

AVAL-1D

un programma di dinamica delle valanghe per l'uso comune

**Marc Christen
Perry Bartelt
Urs Gruber**

Istituto federale per lo studio della neve e
delle valanghe SNV
Flüelastrasse 11,
CH-7260 Davos Dorf, Svizzera

Enrico Filaferro

Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia
Curatore della traduzione:
"AVAL-1D: an avalanche
dynamics program for the practice"

La cartografia del rischio di valanghe viene redatta da tecnici con esperienza in valanghe e in pianificazione territoriale. Questi esperti fanno affidamento sia sulla loro esperienza pratica sia su modelli matematici per stimare le distanze di arresto delle valanghe e le velocità di scorrimento. I modelli di dinamica delle valanghe (dense o polverose), utilizzano sofisticati schemi numerici per seguire il movimento delle valanghe, dal distacco all'arresto. Poiché gli esperti di valanghe raramente sono matematici specializzati, il software dev'essere stabile e di uso agevole, e i limiti del modello devono essere evidenziati. Viene qui presentato un nuovo modello di dinamica delle valanghe denominato AVAL-1D che soddisfa questi requisiti. È destinato ai professionisti delle valanghe a integrazione del ben noto modello di Voellmy-Salm. Di seguito discuteremo la struttura del programma e presenteremo un esempio di calcolo.



PREMESSA

La redazione di una carta del rischio da valanga prevede sei passi principali:

1. Revisione del catasto valanghe storico.
2. Sopralluogo e analisi del sito.
3. Determinazione di condizioni climatiche locali quali spessori di nuova neve, direzione dei venti predominanti e condizioni per il verificarsi di spostamenti consistenti di neve.
4. Determinazione del tipo di valanghe e del tempo di ritorno.
5. Calcolo della dinamica delle valanghe.
6. Redazione della versione definitiva della carta del pericolo basata sulle fasi precedenti; l'esperienza pratica gioca un ruolo importante in questa analisi conclusiva.

A fianco: valanga polverosa al sito di Vallée de la Sionne, 1999 (fig.1).

Gli inverni del 1951 e del 1999, nei quali si verificarono molte valanghe estreme, hanno chiaramente dimostrato l'importanza del quinto dei passi sopra esposti, e cioè il calcolo della dinamica delle valanghe, nella predisposizione delle carte di rischio da valanga (SLF, 1951, 2000). Dal 1955 questi calcoli sono stati effettuati principalmente usando il modello analitico di Voellmy-Salm (Voellmy, 1955; Salm, 1966, 1968). Questo modello, dopo molti anni di validazione e calibrazione, fu infine incluso, nel 1990, nelle Direttive per la considerazione del pericolo di valanghe nelle attività di incidenza territoriale (Salm et al., 1990).

Il modello Voellmy-Salm è apprezzato dai professionisti. In primo luogo perché è di semplice uso. Richiede di inserire solo pochi parametri: spessore del distacco, tipologia del percorso della valanga (diviso in tre sezioni: zone di distacco, di scorrimento e di deposito), valore dei due coefficienti di attrito del modello (attrito dinamico μ



e attrito turbolento ξ), determinazione del luogo dove la valanga raggiunge la sua velocità terminale (punto P). In secondo luogo, ma certamente non meno importante, vi è la considerazione che i professionisti chiamati a risolvere problemi di dinamica delle valanghe non si aspettano che un modello di calcolo fornisca loro risultati, di velocità e di distanza di arresto, stupidamente accurati. Secondo loro i modelli complicati non sono giustificati, tenendo conto delle incertezze insite nella valutazione delle dinamiche di una valanga reale.

In ogni caso ci sono molti casi in cui il modello semplifica eccessivamente il flusso della valanga (flusso monodirezionale con larghezza costante, flusso stazionario, massa costante, assenza di deformazioni all'interno della valanga). Un altro svantaggio del modello Voellmy-Salm è dato dal fatto che non può essere utilizzato per calcolare la pressione dinamica delle valan-

ghe polverose. Un modello per le valanghe polverose pratico e facile da usare si è dimostrato, in Svizzera, fallace e ciò, in considerazione dei danni causati dalle valanghe polverose del 1999, è di notevole importanza economica (SLF, 2000).

Modelli che completassero la procedura di calcolo di Voellmy-Salm nell'ambito delle valanghe sia polverose che radenti sono stati sviluppati per un certo periodo (Issler, 1998, Bartelt et al., 1999). Questi modelli monodimensionali basati sull'uso intensivo dell'elaboratore hanno ora raggiunto un livello di sviluppo tale da poterli presentare al pubblico degli utenti professionali.

REQUISITI DEL PROGRAMMA

Per diffondere al pubblico un programma, il software dovrebbe rispondere, in base alla nostra esperienza in Svizzera, ai seguenti requisiti:

- **Validazione del modello:**

nuove procedure di calcolo non possono essere introdotte nell'uso pratico senza una approfondita validazione del modello. L'utente deve comprendere il funzionamento del modello al fine di applicarlo correttamente. Le limitazioni del modello devono essere chiaramente espresse, particolarmente in considerazione del fatto che i modelli relativi alle valanghe, polverose e radenti, sono basati su molteplici aspetti, parecchi dei quali possono essere discussi. La validazione dei modelli implica la definizione di gruppi di parametri, cioè delle linee guida, alle quali l'utente può fare riferimento nella soluzione di problemi reali.

