

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



unibz

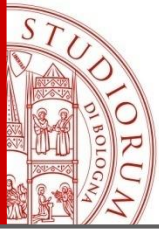
SETTIMANA  
NAZIONALE  
DELLA  
PROTEZIONE  
CIVILE

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

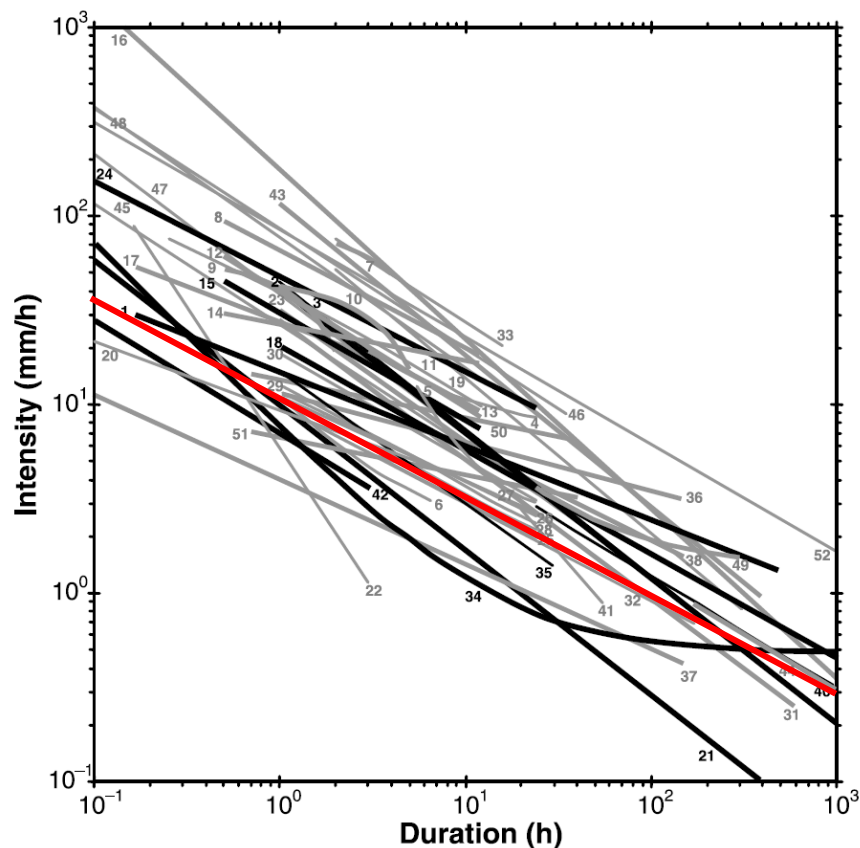
- I Falsi Allarmi
- La pioggia non è l'unico fattore in gioco..

## 3. Il contributo del monitoraggio di campo

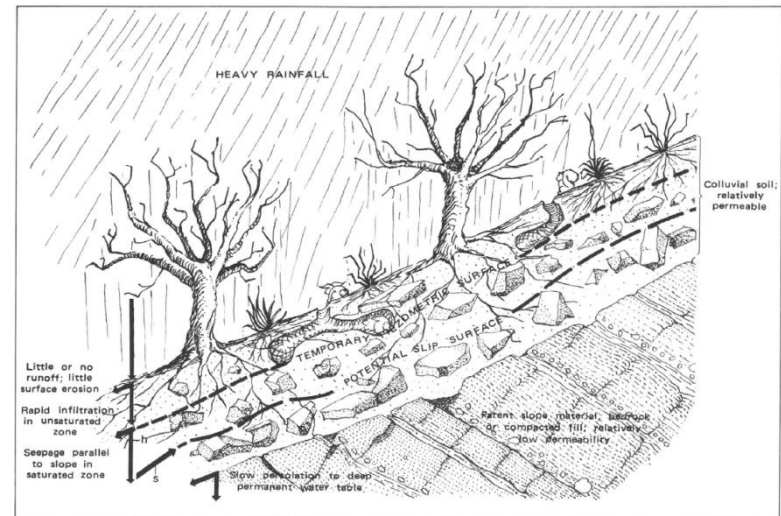
## 4. Conclusioni e raccomandazioni

# 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



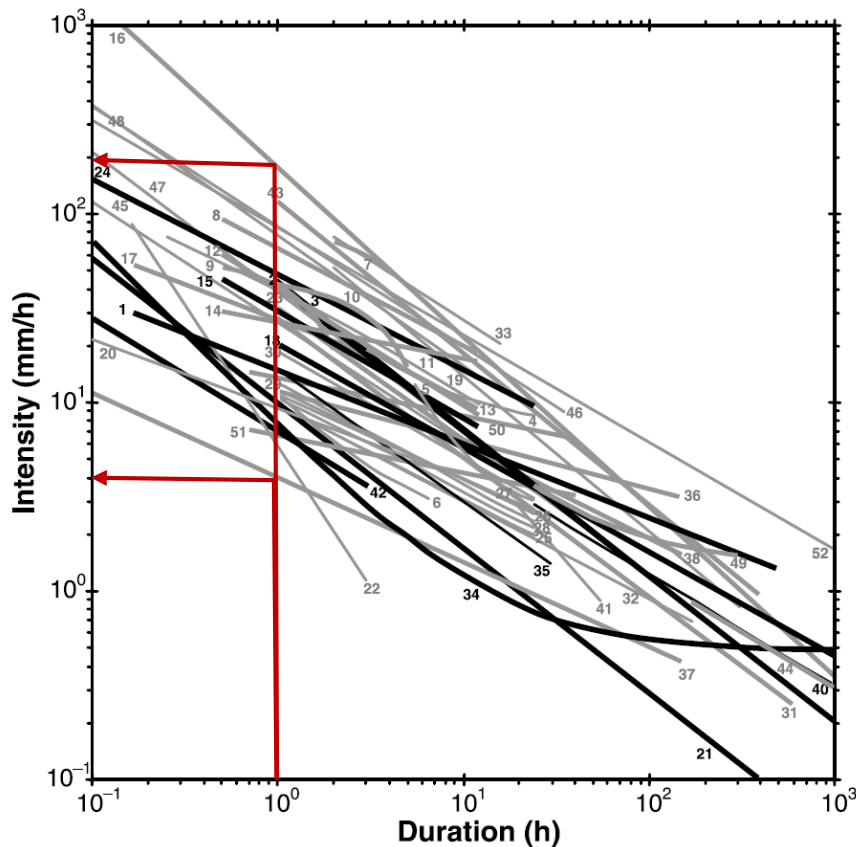
La maggior parte delle soglie pluviometriche pubblicate sono relative a **frane superficiali**



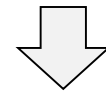
Guzzetti, F., S. Peruccacci, M. Rossi, and C. P. Stark (2007), Rainfall thresholds for the initiation of landslides in central and southern Europe, *Meteorol. Atmos. Phys.*, 98, 239–267,

# Definizione di soglia pluviometrica

Attenzione che la scala è logaritmica...

