

Colate detritiche: zonizzazione



Identification of three main zones of debris flow phenomena (Boccali, 2017)

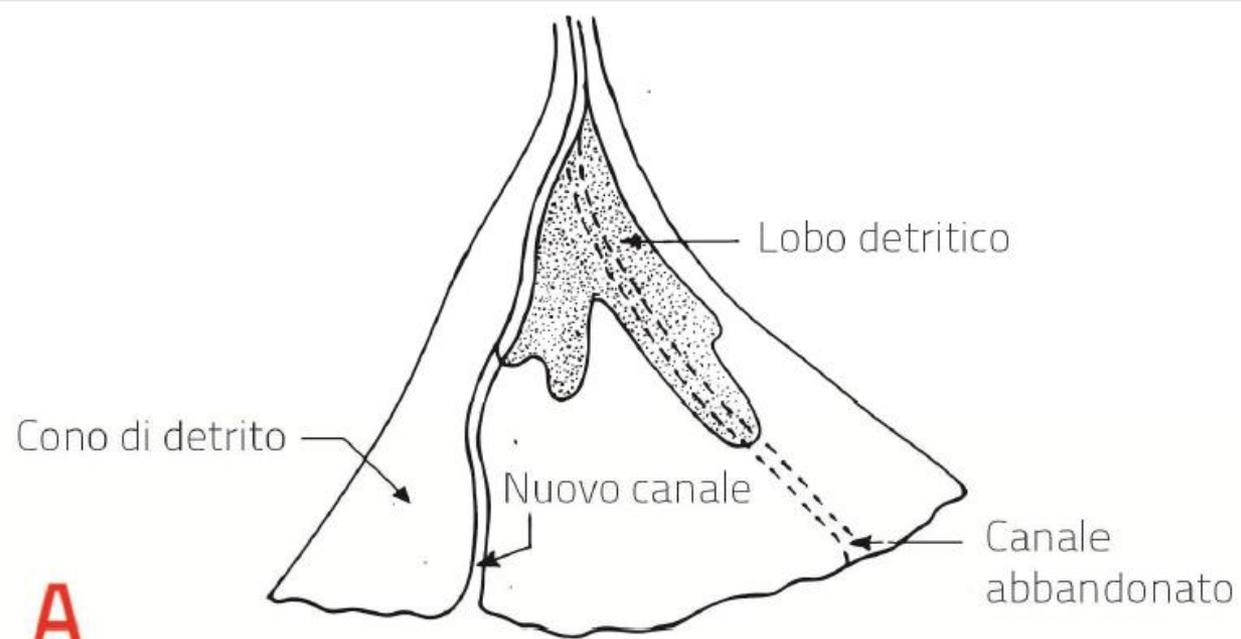
Colate detritiche: arginature

ZONA O CANALE DI TRASPORTO

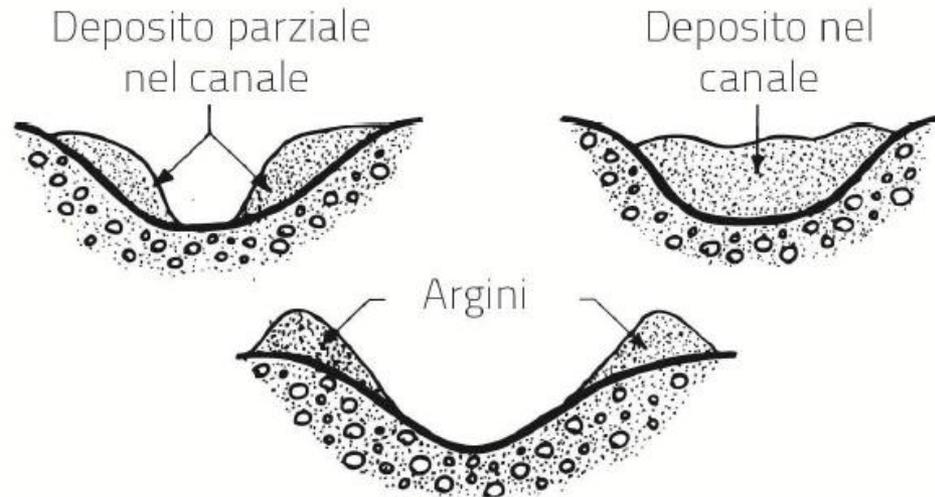
Il debordamento laterale del fronte di una colata può causare la formazione di **depositi laterali sotto forma di argini**.

Tali depositi sono spesso caratterizzati dalla presenza di clasti di maggiori dimensioni nella parte superiore. Le colate a matrice fangosa danno luogo ad argini laterali con sommità arrotondata e ricchi di materiale fine. Nella fase di esaurimento della colata tali argini a prevalente componente fine possono essere parzialmente erosi, con la conseguente formazione di terrazzi.

Gli argini, creati da colate detritiche granulari, presentano invece abbondante presenza di materiale grossolano, ciottoli e massi a diretto contatto tra loro.



A



B

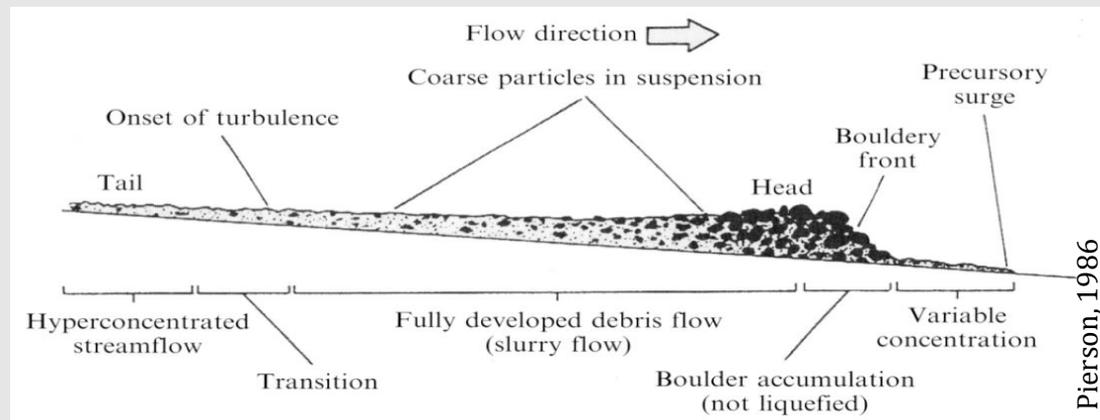
Colate detritiche: zona di deposito

ZONA DI DEPOSITO

I depositi da colata detritica hanno generalmente forma lobata e sono composti da detrito a granulometria fortemente eterogenea. Si osservano solitamente sui conoidi alluvionali, ma possono presentarsi sotto forma di lobi laterali ai lati del canale di scorrimento. A secondo della litologia del bacino possono contenere massi di dimensioni diverse.

Le colate a matrice fangosa generano lobi di forma ben definita, caratterizzati da una terminazione frontale molto brusca e sono, ovviamente, ricchi di materiale fine.

Le colate granulari mostrano depositi con forma meno regolare; il lobo frontale è composto da grossi blocchi a matrice prevalentemente sabbiosa.