•**Facilità di approccio:** l'utente è ormai abituato a lavorare con procedure WYSIWYG (what you see is what you get, così come lo vedi, così salterà fuori). Procedure noiose di inserimento dei dati e risultati espressi in forma non grafica non sono più accettati. Inoltre, i calcoli verranno effettuati da tecnici che non lavorano in continuazione con questo software: se fosse troppo difficile da usare dovrebbero reimparare il programma ad ogni applicazione. L'inserimento dei dati di base, ad esempio le caratteristiche del percorso della valanga, deve essere intuitivo e autoesplicativo. I risultati dei calcoli verranno inseriti in relazioni destinate ad essere lette da persone non esperte che prenderanno poi decisioni politiche. Quanto prodotto dal programma, sia esso a video o a stampa, deve quindi essere chiaro e comprensibile.

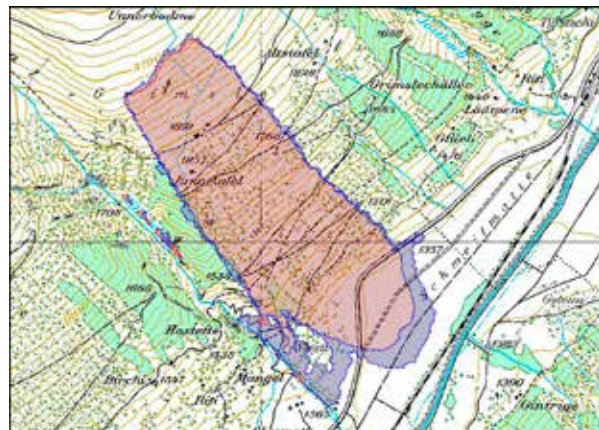
•**Stabilità del programma:** per risolvere il sistema di equazioni differenziali alle derivate parziali si dovranno scegliere schemi di risoluzione numerica che siano accurati e stabili. La maggior parte dei professionisti delle valanghe non posseggono le conoscenze per risolvere pro-

blemi matematici di alto livello. Ci si deve inoltre chiedere perché sviluppare e supportare un modello mono-dimensionale quando ne esistono di bi- e tri-dimensionali, con sofisticate interfacce GIS (Gruber et al., 1998), che possono essere usati per risolvere problemi pratici. Le valanghe polverose e quelle non incanalate sono chiaramente fenomeni bi- e tri-dimensionali. Inoltre, i modelli mono-dimensionali hanno lo svantaggio di costringere l'utente a scegliere un percorso di valanga, spesso in terreni difficili con forte variazione tridimensionale. Perché non introdurre nella pratica modelli più realistici? La nostra risposta si sviluppa su tre livelli:

•**Calcoli più conservativi:** rilievi delle zone di deposito delle valanghe del 1999 hanno spesso messo in evidenza che quando una valanga radente raggiungeva tale zona, non si disperdeva lateralmente, ma piuttosto scorreva in uno o più bracci di larghezza pressoché costante. Gli attuali modelli numerici bi-dimensionali non sono in grado di modellare questo effetto e, secondariamente, sottostimano la lunghezza del deposito in quanto l'energia che regola lo scorrimento non viene usata per spingere la valanga in avanti, ma per distribuirla lateralmente, e in misura eccessiva. È quindi necessario, e forse lo sarà sempre, determinare le distanze di arresto usando modelli mono-dimensionali, o, quanto meno, usarli per una verifica (vedi l'esempio di valanga radente). I modelli bi-dimensionali possono essere utilizzati per determinare il percorso della valanga una volta nota la conformazione del terreno e la zona di distacco.

•**Costi/benefici:** gli studi professionali che si occupano di pianificazione territoriale spesso non possono sostenere le ingenti

spese, in hardware e software, necessarie per le complicate simulazioni bi- e tri-dimensionali. Dubitiamo fortemente che le parcelle relative a calcoli di dinamica delle valanghe possano bastare ad ammortizzare un simile investimento; in questo caso, inoltre, le ditte più grosse hanno chiaramente un vantaggio su quelle più piccole. Poiché, invece, AVAL-1D viene installato su PC e il suo prezzo corrisponde



Fi.2

più o meno a quello di una perizia ingegneristica, qualsiasi studio può permettersi di acquistarlo. Il nostro scopo, come ufficio federale, è quello di consentire alla piccola ditta, spesso formata da una singola persona, di competere con quelle più grandi.

•**Conoscenze dell'utente:** certamente il futuro del calcolo delle valanghe è nei modelli bi- e tridimensionali. Al momento, comunque, gli utenti non hanno le conoscenze per usarli. Ci preme poi sottolineare che le carte valanghe non vengono redatte solamente sulla base dei risultati delle simulazioni. Ciascuno dei sei passi elencati all'inizio ha uguale significatività, e noi non vogliamo mutare una siffatta efficace strategia. L'uso di applicazioni bi- e tridimensionali richiede specialisti in matematica che non hanno, di solito, familiarità con le condizioni locali del terreno e con i parametri meteorologici. Consideriamo un modello monodimensionale,

Mappa del pericolo valanghe.

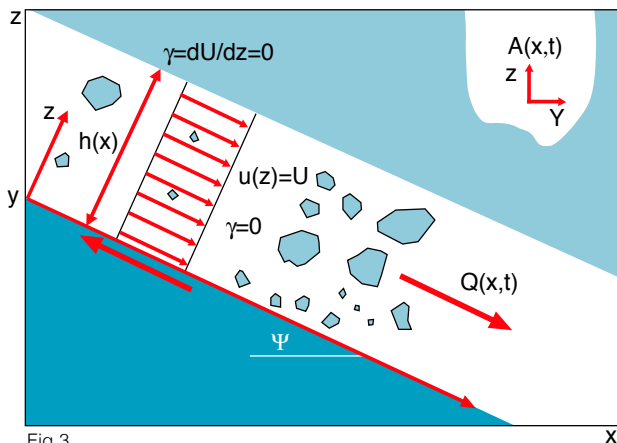


Fig.3

Il flusso della valanga (fig. 3) è descritto da due campi scalari $A(X,t)$ e $Q(X,t)$. Il primo campo $A(X,t)$ rappresenta l'area della sezione di flusso, nel punto X al momento t e il secondo campo $Q(X,t)$ dà la portata media di neve lungo il profilo della montagna (Bartelt et al., 1999).

