CORSO DI LAUREA TRIENNALE RTTP
Curriculum in TUTELA e RIASSETTO DEL TERRITORIO

**Corso di Tutela del paesaggio agricolo-forestale e riassetto idraulico del territorio**

Titolare: Prof. Mario A. Lenzi

MODULO 3 – IL PERICOLO IDRAULICO

DEL TERRITORIO MONTANO

# Introduzione alla mappatura delle aree di pericolo

ITALIA superficie 301,277 km$^2$, dei quali il 75% è rappresentato da aree montane o collinari

Rilievi: I picchi delle Alpi raggiungono quote di 2700 - 4800 m s.l.m., mentre quelli della catena appenninica raggiungono quote di 2000 - 2800 m s.l.m.

Clima: Nelle regioni Centrali e del Meridione, clima spiccatamente mediterraneo
Nelle regioni del Nord, clima tendenzialmente mediterraneo ma influenzato dalla presenza della catena alpina (buona distribuzione delle precipitazioni, mancanza di una "stagione secca").

Precipitazioni annuali: Max: 2000 mm nelle aree PreAlpine e negli Appennini del Nord;
Min: < 600 mm nelle regioni del Sud Italia.

In buona parte delle aree montane vi è una quota di precipitazioni annuali piuttosto abbondanti. Ciò favorisce la possibilità di accadimento di piene improvvise, frane e colate detritiche.

Frane e colate detritiche sono eventi parossistici tra i più frequenti e distruttivi nelle aree montane in Italia. Il loro accadimento è continuamente fonte di danni economici per interruzione di vie di comunicazione e danneggiamento di infrastrutture abitative o produttive, nonché di perdita di vite umane.

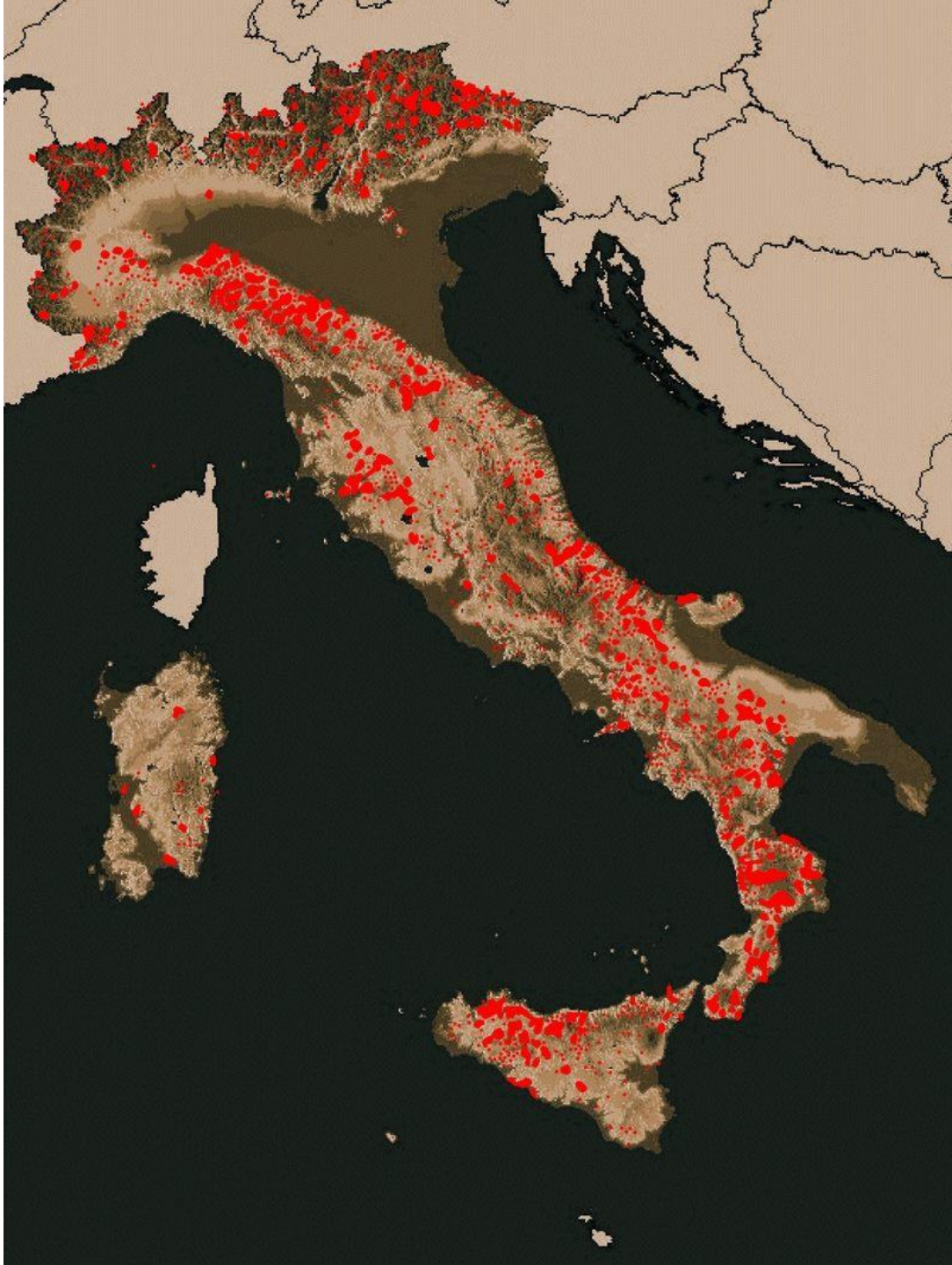
# Frane e colate detritiche in Italia

Perdita di vite umane
10.555 dal 1400

Investimento per la mitigazione del rischio
16 Miliardi di Euro
(0,6 ‰ del PIL)

Danni
1 Miliardo di Euro all'anno
1,5 ‰ del PIL)- Negli ultimi 3 anni-2016-17-18, sui 6 miliardi (il doppio).

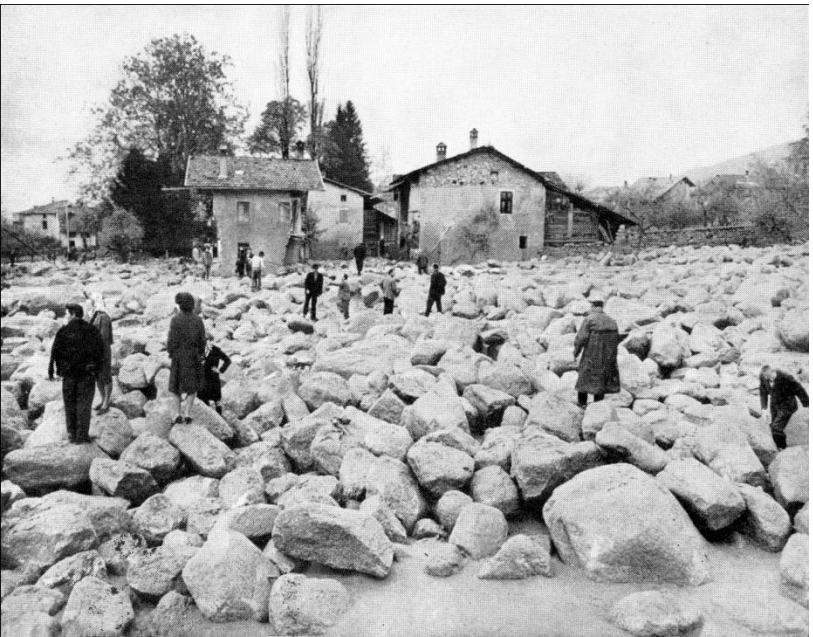
Comuni a rischio (L. 445/1908)
1.629



# Tra i piu distruttivi eventi negli ultimi 150 anni:

- Tra il 17 ed il 18 Agosto 1891 una colata detritica di 500.000 m3 nel torrente Gonder distrusse 20 case e mieté 39 vite in un centro abitato posto sul conoide;

- Il 9 Agosto 1921 una colata di 500.000 m3 nel torrente Tina seppellì di sedimenti il paese di Chiusa causando ingenti danni;



- Il 4 Novembre 1966, in corrispondenza di una delle più severe piene del torrente Chieppena, il paese di Strigno (TN) venne sepolto di sedimenti trasportati da un evento di colata detritica;

Venzo & Largaiolli, 1968

- Nel torrente Inferno (Maggio 1983) una colata detritica generata da un bacino di 0.2 Km2 trasportò un volume di sedimenti compreso tra 750000 e 1000000 m3 distruggendo diverse abitazioni e interrompendo alcune vie di comunicazione;

-Nei giorni 4, 5 e 6 Maggio 1998,
-una serie di frane e colate di fango
-e sedimenti seppellirono le città di
-Sarno e Quindici (Campania)
-causando 159 morti;

(AP Photo)

• 6 Dicembre 2004, Villagrande Strisaili (Sardegna): una colata detritica del volume stimato di 10.000 $m^3$ provocò ingenti danni e la morte di due persone;

- Nell'Ottobre 2000 diverse piene e colate detritiche in piccoli bacini della Val d'Aosta causarono numerose vittime e danni per 500 milioni di Euro.

