

Il calcolo delle valanghe polverose

Dieter Issler

NaDesCoR, Seeweg 27, CH-8852 Altendorf

nadescor@bluewin.ch

I Le valanghe polverose: il fenomeno

II Modelli di calcolo per le valanghe polverose (I):
generalità

III Modelli di calcolo per le valanghe polverose (II):
SL-1D

IV Esempio: la valanga del Brämabüel, Davos

Ringrazio Alessia Errera per numerose correzioni linguistiche.



Valanga polverosa a Napefonn, Norvegia. Immagine con la cortesia di Krister Kristensen, NGI.

Importante considerazione iniziale:

Modelli di calcolo per valanghe polverose sono soltanto un supporto nella valutazione del pericolo di valanghe polverose insieme a molti altri !

Conoscenze di base dei processi fondamentali nelle valanghe polverose sono importanti per

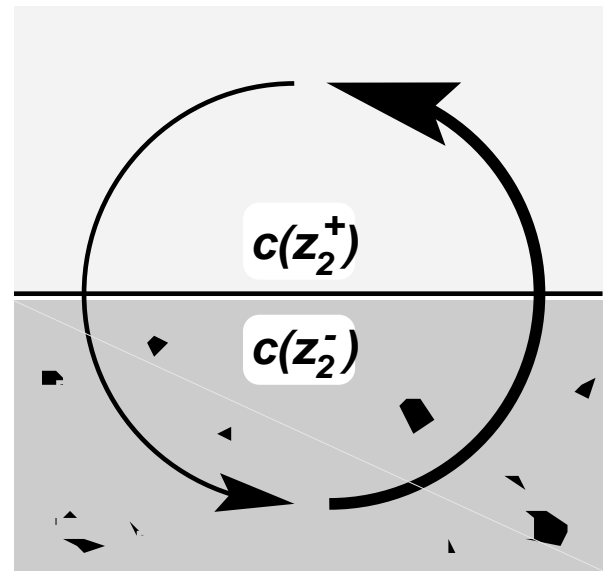
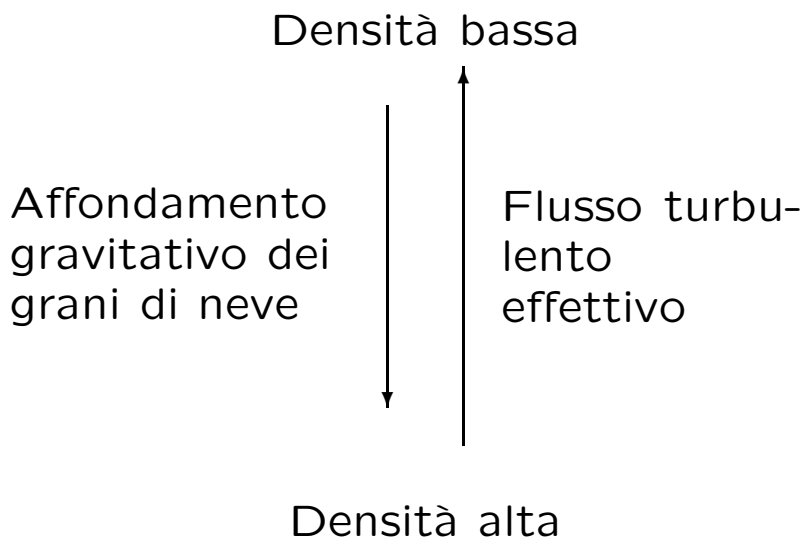
- riconoscere pericoli potenziali non evidenti,
- interpretare eventi valanghivi e il grado di distruzione,
- valutare criticamente i risultati di simulazioni numeriche.

Parametri caratteristici di valanghe dense e polverose

	Valanghe dense	Val. polverose
Particelle in superficie	10 cm ... 2 m	0.1 ... 1 mm
Particelle in profondità	1 mm ... 10 cm	1 mm ... 1 m
Densità in alto	200 ... 500 kg m ⁻³	1 ... 10 kg m ⁻³
Densità al fondo	100 ... 500 kg m ⁻³	10 ... 50 kg m ⁻³
Collisioni tra particelle	predominanti	nello strato fluidizzato
Interazione tra neve e aria	trascurabile (?)	predominante
Massa in moto	10 ¹ ... 10 ⁶ t	10 ³ ... 10 ⁵ t
Profondità strato	0.5 ... 5 m	10 ... 200 m
sup. inf.		0.5 ... 3 m
Percorso	0.03 ... 3 km	1 ... 5 km
Risalita	fino a 50 m	fino a 500 m
Velocità	10 ... 50 m/s	20 ... 100 m/s
Durata	10 ... 1'000 s	50 ... 300 s
Pressione media	fino a 500 kPa	fino a 50 kPa
Pressione di punto	fino a 2'000 kPa	fino a 500 kPa

