

Hungr et al., 2013

Table 5 Summary of the proposed new version of the Varnes classification system. The words in italics are placeholders (use only one)

Type of movement	Rock	Soil
Fall	1. <i>Rock/ice</i> fall ^a	2. <i>Boulder/debris/silt</i> fall ^a
Topple	3. Rock block topple ^a	5. <i>Gravel/sand/silt</i> topple ^a
	4. Rock flexural topple	
Slide	6. Rock rotational slide	11. <i>Clay/silt</i> rotational slide
	7. Rock planar slide ^a	12. <i>Clay/silt</i> planar slide
	8. Rock wedge slide ^a	13. <i>Gravel/sand/debris</i> slide ^a
	9. Rock compound slide	14. <i>Clay/silt</i> compound slide
	10. Rock irregular slide ^a	
Spread	15. Rock slope spread	16. <i>Sand/silt</i> liquefaction spread ^a
		17. Sensitive clay spread ^a
Flow	18. <i>Rock/ice</i> avalanche ^a	19. <i>Sand/silt/debris</i> dry flow
		20. <i>Sand/silt/debris</i> flowslide ^a
		21. Sensitive clay flowslide ^a
		22. Debris flow ^a
		23. Mud flow ^a
		24. Debris flood
		25. Debris avalanche ^a
		26. Earthflow
27. Peat flow		
Slope deformation	28. Mountain slope deformation	30. Soil slope deformation
	29. Rock slope deformation	31. Soil creep
		32. Solifluction

There are now **32** landslide-type keywords, compared with **29** used in the 1978 Varnes Classification, thus the system remains simple.

For formal definitions of the landslide types, see text of the paper.

^a Movement types that usually reach extremely rapid velocities as defined by Cruden and Varnes (1996). The other landslide types are most often (but not always) extremely slow to very rapid

Noi cosa studieremo?

SLIDES IN ROCK

6. Rock rotational slide (“rock slump”)
7. Rock planar slide (“block slide”)
8. Rock wedge slide
9. Rock compound slide
10. Rock irregular slide (“rock collapse”)

SLIDES IN SOILS

11. *Clay/silt* rotational slide (“soil slump”)
12. *Clay/silt* planar slide
13. Gravel/sand/debris slide
14. Clay/silt compound slide

Flow-like landslides

18. *Rock/ice avalanche*: Extremely rapid, massive, flow-like motion of fragmented rock from a large rock slide or rock fall.

19. Dry (or non-liquefied) *sand/silt/gravel/debris flow*: Slow or rapid flow-like movement of loose dry, moist or subaqueous, sorted or unsorted granular material, without excess porepressure.

20. *Sand/silt/debris flowslide*: Very rapid to extremely rapid flow of sorted or unsorted saturated granular material on moderate slopes, involving excess pore-pressure or liquefaction of material originating from the landslide source. The material may range from loose sand to loose debris (fill or mine waste), loess and silt.

21. *Sensitive clay flowslide*: Very rapid to extremely rapid flow of liquefied sensitive clay, due to remolding during a multiple retrogressive slide failure at, or close to the original water content.

22. *Debris flow*: Very rapid to extremely rapid surging flow of saturated debris in a steep channel. Strong entrainment of material and water from the flow path.

23. *Mud flow*: Very rapid to extremely rapid surging flow of saturated plastic soil in a steep channel, involving significantly greater water content relative to the source material. Strong entrainment of material and water from the flow path (Plasticity Index > 5 %).

24. *Debris flood*: Very rapid flow of water, heavily charged with debris, in a steep channel. Peak discharge comparable to that of a water flood.

Flow-like landslides

25. Debris avalanche: Very rapid to extremely rapid shallow flow of partially or fully saturated debris on a steep slope, without confinement in an established channel. Occurs at all scales.

26. Earthflow: Rapid or slower, intermittent flow-like movement of plastic, clayey soil, facilitated by a combination of sliding along multiple discrete shear surfaces, and internal shear strains. Long periods of relative dormancy alternate with more rapid “surges”.

27. Peat flow: Rapid flow of liquefied peat, caused by an undrained failure.



Several of the catastrophic **debris avalanches** of May, 1998 in Siano, Italy, illustrating the characteristic widening of debris avalanche scars on steep slopes (Vertical airphoto published by licence no. 2347-02/December/2002 of Regione Campania. Image courtesy of Dr. P. Revellino, University of Sannio, Benevento).

Noi cosa studieremo?

SLIDES IN ROCK

6. Rock rotational slide (“rock slump”)

Sliding of a mass of weak rock on a cylindrical or other rotational rupture surface which is not structurally controlled.

The morphology is characterized by a prominent main scarp, a characteristic back-tilted bench at the head and limited internal deformation.

Usually slow to moderately slow.



Noi cosa studieremo?

SLIDES IN ROCK

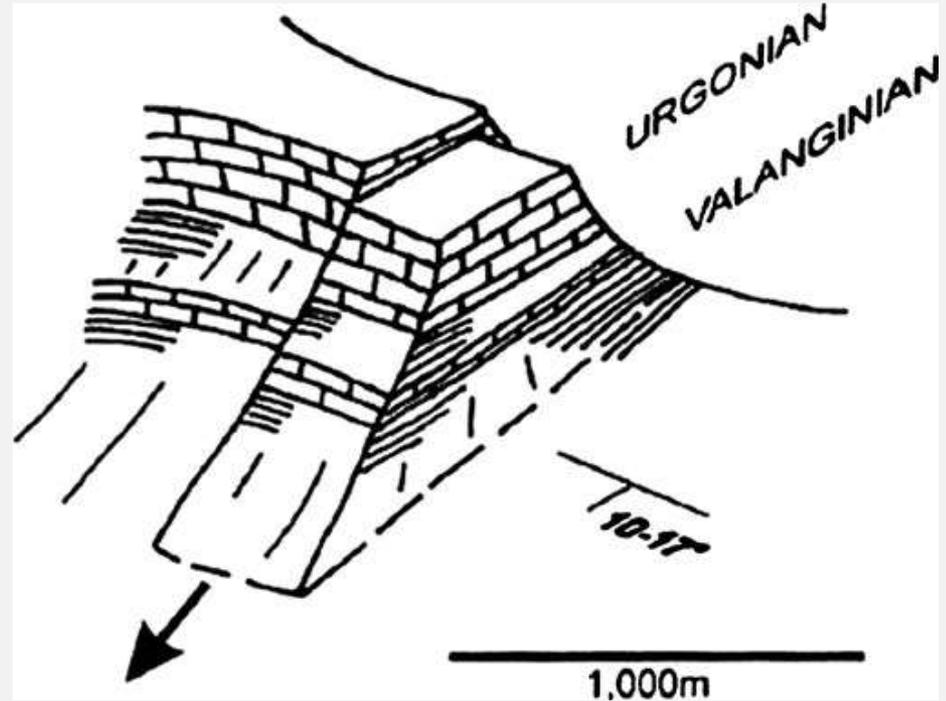
7. Rock planar slide (“block slide”)

Sliding of a mass of rock on a planar rupture surface. The surface may be stepped forward.

