



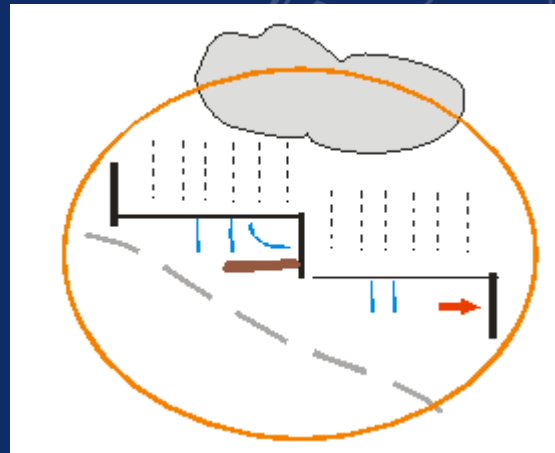
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO

DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA TERRA

A. DESIO

# Relazioni tra precipitazioni e sviluppo di falde sospese in versanti terrazzati

*Corrado Camera, Tiziana Apuani, Marco Masetti*



# Indice

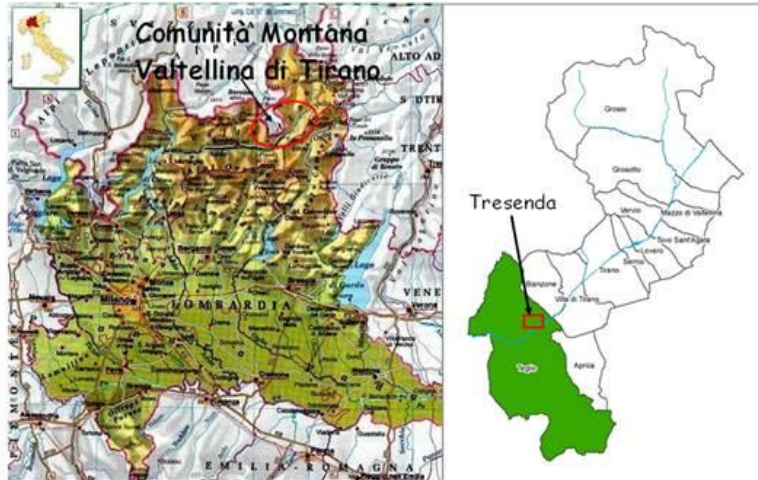
---

- ✓ **Area di Studio**
- ✓ Indagini preliminari
- ✓ Analisi degli eventi di precipitazione
- ✓ Modello di circolazione idrica
- ✓ Conclusioni



