

Colate detritiche

(classificazione e fenomenologia dei processi torrentizi)



21.09.2009 13:15

Alcuni riferimenti bibliografici

- Cousot P., Meunier M., (1996): Recognition, classification and mechanical description of debris flows. *Earth-Science reviews* 40, 209-227.
- Pasuto A., Tecca P.R. (2000): debris flow. In *morfologia fluviale* Marchetti M., Pitagora Editrice Bologna, 107-123.
- Hungr O., Evans S.G., Bovis M.J., Hutchinson J.N. (2001): A review of the classification of landslides of the flow type. *Environmental and Engineering Geoscience*, 7 (3), 221-238.
- Marchi L., Arattano M., Deganutti A.M. (2002): Ten years of debris flow monitoring in Moscardo Torrent (Italian Alps). *Geomorphology* 46, 1-17.
- Bovis M. J., Jakob M. (1999): The role of debris supply conditions in predicting debris flow activity. *Earth surface and landforms and processes* 24, 1039-1504.
- Jemec Auflič M., Jež J., Popit T., Košir A., Maček M., Logar M., Petkovšec A., Mikoš M., Calligaris C., Boccali C., Zini L., Reitner J.M., Verbovšek T. (2017) The variety of landslide forms in Slovenia and its immediate NW surroundings. *Landslides*, doi: 10.1007/s10346-017-0848-1.
- Boccali C., Calligaris C., Zini L., Cucchi F., Lapasin R. (2014) Comparison of scenarios after ten years: the influence of input parameters in Val Canale valley (Friuli Venezia Giulia, Italy). G. Lollino et al. (eds.), *Engineering Geology for Society and Territory*. 2:525-529. doi: 10.1007/978-3-319-09057-3_87.
- Calligaris C., Zini L and Cucchi F. (2012) Ridefinizione delle soglie di innesco per colate di detrito nell'area della Valcanale. *Rassegna tecnica*, 2:20-23.
- Calligaris C. and Zini L. (2012) Debris flow phenomena: a short overview; *Earth Sciences*, Dr. Imran Ahmad Dar (Ed.); InTech (Croatia); 71-90. doi: 10.5772/29786.
- Calligaris C., Zini L., Kranitz F. e Manca P. (2012) Delimitazione delle aree a rischio da colate detritiche in Friuli Venezia Giulia; in proceedings of: SIGEA 2011-DISSESTO IDROGEOLOGICO, il pericolo geoidrologico e la gestione del territorio in Italia; SIGEA, CNR-IRPI, Roma 10 giugno 2011 – ISSN 1591-5352; 115-118.
- Boniello M. A., Calligaris C., Lapasin R., and Zini L. (2010) Rheological investigation and simulation of a debris- flow event in the Fella watershed - *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 10, 989-997. doi:10.5194/nhess-10-989-2010. ISSN: 1561-8633
- Calligaris C., Boniello M. A., Zini L. (2008) Debris flow modelling in Julian Alps using FLO-2D. *WIT Transactions on Engineering Sciences*, 60:81–88. ISSN: 9781845641184. doi: 10.2495/DEB080091.
- Boccali C., 2013. Caratterizzazione e modellazione di colate detritiche – Tesi di dottorato, Relatore: Zini L., Correlatori: R. Lapasin, C. Calligaris – A.A. 2012/2013.

Colate detritiche - generalità

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).

Le colate detritiche rientrano nella classe delle colate nella classificazione di Varnes.

Generalmente sono movimenti estremamente veloci; a causa della loro imprevedibilità sono tra i fenomeni più pericolosi e distruttivi che interessano i bacini montani

Avvengono lungo versanti e la rete idrografica secondaria.

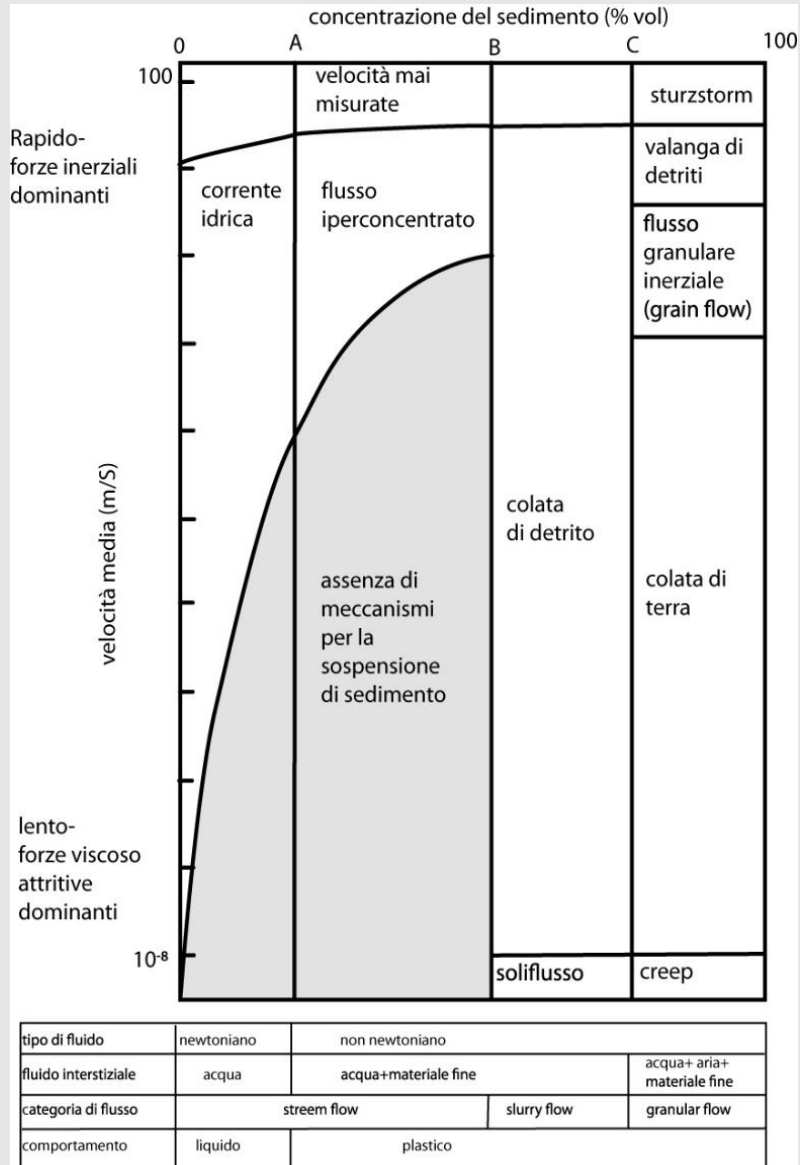
Frazione solida (35-70% in volume):