Little or no internal deformation.

The slide head may be separating from stable rock along a deep, vertical tension crack.

Usually extremely rapid.



Mont Granier translational rock slide. Schema of the failure mechanism, based on an interpretation by Cruden and Antoine (1984). The vertical surface of separation behind the moving block is a tension feature.

Noi cosa studieremo?

SLIDES IN SOILS



11. Clay/silt rotational slide (“soil slump”)

Sliding of a mass of (homogeneous and usually cohesive) soil on a rotational rupture surface. Little internal deformation. Prominent main scarp and back-tilted landslide head. Normally slow to rapid, but may be extremely rapid in sensitive or collapsive soils.

Noi cosa studieremo?

SLIDES IN SOILS

12. Clay/silt planar slide

Sliding of a block of cohesive soil on an inclined planar rupture surface, formed by a weak layer (often pre-sheared).

The head of the slide mass separates from stable soil along a deep tension crack (no active wedge). May be slow or rapid.



Hungr O., Leroueil S., Picarelli L. (2013) The Varnes classification of landslide types, an update. Landslides, DOI 10.1007/s10346-013-0436-y, 29p.

Noi cosa studieremo?

SLIDES IN SOILS



<https://www.telebelluno.it/wp/il-debris-flow-ripreso-in-svizzera-e-alto-adige/>

22. Debris flow

Very rapid to extremely rapid surging flow of saturated debris in a steep channel. Strong entrainment of material and water from the flow path.

Colate detritiche

classificazione e fenomenologia
dei processi torrentizi

Dr. Chiara Calligaris

A.A. 2021-2022

calligar@units.it



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE

DMG dipartimento
di matematica
e geoscienze

Colate detritiche: cosa sono?



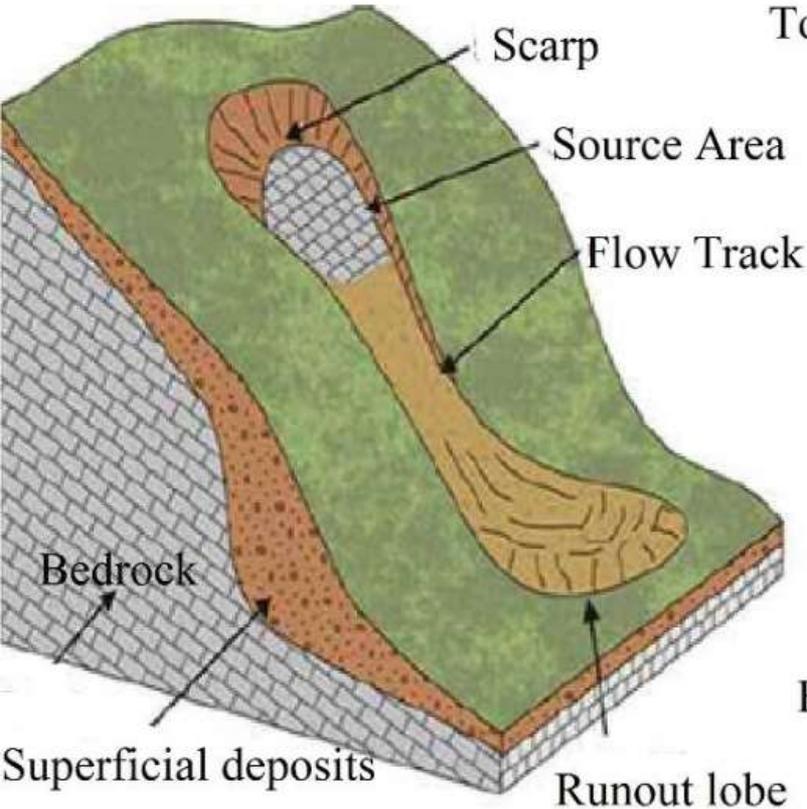
Le colate detritiche (debris flow) sono definite come movimenti di massa rapidi, indotti dalla gravità, di **miscele di solidi granulari, acqua e aria che si muovono come un fluido viscoso**, in prima approssimazione monofasico, alla stessa velocità (Varnes, 1978). A causa della loro imprevedibilità sono tra i fenomeni più pericolosi e distruttivi che interessano i bacini montani.

Frazione solida (35-70% in volume): la frazione solida è composta da materiale detritico eterometrico che va dalle dimensioni di una pelite ai grossi blocchi. Anche il detrito legnoso fa parte della frazione solida.

