



# Internationales Symposium INTERPRAEVENT 2004 – RIVA / TRIENT

## MODULO GRASS PER L'ANALISI DELLA DINAMICA DELLE VALANGHE

### GRASS MODULE FOR THE ANALYSE OF THE AVALANCHE DINAMIC

Alberto Bonomi<sup>1</sup>,

#### **RIASSUNTO**

È stato creato un nuovo modulo per il G.I.S. free-source Grass per linux in grado di individuare con semplicità e precisione, partendo da mappe digitali di tipo Grid, le zone minacciate da un possibile evento valanghivo.

Il modulo usa il modello del Völlmy Salm per simulare la dinamica delle valanghe.

Individuato un possibile percorso valanghivo il modulo è in grado di individuare la zona di scorrimento e la zona d'arresto.

La zona di arresto è bidimensionale e non monodimensionale, poichè si è ipotizzato che nel punto d'inizio della stessa vi sia un ostacolo in grado di deviare la valanga lungo una direzione inclinata di 30, 45 e 60 gradi sia verso destra che verso sinistra..

Vengono creati due file di output di tipo Grid che mostrano le zone interessate dal rischio valanghe, con la separazione della zona di deposito in un'area a pressione diversa.

I risultati forniti dal modulo, confrontati con valanghe presenti nel catasto valanghivo della Provincia di Bolzano, hanno fornito risultati ricalcanti l'effettivo comportamento delle valanghe studiate.

**Parole chiave: G.I.S., Völlmy Salm, valanga**

#### **ABSTRACT**

The paper presents a new G.I.S. module for free source G.I.S. Grass. Purpose of the module is the analyses of a territory portion potentially exposed to avalanches risks starting from a Grid file representation.

The module uses Voellmy-Salm model to simulate avalanches dynamic.

Once avalanche starting point is manually defined the model works out propagation and deposition.

---

<sup>1</sup> Via delle Grazie 32, 38062 Arco (TN), Italia Tel +390464531808 e-mail: alberto.bonomi@email.it

Deposition area becomes 2-dimensional after the hypothesis of different deviation from the line of maximum slope, starting from the beginning of deceleration point, is made. Avalanche pressure distribution is also furnished according to Swiss regulations. The module has been applied to various real cases in Trento and in Alto Adige Italian Provinces. The results show that it is able to properly simulate the behaviour of avalanches catchments.

**Keyword G.I.S., Völlmy Salm, avalanche**

## **IL MODELLO DEL VÖLLMY-SALM PER LA DESCRIZIONE DELLA DINAMICA DELLE VALANGHE**

Lo scopo di questo lavoro è stato quello di creare un nuovo strumento informatico per poter effettuare delle analisi sulla dinamica delle valanghe velocemente e con un buon livello di precisione.

L'unico metodo di previsione del comportamento di una valanga accettato dalle normative svizzere è il Völlmy-Salm: una modellazione fisico-matematica monodimensionale di tipo puntuale della fase di distacco, scorrimento ed arresto di un fenomeno valanghivo, in grado di valutare lo sviluppo della valanga e dove andrà a terminare la propria corsa.

Per queste motivazioni si è deciso di sviluppare tale metodo all'interno di questa tesi implementandolo in un programma in modo tale da rendere le operazioni di calcolo molto più rapide ed efficaci, garantendo la possibilità di un'analisi critica da parte dell'operatore.

## **FUNZIONAMENTO DEL MODELLO DEL VÖLLMY SALM**

Il modello matematico del Völlmy-Salm, infatti, si basa essenzialmente sullo studio delle variazioni di pendenza del percorso valanghivo e sulle caratteristiche di scabrezza dello stesso.