# Area di studio

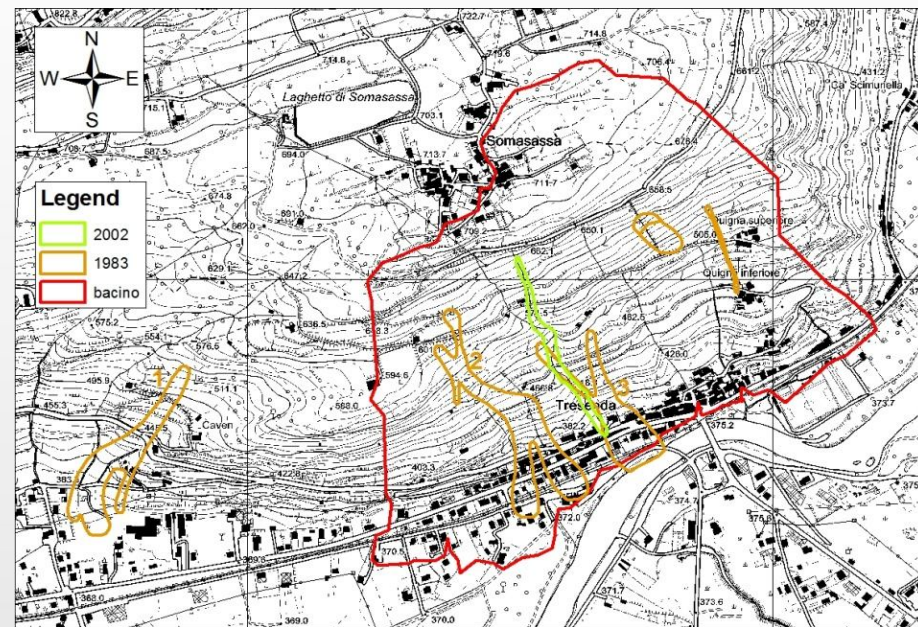
Inquadramento geografico e storico



Versante terrazzato di **Tresenda** (frazione del comune di Teglio).

Eventi (**soil slips e conseguenti debris flows**) nel 1983 e 2002.

Vittime e danni a infrastrutture, edifici e rete stradale.



C. Camera, T. Apuani, M. Masetti

Giornate di Studio *Impatto delle modificazioni climatiche su rischi e risorse naturali.*  
*Strategie e criteri d'intervento per l'adattamento e la mitigazione* - Bari, 10-11 Marzo 2011



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO  
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA TERRA  
A: DESIO

# Area di studio

Inquadramento geografico e storico



C. Camera, T. Apuani, M. Masetti

Giornate di Studio *Impatto delle modificazioni climatiche su rischi e risorse naturali.*  
*Strategie e criteri d'intervento per l'adattamento e la mitigazione* - Bari, 10-11 Marzo 2011



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO  
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA TERRA  
A: DESIO

# Area di studio

Inquadramento geografico e storico



C. Camera, T. Apuani, M. Masetti

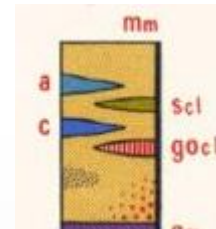
Giornate di Studio *Impatto delle modificazioni climatiche su rischi e risorse naturali.*  
*Strategie e criteri d'intervento per l'adattamento e la mitigazione* - Bari, 10-11 Marzo 2011



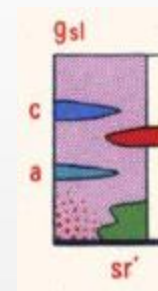
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO  
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA TERRA  
A: DESIO

# Area di studio

Inquadramento geologico



Scisti di Edolo (Sudalpino)



Gneiss del Monte Tonale (Austroalpino)

Stralcio del Foglio 19 (Tirano) Carta Geologica d'Italia 1:100.000

C. Camera, T. Apuani, M. Masetti

Giornate di Studio *Impatto delle modificazioni climatiche su rischi e risorse naturali. Strategie e criteri d'intervento per l'adattamento e la mitigazione* - Bari, 10-11 Marzo 2011



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO  
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA TERRA  
A: DESIO