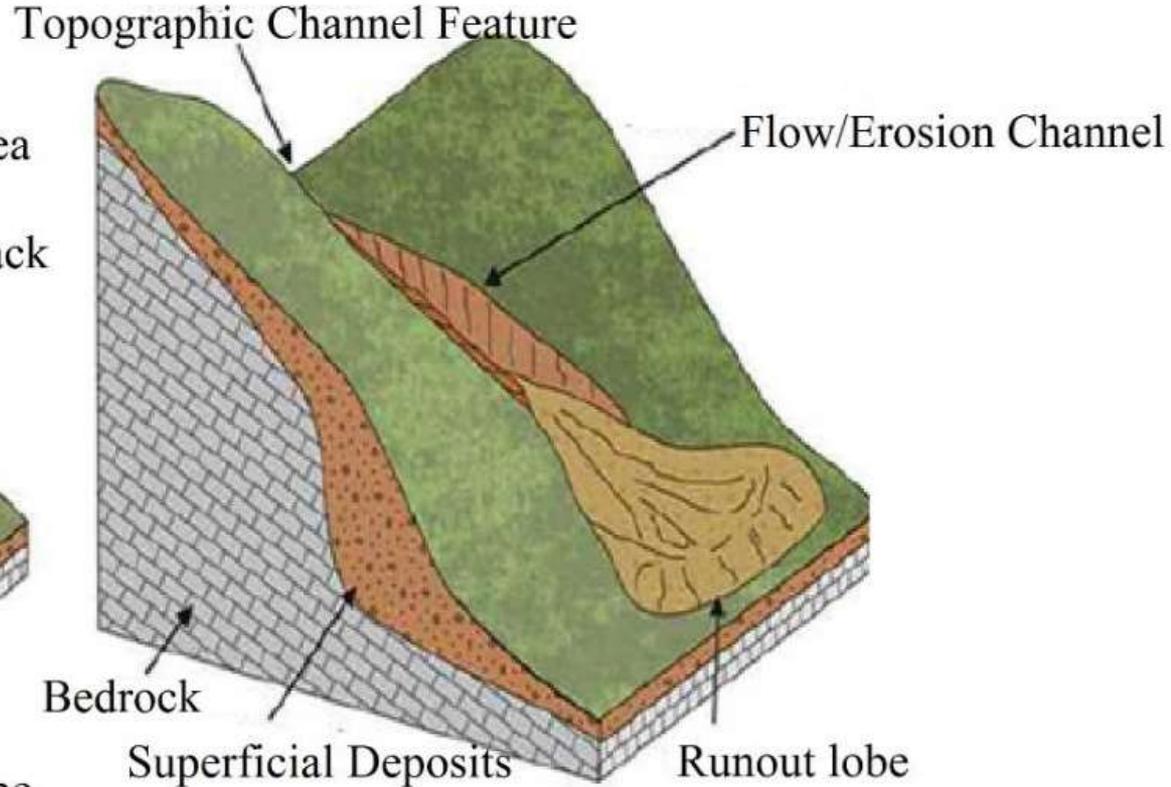


Colate detritiche: dove avvengono?

a) Hillslope debris flow



b) Channelised debris flow



Pradhan R. (2017) Physical modeling of debris flow by varying sediment concentration

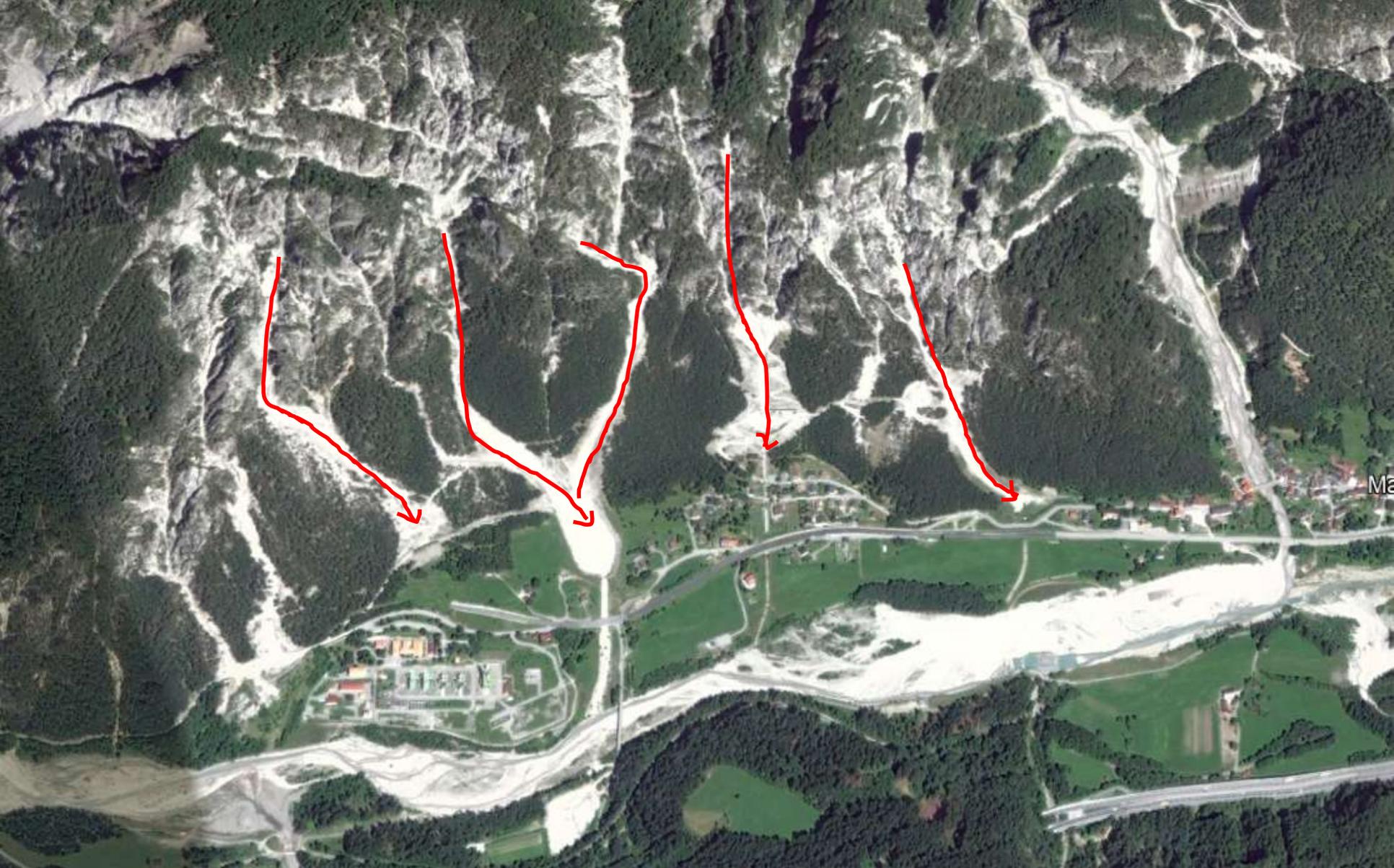
The figure illustrates the difference in flow path between **Hillslope debris flow** and **Channelized debris flow**.