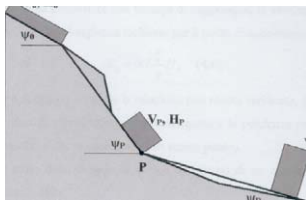


Figura 1 Variazioni di velocità e altezza della valanga lungo il percorso [1]  
Figure 1 Avalanche velocity and depth variations. [1]

I parametri fondamentali caratterizzanti questo metodo sono appunto  $\xi$  e  $\mu$ , rispettivamente il **coefficiente di resistenza** di origine turbolenta, dipendente dalla scabrezza del terreno e dalle caratteristiche della neve, ed il **coefficiente di attrito** tra la neve e la superficie di scorrimento di tipo coulombiano.

Il parametro  $\xi$  varia tra un minimo di 400, nel caso in cui il terreno sia ricoperto da zone boschive, ed un massimo di 1000, nel caso di pendenza uniforme, debole rugosità del terreno e debole canalizzazione del percorso.

Al variare di questo parametro la distanza percorsa dalla valanga può differire anche di alcune centinaia di metri, per questo motivo, nel caso non si possa determinare chiaramente il valore del parametro, risulta cautelativo assumere il valore massimo di 1000, ovvero porsi nelle condizioni di massima percorrenza della massa nevosa.

Il parametro  $\mu$  varia tra il valore minimo 0.155, nel caso di grosse valanghe con volume superiore a  $10^5 \text{ m}^3$ , spessore superiore ad 1 – 2 metri e che si distaccano a quote superiori ai 1500 metri, ed un valore massimo 0.3, nel caso di valanghe di neve umida di ogni dimensione e ad ogni altitudine.

L'influenza di questo parametro sulla valutazione di percorrenza della valanga risulta essere inferiore all'effetto di  $\xi$  ma se ci si vuole porre in condizioni di sicurezza conviene scegliere i valori più bassi, al contrario che nel caso del precedente parametro.

Il modello del Völlmy Salm individua tre zone distinte:

- Zona di distacco;
- Zona di scorrimento;
- Zona di arresto.

**La zona di distacco** è caratterizzata dallo spessore del manto nevoso, dalla larghezza e dalla lunghezza della stessa.

Lo spessore di riferimento del manto nevoso  $d_0^*$  a 2000 metri di quota e su un terreno con una pendenza media di  $28^\circ$  si ricava dalla tabella presente nelle normative svizzere e riportata nella successiva Tabella 2.2.1:

Tabella 1 Spessore del manto nevoso nella zona di distacco in funzione del tempo di ritorno considerato nel caso di una pendenza di 28 gradi ed un'altitudine di 2000 metri [2]

Table 1-1 Snow blanket depth at detachment zone as a function of return time (elevation = 2000 m a.s.l.; slope angle =  $28^\circ$ ) [2]

Tempo di ritorno (anni)	Precipitazioni scarse	Precipitazioni intense
30	0.88	1.5
100	1.06	1.81
300	1.23	2.10

La formula che tiene conto di pendenza e quota reali nella zona di distacco, partendo dallo spessore di riferimento che si ricava dalla Tabella 2.2.1 considerata, è l'Equazione 1:

$$d_0 = d_0^* f(\psi) \quad [\text{m}] \quad (1)$$

$$d_0^* = (d_0^*)_{alt2000} + \frac{0.05(alt - 2000)}{100} \quad [\text{m}] \quad (2)$$

$$f(\psi) = \frac{0.291}{\sin \psi - 0.202 \cos \psi} \quad (3)$$

La lunghezza della zona di distacco dipende dalla pendenza della stessa, mentre la larghezza viene determinata chiaramente nel caso sia una valanga incanalata, mentre nel caso di valanga di versante può dipendere da vari fattori, come la pendenza, l'esposizione e lo spessore del manto nevoso.

A valle della zona di distacco si incontrano in successione la zona di scorrimento e la zona di arresto, separate da un punto particolare chiamato punto P, punto del percorso in cui la pendenza del versante risulta essere coincidente con il valore  $\arctang(\mu)$ . Tale valore di pendenza viene chiamato **angolo critico**, poiché per valori superiori, ovvero a monte, la valanga prosegue inalterata la propria corsa subendo un'accelerazione, mentre per valori inferiori, ovvero a valle, viene rallentata fino ad arrestarsi nel caso che la pendenza rimanga inferiore a tale valore per distanze sufficientemente lunghe: la fase di arresto appunto.