Il ruolo della turbolenza nelle valanghe polverose

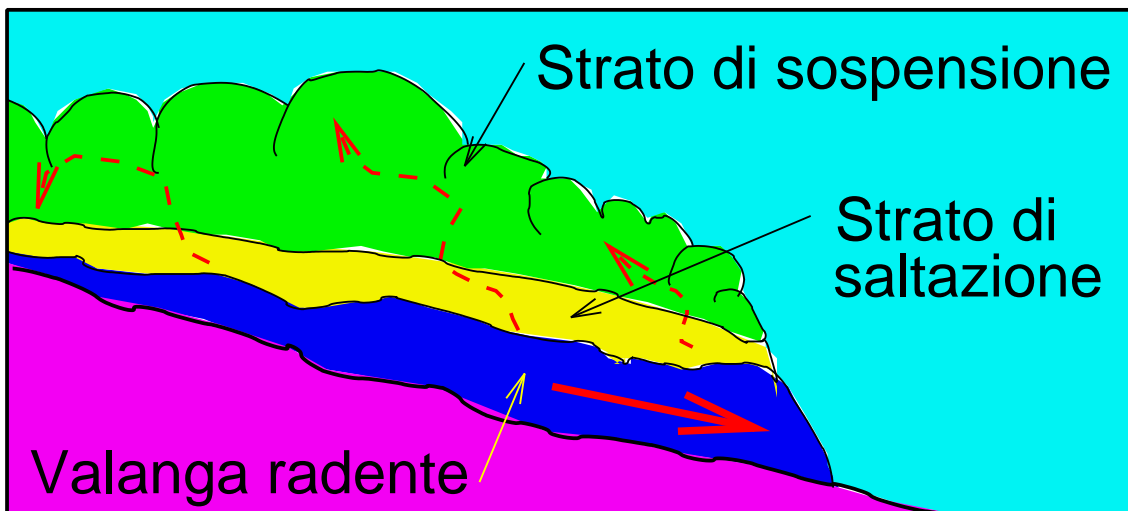
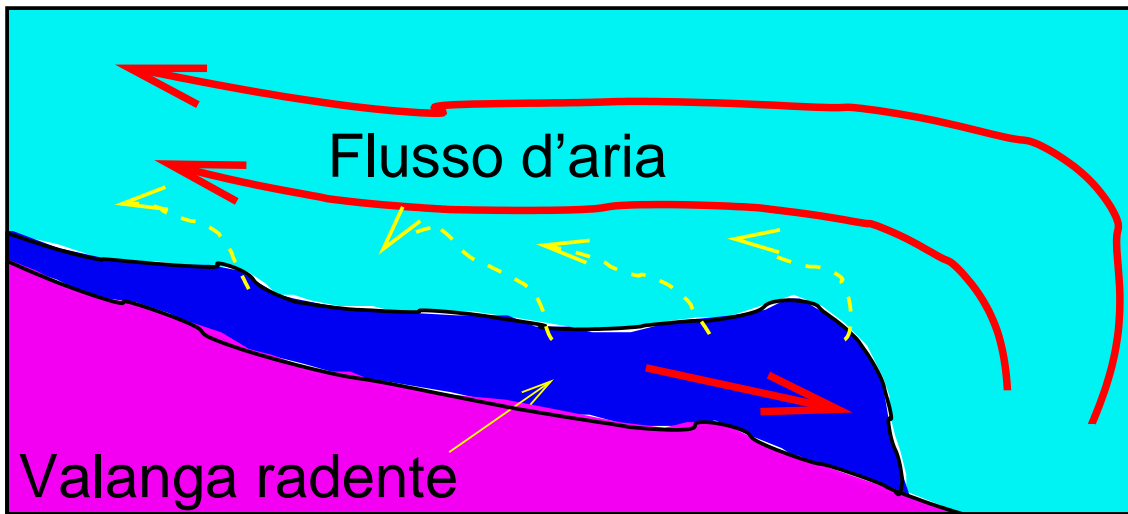
Piccoli grani di neve (0.1...1 mm) sono portati in sospensione nell'aria al di sopra della parte radente della valanga.



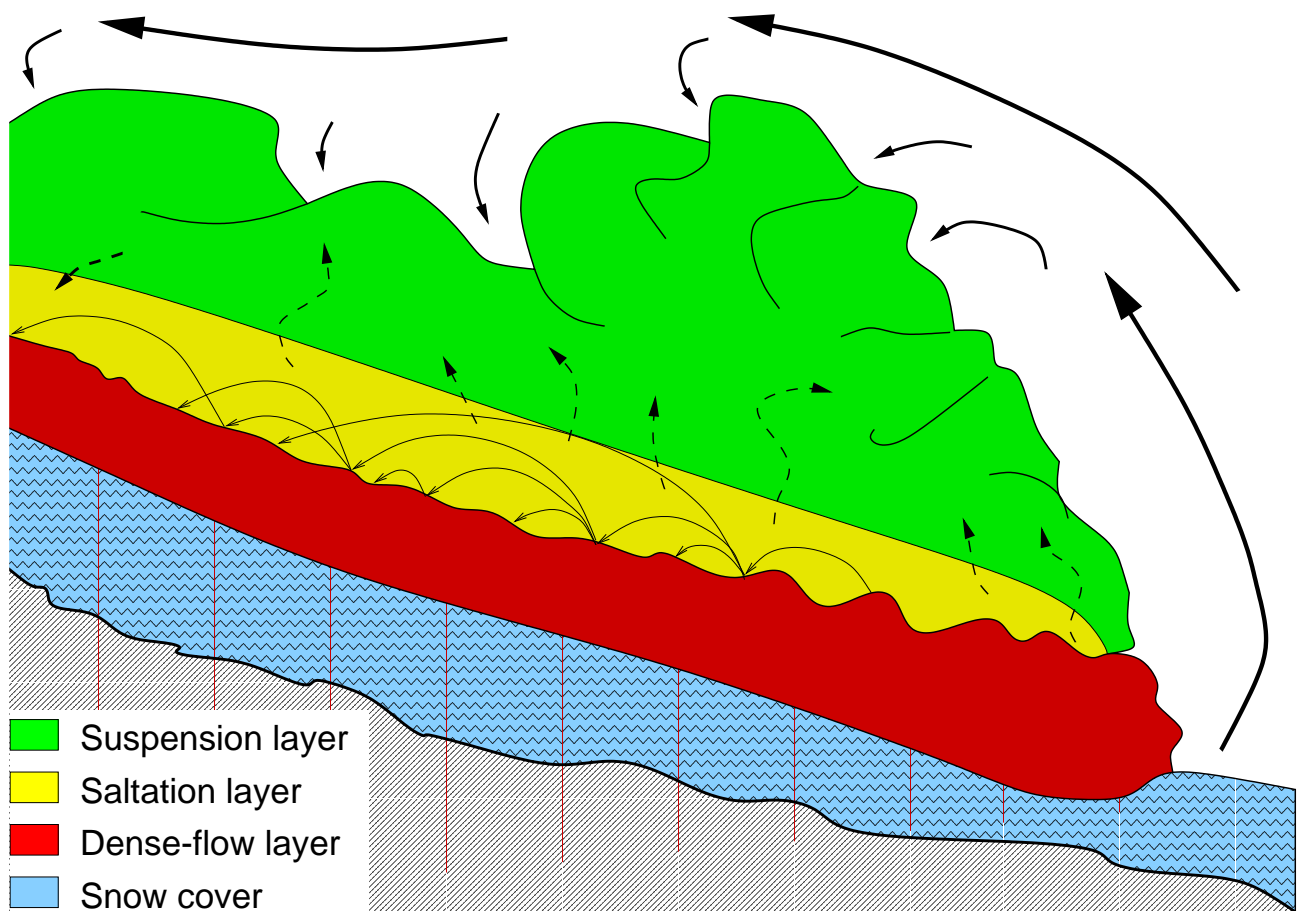
⇒ La diffusione turbolenta è possibile soltanto se la densità diminuisce verso l'alto!