Hillslope debris flow | Zurich Switzerland

<https://www.zurich.ch/en/services/natural-hazards/hangmure>

The mixture of water, earth and debris, flows down the slope as a mud avalanche. **A lot of rain, snowmelt and a slope are factors that promote a hillslope debris flow.** Experts distinguish between continuous and spontaneous slides and hillslope debris flows. A snowmelt can also help to trigger this process. Slides, for their part, are either triggered spontaneously with little water “en bloc” or continuously. They usually involve a large area, are uniform and occur over an extended period of time. Slides can be expected on slopes with inclinations as small as 10 degrees and more.



Google Earth Pro

Channelized debris flow | Valcanale (DU, Italy)
ovvero si verificano in corrispondenza della rete idrografica secondaria

Classificazioni

La collocazione delle colate detritiche a cavallo tra frane e piene con trasporto solido porta ad una particolare difficoltà nell'analisi e nell'inquadramento di questi processi. Le principali classificazioni esistenti in letteratura sono volte a distinguere i diversi processi torrentizi.

Autori	Fattori presi in considerazione	Note
Pierson e Costa (1987)	Concentrazione volumetrica sedimento Velocità media	
Costa 1984	tipologia di flusso	per flussi di sedimento in canale
Meunier e Coussot (1996)	concentrazione, tipo di materiale Velocità (non è chiave di classificazione)	
Hungr (2001)	Contenuto d'acqua, velocità, materiale	
Autlizky (1982)	Tipologia dei processi	
Jakob (2005)	Volume, portata di picco	Riguarda solo le colate detritiche

Classificazioni

Un esempio di classificazione basata sui volumi in gioco è
la **classificazione di Fell del 1944**

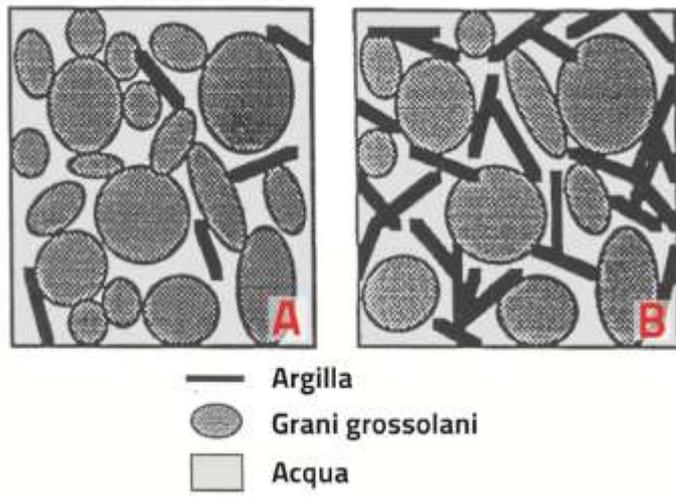
Descrizione	Volume [m^3]
Estremamente grande	$> 5 \cdot 10^6$
Molto grande	$> 1 \cdot 10^6 \div 5 \cdot 10^6$
Da media a grande	$> 2,5 \cdot 10^5 \div 1 \cdot 10^6$
Media	$> 5 \cdot 10^4 \div 2,3 \cdot 10^5$
Piccola	$> 5 \cdot 10^3 \div 5 \cdot 10^4$
Molto piccola	$> 5 \cdot 10^2 \div 5 \cdot 10^3$
Estremamente piccola	$< 5 \cdot 10^2$

Classificazioni

Material	ROCK	DEBRIS	EARTH
Movement type			
FALLS	<p>Scar Rock fall Scree Rock fall Debris</p>	<p>Scar Debris fall Scree Debris cone</p>	<p>Scar Earth fall Colluvium Debris cone</p>
TOPPLES	<p>Rock topple</p>	<p>Debris topple Debris cone</p>	<p>Cracks Earth topple Debris cone</p>
SLIDES	<p>Single rotational slide (slump) Failure surface</p>	<p>Crown Head Scarp Multiple rotational slide Minor Scarp Failure surface</p>	<p>Successive rotational slides</p>
	<p>Rock slide</p>	<p>Debris slide</p>	<p>Earth slide</p>
SPREADS	<p>Normal sub-horizontal structure Cap rock Clay shale Thinning of beds Plane of décollement Competent substratum Gully Camber slope Dip and fault structure Valley bulge (planned off by erosion) e.g. cambering and valley bulging</p>		<p>Earth spread</p>
FLOW	<p>Solifluction flows (Periglacial debris flows)</p>	<p>Debris flow</p>	<p>Earth flow (mud flow)</p>
COMPLEX	<p>e.g. Slump-earthflow with rockfall debris</p>		<p>e.g. composite, non-circular part rotational/part translational slide grading to earthflow at toe</p>

Le colate trovano collocazione anche nella classificazione delle frane di Varnes (1978), ma non sono considerabili frane in senso stretto in quanto non conservano, neanche parzialmente, la struttura iniziale del materiale dal movimento.

Classificazioni

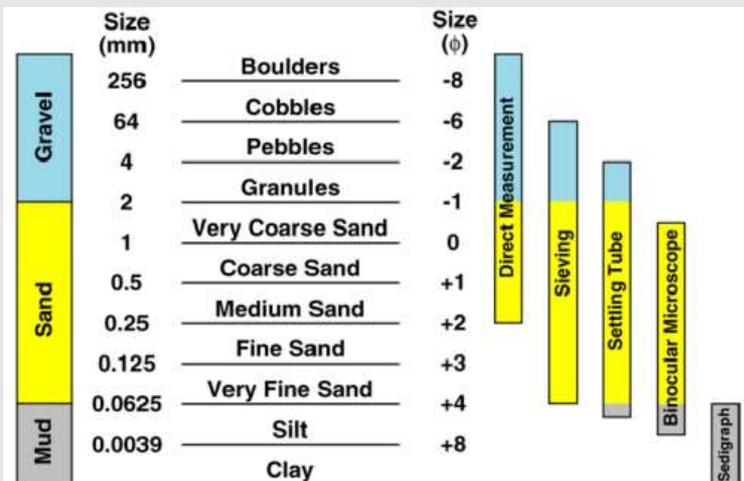


Rappresentazione schematica della struttura interna di una colata detritica A) a struttura granulare; B) a matrice fangosa.