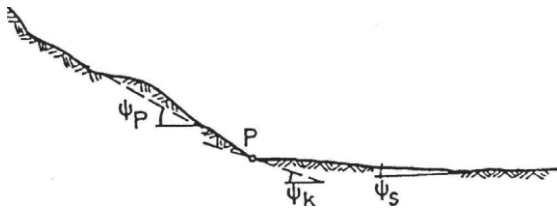


Figura 2 Il punto P è posto nella zona a pendenza critica [2]  
 Figure 2 P point is located at the position where the angle is critical. [2]

$$\tan \psi_c = \mu$$

Equazione 1 Definizione del punto P  
 Equation 1. P point definition

**La zona di scorrimento** parte dal punto di distacco della valanga e prosegue fintanto che la pendenza rimane superiore all'angolo critico, cioè fino al punto P.

A partire dalla pendenza media di questa zona verranno ricavati i valori di larghezza, spessore e velocità della valanga nel punto P, ovvero dove comincia la zona di arresto.

A seconda che sia una valanga di versante o incanalata si utilizzano le seguenti equazioni per il calcolo dei parametri fisici [3]:

Nel caso di valanga di versante la larghezza  $b$  della stessa rimane grosso modo invariata rispetto alla larghezza della zona di distacco e si ha:

$$v = \left( \frac{Q}{b} \xi (\sin \psi - \mu \cos \psi) \right)^{\frac{1}{3}} \quad [\text{m/s}] \quad (5)$$

Nel caso di valanga incanalata:

$$R = \frac{F}{U} \quad [\text{m}] \quad v = \sqrt{R \xi (\sin \psi - \mu \cos \psi)} \quad [\text{m/s}] \quad (6)$$

$$b_p = \frac{Q}{v_p^3} \xi (\sin \psi_p - \mu \cos \psi_p) \quad [\text{m}] \quad (7)$$

Per entrambi i casi lo spessore del manto nevoso nel punto P vale:

$$d_p = \frac{Q}{b_p v_p} \quad (8)$$

**La zona di arresto** comincia a valle del punto P considerato, ovvero dove la pendenza comincia ad essere inferiore alla pendenza critica e quindi agisce sulla valanga provocando una decelerazione e quindi un successivo rallentamento della massa nevosa.

La lunghezza della zona di arresto dipende direttamente dalle dimensioni della valanga considerata, quindi dalla portata, e dalla velocità e dall'altezza della stessa che sono ricavabili partendo sempre dai valori di portata e dalla topografia della sezione in cui vengono calcolati: tanto maggiori saranno queste grandezze calcolate, tanto più lunga sarà la zona d'arresto.

$$d_s = d_p + \frac{v_p^2}{10g} \quad (9)$$

$$V^2 = d_s \xi (-\sin \psi + \mu \cos \psi) \quad [m^2/s^2] \quad s = \frac{d_s \xi}{2g} \ln \left( 1 + \frac{v_p^2}{V^2} \right) \quad (10)$$

## FUNZIONAMENTO DEL MODULO GRASS

Il modulo Grass utilizza due file di input che contengono le caratteristiche geomorfologiche del terreno che si va ad analizzare ed il percorso valanghivo, ovvero la linea di massima pendenza che parte dal punto di distacco. Questo punto viene individuato attraverso delle analisi sulla pendenza del terreno effettuate sfruttando gli strumenti presenti all'interno del G.I.S. Grass.

I file contenenti le informazioni digitali sono dei file di tipo Grid, ovvero contengono le informazioni della quota del terreno in un formato tipo griglia, dove ogni cella corrisponde ad un'area di dimensione nota e contiene la informazione riguardante la quota media dell'area stessa.

