

MAPPATURA DEL PERICOLO DA VALANGA

Possibilità, difficoltà e limiti nell'analisi dei siti valanghivi di Costa della Madonna e Livinadac

**Piero Capellari,
Gabriele Bertoldi,
Vincenzo D'Agostino**
Dipartimento TeSAF,
Università di Padova
piero.capellari@gmail.com

**Francesco Sommavilla,
Alvise Tomaselli**
ARPAV DRST CVA, Arabba

Nel presente lavoro sono stati analizzati due bacini valanghivi in Provincia di Belluno, Veneto, con lo scopo di analizzare le opere di mitigazione presenti in loco e valutarne l'efficacia in termini di riduzione del pericolo. I due siti sono la Costa della Madonna, nel comune di Voltago Agordino, e il Livinadac, in comune di Livinallongo del Col di Lana. Lo strumento fondamentale che ha permesso questo lavoro è stato il modello dinamico bidimensionale, fisicamente basato, RAMMS, sviluppato dagli enti Svizzeri SLF di Davos (Institut für Schnee- und Lawinenforschung) e WSL (Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft). Le analisi eseguite hanno messo in evidenza l'efficacia delle opere nella riduzione del pericolo sia per l'abitato di Voltago Agordino, sia nel sito del Livinadac. Durante le analisi e le simulazioni sono state riscontrate alcune problematiche, soprattutto per quanto riguarda i dati di input al modello. La mancanza di informazioni sufficientemente esaustive riguardo gli eventi storici ha reso difficoltoso calibrare alcuni parametri. In particolare per quanto riguarda la dimensione delle aree di distacco e la scelta dei coefficienti reologici μ e ξ . Un'altra problematica riscontrata riguarda la qualità del DTM utilizzato che, non rispecchiando in maniera sufficientemente fedele alcune caratteristiche dei bacini, ha inficiato parzialmente i risultati delle simulazioni. Nonostante queste problematiche, si può affermare che il modello è in grado di simulare in maniera sufficientemente dettagliata e precisa le valanghe, dando risultati confrontabili con quelli attesi e comparabili con le informazioni storiche. Il modello si pone come uno strumento utile per supportare le decisioni nel settore del pericolo valanghe, ma sia l'inserimento dei dati di input sia l'analisi dei risultati richiedono comunque un'attenta analisi e valutazione delle fonti di errore e incertezza.



La perimetrazione delle aree a rischio valanga è da sempre una sfida indissolubilmente legata non solo alla disponibilità di dati storici su un sito valanghivo, ma anche all'esperienza dei tecnici locali ed alla loro capacità di interpretare il territorio in tutte le sue variabili. In questo contesto la possibilità di simulare valanghe su una topografia digitale sembra poter garantire maggior oggettività e precisione nella mappatura del pericolo, in particolare quando si introducono misure strutturali di mitigazione del pericolo e se ne vuole considerare l'effetto e l'efficacia. Tuttavia l'utilizzo della modellazione richiede esperienza e competenza, in particolare nell'individuazione dei limiti della modellazione stessa e delle problematiche che ne influenzano i risultati.

I siti valanghivi di Costa della Madonna e di Livinadac sono due casi storici della Provincia di Belluno con disponibilità di dati nivologici e storici e conoscenza dei casi studio nella media dei casi problematici nelle Alpi Orientali. In questi casi di studio si sono analizzate le problematiche che attualmente si riscontrano in ambito di stesura delle carte di pericolo valanghe in relazione alla mappatura con modelli bidimensionali e alla presenza di misure di mitigazione.

DESCRIZIONE DEI SITI VALANGHIVI

I due bacini valanghivi analizzati sono la Costa della Madonna o Lastia, in comu-

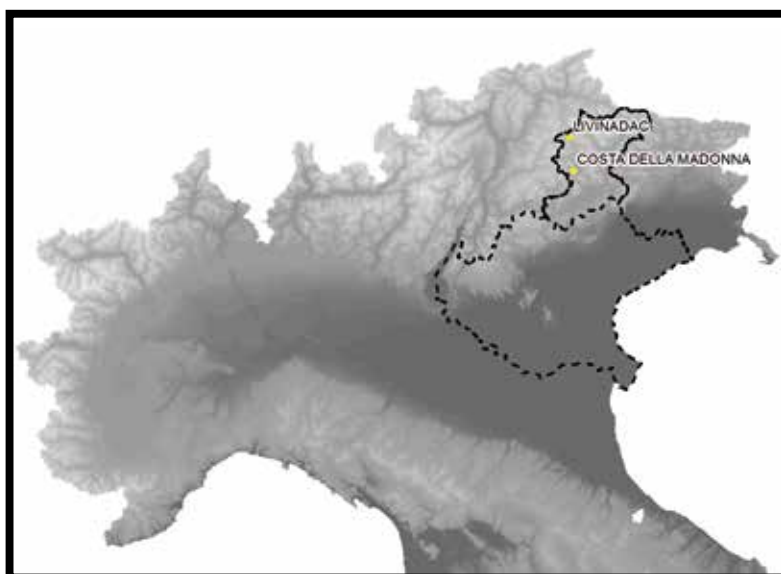
ne di Voltago Agordino e il Livinadac, in Comune di Livinallongo del Col di Lana. Entrambe si trovano nel bacino del Cordevole in provincia di Belluno, Veneto (fig.1, 2, 3).

La zona di distacco della Costa della Madonna, lunga circa 400 m, si estende grossomodo tra i 1.750 m di quota e i 2.190 m, e ha un'inclinazione media di 34°. Il limite superiore è dato dalla cresta che collega il Monte Agnér alla Cima de Lastia, e dalla parete meridionale della stessa. Il limite inferiore è dato dalla zona immediatamente sottostante al cambio di pendenza e i salti rocciosi situati tra i 1.800 m e i 1.850 m di quota. Sopra i 2.000 m di quota il pendio è uniforme e omogeneo e presenta una sezione trasversale rettilinea. Sotto questa quota si comincia a delineare un costone centrale, poco marcato, che comincia a dividere i due canali di scorrimento. Questi vanno poi a convergere in un unico canale di scorrimento al disotto di quota 1.170 m. La zona di accumulo varia a seconda della magnitudo della valanga. Gli eventi di maggior portata sono riusciti storicamente a raggiungere le case più a monte del paese, senza però causare particolari danni. In genere si può riconoscere come zona di arresto la parte del canale al disotto dei 1.100 m di quota, più a valle il canale si allarga, la sua pendenza diminuisce e sono presenti diversi massi ciclopici ($h > 5m$). Il grado di pericolo aumenta quando eventi precedenti hanno livella-

to le scabrezze della zona di scorrimento, permettendo un miglior scivolamento di eventuali altri distacchi. Nel 1988 sono state costruite opere fermaneve nel settore est della zona di distacco, che alimenta il canale di sinistra orografica, per complessivi 1.600 m lineari.

