

EARLY WARNING SYSTEMS FOR DEBRIS FLOWS: STATE OF THE ART AND CHALLENGES



unibz

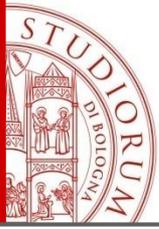
SETTIMANA
NAZIONALE
DELLA
PROTEZIONE
CIVILE

13-19 ottobre 2019

Bolzano | 16-18 Ottobre 2019

Soglie pluviometriche di innesco delle colate detritiche

Matteo Berti
Università di Bologna



Sommario

1. Introduzione

- Definizione di soglia pluviometrica
- Come si determina una soglia?

2. Problemi e incertezze

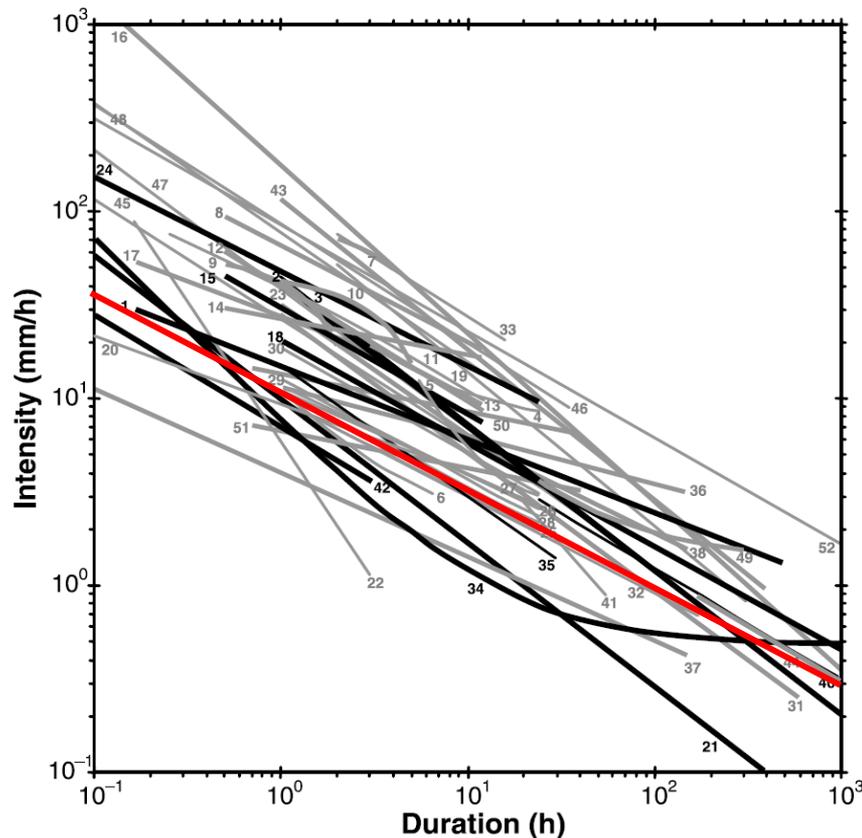
- I Falsi Allarmi
- La pioggia non è l'unico fattore in gioco..

3. Il contributo del monitoraggio di campo

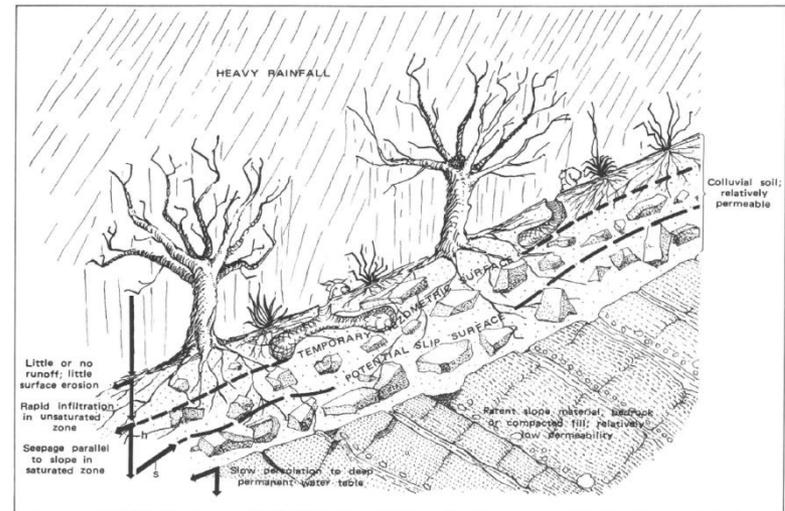
4. Conclusioni e raccomandazioni

Definizione di soglia pluviometrica

Una **soglia** indica un valore o un livello che deve essere superato per produrre un certo effetto o risultato, di solito un **cambio radicale** nello stato del sistema



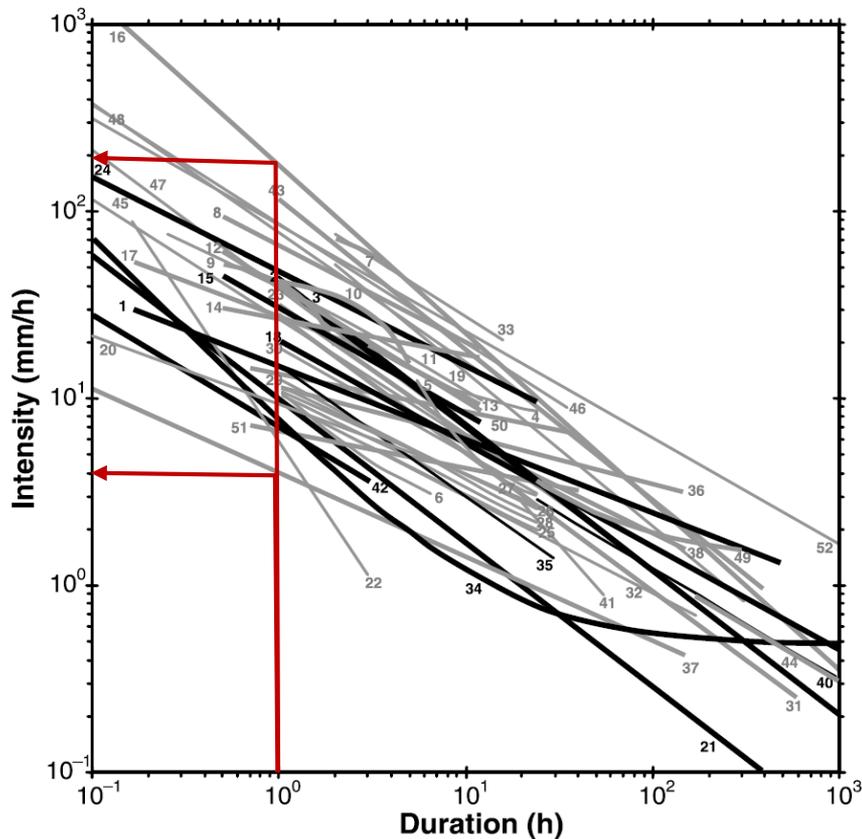
La maggior parte delle soglie pluviometriche pubblicate sono relative a **frane superficiali**



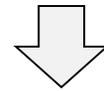
Guzzetti, F., S. Peruccacci, M. Rossi, and C. P. Stark (2007), Rainfall thresholds for the initiation of landslides in central and southern Europe, Meteorol. Atmos. Phys., 98, 239–267,

Definizione di soglia pluviometrica

Attenzione che la scala è logaritmica...