Percorso della valanga definito mediante 15 punti topografici (fig.5)

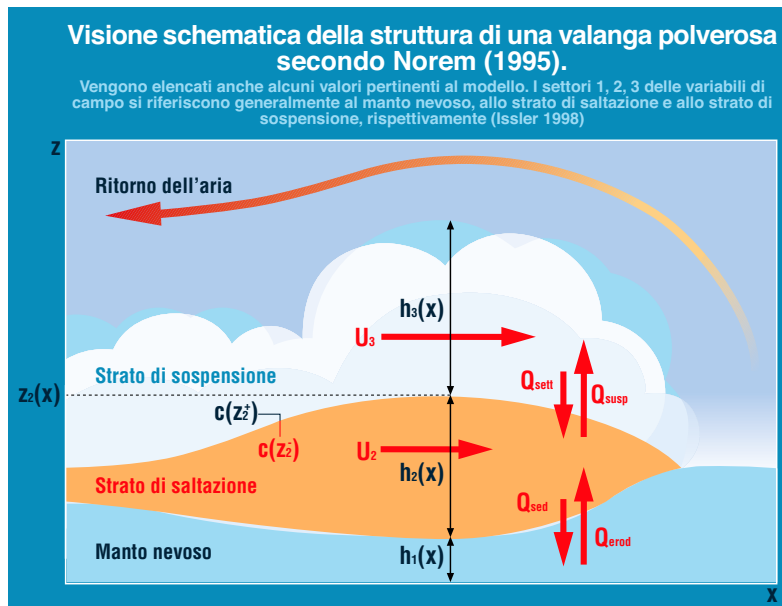


Fig.4



Fig.5

affine al vecchio Voellmy-Salm, come un primo passo importante ed essenziale per porre in contatto i professionisti con i modelli numerici.

Scopo di questo documento è presentare AVAL-1D, programma di dinamica delle valanghe da noi sviluppato all'SLF. Non vogliamo presentare i dettagli dei modelli di dinamica delle valanghe in uso, già fatto da altri (Issler

bidimensionale con ampiezza conosciuta, nel caso delle valanghe radenti, o con ampiezza unitaria, nel caso delle valanghe polverose. I due modelli per le valanghe, FL-1D e SL-1D, sono stati sviluppati in linguaggio C, mentre l'interfaccia grafica utente è stata programmata in IDL (Interactive Data Language), un software "leggero" per l'analisi e la visualizzazione dei dati.

Modello per flusso radente (FL-1D)

FL-1D è un modello di natura idraulica quasi monodimensionale (vedi Fig. 3). Descrive il movimento della valanga (velocità, spessori della neve, pressioni) dal distacco al deposito.

Il modello è basato su parecchi importanti assunti:

1. La neve in movimento è modellata come un fluido continuo avente densità media di scorrimento costante.
2. L'ampiezza di flusso è nota.
3. Esiste una superficie superiore del flusso ben definita.
4. L'altezza di deflusso è costante per tutta la larghezza della sezione di deflusso.
5. La distribuzione della pressione verticale è idrostatica. Non si tiene conto di pressioni centripete che modificano tale distribuzione.
6. Velocità e spessore del flusso sono non stazionari e non uniformi.
7. La massa della valanga è costante e non vengono modellizzati processi di variazione di massa.

Le equazioni differenziali vengono risolte numericamente usando schemi numerici alle differenze finite di primo e secondo ordine di tipo upwind. Per dettagli vedi Sartoris e Bartelt (2000).

Il modello utilizza una legge di flusso di tipo Voellmy. Tale legge assume che le deformazioni al taglio siano piccole e che le forze

et al., 1998; Issler, 1998; Bartelt et al., 1999), ma, piuttosto, il sistema come un tutto. Il problema su cui ci vogliamo concentrare è la difficoltà di introdurre nella pratica i modelli matematici.

STRUTTURA DEL PROGRAMMA

AVAL-1D consta di tre componenti: due moduli monodimensionali di calcolo, rispettivamente per le valanghe radenti e per quelle polverose, ed una interfaccia grafica di collegamento. Il termine monodimensionale si riferisce al fatto che una singola componente di velocità, parallela al percorso della valanga, viene utilizzata per descrivere il movimento sia delle valanghe radenti sia degli strati di neve polverosa in sospensione o saltazione. Il percorso della valanga viene descritto attraverso una topografia

di resistenza siano concentrate alla base della valanga. Queste resistenze sono data da un attrito μ di tipo coulombiano e da un termine d'attrito funzione della velocità al quadrato (Chezy). L'ordine di grandezza dei due parametri di attrito è definito e basato su un'ampia calibrazione del modello effettuata mediante osservazione di eventi sul campo, vedi Bartelt et al. (1999). Gli sforzi longitudinali di trazione e compressione sono compensati da pressioni attive e passive, rispettivamente.