Il sito valanghivo del Livinadac si trova sulle pendici sud-occidentali del Col di Lana, tra le frazioni di Brenta e Livinè, in comune di Livinallongo del Col di Lana. Il sito ha un'importanza strategica, poiché può interessare direttamente la strada S.R.48, importante arteria di comunicazione tra la Provincia di Belluno e le Province di Trento e Bolzano, e la strada comunale per Livinè. Spesso le valanghe interrompono la viabilità, isolando parte del comune dal capoluogo e costringendo a deviare il traffico veicolare su arterie non sempre di facile gestione nel periodo invernale (es. Passo Fedaià). Nel 1979, a seguito degli eventi degli anni precedenti, è stato installato un impianto semaforico che, grazie ad un pendolo da valanga, permette di chiudere all'occorrenza i tratti potenzialmente interessati dalla valanga. Il sensore è posizionato a quota 1.775 m. La zona di distacco ha una inclinazione media di 35,8° ed è delimitata a monte dalla cresta che collega il Col di Lana (2.452 m) con la Cima Sief, e a valle dalla base del gradino roccioso che cinge tutto il versante sud-ovest della montagna (1.925 m circa). Attorno a quota 2.200 metri vi è un cambio di pendenza. Proseguendo verso valle il pendio si chiude a forma di imbuto diventando man mano più ripido e sfociando in una serie di salti rocciosi, tra quota 2.100 e quota 1.950 m circa, che connettono la zona superiore con il canale di scorrimento. La zona di scorrimento è incanalata lungo l'alveo del Rio Livinadac e attorno a quota 1.475 m interseca la strada comunale per Livinè e la S.R.48. Questo bacino valanghivo ha due possibili zone di accumulo. La prima è ubicata nei prati tra le case di Brenta e Livinè, la seconda si localizza più a valle, al termine del canale di scorrimento. Attorno a quota 1.275 m il canale si apre in un breve conoide, che con minor pen-

Fig. 1 - Posizione dei due siti oggetto di studio nel nord Italia.



denza lo raccorda all'alveo del torrente Cordevole, a fondovalle. In questo tratto si trova la strada comunale per la frazione di Vallazza, anch'essa spesso interrotta quando si innescano i distacchi più importanti. In tabella 1 e 2 sono elencati gli eventi noti per i due bacini valanghivi.

MATERIALI E METODI

Negli ultimi anni la mappatura del pericolo valanghe sta passando da un approccio empirico, o nel migliore dei casi monodimensionale, ad uno fisicamente basato e bidimensionale, attraverso software che inglobano modelli matematico-fisici. I modelli dinamici bidimensionali hanno il vantaggio di fornire risultati distribuiti in ogni punto dello spazio analizzato, permettendo una migliore analisi del fenomeno valanghivo e, conseguentemente, una migliore mappatura del pericolo. I dati di input richiesti sono solitamente:

- DTM, modello digitale del terreno di tutto il bacino valanghivo
- Perimetri della/e aree di distacco
- Altezza della neve di progetto e/o volumetrie di progetto per ciascuna area di distacco
- Parametri di calibrazione, legati generalmente alla viscosità e all'attrito interno della neve
- Grado di erodibilità del manto nevoso al suolo (capacità di entrainment)

A partire da questi dati il modello simula valanghe restituendo i valori di pressione, altezza e velocità per ogni punto dello spazio interessato dall'evento sintetico e per ogni intervallo temporale considerato. L'efficacia del modello nel riprodurre eventi reali è stata testata con back analysis, riproducendo quindi eventi ben noti, in numerosi studi (Christen et al., 2010; Maggioni et al., 2012). Tuttavia, quando si esegue una mappatura del pericolo su una scala temporale più estesa, difficilmente si dispone dei dati di input di qualità e quantità tale da permettere una taratura del modello comparabile a quella delle back analysis. Questo si traduce in una maggiore difficoltà nella valutazione delle variabili in input, come ad esempio la magnitudo dell'evento di



Fig. 2 - Zona di distacco e canale di scorrimento del sito valanghivo del Livinadac. Al centro dell'immagine si nota il centro abitato di Livinè, con la relativa strada comunale, e la strada regionale 48 delle Dolomiti.



Fig. 3 - Veduta d'insieme del sito della Costa della Madonna. In basso il centro abitato di Voltago Agordino.

Tab. 1 - Tabella riassuntiva degli eventi valanghivi principali presso la Costa della Madonna. La quota dello zero termico (ZT) è quella registrata dalla stazione di Udine. I dati di Hn sono stati estrapolati da diverse fonti: a - Valt e Cagnati (2004); b - Annali Idrologici, dati pluviometrici della stazione di Gosaldo; c - stazione nivologica di Lago Cavia, ARPAV CVA.

Tab. 2 - Tabella riassuntiva degli eventi valanghivi principali presso Il Livinadac. La quota dello zero termico (ZT) è quella registrata dalla stazione di Udine. I dati di Hn sono stati estrapolati dalla stazione nivologica di Lago Cavia, ARPAV CVA eccetto che per: a - Annali Idrologici, dati pluviometrici della stazione di Arabba; b - Annali Idrologici, dati pluviometrici della stazione di Andraz-Cernadoi.

progetto, che influenzano in modo importanti i risultati della modellazione e quindi la mappatura stessa.

IL MODELLO DINAMICO UTILIZZATO: RAMMS

La modellazione delle valanghe nelle due aree di studio è stato utilizzato il software RAMMS®, sviluppato a partire dal 2005 dall'Istituto Federale di Ricerca Svizzero (WSL) in collaborazione con l'SLF, Institut für Schnee- und Lawinenforschung, di Davos, e dal 2012 disponibile in versione commerciale. Il flusso della valanga viene descritto da un sistema di equazioni differenziali che descrivono il problema in termini di spessore della valanga $H(x,y,t)$, velocità $U_x(x,y,t)$ e $U_y(x,y,t)$ e energia cinetica delle particelle di neve $R(x,y,t)$. Questo modello non si presta a simulare la componente aeriforme, inoltre assume anche che la densità della neve all'interno del flusso sia costante nel tempo e

che non vi siano variazioni nello spazio. Dai principi di conservazione della massa, della quantità di moto, e dell'energia, sono state ricavate le seguenti equazioni: (1) (2) (3) (4) (n.d.r. in calce all'articolo) L'equazione (1) viene derivata a partire dall'applicazione del principio di conservazione della massa. \dot{Q} definisce il termine che esprime la variazione della massa nel tempo, in pratica quanta neve entra o esce da un volume definito, all'interno del flusso, durante il moto della valanga. Nell'equazione (2) i termini $S_{gx} = g_x H$ e $S_{gy} = g_y H$ definiscono la spinta dovuta al peso stesso della neve lungo asse x e y, rispettivamente. L'attrito è definito da S_f e viene a sua volta espresso dalla legge di Coulomb, ovvero il prodotto della forza normale per il coefficiente di attrito dinamico μ , quindi velocità-indipendente, e dall'attrito viscoso dipendente dal quadrato di U e dal parametro ξ . Il modello assume che le deformazioni di taglio siano concentrate tutte nella parte basale

del flusso. In questo modo il profilo delle velocità delle particelle lungo la normale alla superficie di scorrimento risulta rettangolare. Gli sforzi in direzione normale e parallela alla superficie di scorrimento, sono legati da un fattore di proporzionalità $k_{a/p}$ (eq. 3) definito dall'angolo di attrito interno della neve ϕ . Maggiore è k_p , maggiore è lo sforzo parallelo al piano di scorrimento e maggiore sarà la spinta della neve a monte nei confronti di quella a valle, per cui la valanga tenderà a proseguire il suo moto verso valle. L'equazione (4) definisce l'evoluzione dell'energia cinetica nel flusso in un ottica di conservazione dell'energia totale. \dot{P} esprime la variazione dell'energia cinetica dovuta al lavoro svolto dall'attrito, ovvero l'energia immessa nel sistema. \dot{D} esprime la dissipazione, ovvero l'energia sottratta al sistema (Christen et al., 2008).