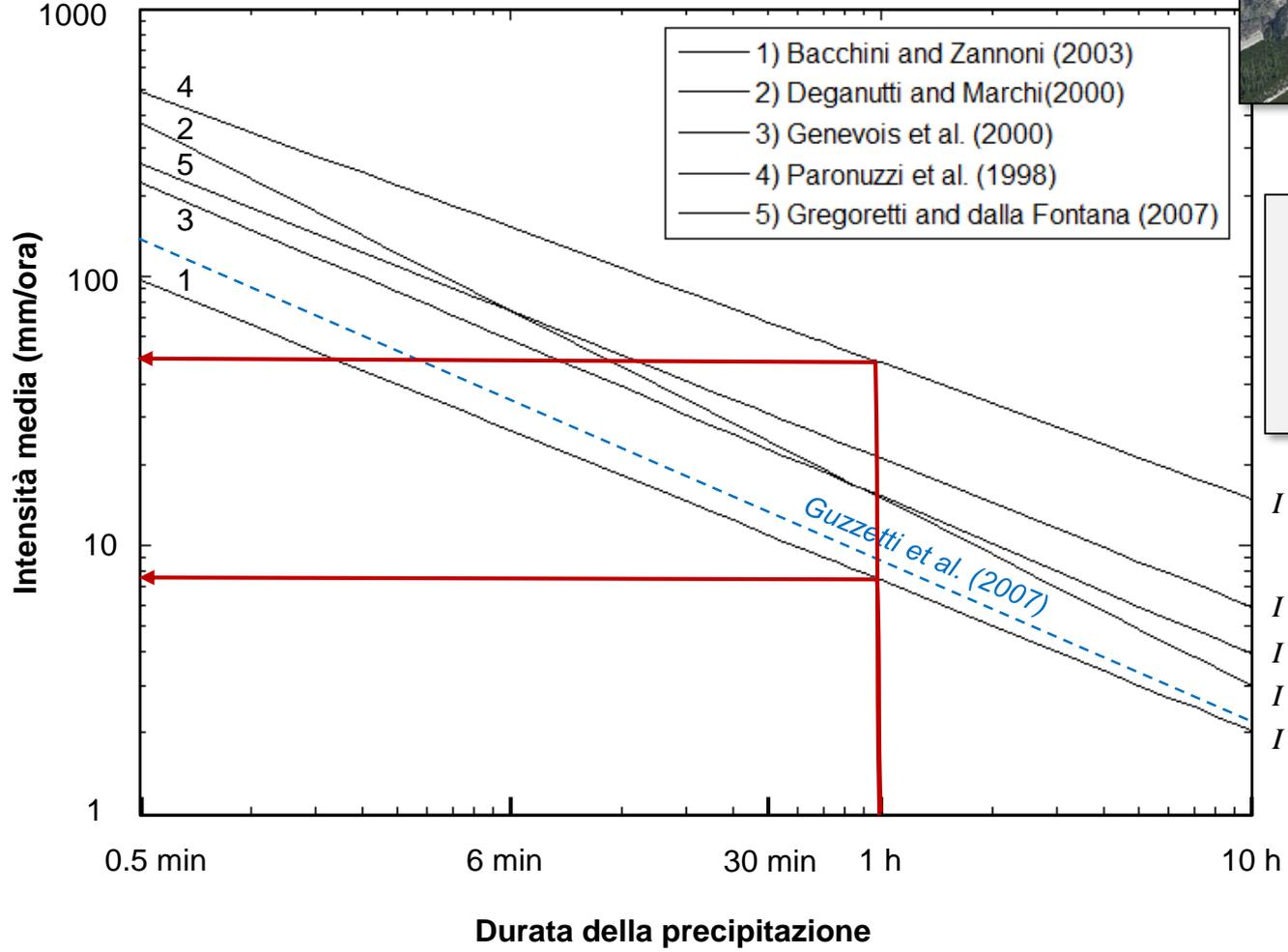


Per una pioggia di durata 1 h:
 Intensità di soglia minima = 4 mm/h
 Intensità di soglia massima = 200 mm/h



Ogni bacino/area/regione ha la sua soglia perché sono diverse le condizioni geologiche, geomorfologiche e idrologiche

Soglie pluviometriche per le Dolomiti Bellunesi



Per una pioggia di durata 1 h:
 I min = 8 mm/h
 I max = 50 mm/h

$$I = 47.7 \cdot D^{-0.51}$$

$$I = 21 \cdot D^{-0.55}$$

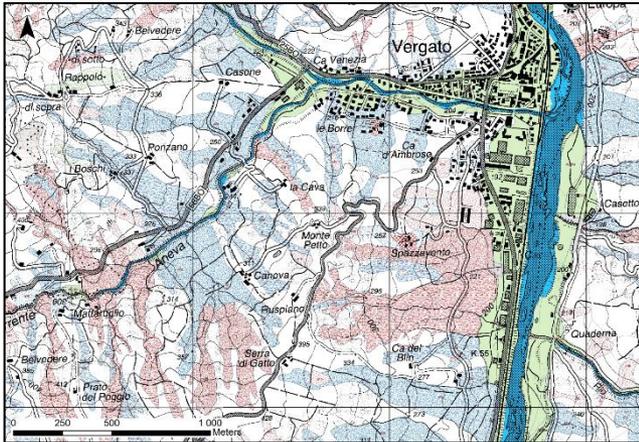
$$I = 15.2 \cdot D^{-0.59}$$

$$I = 15 \cdot D^{-0.70}$$

$$I = 7.40 \cdot D^{-0.56}$$

Come si determina una soglia pluviometrica?

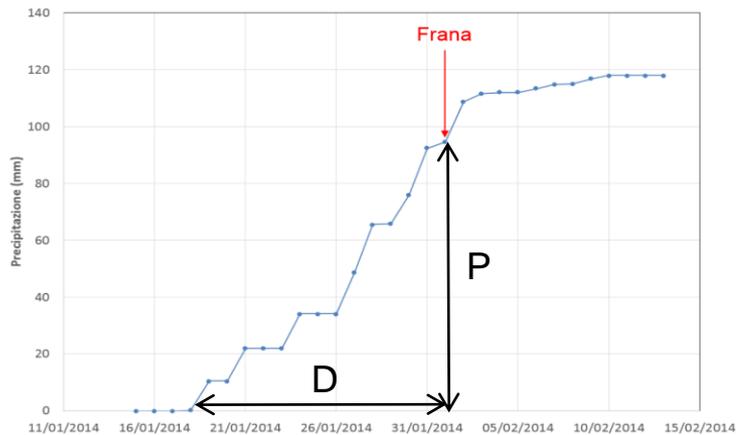
1) Scelgo l'area di interesse



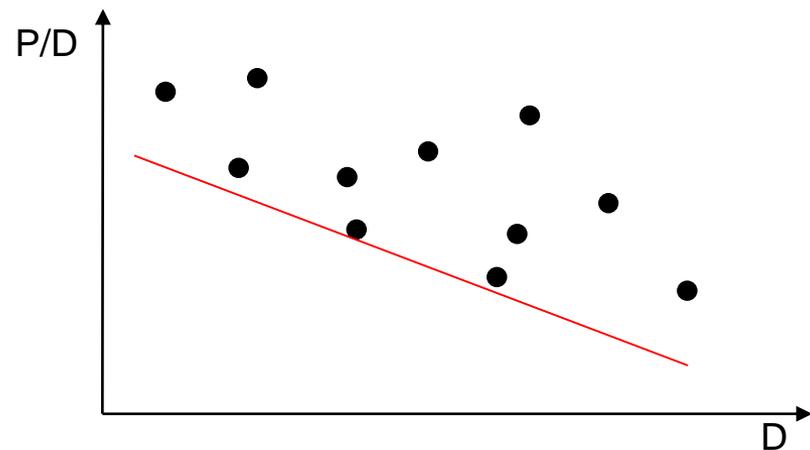
2) Cerco negli archivi notizie sulle frane



3) Assegno una pioggia di innesco ad ogni frana



4) Vedo come si distribuiscono nel grafico



Problemi e incertezze

La definizione di una soglia pluviometrica è gravata da pesanti incertezze:

1) Falsi Allarmi

2) La pioggia non è l'unico fattore che controlla l'innescò delle colate

3) Definizione dell'evento di pioggia

4) Ubicazione non rappresentativa del pluviometro

5) Incertezza nella data dell'evento

6) Mancanza di dati di pioggia ad elevata risoluzione

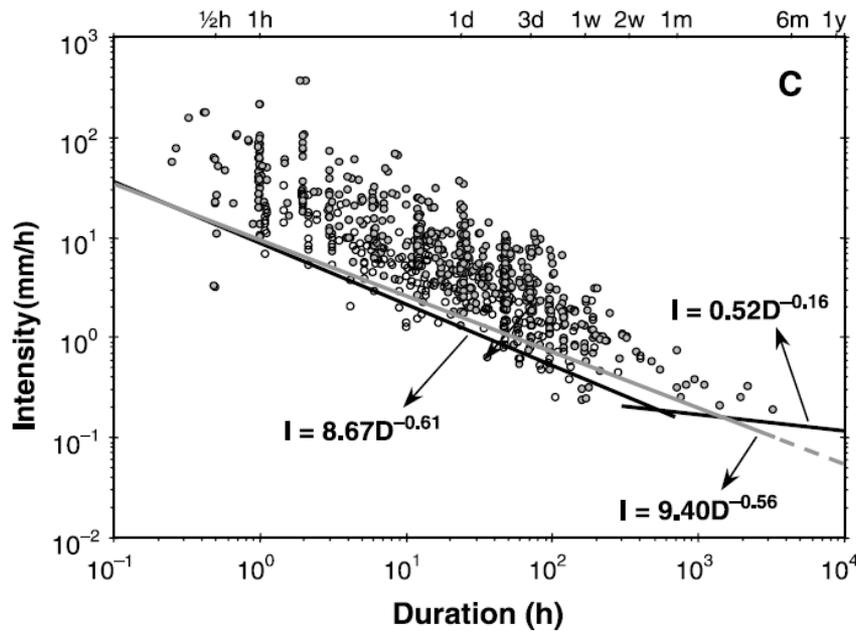


Prudent risk management does not equate uncertainty with inaction

Steven Chu, Nobel per la Fisica 1997

1) Il problema dei falsi allarmi

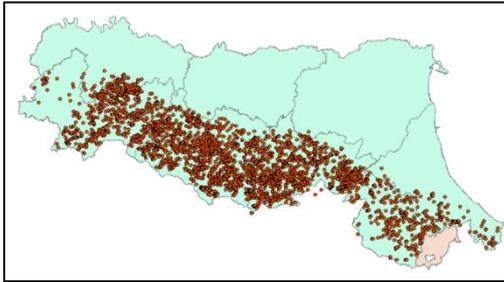
La quasi totalità delle soglie pubblicate in letteratura (e molte di quelle operative nelle strutture di Protezione Civile) sono basate **solo sulle piogge che hanno innescato frane**



Soglia intensità-durata per l'innescio di frane nell'Europa centro-meridionale (Guzzetti et al., 2007)

.. e se consideriamo anche le piogge che **NON** hanno innescato frane?