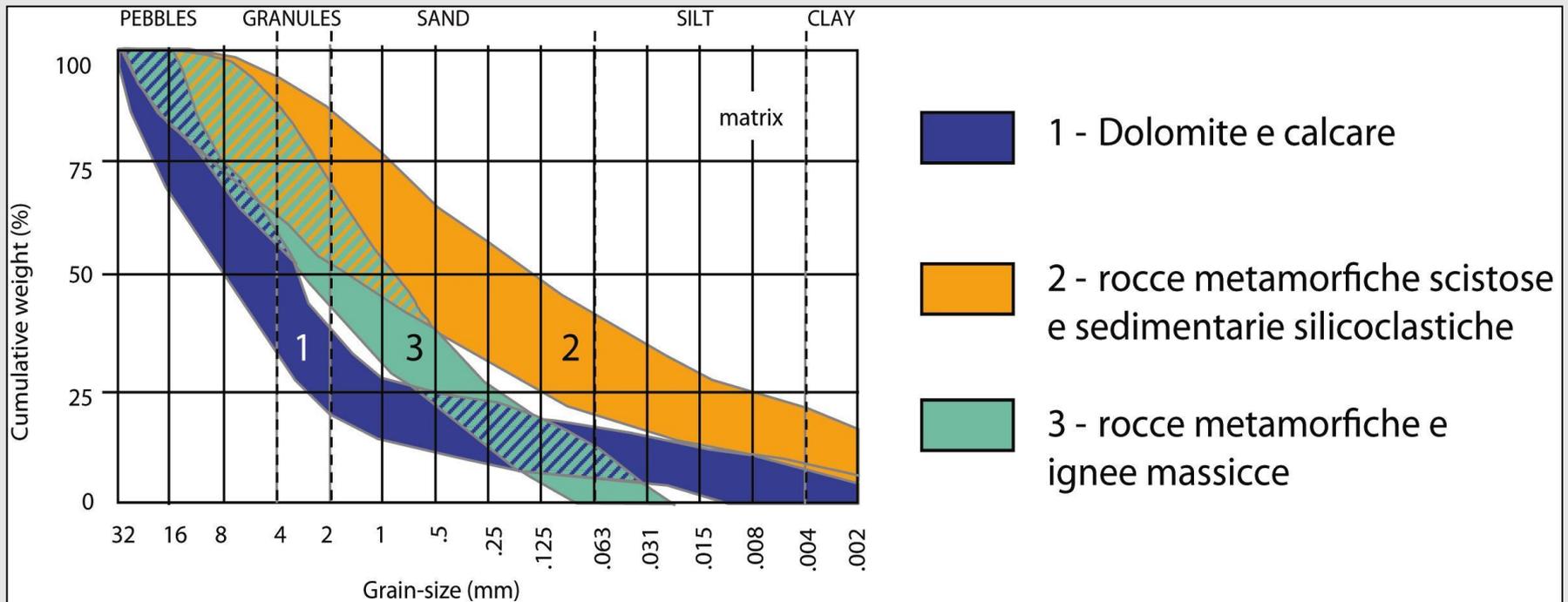
Caratteristiche granulometriche dei depositi

In quanto flussi prevalentemente laminari, i depositi da debris flow sono caratterizzati da una base netta ma difficilmente erosiva, e dall'assenza di strutture sedimentarie. Sono mal classati e disposti senza un riconoscibile e comune orientamento; il materiale che li costituisce è angoloso (Costa, 1984).

La distribuzione granulometrica di una colata detritica può variare notevolmente dalla zona di innesco a quella di deposito, in quanto il flusso può inglobare materiale eroso e la collisione fra le particelle grossolane può causare la frammentazione delle stesse durante la colata (Schatzmann, 2005). Bardou et al. (2007) hanno evidenziato, da osservazioni di campagna, una maggior percentuale di materiale grossolano (da blocchi a boulder) nella zona di deposito rispetto al detrito originario, mentre la distribuzione granulometrica delle particelle inferiori ai 20 mm, ottenuta da analisi in laboratorio, mostra contenuti maggiori in sabbia e minori in argilla nei depositi rispetto al detrito della zona di innesco. In tutti i materiali il contenuto di argilla risulta inferiore al 5%, ma si mantiene comunque maggiore nel detrito d'origine.

I depositi della zona di accumulo sono tipicamente costituiti da granulometrie massime dell'ordine dei boulder (> 256 mm secondo la scala di Wentworth), immersi e supportati da una matrice a grana fine. Spesso questi depositi possono risultare clastosostenuti, se la matrice fine viene dilavata (Costa, 1984).

Caratteristiche granulometriche dei depositi



Moscariello et al., 2001

Curve granulometriche tipiche dei depositi originati da diversi tipi di litologie. Si evidenzia come il tipo di materiale originario influenzi la curva granulometria dei depositi. In generale Moscariello et al. (2001) hanno osservato che le colate detritiche da rocce ignee e metamorfiche massicce sono generalmente di tipo granulare, mentre quelle derivate da rocce scistose, sedimentarie silicoclastiche e carbonatiche sono tipicamente a matrice fangosa.

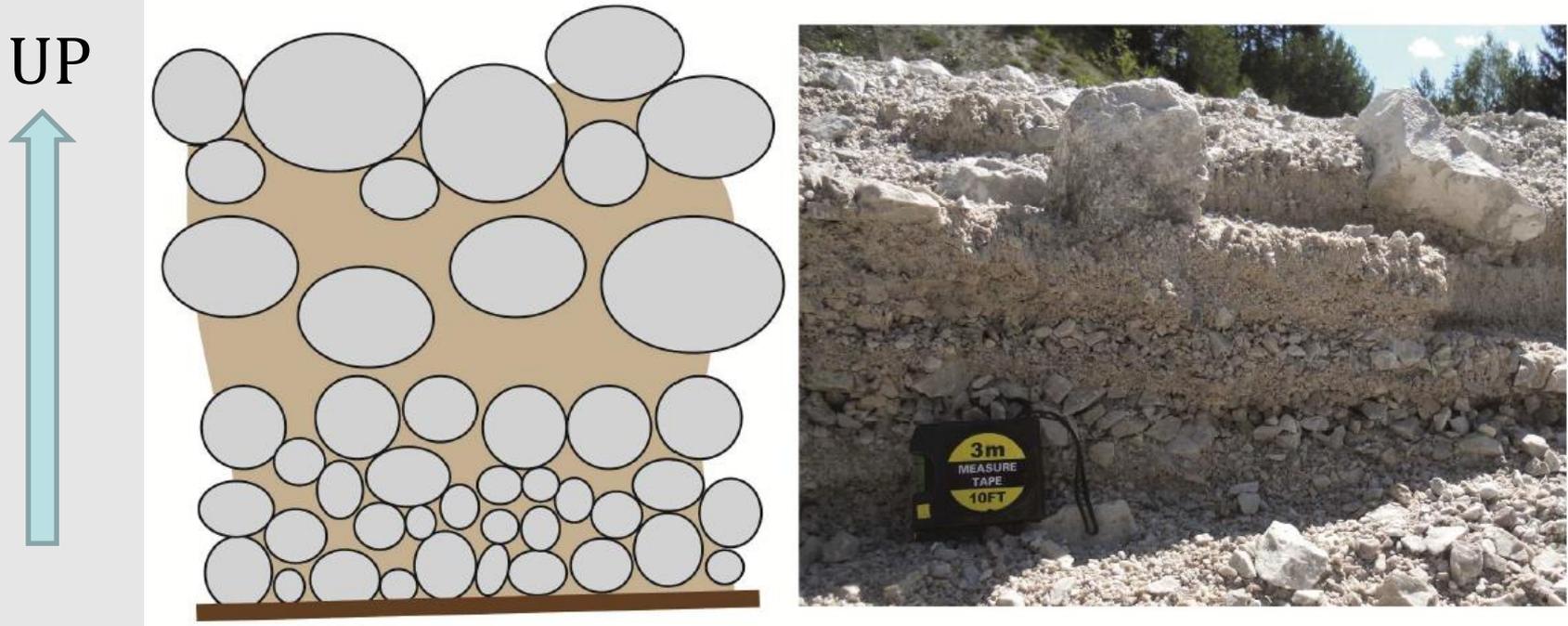
Rocce ignee e massicce: le colate detritiche derivate sono generalmente di tipo granulare.

Rocce scistose: le colate detritiche sono essenzialmente a matrice fangosa.

Rocce dolomitiche: spesso producono colate riconducibili a matrice fangosa.

Gradazione inversa

Gradazione inversa: schema e foto nei depositi del rio Ugovizza EST.



Una caratteristica frequente dei depositi da colata detritica è la gradazione inversa, che può presentarsi sotto due diverse tipologie: *distribution* e *coarse-tail*.

La ***distribution inverse grading*** mostra un regolare aumento delle dimensioni dei clasti ed è tipica di depositi poveri di matrice.

La ***coarse-tail inverse grading*** mostra un aumento progressivo delle dimensioni nella parte basale dello strato, mentre la parte superiore contiene i clasti più grandi insieme ad una caotica mistura di sedimento. Tali depositi sono generalmente ricchi di matrice, costituita o meno da materiale coesivo.