DATI DI INPUT TOPOGRAFIA DIGITALE (Digital Terrain Model, DTM)

Alcuni autori consigliano l'uso di DTM con celle di dimensioni comprese tra i 5 e i 10 m (Christen et al., 2010), in quanto la maggior dimensione delle celle rappresenterebbe meglio il terreno in presenza di neve al suolo. Tuttavia è evidente che il grado di dettaglio del DTM deve essere comparabile con le dimensioni del fenomeno (altezza e larghezza del flusso, dimensione degli ostacoli, ecc...). Può essere quindi opportuno utilizzare una topografia ad alta risoluzione (da 1x1 a 5x5 m), in particolare laddove strutture antropiche necessitano di essere rappresentate adeguatamente. La topografia generalmente disponibile è di scarsa risoluzione per gli scopi di modellazione, nei casi specifici il DTM derivato dalla CTR della Regione Veneto è composto da celle con risoluzione 5 metri in cui tuttavia, non vengono rappresentate in modo del tutto adeguato alcune importanti "features" morfologiche, come massi ciclopici, strade o argini, che influenzerebbero il comportamento dinamico della zona di arresto della valanga.

data	H lastrone (cm)	Hs in zona di distacco (cm)	quota max (m)	quota minima (m)	Hn 10 gg (cm) nella zona di distacco	Hn 3 gg (cm) nella zona di distacco	ZT UD durante evento (m)
XIX sec.	-	-	-	750?	-	-	-
1918	-	-	-	-	-	-	-
11-14/02/1951	-	>350	-	900	~ 435 ^a	~ 185 ^a	-
1969	-	-	-	-	-	-	-
1974	-	-	-	900?	-	-	-
11/01/1977	-	>200	2100	900	~ 200 ^b	~ 85 ^b	1309
11-12/02/1978	-	>200	-	965	~ 135 ^b	~ 125 ^b	1415
23/01/2009	200	250	1900	1035	103 ^c	81 ^c	1781
23/03/2010	80	80?	2350	1250?	2 ^c	0 ^c	2372

© AINEVA

data	H lastrone (cm)	Hs in zona di distacco (cm)	quota max (m)	quota minima (m)	Hn 10 gg (cm) nella zona di distacco	Hn 3 gg (cm) nella zona di distacco	ZT UD durante evento (m)
02/1926	-	-	-	-	-	-	-
1951	-	-	-	-	-	-	-
11/01/1977	200	200	2200	1230	~ 200 ^a	~ 95 ^a	1309
16/03/1979	50	50	2200	1225	~ 86 ^b	~ 78 ^b	2147
22/12/1979	100	100	2200	1230	157	146	1931
26/02/1984	-	~ 150	2150	1600	85	78	1581
24/01/1985	120	120	2250	1200	219	39	1874
01/02/1986	150	150	2050	1216	164	155	1757
19/02/1987	150	150	2000	1425	116	35	1077
01/04/1992	150	200	2115	1225	153	85	1768
01/12/2008	130	130	2100	1230	134	124	2126
11/12/2008	-	~ 180	2000	1230	78	60	2160
24/12/2009	-	~ 110	-	1475	86	55	2496

© AINEVA

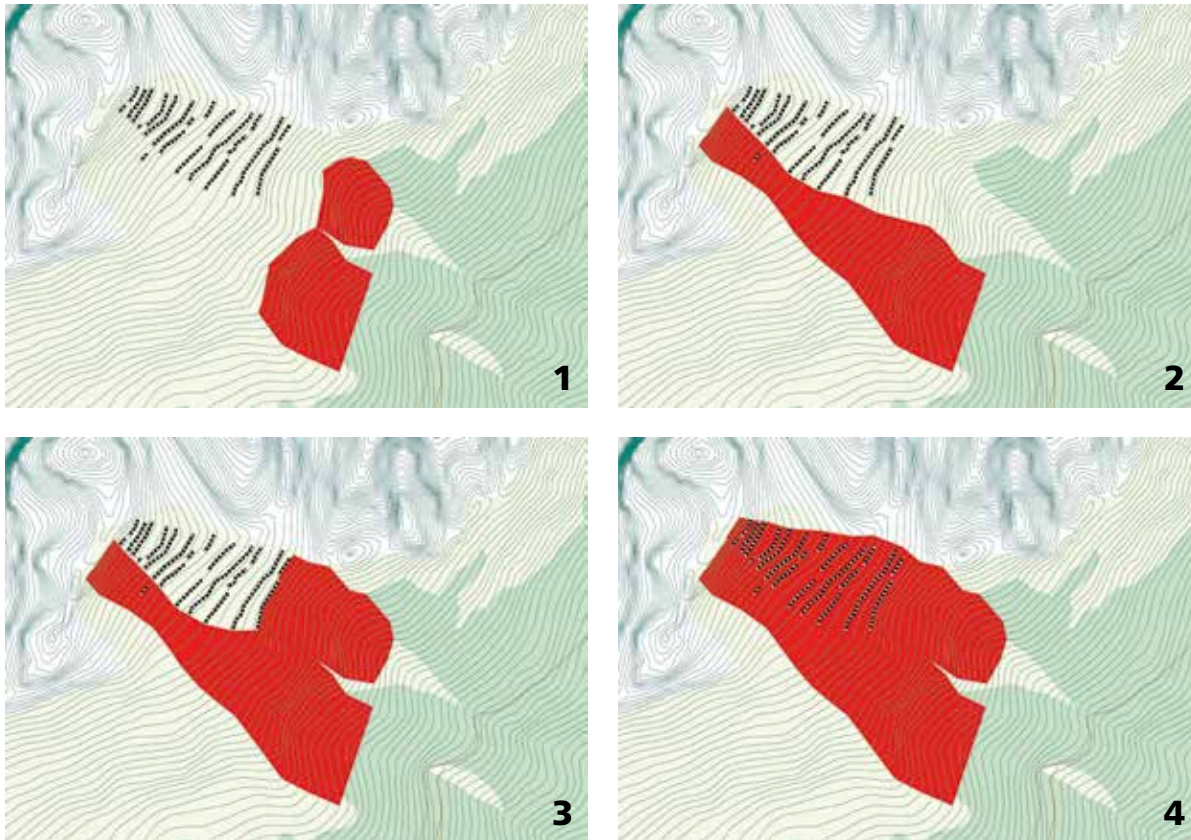


Fig. 4 - Aree di distacco simulate per la Costa della Madonna. Le linee tratteggiate indicano le opere fermaneve.

PERIMETRI DELLE AREE DI DISTACCO

La scelta delle aree di distacco è sicuramente una delle fasi più problematiche del processo di mappatura del pericolo valanghe.

Generalmente la scelta è effettuata mediante l'analisi incrociata di parametri geomorfologici, quali: inclinazione, presenza di cambi di pendenza, concavità del pendio, presenza o meno di bosco, con dati storici di eventi noti.