- Materiale detritico eterometrico (pelite – grossi blocchi)
- Detrito legnoso



www.antepriamafoto.it

Colate detritiche - classificazioni



Pierson e Costa (1987)

PIERSON E COSTA (1987)

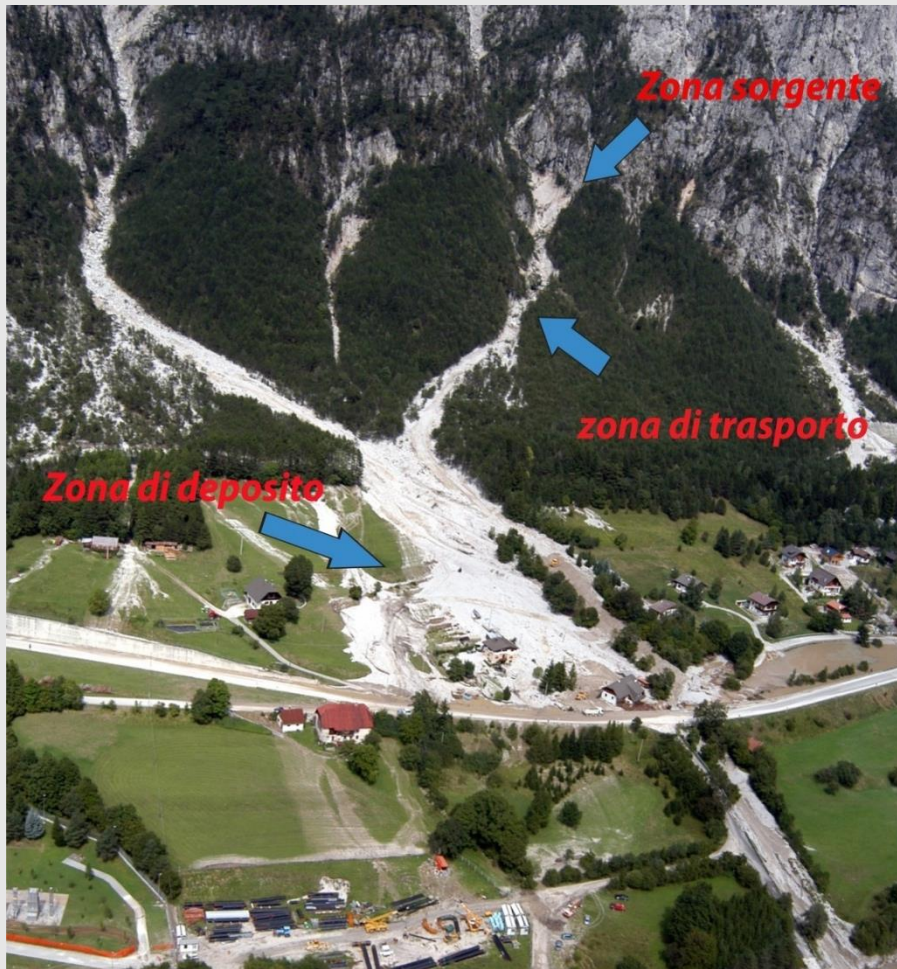
- I processi sono distinti in base alla velocità e alla concentrazione della frazione solida.
- In base alla concentrazione solida in volume viene fatta una classificazione su base reologica.
- Le correnti idriche hanno comportamento newtoniano, mentre i flussi iperconcentrati e debris flow sono accomunati da un comportamento non newtoniano.
- Il fluido interstiziale è costituito da acqua nel caso di correnti idriche, da acqua e particelle fini nel caso di fluidi iperconcentrati e nelle colate detritiche, da acqua aria e particelle fini nel caso di processi caratterizzati da concentrazioni solide più elevate.