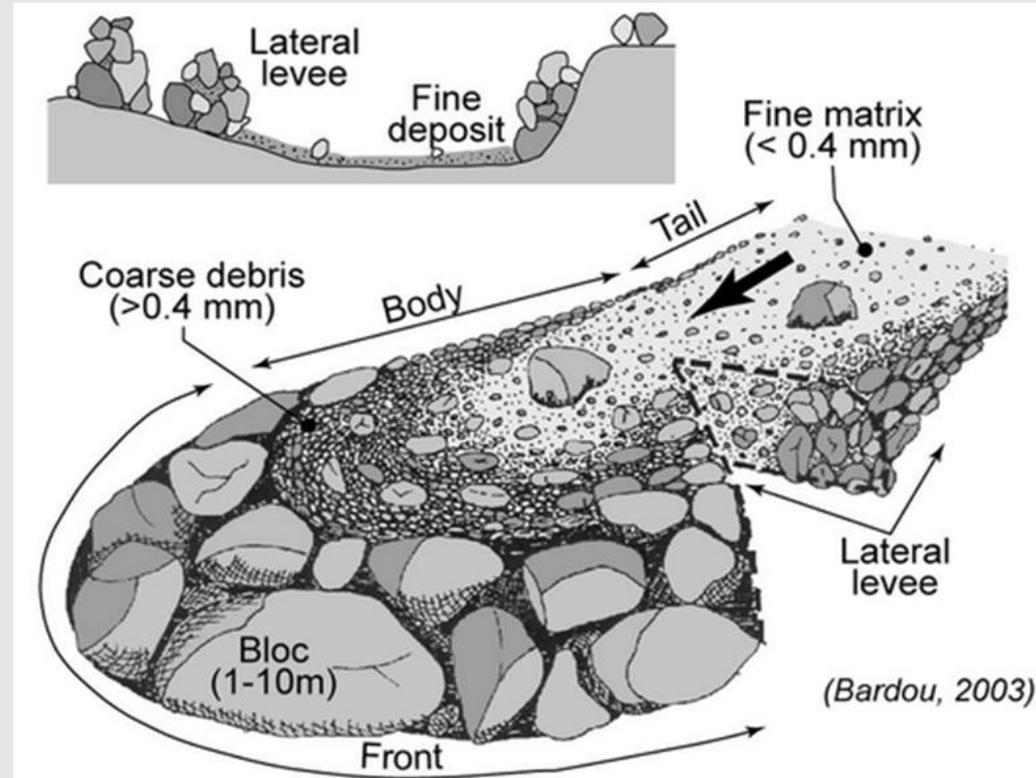
Gradazione inversa

L'origine di tale disposizione è la formazione, una volta superato il valore di sforzo necessario al movimento della colata, di una ripartizione chiara tra una porzione superiore, detta **rigid plug**, che a causa della frizione tra i clasti si muove come un corpo unico, e una inferiore in cui la frizione è vinta e i clasti si muovono l'uno contro l'altro. In definitiva il **rigid plug** scivola sul **layer basale** e i clasti contenuti nel plug si muovono ad una velocità maggiore rispetto a quelli basali.

All'aumentare della velocità del flusso, l'effetto combinato di liquefazione e fluidificazione genera un inspessimento del layer basale, con migrazione verso l'alto del rigid plug, e un aumento delle collisioni tra i clasti. A questo punto il flusso sarà caratterizzato da una porzione di tetto contenente i clasti più grossolani, localmente arricchita in matrice, e da una basale clastosostenuta. La presenza del rigid plug spiega, inoltre, la caratteristica forma ad U dei depositi da colata detritica.



Material deposited by a prehistoric debris flow in northern Venezuela and exposed for view by stream erosion. Note the person for scale. The deposit consists of large sub-angular gneissic boulders supported by a sandy matrix. United States Geological Survey photo (<http://geology.com/articles/debris-flow/>)



Quali sono i presupposti affinché una colata detritica si verifichi?

Disponibilità di materiale detritico mobilizzabile:

- Parti superiori delle falde detritiche presenti al piede di parete rocciose costituiscono siti spesso interessati da innesco di colate detritiche;
- tratti di canale a forte pendenza: mobilizzazione di materiale in alveo;
- colate detritiche possono evolversi a partire da frane superficiali o da corpi di frana.

Pendenze elevate: l'innesco delle colate detritiche solitamente avviene su pendii dove le pendenze sono maggiori di 15° , più frequentemente tra i 25° e i 45°

Forti concentrazioni idriche

Pur se presenti in diverse regioni montane, le colate detritiche si manifestano con modalità differenti, specie per quanto riguarda la frequenza dei fenomeni stessi a seconda delle condizioni locali (volumi detritici disponibili ed apporti idrici in grado di mobilizzarli).

Meccanismi di innesco

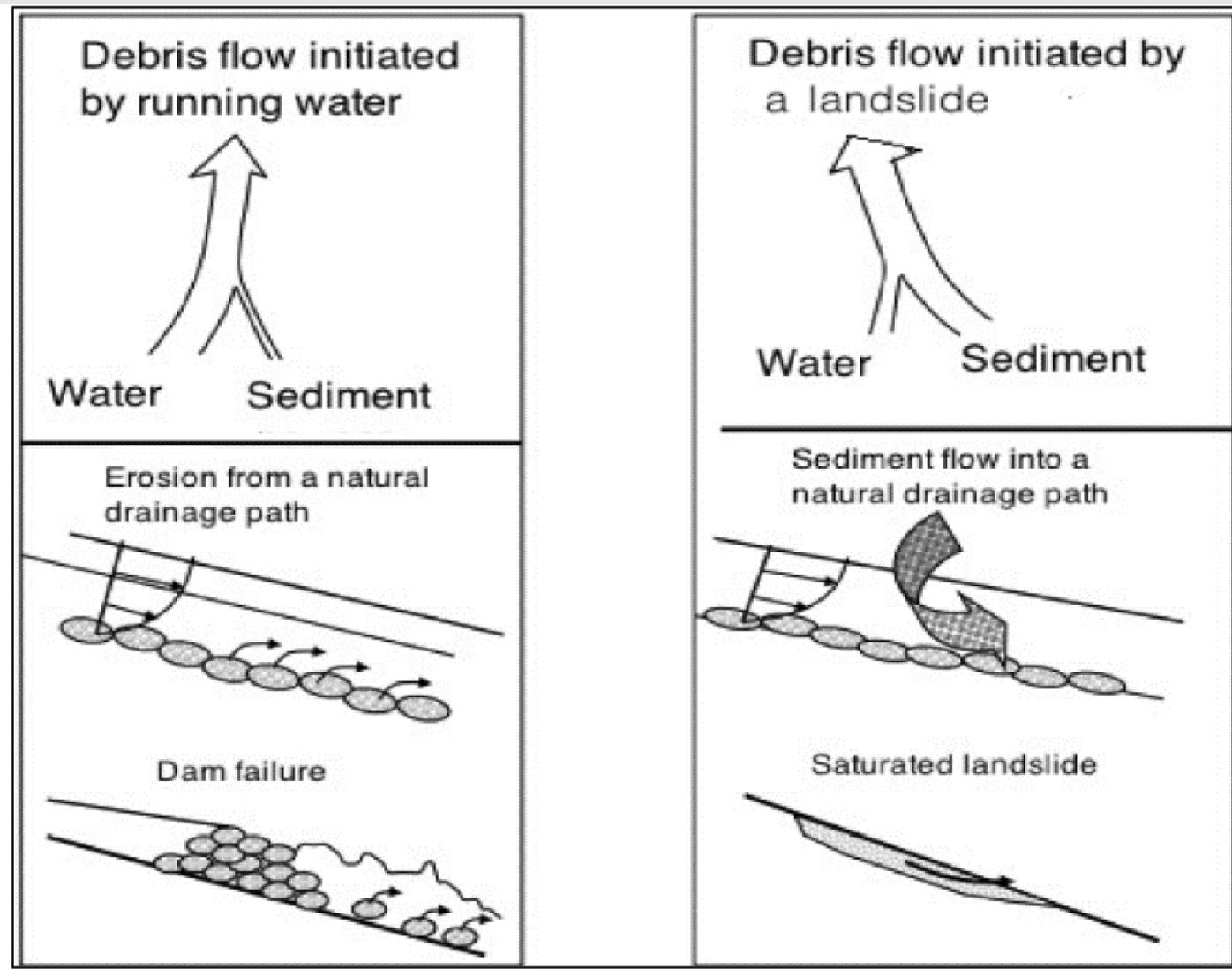
Una semplice spiegazione per l'innesco dei debris flow è fornita da **Costa (1984)**, il quale spiega che **tali fenomeni si originano quando materiale detritico mal classato viene mobilizzato lungo il versante o all'interno di canali per aggiunta di acqua.**

Secondo **Bruschi (2004)** il fenomeno del debris flow, qualora sussistano le condizioni geomorfologiche, è generalmente innescato da una **improvvisa disponibilità di acqua dovuta a precipitazioni intense o a disgelo rapido, in un materiale già saturato da precedenti eventi di pioggia a lunga durata**; ciò causa l'incremento delle pressioni neutre e quindi la possibilità di rottura del versante.