Il caso della Regione Emilia-Romagna



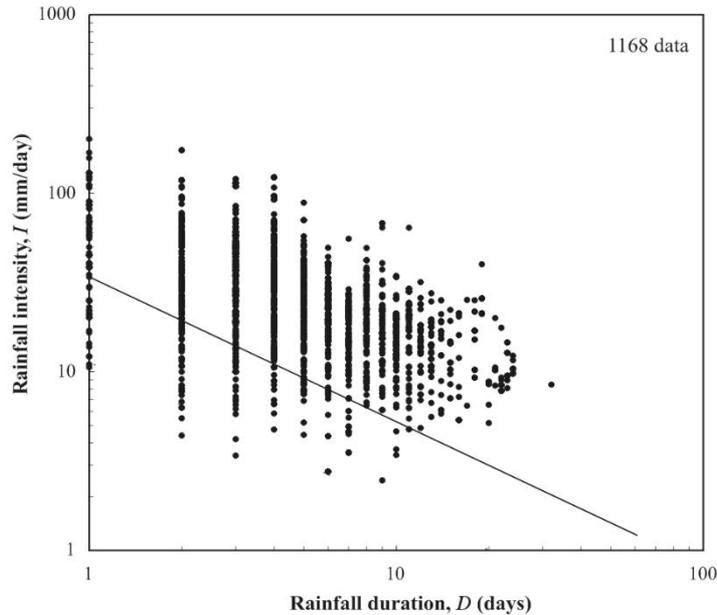
4141 Frane storiche

Periodo: 1939-2009

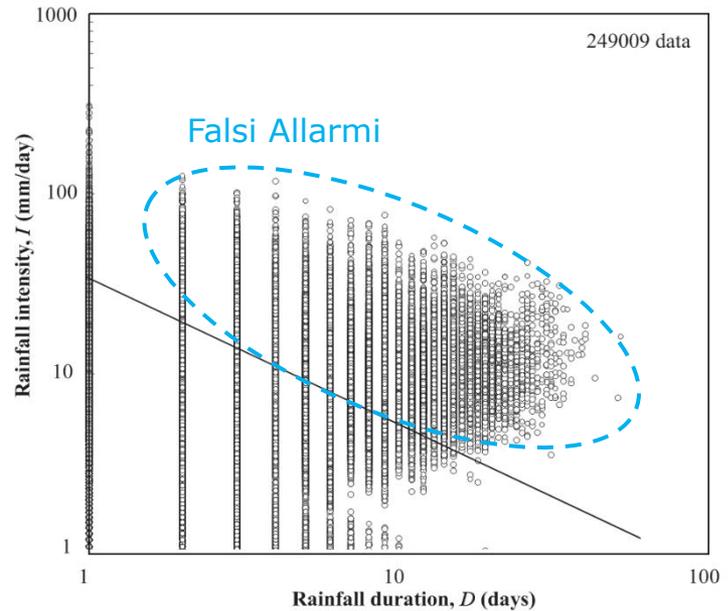
Data di innesco con precisione giornaliera



Piogge che **HANNO** dato frane



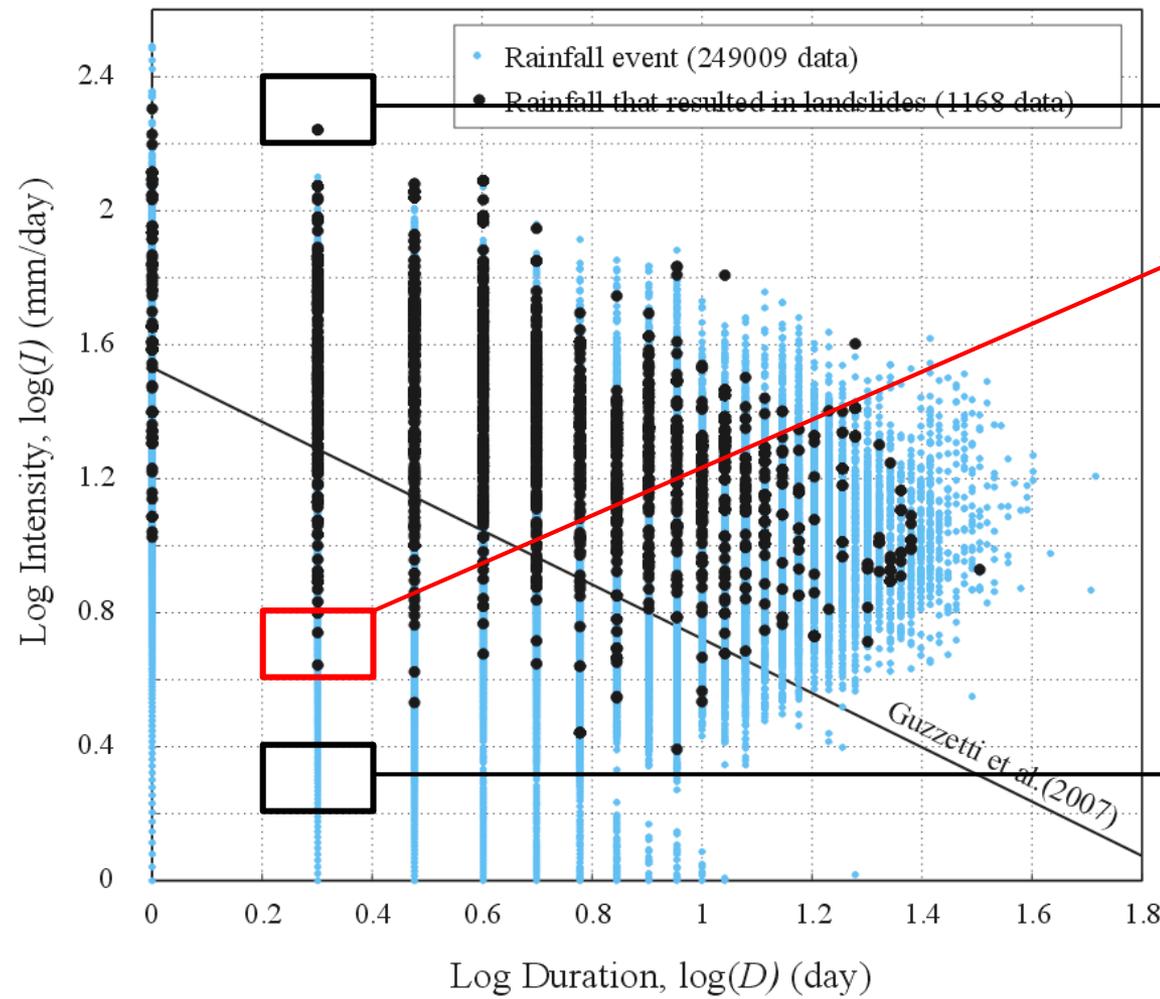
Piogge che **NON HANNO** dato frane





Una possibile soluzione: approccio probabilistico

Secondo il teorema di Bayes, la probabilità di frana è data semplicemente da:



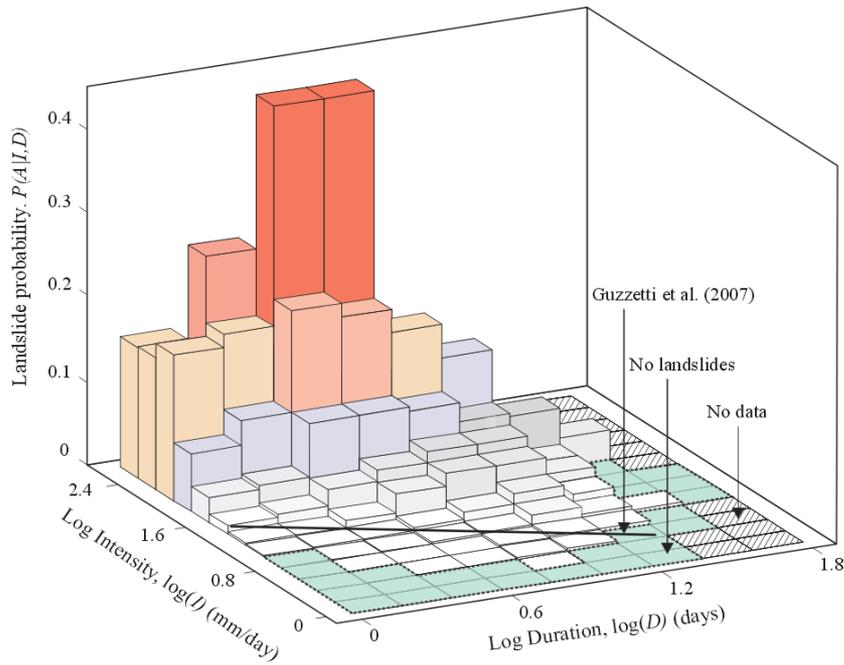
$$P(A|B) = \frac{1}{1} = 1$$

$$P(A|B) = \frac{\text{numero di piogge totali}}{\text{numero di piogge che hanno dato frane}}$$
$$P(A|B) = \frac{3}{50} = 0.06$$