Per l'analisi effettuate da questo modulo è consigliato l'utilizzo di Grid con una retinatura compresa tra i 5 e i 10 metri: dimensioni superiori comportano una scarsa precisione, mentre dimensioni inferiori portano a considerare anche variazioni minime del terreno che nella realtà non vanno a condizionare il comportamento della valanga.

Quando si parla di punto, quindi, nella realtà si parla di un quadrato di lato 5 o 10 metri di superficie.

Una volta inseriti i file con le informazioni sulla morfologia viene richiesto il valore dei parametri  $\mu$  e  $\xi$  che devono essere stimati dall'operatore in base all'esperienza dello stesso ed avvalendosi delle Normative Svizzere come linee guida.

Per questo motivo l'utilizzo di questo nuovo strumento rimane limitato a tecnici in grado di stimare il valore degli stessi, in modo tale da minimizzare eventuali errori dovuti ad una sottostima.

Vengono quindi richieste le grandezze che caratterizzano la zona di distacco, ovvero lo spessore del manto nevoso, la lunghezza della zona di distacco, e, nel caso di valanghe di versante, la larghezza.

Nel caso di valanghe incanalate, infatti, il modulo è in grado di valutare autonomamente la larghezza della stessa, poiché in questo caso si mette in moto tutta la neve posta nel canalone, la cui larghezza è ricavabile dai dati sulla morfologia del terreno.

Nel caso di valanga di versante invece dev'essere l'operatore a valutare la larghezza della zona di distacco poiché non è chiaramente definita.

Una volta inseriti questi dati il modulo procede autonomamente individuando la zona di scorrimento e la zona di arresto della valanga stessa.

Nel caso di valanga incanalata viene calcolata punto per punto la velocità, lo spessore e la larghezza della valanga. La larghezza calcolata è in realtà la larghezza del canalone e non della valanga: poiché la stessa non segue fedelmente l'andamento dei bordi del canalone ma mantiene una larghezza abbastanza omogenea, ovvero non si allarga improvvisamente ma gradualmente. Per questo la larghezza calcolata punto per punto viene mediata con le larghezze calcolate nei punti precedenti in modo tale da avere una larghezza che varia gradualmente in base alla morfologia del canalone.

Nel caso di valanga di versante invece la larghezza rimane grosso modo costante nel corso della discesa a valle e quindi è accettabile ritenere la stessa costante e calcolare solo il valore della velocità e dello spessore del manto punto per punto.

Si procede in questa maniera fino a che non viene individuato un punto di cambio di pendenza, ovvero un punto dove si passa ad avere una pendenza inferiore all'angolo critico e quindi una decelerazione della massa nevosa in movimento.

Il modello del Völlmy Salm impone però delle restrizioni di cui bisogna tenere conto, ovvero che la fase di scorrimento non può essere inferiore a 200 metri per poter considerare di avere un moto di tipo uniforme sufficientemente sviluppato. Se il modulo individua un punto di arresto prima di questa distanza informa l'utente che il risultato fornito è viziato dal mancato rispetto di questa condizione e spetta quindi all'utilizzatore valutare se tenere per buoni i risultati forniti, oppure no.

Inizia un processo ricorsivo per valutare la distanza di arresto in base all'10 e alla pendenza media della zona di arresto considerata.

A partire dal punto di inizio dell'arresto si passa al punto successivo lungo il percorso valanghivo, si valuta la pendenza media e se questa risulta essere inferiore all'angolo critico si ricalcola la distanza di arresto e la si confronta con quella effettivamente percorsa fino a quel momento.

Se la distanza di arresto calcolata è inferiore a quella realmente percorsa si è terminato il calcolo e si conosce la lunghezza della zona di arresto, altrimenti si passa al punto successivo e si ripete l'operazione.

Qualora si trovasse una pendenza media che risultasse essere superiore all'angolo critico, significherebbe che la valanga sta riaccelerando perchè aumenta la pendenza del pendio e quindi non si è più in una possibile zona di arresto.