# 1 Ottobre 2009- Messina-Giampilieri, (Sicilia) - Frane e colate di fango-  31 vittime

# FRANE E COLATE DETRITICHE – 2010-2015

CITTA' DI GENOVA

5 TERRE

TORRENTE VARA

FIUME MAGRA

(LIGURIA-TOSCANA)

Frane, colate di fango + trasporto legname in alveo

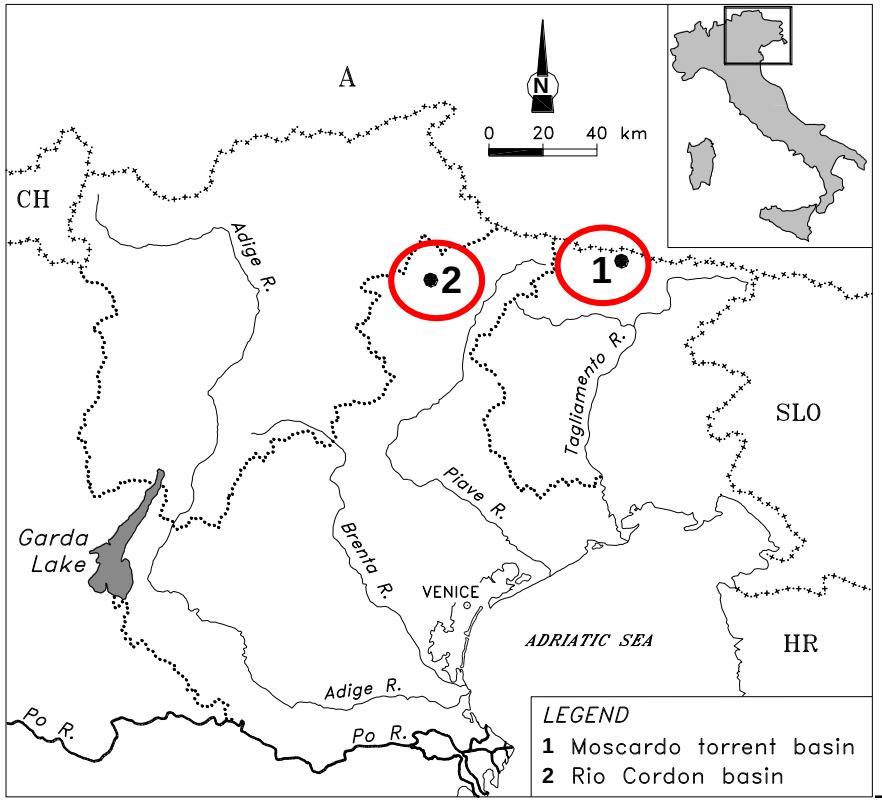
Numerose vittime

# Tipologie di trasporto solido torrentizio

## Classificazione di *Aulitzky (1973)*

- **Trasporto solido in sospensione (*flood creek*)**
- **Trasporto di fondo (*bedload*)**
- **Correnti iperconcentrate (*debris flood*)**
- **Colate detritiche (*debris flow*)**
- **TRASPORTO LEGNAME IN ALVEO**

# Due bacini diversi, caratterizzati da tipologie di trasporto diverse, entrambi monitorati per la misura del trasporto solido:



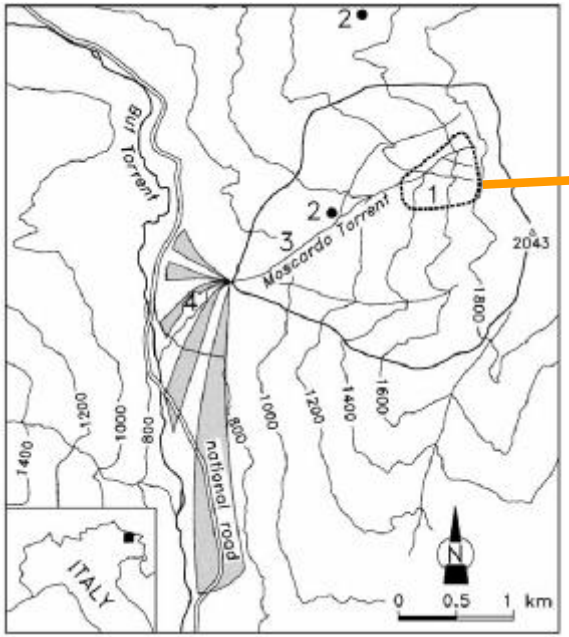

Entrambi sono bacini tipici dell'area alpina orientale

- Precipitazioni annue:

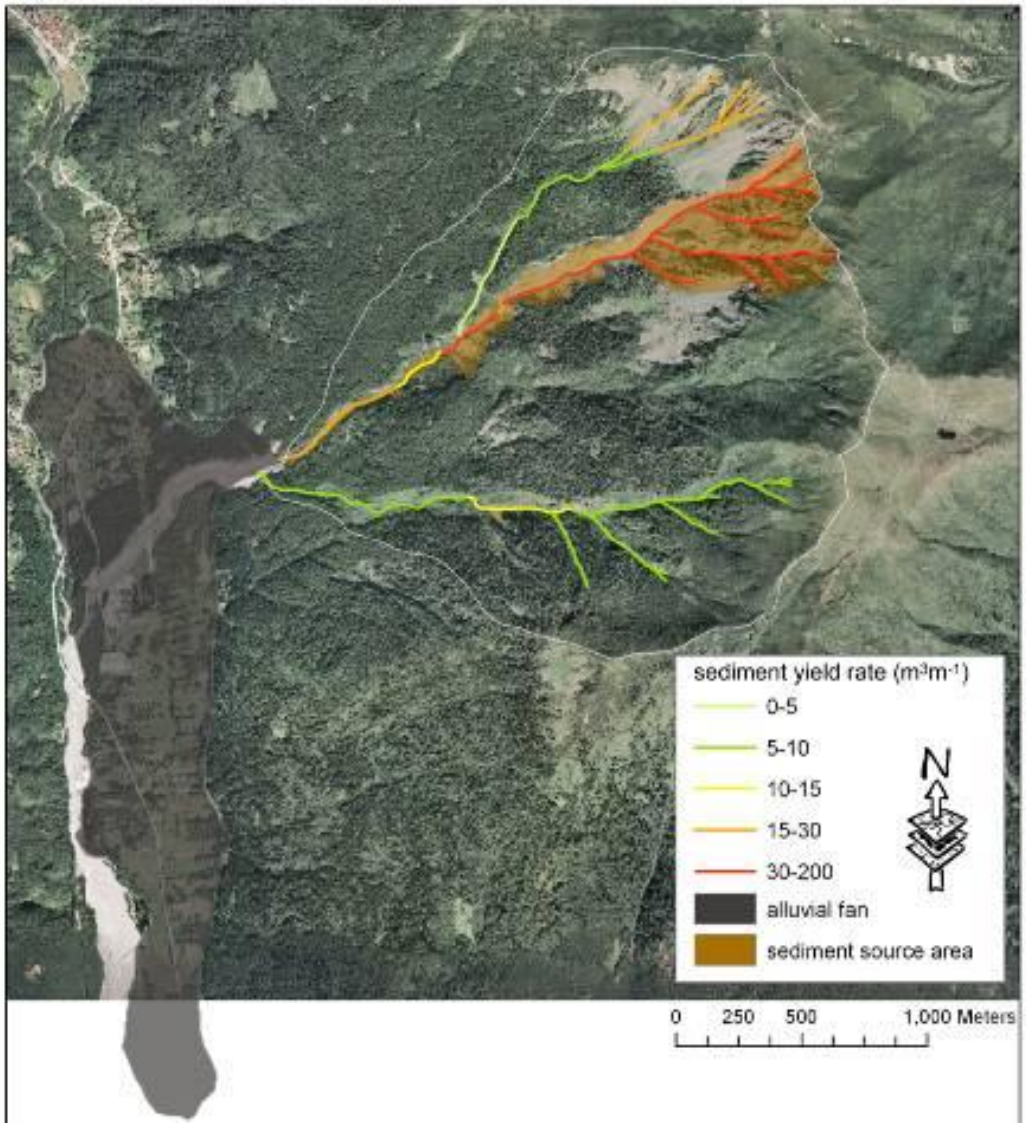
1,660 mm nel bacino del Torrente Moscardo (1)
1,100 mm nel bacino del Rio Cordon (2)

| | Rio Cordon | Moscardo Torrent |
|---|---|---|
| Basin area ($km^2$) | 5.0 | 4.1 |
| Minimum elevation (m.a.s.l.) | 1763 | 890 |
| Maximum elevation (m.a.s.l.) | 2748 | 2043 |
| Mean hillslopes gradient (%) | 52 | 63 |
| Length of the main channel (km) | 2.84 | 2.76 |
| Mean gradient of the main channel (%) | 13.6 | 37 |