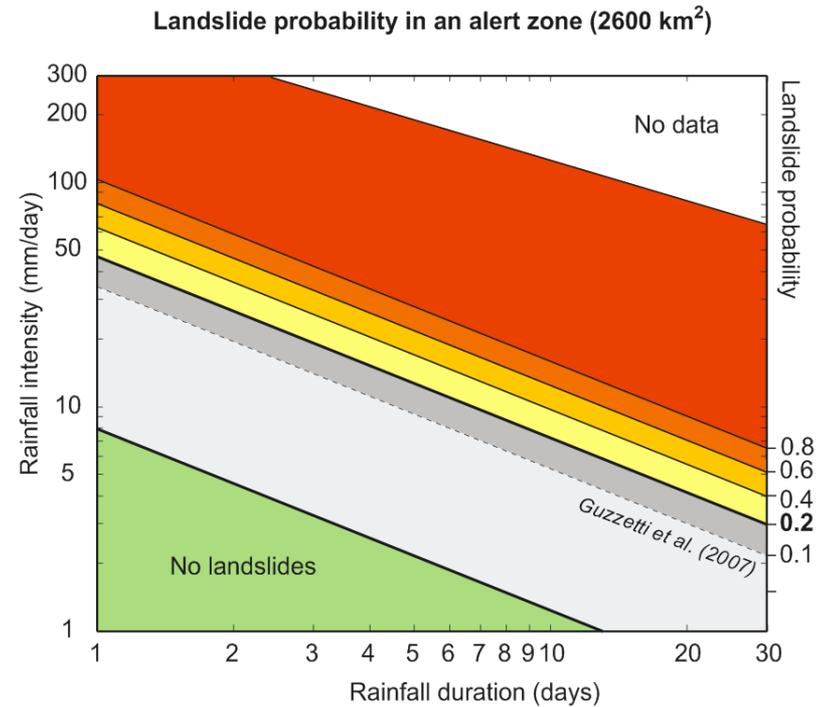
$$P(A|B) = \frac{0}{150} = 0$$

Una possibile soluzione: approccio probabilistico

Probabilità di frana 3D

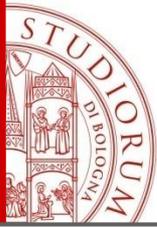


Probabilità di frana 2D



Questo modello è operativo
in Emilia-Romagna

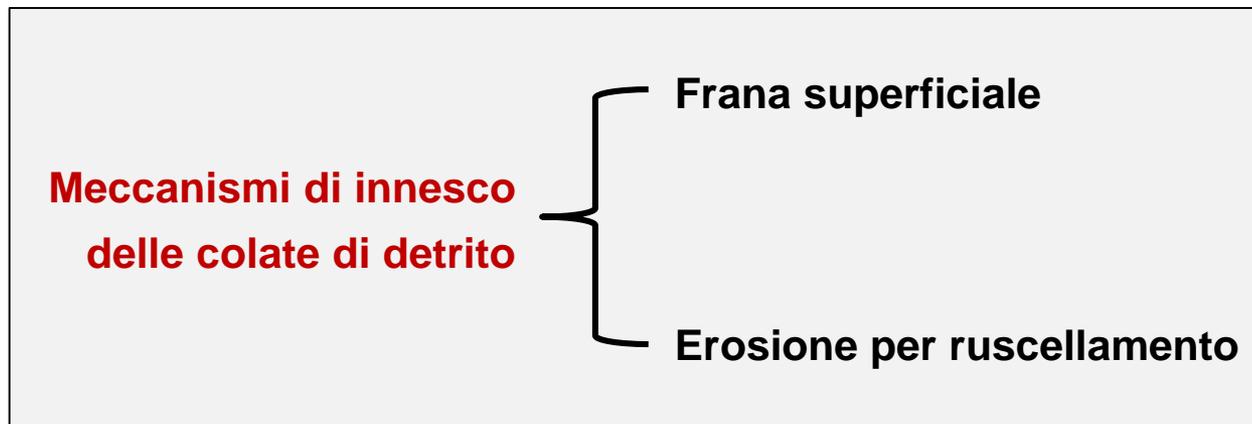




2) La pioggia non è l'unico fattore in gioco

La pioggia è il principale **fattore innescante** delle colate, ma ci sono molti **fattori predisponenti**

- La relazione pioggia-frana è direttamente condizionata dal **meccanismo di innesco** della colata



Meccanismi di innesco di colate rapide di detrito

Innesco per frana

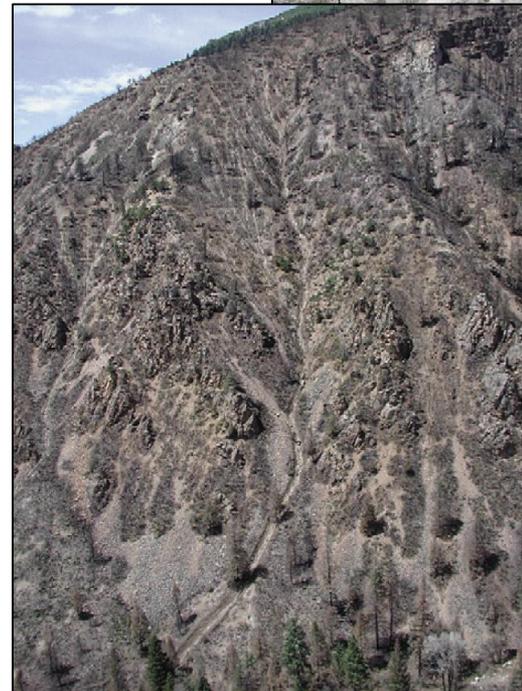
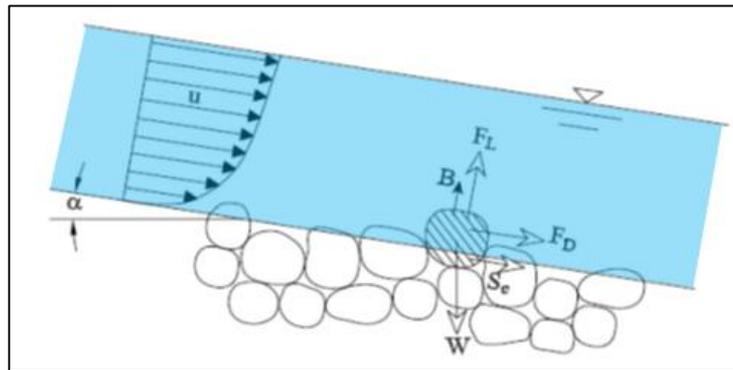
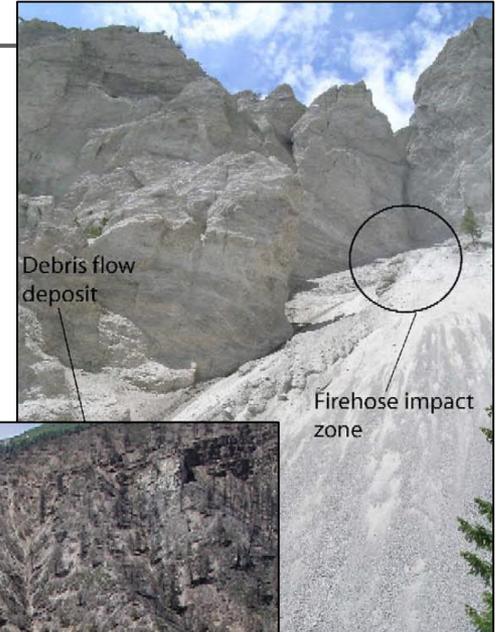
- Scorrimento di una coltre di alterazione superficiale o collasso di una porzione di frana
- Instabilità causata dall'infiltrazione dell'acqua nel terreno
- Rottura del terreno seguita da rapida fluidificazione

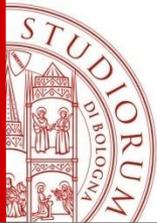


Meccanismi di innesco di colate rapide di detrito

Innesco per erosione da ruscellamento

- Il ruscellamento incanalato incorpora il detrito presente sul fondo canale
- Rapida transizione da flusso immaturo a flusso maturo
- No rottura, è un fenomeno idraulico