Il movimento della valanga produce turbolenza, il sollevamento di particelle e la viscosità la distruggono.

La formazione delle valanghe polverose



Struttura di una valanga mista (radente e polverosa)



- Ingestione di aria tramite mescolamento alla superficie della parte polverosa.
- Ci sono forze di interazione tra gli strati e ha luogo uno scambio di massa.
- La fronte della parte polverosa può ingerire neve direttamente dal manto nevoso.

Che cosa avviene nello strato fluidizzato (strato di saltazione)?

- Particelle di tutte le grandezze, alta densità
- Fase iniziale: L'aria rallenta particelle saltellanti.
Fase matura: Lo strato di sospensione trascina lo strato di saltazione.
- Durata dei salti $\mathcal{O}(0.1 \dots 1 \text{ s})$
- Perdita di quantità di moto all'impatto col manto nevoso
 \Rightarrow attrito al fondo proporzionale alla massa saltellante
- Con energia di impatto sufficiente, vengono staccate nuove particelle.

Conseguenze::

- ▷ Bombardamento ad alta pressione di punta (fino a 1'000 kPa, durata di 1–10 ms) su aree piccole.
- ▷ Meccanismo credibile per la ripresa di neve in valanghe polverose.

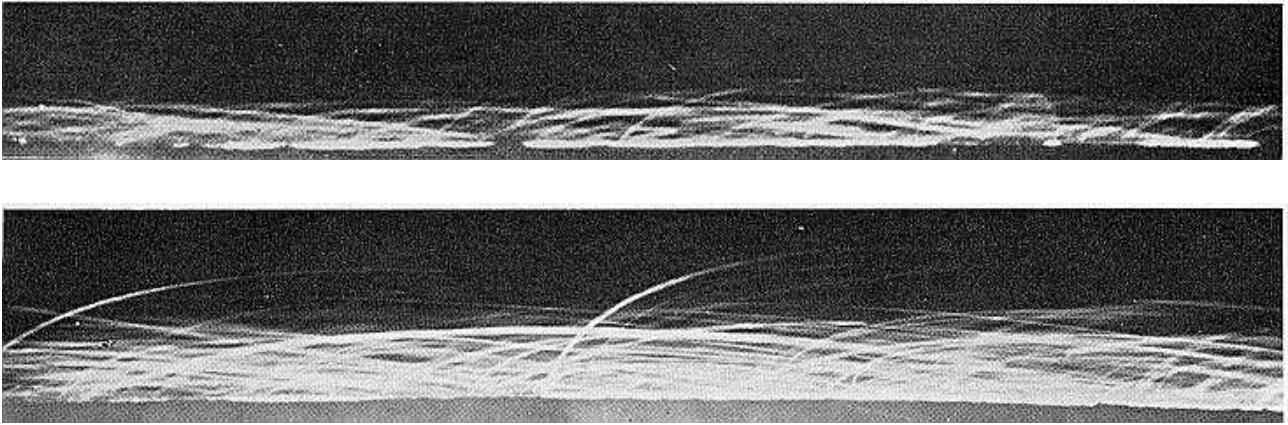


Foto D. Kobayashi, Sapporo, Giappone, 1972

Trasporto di neve da vento: traiettorie di saltazione

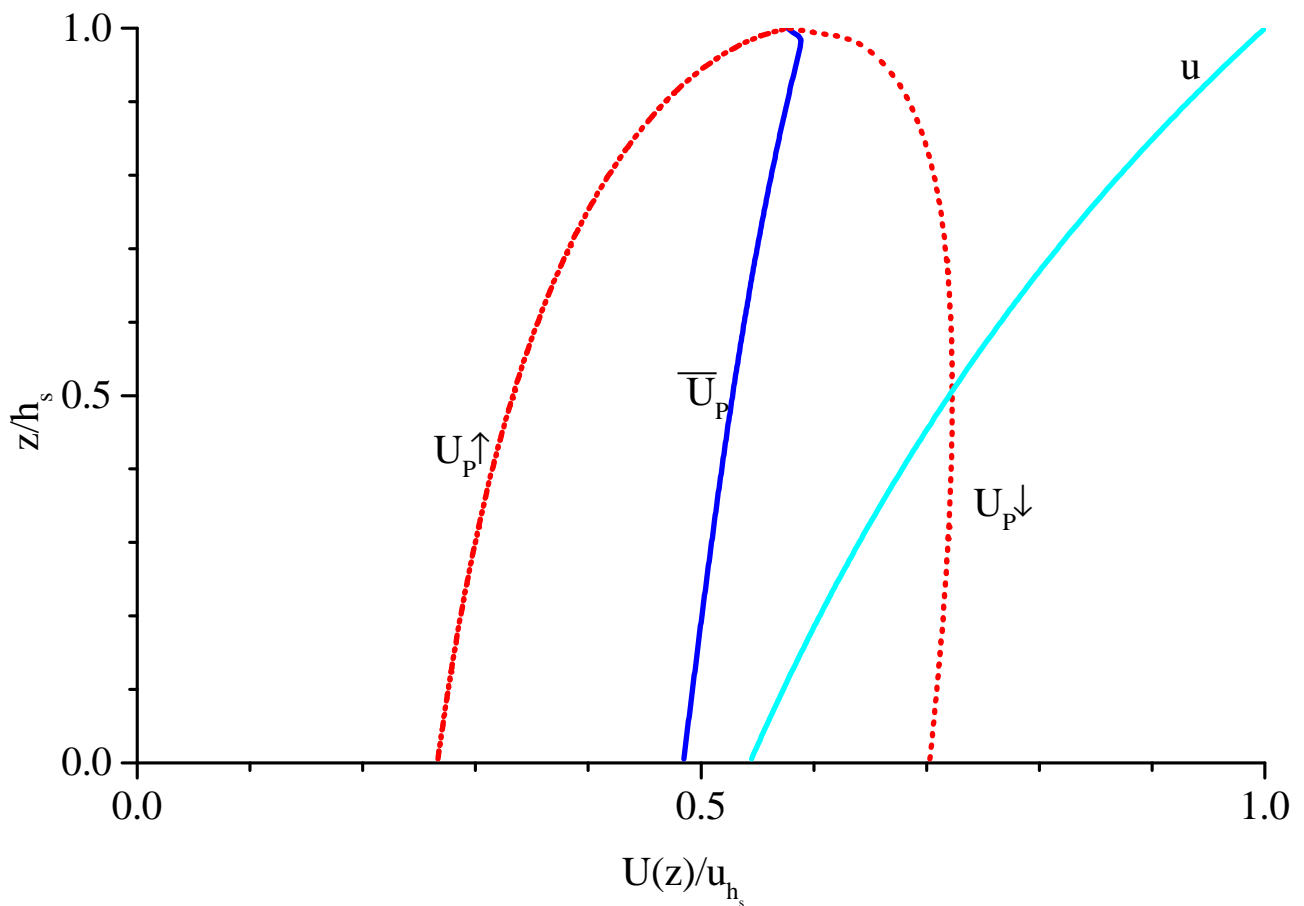


Grafico di Peter Gauer (SLF/SNV)

Trasporto di neve da vento: profilo simulato della velocità delle particelle

Valanga mista dal Vilan (Wurzeneina, Seewis GR),
ca. 11/01/1995.