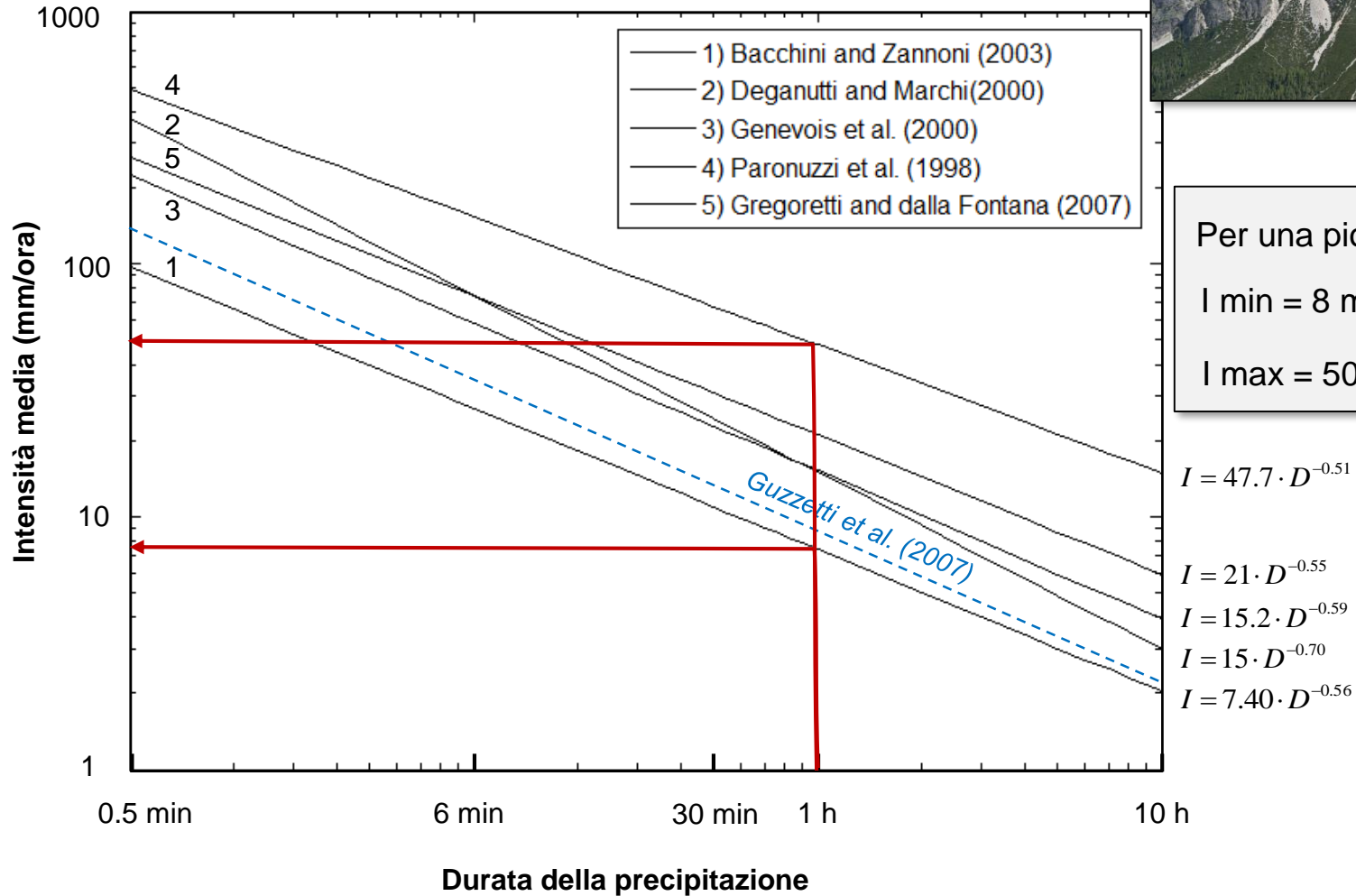


Per una pioggia di durata 1 h:  
 Intensità di soglia minima = 4 mm/h  
 Intensità di soglia massima = 200 mm/h



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

# Soglie pluviometriche per le Dolomiti Bellunesi

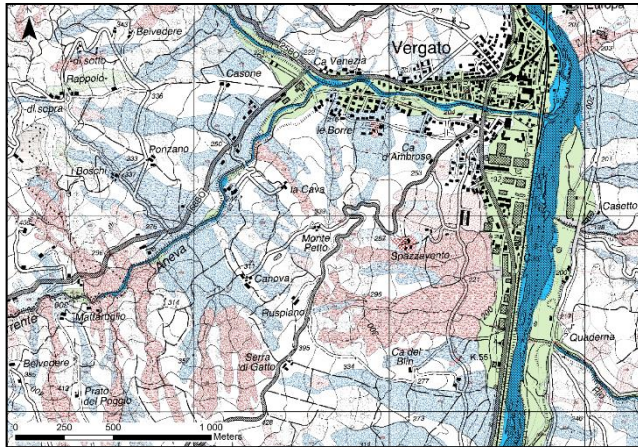


Per una pioggia di durata 1 h:  
 I min = 8 mm/h  
 I max = 50 mm/h



# Come si determina una soglia pluviometrica?

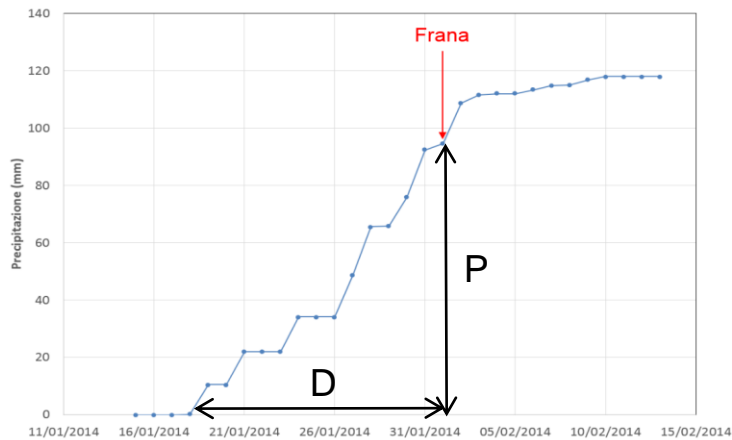
1) Scelgo l'area di interesse



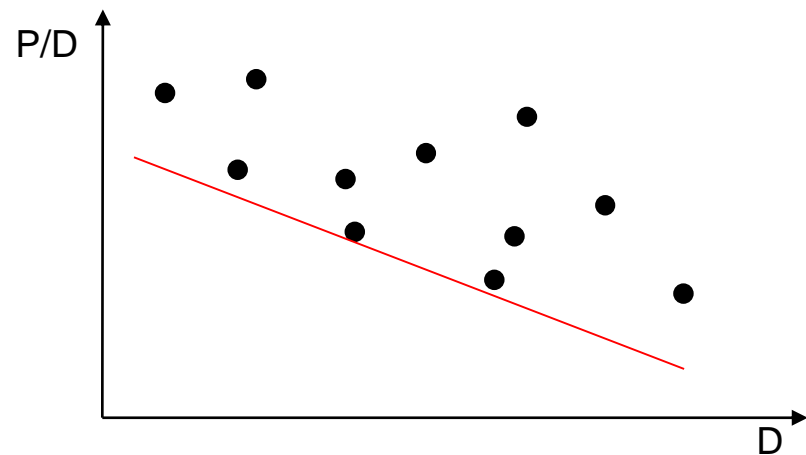
2) Cerco negli archivi notizie sulle frane



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

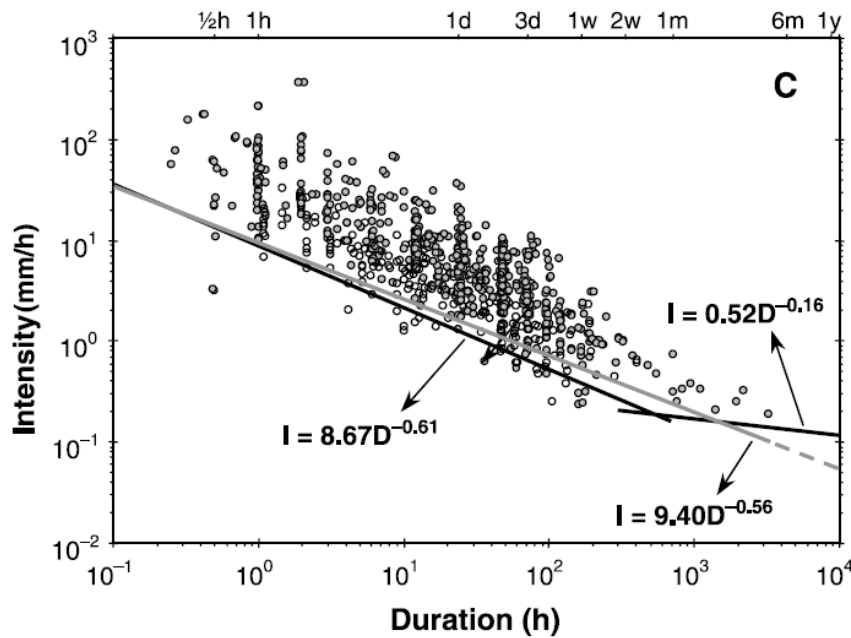


*Prudent risk management does not equate uncertainty with inaction*

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**

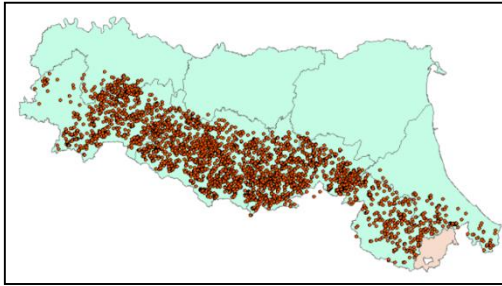


Soglia intensità-durata per l'innescio di frane nell'Europa centro-meridionale (Guzzetti et al., 2007)