La differenza principale tra la procedura analitica di calcolo di Voellmy-Salm e il modello numerico è che il flusso della valanga in quest'ultimo è non stazionario. La determinazione del punto di decremento della velocità non deve essere fatto dall'utente. Le altezze di flusso, specialmente nella zona di deposito, sono minori. Il modello è stato ampliato per includere altre leggi di flusso, inclusi i modelli russo e norvegese. Per maggiori dettagli vedi Bartelt et al. (1999).

Modello per valanghe polverose (SL-1D)

In base all'analisi della formazione e della struttura delle valanghe di neve polverosa fatta da Norem (Norem, 1995), SL-1D considera la valanga come composta da uno strato di neve in sospensione e da uno di neve in saltazione (vedi Fig. 4). Quest'ultimo misura solo pochi metri ed è modellato attraverso le equazioni di bilancio (massa/quantità di moto) integrate sulla verticale. Nello strato in sospensione le equazioni di bilancio massa/momento della miscela aria/neve sono integrate dal bilancio di massa della neve e dalle equazioni di trasporto per quanto attiene all'energia cinetica turbolenta (e alla dissipa-

zione). Lo scambio di massa e di momento tra i due strati è determinato dalla deposizione delle particelle, diffusione turbolenta contro gradiente di concentrazione, nonché dalle forze di resistenza aerodinamica. Il tasso netto di erosione o di deposizione è in funzione dell'energia cinetica delle particelle collidenti. Lo strato di saltazione retroagisce sullo strato di sospensione in quanto le particelle in saltazione ricavano forza dal flusso d'aria. Le stime preliminari dei valori dei parametri dei modelli possono essere affinate mediante simulazioni delle traiettorie di saltazione. Simulazioni tridimensionali con un modello semplificato hanno chiaramente dimostrato l'importanza di erosione e deposizione della neve nelle applicazioni pratiche. Questo approccio ben si presta ad essere integrato in un modello di valanghe dense. Per ulteriori dettagli circa il modello e la sua validazione, vedere Issler et al. (1998), Issler (1998) e Förster (2000).

Interfaccia grafica per l'utente

È stata prestata particolare attenzione nello sviluppare un'interfaccia grafica che fosse di facile uso per l'utente e che comprendesse la possibilità di stimare sia valanghe dense che valanghe polverose. Serve per inserire i dati di base (topografia, parametri del modello e di calcolo, condizioni iniziali) e per visualizzare i dati in uscita, quali distanza di arresto, pressioni dinamiche, velocità di scorrimento.

Immissione dei dati

Ci sono tre modi per inserire una nuova situazione topografica:

1. Analizzare in mappa il percorso della valanga, annotare quote e coordinate dei punti topografici e inserirli interattivamente, uno

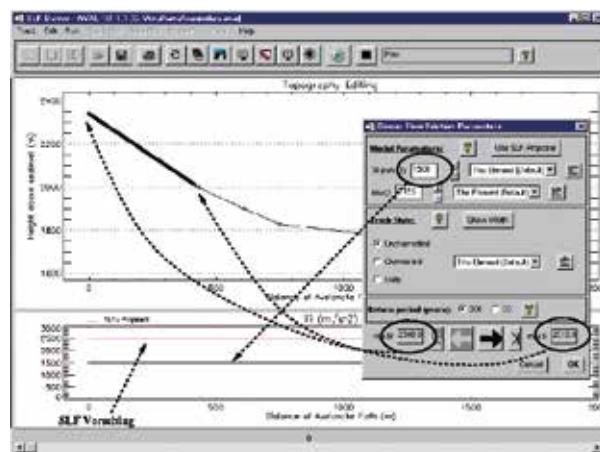


Fig.6

ad uno, mediante la finestra di gestione della topografia.

2. Studiare in mappa il percorso della valanga, scrivere al computer un file di testo (contenente quota, coordinate e larghezza della valanga per singolo punto) e far leggere questo file a AVAl-1D.

3. Usare una mappa digitalizzata dell'area valanghiva e specificare direttamente il percorso della valanga (vedi Fig. 5). La mappa digitalizzata deve quindi essere georeferenziata mediante quattro punti, consentendo ad AVAl-1D di eseguire delle trasformazioni di coordinate. L'utente deve poi cliccare all'intersezione delle curve di livello col tracciato della valanga e inserire manualmente le quote relative, dal momento che non si usa un modello digitale del terreno.

La figura 5 illustra la terza modalità di creazione di una nuova topografia, mostrando il percorso di valanga scelto con tutti i punti di riferimento topografici evidenziati.

Dopo aver delineato il terreno, si devono inserire i parametri del modello (diversi per valanghe dense e valanghe polverose) usando una finestra di dialogo come si può vedere in figura 6. In un'altra di tali finestre possono essere variati i parametri di calcolo per meglio definire le caratteristiche di singoli tratti del profilo, e per effettuare modifiche ai tempi di calcolo.



Finestra della topografia (fig.6 sopra), con i punti marcati da croci; (sotto) finestra dei parametri, con possibilità di visualizzazione.

Nella foto: percorso valanghivo canalizzato.