# Indice

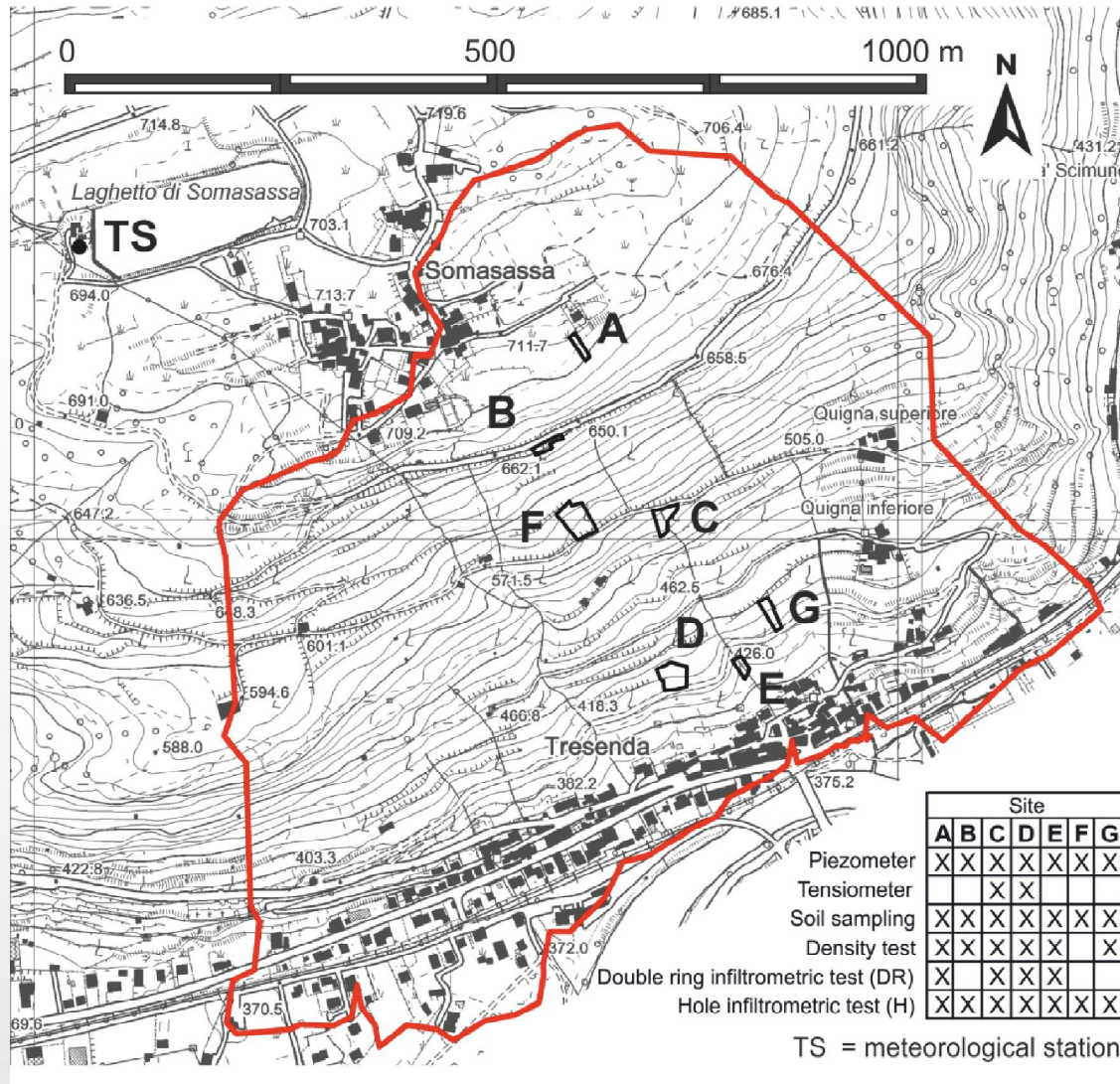
---

- ✓ Area di Studio
- ✓ **Indagini preliminari**
- ✓ Analisi degli eventi di precipitazione
- ✓ Modello di circolazione idrica
- ✓ Conclusioni



# Parametri geotecnici e idrogeologici

Indagini preliminari e installazione di strumenti



**Conducibilità idraulica ( $k_s$ )**

Range:  $1.1 \cdot 10^{-4}$  -  $5.4 \cdot 10^{-6}$  m/s

Media:  $3.5 \cdot 10^{-5}$  m/s

**Peso volume naturale ( $\gamma_0$ )**

Range: 13.5-15.8 kN/m<sup>3</sup>

Media: 14.9 kN/m<sup>3</sup>

**Peso volume secco ( $\gamma_d$ )**

Range: 12.8-15.7 kN/m<sup>3</sup>

Media: 13.8 kN/m<sup>3</sup>

**Granulometria (USCS)**

GM o SM eccezione sito G GW

C. Camera, T. Apuani, M. Masetti

Giornate di Studio *Impatto delle modificazioni climatiche su rischi e risorse naturali. Strategie e criteri d'intervento per l'adattamento e la mitigazione* - Bari, 10-11 Marzo 2011



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO  
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA TERRA  
A: DESIO