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



# Il caso della Regione Emilia-Romagna



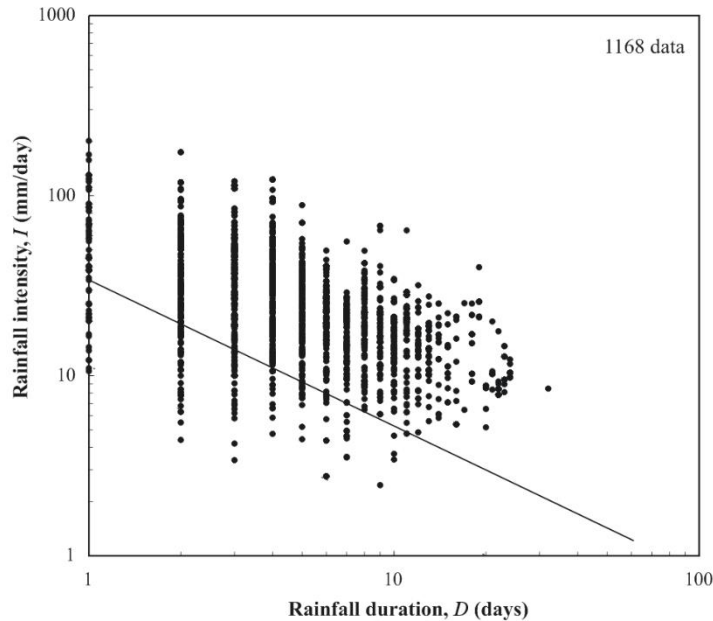
**4141 Frane storiche**

Periodo: 1939-2009

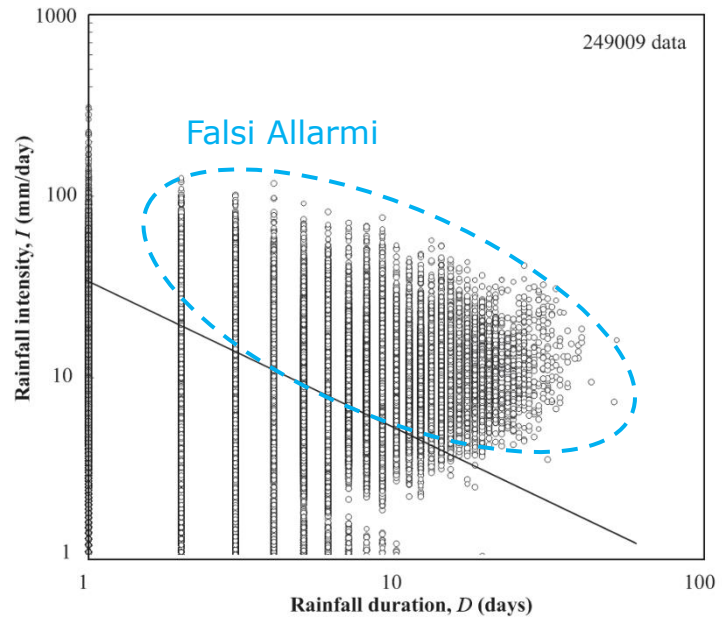
Data di innesco con precisione giornaliera



Piogge che **HANNO** dato frane

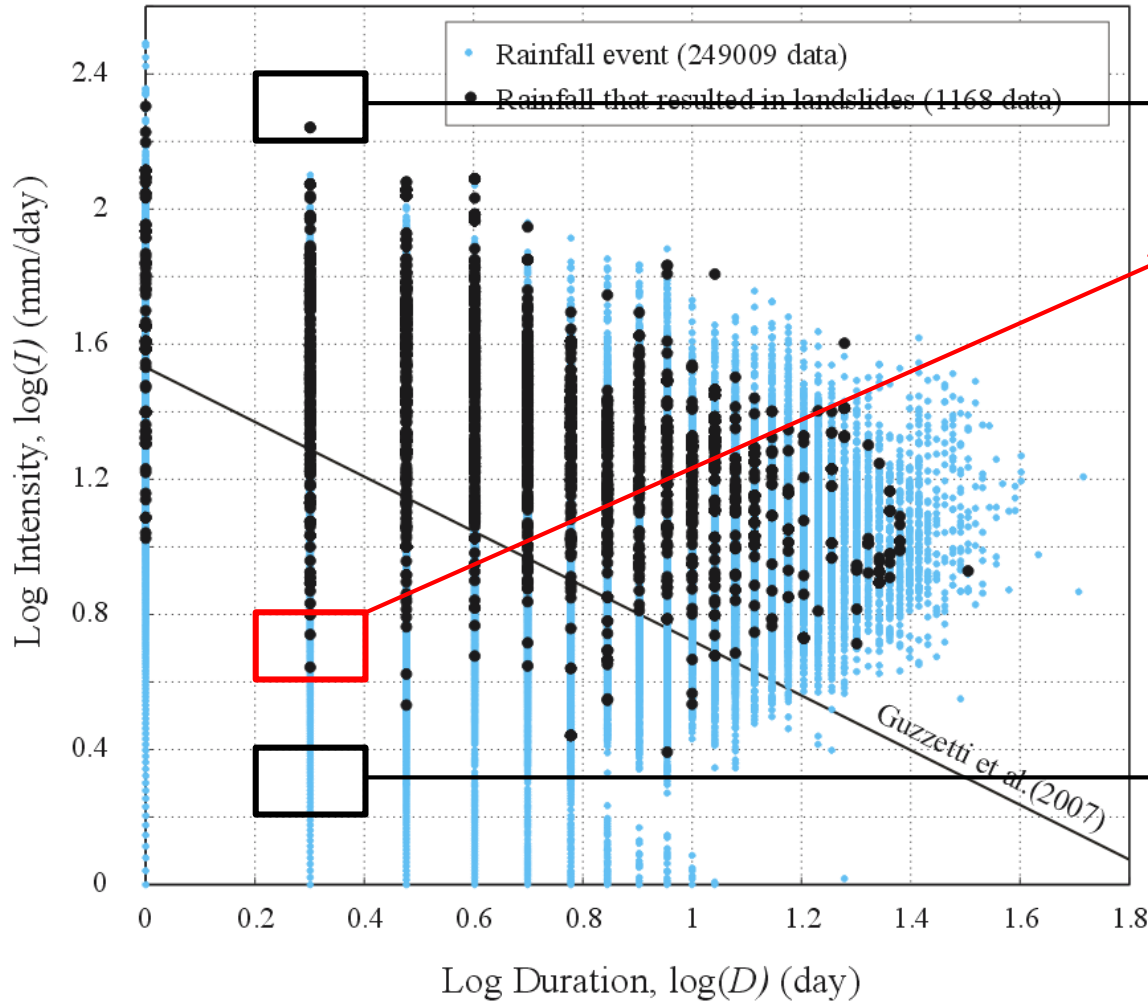


Piogge che **NON HANNO** dato frane



# Una possibile soluzione: approccio probabilistico

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



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

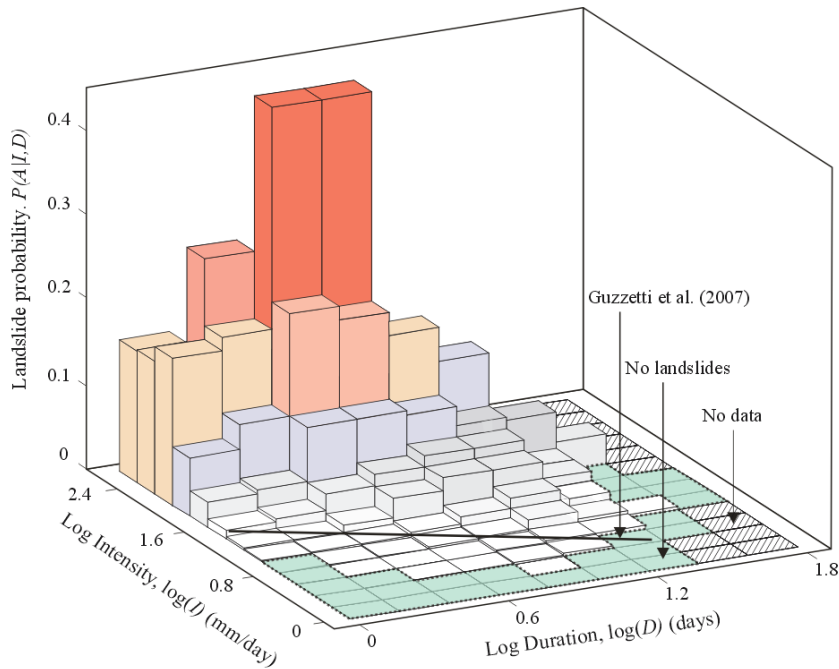
$$P(A|B) = \frac{\text{numero di piogge totali}}{\text{numero di piogge che hanno dato frane}}$$