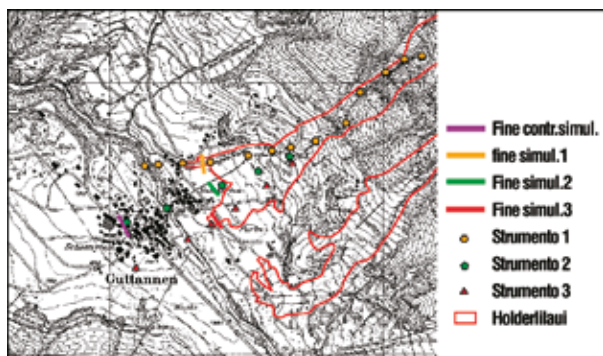
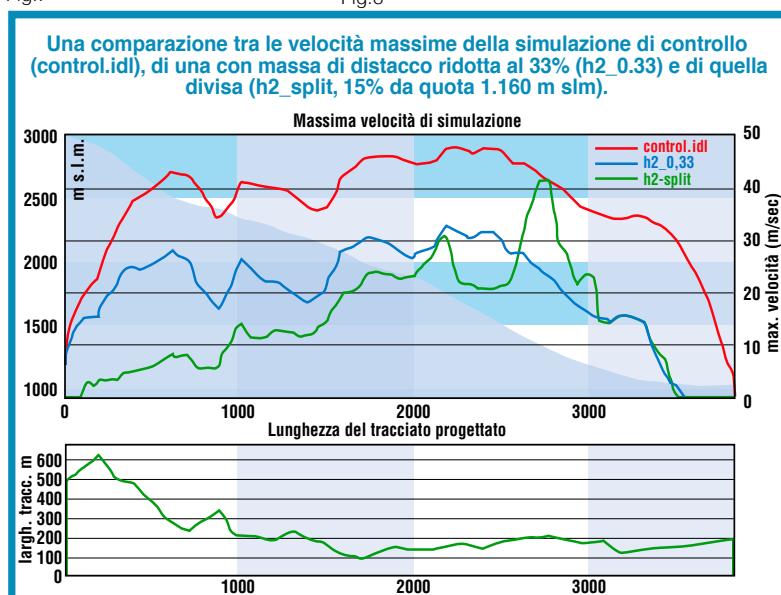


Fig.7

Fig.8

Mapa con i tre percorsi nella zona di deposito della valanga Holderli (fig.7). Sono marcati i punti di arresto della simulazione di controllo e delle simulazioni ramificate.



Premendo un pulsante virtuale vengono eseguiti i calcoli, siano essi relativi ad una valanga radente o ad una polverosa, visualizzando i relativi risultati direttamente all'interno dell'interfaccia utente.

I risultati

Alcune delle più rilevanti caratteristiche dei risultati in uscita di AVAL-1D sono:

- Possibilità di fermare la simulazione ad una certa altitudine e continuare con masse nevose accresciute o diminuite (vedere l'esempio della valanga radente), simulando "bracci di valanga".
- Visualizzazione dei risultati per tutti i punti del percorso, e non solo in punti specifici come avviene nel modello analitico Voellmy-Salm.
- Visualizzazione animata dello scorrere della valanga.
- Diagrammi XY in punti selezionati dall'utente lungo il percorso

della valanga (evoluzione spazio-temporale del fenomeno)

- Rappresentazione del profilo in punti selezionati dall'utente (solo per valanghe polverose).

- Possibilità di sovrapporre differenti simulazioni per visualizzare le variazioni indotte da parametri diversi.

- Log-files per sintetizzare i

ESEMPI

Valanga radente:

Holderlilau, Cantone di Berna - Svizzera

La valanga di Holderli si verificò nel febbraio 1999. In questo esempio, abbiamo cercato di ricreare, attraverso il programma, il perimetro della valanga di quell'evento. All'inizio della zona di deposito (1.160 m s.l.m.) la Holderlilau si divide in tre percorsi. Questo è chiaramente un problema bi-dimensionale, che sino ad ora non poteva essere risolto in modo soddisfacente. AVAL-1D è in grado di trattare questo problema e di fornire una soluzione ai professionisti.

I bracci sono numerati da 1 a 3 da Ovest verso Est (vedi Fig. 7). Fu postulato che l'intera massa nevosa si dividesse in tre distinti percorsi al suo emergere dal tratto canalizzato, a 1.160 m s.l.m.. Fu eseguita una simulazione di prova facendo scorrere l'intera massa lungo il braccio centrale; lo spessore del distacco fu determinato in m 1,22 in conformità alle Linee Guida Svizzere. Ulteriori simulazioni avevano fatto emergere che non era realistico modellare i tre percorsi separatamente attribuendo ad ognuno una porzione stimata della massa nevosa staccatasi: le velocità delle valanghe così simulate sarebbero state troppo basse e conseguentemente le dimensioni sottostimate.

AVAL-1D risolve il problema delle valanghe ramificate eseguendo la simulazione normalmente, con tutta la massa di neve partita dal distacco, e fermandola al punto di divergenza. Velocità e spessore della neve possono qui essere esportati, lo spessore può venir ridotto (pur mantenendo la stessa velocità) e la simulazione riavviata lungo uno dei bracci. La riduzione dello spessore della neve viene fatta stimando quale percentuale possa avviarsi lungo

risultati più significativi della simulazione.

- Possibilità di creare file TIF, GIF, BMP ed EPS per tutti i risultati. Ovviamente esistono funzioni aggiuntive che consentono di ingrandire, ridurre e portare in scala le immagini, nonché di aggiungervi del testo, per adattare i risultati alle esigenze dell'utente.

Help in linea

AVAL-1D fornisce all'utente un menù di aiuto, con informazioni sull'uso del programma e sulla scelta dei parametri.