# Torrente Moscardo (Carnia, Regione Friuli - Venezia Giulia)



# Il bacino del Torrente Moscardo

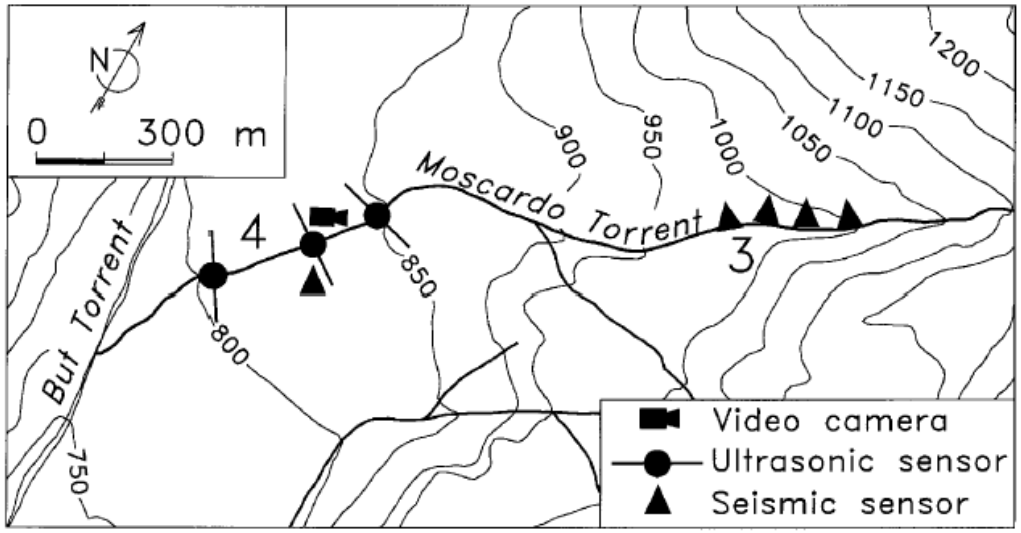



Copertura forestale 64%
Arbusteti 18%
Suoli nudi 18%

Geologicamente caratterizzato da presenza di flysch e arenarie, estremamente fratturate. Depositi quaternari molto abbondanti

**ILLIMITATA DISPONIBILITA' DI SEDIMENTI**

# Strumentazione disponibile nel Torrente Moscardo




Sistema di monitoraggio delle colate detritiche funzionante dal 1989.

STRUMENTAZIONE INSTALLATA:

- Pluviometri
- Sensori ad ultrasuoni per la misura dello spessore dei fronti e corpi di colata
- Sensori sismici per la registrazione delle vibrazioni causate dal passaggio di colate detritiche
- Videocamera

# Eventi registrati nel Torrente Moscardo

Dal 1990 al 1998 sono stati monitorati 14 eventi di colata detritica, da eventi di bassa magnitudo ad eventi intensi, con volumi trasportati di 60,000 $m^3$.

# RIO CORDON (Dolomiti, Regione Veneto)

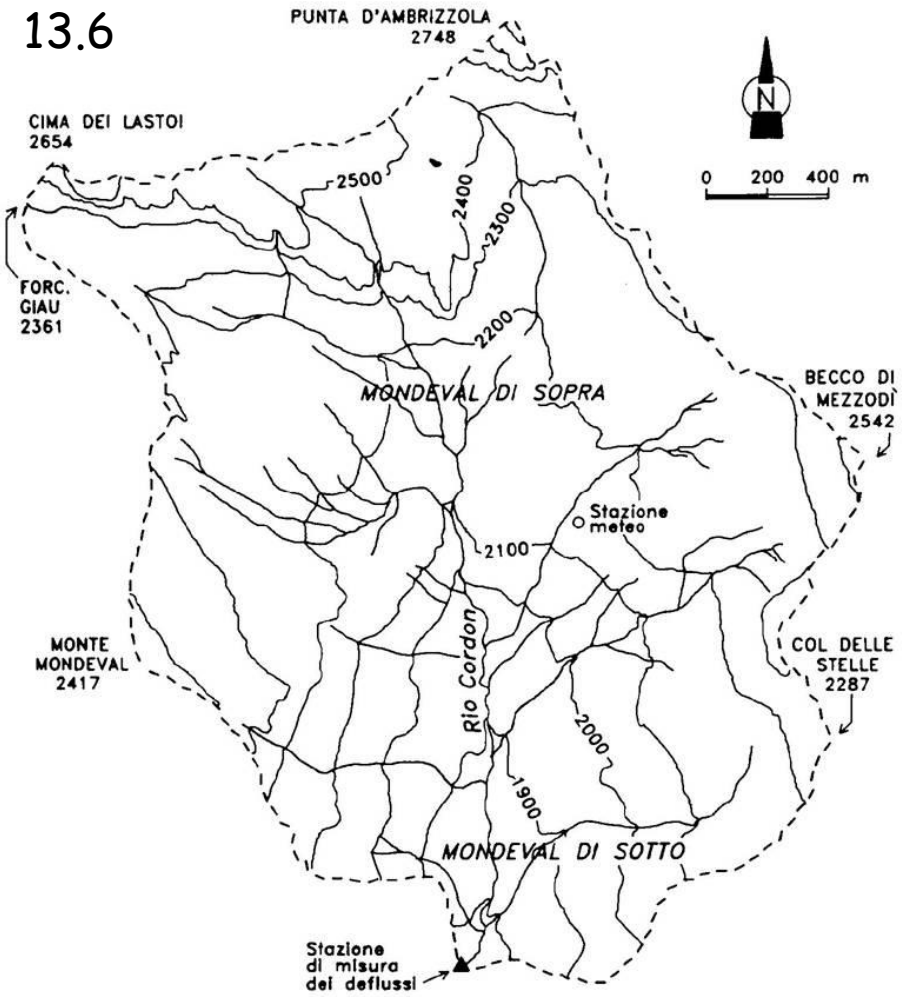
# Rio Cordon (Dolomiti, Italia Nord-Occidentale)

| | | |
|---|---|---|
| Superficie del bacino | ($Km^2$) | 5.00 |
| Altitudine min. | (m.a.s.l.) | 1763 |
| Altitudine max. | (m.a.s.l.) | 2763 |
| Precipitaz. annuali | (mm) | 1100 |
| Pend. collettore principale | (%) | 13.6 |

Geologia: materiali di natura dolomitica e i conglomerati vulcanoclastici. Notevole disponibilità di materiale morenico-detritico.