$$P(A|B) = \frac{3}{50} = 0.06$$

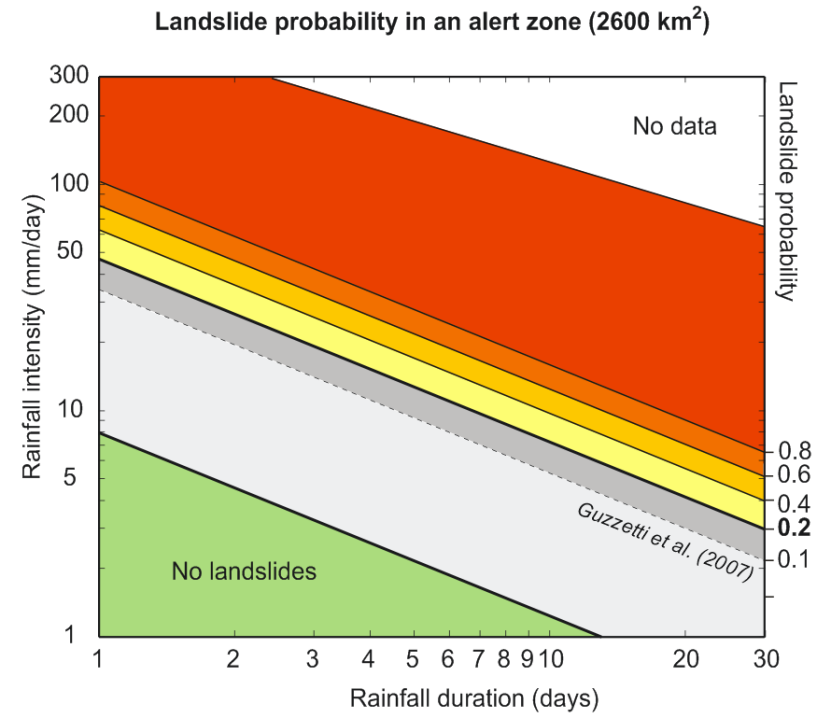
$$P(A|B) = \frac{0}{150} = 0$$

# Una possibile soluzione: approccio probabilistico

Probabilità di frana 3D

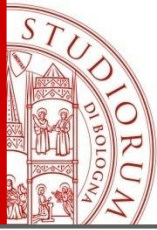


Probabilità di frana 2D



*Questo modello è operativo  
in Emilia-Romagna*

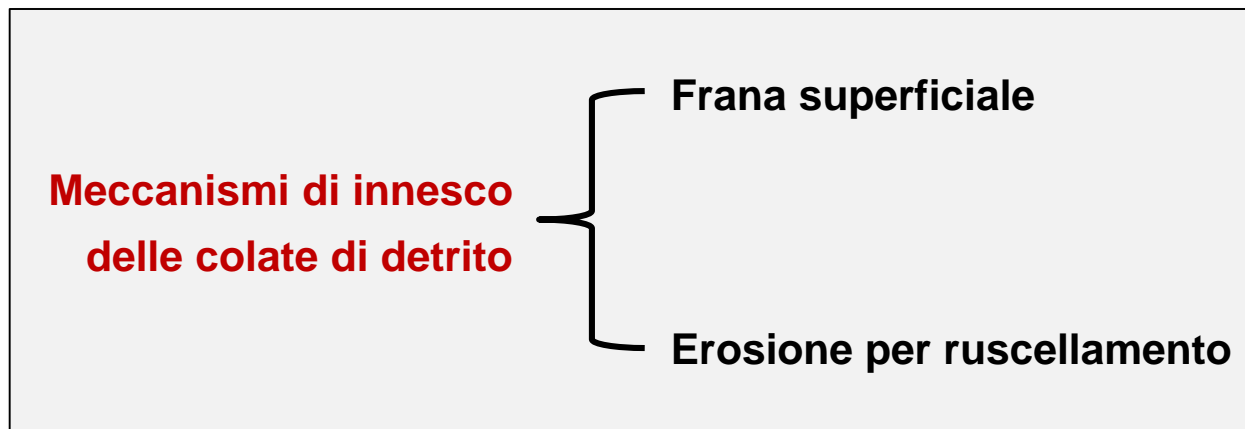




## 2) La pioggia non è l'unico fattore in gioco

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

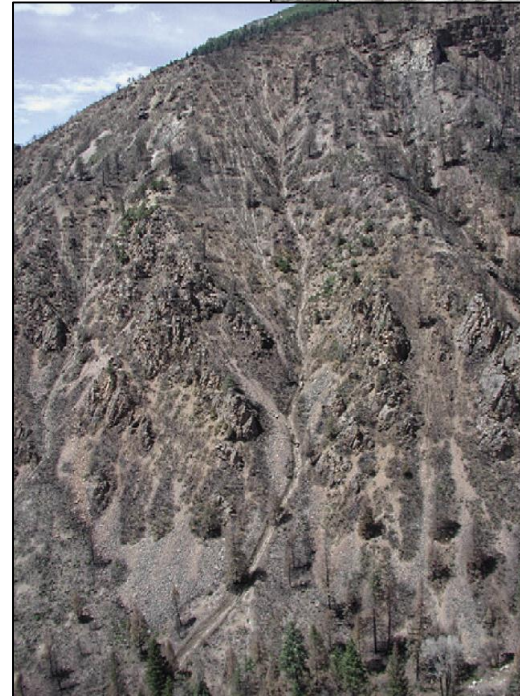
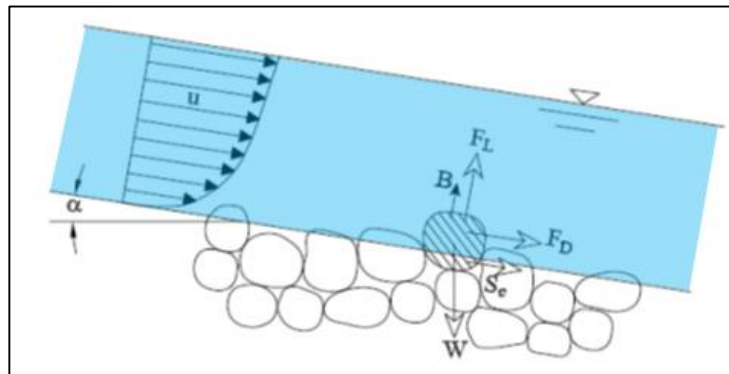
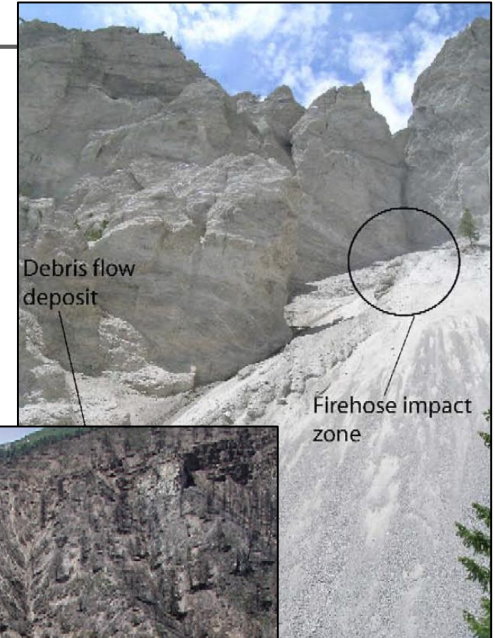
- Scorrimento di una coltre di alterazione superficiale o collasso di una porzione di frana
- Instabilità causata dall'infiltrazione dell'acqua nel terreno
- Rottura del terreno seguita da rapida fluidificazione



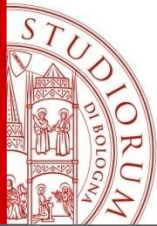
# Meccanismi di innesco di colate rapide di detrito

