

Definition of hazard zones for dense snow avalanches

Paolo Scotton^{1*}, Francesca Moro¹, Stefano De Toni², Daniele Dalla Valle¹, Irene Vigni¹
Department of Geosciences, University of Padova, Italy
² Environmental Engineer, Italy

ABSTRACT: The paper describes a procedure for the determination of snow avalanches Hazard Map developed after the observation, over some years, of the behaviour of some avalanches sites located near Trento (Italy). The dynamic of granular avalanches is simulated by means of a 1-D numerical model with variable width, based on the rheology of Savage and Hutter. The snow volume of the avalanche is defined estimating, statistically, the seasonal precipitation of snow, and estimating the surface of the accumulation catchment. Different values, associated to different return periods, are assigned to the above mentioned parameters. The physical parameters of the numerical and mathematical model are calibrated on the basis of the knowledge of extreme events, when available, to whom is associated, arbitrarily, a return time. The physical parameters vary along the flowing and the stopping zones depending on the return time and on the roughness and slope distribution along the flowing channel which can be modified on previous avalanche-events. It is hypothesized that, in the stopping area, the avalanche can follow different trajectories, defined on the basis of the local topography and on the assumption that the most likely trajectory can be modified by unpredictable causes of deviation. The criterion used for the definition of areas subjected to different hazard degree is the stopping distance. The hazard zone is divided into three areas associated to three different return periods.

KEYWORDS: dense snow avalanche, granular rheology, hazard zoning.

1 INTRODUZIONE

La realizzazione delle carte di pericolosità valanghiva è, in genere, un processo molto difficile a causa delle molte variabili in gioco e della difficoltà nello stimare i loro valori. Appare fondamentale avere a disposizione una affidabile documentazione storica e procedere ad un approfondito studio di campo per definire le proprietà del sito valanghivo di interesse.

In quanto segue viene descritto un metodo per la redazione della carta di pericolosità per valanghe di neve densa, adottato dagli autori a seguito di vari anni di osservazione di siti valanghivi a sud delle alpi, prevalentemente in Trentino Alto Adige.

Il metodo viene applicato in uno di questi siti dopo aver descritto alcune proprietà di un deposito di valanga dell'ultimo inverno, che inducono (come nel caso di numerosi altri eventi del passato) alla adozione di un modello numerico per la dinamica che rappresenta la valanga come un ammasso granulare secco. Viene quindi discussa la sensibilità della carta di pericolo realizzata, al variare dei valori assegnati ai parametri fisici fondamentali.

* *Corresponding author address:* Paolo Scotton, Dipartimento di Geoscienze, Università degli Studi di Padova, Italy;
tel: +39 049 827 1865; fax: +39 049 827 1868;
email: paolo.scotton@unipd.it

2. LA CARTA DI PERICOLOSITÀ PER VALANGHE DI NEVE DENSA

La carta di pericolosità viene realizzata descrivendo ed interpretando il comportamento del sito valanghivo nella zona di distacco, di scorrimento e di arresto. Per ogni canale di valanga viene individuato il bacino di alimentazione, sulla base dei rilievi in situ e dell'analisi della cartografia tecnica disponibile. Il bacino di alimentazione viene fatto variare al variare del tempo di ritorno associato all'evento analizzato.

I valori dello spessore della neve sono ricavati dall'elaborazione statistica dei massimi annuali dell'altezza di neve fresca caduta in tre giorni consecutivi e corretti sulla base della quota media e della pendenza media dell'area di alimentazione, seguendo la procedura indicata dalla normativa svizzera.

Per tener conto della variazione di volume che si realizza nelle fasi iniziali del moto, densità diverse vengono assegnate all'ammasso fermo (350 kg/m^3 , 400 kg/m^3 e 450 kg/m^3 rispettivamente per i tempi di ritorno di 30 anni, 100 anni e 300 anni) e all'ammasso in movimento (300 kg/m^3).

Nei siti valanghivi analizzati dagli autori le valanghe più pericolose si verificano normalmente in tarda stagione, a seguito del progressivo caricamento dei canali in quota durante l'intera stagione invernale. Per questo motivo nelle simulazioni la massa iniziale non viene rilasciata direttamente dal bacino di alimentazione, ma dai

canali. La quota massima della massa nevosa nelle condizioni iniziali è generalmente fissa al variare del tempo di ritorno. La coda del deposito iniziale viene posizionata dove le pendenze sono tali da giustificare l'arresto dei volumi scaricati dai pendii più ripidi e tenendo conto delle osservazioni effettuate durante i sopralluoghi delle stagioni invernali. La quota minima viene ridotta (e quindi la lunghezza iniziale cresce) al crescere del tempo di ritorno.