Valanga fortemente canalizzata nella parte inferiore.
In corrispondenza di una curva improvvisa del trac-
ciato, la parte polverosa continua il suo percorso ret-
tilineo risalendo la parete del canale (ca. 10–20 m).



Foto Mark Schaer, SLF/SNV.

Profilo dei depositi *fuori* del canale:

- Alla base ca. 10 cm di neve vecchia.
- La neve fresca (ca. 1 m) è completamente sparita qui (resti rimangono in altre parti).
- Deposito pieno di “traccianti”, profondo ca. 0.5 m, a densità elevata.
- Deposito di palle di neve con diametri fino ai 40 cm che poggiano alla superficie del manto nevoso. Presenza di palle più piccole all’interno del deposito.

Tracce di valanghe polverose nel terreno

Effetti di valanghe polverose sono spesso attribuiti alle valanghe radenti. Alcune tracce tipiche di valanghe polverose sono:

- Effetti estensivi, p. es. alberi “pettinati”;
- Palle di neve disperse sulla superficie del deposito;
- Depositi duri (fino a 600 kg m^{-3} !) e talvolta profondi (fino a parecchi metri), soprattutto in conche e in cambiamenti rapidi di pendenza, ma senza ammassi chiaramente confinati;
- Cime di alberi e rami rotti;
- Depositi di neve o neve compattata sui tronchi degli alberi sul versante opposto.

N. B. Sotto condizioni topografiche o nivali speciali è possibile la formazione di valanghe polverose quasi pure.

Ripresa di neve e bilancio di massa

Osservazioni in terreno e simulazioni numeriche indicano che

La ripresa di neve lungo il percorso
è una condizione necessaria per
grandi valanghe polverose !

Fase iniziale: La parte polverosa “cavalca” la parte radente da “parassita” .

Fase finale: La parte polverosa precede la parte radente e erode il manto nevoso.

Meccanismi di erosione probabili:

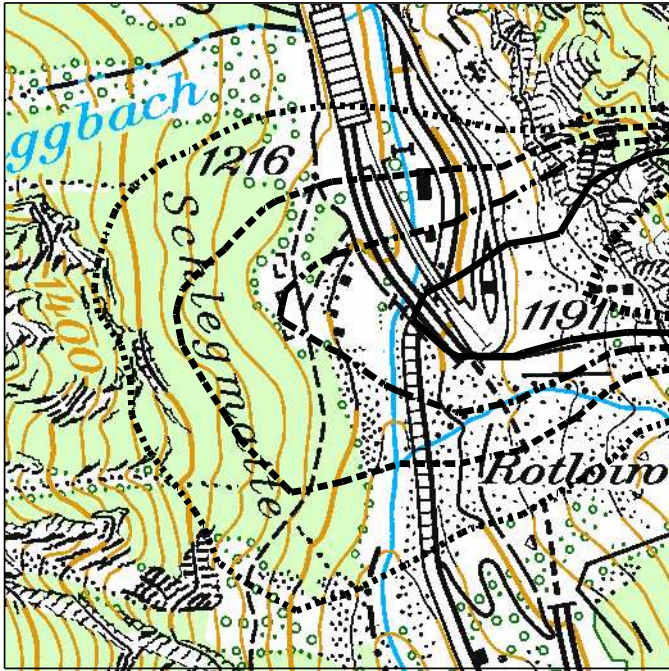
1. **Forze aerodinamiche strappano particelle di neve.**
2. **“Reazione a catena”**: Gli impatti di particelle di neve staccano altre particelle.

Profondità di erosione: fino a 2 m.

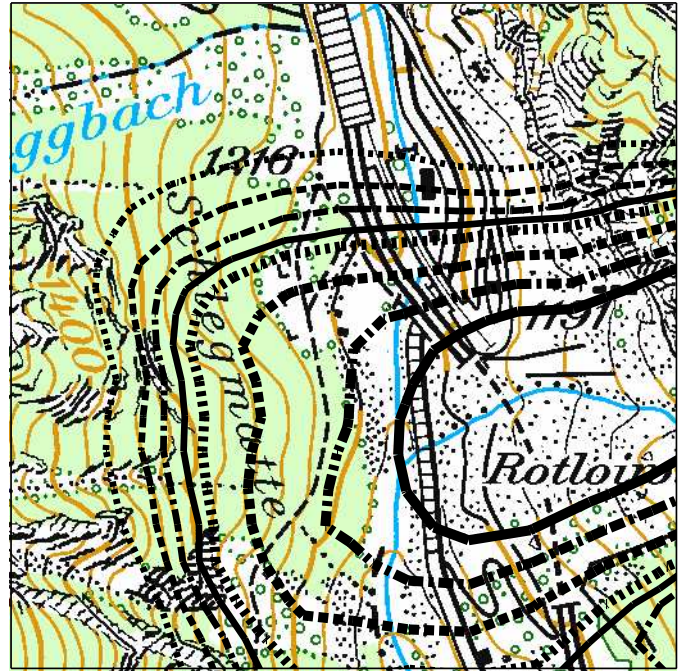
Tasso di erosione: può superare $50 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Valanghe: dinamica, zonazione di pericolo e sistemi di difesa