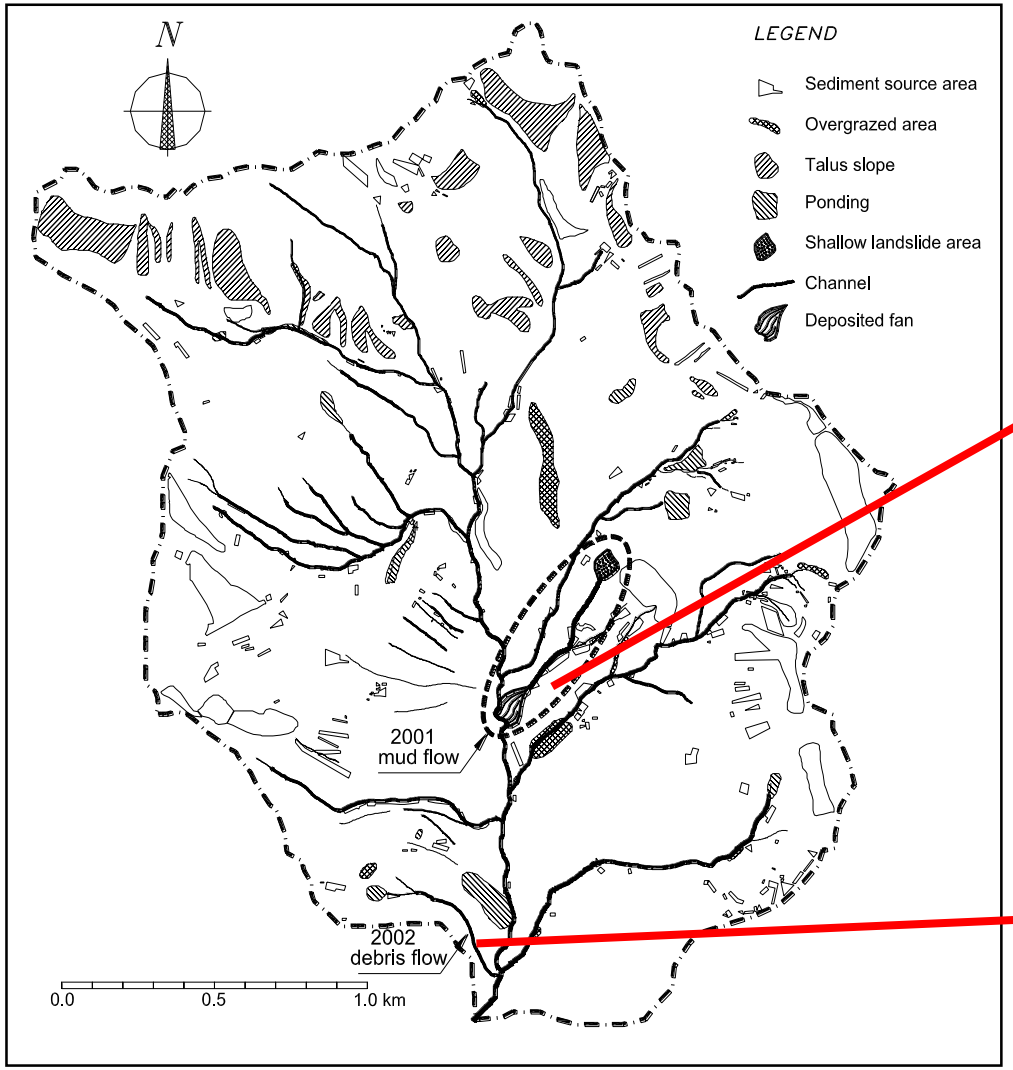
Copertura forestale 7% della superficie.

Deflussi: da scioglimento nivale in Maggio-Giugno; da eventi meteorici temporaleschi in Luglio-Agosto; da precipitazioni prolungate in Settembre-Ottobre.



# Rio Cordon: Sorgenti di sedimento

In tutto il bacino esiste una notevole disponibilità di materiale detritico (ghiaioni morenici, dissesti superficiali, erosioni di sponda, canaloni di colata, etc.).




Frana di versate – *mud-flow* (2001). Il volume distaccatosi dalla nicchia è stato quantificato in 4176 $m^3$.

Frana nel versante veicolata a valle come *debris-flow* (2002).

# Rio Cordon: Stazione di misura

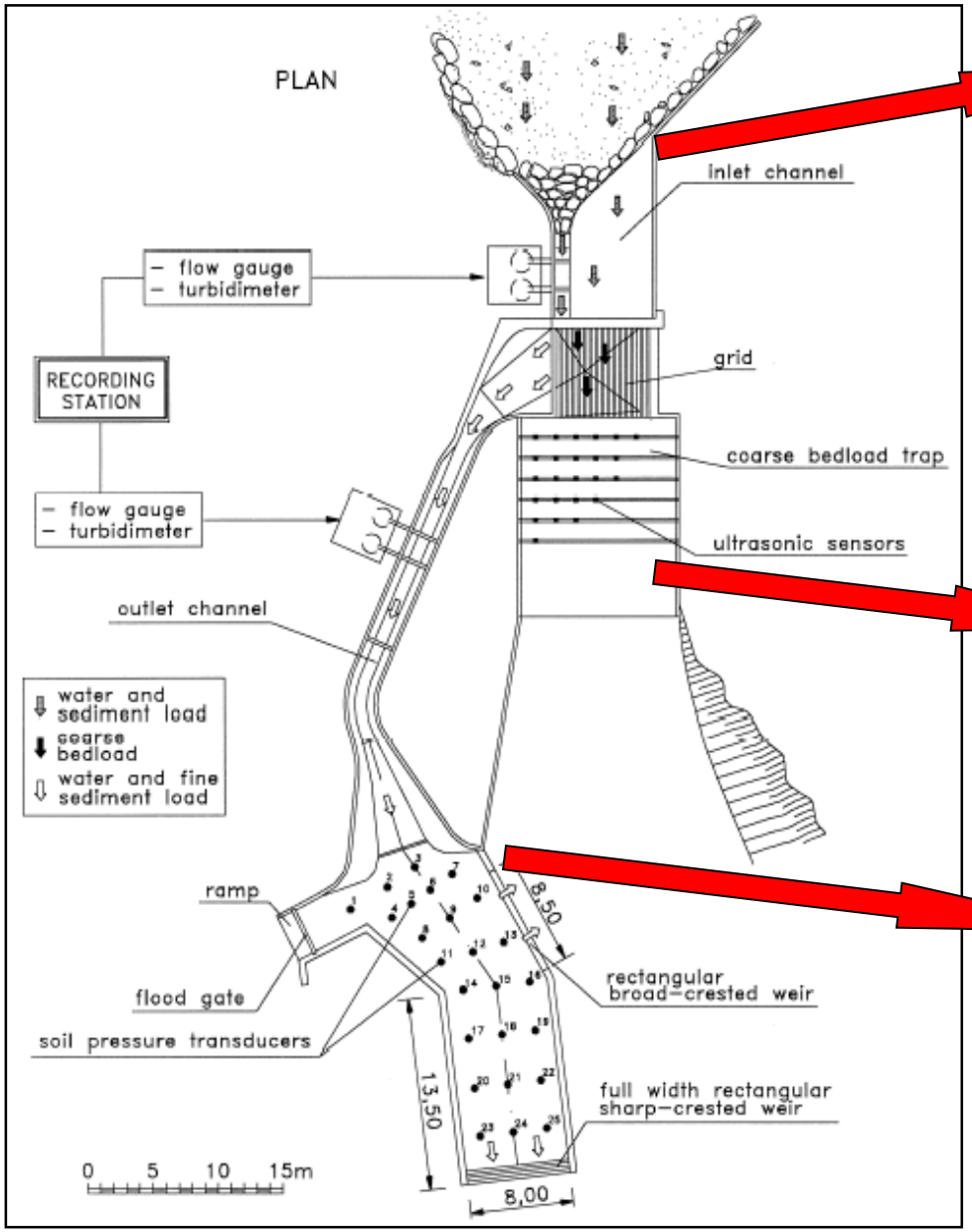
Dal 1986 è funzionante una stazione sperimentale per il monitoraggio in continuo dei deflussi liquidi e solidi (intervallo orario, e ogni 5' durante le piene). Il principio di funzionamento si basa su una griglia filtrante inclinata che separa i materiali grossolani (Ø > 20mm) da quelli fini.

Portata liquida: misurata in continuo da Marzo a Dicembre da tre idrometri a galleggiante (canale di entrata, di uscita e vascone di sedimentazione).

Trasporto solido grossolano: Nel piazzale di deposito si accumula il materiale grossolano che scivola sopra la griglia, mentre la rimanente frazione fine, che vi filtra attraverso, viene recapitata alla vasca di raccolta. La misura del sedimento grossolano avviene (ogni 5') per mezzo di 24 sensori ad ultrasuoni posizionati al di sopra della piazza di deposito.

Trasporto in sospensione: Misurato attraverso due torbidimetri: uno strumento *Hach SS6* a riflessione e rifrazione di luce situato nel canale di imbocco, e un *Partech 7000-3RP* ad assorbimento di luce installato lungo il canale derivatore in uscita dalla stazione. Entrambi i sensori torbidimetrici sono installati in corrispondenza degli idrometri, così da poter misurare al tempo la portata e la concentrazione media di sedimenti in sospensione.