In prima approssimazione un'importante distinzione può essere fatta tra **colate detritiche granulari** e **colate detritiche a matrice fangosa**.

Le prime sono caratterizzate da scarsa presenza di particelle fini nel fluido interstiziale e da numerosi contatti tra i grani nel corso del processo di flusso. Il comportamento meccanico dell'insieme è quindi condizionato dalle collisioni e dall'attrito tra le particelle grossolane.

Nelle colate detritiche a matrice fangosa le particelle grossolane sono disperse in una miscela fangosa fine. Questo fluido interstiziale lubrifica i movimenti relativi dei grani grossolani, dettando il comportamento dell'insieme.



La scala più usata è quella di **Udden-Wentworth (1922)** dove i limiti fra le frazioni granulometriche sono:

- >2mm per la ghiaia (pebbles)
- 2mm-62.5 um per la sabbia (sand)
- 62.5 um-4um per il limo (silt)
- <4um per l'argilla (clay)

MUD = silt + clay

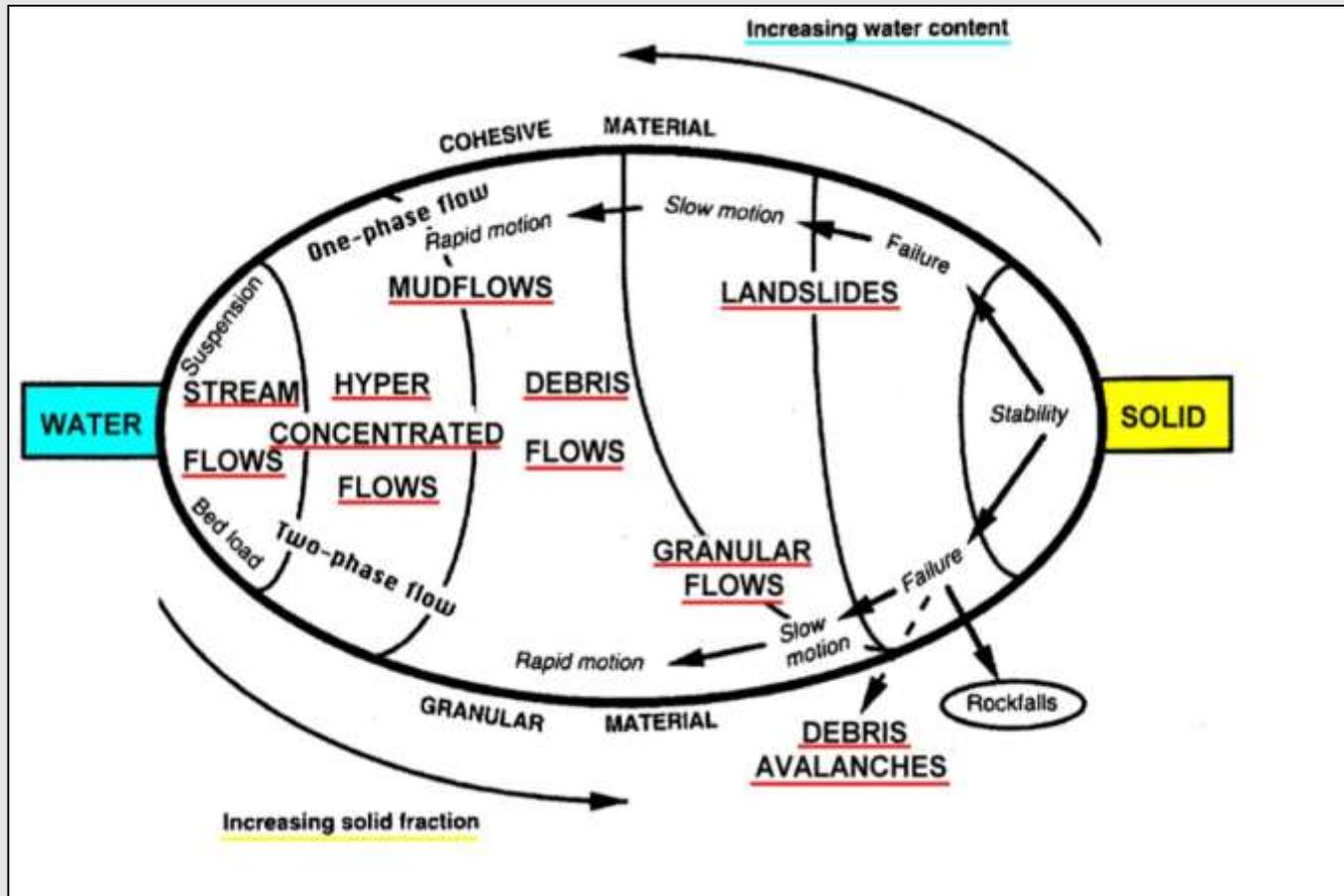
Classificazioni

Classificazione di Du et al. (1986)

In funzione del materiale solido coinvolto distinguiamo:

- **Mud flow**, il cui flusso è composto per oltre il 15% del contributo solido da sabbia e argilla, con un comportamento assimilabile a quello di un fluido newtoniano.
- **Mud-rock flow**, dove si riscontra una presenza di rocce di diametro superiore a 10 cm e il quantitativo di argilla non va oltre il 3-5%; le caratteristiche della componente argillosa vanno poi ad influenzare il comportamento complessivo del flusso.
- **Water-rock flow**, in cui sabbia grossolana, ciottoli e blocchi di roccia costituiscono prevalentemente la componente solida.

