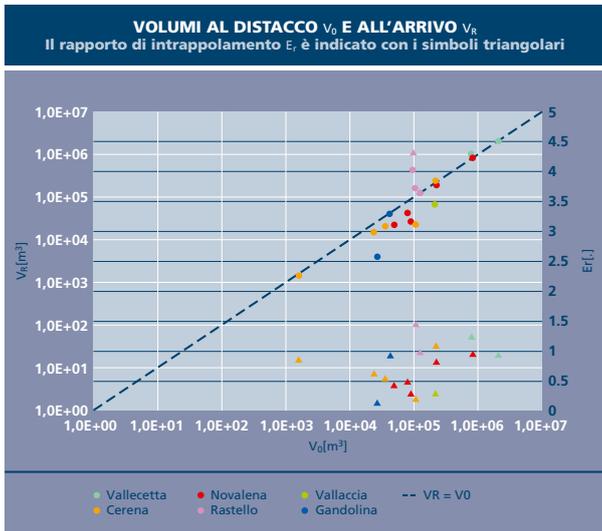


Fig. 12
Fig. 13

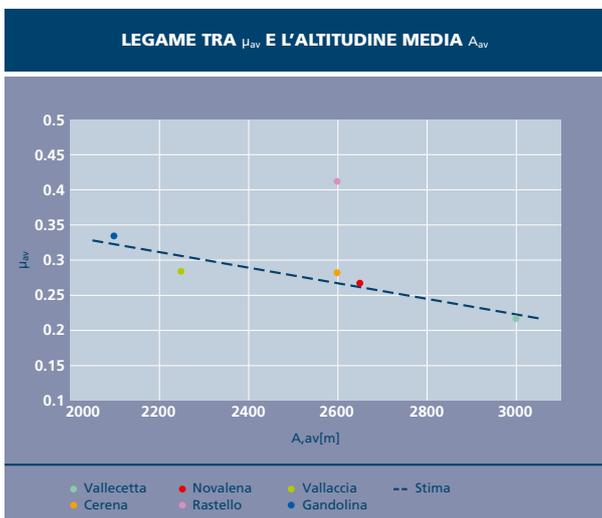
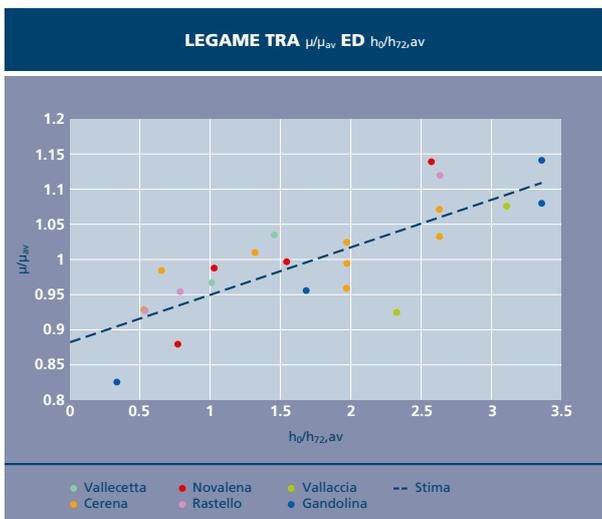


Fig. 14 vengono valutati per ogni evento imponendo le caratteristiche geometriche al distacco (h_0 , B_0 , W_0) e le distanze, o in maniera equivalente, i dislivelli osservati, ΔA . Si valutano i coefficienti del modello ξ , attrito turbolento e μ , attrito Coulombiano. Il primo parametro è in sostanza control-