Concentrazione solida in volume:

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

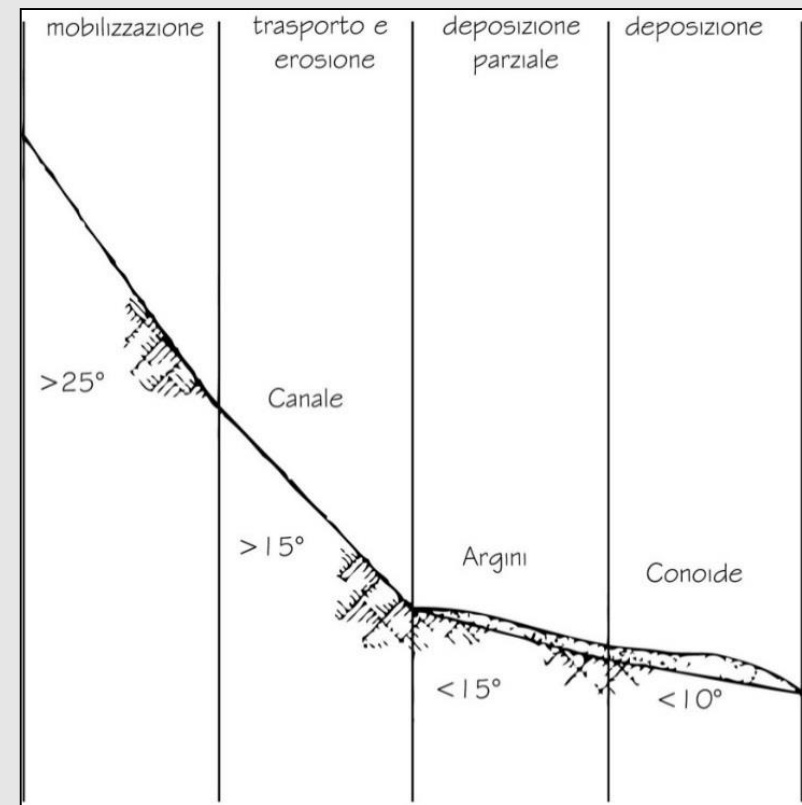
Flow	C_v (%)	Density (g/cm ³)
Water flood	0 - 20	1.0 – 1.33
Hyperc. flow	20 - 47	1.33 – 1.80
Debris flow	47 - 77	1.80 – 2.30

Colate detritiche – bacini interessati



Colata detritica Rio Cucco – Val Canale 29/08/2003

Schematizzazione del profilo longitudinale



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: $3^\circ-4^\circ$

Quali sono i presupposti affinché il fenomeno 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).

Disponibilità materiale

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

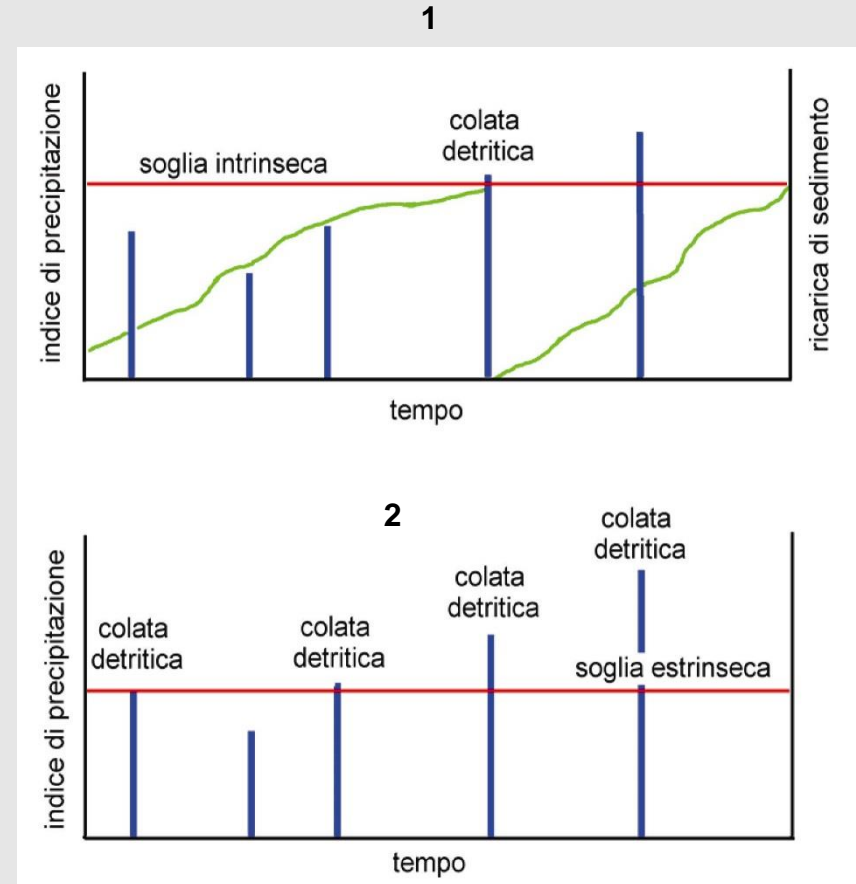
I bacini interessati da colate detritiche vengono distinti in due classi (**Bovis e Jakob, 1999**):

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.