Il meccanismo esatto tramite il quale la rottura di versante diventa debris flow è incerto, ma la rapida trasformazione di uno scivolamento planare o rotazionale in flusso tramite dilatanza e incorporamento di acqua addizionale o tramite liquefazione è sostenuta da diversi autori (Johnson & Rahn, 1970; Hampton, 1972; Starkel, 1972; Temple & Rapp, 1972; Campbell, 1975).

Takahashi (1991) propone un ulteriore meccanismo di innesco, particolare e non troppo frequente, legato al **collasso di un'ostruzione dell'alveo** e ne distingue tre tipologie: erosione conseguente al sormonto, collasso improvviso dell'ammasso e cedimento progressivo.

Triggering mechanism of debris flow



Triggering mechanism of debris flow as described in ("Håndbok v139: Flom- og sørpeskred," 2014) translated by Laache (2016)

Disponibilità di materiale

Il rifornimento di sedimento e il tasso di ricarica del canale sono dei fattori importanti che controllano l'attività delle colate detritiche.

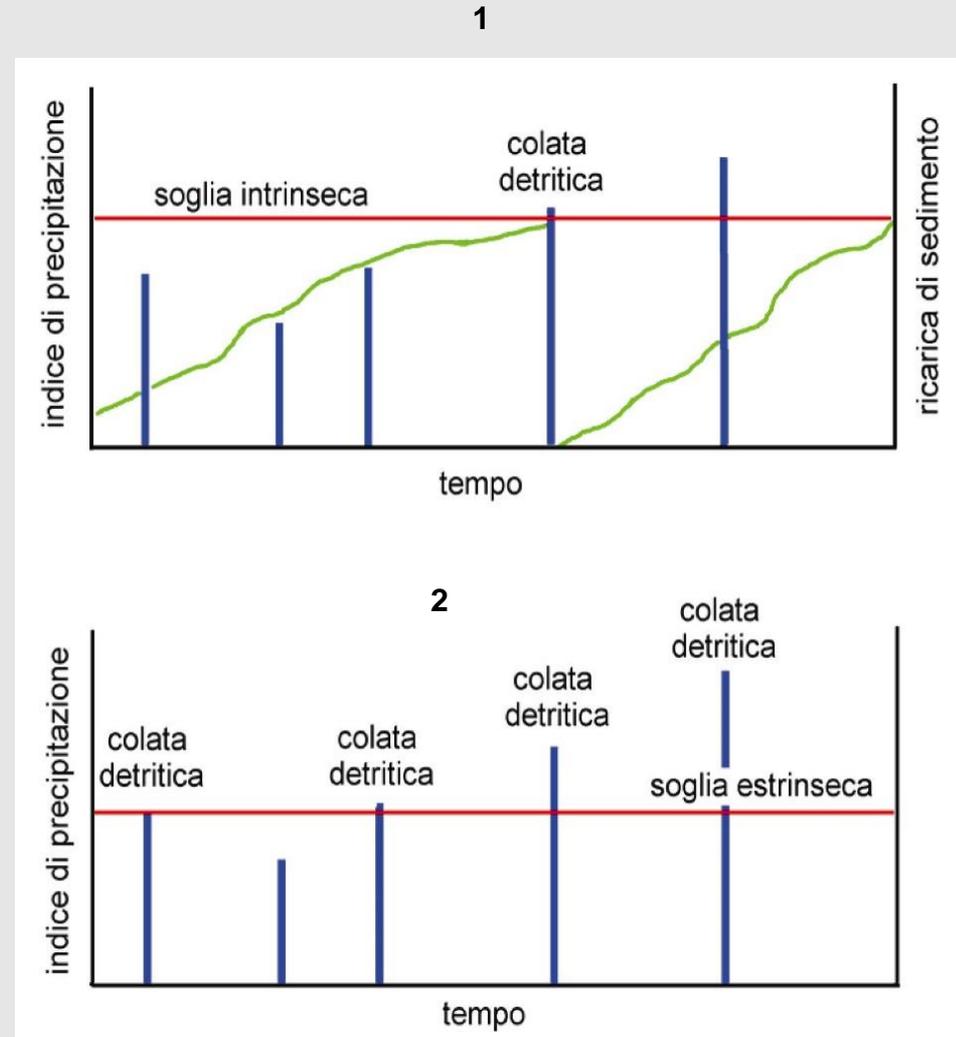
I bacini interessati da colate detritiche vengono distinti in due classi (Bovis e Jakob, 1999):

1. Disponibilità di detrito limitata:

costituisce un fattore limitante per il verificarsi delle colate detritiche. Sono necessari dei lunghi tempi di ricarica fra un evento ed il successivo. Soglia intrinseca legata alla disponibilità di detrito.

2. Disponibilità di detrito illimitata:

il verificarsi delle colate di detrito è condizionato dalla possibilità di mobilitare il detrito presente. Esistenza di una soglia estrinseca solitamente riconducibile alle precipitazioni.