## 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





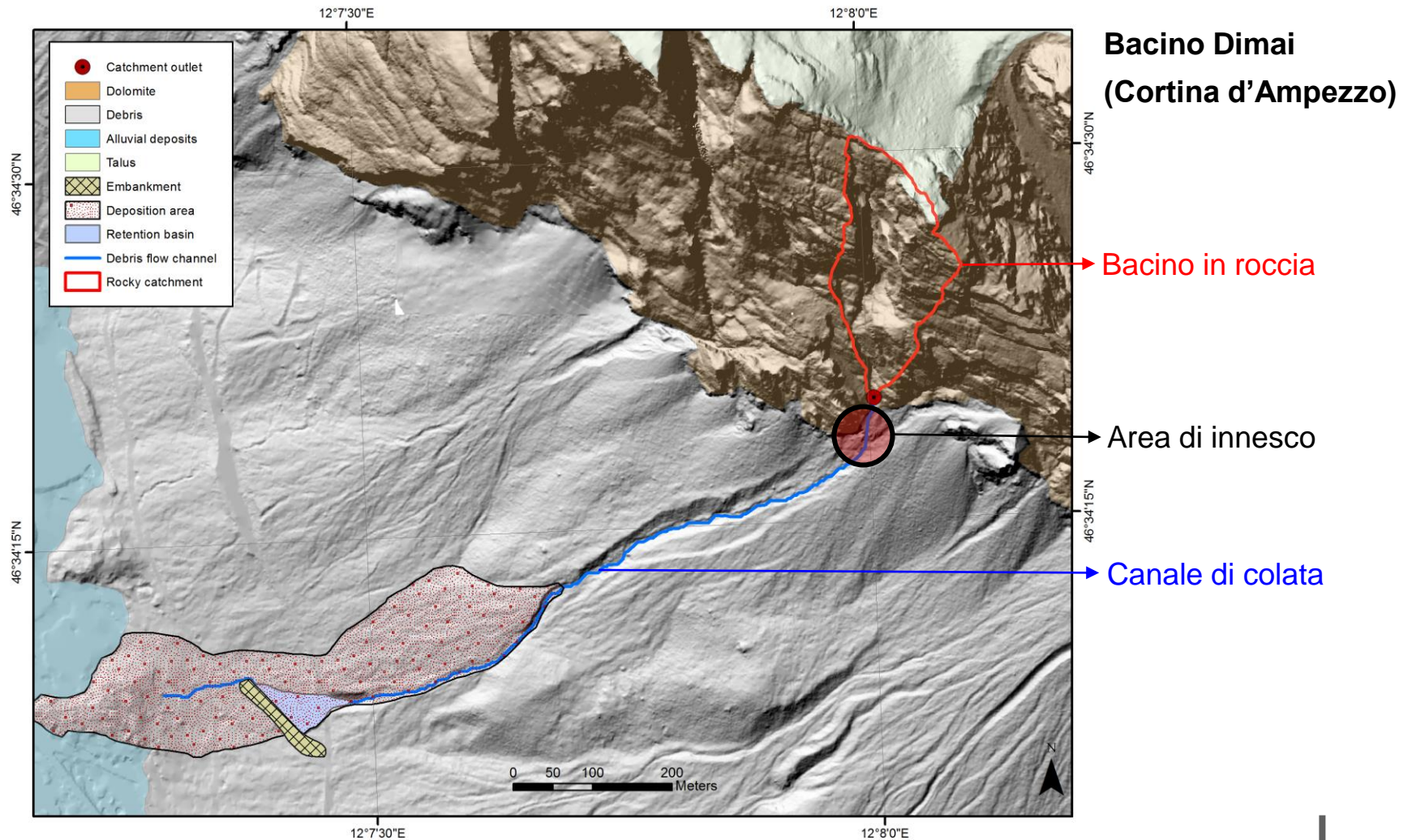


# Meccanismi di innesco di colate rapide di detrito

## Differenze in ottica di soglie pluviometriche

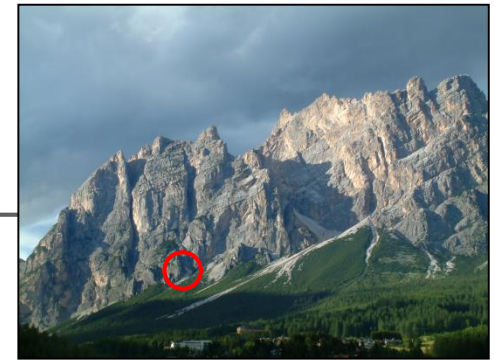
	<b>Innesco per frana</b>	<b>Innesco per erosione</b>
<b>Distribuzione spaziale</b>	Difficile da prevedere	I canali attivi sono generalmente noti
<b>Frequenza temporale</b>	Eventi rari	Eventi frequenti
<b>Impatto potenziale</b>	Molto elevato, molti eventi	Relativamente minore, pochi eventi
<b>Modelli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

### 3) Il contributo del monitoraggio di campo





## Sistema di monitoraggio del bacino Dimai



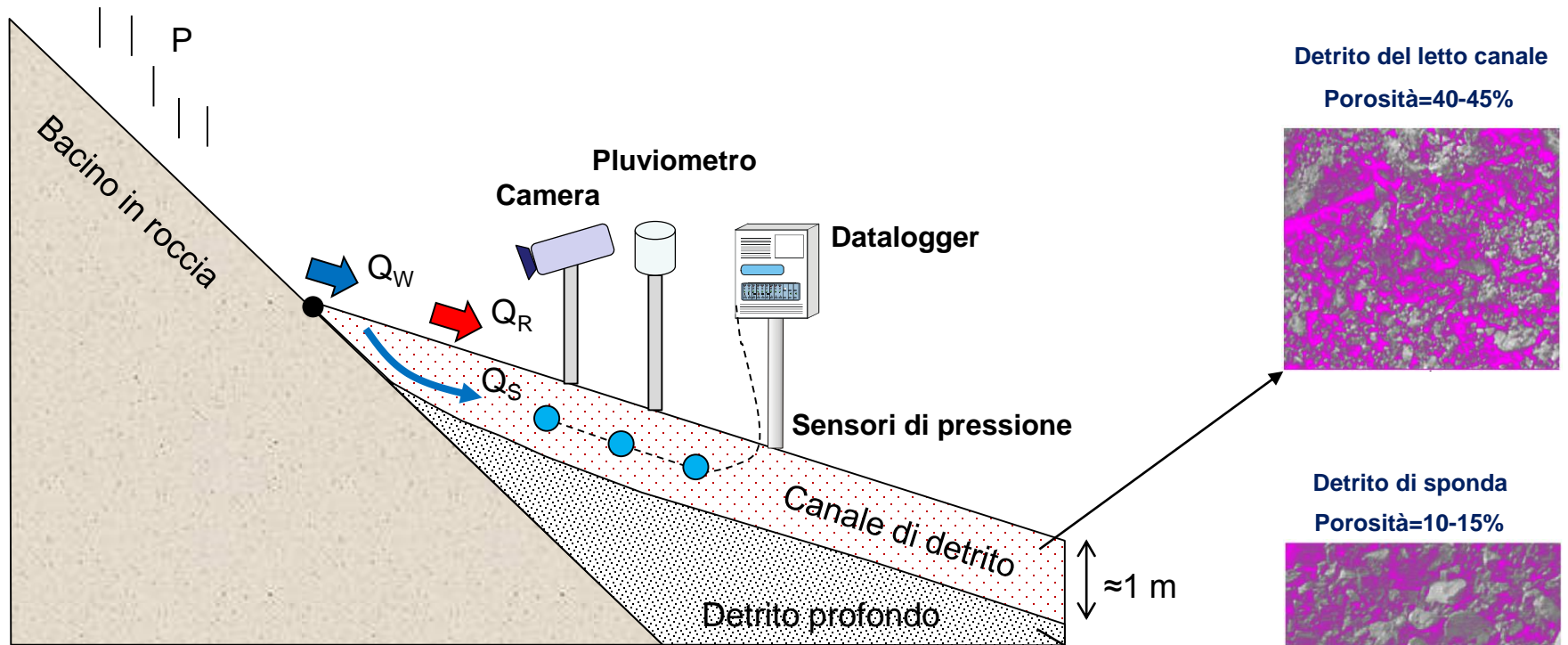
### Strumentazione:

- 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 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$Q_S$ = Flusso subsuperficiale nel canale di detrito ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$Q_R$ = Ruscellamento nella zona di innesco ( $\text{m}^3/\text{s}$ )