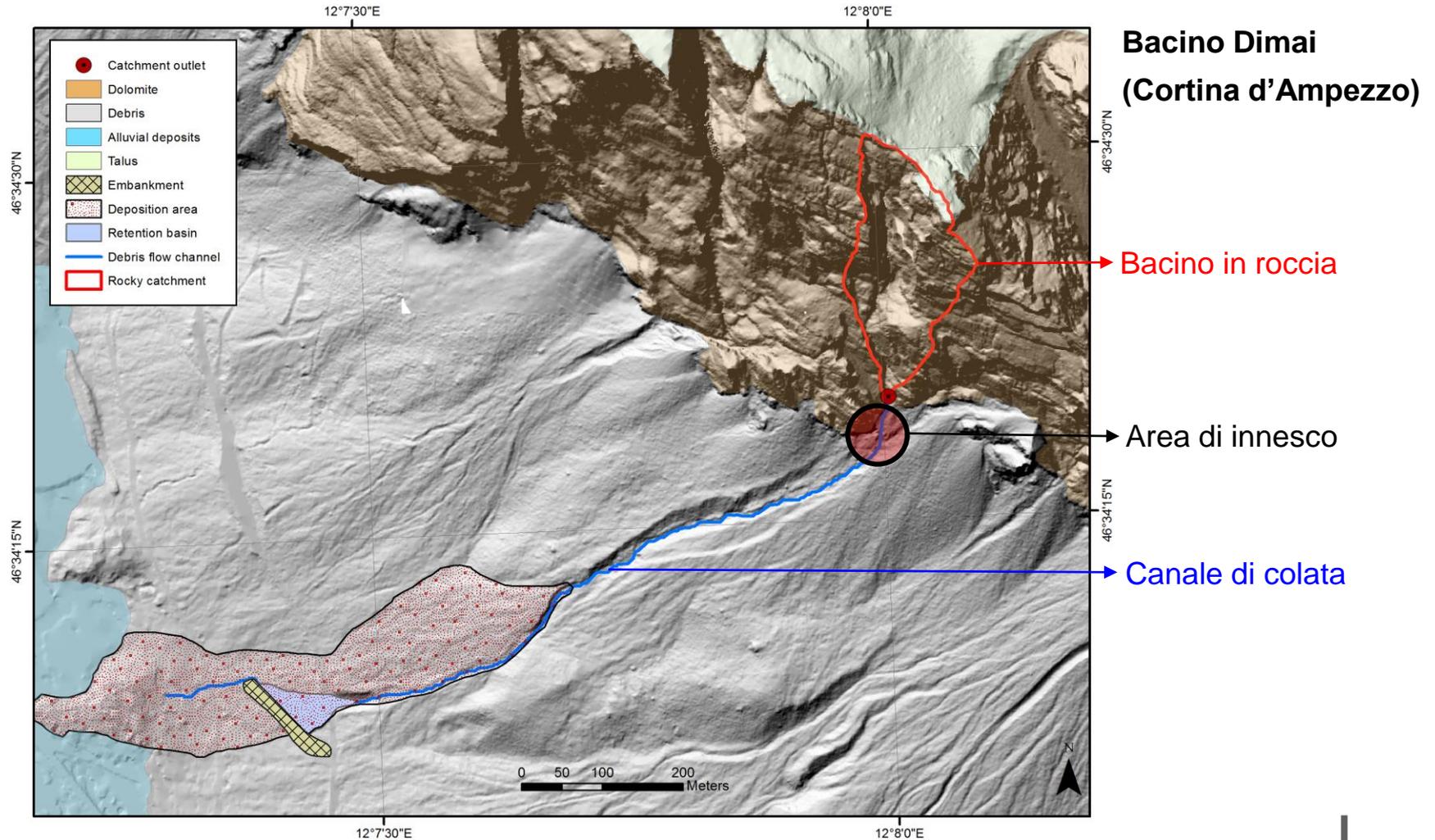


Meccanismi di innesco di colate rapide di detrito

Differenze in ottica di soglie pluviometriche

	Innesco per frana	Innesco per erosione
Distribuzione spaziale	Difficile da prevedere	I canali attivi sono generalmente noti
Frequenza temporale	Eventi rari	Eventi frequenti
Impatto potenziale	Molto elevato, molti eventi	Relativamente minore, pochi eventi
Modelli di previsione spaziale	Numerosi (SHALSTAB, TRIGRS, SINMAP..)	Pochi (modelli afflussi-deflussi)
Soglie pluviometriche (previsione temporale)	Elevata incertezza	Moderata incertezza

3) Il contributo del monitoraggio di campo



Sistema di monitoraggio del bacino Dimai



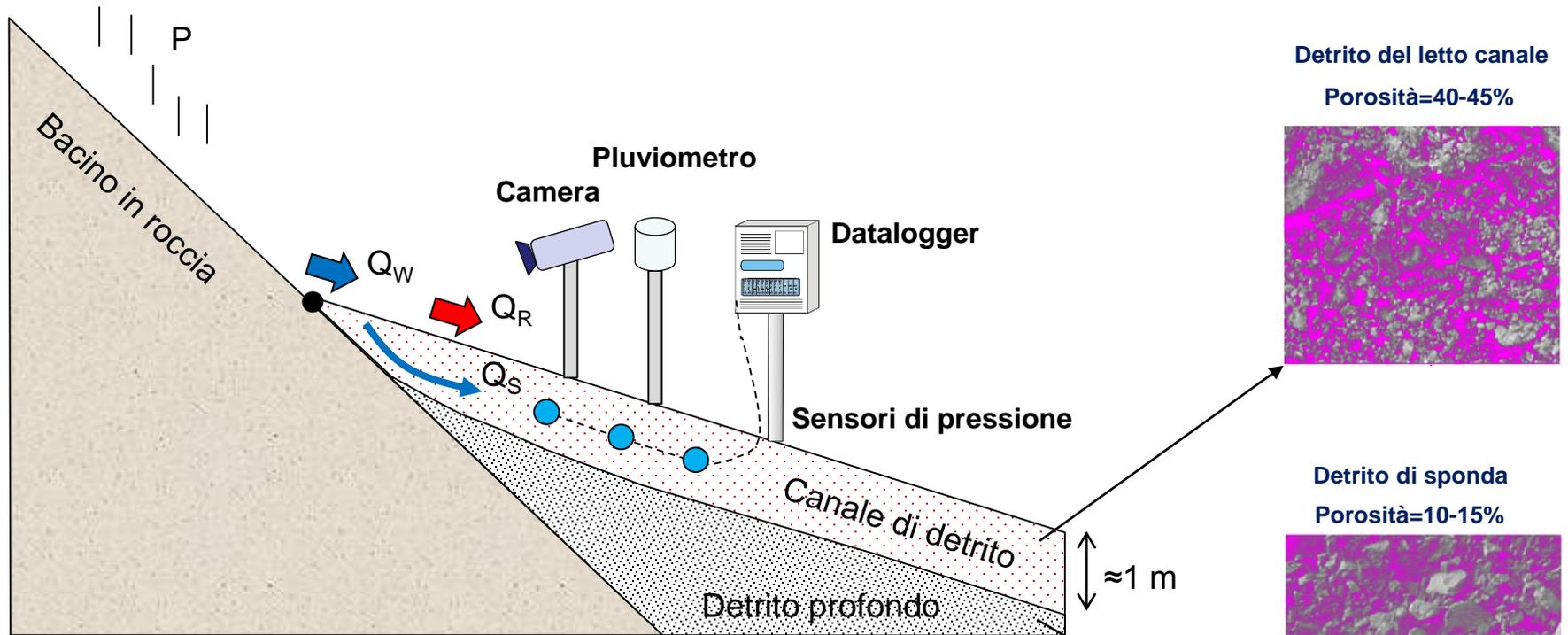
Strumentazione:

- 1 pluviometro
- 2 video camere
- 3 sensori di pressione (sepolti nel canale)
- 1 stramazzo
- 1 camera time-lapse che inquadra lo stramazzo
- 1 sensore barometrico

Sistema di acquisizione:

- Campbell CR800
- 1 sec scan
- Data recording: **Normal mode:** 1 dato ogni 5 min
Alarm mode: 1 dato ogni 5 sec
- Soglia di allarme: 0.6 mm in 5 min
- Connessione GPRS
- Alimentazione: 2 batterie 12V 14Ah + pannello solare

Sistema di monitoraggio del bacino Dimai



Q_W = Flusso in uscita dal bacino in roccia (m^3/s)

Q_S = Flusso subsuperficiale nel canale di detrito (m^3/s)

Q_R = Ruscellamento nella zona di innesco (m^3/s)