# RIO CORDON Stazione di misura



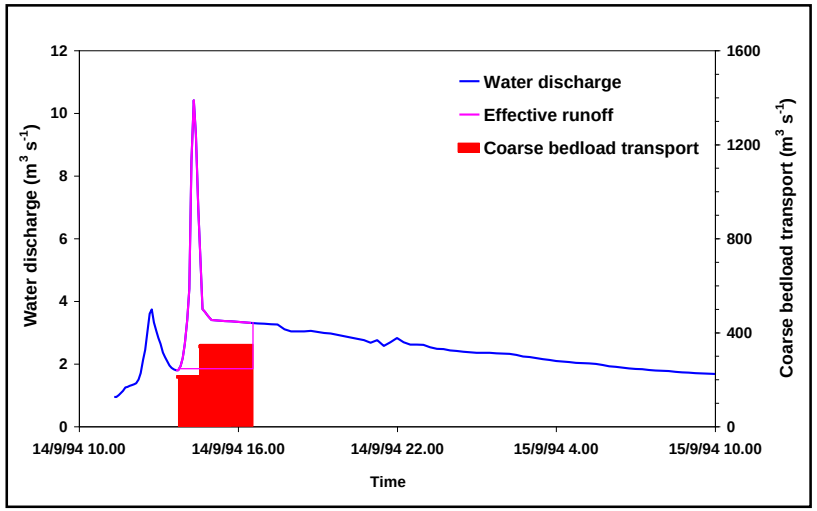
# Evento eccezionale del 14 Settembre 1994

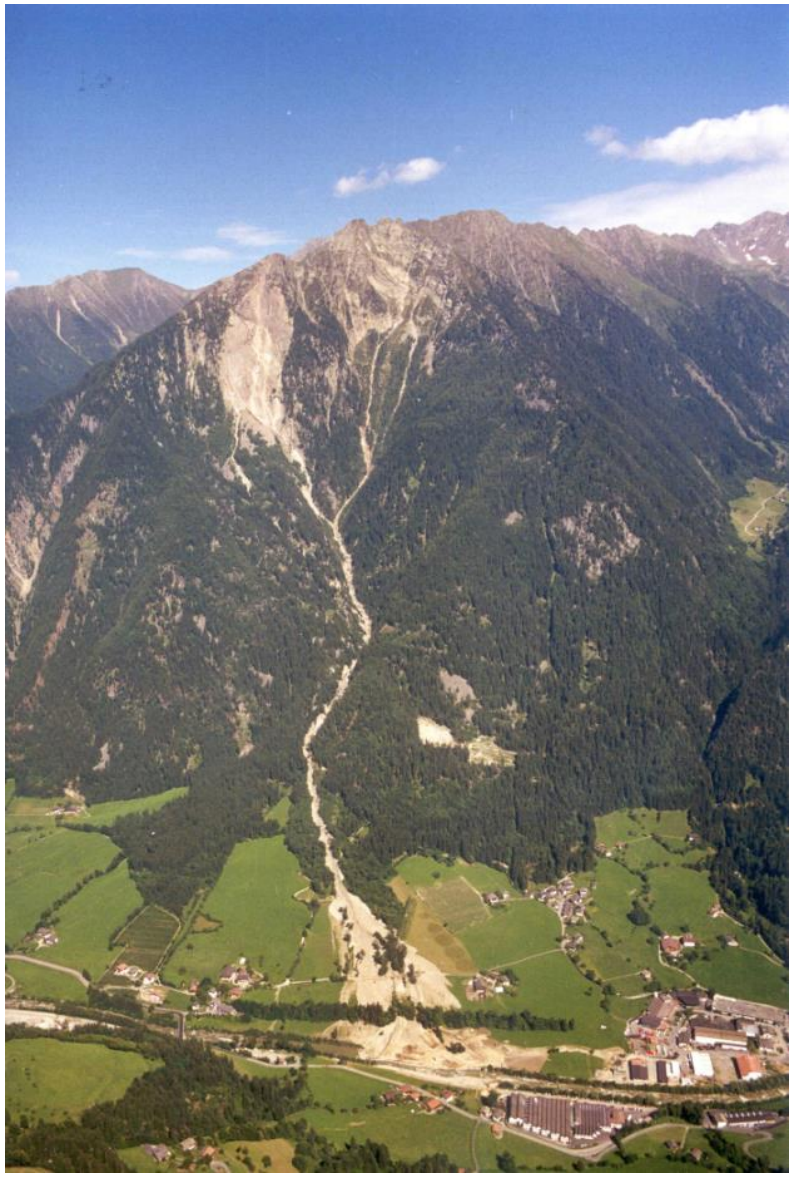
Picco di portata = 10.4 $m^3 s^{-1}$

Volume solido grossolano = 900 $m^3$

Durata del trasporto grossolano = 4 ore

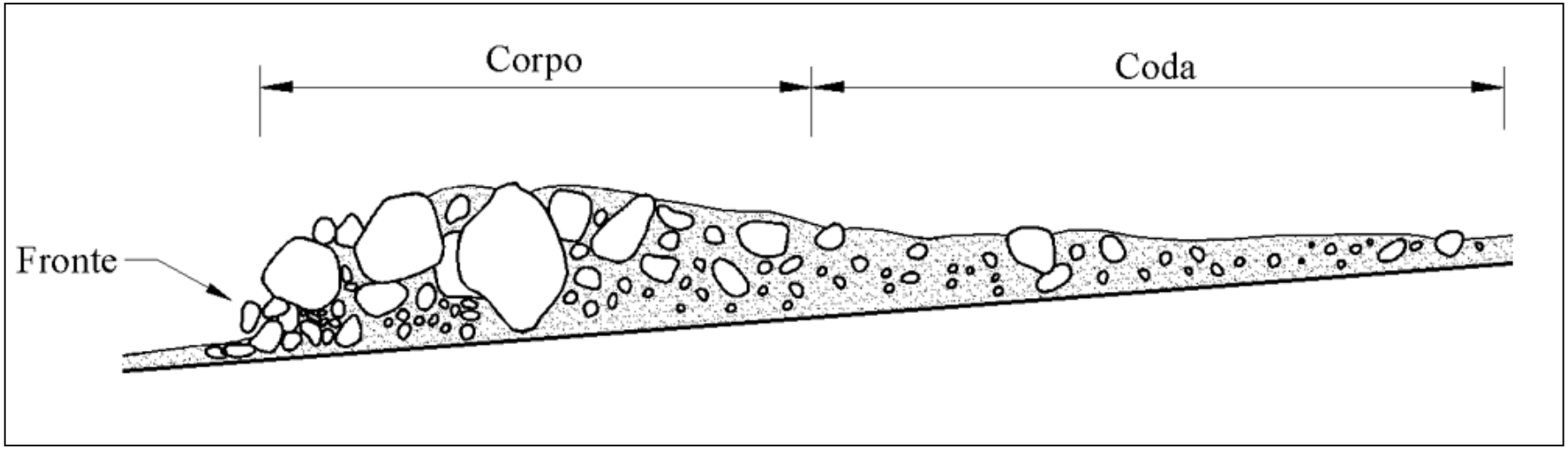
Volume solido fine = 919 $m^3$





# Rio Lega (Bolzano)

# Debris flow – Mud flow
# (colate detritiche e colate di fango)




- Lungo aste torrentizie definite: bacini idrografici di estensione raramente superiore a 20 $km^2$
- Su versanti coperti da falde detritiche

**Dalla collezione ed analisi di dati storici riguardanti 159 eventi di colata (Alpi):**

-il **66 %** delle colate detritiche hanno luogo tra **Luglio e Settembre**;

-tali fenomeni si manifestano in bacini caratterizzati da regimi pluviometrici continentali, con abbondanti precipitazioni estive, tipiche dell'area Alpina più interna.

**Dall'analisi dei più severi eventi di colata degli ultimi 50 anni:**

-l'85 % dei bacini in cui si sono verificate le colate hanno dimensioni tra **0.5 e 13 Km$^2$**;

-il 55 % dei canali interessati dal passaggio di colate hanno pendenze comprese tra 11° (17%) ed 22° (33%), con il 37 % dei canali con pendenza pari a 35° (52%);