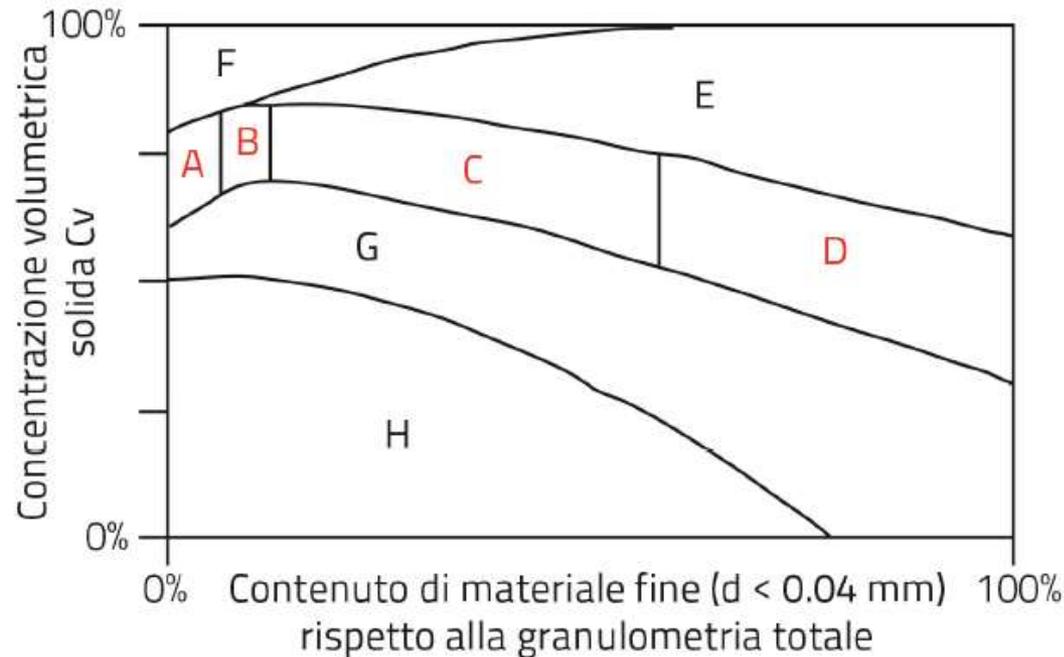
Classificazioni



La classificazione di **Coussot & Meunier (1996)** considera i fenomeni torrentizi nel quadro di processi che vanno dalle correnti idriche alle frane.

Gli Autori basano la loro classificazione sulle caratteristiche granulometriche del materiale (coesivo o granulare) e sulla concentrazione. La velocità del movimento è altresì considerata, ma non costituisce una chiave della classificazione.

Classificazioni



- | | |
|---------------------------------|--------------------------|
| A Debris flow granulari | E Frane a blocchi |
| B Debris flow viscoso-granulari | F Crolli/valanghe |
| C Debris flow viscosi | G Flussi iperconcentrati |
| D Mudflow | H Trasporto di fondo |

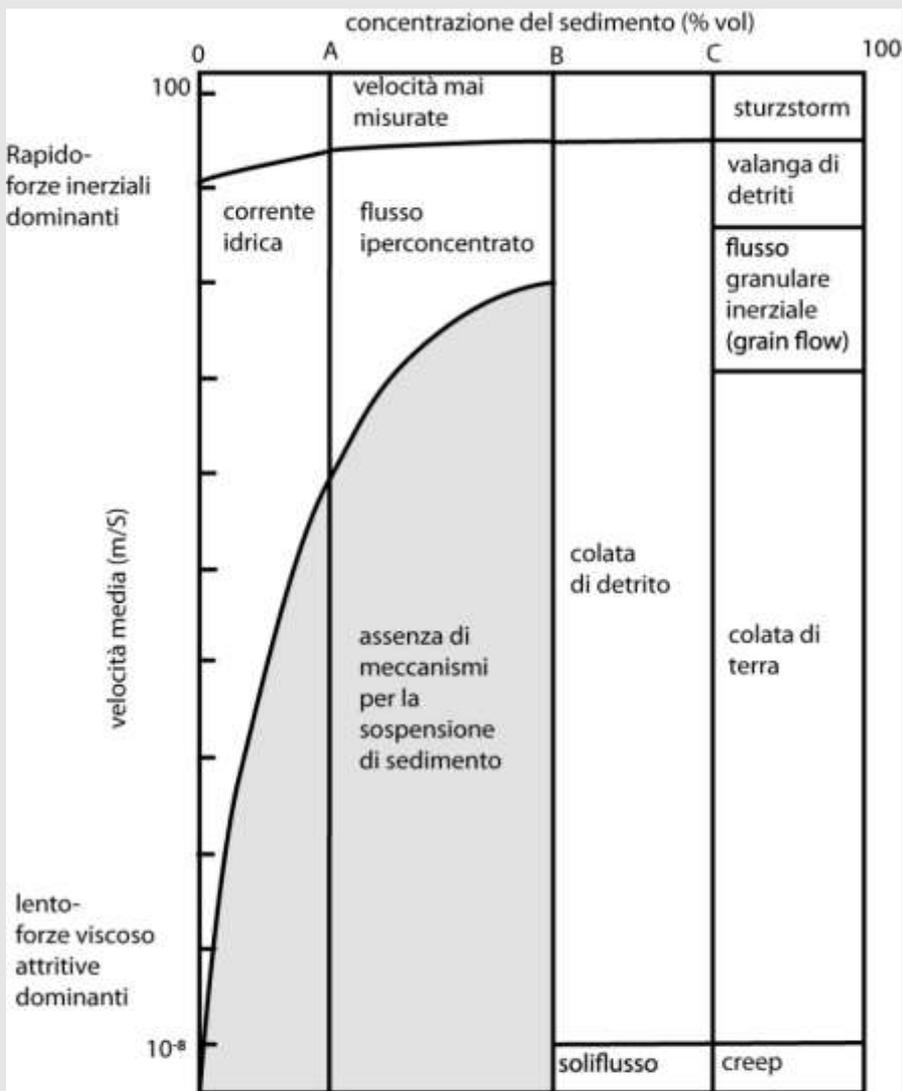
La classificazione di Coussot & Meunier (1996) è stata rivisitata da Schatzmann (2005), in modo tale da **evidenziare i diversi tipi di debris flow in funzione della concentrazione di sedimento e del contenuto di materiale fine, rispetto alla granulometria totale**. Essa pertanto rende possibile la distinzione tra debris flow granulari, debris flow viscosi e mudflow.

Un **debris flow granulare** è composto da acqua, una ridotta aliquota di materiale fine e un'abbondante parte di materiale grossolano. Normalmente si suddivide in una fase fluida, costituita dall'acqua con il materiale molto fine, e una fase solida, costituita dal materiale grossolano. Per contro si ha un **debris flow viscoso**, in cui tutto il materiale si comporta più o meno come un unico fluido viscoso e il flusso dell'intera miscela è laminare.