MORFOLOGIA

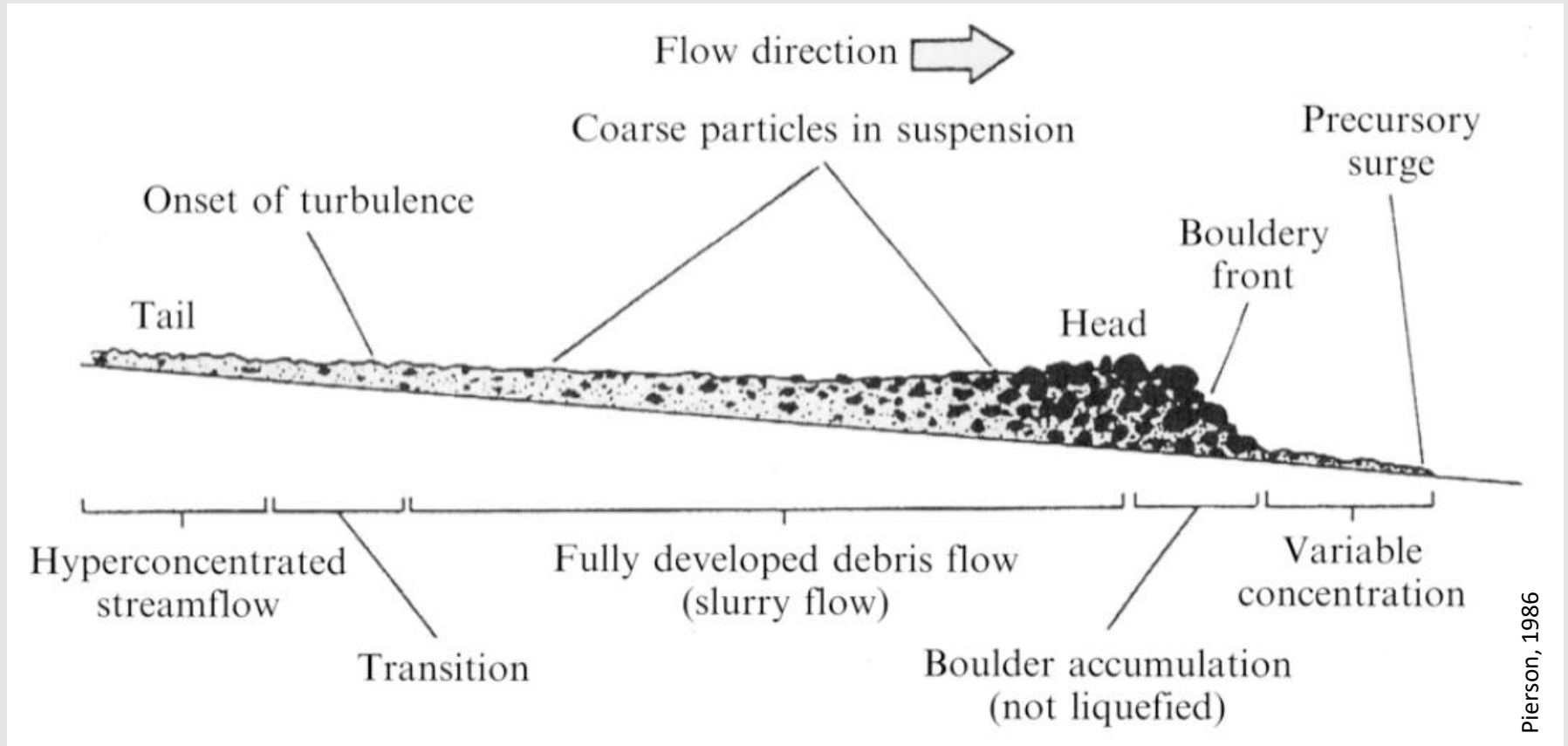
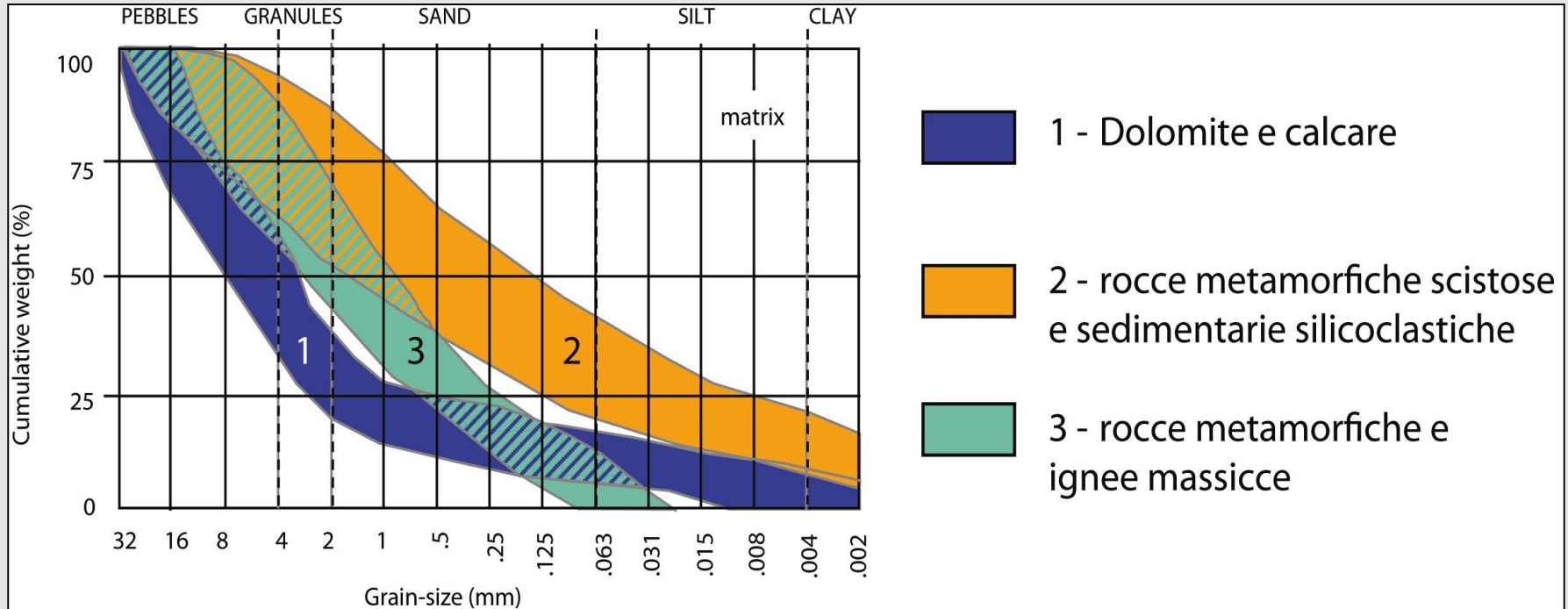