Riguardo al parametro di inclinazione del pendio Maggioni (2004) pone come limiti il range 30° - 60°, Salm et al. (1990) propongono un range di 28°- 50° mentre Mc Lung e Schaerer (1996) propongono 15°- 50°.

Un metodo esaustivo e completo implementabile in software Gis, che tiene conto di diversi parametri, e non solo degli angoli limite, è proposto da Maggioni (2004). Barbolini et al. (2002) propongono invece un'analisi mediante il metodo Monte Carlo per la determinazione del limite inferiore dell'area di distacco.

Un'indicazione importante per l'individuazione delle aree di distacco è quella desumibile dalle informazioni storiche note.

Spesso, però, nelle schede vengono riportati solamente i limiti superiori delle aree di distacco, e non quelli inferiori ("stauchwall").

Le attuali metodologie prevedono che per ciascun tempo di ritorno (Tr) di progetto vengano modificate solamente le altezze della neve di progetto e non le dimensioni dell'area di distacco.

In realtà la percentuale di area di distacco coinvolta in ciascun distacco è anch'essa legata alla magnitudo della valanga, e varia al variare del Tr dell'evento.

Per ovviare a queste difficoltà Maggioni et al. (2006) propongono un'analisi statistica delle aree di distacco potenziali di un dato sito valanghivo, a partire da un campione di aree di distacco note.

Il metodo permette di associare un Tr alla percentuale di superficie coinvolta della massima area di distacco possibile.

Tuttavia questa metodologia richiede una serie molto consistente di dati storici riguardanti le aree di distacco.

Tale condizione è soddisfatta raramente anche se si stanno analizzando siti valanghivi molto noti.

In questo studio, per ovviare a queste incertezze, sono stati utilizzati diversi sce-

nari di area di distacco, da cui sono poi state ricavate differenti scenari di pericolo, rendendo più complete le informazioni su cui basare la gestione del territorio.

La perimetrazione delle aree di distacco si è basata sia sull'analisi degli eventi storici noti, sia sulle testimonianze di esperti e residenti, sia sui limiti di pendenza proposti da Mc Lung e Schaerer (1996).

In fig. 4 e 5, e tab. 3 e 4 sono indicate le principali caratteristiche delle aree di distacco simulate. L'area 1 della Costa della Madonna (fig.4) corrisponde all'area di distacco dell'ultimo evento rilevante (23/01/2009). L'area 2 è stata scelta assumendo che le opere presenti evitino di-

	Area planimetrica (ha)
Area 1	6,48
Area 2	9,45
Area 3	14,06
Area 4	19,156

© AINEVA

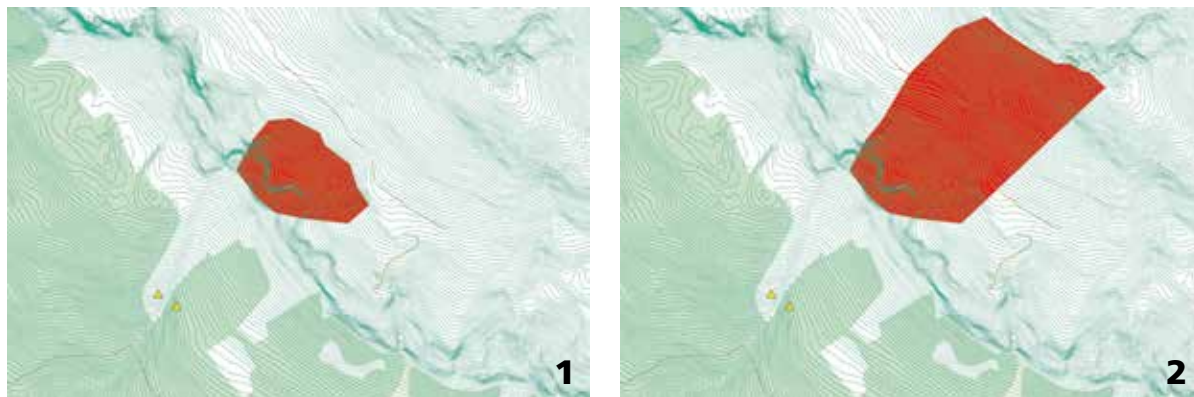
	Area planimetrica (ha)
Area 1	5,86
Area 2	19,32

© AINEVA

Tab. 3 - Area planimetrica per le aree di distacco simulate nel bacino della Costa della Madonna.

Tab. 4 - Area planimetrica per le aree di distacco simulate nel bacino del Livinadac.

Fig. 5 - Aree di distacco simulate per il Livinadac. I triangoli gialli indicano la posizione degli ancoraggi del pendolo lungo il canale di scorrimento.



stacchi anche nei settori di pendio ad esse sottostanti. L'area 3 interessa la massima area di distacco attualmente plausibile, mentre l'area 4 corrisponde alla massima area di distacco possibile, qualora non ci fosse alcuna opera di difesa.

Analizzando gli eventi conosciuti della Costa della Madonna si nota che, nonostante in momenti diversi sia stata coinvolta tutta l'area di distacco possibile, non si hanno notizie di un evento tale da averla mobilitata interamente in modo simultaneo. Per il sito del Livinadac (fig.5) le aree di distacco simulate sono 2.

Analizzando criticamente le informazioni relative agli eventi noti è stato possibile individuare l'area 1 come maggiormente soggetta a distacchi, mentre l'area 2 è stata scelta in un'ottica cautelativa, ipotizzando il coinvolgimento simultaneo di tutto il pendio convergente nel canale di scorrimento.

ALTEZZA DELLA NEVE DI PROGETTO E VOLUMETRIE DI PROGETTO

I dati nivologici di input sono costituiti dalla variabile DH3gg, ossia dalla differenza di spessore della neve al suolo relativa a tre giorni consecutivi e contrassegnata da un dato tempo di ritorno (Tr).

Queste informazioni sono state stimate mediante l'analisi dei dati di 7 stazioni meteo-nivologiche dell'alto bacino del Cordevole.

I Tr di progetto utilizzati per il calcolo sono di 30, 100 e 300 anni, secondo quanto proposto dalle direttive A.I.Ne.Va. (Tab.5) (Barbolini et al., 2005).

Nei casi in esame, mediamente, sono disponibili solamente dati per gli ultimi 28 anni, al contrario di quanto consigliato da alcuni autori (es. Katz et al., 2002), i quali sostengono che per calcolare correttamente il valore della DH3gg per un definito Tr sia necessaria una serie di dati di lunghezza pari ad almeno Tr/2.

I volumi di distacco di progetto sono stati calcolati implementando in ambiente GIS la metodologia proposta da Salm et al.(1990). In pratica, per ogni cella del DTM è stata calcolata l'inclinazione, da cui è stato ricavato il parametro di correzione $f(\phi)$. Moltiplicando $f(\phi)$ per i valori di DH3gg di progetto dei due siti è stato possibile calcolare l'altezza di progetto della neve per ciascuna cella.

Conoscendo le dimensioni delle celle, è stato quindi possibile calcolare il volume complessivo della neve di progetto per ciascuna area di distacco (tab.6, 7).

Se si confrontano i volumi di progetto con quelli stimati per gli eventi reali si incontrano delle discrepanze.