# Indice

---

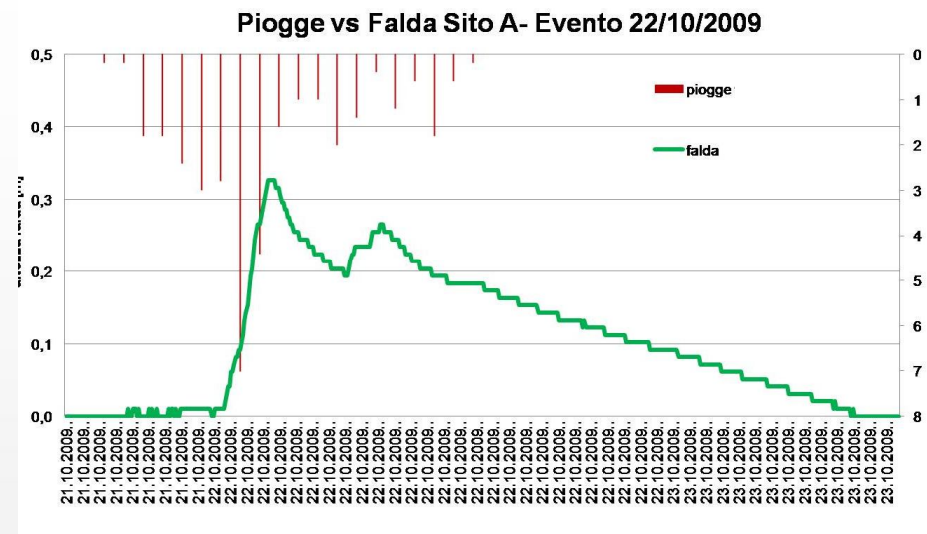
- ✓ Area di Studio
- ✓ Indagini preliminari
- ✓ **Analisi degli eventi di precipitazione**
- ✓ Modello di circolazione idrica
- ✓ Conclusioni

# Analisi degli eventi di precipitazione

Generale

## Agosto 2009 - Agosto 2010:

- ✓ 62 eventi;
- ✓ **Durata** maggiore o uguale alle 2 ore e **fine dell'evento** in caso di 12 ore senza acqua;
- ✓ Confronto con le registrazioni dei **piezometri**:
  - Relazioni tra tempo di insorgenza e tempo di esaurimento con alcune caratteristiche delle precipitazioni;
  - Determinazione di una soglia di insorgenza di falde sospese.