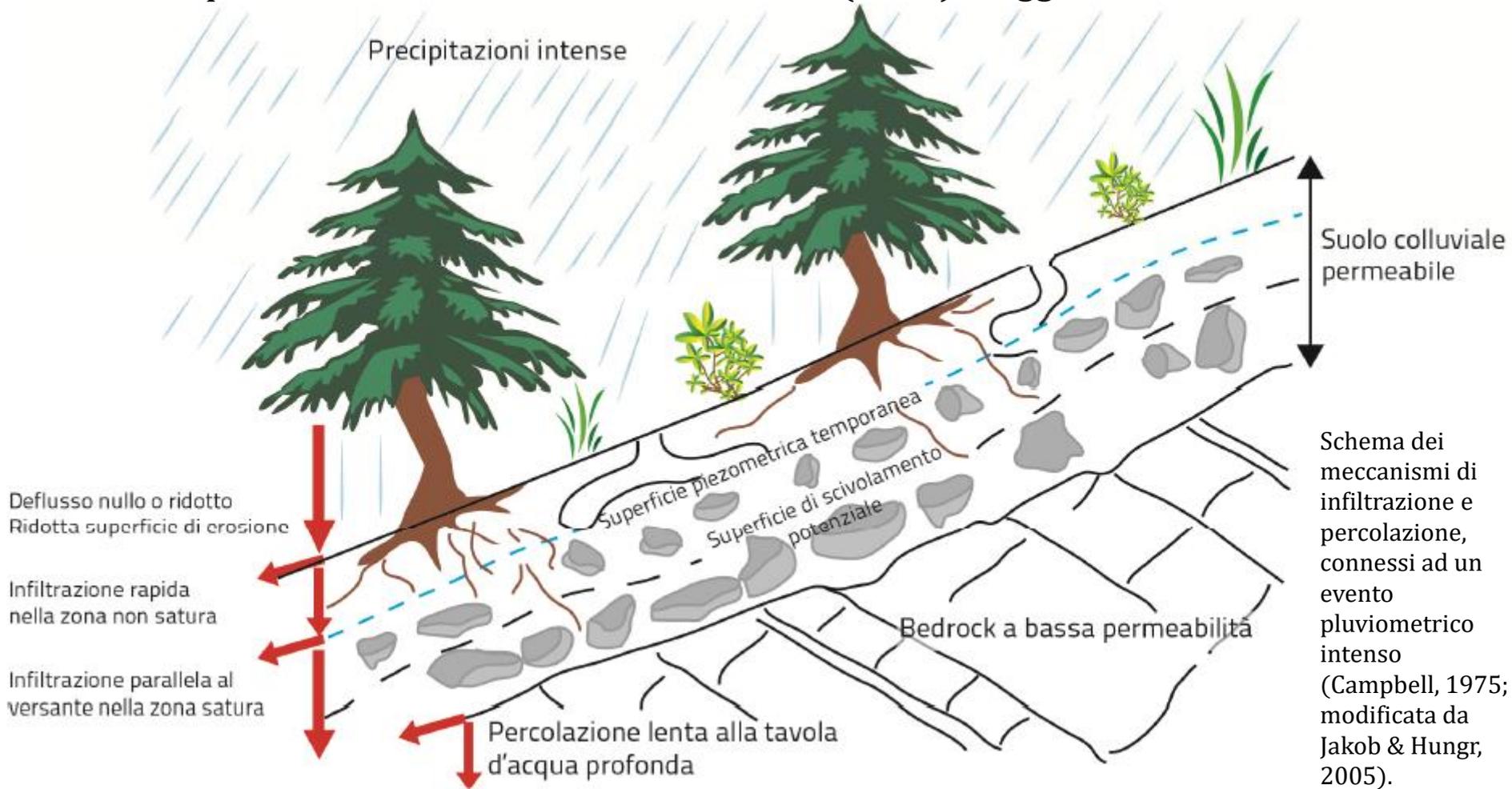


Le barre blu indicano le precipitazioni, le curve verdi indicano la ricarica di sedimento cumulata.

Meccanismi di innesco

Riassumendo, affinché le colate detritiche possano innescarsi, è necessaria la contemporanea presenza di tre condizioni:

- Disponibilità di materiale detritico: funzione del weathering;
- Apporto rapido di grandi quantità d'acqua;
- Elevata pendenza del versante: secondo Costa (1984) maggiore di 15° - 20° .



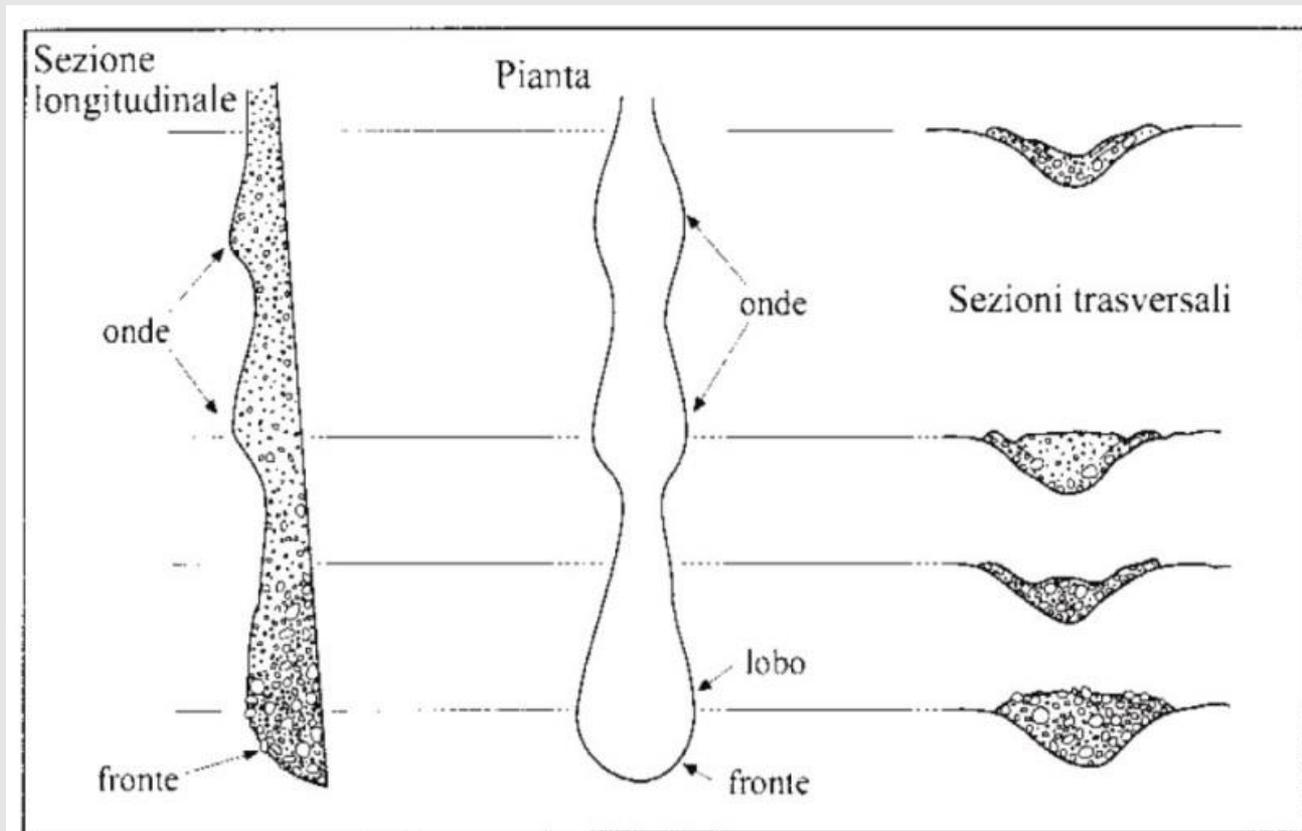
Schema dei meccanismi di infiltrazione e percolazione, connessi ad un evento pluviometrico intenso (Campbell, 1975; modificata da Jakob & Hungr, 2005).

La propagazione

Le colate detritiche si manifestano tipicamente attraverso pulsazioni, con l'improvvisa comparsa di onde caratterizzate da un fronte ripido e ben definito.

Le singole pulsazioni sono solitamente di breve durata ma possono succedersi, intervallate da brevi periodi di stasi, anche per parecchie ore o per più giorni.

La presenza di numerose pulsazioni può essere espressione delle caratteristiche idrauliche del fenomeno o, in alcuni casi, può essere dovuta al fatto che l'apporto di materiale solido è dato da fenomeni franosi di grandi dimensioni.



Velocità di un fenomeno franoso

Classification of Landslides

Table 2. Landslide velocity scale (Cruden and Varnes, 1996).

Velocity class	Description	Velocity (m/sec)	Typical velocity
7	Extremely Rapid	5	5 m/sec
6	Very Rapid	0.05	3 m/min
5	Rapid	5×10^{-4}	1.8 m/hr
4	Moderate	5×10^{-6}	13 m/month
3	Slow	5×10^{-8}	1.6 m/year
2	Very Slow	5×10^{-10}	16 mm/year
1	Extremely Slow		

Hungr et al., 2001

Velocity class	Description	Velocity (mm/s)	Typical velocity	Response ^a
7	Extremely rapid	5×10^3	5 m/s	Nil
6	Very rapid	5×10^1	3 m/min	Nil
5	Rapid	5×10^{-1}	1.8 m/h	Evacuation
4	Moderate	5×10^{-3}	13 m/month	Evacuation
3	Slow	5×10^{-5}	1.6 m/year	Maintenance
2	Very slow	5×10^{-7}	16 mm/year	Maintenance
1	Extremely Slow			Nil

^a Based on Hungr (1981)

Landslide velocity scale (WP/WLI 1995 and Cruden and Varnes 1996)

Hungr et al., 2013

Velocità di un fenomeno franoso

APAT, Fenomeni di dissesto geologico-idraulico sui versanti, 2006

Classe	Descrizione	Danni osservabili
1	ESTREMAMENTE LENTO	Impercettibile senza strumenti di monitoraggio. Costruzione di edifici possibile con precauzioni.
2	MOLTO LENTO	Alcune strutture permanenti possono non essere danneggiate dal movimento.
3	LENTO	Possibilità di intraprendere lavori di rinforzo e restauro durante il movimento. Le strutture meno danneggiabili possono essere mantenute con frequenti lavori di rinforzo se lo spostamento totale non è troppo grande durante una particolare fase di accelerazione.
4	MODERATO	Alcune strutture temporanee o poco danneggiabili possono essere mantenute
5	RAPIDO	Evacuazione possibile. Distruzione di strutture, immobili e installazioni permanenti.
6	MOLTO RAPIDO	Perdita di alcune vite umane. Velocità troppo elevata per permettere l'evacuazione delle persone.
7	ESTREMAMENTE RAPIDO	Catastrofe di eccezionale violenza. Edifici distrutti per l'impatto del materiale spostato. Molti morti. Fuga impossibile.