lato dalla topografia ed ha meno influenza sul risultato in termini di distanze di arresto ed è stato qui posto in pratica pari ad un valore dedotto dalle tabelle di letteratura. Il valore di μ risulta invece assai più influente sulla distanza di arresto ed è stato calibrato imponendo l'arresto nella simulazione alla quota osservata. Si sono considerati solo gli eventi avvenuti in assenza di disturbo lungo il percorso (p.es. presenza di cunei o muri paravalanghe), allo scopo di valutare la sola influenza delle proprietà del manto nivale su μ . Si è poi condotto uno studio regressivo atto a correlare coefficienti di attrito con l'altezza al distacco h_0 (p.es. Barbolini e Cappabianca, 2003, modello VARA). Poiché quest'ultima rappresenta, in pratica, il principale parametro progettuale per la definizione delle zone di pericolo, l'approccio proposto consente l'appropriato utilizzo del modello VS a scopi di zonazione, quando il parametro μ non sia noto e non possa essere determinato tramite analisi di eventi storici. Si è quindi valutato il coefficiente di attrito μ in ogni sito, e lo si è poi reso adimensionale, dividendolo per la media dei suoi valori locali nei diversi eventi (μ_{av}). I valori così ottenuti si sono poi posti in relazione alle differenti altezze al distacco h_0 che hanno generato la valanga, ancora rese adimensionali tramite $h_{72,av}$. Il legame tra le due grandezze così ottenute (Figura 13) appare evidente, con una tendenza dell'attrito Coulombiano a crescere con il crescere dello spessore della frattura (si veda p.es. Barbolini e Cappabianca, 2003 in cui la calibrazione del modello VARA sembra mostrare un trend opposto del parametro di attrito Coulombiano). Mentre in valore di $h_{72,av}$ è di rapida valutazione (p.es. Barbolini et

al., 2004), il valore medio μ_{av} è di più difficile stima per quei siti in cui non sia presente una registrazione sistematica degli eventi valanghivi. Un approccio per risolvere il problema è qui fornito tramite la stima indiretta di μ_{av} come variabile dipendente da caratteri topografici del sito. Per i siti in esame è risultato particolarmente evidente (Figura 14) il legame di μ_{av} con la quota media del distacco, A_{av} . Nel calcolo della regressione non è stato considerato il dato proveniente dalle simulazioni nel Vallone del Rastello. Utilizzando infatti il modello di VS in fase di taratura è risultato ivi un valore di $\mu_{av} = 0.42$, in effetti assai elevato se confrontato con i limiti proposti in letteratura ($\mu > 0.3$, Salm et al., 1990). Tale circostanza anomala sembra derivare dalla morfologia del Vallone stesso, che presenta pendenze elevate anche al deposito, imponendo in sostanza un elevato coefficiente di attrito μ_{av} . Ciò sembra suggerire di non utilizzare l'informazione in quel sito per lo scopo di valutare la dipendenza di μ_{av} dalla quota. Si osservi invece il buon adattamento degli altri siti.

CONCLUSIONI

I risultati preliminari qui forniti sembrano apportare un interessante contributo conoscitivo allo studio dei fenomeni valanghivi. Si sono mostrate le cause principali dell'innesco dei casi di valanga investigati e ci si è soffermati su quelle naturali, prevalentemente di carattere meteorologico. Si è poi mostrato quali siano le tipologie di valanghe più frequenti analizzando i caratteri peculiari nelle zone di distacco ed arresto. Attraverso analisi regressive si è mostrato come le variabili geometriche che definiscono le masse al distacco siano tra di loro interconnesse e come tali

variabili influenzino lo sviluppo della valanga. Tale evidenza fornisce utili relazioni per la stima indiretta di alcune variabili essenziali nella pratica progettuale. La taratura dei parametri del modello di VS ha reso possibile poi identificare il legame tra i valori medi di attrito Coulombiano μ e la quota media di distacco. Tale informazione, unita alla relazione lineare che si è mostrato esistere tra il valore adimensionale di μ e l'altezza adimensionale di neve al distacco, permette l'utilizzo del modello di VS per la stima delle aree a rischio senza la

necessità della fase di taratura, spesso difficoltosa in assenza di memorie storiche degli eventi. In conclusione si sono forniti qui strumenti di supporto alla valutazione speditiva della dinamica dei fenomeni valanghivi, da condurre preliminarmente all'utilizzo di modelli complessi ed a conforto dei risultati forniti dai modelli stessi. Ulteriori studi verteranno sull'acquisizione di una base di dati più cospicua e sulla valutazione della dinamica tramite modelli più complessi, ad esempio modelli idraulici 1D e 2D, anche con scambio di

massa, allo scopo di definire in maniera più accurata lo sviluppo dei fenomeni di valanga e la loro simulazione ai fini di mappatura del rischio.