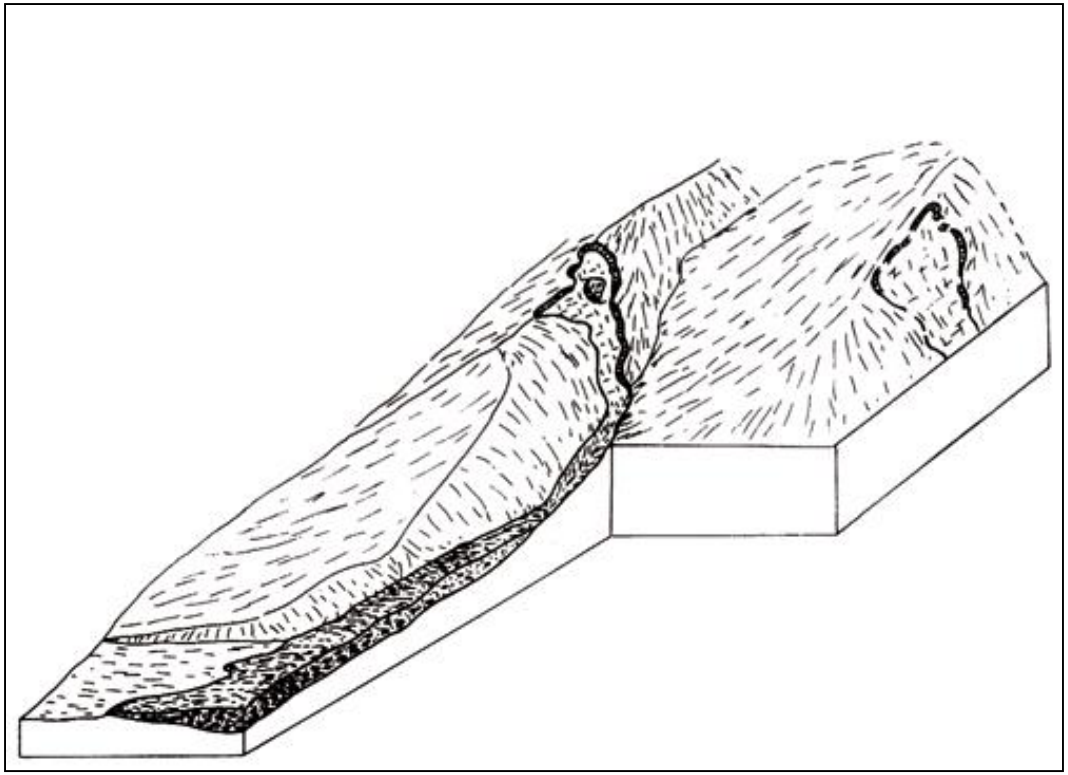
-**l'alimentazione** di detriti solidi è fornita nel 45 % dei casi da frane di versante nelle testate dei bacini e, nel 43 % dei casi, da rotture di opere trasversali in alveo o mobilizzazione di depositi sedimentari in alveo;

-**nel 42 %** dei casi le colate detritiche si manifestano nello stesso sito **con ricorrenza uguale o superiore a 50 anni**, mentre solo nel 6% dei casi il fenomeno si ripresenta con ricorrenza compresa tra 5 e 15 anni.

*In generale comunque ciò che appare più interessante, soprattutto nell'ottica delle pianificazione territoriale e della gestione del pericolo, **è che tali eventi hanno una ricorrenza approssimativamente cinquantennale**, e che quindi il PERICOLO potrebbe non essere fortemente percepito da una comunità potenzialmente soggetta allo stesso.*

# PRESUPPOSTI PER L'INNESCO DI COLATE DETRITICHE

- Sedimento mobilizzabile
- Pendenze elevate
- Apporti idrici intensi
- Geologia



# CARATTERISTICHE DELLE COLATE DETRITICHE

- Miscela solido-liquida di
  - **materiali fini (sabbia, limo, argilla)**
  - **materiali grossolani (ghiaia, massi)**
  - **acqua**

- Scorrimento con azione erosiva

- Dislocamento di ingenti volumi di sedimento

# CARATTERISTICHE FISICO-DINAMICHE DELLE COLATE DETRITICHE

- Concentrazione volumetrica: 30-70%
- Densità elevata: 1300-2100 kg $m^{-3}$
- Velocità di scorrimento: fino a 20 m $s^{-1}$
- Trasporto di grossi massi: diametri fino a 4-5 m
- Trasporto di materiale vegetale: tronchi; piante anche mature; legname in alveo
- Portata da 5 a 20 volte quella liquida

# ELEMENTI DI PERICOLOSITÀ

- Periodicità irregolare e variabile da torrente a torrente
- Frequenza di accadimento talora molto ridotta
- Torrenti privi di deflusso: scarsa sensibilizzazione della popolazione
- Tempi di risposta rapidi agli eventi meteorici

Problema delle modalità di distribuzione della colata sul conoide

→

Problema della definizione delle aree di pericolo nel conoide

- Studio del bacino idrografico e del conoide di deiezione

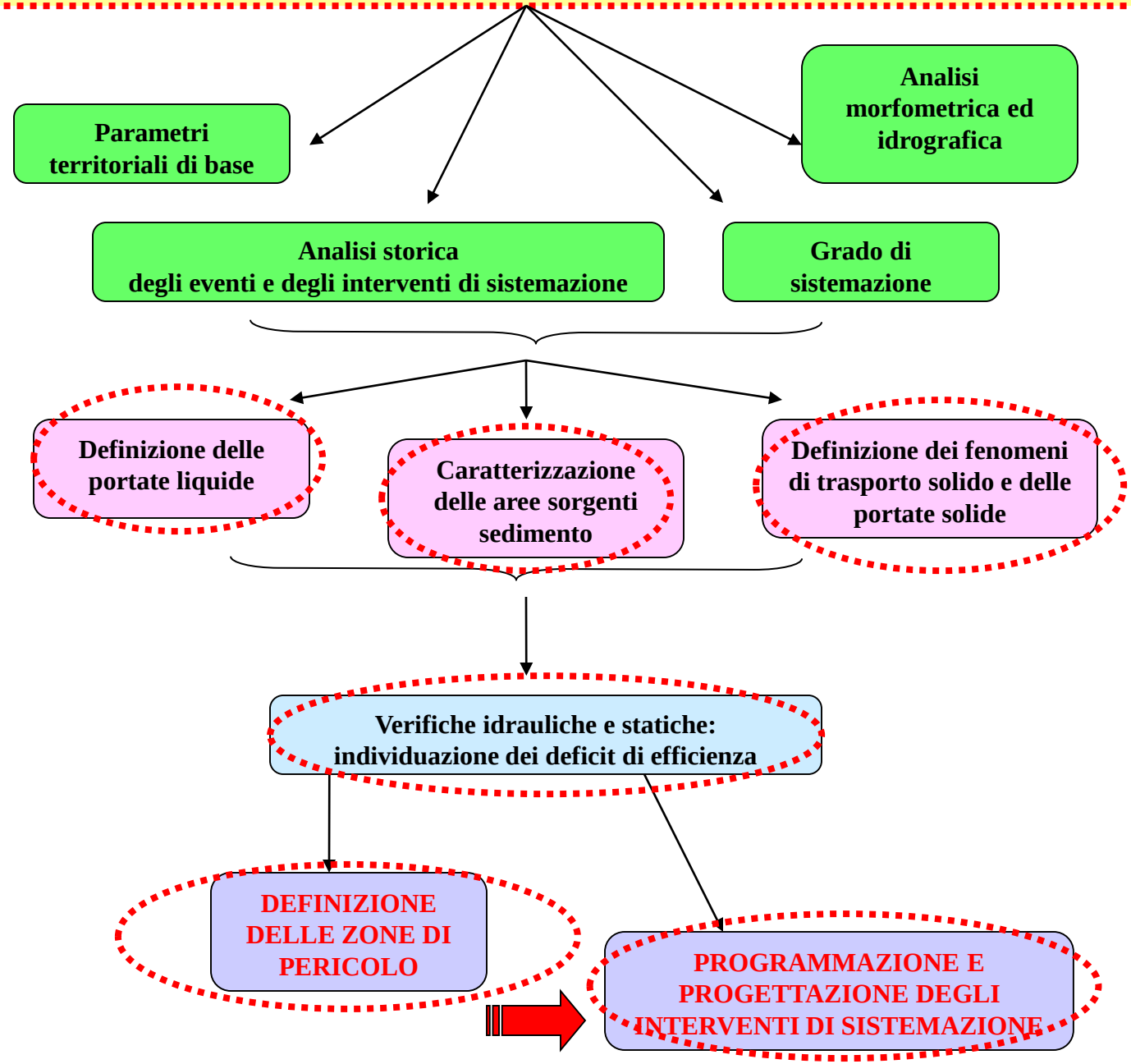
- Individuazione della tipologia di trasporto solido