Scala delle velocità	
16 mm/anno	- $5 \cdot 10^{-10}$ m/s
16 mm/anno	- $5 \cdot 10^{-8}$ m/s
13 mm/anno	- $5 \cdot 10^{-6}$ m/s
1,8 m/h	- $5 \cdot 10^{-4}$ m/s
3 m/min	- $5 \cdot 10^{-2}$ m/s
5 m/sec	- 5 m/s

Scala delle velocità e dei danni prodotti dalle frane, suddivisa in sette classi (tratta da IUGS/WGL, 1995)

Stima della velocità di un debris flow

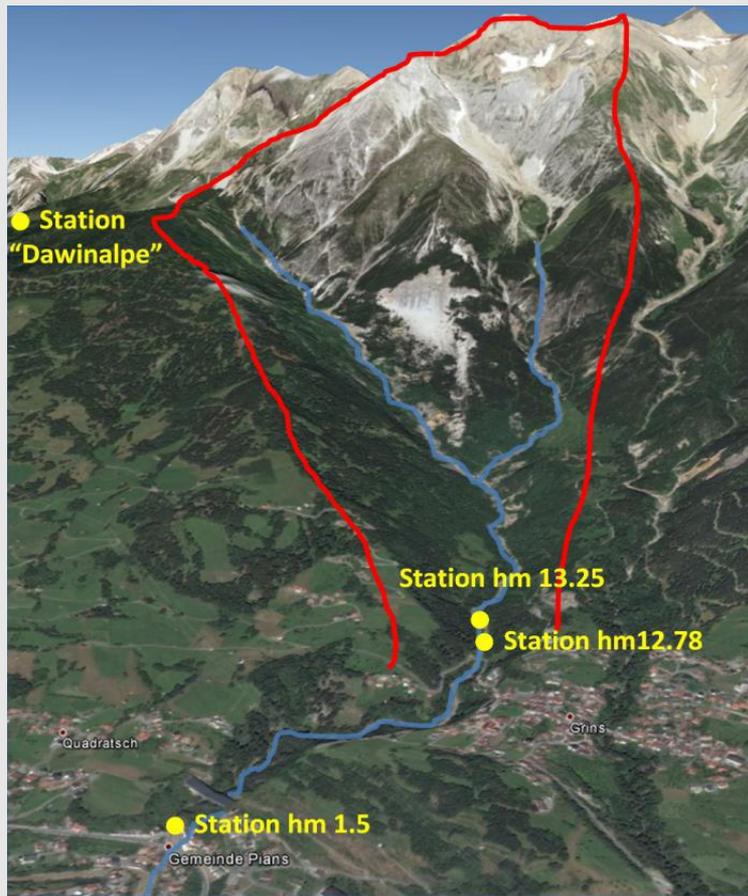
Autore	Metodo
Kherkheulidze, in Niyazov et al, 1975	$\bar{v} = 5.8 * y^{0.55} S^{0.33}$
Sribniy, in Gol'din et al., 1966	$v = 5.15 * y^{0.67} S^{0.25}$
Shamova, in Gol'din et al., 1966	$v = 3.15 * y^{0.17} d^{0.33}$
Takahashi, 1981	$\bar{v} = \frac{2}{Sd} * \left\{ \frac{g}{0.042 \sin S} \left[C_d + (1 - C_d) \frac{\rho_f}{\rho_s} \right] \right\}^{0.5} \left[\left(\frac{C_s}{C_d} \right)^{0.33} - 1 \right] y^{1.5} (\sin S)^{0.5}$
Kherkheulidze, 1967	$V_{\max} = 10.75 * y^{-0.55} S^{0.33}$
Tsubaki et al, in Takahashi, 1981	$V_{\text{fronte}} = 2.5 * (g * y * \sin S)^{0.5}$
Syanozhetsky et al, 1973	$V_{\text{fronte}} = 2.5 * [g * y * \cos S (1 + 1.5 \sin S)]^{0.5}$
Li Jian et al, 1983	$V_{\text{fronte}} = 135 * \left(\frac{d}{y} \right)^{0.062} \left(\frac{C}{\rho_f} \right)^{0.025} [g * y * S]^{0.5}$
Legenda	
<p>y = profondità media della colata (m); r = raggio idraulico (m); S = pendenza (%); C = contenuto (%) in particelle < 0.005 mm; d = diametro medio particelle (m); g = accelerazione di gravità (m/s²). C_d = concentrazione solido nel flusso (% volume); C_s = concentrazione solido nel deposito (% volume); ρ_f = densità del fluido (kN/m³); ρ_s = densità del solido (kN/m³);</p>	

Stima della velocità di un debris flow

Nel 2018..... HÜBL et al.

The Lattenbach creek, Tyrol, is a very active torrent located in a geologic fault zone in the **western part of Austria**. Aside from the regular flood events with bedload transport, the torrent produced seven debris flows and three debris floods within recent years. The torrent is monitored by the Institute of Mountain Risk Engineering since several years. The parameters that are currently measured during an event include meteorological data in the upper part of the catchment and run-off data from the middle and lower reach of the torrent at the villages Grins and Pians.

In the last years the monitoring equipment has been constantly improved. Additional to the standard sensors like radar for water level measurements, seismic sensors for ground motion detection and infrasound sensors for acoustic wave identification, a **high frequency Pulse Doppler Radar** has been installed, which provides the opportunity to measure the instantaneous surface velocity of a debris flow in different range gates. Together with a recently installed 2D-Laser scanner this setup provides the possibility to determine a very precise approximation of the discharge with a high temporal resolution.



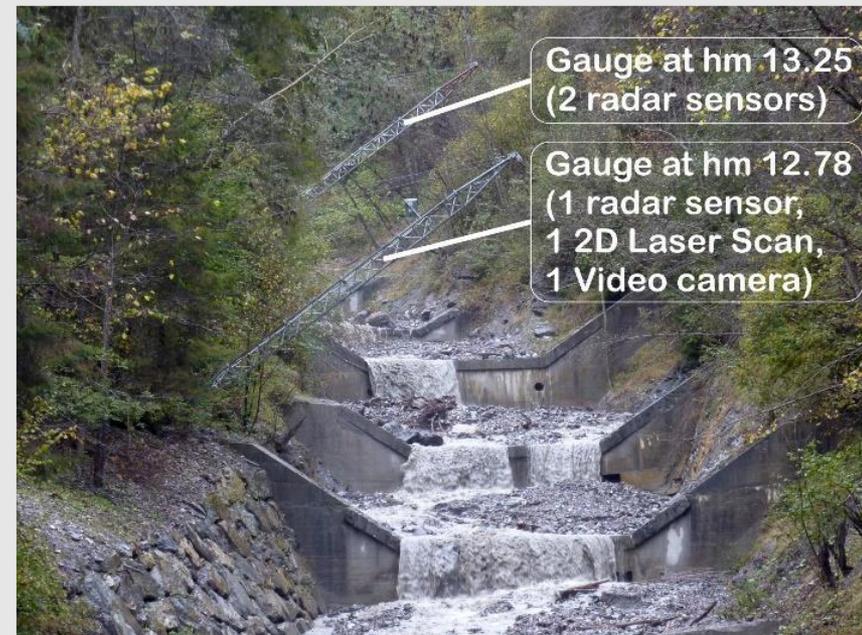
HÜBL J., SCHIMMEL A., OSCHUCH R. (2018) Evaluation of Different Methods for Debris Flow Velocity Measurements at the Lattenbach Creek; Symposium Proceedings of the INTERPRAENENT 2018 in the Pacific Rim.