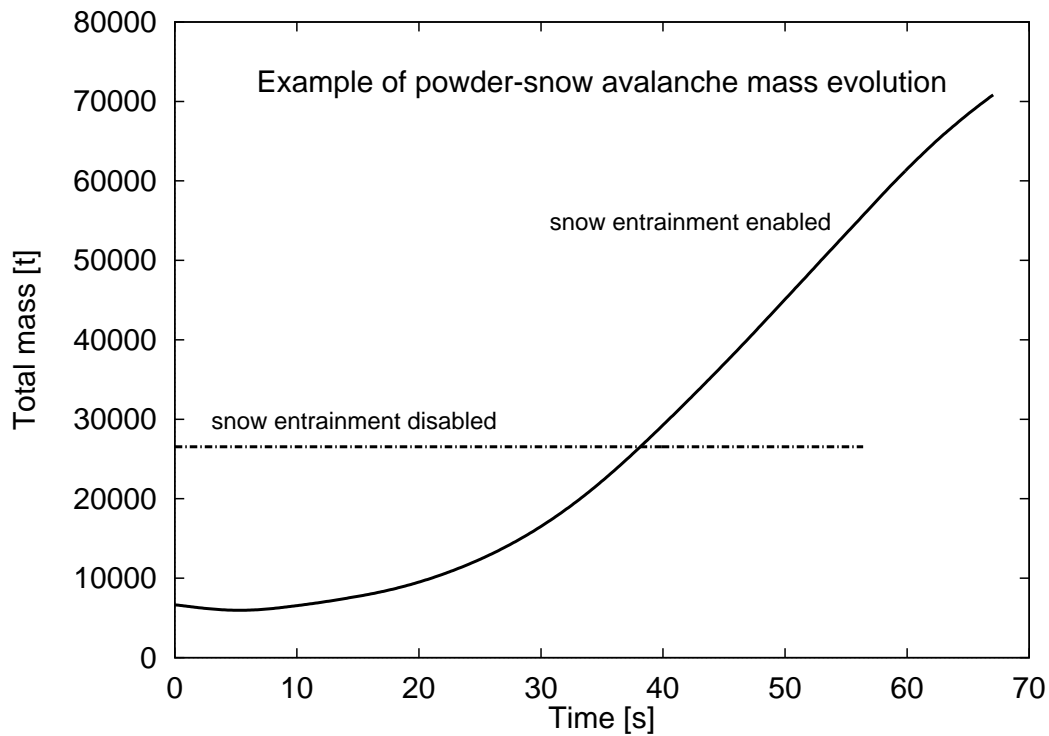
Importanza della ripresa di neve in pratica



Pressione dinamica senza ripresa (0.5... 2.5 kPa)



Pressione dinamica con ripresa (1... 8 kPa)



Conseguenze per la mappatura

- In mappe esistenti, verificare se è stato tenuto conto delle valanghe polverose.
- Pressioni considerevoli superiormente e su grandi superfici \Rightarrow importanti momenti torcenti!
- Strato fluidizzato è pericoloso per persone non protette se $p > 0.5\text{--}1$ kPa !
- Treni, camion in pericolo di rovesciamento già a partire da 2–3 kPa
- Alte velocità delle valanghe polverose permettono solo un breve tempo per avvisare le popolazioni o il traffico tramite sistemi di allarme (tipicamente < 1 min.).

Su quali condizioni si producono le valanghe polverose ?

- Siti abbastanza lunghi e ripidi con grande probabilità di ripresa di neve
⇒ **dislivello > 500 m**
- Zone di distacco e di scorrimento non troppo strette
⇒ **larghezza > 100 m**
- Clima con **nevicata asciutte e fredde**
- **Precipizi** sono favorevoli alla formazione di valanghe polverose (ma non sono necessari).
- **In molti casi, la parte polverosa diventa importante soltanto se queste condizioni minime sono chiaramente oltrepassate !**

Attenzione:

Sono noti casi in cui la valanga polverosa arriva in valle solo sotto condizioni estreme, ma con forza enorme!

Trattamento pratico delle valanghe polverose

Situazione in Svizzera: la mappatura delle valanghe è decentralizzata.

Piano originale (1999): procedura a due livelli

1. Direttive per il trattamento delle valanghe polverose e modello semplice corrispondente (SL-1D) per gli ingegneri
⇒ adeguato per 50–80 % dei casi
(se la variabilità della larghezza non è importante e se non c'è bisogno di informazioni dettagliate sulla variazione verticale delle pressioni).
2. Programma di calcolo avanzato SL-3D per topografie complicate e per problemi speciali.
Disponibile soltanto presso il SNV.

Base per lo sviluppo dei modelli:

- Sperimenti in laboratorio in collaborazione con VAW–ETHZ (fino al 1995)
- Misure alla Vallée de la Sionne (dal 1999)
- Valanghe polverose ben documentate
- SL-3D basato su un programma CFD commerciale (CFX-4)
- SL-1D sviluppato al SNV.

Situazione attuale (dal 2000):

1. SL-1D disponibile, ma non sviluppato oltre.
2. Modello 1D per valanghe miste sotto sviluppo presso il SNV.
3. SL-3D non più utilizzato dal SNV (?)
4. Programmi 3D di valanghe miste sono sviluppati e utilizzati in Francia (Cemagref, Grenoble) e Austria (WLV, Innsbruck e AVL List GmbH, Graz).