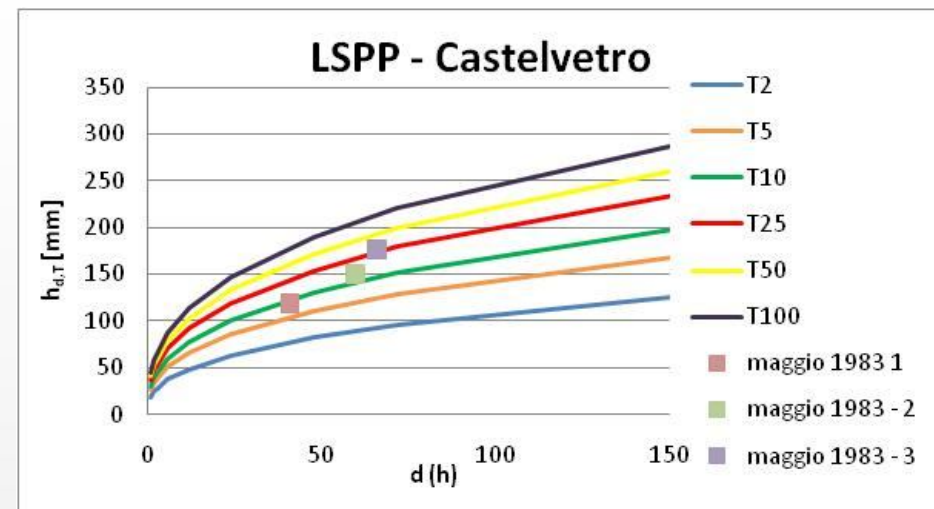


# Analisi degli eventi di precipitazione

Generale

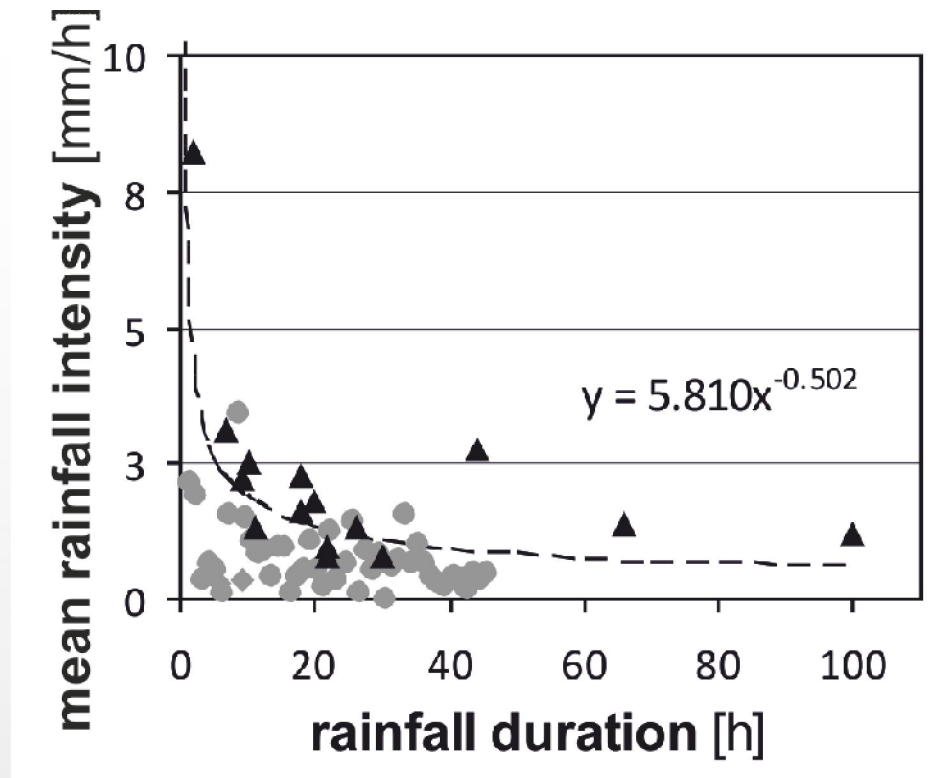
## Serie storica:

- ✓ 27 anni (**marzo-ottobre**) di dati (1980-2002 + 2007-2010):
  - Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica;
  - Trend temporali di alcuni caratteri delle precipitazioni.