Sistema di monitoraggio del bacino Dimai



Sistema di monitoraggio del bacino Dimai



Sistema di monitoraggio del bacino Dimai



Sistema di monitoraggio del bacino Dimai



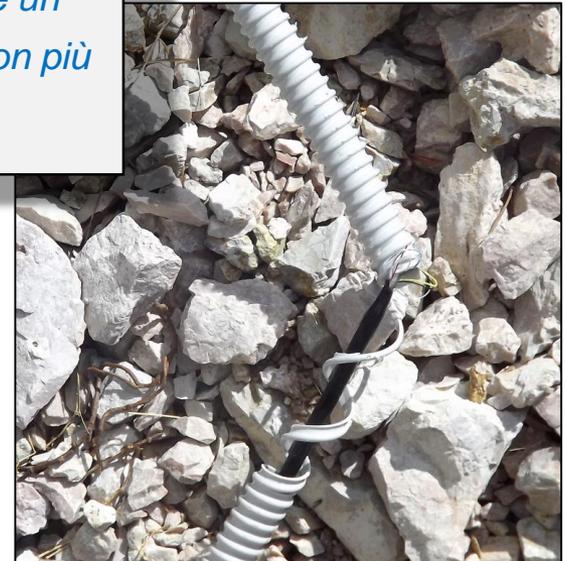
Danni e problemi

- Rottura di cavi nel canale
- Frane di crollo sulla strumentazione
- Fulmini

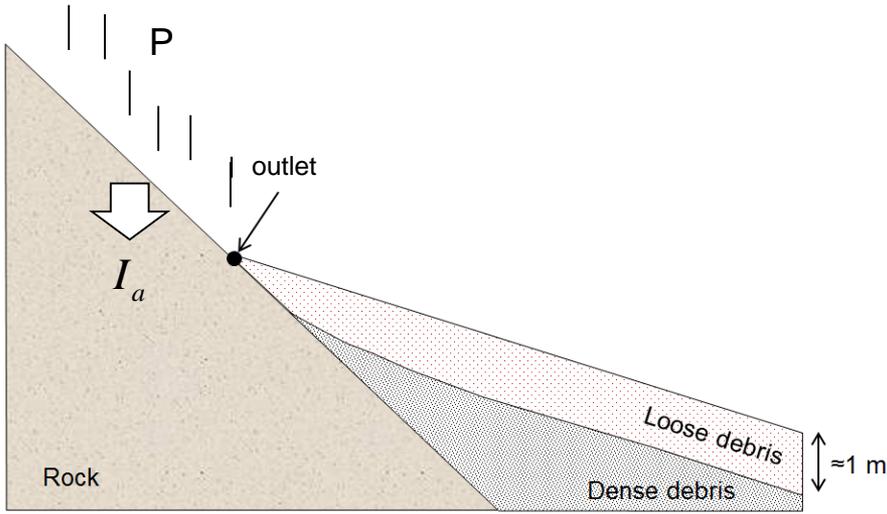
Dati raccolti nel periodo 2010-2016:

- 454 eventi di pioggia
- 5 debris flows

Un evento di pioggia è definito come un periodo di precipitazione continua con più di 0.2 mm in 1 ora



Risultati: risposta agli eventi di pioggia



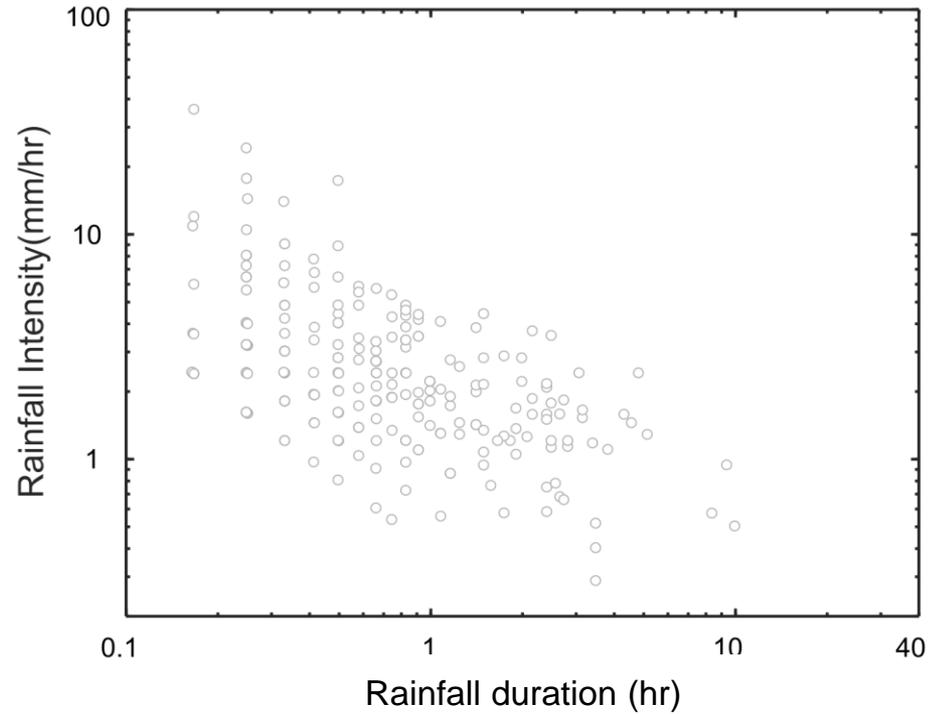
P = Pioggia (mm)

I_a = Perdite iniziali nel bacino in roccia (mm)

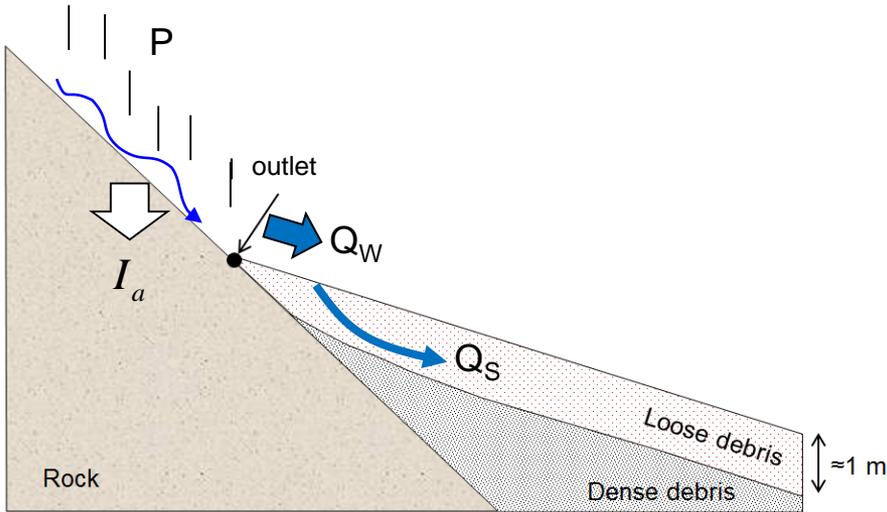
Caso A) No response

No flusso all'uscita del bacino in roccia

No ruscellamento nel canale

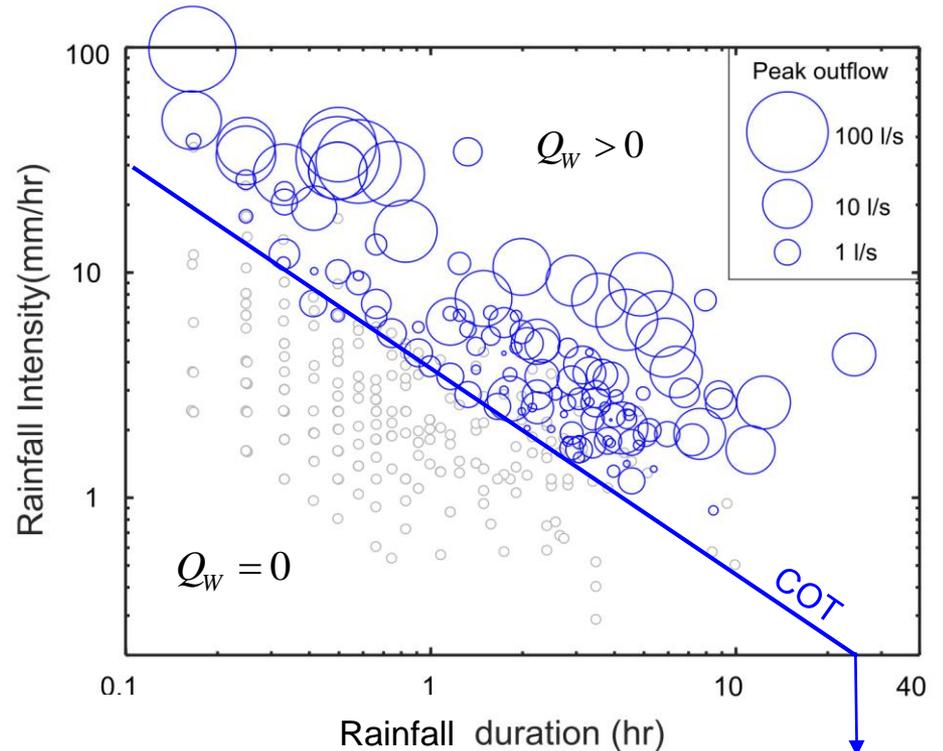


Risultati: risposta agli eventi di pioggia



- P = Pioggia (mm)
 - I_a = Perdite iniziali (mm)
 - F_a = Perdite continue (mm)
 - Q_w = Portata in uscita dal bacino in roccia (m³/s)
 - Q_s = Flusso sub-superficiale nel canale (m³/s)
- } Perdite nel bacino in roccia