Prendendo ad esempio il bacino del Livinadac, per il quale si dispone di più dati, i volumi di progetto variano tra i 50.000 e i 263.000 m³, a fronte di volumi stimati in campo sull'ordine dei 3.600 - 30.000 m³. Questa differenza è spiegabile con sottostime delle misure in campo e con il fatto

che sono disponibili solamente dati volumetrici per gli eventi degli ultimi 30 anni. Le sottostime delle misure in campo sono legate al fatto che molta della neve movimentata dalla valanga viene depositata nelle curve del canale o in altri tratti della zona di scorrimento senza raggiungere la zona di arresto principale.

Nelle valanghe che si verificano dopo forti nevicate, inoltre, la stima è spesso effettuata immediatamente dopo l'evento ed in condizioni di scarsa visibilità, per cui la valutazione sia dell'estensione delle zone di distacco sia del volume risulta del tutto indicativa.

Inoltre la neve nella zona di deposito ha una densità maggiore rispetto a quella in zona di distacco, quindi l'accumulo in genere ha un volume minore, a parità di massa (Sovilla, 2004).

Prendendo il caso del sito del Livinadac risulta plausibile, ad esempio, che valanghe con un accumulo stimato di 30.000 m³, abbiano lasciato lungo il loro percorso 5.000 - 10.000 m³ di neve, per un volume complessivo al distacco di 35.000 - 40.000 m³, ovvero dello stesso ordine di grandezza di un evento con Tr di 30 anni in area di distacco 1.

PARAMETRI DI CALIBRAZIONE E DENSITÀ DEL MANTO NEVOSO

La densità del manto nevoso nelle simulazioni è stata fissata pari a 300 kg m⁻³, secondo quanto proposto da Salm et al. (1990) e in linea con quanto atteso: il 75% degli eventi noti, per entrambi i siti, sono stati classificati come valanghe di neve umida/bagnata.

Tab. 5 - Valori di DH3gg (cm) per ciascun tempo di ritorno e per ciascun bacino valanghivo.

	Costa della Madonna			Livinadac		
Tr (anni)	30	100	300	30	100	300
DH3gg (cm)	133	155	175	138	164	187

© AINEVA

La calibrazione dei parametri reologici μ e ξ dovrebbe essere effettuata mediante approccio diretto o indiretto (Jamieson et al., 2008).

La calibrazione diretta prevede che i coefficienti di frizione vengano calibrati in 'back-calculation' a partire da eventi realmente registrati nel caso in esame. Questo richiede una nutrita serie di dati riguardante: perimetri di aree di distacco, altezza h della neve distaccatasi e distanze di arresto.

Il secondo approccio di calibrazione prevede che si usino i coefficienti di frizione validi per situazioni analoghe, di cui si hanno più dati, oppure si ricorre ai valori proposti in bibliografia.

Nei casi di studio, in particolare per la Costa della Madonna, non è stato possibile applicare la gran parte delle metodologie sopra descritte per la mancanza di dati sufficienti sugli eventi passati.

Tuttavia si è riscontrato che i valori consigliati dal manuale RAMMS, dipendenti dal tipo e dal volume della valanga di progetto, permettono comunque di ottenere dei risultati e confrontabili con gli eventi storici.

RISULTATI

Costa della Madonna

L'obiettivo delle simulazioni effettuate in questo sito è stato quello di valutare se le opere ferme attualmente in opera, sono sufficienti a evitare il coinvolgimento del centro abitato di Voltago Agordino a seguito dei fenomeni valanghivi.

Non essendo stato possibile applicare la metodologia proposta da Maggioni et al. (2006), sono state create diverse carte del pericolo per ciascuna area di distacco (fig.6).

Confrontando i limiti raggiunti dalle valanghe simulate con il massimo evento reale registrato (fig.7), si possono formulare alcune osservazioni.

Gli eventi con area di distacco 2, 3 e 4 e con Tr di progetto rispettivamente pari a 300, 100 e 30 anni ricalcano in maniera soddisfacente il massimo evento storico noto.

Lo scarto tra i perimetri forniti dalle simulazioni e quello storico è probabilmente legato sia all'imprecisione del DTM utilizzato, sia al fatto che la C.L.P.V., da cui è tratto l'evento storico, è redatta in scala 1:25.000, e mal si presta al confronto con

Tr (anni)	30	100	300
Area 1	61.170	71.288	80.486
Area 2	97.864	114.052	128.768
Area 3	140.236	163.433	184.522
Area 4	196.254	228.718	258.230

© AINEVA

Tr (anni)	30	100	300
Area 1	50.693	60.245	68.694
Area 2	194.332	230.945	263.334

© AINEVA

simulazioni effettuate a un maggior grado di dettaglio. All'aumentare dell'area di distacco e al diminuire dello spessore di progetto, ovvero del tempo di ritorno, le volumetrie messe in gioco sono le stesse e si ottengono valanghe con runout (distanza di arresto) molto simili.

È difficile tuttavia definire univocamente un limite volumetrico oltre il quale la massa nevosa supererebbe i perimetri di arresto conosciuti.

Ad esempio l'evento con area di distacco 2 e Tr 300 anni ha le stesse runout dell'evento con area di distacco 4 e Tr 30 anni, pur avendo volumetrie di progetto molto differenti; rispettivamente di 128.768 e 196.253 m^3 .

Tab. 6 - Volumi (m^3) di progetto per ciascuna area di distacco e per ciascun tempo di ritorno per la Costa della Madonna.

Tab. 7 - Volumi (m^3) di progetto per ciascuna area di distacco e per ciascun tempo di ritorno per il Livinadac.