Diagram of a debris flow surge with a boulder front.

CARATTERISTICHE GRANULOMETRICHE DEI DEPOSITI



Da Marchi

Analisi granulometriche condotte sui depositi di numerose colate detritiche italiane (da Moscarriello et al., 2001)

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.

VELOCITA'

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>	

MAGNITUDO

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	Kronfeller-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) (m³)
V_r volume di deflusso liquido responsabile della formazione della colata detritica (m³)
A_d area del bacino (km²)
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 (Kronfeller-Kraus, 1985)
IG indice geolitologico (D'Agostino *et al.*, 1996)
IGM indice geolitologico (Brochet *et al.*, 2000)
SNV superficie non coperta da vegetazione (%)
L_c lunghezza dell'asta torrentizia (m)
S_f pendenza del conoide (%)

LA PREVISIONE 1

La previsione temporale definisce la probabilità che un evento franoso si inneschi in un determinato momento in una data area.

Solitamente, per operare la previsione di un innesco franoso si fa ricorso all'analisi delle **serie temporali dei fattori di innesco**. L'approccio basato sull'analisi delle **serie temporali degli eventi** è invece utilizzato principalmente per prevedere altri tipi di fenomeni che concorrono alla pericolosità naturale, quali ad esempio le piene. Ciò è dovuto al fatto che altri fenomeni, di cui è nota l'intensità, non hanno una distribuzione temporale casuale, in tal modo risulta possibile assegnare loro un tempo di ritorno con un soddisfacente grado di attendibilità.

Per le frane è più complicato stabilire un tempo di ritorno poiché gli eventi franosi hanno frequenze e ripetitività piuttosto basse nonché intensità molto variabili.

Per questo motivo viene usata **l'analisi delle serie temporali dei fattori di innesco: la probabilità che avvenga una frana è data dalla somma delle probabilità dei diversi fattori di innesco (Canuti e Casagli, 1996).**

LA PREVISIONE 2

La maggior parte delle tipologie di frana sono condizionate a fattori che sfuggono ad un controllo di tipo probabilistico (attività antropica, sismi, assestamenti strutturali degli ammassi rocciosi...) poiché non caratterizzabili temporalmente.

Le uniche tipologie di frana di cui è possibile prevedere temporalmente l'innescò sono dunque quelle le cui cause sono esse stesse prevedibili.

Le **piogge** sono la causa di innesco che più si presta ad un approccio previsionale, di conseguenza le frane ad innesco piovoso sono le uniche a poter essere previste con un soddisfacente grado di affidabilità una volta determinate le relazioni dirette che intercorrono tra altezze pluviometriche e inneschi.

LA PREVISIONE 3

PIOGGE D'EVENTO

Le frane che mostrano una correlazione diretta con le precipitazioni sono le cosiddette frane superficiali o frane per fluidificazione della coltre superficiale o soil slip.

PIOGGE ANTECEDENTI

Esistono poi altri fenomeni il cui innesco è correlabile alle precipitazioni, anche se con modalità più complesse e meno dirette rispetto alle frane superficiali: i flussi in terra e/o in detrito caratterizzati da una superficie di movimento profonda (profondità $>$ a 1.5m), gli scivolamenti traslativi e rotazionali...e perché no, anche le DGPV.

LA PREVISIONE 4

La previsione temporale di un innesco di un fenomeno franoso si traduce nell'identificazione della sua probabilità di accadimento che fornisce una valutazione assoluta della pericolosità.

Per operare una previsione di tipo temporale occorre far riferimento ad entità cronologiche ben definite; si devono quindi considerare dei **marker temporali** quali: **ora, giorno, mese ed anno** (in ordine decrescente di risoluzione).

Perciò, la probabilità che un fattore causa di innesco si presenti, deve necessariamente essere correlabile ad un intervallo di tempo di riferimento.

Al fattore di innesco pioggia, è attribuibile un **tempo di ritorno** espresso come

$$T_r = I/P$$

dove P è la probabilità di occorrenza di un evento caratterizzato da una nota intensità I in un dato intervallo di tempo.