Il modulo prosegue quindi l'analisi considerando che tutta la zona analizzata sia ancora zona di scorrimento finchè non incontra un nuovo punto di cambio di pendenza e ripete l'analisi descritta.

Una volta individuato definitivamente il punto di arresto e quindi la lunghezza della zona di arresto lungo la linea di massima pendenza il modulo individua altre 6 direzioni distinte di arresto, inclinate di 15, 30 e 45 gradi rispetto al percorso stesso, sia a sinistra che a destra.

Si è deciso di introdurre questa variante al modello, da un lato per poter superare la monodimensionalità del modello del Völlmy Salm ed individuare un'area di arresto bidimensionale e dall'altro per poter tener conto di un eventuale ostacolo che si trovi nel punto di arresto in grado di deviare il corso della valanga stessa.

Si è appunto ipotizzato che perchè la valanga cambi di direzione avvenga un urto totalmente anelastico con un ostacolo, cosicché la componente normale all'ostacolo di quantità di moto si vada ad annullare mentre la componente tangenziale rimanga costante.

La quantità di moto così ottenuta viene utilizzata per calcolare la velocità della valanga lungo la nuova direzione di arresto, la cui lunghezza viene calcolata sempre con il metodo descritto in precedenza.

Le lunghezze di arresto vengono interpolate tra di loro in modo tale da individuare una area di arresto bidimensionale.

Il modello salva questi risultati all'interno di un file di tipo Grid, dove vengono assegnati valori distinti alla zona di arresto e di scorrimento, mentre non viene considerata la zona di distacco, poichè questa è già stata individuata in precedenza dall'operatore.

In un secondo file viene creata una vera e propria mappa di rischio, dove l'area di arresto viene divisa in due zone in base alla pressione esercitata secondo quanto indicato dalla normativa svizzera [3].

La pressione esercitata dalla valanga contro un ostacolo è sempre proporzionale al quadrato della velocità e della sua densità. Il coefficiente di proporzionalità varia in funzione della forma dell'ostacolo, delle sue dimensioni e della direzione di incidenza della valanga, In particolare il valore della pressione sarà dato dalla relazione:

$$P_0 = cF \frac{\rho v^2}{2} \quad (11)$$

dove:

$\frac{\rho v^2}{2}$  = pressione dinamica della valanga con  $\rho$  = densità e  $v$  = velocità.

Il valore della densità della valanga in movimento è assunta pari a 300 kg/m<sup>3</sup>.

F= superficie d'impatto perpendicolare alla direzione del moto;

c= coefficiente di resistenza dipendente dalla geometria dell'ostacolo:

c = 1 per forma circolari;

c = 2 per altra forme.

La normativa svizzera prevede che le zone esposte alle valanghe siano così classificate [3]:

**ZONA ROSSA:** territori fortemente minacciati;

- quando le valanghe esercitano una pressione superiore a 30 kN/m<sup>2</sup> o più con periodicità di 300 anni;
- quando le valanghe esercitano pressioni più deboli, ma la cui periodicità è inferiore o uguale a 30 anni.

**ZONA BLU:** territori minacciati da valanghe rare o con intensità ridotta:

- quando ci sono valanghe esercitanti pressione inferiore a 30 kN/m<sup>2</sup> con periodicità variabile tra 30 e 300 anni;
- quando la zona è esposta agli effetti delle valanghe di neve polverosa esercitanti pressioni inferiori a 3 kN/m<sup>2</sup>.

**ZONA GIALLA (facoltativa):** territorio debolmente esposto al pericolo valanghe:

- quando il territorio è situato nella zona di influenza di valanghe di neve polverose esercitanti una pressione inferiore a 30 kN/m<sup>2</sup> e al cui periodicità è superiore a 30 anni.

## RISULTATI

Il modulo è stato applicato su vari percorsi ed ha fornito dei risultati di simulazione che ricalcano perfettamente dei casi reali individuati nel catasto della Provincia Autonoma di Bolzano.