Il profilo altimetrico dei canali di scorrimento e le loro caratteristiche trasversali vengono ottenuti mediante rilievi da terra o mediante l'utilizzo della cartografia esistente.

Per ogni valanga simulata vengono ipotizzati diversi percorsi lungo tracce rettilinee di sbocco sul conoide per tener conto delle possibili deviazioni indotte da ostacoli quali, per esempio, depositi valanghivi precedenti.

Le caratteristiche di resistenza al moto vengono modificate lungo il percorso della valanga, tenendo anche conto dei diversi valori di resistenza che si hanno nei tratti occupati da depositi precedenti o attraversati dai primi flussi della valanga. Questi tendono a ridurre la scabrezza assoluta della superficie di scorrimento e a diminuire la resistenza al moto.

Ai vari percorsi che costituiscono la raggiera di sbocco sul conoide si assegnano coefficienti di attrito crescenti passando dal percorso centrale a quelli più esterni. In questo modo si tiene conto della perdita di energia legata alla deviazione dalla direzione principale di sbocco e della minor probabilità che la valanga incontri altri precedenti depositi e quindi diverse scabrezze lungo le direzioni più esterne.

Il criterio adottato per la determinazione del limite della carta di pericolosità è la distanza d'arresto.

3. LA VAL DEI SPINI E L'EVENTO DEL 2009

La Val dei Spini è situata nel Trentino nord-occidentale, sulla sinistra idrografica della Val di Peio (TN). Ha una disposizione NE-SW e sbocca tra gli abitati di Cogolo e Celledizzo (Figura 1). Il bacino della Val dei Spini si sviluppa tra la quota di 1310 m s.l.m. alla quale la valle sbocca sul conoide, e la quota massima di 2775 m s.l.m..

Nei bacini di alimentazione le pendenze si aggirano attorno ai 45°. Solo in corrispondenza del conoide l'inclinazione scende sotto i 20°.

Gli eventi valanghivi hanno frequenza quasi annuale. Le valanghe di piccole dimensioni (dell'ordine di qualche migliaio di metri cubi) raggiungono facilmente la quota di sbocco sul conoide; valanghe di grandi dimensioni (dell'ordine di 70.000 m³) raggiungono la parte bassa del conoide, interessando il centro abitato

(Figura 4, Carta di Localizzazione Probabile delle Valanghe).

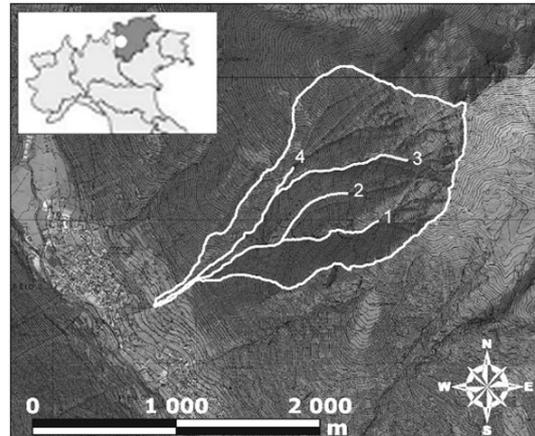


Figura 1: Il sito valanghivo della val dei Spini (TN, Italy) ed i principali canali di scorrimento.

Le valanghe prodotte dal sito sono classificabili come valanghe di neve densa; il materiale presenta sempre evidenti caratteristiche particellari (Scotton et al., 2002; Barberi and Scotton, 2004; Scotton et al., 2006).

In occasione dell'evento del febbraio 2009 (Figura 4, val_2009), è stata realizzata una campagna di misura di alcune proprietà dell'ammasso granulare. I rilievi sono stati effettuati a distanza di due settimane dall'evento. La bassa temperatura del periodo ha mantenuto il deposito praticamente inalterato.

In 8 punti del deposito, nella zona compresa tra la parte alta del conoide e la parte terminale della zona incanalata, sono state prodotte immagini come in Figura 2.