Informazioni più dettagliate sono disponibili sul manuale dell'utente e su internet, dove esiste una home page dedicata ad AVAL-1D, con una sezione dedicata alle FAQ, le domande ricorrenti, e alla descrizione dei problemi. Esempi di calcolo illustrano come usare il programma in casi complessi.

ognuna delle possibili direzioni. In questo calcolo si è postulato che il 35% imboccasse il percorso 1, il 15% il percorso 2 e il 50% il percorso 3 (una comparazione tra la simulazione di controllo, una simulazione a massa di distacco ridotta e una relativa alla valanga divisa, per il percorso 2, sono visibili in Fig. 8). Questa procedura simula la suddivisione della valanga più realisticamente, in quanto le valanghe avranno la stessa velocità iniziale dopo il punto di partizione. I tre percorsi ed i relativi punti di arresto delle simulazioni così come il punto di arresto della simulazione di controllo, calcolato usando su un unico percorso l'intera massa della neve staccatasi, sono visibili in Fig. 9. I risultati delle simulazioni mostrano una buona concordanza con i risultati delle osservazioni sul terreno del 1999.

Valanga polverosa: sito sperimentale Vallée de la Sionne - Svizzera

La Vallée de la Sionne è posta immediatamente a nord di Sion, capitale cantonale, nella parte francofona occidentale del Canton Vallese. Il sito sperimentale è utilizzato per studiare i processi fondamentali delle valanghe (regimi di flusso, erosione e deposizione della neve, ecc.) per migliorare i modelli di dinamica delle valanghe. In questo esempio vennero simulati due eventi, nel tentativo di retrocalcolare le velocità della valanga del 30 gennaio 1999 (foto pag 38).

Concettualmente, le specifiche iniziali per calcolare una valanga polverosa sono le stesse necessarie per calcolare una valanga densa, e cioè la determinazione delle dimensioni del lastrone iniziale. Spessori di distacco di 1,0 m per un tempo di ritorno di 30 anni e di 1,4 m per una valanga di 300 anni, furono determinati sulla base delle Linee Guida

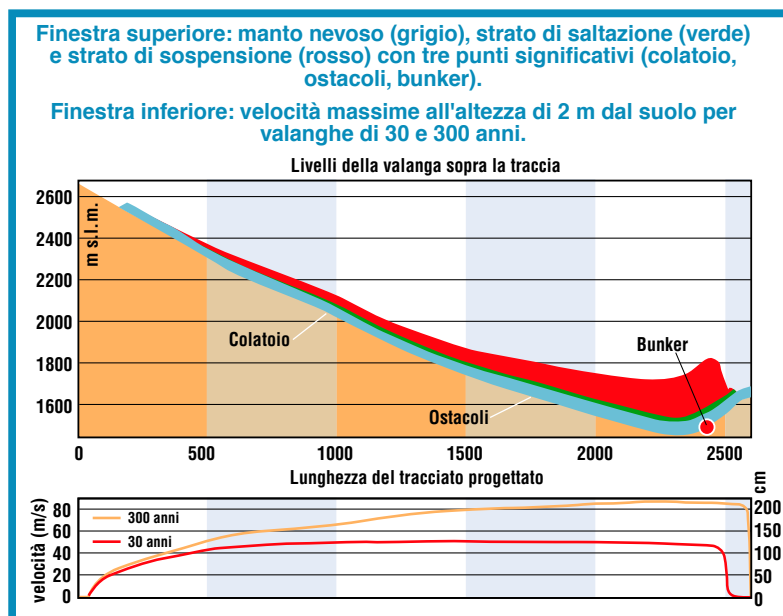


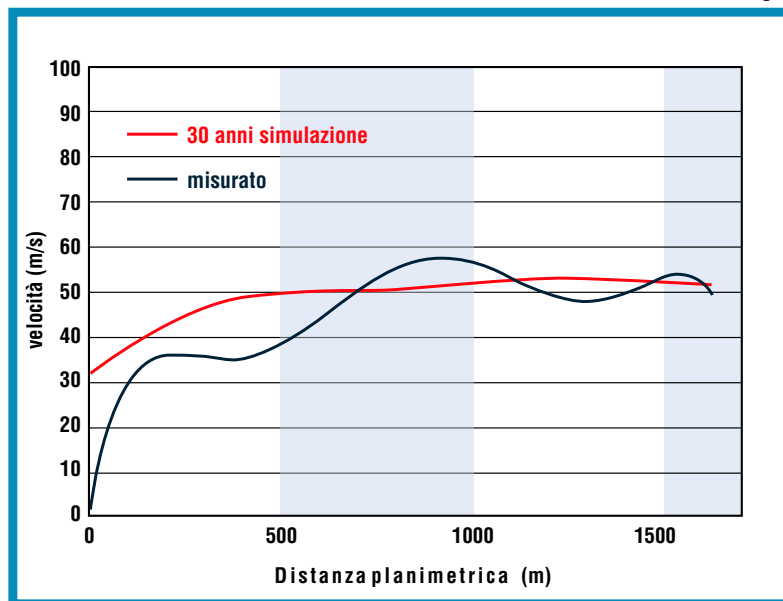
Fig.9

Velocità calcolate e misurate (media), v (m/sec) in tre punti: canale, ostacoli, bunker. T (s) indica il tempo passato dal distacco.

Velocità (m/s)	300 anni		30 anni		Misurata	
	v(m/s)	t(s)	v(m/s)	t(s)	v(m/s)	t(s)
colatoio	66,0	27	49,2	30	58,0	37
ostacoli	83,5	45	50,8	55	50,0	52
bunker	88,5	55	48,1	71		72

Fig.10

Fig.11



Velocità misurate e simulate lungo il percorso della valanga della Vallée de la Sionne (fig.11)

Svizzera. In AVAL-1D si devono specificare le masse iniziali sia dello strato di saltazione che di quello di sospensione definendo la densità iniziale della neve e il tasso di sospensione. Questi valori dipendono dalla regione geografica, dall'altitudine, dalla pendenza, dalle caratteristiche della neve e dalla velocità di

scorrimento (con AVAL-1D vengono suggeriti valori di riferimento).