- Applicazione di metodologie per la zonizzazione delle aree di pericolo

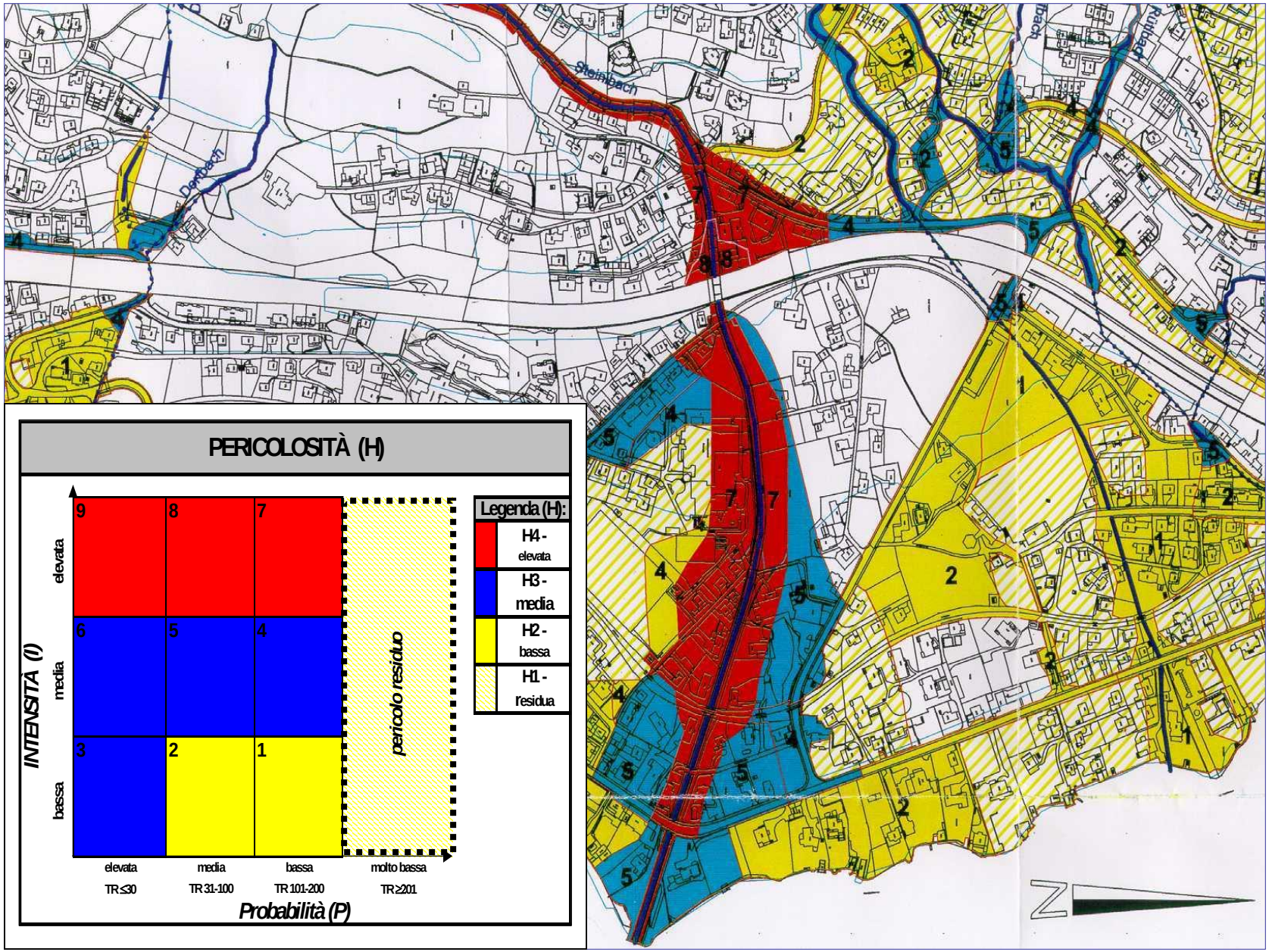
Consapevolezza della pericolosità

Pianificazione urbanistica

# Piano degli interventi di sistemazione idraulica e forestale (PISIF)



# PERIMETRAZIONE DELLE AREE DI PERICOLO



## Eventi di Colata detritica

L'elevata urbanizzazione dei conoidi montani a scopo prevalentemente turistico dell'ultimo mezzo secolo ha provocato un aumento considerevole dell'esposizione al pericolo.

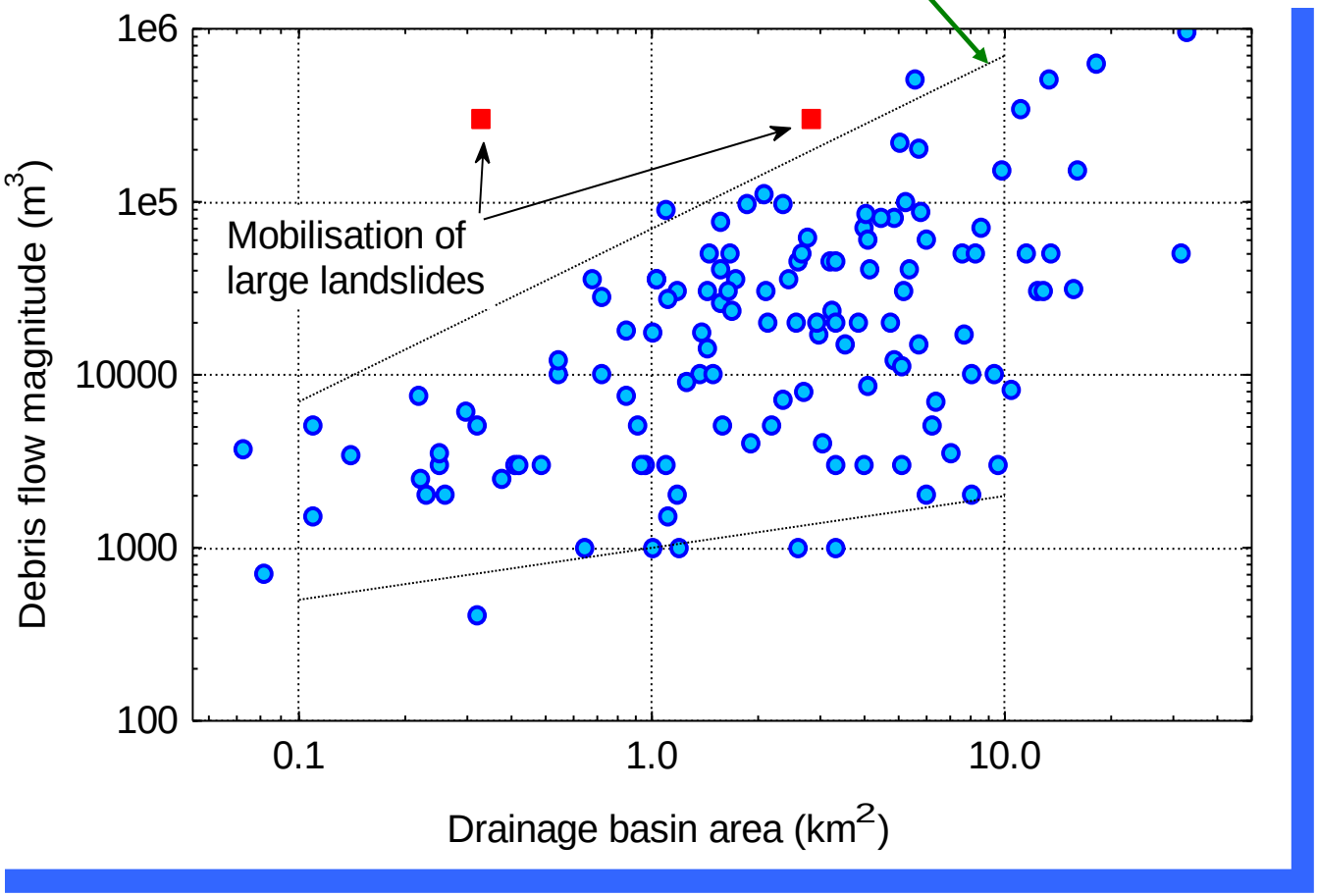
Data l'impossibilità di prevenire e/o controllare appieno tali fenomeni:

- Mitigare i possibili effetti sulle infrastrutture già insistenti sulle conoidi;
- Evitare ulteriori errori di pianificazione territoriale

Esigenze:

- Circoscrivere le aree potenzialmente interessate da tali fenomeni;
- Pianificare interventi di difesa.

# Alpi Orientali Italiane
# Inviluppo superiore: V ($m^3$) = 70000 A ($km^2$)




D'Agostino e Marchi, 2000

Metodi per la classificazione morfometrica (Marchi *et al.* 1993) dei bacini potenzialmente generatori di colate detritiche, sulla base di evidenze morfologiche e sedimentologiche.