Stima della velocità di un debris flow

On this basis different methods to determine the velocity of debris flows were applied and compared. The results show, that the applied concept to record data of debris flows in a high temporal resolution seems to be promising. To demonstrate the velocity calculation by different methods the debris flow on September 10th, 2016 is used. This debris flow with a duration of one hour consisted of about 50 surges, most of them lasting only a few seconds.

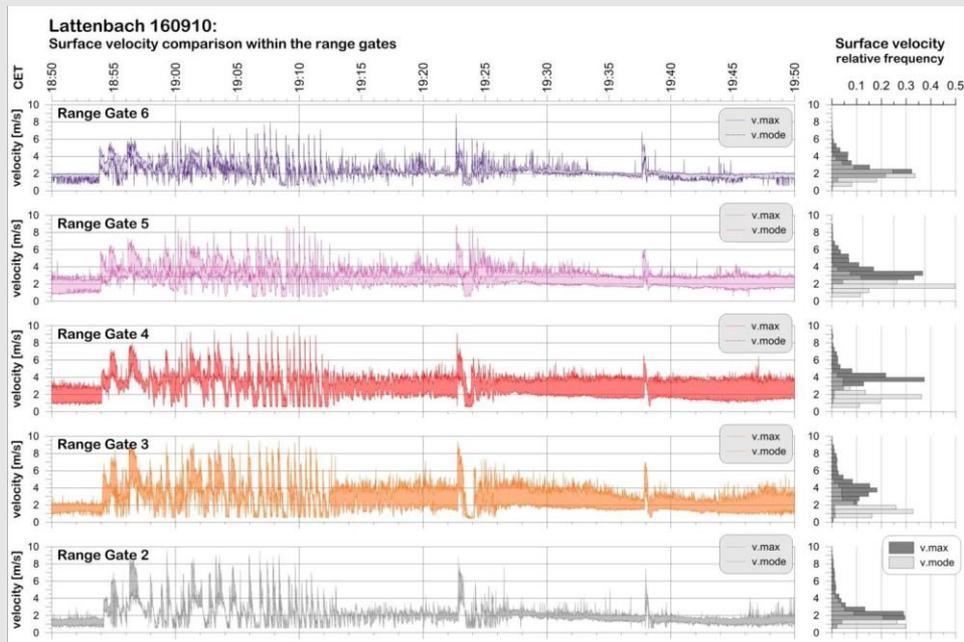
- 1) Instantaneous velocity estimation by Pulse Doppler Radar signal
- 2) Time distance method – flow height
- 3) Time distance method – seismic signal
- 4) Particle image velocimetry

The peak velocities of the time-distance methods are in the range of **9 to 11 m/s**, whereas the surge velocities of smaller ones range from 5 to 7 m/s, independent of the used variable flow height or seismic signal.



HÜBL J., SCHIMMEL A., OSCHUCH R. (2018) Evaluation of Different Methods for Debris Flow Velocity Measurements at the Lattenbach Creek; Symposium Proceedings of the INTERPRAENENT 2018 in the Pacific Rim.

Instantaneous velocity estimation by Pulse Doppler Radar signal



HÜBL J., SCHIMMEL A., OSCHUCH R. (2018) Evaluation of Different Methods for Debris Flow Velocity Measurements at the Lattenbach Creek; Symposium Proceedings of the INTERPRAENENT 2018 in the Pacific Rim.

The aperture of the antenna is 10° with the beam orientation almost parallel to the channel gradient in order to illuminate the maximum range of the slope and to get as many range gates as possible. The pulse repetition frequency of the radar device is up to 90 kHz, resulting in 90,000 pulses per second, giving about 2 frames per second for the analysis.

From this averaged velocity spectrum the most frequent value of the radar intensity is considered as **average flow surface velocity (v.mod)** in the cross-section per second. The **maximum velocity of the spectrum** is identified as the velocity value, when the radar cross-section intensity falls below 50 (v.max).

Velocity estimation

1) Time distance method – flow height

The velocity of a debris flow surge front can be calculated with the elapsed time of the steep increase of the flow height of a surge between two nearby gauging stations. The distance between these sites divided by this timespan yields the velocity of the surge. The estimated front velocities with this method range from 4 to 11 m/s.

2) Time distance method – seismic signal

This method of estimation of the front velocity uses the signals of two installed stations along the channel, recording infrasound and seismic data. The estimated front velocities derived from seismic signals range from 4 to 11 m/s.

3) Particle image velocimetry

Large-scale particle image velocimetry (LSPIV) is a video imagery technique often used in rivers to measure two dimensional velocities from high-resolution images at high frame rates. Therefore bubbles, ice, debris, and artificial seeding are tracked and cross-correlations are made between time-step imagery within a given search window. This method can also be used to determine the surface velocity of debris flows [Theule et al., 2018], by tracking specific features of these processes (e.g. fast stage variations or boulders on the flow surface).

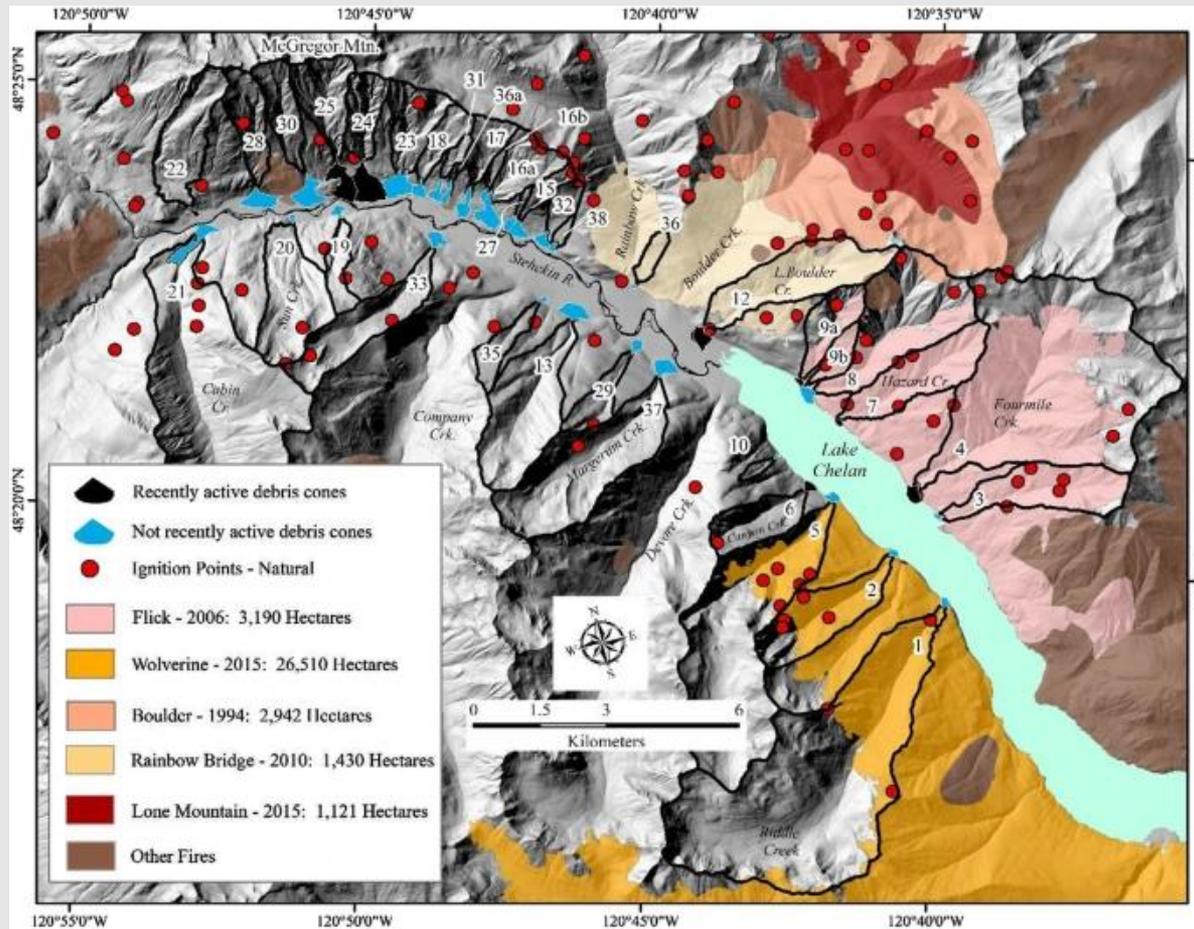
Magnitudo, prima.....