## Sistema di monitoraggio del bacino Dimai





# Sistema di monitoraggio del bacino Dimai





## Sistema di monitoraggio del bacino Dimai





## Sistema di monitoraggio del bacino Dimai



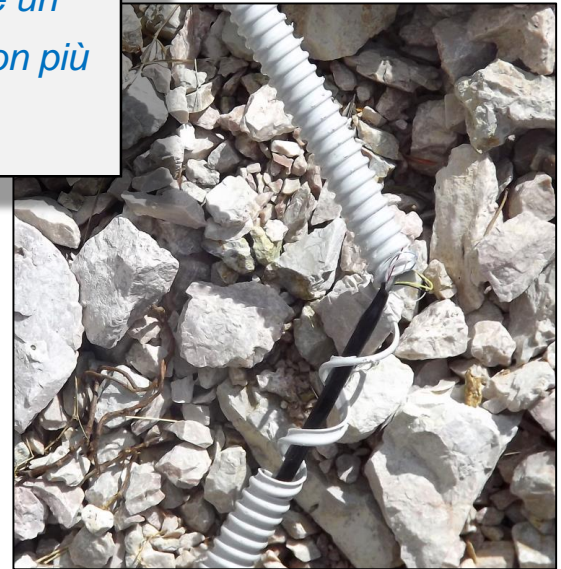
### Danni e problemi

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

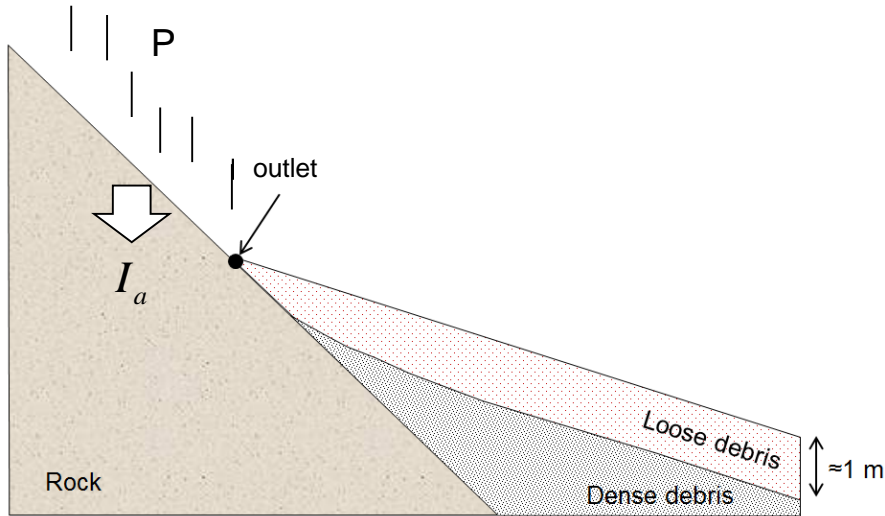
### Dati raccolti nel periodo 2010-2016:

- 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



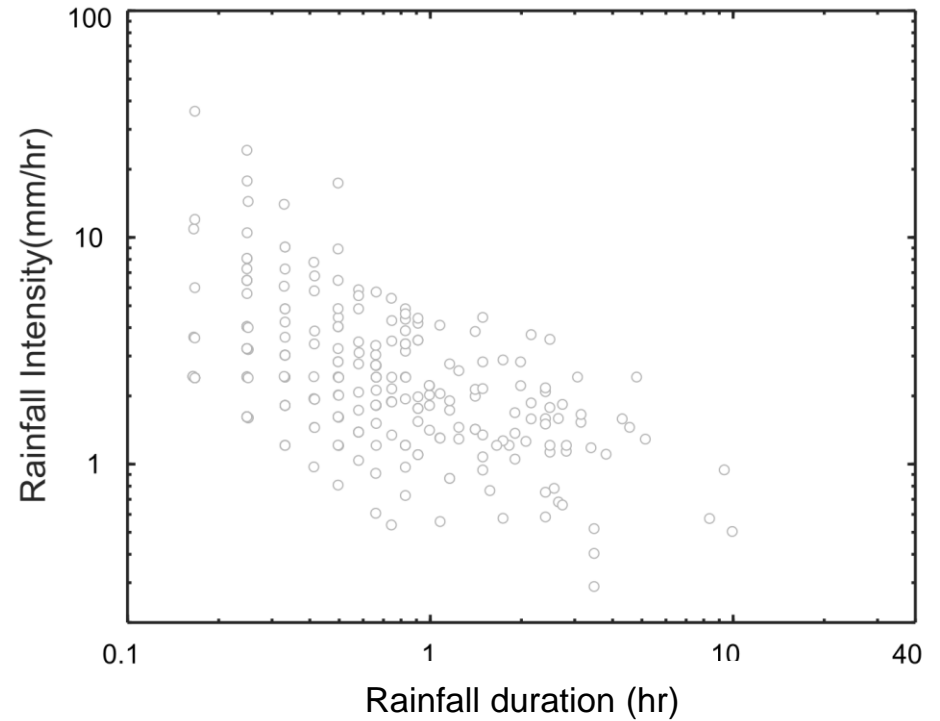
$P$  = Pioggia (mm)

$I_a$  = Perdite iniziali nel bacino in roccia (mm)

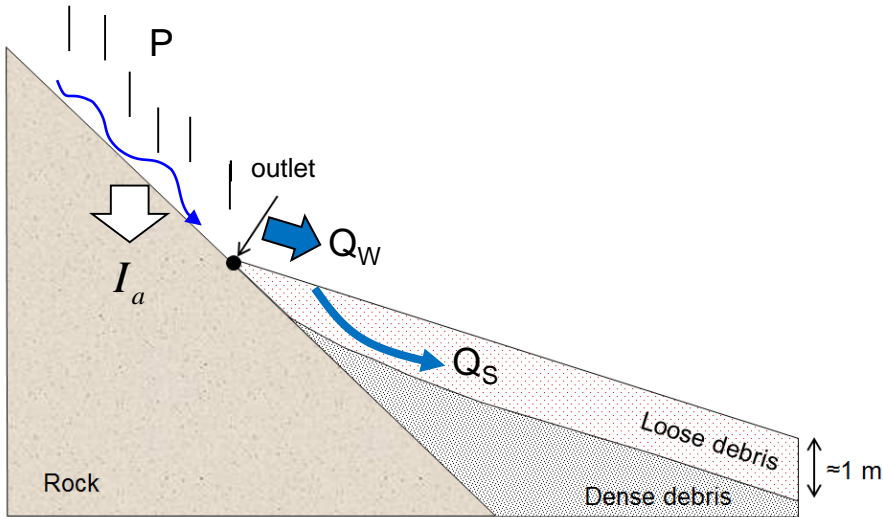
## Caso A) No response

*No flusso all'uscita del bacino in roccia*

*No ruscellamento nel canale*

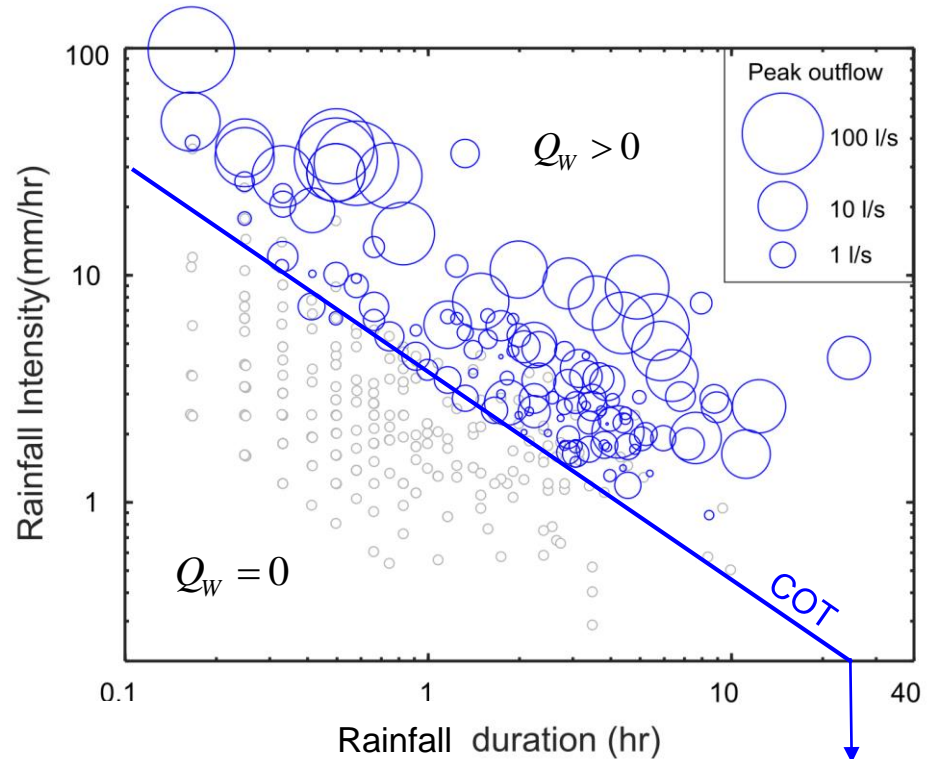


# Risultati: risposta agli eventi di pioggia



- P = Pioggia (mm)
  - I<sub>a</sub> = Perdite iniziali (mm)
  - F<sub>a</sub> = Perdite continue (mm)
  - Q<sub>w</sub> = Portata in uscita dal bacino in roccia (m<sup>3</sup>/s)
  - Q<sub>s</sub> = Flusso sub-superficiale nel canale (m<sup>3</sup>/s)
- } Perdite nel bacino in roccia