Per gli eventi caratterizzati da precipitazioni piovose, l'intervallo temporale di riferimento è espresso in anni.

LA PREVISIONE 5

Il problema successivo è individuare i rapporti diretti che intercorrono tra le grandezze pluviometriche e gli inneschi dei fenomeni franosi ad esse correlabili. Come indicatore della probabilità che si verifichi un fenomeno franoso viene considerato generalmente una quantità di precipitazione corrispondente alla soglia di attivazione.

Si parla allora di **SOGLIE PLUVIOMETRICHE**.

LE SOGLIE PLUVIOMETRICHE

La loro definizione viene affrontata attraverso 2 tipologie di modello:

MODELLI EMPIRICI

Si basano su elaborazioni di tipo statistico volte all'individuazione di rapporti diretti tra le precipitazioni e l'innesco dei fenomeni franosi

MODELLI DETERMINISTICI

Si basano su modelli numerici che forniscono una valutazione delle condizioni di stabilità di un versante tramite l'analisi quantitativa delle variabili in gioco: bilancio idrologico, altezze piezometriche e ricarica delle falde, dati geotecnici e morfometrici del versante....

APPROCCIO EMPIRICO

L'approccio empirico vede come parametro fondamentale la precipitazione cumulata (solitamente espressa in mm), in un dato intervallo di tempo (solitamente espresso in ore o giorni). Il passo successivo consiste nell'associare una funzione del tipo $y(t) = f[x(t)]$, che dipende dalle piogge cadute prima dell'istante t , dalla probabilità P di innesco di un fenomeno franoso E all'istante t .

$$P[E_t] = \begin{cases} 0 & \text{se } Y(t) \leq Y_s \\ 1 & \text{se } Y(t) > Y_s \end{cases}$$

In letteratura esistono molti esempi a riguardo, in particolare si individuano due famiglie di soglie:

- ① soglie con approccio semplice: definite tramite l'involuppo o interpolazione delle quantità minime di pioggia necessarie per l'attivazione di fenomeni franosi;
- ② soglie con approccio avanzato: analoghe alle precedenti, ma distinte da queste poiché vengono considerati anche aspetti indicativi riguardanti la geologia, la geomorfologia, i regimi pluviometrici ed il contributo delle piogge antecedenti.

SOGLIE CON APPROCCIO SEMPLICE

Per definire le SOGLIE SEMPLICI vengono utilizzate 3 metodologie:

- 1) **VALORI DI PRECIPITAZIONE MASSIMA** cioè si valutano i massimi giornalieri delle precipitazioni (Y);
- 2) **CURVE DI PRECIPITAZIONI CUMULATE/DURATA**, si valuta il valore di altezza di pioggia massima (Y) per un determinato intervallo di tempo di durata d