Uno di questi si basa su due parametri morfometrici:

- Pendenza del conoide $S_f$ (misurato lungo la bisettrice, misurato in gradi)

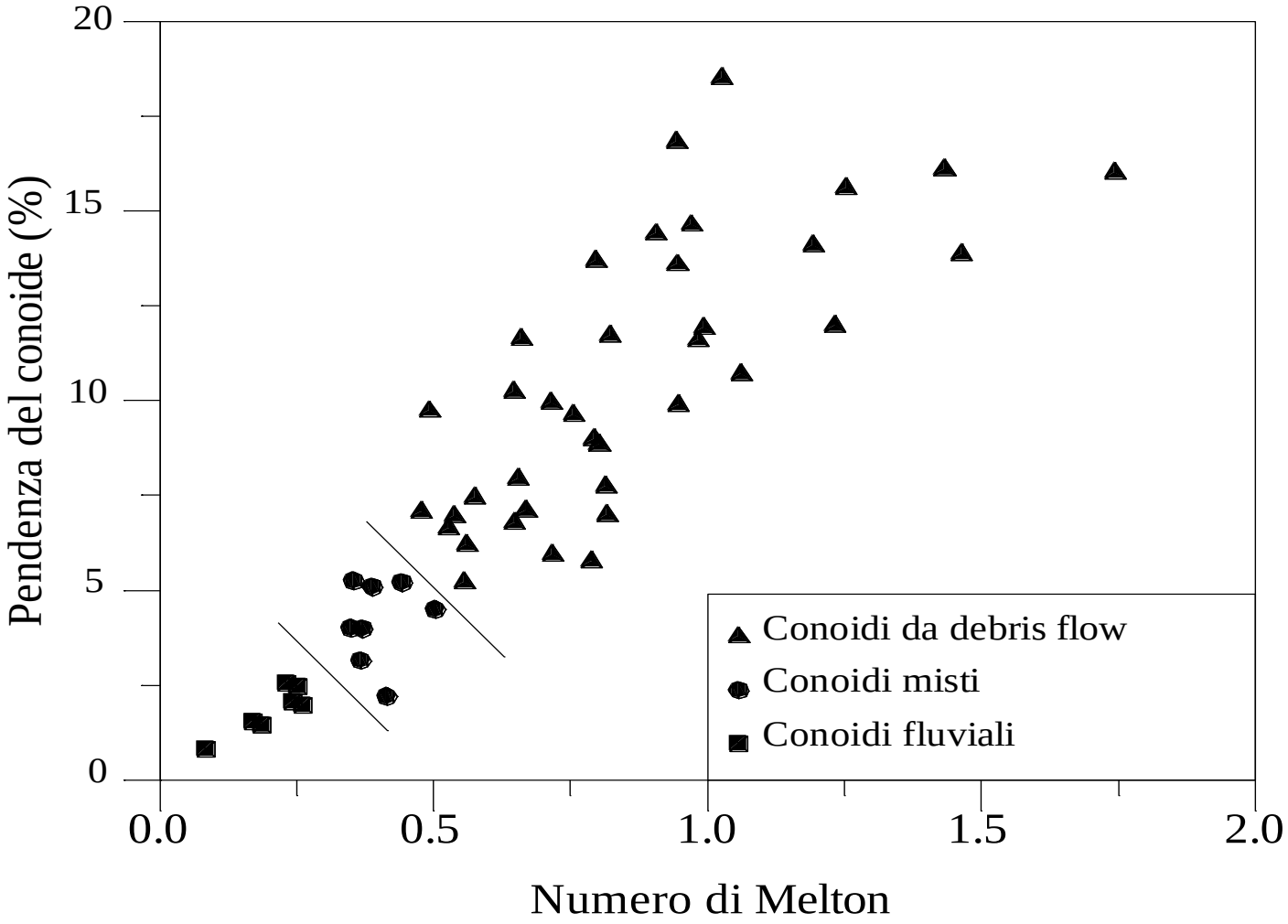
- Indice di Melton (indicatore dell'acclività del bacino)

$$Mel = (H_{max} - H_{min}) / A^{0.5}$$

con: $H_{max}$ :Altitudine massima del bacino;
$H_{min}$ :Altitudine minima del bacino (apice del conoide);
$A$ :Area del bacino (in $m^2$).

Discriminante per differenziare conoidi da trasporto solido, conoidi misti e conoidi da debris flow:

$S_f > 7\text{-}14 * Mel$




**Marchi et al. 1993, D'Agostino, 1996**

# Stima quantitativa del volume di sedimenti mobilizzabili da un evento alluvionale estremo

A) Metodi deterministici: basati sull'utilizzo di formule proposte in letteratura per il calcolo della capacità di trasporto di un collettore a fondo mobile. Per i piccoli corsi d'acqua montani a forte pendenza il trasporto solido è fortemente condizionato dalle caratteristiche idrodinamiche della corrente, dalla distribuzione granulometrica dei materiali d'alveo, dalle caratteristiche morfologiche locali (forme di fondo) e dai processi erosivi di versante (apporto di sedimenti). Per questi corsi d'acqua, il trasporto di fondo è difficilmente misurabile in campo (gran variabilità spazio-temporale e durata limitata) e non sono applicabili le formule ricavate per fiumi di pianura. Per giungere alla calibrazione di formule applicabili in alvei ad elevata pendenza:

- Ricerche di laboratorio (canalette sperimentali)
- Studi di campagna

B) Metodi empirici: espressioni che correlano i volumi di sedimento ("magnitudo") mobilizzabili con le principali variabili che influenzano l'entità del fenomeno. Per i fenomeni di colata detritica:

- Hungr *et al.* (1984) $G_s = L*B*Y$

  con: $G_s$: magnitudo; L: lunghezza del torrente ad erodibilità uniforme; B: larghezza d'alveo; Y: profondità media d'erosione

per la stima del prodotto B*Y (coefficiente di erodibilità)

| *Tipo di torrente* | *Pendenza (%)* | *Materiale del letto* | *Sponde laterali* | *Condizioni di stabilità* | *Coeff. erodibilità YE ($m^3m^{-1}$)* |
|---|---|---|---|---|---|
| A | 35 – 70 | Roccia | Non erodibili | Stabile, privo di copertura di suolo | 0 - 5 |
| B | 15 – 35 | Detrito fine o suolo sciolto sopra la roccia | Non erodibili (roccia) | Stabile | 5 - 10 |
| C | 15 - 35 | Detriti profondi o morene | Altezza < 5 m | Stabile | 10 - 15 |
| D | 15 – 35 | Detriti profondi o morene | Falda detritica, altezza > 5 m | Sponde laterali a riposo | 15 -30 |
| E | 15 – 35 | Detriti profondi o morene | Falda detritica, altezza > 20 m | Sponde laterali potenzialmente instabili (area di frana) | Fino a 200 (come Punto sorgente) |

- Takei (1984)

Propone una relazione empirica tra volume ($G_s$) della colata e superficie del bacino imbrifero (A)in $Km^2$:

$$G_s=13600*A^{0.61}$$

- Kronfellner-Kraus (1984, 1985)

$$Gs=(k_1*e^{-kA})*A*i$$

con: Gs: magnitudo; i: pendenza media dell'asta torrentizia (%); $K_1$ e K: costanti che dipendono dall'area morfologico-climatica alla quale il bacino appartiene (e=2.718).

- Rickenmann e Zimmermann (1993)

$$G_s/L= 110\text{-}250 *S$$

con S: pendenza media del cono di deiezione.

- D'Agostino (1996), analizzando eventi estremi in bacini (<10 $Km^2$) del Trentino orientale ha ottenuto delle relazioni che legano $G_s$ con l'area del bacino, pendenza media della rete idrografica, forma di trasporto e formazioni litologiche prevalenti, tra le quali:

$$G_s=39*A*i^{1.5}*(I.G.)*(I.T.)^{-0.3}$$

I.G. = Indice geologico

| ***Classi litologiche*** | ***Punteggio*** |
|---|---|
| Copertura morenica, alluvionale e di falda | 5 |
| Roccie metamorfiche: filladi, gneiss, etc. | 4 |
| Roccie terrigene: marne, argille, arenarie, etc. | 3 |
| Roccie laviche degradate, tufi basaltici, brecce | 2 |
| Roccie calcaree | 1 |
| Roccie porfiriche, granitiche, dioritiche. | 0 |

I.T. = Indice di trasporto

| ***Tipologia di trasporto solido*** | ***I.T.*** |
|---|---|
| Colata detritica | 1 |
| Corrente iperconcentrata | 2 |
| Trasporto di fondo | 3 |

# 1 Ottobre 2009- Messina-Giampillieri, (Sicilia) - Frane e colate di fango-  31 vittime

# 1 Ottobre 2009- Messina-Giampillieri, (Sicilia) - Frane e colate di fango-  31 vittime

# 1 Ottobre 2009- Messina-Giampillieri, (Sicilia) - Frane e colate di fango-  31 vittime

# 1 Ottobre 2009- Messina-Giampillieri, (Sicilia) - Frane e colate di fango-  31 vittime

# 1 Ottobre 2009- Messina-Giampillieri, (Sicilia) - Frane e colate di fango-  31 vittime

# 1 Ottobre 2009- Messina-Giampillieri, (Sicilia) - Frane e colate di fango-  31 vittime

# 1 Ottobre 2009- Messina-Giampillieri, (Sicilia) - Frane e colate di fango-  31 vittime

# 1 Ottobre 2009- Messina-Giampillieri, (Sicilia) - Frane e colate di fango-  31 vittime