Le due simulazioni sono relative: (1) una valanga di 300 anni e (2) una valanga di 30 anni. La densità iniziale è stata fissata a 200 kg/m³, il tasso di sospensione al 10% e lo spessore della neve che può essere erosa è stato

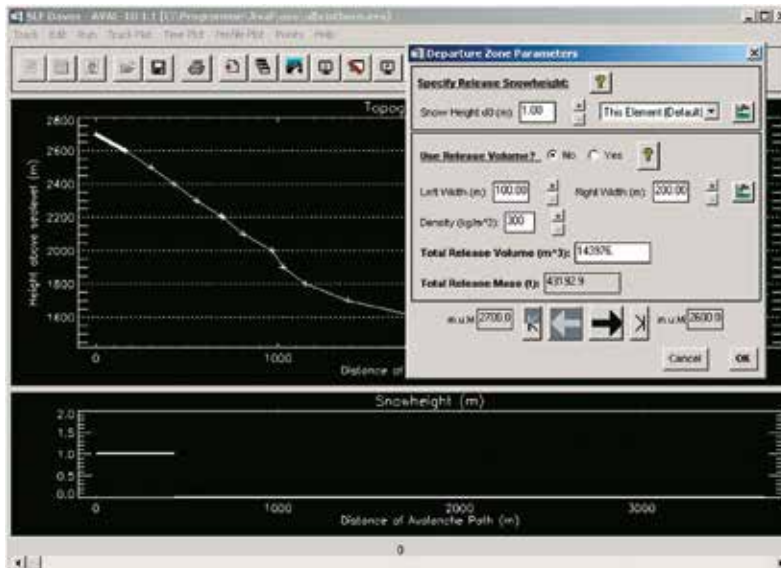


Fig.13

Interfaccia grafica di
AVAL-1D

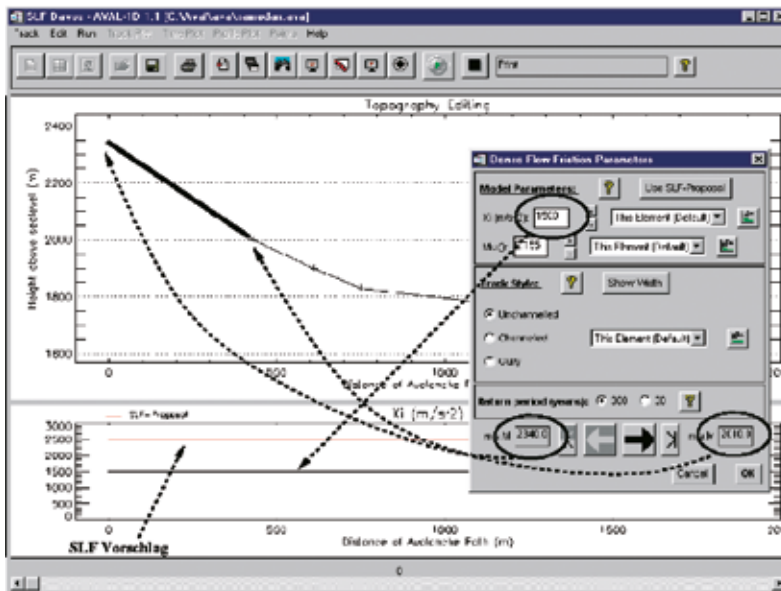


Fig.14

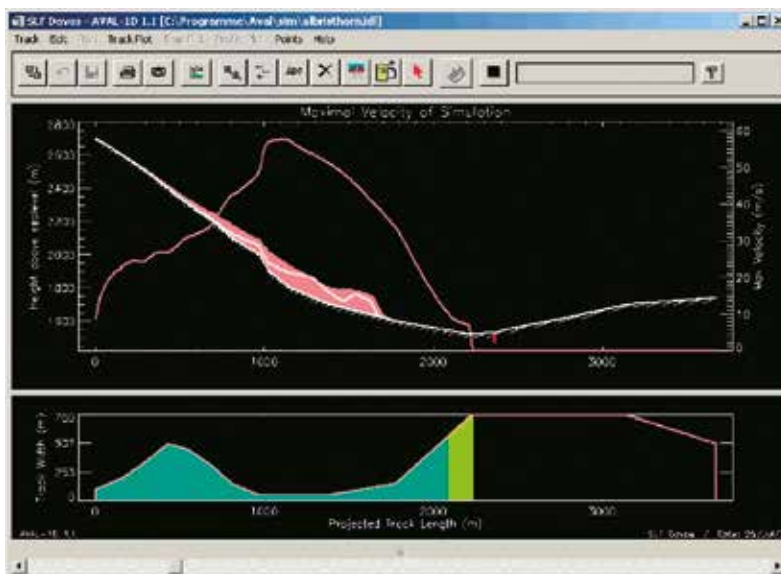


Fig.15

stimato in 1 m. La densità dello strato di neve erodibile è di in 200 kg/m³. L'erosibilità è stata scelta in conformità alle raccomandazioni SLF.

Le figure 9,10 e 11 mostrano i risultati della simulazione. la fig.9 riporta il tipico output del programma. La finestra superiore mostra i tre strati di neve: manto nevoso, sospensione e saltazione. Nella finestra inferiore sono esposte le velocità massime a 2 metri dal suolo ottenute con le simulazioni delle valanghe di 30 e 300 anni.