In particolare negli esempi che seguono sono riportati i risultati ottenuti nei bacini valanghivi 45010, 45025 e 45048 del catasto delle valanghe della Provincia Autonoma di Bolzano.

Innanzitutto viene individuato il percorso valanghivo che coincide con la linea di massima pendenza e fornisce un risultato grafico come in Figura 3.

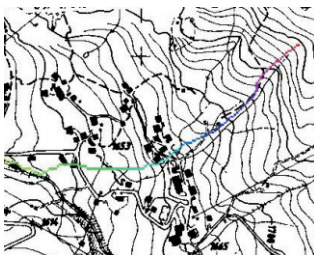


Figura 3 Linea di massima pendenza nella zona del percorso valanghivo numero 45048  
Figure 3 Maximum slope line in the avalanche path zone 45048

Il modulo è stato utilizzato per analizzare la dinamica di un possibile evento valanghivo in questo sito, ed ha fornito i seguenti risultati nel caso di valanga con tempo di ritorno di 30 e 300 anni.

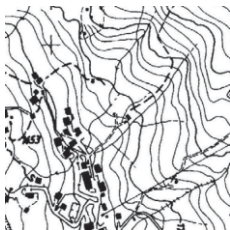


Figura 4 Zona interessata dal percorso valanghivo 45048  
Figure 4 Avalanche catchment 45048

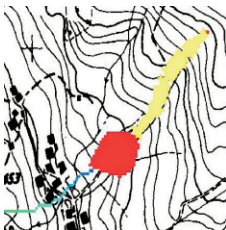


Figura 5 Valanga con  $Tr=30$  anni.  
Giallo = zona di scorrimento, rosso = zona di arresto  
Figure 5 Avalanche for  $Tr=30$  years. Yellow = flowing area, red = stop

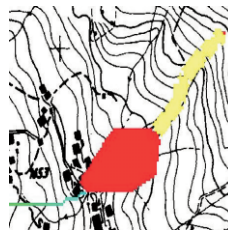


Figura 6 Valanga con  $Tr=300$  anni.  
Giallo = zona di scorrimento, rosso = zona di arresto  
Figure 6 Avalanche for  $Tr=300$  years. Yellow = flowing area, red = stop

Questo è il primo tipo dei due file Grid creati dal modulo dove si individua solo la zona di arresto e non si distingue a seconda delle differenti pressioni che si esercitano nei diversi punti.

Un esempio di mappa valanghiva con la distinzione della zona di arresto a seconda delle pressioni esercitate è rappresentata dalle Figure 8–9-10.

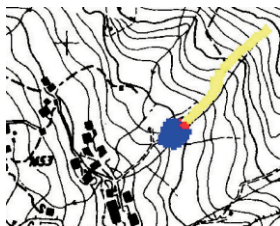


Figura 7 Mappa di rischio valanghivo nel bacino 45048, Tr 30.  
 rosso=pressione > 30 kN/m<sup>2</sup>  
 blu=pressione<30 kN/m<sup>2</sup>.

Figure 7 Avalanche risk map of the catchment 45048. Red = pression > 30 kN/m<sup>2</sup>; Blue = pression <30 kN/m<sup>2</sup>.

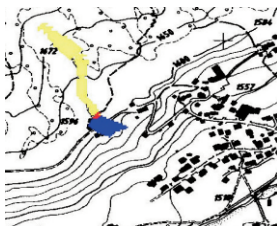


Figura 8 Mappa di rischio valanghivo nel bacino 45010, Tr 30. rosso=pressione > 30 kN/m<sup>2</sup>  
 blu=pressione<30 kN/m<sup>2</sup>.

Figure 8 Avalanche risk map of the catchment 45010. Red = pression > 30 kN/m<sup>2</sup>; Blue = pression <30 kN/m<sup>2</sup>.