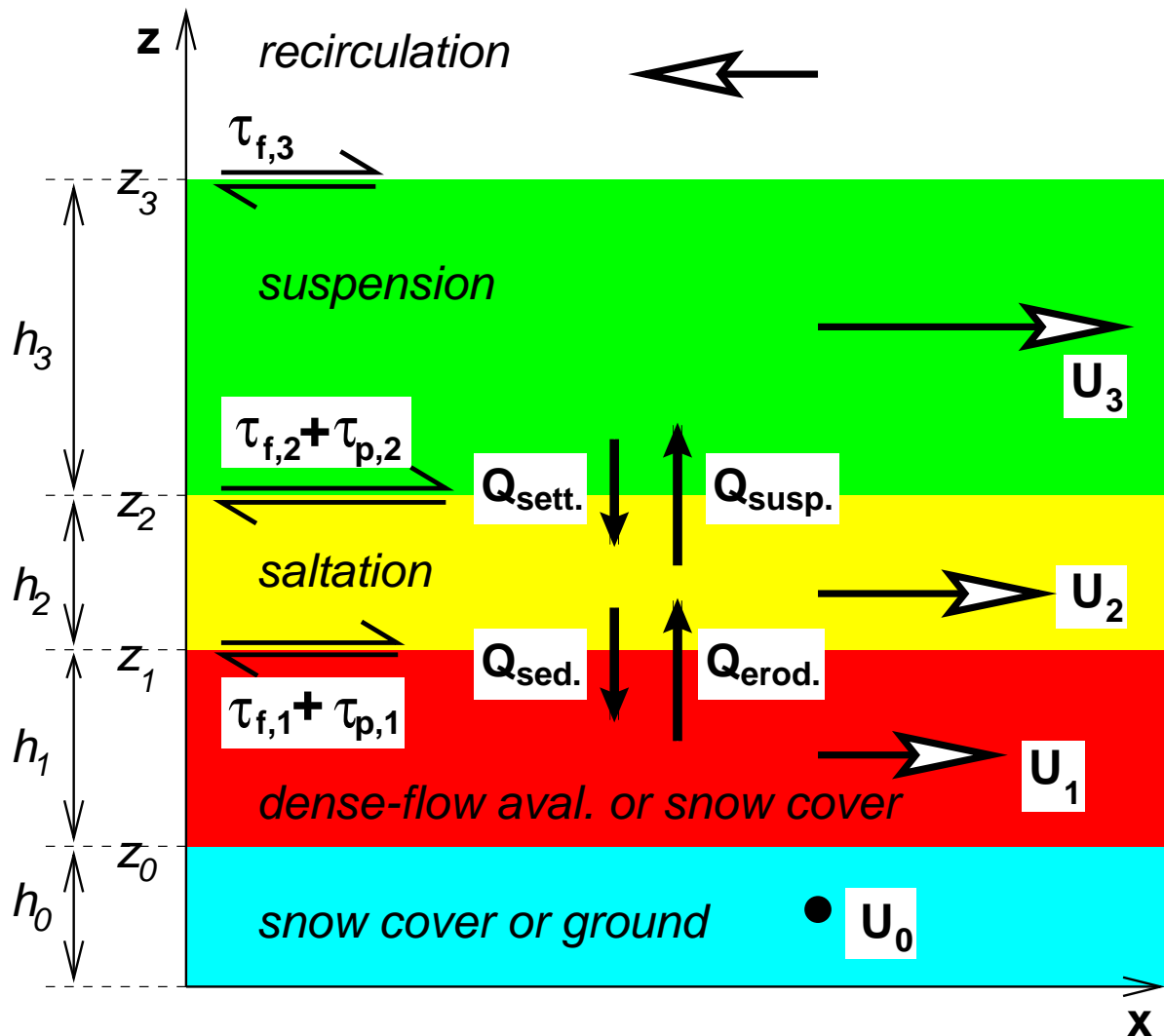
Qualità richieste da SL-1D

- basato su una descrizione fisica del fenomeno
- metodo semplice per determinare le condizioni iniziali
- deve fornire profili verticali di pressione ecc. lungo il percorso
- uso semplice e rapido su PC

Elementi di SL-1D, approssimazioni principali:

1. 2 strati: fluidizzato (saltazione) e sospensione.
2. Modello di ripresa di neve basato sulla meccanica degli impatti.
3. Finora si trascura l'espandimento laterale.
4. Modello di tipo idraulico, cioè si calcolano le medie verticali della velocità, densità e pressione, utilizzando profili misurati in laboratorio.

Schema dei flussi di massa e di quantità di moto



τ_f : sforzo di taglio aerodinamico

τ_p : sforzo di taglio dovuto allo scambio di particelle

$U_{0,1,2,3}$: velocità medie degli strati

$\rho_{0,1,2,3}$: densità medie degli strati

Valanghe: dinamica, zonazione di pericolo e sistemi di difesa

Quali equazioni ci sono in SL-1D ?

Equazioni analoghi a FL-1D:

- Evoluzione temporale dell'altezza dello strato di sospensione (dal bilancio di massa per la neve e l'aria)
- 1 bilancio della quantità di moto per ciascuno strato

Equazioni supplementari:

- Altezza di saltazione $h_2 \propto U_2$ (equazione algebrica)
- Bilanci di massa per la neve fluidizzata e sospesa
- (Equazioni per la produzione, il trasporto e la dissipazione dell'energia turbolenta non implementate finora)

Le equazioni sono connesse da termini di scambio (flussi di massa e forze di interazione tra gli strati).

Soltanto per gli intrepidi . . .

. . . alcune equazioni (semplificate) di SL-1D

$M_1 = h_1 \rho_1$ ecc.: massa per unità d'area negli strati 1, 2, 3

$J_2 = M_2 U_2$ etc.: flusso di massa ossia momento cinetico per area

w_{sink} : velocità di affondamento delle particelle di neve

g : accelerazione gravitativa (g' : con forza ascensionale)

K : energia turbolenta nello strato di sospensione

$\tau_{1,2,3}^{(f)}$: attrito aerodinamico per area alle interfacce tra gli strati a $z_{1,2,3}$

$\pi_u(z/h), \pi_k(z/h), \dots$: profili verticali delle variabili U, K etc.

$$\partial_t M_1 = Q_{sed} - Q_{erod}$$

$$\partial_t M_2 + \partial_s J_2 = -Q_{sed} + Q_{erod} - Q_{susp} + Q_{sink}$$

$$\partial_t M_3 + \partial_s J_3 = Q_{air} + Q_{susp} - Q_{sink}$$

$$h_2 \approx \beta_0 U_2 t_p \quad \text{dove} \quad \beta_0 \approx 0.2, \quad t_p \approx 0.5 \text{ s}$$

$$\partial_t h_3 + \partial_s (h_3 U_3) \approx -w_{sink} \cos \psi + \sqrt{\frac{K \pi_k(1)}{3M_3}}$$

$$\begin{aligned} \partial_t J_2 + \partial_s (J_2 U_2 + P_2) \\ = M_2 g' \sin \psi + U_2 (\beta_1 Q_{erod} - \beta_2 Q_{sed} - \beta_3 Q_{susp}) \\ + U_3 \pi_u(0) Q_{sink} + \tau_2^{(f)} - \tau_1^{(f)} + [p_2 \partial_s z]_{z_1}^{z_2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \partial_t J_3 + \partial_s (J_3 U_3 + P_3) \\ = M_3 g' \sin \psi + U_3 \pi_u(1) Q_{air} + U_2 \beta_3 Q_{susp} \\ - U_3 \pi_u(0) Q_{sink} + \tau_3^{(f)} - \tau_2^{(f)} + [p_3 \partial_s z]_{z_2}^{z_3} \end{aligned}$$

Selezione della traiettoria

La traiettoria deve essere scelta a priori nei modelli 1D!

traiettoria VP \neq traiettoria VR!