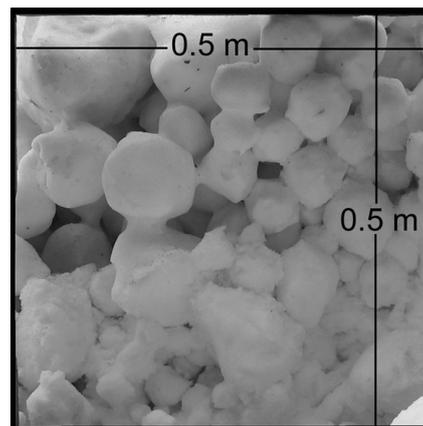


Figura 2: Immagine del deposito ottenuta intorno a quota 1300 m s.l.m., lungo la verticale, in prossimità della superficie.

Tutte le immagini sono state ottenute negli strati subsuperficiali del deposito, dopo aver rimosso lo strato granulare superficiale, costituito

da particelle di diametro maggiore (circa 15 cm), rispetto al diametro degli strati sottostanti. Le immagini sono state ottenute sia lungo la verticale che planarmente al deposito. In Figura 3 è mostrato l'istogramma di frequenza del diametro delle particelle rilevate negli otto punti di osservazione. Il valore medio del diametro è pari a 2.5 cm con una deviazione standard pari a 1.3 cm. Di circa 25 particelle (diametro variabile tra 3 cm e 15 cm) è stata misurata la densità con il metodo volumetrico. I valori misurati variavano tra 500 kg/m^3 e 600 kg/m^3 .

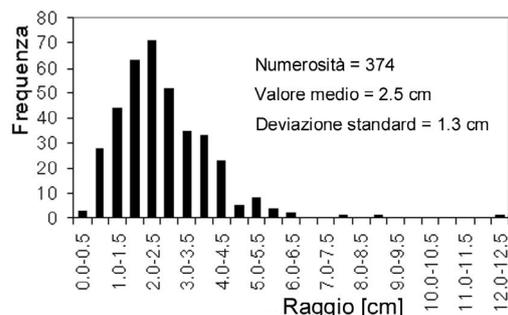


Figura 3: Istogramma di frequenza del raggio delle particelle negli strati subsuperficiali rilevate in occasione dell'evento del febbraio 2009, in val dei Spini (TN, Italy).

Le misure hanno anche messo in evidenza una dipendenza della densità dal diametro delle particelle: le particelle più piccole hanno, tendenzialmente, densità maggiore. Il fattore di forma delle particelle, compreso tra 0.70 e 0.95, tende ad aumentare al diminuire del diametro. La stima della porosità dell'ammasso nella zona di deposito ha fornito valori compresi tra 0.4 e 0.6, mostrando la tendenza delle particelle a limitare in modo significativo la riduzione del volume al momento dell'arresto.

4. IL MODELLO NUMERICO

L'osservazione di campo motiva il ricorso ad un modello di simulazione della dinamica basato sulla reologia degli ammassi granulari secchi. Si tratta di un modello monodimensionale a larghezza variabile basato sulla reologia di Hutter e Savage, modificata per tener conto degli attriti di parete (Savage et al., 1989; De Toni et al., 2004; De Toni and Scotton, 2005). I parametri fisici su cui si basa la reologia del modello sono l'angolo d'attrito interno, l'angolo d'attrito al fondo e l'angolo d'attrito laterale.

5. LA CARTA DI PERICOLOSITÀ PER IL SITO DELLA VAL DEI SPINI

La Carta di Pericolosità, costruita nel 2006 (Scotton et al., 2006) secondo i criteri indicati

nel par. 2, è mostrata in Figura 4. I coefficienti di attrito sono stati stabiliti attraverso un processo di taratura con riferimento a diversi eventi di diverse dimensioni verificatisi tra il 1972 e il 2000 e le cui caratteristiche erano sufficientemente note. Si nota come la carta, si estenda, in direzione sud-est, molto al di là della CLPV. I criteri adottati nella redazione della carta appaiono giustificati dalla estensione raggiunta dalla valanga del 2009.

In Figura 4 sono rappresentati anche i limiti raggiunti dalla carta di pericolosità quando il coefficiente di attrito al fondo viene fatto variare di $+1^\circ$ e di -1° (rispettivamente val_04 e val_06 di Figura 4). La sensibilità della carta a questo parametro appare elevata e una sua adeguata stima è particolarmente importante. Risultati del tutto simili vengono ottenuti modificando l'angolo d'attrito al fondo nella zona del conoide e lasciandolo inalterato nella zona di scorrimento.

Il metodo è molto meno sensibile ad una variazione del valore di densità assegnata alla neve al momento del distacco e ad una variazione, anche sensibile, dell'angolo d'attrito interno dell'ammasso granulare. L'integrazione dell'analisi statistica dei dati di altezza neve con l'inclusione delle stagioni invernali dal 2004-2005 al 2008-2009 e l'estensione del campione da 24 a 29 anni, malgrado la presenza di eventi di precipitazione di elevata intensità, non ha mostrato effetti significativi.