La concentrazione di sedimento è tendenzialmente elevata e il contenuto di materiale fine rispetto al totale è generalmente maggiore del 10%. In questo caso quindi le particelle grossolane sono immerse e sostenute in una miscela di acqua e materiale fine.

Infine si ha un **mudflow** quando l'ammontare di particelle fini è decisamente più elevato rispetto ad un debris flow viscoso. Anche in questo caso si distinguono una fase fluida da una solida, i cui effetti possono essere considerati trascurabili quando il contenuto di particelle grossolane è sufficientemente basso.

Classificazioni



Pierson & Costa (1987) definiscono colate detritiche in s.s. i fenomeni con **concentrazione volumetrica** compresa tra il 47 e il 77%, con **velocità** media compresa tra 101 e 10⁻⁸ m/s. I limiti verticali che distinguono le varie classi sono approssimati, giacché l'appartenenza di una miscela solido-liquida all'una o all'altra classe di processi dipende anche dalla distribuzione granulometrica e dalle caratteristiche fisiche e chimiche delle particelle.

Concentrazione solida in volume:

$$C_v = \frac{V_s}{V}$$

Flow	C_v (%)	Density (g/cm ³)
Water flood	0 - 20	1.0 – 1.33
Hyperc. flow	20 - 47	1.33 – 1.80
Debris flow	47 - 77	1.80 – 2.30

Pierson e Costa (1987)

tipo di fluido	newtoniano	non newtoniano	
fluido interstiziale	acqua	acqua+materiale fine	acqua+ aria+materiale fine
categoria di flusso	stream flow		granular flow
comportamento	liquido	plastico	

Classificazioni

Nome scientifico	<i>viscoplastico</i>	<i>collisionale-frizionale</i>	<i>frizionale-viscoso</i>
Modello reologico	Herschel-Bulkey Bingham	Coulomb	Coulomb a basse velocità, Newtoniano ad alte velocità
Nome comune	<i>fangoso</i>	<i>granulare</i>	<i>fluido</i>
Caratteristiche del deposito	superficie liscia con limiti netti, molto coesivo una volta asciutto	superficie scabra con limiti irregolari e non sempre definiti, non coesivo una volta asciutto	depositi terrazzati, molto coesivo quando asciutto
Pendenza d'arresto	< 2°	< 10°	< 1°
Granulometria	grani ++ matrice ++ argilla +	grani ++ matrice - argilla - -	grani - / + matrice ++ silt + argilla -

Classificazione reofisica (Bardou et al., 2003, modificata da Ancy, 1999). La notazione per il contenuto granulometrico è la seguente: + + contenuto molto elevato, + contenuto elevato, - contenuto basso, - - contenuto molto basso. Bardou et al. (2003) propongono una classificazione verificata tramite estese indagini di campagna su diversi bacini alpini. Lo scopo principale di tale modello classificativo è correlare gli aspetti geomorfologici, rilevabili sul terreno, con la meccanica dei fluidi e il comportamento reologico degli stessi, su cui si basano la maggior parte dei programmi di modellazione. Vengono quindi distinte tre categorie di debris flow, ad ognuna delle quali sono associati sia un appropriato modello reologico, sia delle particolare caratteristiche morfologiche.

Classificazioni

HUNGR (2001)

Hungr sosteneva che la classificazione di Varnes non fosse adatta per descrivere adeguatamente le colate Detritiche. Propone pertanto una sua classificazione basata oltre che sulla composizione della matrice dei flussi, anche sul contenuto interno d'acqua che viene espresso attraverso i limiti di Atterberg.

MATERIALE	CONTENUTO D'ACQUA	CONDIZIONI PARTICOLARI	VELOCITÀ	DENOMINAZIONE
Detrito	Saturo	Canale definito Aumento del contenuto d'acqua	Estremamente rapido	Colata di detrito (debris flow)
Fango	Limite di liquidità o superiore	Colata di detrito fine	Molto rapido	Colata di fango (mud flow)
Detrito	Presenza di acqua libera	piena	Estremamente rapido	Piena di detriti (debris flood)
Detrito	variabile	Assenza di canale ben definito Area di sorgente ripida e relativamente superficiale	Estremamente rapido	Valanga di detrito (debris avalanche)
Frammenti di roccia	Variabile, spesso materiale asciutto	Roccia intatta nelle rocce sorgente Grandi volumi	Estremamente rapido	Valanga di roccia (rock avalanche)

Classificazioni

HUNGR (2001)

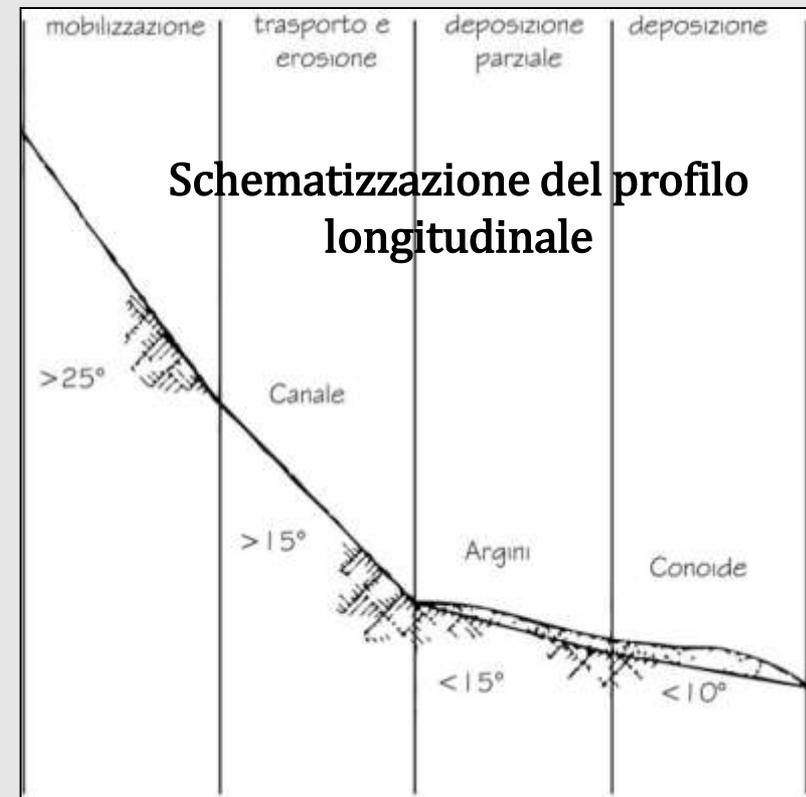
ORIGINE	CARATTERISTICHE	CONDIZIONI	NOME (italiano -inglese)
Classato (marina, lacustre, fluviale, eolica, vulcanica, antropogenica)	Non coesivo (indice plastico < 5%)	Secco o saturato	-Ghiaia (Gravel) -sabbia (sand) -limo (silt)
	Coesivo (indice plastico > 5%)	-Plastico ($w_L < 0,5$) -Liquido ($w_L > 0,5$)	-Argilla (Clay) -Argilla sensitiva (sensitive clay)
Non classato (residua, colluviale, glaciale, vulcanica, antropogenica)	Non coesivo (indice plastico < 5%)	Secco o saturato	-Detrito (Debris)
	Coesivo (indice plastico > 5%)	-Plastico ($w_L < 0,5$) -Liquido ($w_L > 0,5$)	-Terra (Earth) -Fango (mud)
Torba	Organico	Saturata	-Torba (Peat)
Roccia	frammentata	Secca o saturata	-Roccia (Rock)