Portata in uscita dal bacino in roccia misurata dallo stramazzo



Soglia di flusso dal bacino in roccia

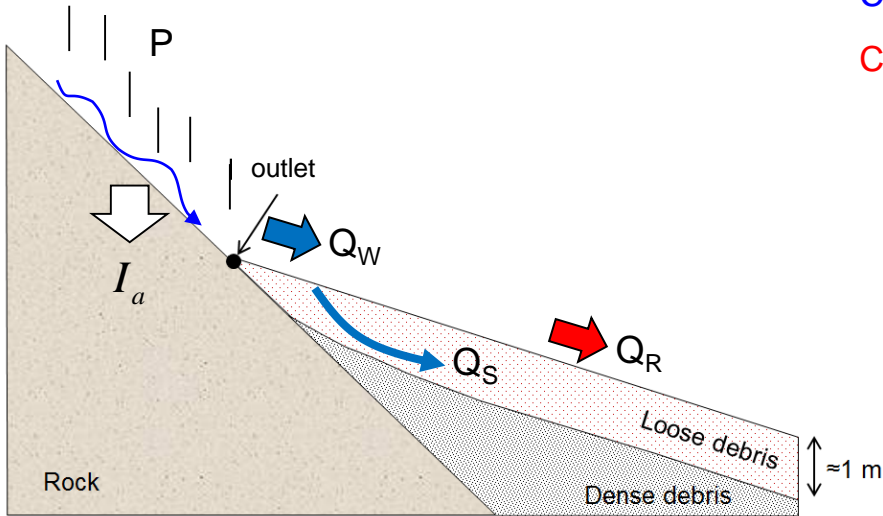


# Risultati: risposta agli eventi di pioggia

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

Caso B) Flusso sub-superficiale e debole ruscellamento

Caso C) Forte ruscellamento e innesco di colata



$P$  = Pioggia (mm)

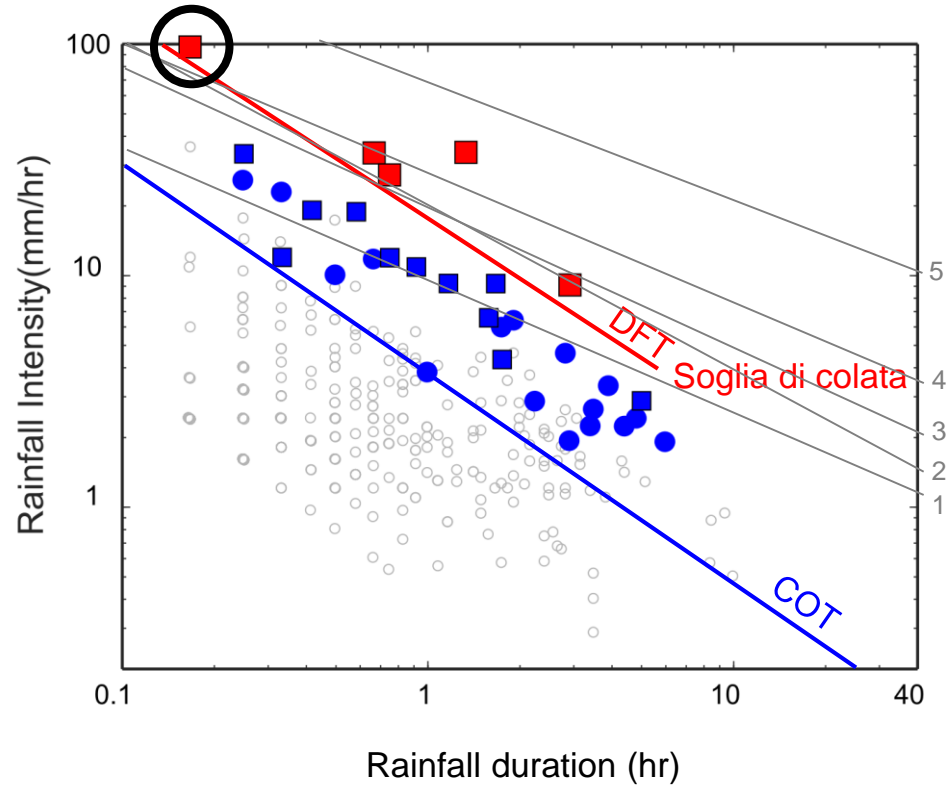
$I_a$  = Perdite iniziali (mm)

$F_a$  = Perdite continue (mm)

$Q_w$  = Portata in uscita dal bacino in roccia ( $m^3/s$ )

$Q_s$  = Flusso sub-superficiale nel canale ( $m^3/s$ )

$Q_r$  = Ruscellamento nel canale di colata ( $m^3/s$ )



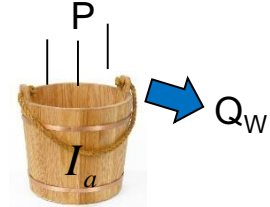
# Innesco per erosione

August 18, 2011 - 16 mm in 10 min





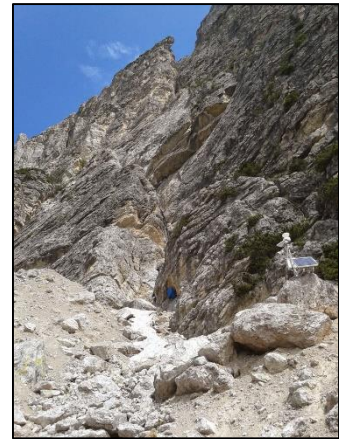
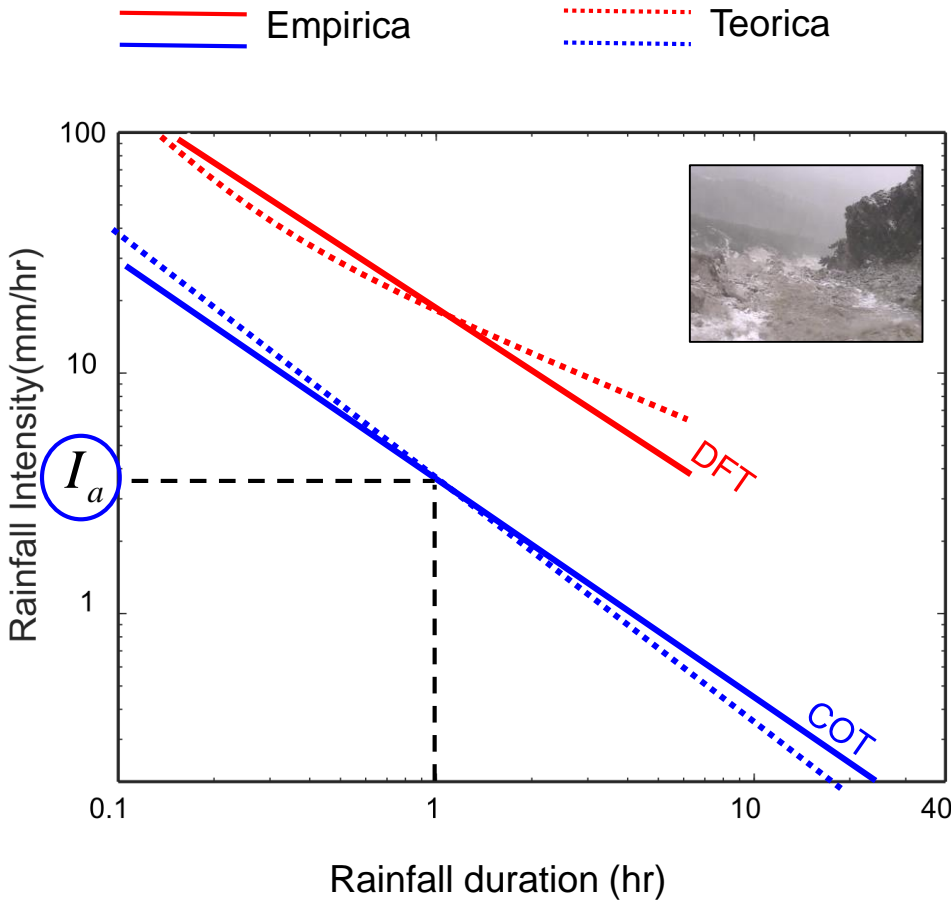
# Interpretazione fisica delle soglie pluviometriche



Ad esempio..