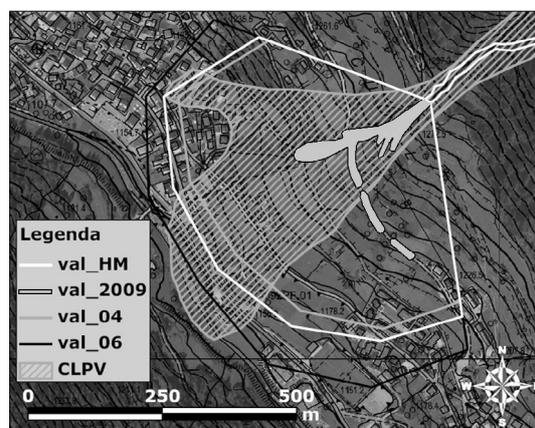


Figura 4: La carta di pericolosità valanghiva per il canale 1 (Figura 1) della val dei Spini (TN, Italy; val_HM, 2006) per il tempo di ritorno di 100 anni; la CLPV; i limiti della valanga del 2009; i limiti della carta di pericolosità a conseguenza della variazione di $+1^\circ$ (val_04) e -1° (val_06) del coefficiente di attrito al fondo.

6. CONCLUSIONI

Il metodo adottato per la realizzazione della carta di pericolosità valanghiva si è mostrato adeguato al caso della val dei Spini, anche in considerazione della imprevedibilità che caratte-

rizza questo tipo di fenomeni. Nel caso della valanga del 2009 un ramo si è staccato dal lato sinistro del corpo della valanga, percorrendo circa 200 m lungo la strada forestale su pendenze di circa il 10%, comportandosi negli ultimi istanti del moto come un corpo rigido (come indicano le fratture riportate in Figura 4).

I valori stimati della densità delle particelle e della densità di volume dell'ammasso nella zona di arresto (interpretabile come il valore massimo della densità di volume dell'ammasso in movimento), forniscono elementi utili alla stima dei volumi di rilascio.

L'utilizzo della distanza di arresto come criterio per la descrizione del limite della carta di pericolo è giudicato ragionevole, almeno per la reologia adottata nel modello proposto. Questa impone una rapida fase di rallentamento ed arresto dell'ammasso valanghivo e, conseguentemente una rapida riduzione a zero dei valori di velocità e di pressione.

Le analisi numeriche realizzate mostrano come la distanza di arresto sia determinata soprattutto dai parametri di attrito definiti nella zona di arresto. Questo aspetto sembra attribuire minore importanza alla variazione dei coefficienti di attrito nella zona di scorrimento, indotta dal progressivo caricamento dei canali a causa dei rilasci invernali e delle eventuali precedenti valanghe caratterizzate da una limitata distanza di scorrimento.

Si ritiene infine che, per la stima dei volumi delle valanghe primaverili di neve densa, sia più opportuno considerare il totale della neve caduta durante la stagione invernale piuttosto che l'altezza di neve caduta sui tre giorni consecutivi, come suggerito nella normativa svizzera.

7 BIBLIOGRAFIA

- Barberi, M., Scotton, P., 2004. Avalanche risk analysis and management in Mite Valley (Val di Sole, Italy). In: Final Proceedings Internationales Symposium Interpraevent 2004, Riva/Trento (Italy), vol. VI, pp. 1-12.
- De Toni, S., Scotton, P., 2005. Two-dimensional mathematical and numerical model for the dynamics of granular avalanches. *Cold Reg. Sci. Technol.* (43): 36-48.
- De Toni, S., Scotton, P., Bertolazzi, E., 2004. Modello matematico e numerico bidimensionale per lo studio delle valanghe di neve densa. Quaderni del Dipartimento, IDR2, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Università degli Studi di Trento, 238 pp.
- Savage, S.B., Hutter, K., 1989. The motion of a finite mass of granular material down a rough incline. *J. Fluid Mech.* (199): 177-215.
- Scotton, P., Barberi, M., Gaddo, M., 2002. Valanghe in Val dei Spini. *Neve e Valanghe, AINEVA*, No. 46.
- Scotton, P., De Toni, S., Sebastiani, M., 2006. Studio del sito valanghivo della Val dei Spini. Diparti-

mento di Ingegneria Civile e Ambientale, Università degli Studi di Trento, 70 pp.