Alcune regole:

- Nella fase iniziale (fino a ca. 0.5–1 km) come per la VR.
- Piccoli ostacoli non deviano le valanghe polverose.
- 1^a approssimazione: linea della discesa più ripida.
- Raggio di curvatura $\geq \frac{\rho_{VP} U^2}{(\rho_{VP} - \rho_{aria}) g \sin \psi}$
- Stimare l'espandimento laterale.

Situazione critica: canale con volta acuta

⇒ o simulazione 3D

⇒ o fare calcoli con le due traiettorie (e con massa iniziale ridotta)

Determinazione della massa iniziale della VP:

(Procedura artificiale ma necessaria perché la formazione della VP dalla VR non è modellizzata in SL-1D.)

1. Valutare la profondità di distacco d_0 della VR secondo le direttive per VR.
2. Valutare la densità della neve in zona di distacco:

Regione climatica	Altitudine	
	≤ 2200 m	> 2200 m
Vallese, Engadina	120–200 kg/m ³	100–170 kg/m ³
Nord delle Alpi	140–230 kg/m ³	120–200 kg/m ³
Sud delle Alpi	160–250 kg/m ³	140–220 kg/m ³

3. Valutare la quota di massa della VP s :

Regione climatica	Altitudine		
	< 2000 m	2000–3000 m	> 3000 m
Vallese, Engadina	0.10	0.12	0.14
Nord delle Alpi	0.08	0.10	0.12
Sud delle Alpi	0.06	0.08	0.10

4. Scegliere altezza e densità di saltazione:

$$h_2 \cdot \rho_2 = \rho_1 \cdot d_0 \cdot s$$

Nota importante:

I valori dei parametri iniziali dati alla pagina precedente sono quelli indicati nelle direttive preliminari del 1999!

Sulla base delle esperienze ottenute nel frattempo, è risultato chiaro che soprattutto i valori di s devono essere scelti molto più grandi. Però, poiché non ci sono ancora direttive adattate, sono stati elencati qui i valori in corrispondenza alle direttive preliminari.

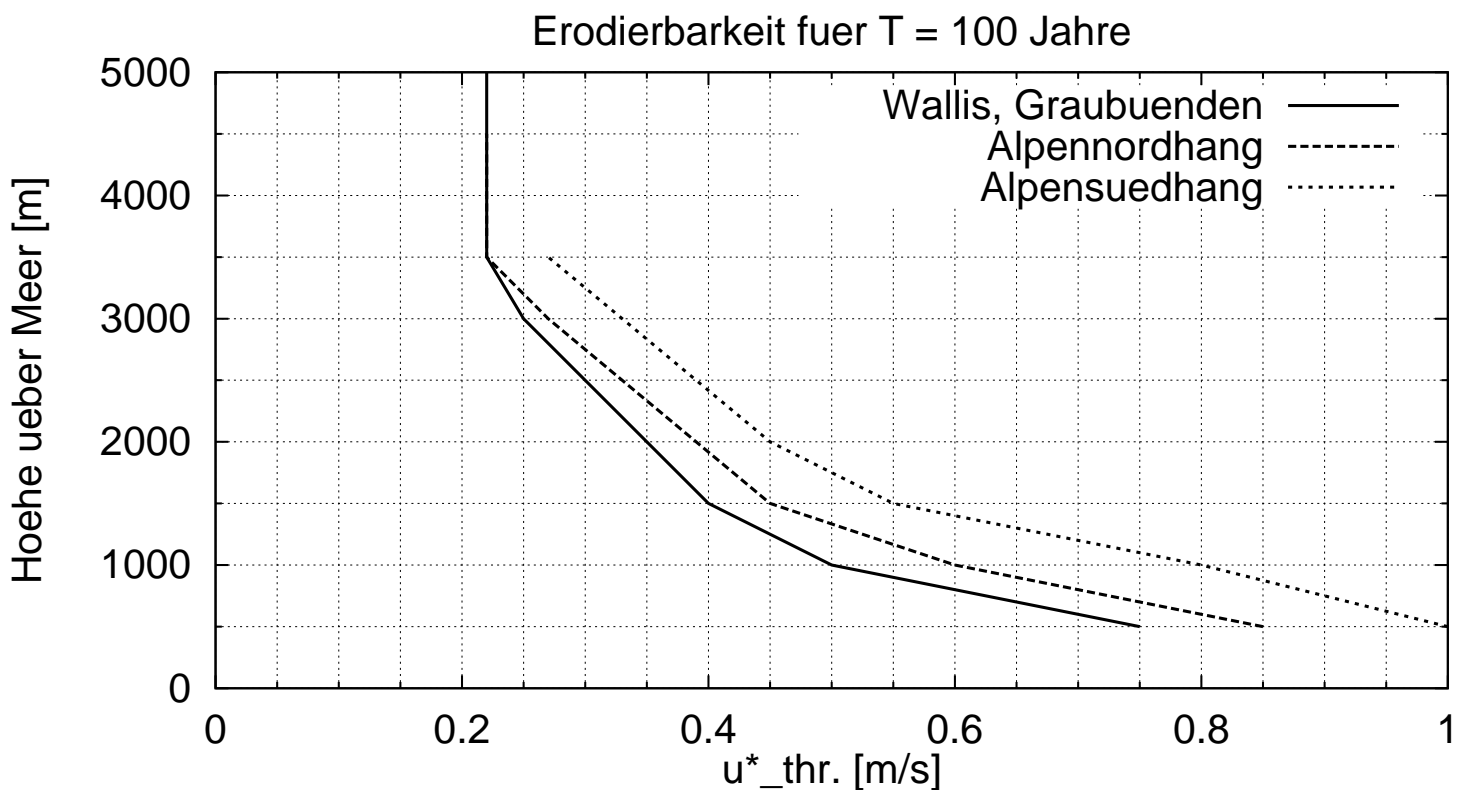
Questo punto sarà discusso nel corso e saranno date indicazioni dei valori utilizzati dall'autore in varie perizie.