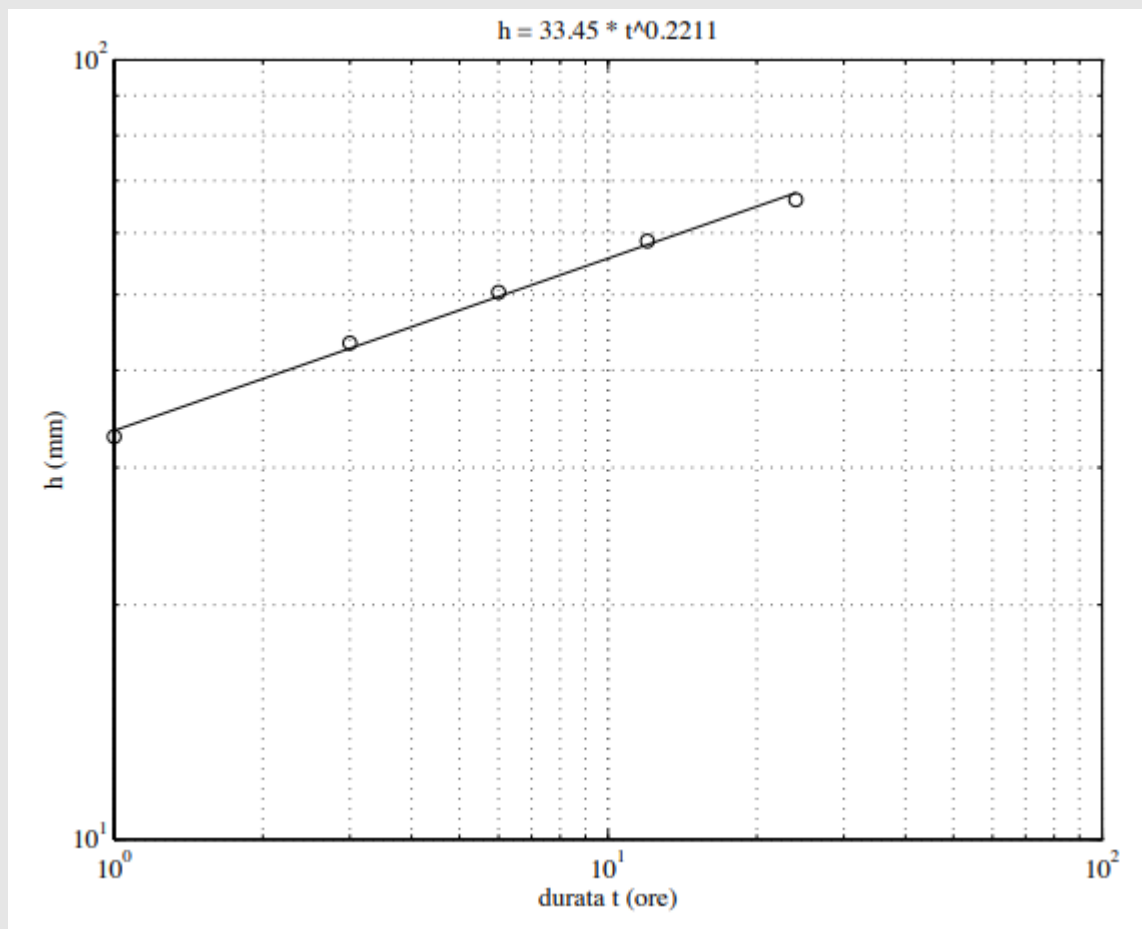
$$y(d) = \int_0^d y(t) dt$$

il rapporto tra durata e pioggia cumulata è governato da una **legge potenza** che definisce la «**curva di possibilità pluviometrica**» calcolate per determinati tempi di ritorno

$$Y = ad^n$$

in cui i parametri a ed n (funzioni di T , con T tempo di ritorno) sono da stimare sulla base delle serie storiche dei massimi annuali delle altezze di precipitazione disponibili per le differenti durate pubblicate negli Annali Idrologici: 1, 3, 6, 12 e 24 ore.

Le curve di possibilità pluviometrica (o curve Intensità-Durata-Frequenza, IDF)



SOGLIE CON APPROCCIO SEMPLICE

3) CURVE DI INTENSITA' DI PRECIPITAZIONE/DURATA in cui si valutano i rapporti tra intensità di pioggia I e durata dell'evento D espressi mediante la relazione

$$I = f(D)$$

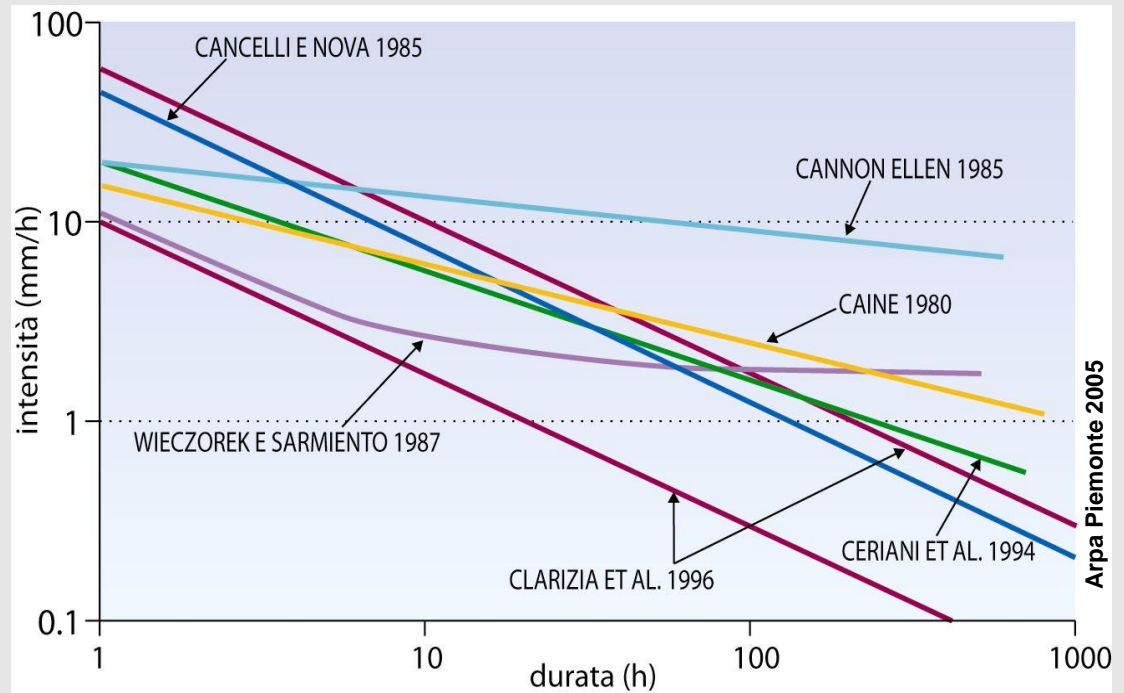
Le soglie semplici hanno validità per intervalli temporali ristretti (alla scala dell'evento piovoso), quindi per quei fenomeni franosi detti «istantanei», il cui innesco non è governato dalle piogge antecedenti l'evento pluviometrico rivelatosi determinante.

Per questo tipo di soglie la pioggia considerata critica è quella caduta dall'inizio dell'evento piovoso sino all'innesco della frana.

SOGLIE EMPIRICHE DI PRECIPITAZIONE

Volto all'individuazione di una correlazione tra la pioggia e l'innesco delle colate detritiche.