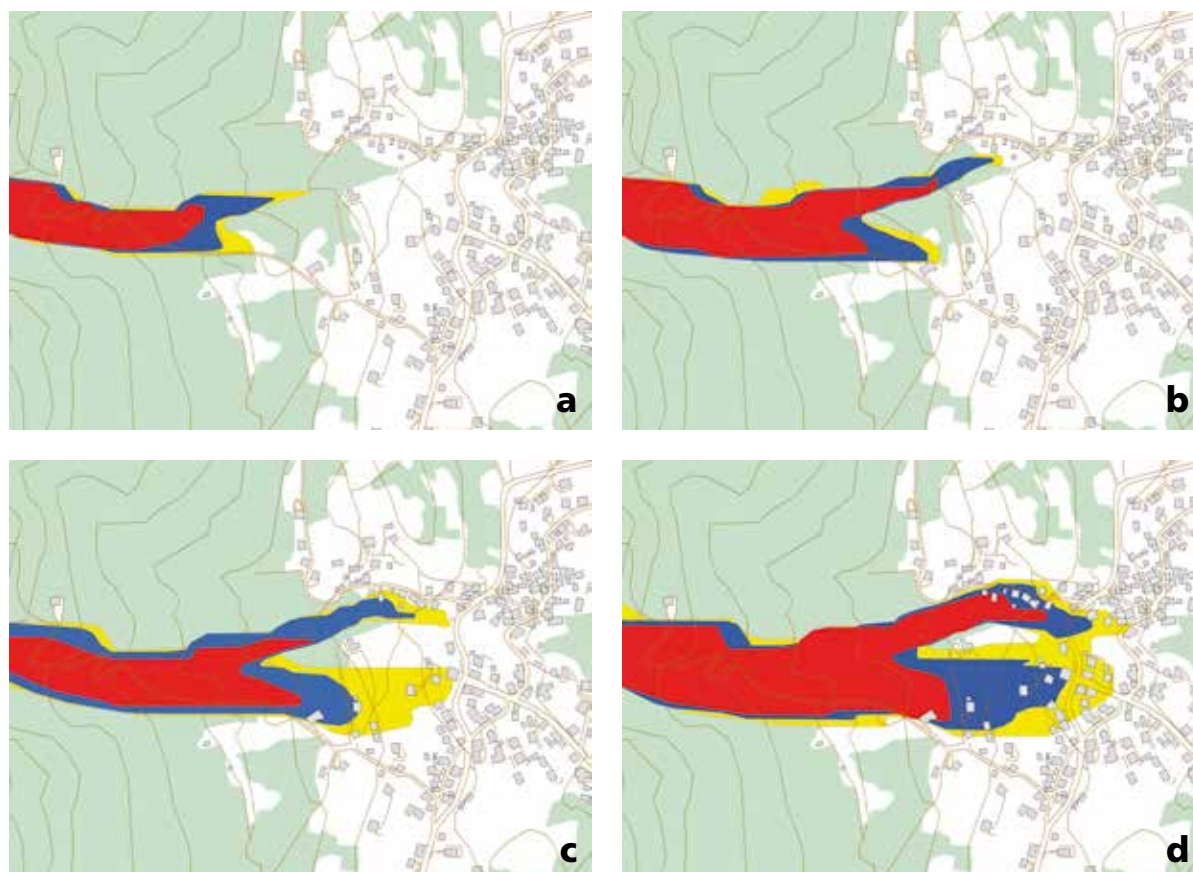


Fig. 6 - Carte del pericolo per ciascuna area di distacco. a) area 1, b) area 2, c) area 3, d) area 4.

Fig. 7 - Confronto tra perimetri della valanga, ottenuti dalle simulazioni, e massimo evento reale ben documentato (campitura viola, 1951). Perimetro rosso = area 4, Tr 30 anni, perimetro blu = area 3, Tr 100 anni, perimetro arancione = area 2, Tr 300 anni. È importante notare che l'unico edificio compreso nella campitura viola non era presente nel 1951.

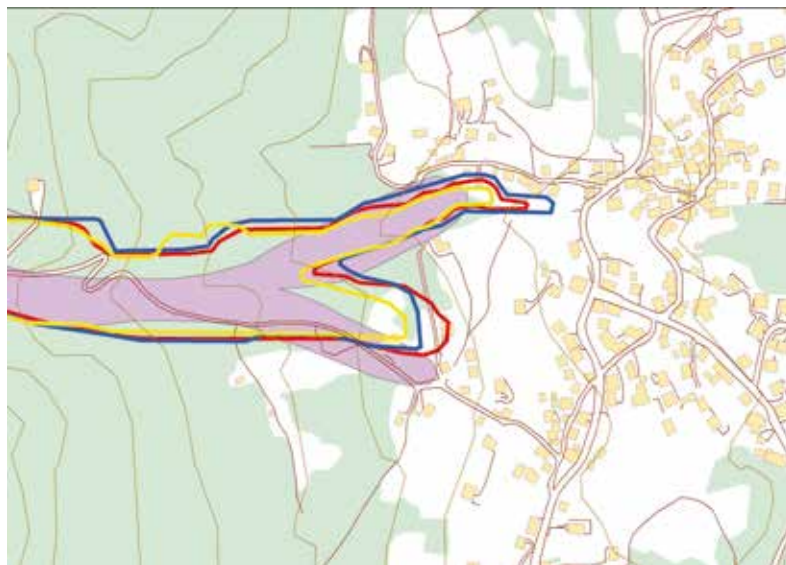
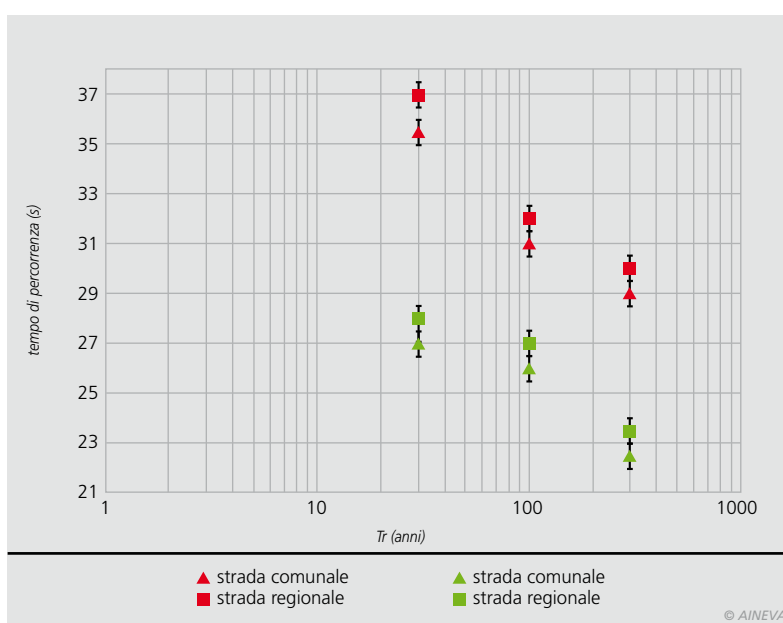


Fig. 8 - relazione tra tempo di ritorno (scala logaritmica) e tempo di percorrenza della valanga. In rosso l'area di distacco 1 e in verde l'area 2. L'errore è di ± 0.5 s.



Tab. 8 - Velocità (kmh⁻¹) minima richiesta per l'attraversamento in sicurezza dei tratti stradali fra i semafori per ciascuna area di distacco e Tr.

	velocità (kmh ⁻¹) area di distacco 1			velocità (kmh ⁻¹) area di distacco 2		
	Tr 30	Tr 100	Tr 300	Tr 30	Tr 100	Tr 300
strada comunale	25,5	29,5	31,3	33,8	34,9	40,3
strada regionale	23,4	27	28,8	30,6	32	36,7

Questa differenza è anche dipendente dal diverso parametro μ associato al volume della valanga. All'aumentare di μ , infatti, diminuisce la runout, per cui sono necessari volumi di progetto maggiori per far sì che la valanga raggiunga lo stesso punto. In linea di massima si può concludere che per volumi di distacco superiori ai 120.000 m³ è probabile che la valanga raggiunga il centro abitato.

Appare chiara l'importanza che riveste la scelta delle aree di distacco in relazione al Tr del runout della valanga. Dalle

simulazioni effettuate, tenendo anche conto dei limiti imposti dai dati di input, si evince che il centro abitato di Voltago Agordino solo per eventi con elevato Tr, e con il coinvolgimento simultaneo di tutta l'area di distacco priva di opere, è marginalmente esposto ad un medio-basso grado di pericolo.

Livinadac

Lo scopo delle simulazioni, in questo caso, è stato quello di valutare la correttezza del posizionamento dell'impianto

semaforico e del relativo sensore a monte, rispetto a eventi valanghivi con Tr di progetto. Effettuando simulazioni con passo temporale di 0,5 secondi è stato possibile calcolare i tempi di percorrenza della valanga del Livinadac tra il sensore e le strade più a valle.