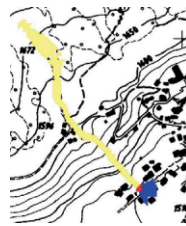


Figura 9 Mappa di rischio valanghivo nel bacino 45010, Tr 300. rosso=pressione > 30 kN/m<sup>2</sup>  
 blu=pressione<30 kN/m<sup>2</sup>.

Figure 9 Avalanche risk map of the catchment 45010. Red = pression > 30 kN/m<sup>2</sup>; Blue = pression <30 kN/m<sup>2</sup>.

## CONCLUSIONI

Il nuovo modulo Grass “r.valanga” è stato pensato per essere un valido strumento informatico, in grado di aiutare un professionista che debba analizzare la possibilità che in una data zona si abbia un evento valanghivo e comprendere la dinamica che lo caratterizza.

Partendo da dati digitali del territorio importati nel GIS Grass, il modulo effettua automaticamente tutti i calcoli che altrimenti dovrebbero essere fatti dall’utente, con un notevole risparmio di tempo ed una precisione sicuramente superiore a quella ottenibile utilizzando mappe cartacee e righelli per misurare le distanze.

Per un corretto utilizzo di tale modulo è però necessario che l’operatore conosca sufficientemente bene la zona di territorio presa in considerazione in modo tale da individuare accuratamente le zone di possibile distacco e individuare chiaramente quindi la linea di massima pendenza lungo cui si può sviluppare un evento valanghivo.

Fondamentale è inoltre stabilire il valore dei coefficienti  $\xi$  e  $\mu$  da dare in pasto al programma, poiché possono condizionare pesantemente, soprattutto nel caso di  $\xi$ , la lunghezza della zona di scorrimento e quindi di arresto della valanga.

Il modulo fornisce delle interessanti indicazioni sulle zone che possono essere interessate da valanga anche in considerazione del fatto che la valanga possa essere deviata da un ostacolo imprevisto, che ne impedisce lo scorrere lungo la propria linea di massima pendenza.

Si riesce a superare la monodimensionalità del modello del Völlmy-Salm arrivando ad individuare un’intera superficie che può essere interessata da zona di deposito delle masse nevose della valanga.

Viene creata anche una mappa delle zone di rischio valanghivo basata sulle pressioni della valanga nelle varie zone di deposito, secondo quanto indicato dalla Normativa Svizzera [3].

Il modulo r.valanga funziona correttamente per quanto concerne l’individuazione della zona di scorrimento e di arresto della valanga, effettuando dei piccoli errori nella separazione delle zone a spinta diversa dovuti alle approssimazioni fatte da Grass nell’estrapolare la linea di massima pendenza.

Utilizzando D.T.M. a 5 metri può capitare che in un canale che ha larghezze comprese tra i 5 e 10 metri, non si riesca a rappresentare con sufficiente precisione l’andamento della linea

di massima pendenza e che questa, localmente, risulti direzionata perpendicolarmente alla parete del canale, cosa ovviamente irrealistica.

Questo problema è però molto limitato ed i risultati forniti dal modulo r.valanga risultano soddisfacenti e ricalcanti la realtà anche in questo caso.

Il modulo creato rappresenta dunque un valido aiuto nell'analisi delle dinamiche 1D delle valanghe attraverso il G.I.S. Grass, fornendo delle utili indicazioni sulla dinamica valanghiva nella zona considerata, mantenendo però le limitazioni che concernono la monodimensionalità del modello.

## **BIBLIOGRAFIA**

- [1] F. Lovatel, Tesi-Applicazioni di modelli numerici 1D ai fenomeni valanghivi che interessano la S.S. 48 delle Dolomiti in comune di Livinallongo del Col di Lana, A.A: 2001-2001
- [2] A.I.N.E.V.A., <http://www.aineva.it/pubblica/valanghe>, maggio 2002.
- [3] B. Somnavilla, La dinamica delle valanghe di neve densa, Istituto Federale Svizzero per lo Studio della Neve e delle Valanghe, Davos, CH.