Colate detritiche: zonazione



All'interno di una colata detritica si distinguono tipicamente **tre unità morfologiche**, caratterizzate da processi e forme ben differenziati.

(VanDine, 1996)

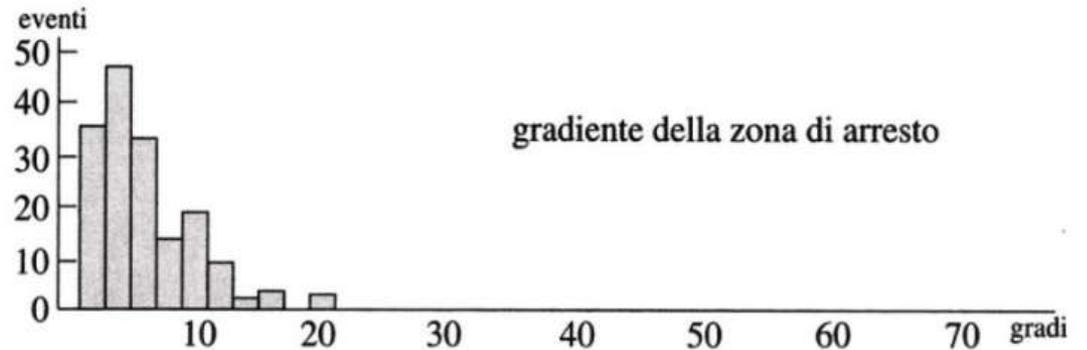
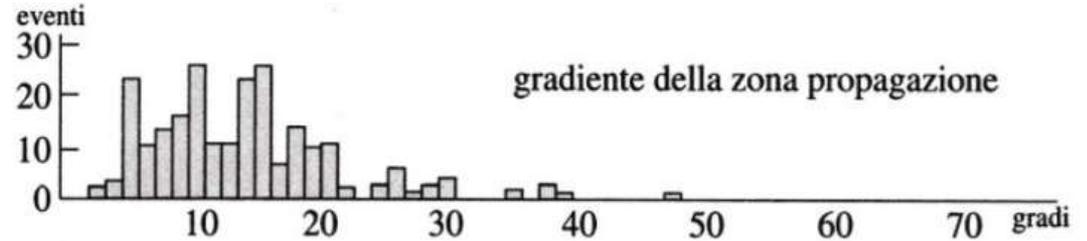
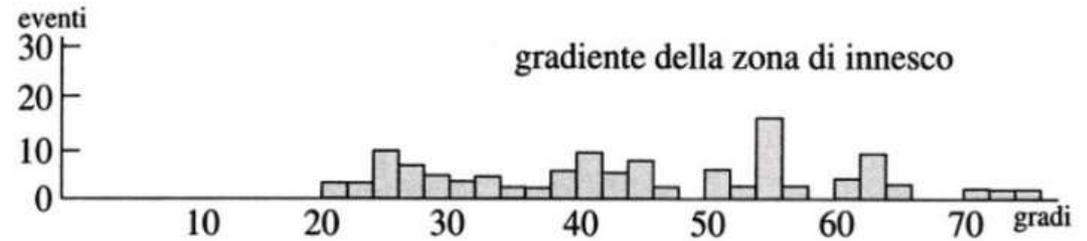


Innesco: $>15^\circ$; più frequentemente $25^\circ-45^\circ$

Inizio deposito: $8^\circ-16^\circ$, mediamente $8^\circ-10^\circ$

Pendenza minima conoide formato da debris flow: $3^\circ-4^\circ$

Colate detritiche: zonazione



Da PWRI 1987, in Pasuto e Tecca 2000

Ciascuna unità morfologica è caratterizzata da un diverso gradiente.

Colate detritiche: zona di innesco

ZONA DI INNESCO

Possono essere zone di convergenza topografica, con concentrazione dei deflussi sottosuperficiali; falde detritiche al piede di pareti rocciose; aree recentemente abbandonate dal permafrost, tratti superiori di torrenti soggetti ad apporti da parte di ghiacciai o nevai in scioglimento, ecc.



Rio Solari, Valcanale (UD, Italy)



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

Colate detritiche: canale di trasporto

ZONA O CANALE DI TRASPORTO

Lo scorrimento della colata avviene su canali preesistenti o di neoformazione, su falde detritiche o nella parte intermedia di torrenti esistenti, causando l'instabilità delle sponde degli stessi.

Si possono quindi distinguere debris flow canalizzati, ossia fenomeni che si incanalano e scorrono in impluvi preesistenti, percorrendo anche grandi distanze, e non canalizzati, nei quali il materiale è in grado di aprirsi un canale di scorrimento, ad esempio su una superficie di neoformazione in aree di interfluvio, permanendo su un versante senza subire troppi spostamenti.



Rio Solari, Valcanale (UD, Italy)

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.