Per avere flusso dal bacino in roccia:

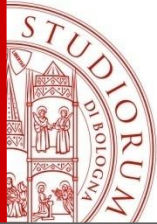
$$P > I_a \quad I \cdot D > I_a$$

$$I = I_a \cdot D^{-1} \quad \text{Soglia teorica} \quad (I = \alpha \cdot D^\beta)$$


SCS-CN method:

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

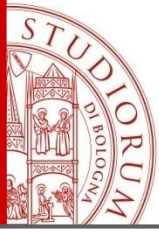
$$I_a = 2.8 - 6.4 \text{ mm}$$



## Conclusioni e raccomandazioni

---

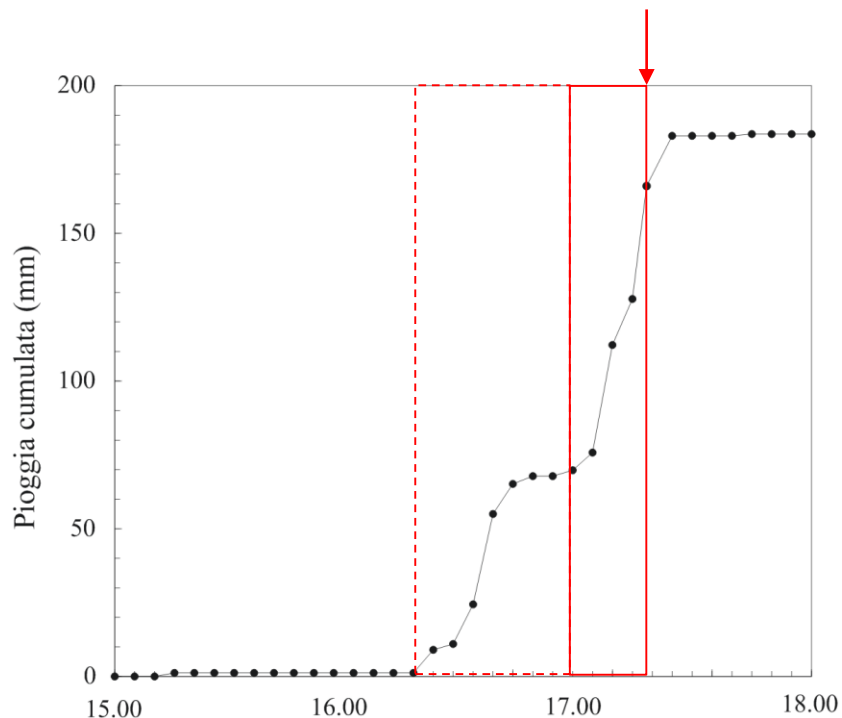
- 1) Valutare l'incertezza della soglia considerando anche le piogge che NON hanno innescato colate
- 2) Definire l'evento di pioggia secondo criteri differenti e vedere l'effetto sui risultati
- 3) Valutare attentamente la significatività del dato di pioggia (interpolazione del dato pluviometrico o 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

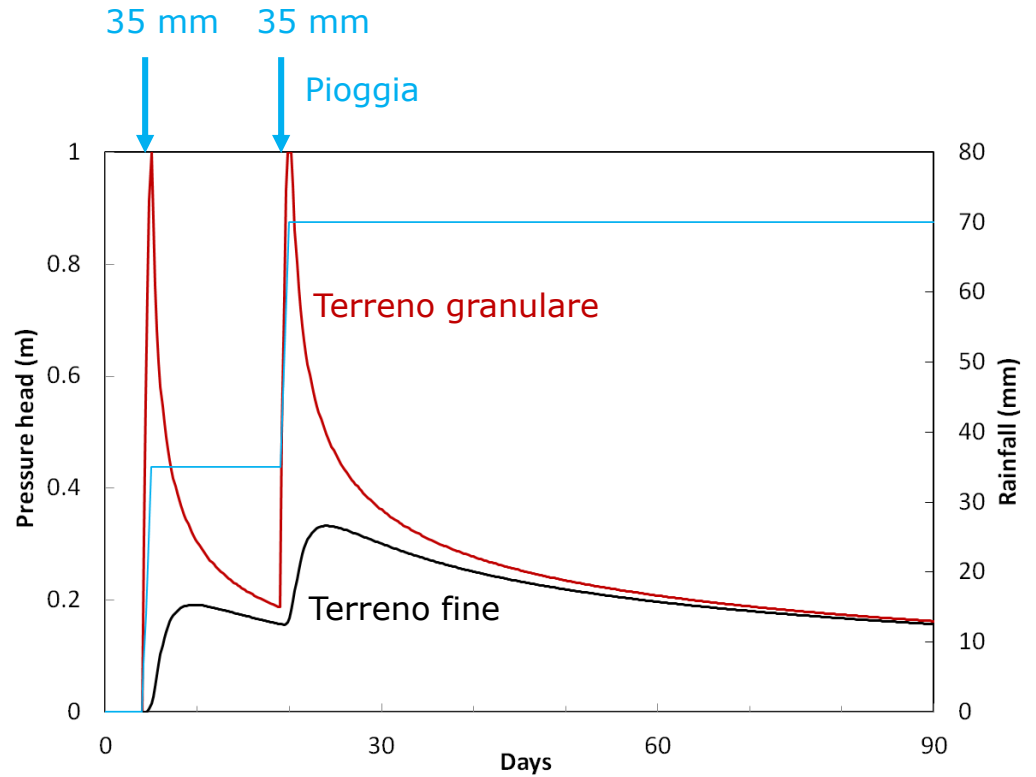
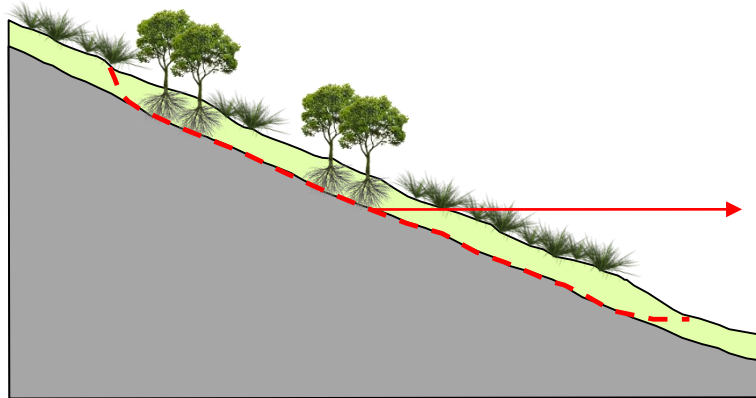


Il **critério** che si utilizza per definire la **durata dell'evento di pioggia** condiziona direttamente il risultato (cioè la posizione dei punti nel piano intensità-durata)

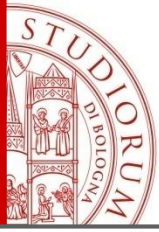
Al momento non esiste un criterio comunemente accettato o di validità generale

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

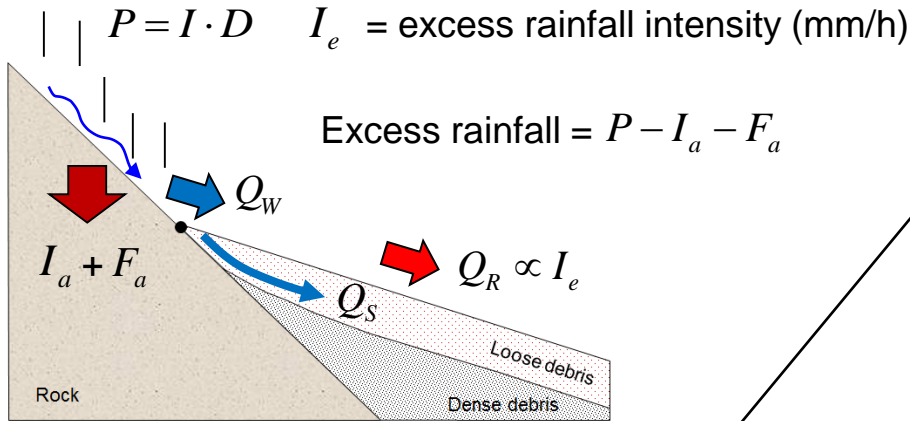
# Risposta idrologica a un evento di pioggia



**Linear-diffusion model (Iverson, 2000)**



# Physical interpretation of the Debris Flow Threshold

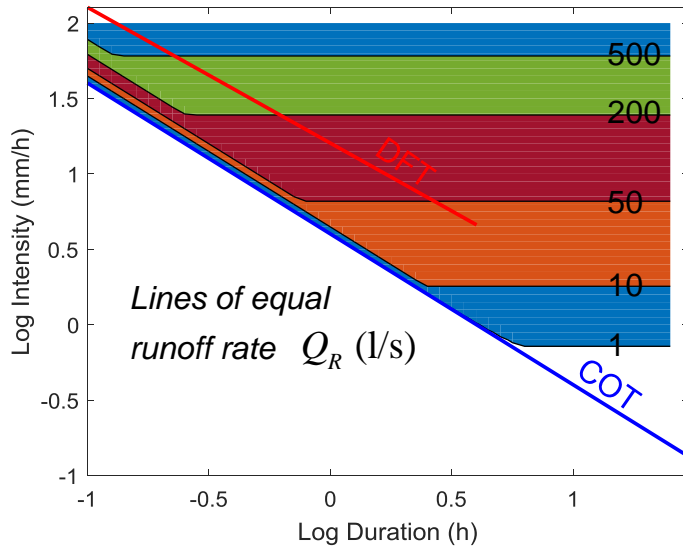


## Sample models for excess rainfall

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