Tab. 1 - Alcune formule empiriche e di regressione per il calcolo del volume delle colate detritiche.

Formula	N. dati	Tipo di metodo	Regione	Fonte bibliografica
(1) $V = K \cdot A_d \cdot S_c$	1420	semi-empirico	Austria	Kronfellner-Kraus (1985)
(2) $V = 45 \cdot A_d^{0.9} \cdot S_c^{1.5} \cdot IG$	62	semi-empirico	Provincia di Trento (Italia)	D'Agostino <i>et al.</i> (1996)
(3) $V = 65000 \cdot A^{1.35} \cdot S_c^{1.7}$	86	semi-empirico	Italia Nord-orientale	Marchi e D'Agostino (2004)
(4) $V = V_r (2.9 \cdot S_c^2)$	86	semi-empirico	Italia Nord-orientale	Marchi e D'Agostino (2004)
(5) $V_{100} = 0.49 \cdot A_d \cdot I_b^{1.6} \cdot IGM \cdot (SNV + 2)^{0.2}$ (utilizzabile per $I_b < 200\%$)	12	semi-empirico	Alpi Francesi	Bianco <i>et al.</i> (2001)
(6) $V = L_c \cdot (6.4 \cdot S_f - 23)$ $7\% < S_f < 15\%$ $V = L_c \cdot (110 - 2.5 \cdot S_f)$ $15\% < S_f < 40\%$	82	empirico (linea di inviluppo)	Svizzera	Rickenmann (1997)

- V volume della colata detritica (volume trasportato in un singolo evento) (m^3)
 V_r volume di deflusso liquido responsabile della formazione della colata detritica (m^3)
 A_d area del bacino (km^2)
 S_c pendenza media dell'asta torrentizia (% nelle eq. 1 e 2; m/m nelle eq. 3 e 4)
 I_b indice di rilievo del bacino (corrisponde all'indice di Melton espresso in %):
 $I_b = [(H_{max} - H_{min}) / A_d] \cdot 100$; H_{max} e H_{min} rappresentano, rispettivamente, l'altitudine massima e l'altitudine minima nel bacino
 K fattore di torrenzialità (Kronfellner-Kraus, 1985)
 IG indice geolitologico (D'Agostino *et al.*, 1996)
 IGM indice geolitologico (Brochot *et al.*, 2000)
 SNV superficie non coperta da vegetazione (%)
 L_c lunghezza dell'asta torrentizia (m)
 S_f pendenza del conoide (%)

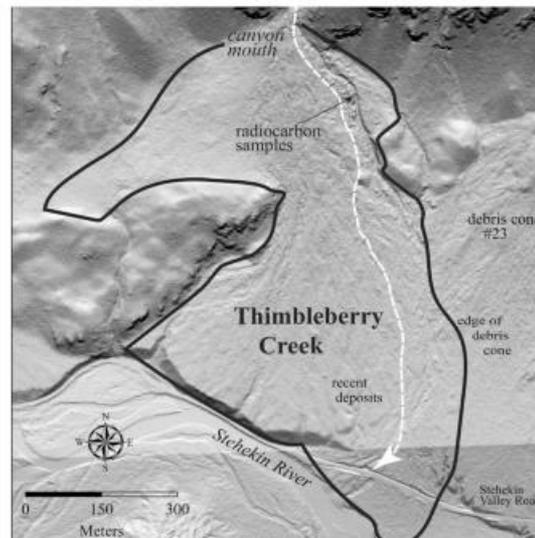
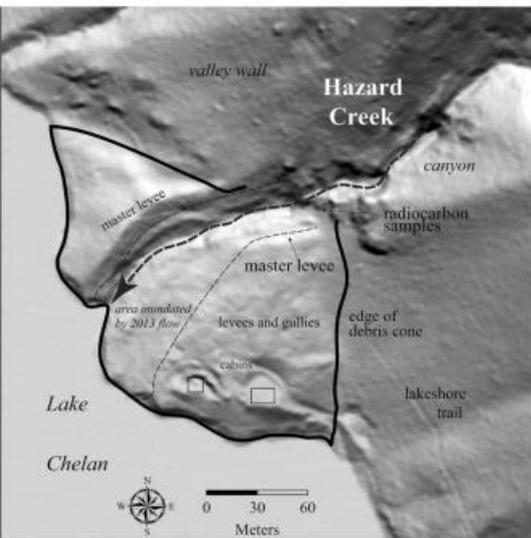
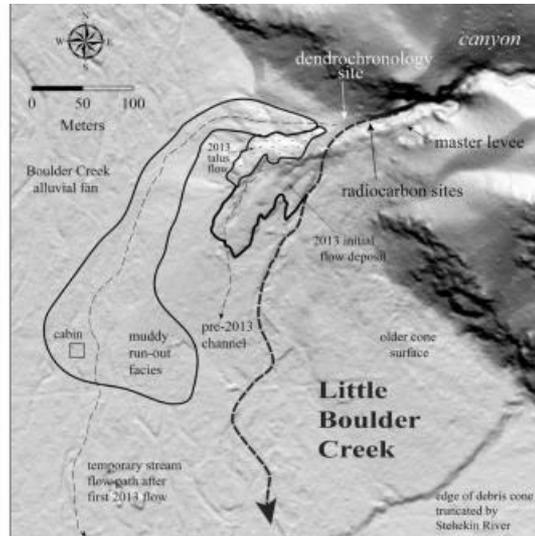
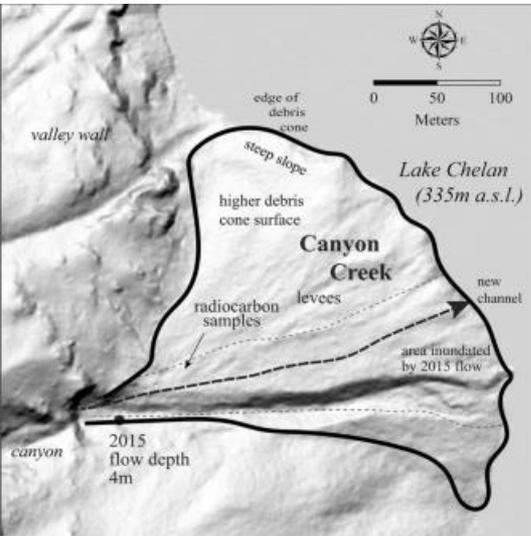
Magnitude, poi.....



Riedel, J.L., Sarrantonio, S.M. Debris flow magnitude, frequency, and precipitation threshold in the eastern North Cascades, Washington, USA. Nat Hazards 106, 2519–2544 (2021).
<https://doi.org/10.1007/s11069-021-04553-8>

Debris flow hazard is directly related to event **magnitude (volume)**, frequency (recurrence interval), and rainfall initiation threshold (Bovis and Jakob 1999; Jakob 2005; Guzzetti et al. 2008). Specific objectives are to characterize the **flood hazard type (magnitude) using morphometric and geologic approaches**, estimate event frequency with historic and stratigraphic records, and identify the intensity and duration of the precipitation that triggered recent debris flows. We also qualitatively compare the debris flow record with a local fire history.

Magnitude



Using basin morphometry and debris cone stratigraphy it was possible to determine what type of events dominate each system.

Morphometric data included **drainage area, relief, watershed length and gradient, and debris cone gradient were measured to compute the magnitude.**

We measure these characteristics with GIS on a 10 m DEM base. The morphometry of debris deposits on the valley floor was measured with a 2015 Lidar survey. **Debris cone surface gradient was measured as a hand-drawn line perpendicular to surface contours.** Automated GIS estimates tend to under-estimate debris cone gradient when compared to field measurements by including some parts of low-gradient terraces, alluvial fans, or floodplains (Kovanen and Slaymaker 2008).

Total debris cone volume was measured from Lidar based on the assumption that the adjacent floodplain, alluvial fan, or terrace of the Stehekin River **extended as a plane beneath individual cones.**

Flow depths were based on stains on trees and scour-limits on canyon walls. We defined larger debris flows as those having a volume of $\geq 1000 \text{ m}^3$.