In fig.8 sono rappresentati i tempi in rapporto alle due aree di distacco ed ai tempi di ritorno di progetto.

Come è lecito aspettarsi i tempi di percorrenza diminuiscono all'aumentare del tempo di ritorno dell'evento (aumento del DH3gg di progetto) e della superficie dell'area di distacco (aumento dei volumi in gioco).

L'andamento di questi tempi è dovuto al diverso punto di intersezione tra il fronte della valanga e le strade interessate.

Con l'aumentare della magnitudo della valanga il fronte di questa tende a incrociare la strada sempre più verso Livinè, uscendo dalla parte più incavata dell'impluvio, manifestando un comportamento confrontabile con quanto verificatosi durante l'evento del 1977.

Conoscendo i tempi di percorrenza delle valanghe tra il sensore e le strade, ed essendo note le distanze da semaforo a semaforo, è possibile calcolare la velocità minima, per ciascun evento simulato, che un veicolo dovrebbe sostenere per attraversare indenne il tratto di strada tra i due semafori qualora questi diventino rossi immediatamente dopo il transito del veicolo stesso (tab.8).

Nella peggiore delle ipotesi simulate, ovvero per un evento che coinvolga l'area di distacco 2 con Tr di progetto di 300 anni, il veicolo, per attraversare il tratto stradale in sicurezza, dovrebbe viaggiare a minimo 40,3 km h⁻¹, nel caso della strada comunale, e a circa 37 km h⁻¹ per la strada regionale.

Mediante ulteriori simulazioni con nuove aree di distacco, è stato possibile correlare il valore di DH3gg limite con l'area coinvolta dal distacco e individuare una soglia oltre la quale la valanga raggiunge e/o supera la strada comunale (tab.9, fig.9). Interessante notare come il valore di volume critico medio si attesti ad una media

di 21.000 m³ (dev. st. 5.700 m³), con le aree più estese che generalmente sembrano richiedere un volume minore per arrivare fino alle strade.

Nonostante il numero di simulazioni condotte sia contenuto, si possono fare comunque alcune osservazioni.

Dalla figura 9 appare chiaro come le aree di distacco ricadenti sulla destra orografica (f, g) abbiano valori DH3gg soglia a parità di area minori rispetto a quelle ricadenti nella parte sinistra (c, d).

Ciò è spiegabile, oltre che con la diversa morfologia della zona attraversata, che va ad influenzare il comportamento nello spazio e la dinamica della valanga, anche con l'inclinazione di ciascuna area di distacco.

Questo parametro, e soprattutto la sua distribuzione, va ad influenzare $f(\phi)$, che a sua volta influenza i volumi messi in gioco.

Maggiore sarà la pendenza media, minore è l' $f(\phi)$ medio di ciascuna area e

più alto sarà DH3gg a parità di volume di neve mobilitato. Dalle simulazioni appare chiaro come definire univocamente un'altezza di distacco limite oltre il quale la valanga supera le strade, a prescindere dalla superficie dell'area coinvolta dal distacco, non è corretto. Quindi dimensioni dell'area di distacco coinvolta e runout della valanga non sono sempre correlate in maniera diretta, in quanto, come si è visto, ad incidere in maniera sostanziale sono i valori di altezza della neve mobilitata (DH3gg). Utilizzando il metodo proposto da Barbolini e Cappabianca (2002) si sono calcolati i Tr per ciascun evento valanghivo noto del sito del Livinadac, a cui è stato possibile associare i Tr dei valori dell'incremento di spessore del manto nevoso nella zona di distacco nei tre giorni precedenti l'evento. Da questa analisi è risultato che associare univocamente il Tr delle runout della valanga con il Tr di DH3gg può non essere sempre corretto (fig.10), conclusione peraltro già riscon-

trabile in letteratura (Ancey et al., 2004; Sauermoser, 2006). Facendo una sintesi delle simulazioni condotte per i vari Tr di progetto, si può concludere che il posizionamento dei semafori nel bacino del Livinadac risulta corretto.

Tab. 9 - area, volume e DH3gg limite per ciascuna area di distacco simulata.

area di distacco	area (ha)	volume tot (m ³)	DH3gg (m)
a	5,87	20.300	0,56
b	12,51	21.200	0,23
c	1,85	20.800	1,98
d	3,25	33.100	1,66
e	7,52	18.500	0,34
f	2,47	15.600	0,99
g	5,43	16.900	0,40

© AINEVA

$$(1) \partial_t H + \partial_x (HU_x) + \partial_y (HU_y) = \dot{Q}$$

$$(2) \partial_t (HU_x) + \partial_x (c_x HU_y^2 + g_z k_{a/p} \frac{H^2}{2}) + \partial_y (HU_x U_y) = S_{gx} - S_{fx}$$

$$(3) \partial_t (HU_y) + \partial_x (HU_x U_y) + \partial_y (c_y HU_y^2 + g_z k_{a/p} \frac{H^2}{2}) = S_{gy} - S_{fy}$$

$$(4) \partial_t (HR) + \partial_x (HRU_x) + \partial_y (HRU_y) = \dot{P} - \dot{D}$$





Si consiglia, tuttavia, la costruzione di ulteriori opere di mitigazione, quali ad esempio una galleria paravalanghe sulla S.R.48 ed il posizionamento di un impianto semaforico anche nella strada comunale di fondovalle per Vallazza, per mitigare ulteriormente l'esposizione al pericolo dei mezzi che transitano sull'importante asse viario interessato.

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Le analisi illustrate hanno permesso di rispondere ai quesiti riguardo alla pericolosità dei casi di studio, ma soprattutto si sono messe in luce le principali difficoltà nell'applicazione dei modelli bidimensionali a casi reali, in particolare:

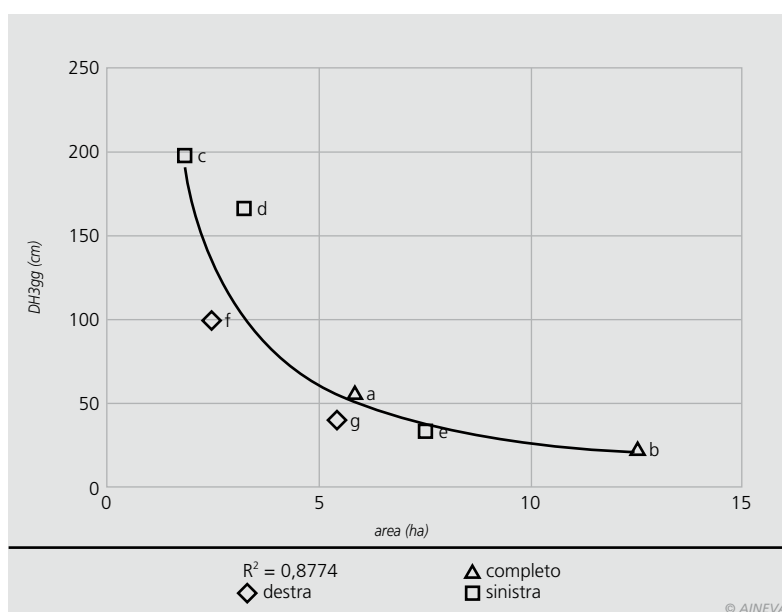
- Il modello digitale del suolo deve essere il più affidabile possibile, andando a riprodurre in modo esaustivo le caratteristiche morfologiche che influenzano la dinamica della valanga. Nel caso in cui non si disponga di un tale strato informativo sono da suggerirsi rilievi topografici ad hoc ad integrazione del DTM.