Ringraziamenti

Gli autori desiderano qui ringraziare il personale ARPA (Centro Nivo-Meteorologico di Bormio, AINEVA) e del Corpo Forestale dello Stato, Comando Regionale Lombardia, per aver messo a disposizione il materiale relativo agli eventi valanghivi. Si ringraziano inoltre gli Ingegneri Alice Pagani e Giovanni Sala per l'aiuto fornito durante lo svolgimento della loro tesi di Laurea.

Bibliografia

• Ancey, C., Gervasoni, C., Meunier, M., 2004. Computing extreme avalanches. *Cold Reg. Sci. Technol.* 39, 161–180.

• Ancey, C., Meunier, M., 1999. Utilizzo di tecniche statistiche per la determinazione di scenari di valanghe di riferimento e aiuto alla decisione. *Proc. of TRACE 99 (Table Ronde Avalanche Control in Europe)*, Breuil Cervinia, Italy, 19–20 April 1999, pp. 47–58 (in Italian).

• Ancey, C., Meunier, M., Richard, D., 2003. Inverse problem in avalanche dynamics models. *Water Resour. Res.* 39 (4), 1099, doi:10.1029/2002WR001749.

• Barbolini, M., Natale, L., Savi, F., 2002. Effect of release conditions uncertainty on avalanche hazard mapping, *Nat. Hazards*, 25, 225–244.

• Barbolini, M., e Cappabianca, F., 2003. Calcolo della pericolosità e analisi di rischio. *Neve e valanghe* n.50.

• Barbolini M., Natale L., Cordola M., Tecilla, G., 2004. Linee Guida metodologiche per la perimetrazione delle aree esposte al pericolo di valanghe. *Neve e Valanghe*, 53, 6–13.

• Bocchiola, D., Medagliani, M., Rosso, R., 2006. Regional snow depth frequency curves for avalanches hazard mapping in central Italian Alps. *Cold Regions Science and Technology* 46, 204–221.

• Bocchiola, D., Rosso, R., 2007. On the distribution of the daily snow water equivalent in central Italian Alps. *Adv. Wat. Res.*, 30, 135–147.

• Faillietaz, J., Louchet, F., Grasso, J. R., Daudon, D., Dendievel, R., 2002. Scale invariance of snow avalanche triggering mechanisms, *International Snow Science Workshop (Penticton, B.C.)*

• Gruber Schmid, U., Sardemann, S., 2003. High-frequency avalanches: release area characteristics and run-out distances. *Cold Regions Science and Technology* 37 439–451

- Jamieson B., Geldsetzer, T., 2004. Trends and Patterns in Avalanche Accidents *Avalanche Accidents in Canada Volume 4: 1984 - 1996*. Supplemented September 2003 with data from the Canadian Avalanche Association.
- Jomelli, V., Delval, C., Grancher, D., Escande, S., Brunstein, D., Hetu, B., Filion, L., Pech P., 2007. Probabilistic analysis of recent snow avalanche activity and weather in the French Alps. *Cold Regions Science and Technology* 47 180–192
- Maggioni, M., Gruber, U., 2003. The influence of topographic parameters on avalanche release dimension and frequency. *Cold Regions Science and Technology* 37, 407–419.
- McClung D. M., 2001. Characteristics of terrain, snow supply and forest cover for avalanche initiation caused by logging. *Annals of Glaciology*, 32, 223–229.
- Riboni, A., Sovilla, B., Bocchiola, D., Rosso, R., 2005. Altezza al distacco delle valanghe: un approccio regionale. *Neve Valanghe* 55, 22–39.
- Salm, B., Burkard, A., Gubler, H., 1990. *Berechnung von Fließlawinen: eine Anleitung für Praktiker mit Beispielen [Avalanche calculations: a practical method with examples]*. Eidg. Inst. Schneeund Lawinenforsch. Mitt., vol. 47. 41 pp. (in German).
- Smith, M., J., 1995. Frequency and terrain factors for high-frequency snow avalanche paths, a thesis submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of master of science. University of British Columbia.
- Sovilla, B., 2004. Field experiments and numerical modelling of mass entrainment and deposition processes in snow avalanches. Ph.D Thesis, Diss. ETH N°. 15462. ETH Zurich, Switzerland.
- Sovilla, B., Margreth, S., Bartelt, P., 2007. On snow entrainment in avalanche dynamics calculations, *Cold Regions Science and Technology*, 47, 69–79.