Il metodo empirico pluviometrico di solito associa la probabilità che un fenomeno franoso si inneschi all'istante t ad una funzione che dipende dalle precipitazioni che l'hanno preceduto. Per le colate detritiche la funzione viene identificata con l'intensità oraria media I mentre il tempo t con la durata della precipitazione D .



$$I = aD^b$$

Dove:

I: intensità media (mm/h)

D: durata evento (h)

a e **b** sono dei coefficienti definiti su base statistica

SOGLIE CON APPROCCIO AVANZATO

Per determinare le «**soglie avanzate**» si considera il contributo dato dalle piogge, espresse come pioggia giornaliera cumulata, antecedenti l'evento per intervalli temporali plurigiornalieri:

$$y = \int_{i=1}^n x_i$$

Dove X_i indica i valori di pioggia giornaliera cumulata del giorno iesimo.

SOGLIE CON APPROCCIO AVANZATO

Nel **1988 Capecchi e Focardi** introducono un indice di precipitazione espresso dalla seguente funzione:

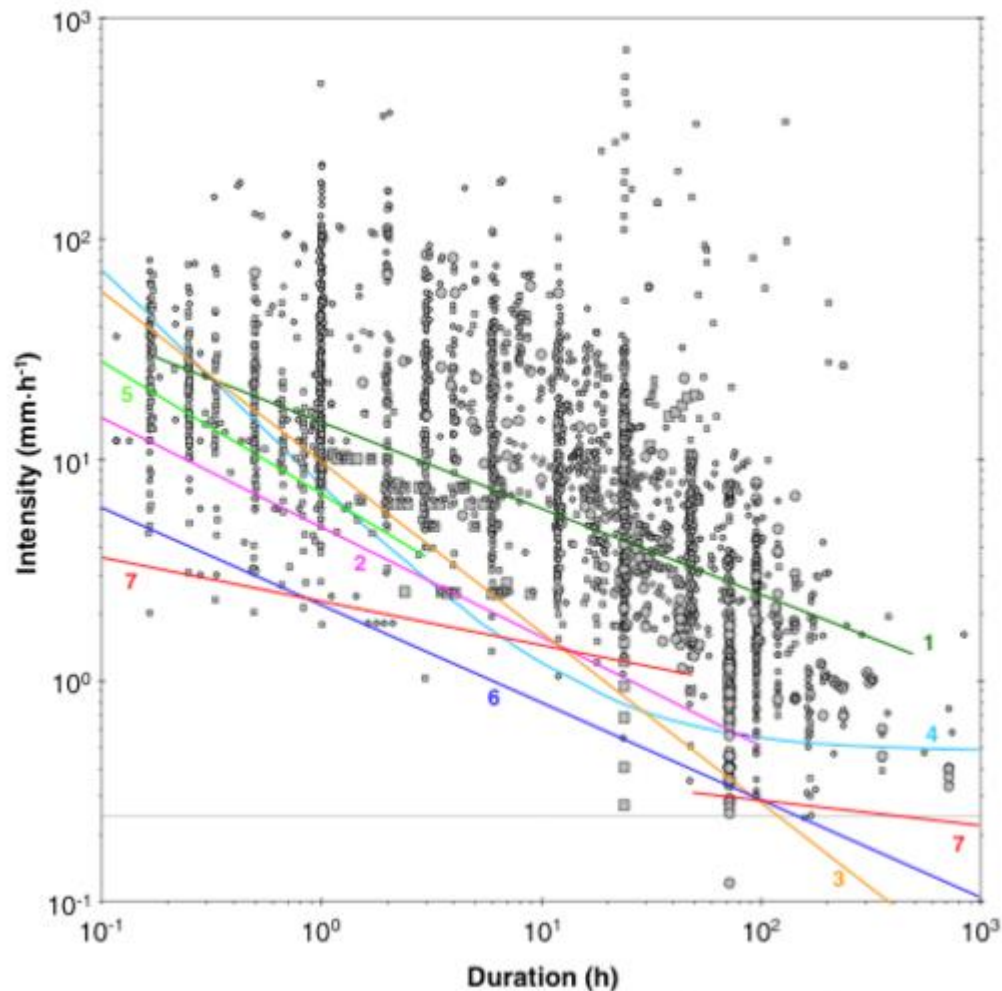
$$y = \frac{1}{y_0} \int_0^n x_i \lambda^{n-1}$$

Dove y_0 identifica il valore soglia di pioggia critica espresso come massimo di pioggia con tempo di ritorno e durata prefissati mentre λ è il coefficiente con valori compresi tra 0 e 1 che rappresenta indicativamente le condizioni idrogeologiche dell'area di interesse.

Il maggior problema legato all'utilizzo di questo tipo di soglie consiste nello stabilire quale sia il numero di giorni piovosi precedenti l'evento che realmente contribuiscono all'innescio.

Tale valutazione può essere fatta solo su base statistica e sperimentale (back analysis) mantenendo elevato il margine di incertezza.

SOGLIE GLOBALI



Guzzetti et al., 2008

The rainfall intensity–duration control of shallow landslides and debris flows: an update

Fig. 7 Comparison between the global ID thresholds defined in this study and published global (worldwide) ID rainfall thresholds. 1 Caine (1980); 2 Innes (1983); 3 Clarizia et al. (1996); 4 Crosta and Frattini (2001); 5 Cannon and Gartner (2005); 6 threshold inferred from the entire set of ID rainfall data (this work); 7 thresholds inferred from the probability estimates of the rainfall conditions, for two different rainfall periods ($D < 48$ h, and $D \geq 48$ h) (this work). Dashed line shows 0.25 mm h^{-1} rainfall intensity