- La scarsità di dati di elevata qualità relativa alle zone di distacco, alle volumetrie di evento e spesso anche alle zone di arresto causa un'oggettiva impossibilità di calibrare accuratamente il modello per i casi di studio, sia per quanto riguarda i parametri fisici costitutivi, sia per quanto riguarda la magnitudo del fenomeno associata ad un tempo di ritorno.

- L'approccio metodologico che prevede la corrispondenza univoca tra il valore di Tr di DH3gg e il Tr di un evento valanghivo, pur risultando a livello applicativo facilmente perseguibile, si è rivelato in parte fuorviante o meglio non completamente esauriente per descrivere la gravosità di un evento valanghivo; molto più utile, in questo senso, appare una combinazione ragionata fra DH3gg ed estensioni/localizzazioni possibili della zona di distacco.

Nonostante le problematiche riscontrate, l'approccio modellistico pare sicuramente più efficiente ed oggettivo degli approcci tradizionali, ma occorre considerare la variabilità che viene introdotta

Fig. 9 - relazione tra area di distacco e DH3gg limite. Le aree di distacco sono classificate in tre gruppi in base alla posizione idrografica nel bacino di distacco.



dalle problematiche sopra esposte.

Diventa quindi essenziale ragionare con numerosi scenari di distacco e di dinamica, basati su evidenze sia tecniche che storiche, e valutare in modo critico i risultati delle simulazioni modellistiche. E' inoltre evidente che un nuovo impulso alla costruzione di un archivio il più possibile dettagliato degli eventi valanghivi andrebbe a costituire uno strumento di fondamentale importanza nella futura mappatura del pericolo anche, e specialmente, con l'utilizzo di modelli bidimensionali fisicamente basati.

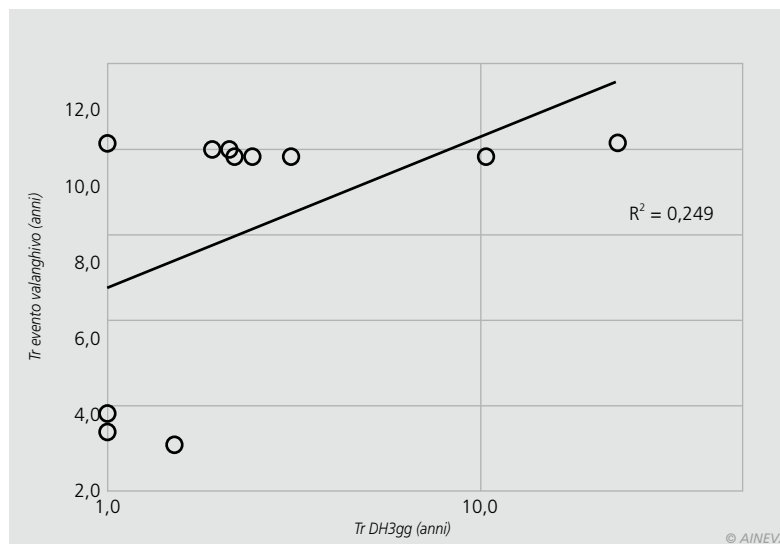


Fig. 10 - Evidenza della bassa correlazione tra T_r degli eventi valanghivi noti e T_r di DH nei 3 giorni precedenti ciascun evento.



Bibliografia

- Ancey C., Gervasoni C., Meunier M. (2004). Computing extreme avalanches. Cold Regions Science and Technology 31, Elsevier, pp. 161-180.
- Barbolini M., Cappabianca F. (2002). Determinazione della relazione tra distanze di arresto e tempi di ritorno delle valanghe: un nuovo metodo basato sull'analisi statistica dei dati storici. Neve e Valanghe n° 46, agosto 2002. A.I.Ne.Va. pp. 14-23.
- Barbolini M., Natale L., Savi F. (2002). Effects of Release Conditions Uncertainty on Avalanche Hazard Mapping. Natural Hazards n° 25, Kluwer Academic Publishers. pp. 225-244.
- Barbolini M., Natale L., Tecilla G., Cordola M. (2005). Linee guida metodologiche per la perimetrazione delle aree esposte al pericolo valanghe. A.I.Ne.Va.
- Christen M., Bartelt P., Kowalski J. (2010). Back calculation of the In den Arelen avalanches with RAMMS: interpretation of model results. Annals of Glaciology 51(54). International Glaciological Society, pp. 161-168.
- Christen M., Bartelt P., Kowalski J., Stoffel L. (2008). Calculation of dense snow avalanches in three-dimensional terrain with the numerical simulation program RAMMS. Proceedings, ISSW 2008, Whistler, Canada, sept. 2008. pp. 709-716.
- Jamieson B., Margreth S., Jones A. (2008). Application and Limitations of Dynamic Models for Snow Avalanche Hazard Mapping. Proceedings, ISSW 2008, Whistler, Canada, sept. 2008.
- Katz R. W., Parlange M. B., Naveau P. (2002). Statistics of extremes in hydrology. Advances in Water Resources Volume 25, Issues 8-12, August-December 2002, Elsevier, pp. 1287-1304.
- Maggioni M. (2004). Avalanche release areas and their influence on uncertainty in avalanche hazard mapping. Dissertation zur Erlangung der naturwissenschaftlichen Doktorwürde (Dr. sc. nat.) vorgelegt der Mathematisch-naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Zürich.
- Maggioni M., Freppaz M., Christen M., Bartelt P., Zanini E. (2012) Back-calculation of small avalanches with the 2D avalanche dynamics model RAMMS: four events artificially triggered at the Seehore test site in Aosta Valley (NW Italy). Proceedings, ISSW 2012, Anchorage, Alaska.
- Maggioni M., Gruber U., Purves R.S., Freppaz M. (2006). Potential release areas and return period of avalanches: is there a relation? Proceedings, ISSW 2006, Telluride, Colorado, October 1-6 2006. pp. 566-571.
- Mc Lung D., Schaerer P. (1996). Manuale delle valanghe. Formazione - dinamica ed effetti - prevenzione e sicurezza - soccorso. Zanichelli Ed.
- Salm B., Burkard A., Gubler H.U. (1990). Berechnung von Fließlawinen. Eine Anleitung für Praktiker mit Beispielen. Mitt. Eidg. Inst. Schnee-und Lawinenforschung, 47 pp. 38.
- Sauermoser S. (2006). Avalanche hazard mapping - 30 years experience in Austria. Proceedings, ISSW 2006, Telluride, Colorado, October 1-6 2006.
- Sovilla B. (2004). Field experiments and numerical modelling of mass entrainment and deposition processes in snow avalanches. Swiss Federal Institute of Technology Zurich. Diss. ETH No. 15462.
- Valt M., Cagnati A. (2004). Finalmente Neve: la stagione invernale 2003-2004 sulla montagna veneta. Neve e Valanghe n. 52, agosto 2004, AINEVA.