Erodibilità della neve

Dipende da:

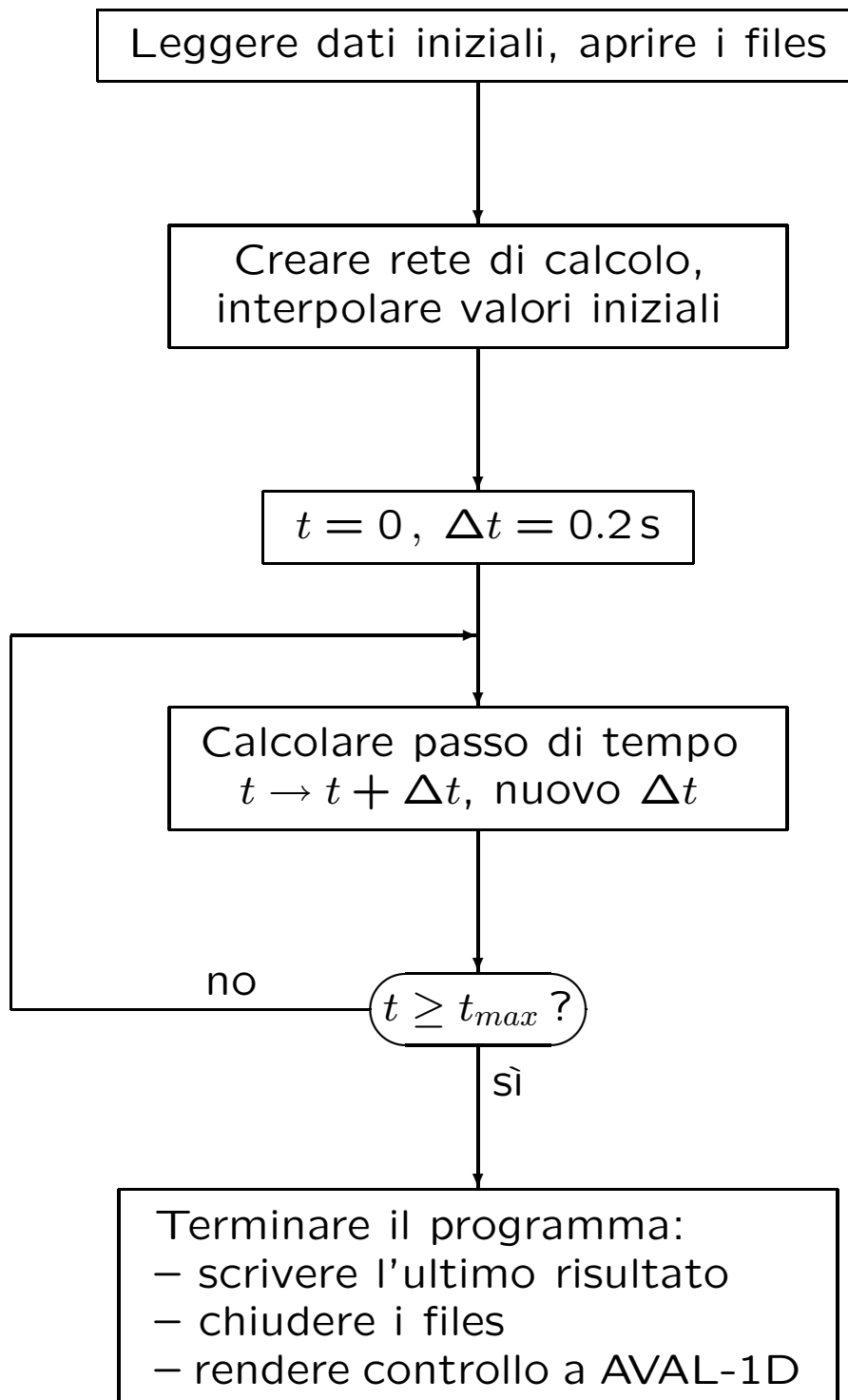
- zona climatica (clima marittimo, di transizione, continentale)
- altitudine (tramite temperatura durante le nevicate)
- tempo di ritorno (forti cadute di neve a temperature basse sono rare)

Valori provvisori dalle direttive per VP, p. es.



Valanghe: dinamica, zonazione di pericolo e sistemi di difesa

Struttura del programma SL-1D



La valanga del Brämabüel, Davos: Dati iniziali per $T = 300$ anni

1. Altitudine zona di distacco: 2'060–2'260 m s.l.m.

Davos: $\Delta HS_3 = 165$ cm a 2'000 m s.l.m.

12 cm correzione altitudine

18 cm correzione vento

$$\underline{d_0} = 195 \text{ cm} \cdot \cos 28^\circ \cdot f(36^\circ) = \underline{135 \text{ cm}}$$

2. Densità in zona di distacco ca. 170 kg m^{-3}

$$\Rightarrow \underline{m_0} = 135 \text{ cm} \cdot 170 \text{ kg m}^{-3} \cdot 0.12 = \underline{27.5 \text{ kg m}^{-2}}$$

Scegliamo p. es. $h_2 = 0.5 \text{ m}$, $\rho_2 = 55 \text{ kg m}^{-3}$

3. Neve erodibile:

– correzione negativa ad altitudini più basse

– effetti di neve soffiata sono trascurabili

$\Rightarrow h_1 = 100 \dots 145 \text{ cm}$, valori massimi in valle

Riduzione di un fattore 2...3 nella parte canalizzata.

4. Erodibilità u_{thr}^* secondo direttive per VP.

Vantaggi e svantaggi di SL-1D

- + Programma effettivo e rapido, non troppo diverso da FL-1D dal punto di vista dell'utente.
- + Utilizzato con buoni risultati in situazioni pratiche molto diverse.
- Manca l'accoppiamento a un modello di VR.
- Espandimento laterale trascurato.
- Il fronte si muove troppo rapidamente, deposizione ed effetti di curvatura troppo deboli.
- Talvolta problemi di stabilità numerica nelle risalite sul versante opposto.
- Incertezze importanti nella scelta dei valori iniziali.
- Manca ancora la validazione sistematica (in parte per mancanza di dati sicuri).

Nell'attesa di un modello più complessivo, certi miglioramenti potrebbero essere effettuati:

- ⇒ Includere gli effetti dell'espansione laterale su versanti aperti o dello stringimento in passaggi canalizzati.
- ⇒ Includere le forze aerodinamiche provocate dall'aria spostata.
- ⇒ Applicare metodi numerici più precisi.
- ⇒ Iniziare un progetto di validazione sistematica, utilizzando le misure in Vallée de la Sionne e buone osservazioni storiche.
- ⇒ Nuova edizione delle direttive per il calcolo delle VP con valori più realistici di s e curve modificate per $u_{thr.}$.
- ⇒

Osservazioni e proposte dalla parte degli utenti?