Portata in uscita dal bacino in roccia misurata dallo stramazzo



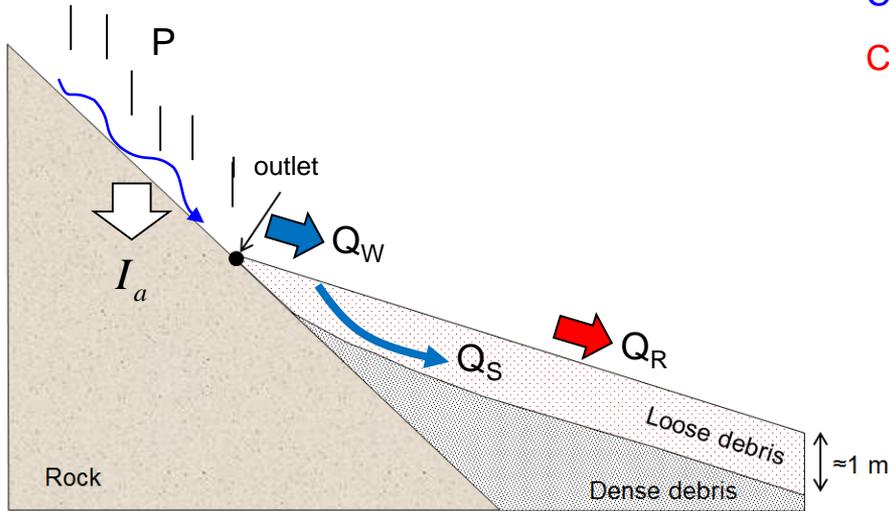
Soglia di flusso dal bacino in roccia

Risultati: risposta agli eventi di pioggia

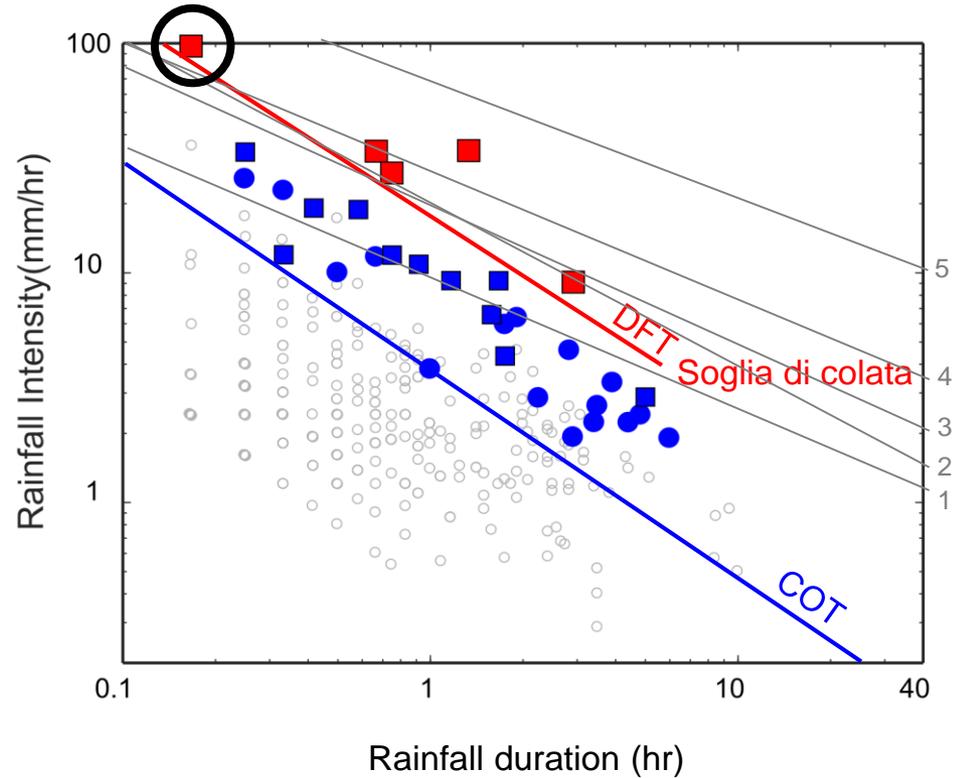
- 1) Bacchini and Zannoni (2003)
- 2) Deganutii and Marchi (2000)
- 3) Genevois et al. (2000)
- 4) Paronuzzi et al. (1998)
- 5) Gregoretti and D.Fontana (2007)

Caso B) Flusso sub-superficiale e debole ruscellamento

Caso C) Forte ruscellamento e innesco di colata



- P = Pioggia (mm)
- I_a = Perdite iniziali (mm)
- F_a = Perdite continue (mm)
- Q_w = Portata in uscita dal bacino in roccia (m³/s)
- Q_s = Flusso sub-superficiale nel canale (m³/s)
- Q_r = Ruscellamento nel canale di colata (m³/s)



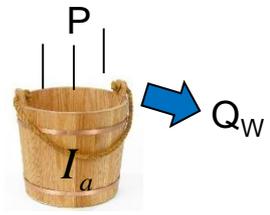
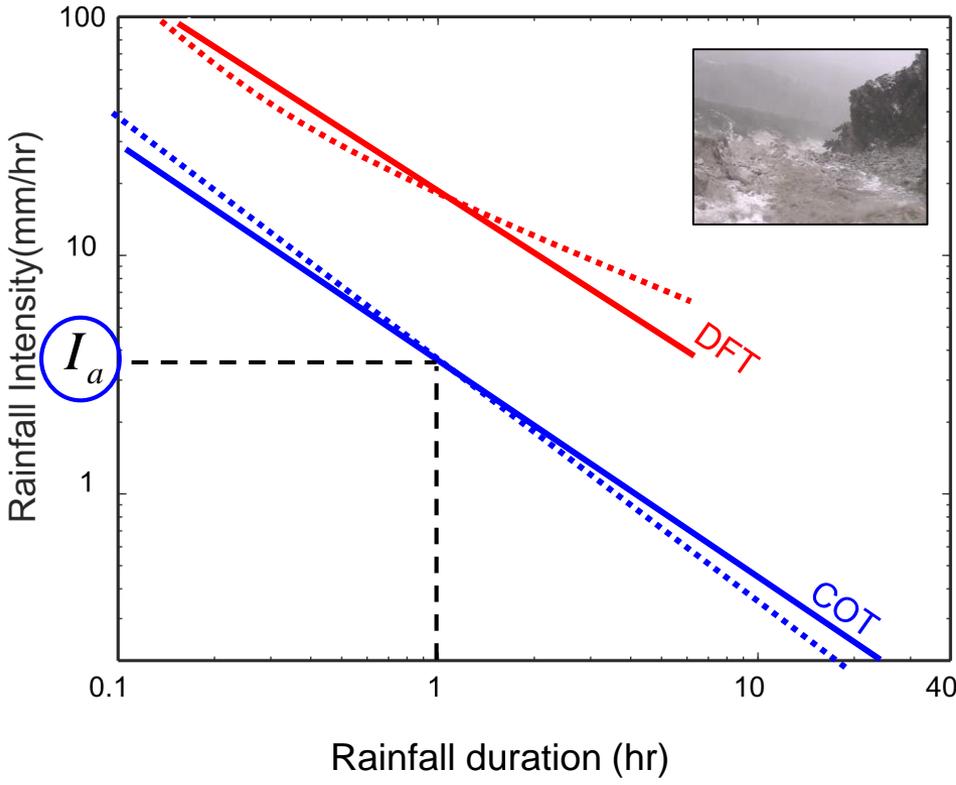
Innesco per erosione

August 18, 2011 - 16 mm in 10 min



Interpretazione fisica delle soglie pluviometriche

— Empirica - - - Teorica



Ad esempio..

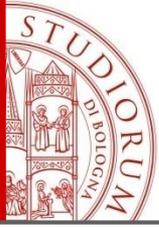
Per avere flusso dal bacino in roccia:
 $P > I_a$ $I \cdot D > I_a$
 $I = I_a \cdot D^{-1}$ Soglia teorica ($I = \alpha \cdot D^\beta$)



SCS-CN method:

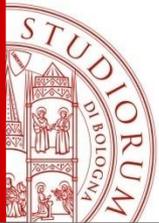
$$I_a = 0.1 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right)$$

$$I_a = 2.8 - 6.4 \text{ mm}$$



Conclusioni e raccomandazioni

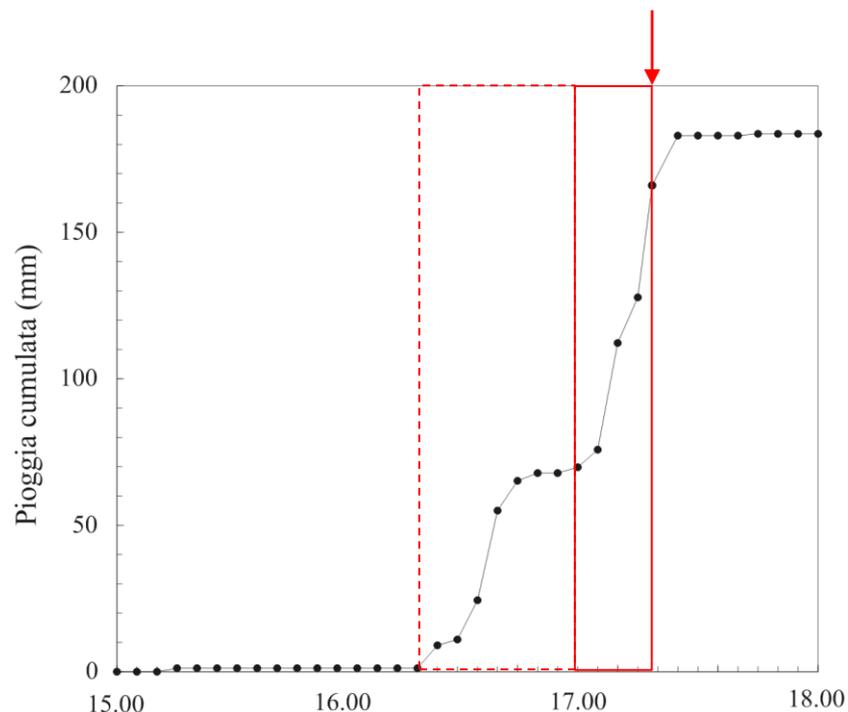
- 1) Valutare l'incertezza della soglia considerando anche le piogge che NON hanno innescato colate
- 2) Definire l'evento di pioggia secondo criteri differenti e vedere l'effetto sui risultati
- 3) Valutare attentamente la significatività del dato di pioggia (interpolazione del dato pluviometrico o utilizzo del radar)
- 4) Integrare l'analisi statistica con la conoscenza di campo, in particolare dei meccanismi di innesco
- 5) Pianificare l'installazione di sistemi di monitoraggio (in alcuni bacini rappresentativi) per validare/perfezionare la soglia pluviometrica empirica



Slide aggiuntive per domande o discussione

Definizione dell'evento di pioggia

Per definire una soglia pluviometrica, è necessario associare ad ogni colata un evento di pioggia

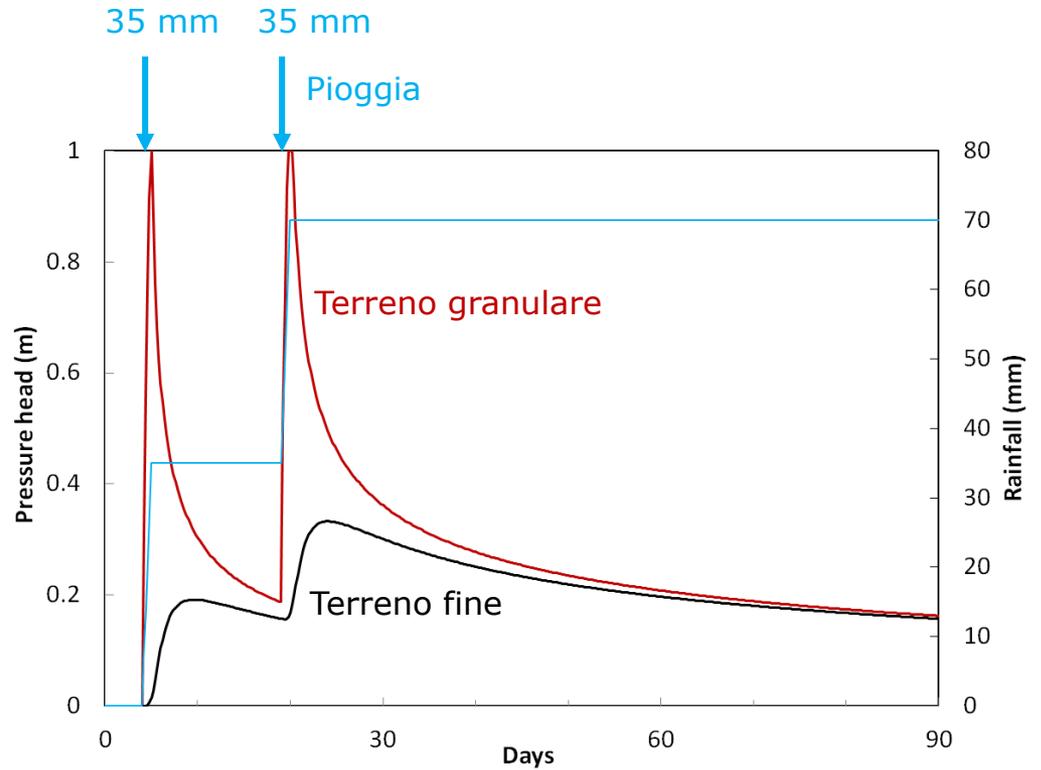
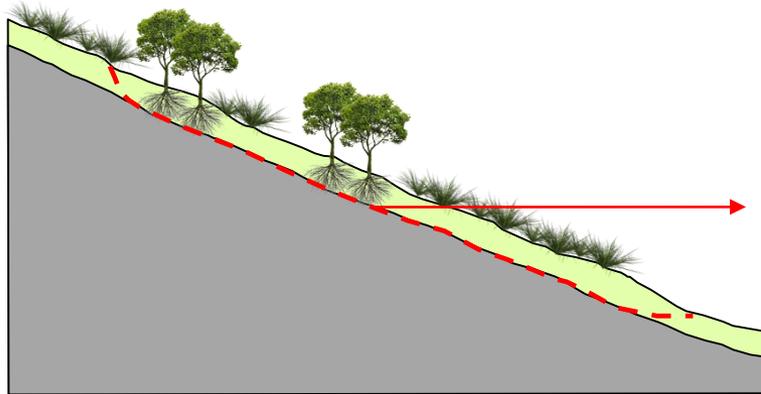


Il **criterio** che si utilizza per definire la **durata dell'evento di pioggia** condiziona direttamente il risultato (cioè la posizione dei punti nel piano intensità-durata)

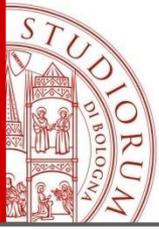
Al momento non esiste un criterio comunemente accettato o di validità generale

La scelta dipende in primo luogo dalla **risposta idrologica** del bacino alle piogge

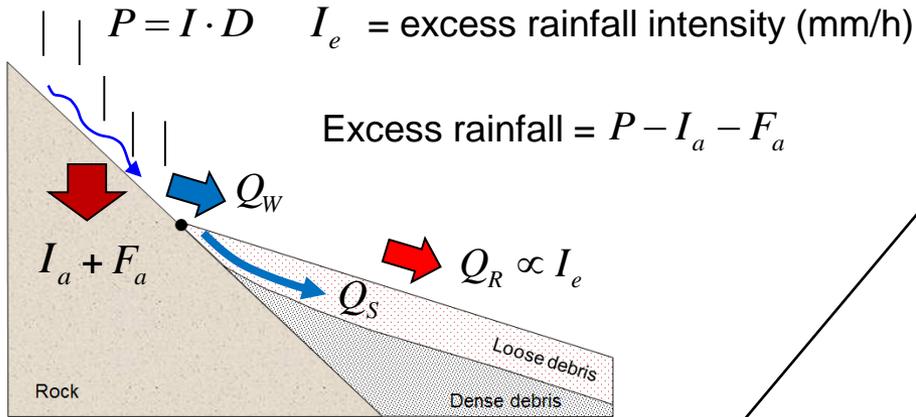
Risposta idrologica a un evento di pioggia



Linear-diffusion model (Iverson, 2000)



Physical interpretation of the Debris Flow Threshold

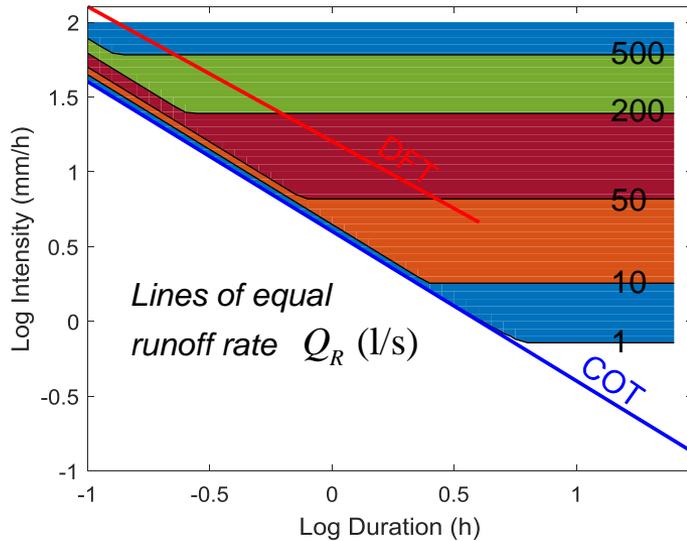


Sample models for excess rainfall

Constant loss-rate: $I_e = I - f_c$

SCS-CN abstractions: $I_e = \frac{D \cdot I^2 - I \cdot I_a}{D \cdot I + 9I_a}$

Constant loss rate



SCS-CN abstractions