Comparando le due velocità, simulata e misurata, nelle Fig. 9 e 10, comprendiamo che la valanga del 30 gennaio 1999 dev'essere stata una valanga trentennale, perché i risultati della simulazione per 300 anni sono troppo alti. I risultati trentennali calcolati a livello degli ostacoli e del bunker sono in buona consonanza con quelli misurati. La Fig. 11 mostra le velocità misurate e simulate lungo il percorso della valanga. Al distacco le velocità calcolate sono maggiori di quelle misurate, poi concordano meglio.

Il 25 febbraio 1999 in Vallée de la Sionne fu innescata la più grande valanga polverosa delle serie di prova. Studiando velocità, altezza di sospensione e distanza di arresto, si può chiaramente definire questa valanga come trecentennale. Sugli ostacoli si ebbero velocità sino a 80 m/s, corrispondenti ai risultati delle simulazioni per una valanga di 300 anni (vedi Fig. 10, simulazione per 300).

In generale, con AVAL-1D si ottenne una buona concordanza per quanto riguarda le velocità, mentre devono essere effettuate ulteriori validazioni per le pressioni e lo spessore dell'aerosol.

CONCLUSIONI

AVAL-1D rappresenta il primo tentativo di introdurre nella pratica quotidiana modelli numerici di dinamica delle valanghe. Prevediamo che il programma sarà applicato per risolvere problemi per i quali le procedure di calcolo esistenti sono chiaramente inadeguate, come, ad esempio, per le valanghe polverose. Il nostro obiettivo è fornire ai professionisti delle valanghe uno strumento semplice, stabile e ben calibrato. Il software è orientato all'utente e non è costoso. I profili del percorso di valanga possono essere generati con facilità dalla cartografia, e una vasta gamma di risultati può essere visualizzata graficamente. Non soltanto gli esperti di informatica possono gestire AVAL-1D, ma anche chi ha poca dimestichezza con i computer. In ogni caso, anche se il programma è di facile uso, all'utente si chiede comunque molto: è infatti necessaria una considerevole esperienza nel campo delle valanghe per selezionare correttamente il percorso, le condizioni di partenza e i corretti parametri di flusso.

In futuro nel programma verranno implementati modelli migliorati di dinamica delle valanghe. Al momento siamo all'opera per fondere il modello per neve densa e quello per neve polverosa, come pure per implementare una funzione che tenga in conto, nel modello per valanghe dense, dell'erosione di neve dal manto nevoso presente lungo la zona di scorrimento.



BIBLIOGRAFIA

Bartelt, P., B. Salm e U. Gruber. (1999) Calculating dense-snow avalanche runout using a Voellmy-fluid model with active/passive longitudinal straining. *Journal of Glaciology*, 45, No. 150, 242-254.

Förster, M. (2000) Ausführliche Dokumentation ausgewählter Staublawineneignisse und Bestimmung ihrer Eingangsparameter für die Verifikation von Staublawinenmodellen. *Interner Bericht des Eidgenössischen Institutes für Schnee und Lawinenforschung*, No. 730, Davos, Switzerland.

Gruber, U., P. Bartelt e H. Haefner. (1998) Avalanche hazard mapping using numerical Voellmy-fluid models. In Hestnes, E., ed. *Proceedings of the Anniversary Conference 25 Years of Snow Avalanche Research*, Voss, 12-16 May 1998. Oslo, Norwegian Geotechnical Institute, 117-121. (Publication 203).

Issler, D. (1998) Modelling of snow entrainment and deposition in powder-snow avalanches. *Annals of Glaciology*, 26, 253-258.

Issler, D., P. Gauer e M. Barbolini. (1998) Continuum models of particle entrainment and deposition in snow drift and avalanche dynamics. In Balean, R., editor. *Models of Continuum Mechanics in Analysis and Engineering*. Proceedings of a conference held at the Technische Universität Darmstadt, September 30 to October 2, 1998. Aachen - Maastricht, Technische Universität Darmstadt, Shaker Verlag.

Norem, H. (1995) Shear stresses and boundary layers in snow avalanches. Technical Report 581240-3. Oslo, Norway, Norges Geotekniske Institut.

Salm, B. (1966) Contribution to avalanche dynamics. *International Association of Scientific Hydrology Publication 69 (Symposium at Davos 1965 - Scientific Aspects of Snow and Ice Avalanches)*, 199-214.

Salm, B. (1968) On nonuniform, steady flow of avalanching snow. *International Association of Scientific Hydrology Publication 79 (General Assembly of Bern 1967 - Snow and Ice)*, 19-29.

Salm, B., A. Burkard and H. Gubler. (1990) Berechnung von Fließlawinen, eine Anleitung für Praktiker mit Beispielen. *Mitteilungen des Eidgenössischen Institutes für Schnee und Lawinenforschung*, No. 47, Davos, Switzerland.

Sartoris, G. and P. Bartelt. (2000) Upwinded Finite Difference Schemes for Dense Snow Avalanche Modeling. *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, 32, 799-821

SLF. (1951) Winterbericht 1951. *Winterberichte des Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung*, Nr. 15, Davos.

SLF. (2000) Der Lawinenwinter 1999. Ereignisanalyse. *Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung*, Davos.

Voellmy, A. (1955) Über die Zerstörungskraft von Lawinen. *Schweizerische Bauzeitung*, Jahrg. 73. Heft 12, 159 - 162, 15, 212 - 217, 17, 246 - 249, 19, 280-285.

Esempio di bracci di valanga: evento di Geschinen, 1999 - Svizzera.