# Analisi degli eventi di precipitazione

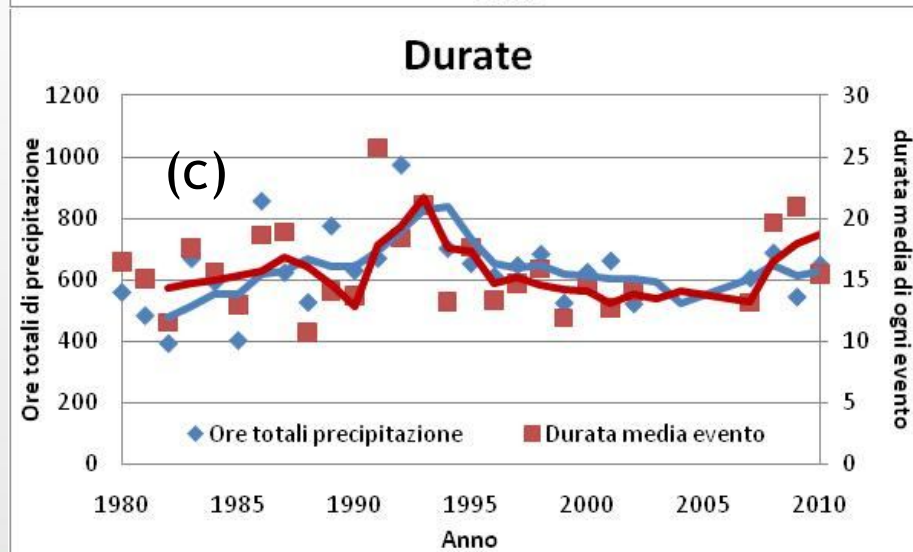
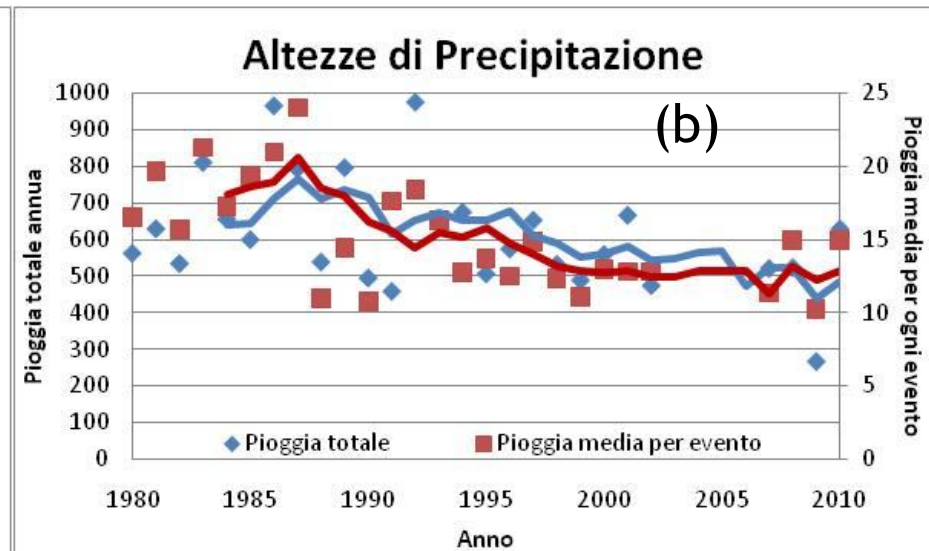
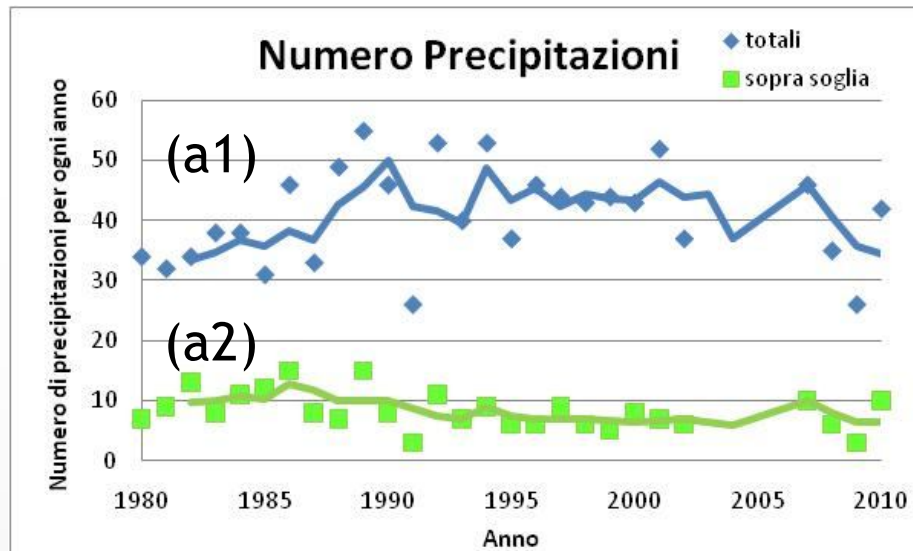
Relazioni Precipitazioni - Falda sospesa



- ▲ Evento con falda
- Evento senza falda

# Analisi degli eventi di precipitazione

Trend di alcune caratteristiche delle precipitazioni

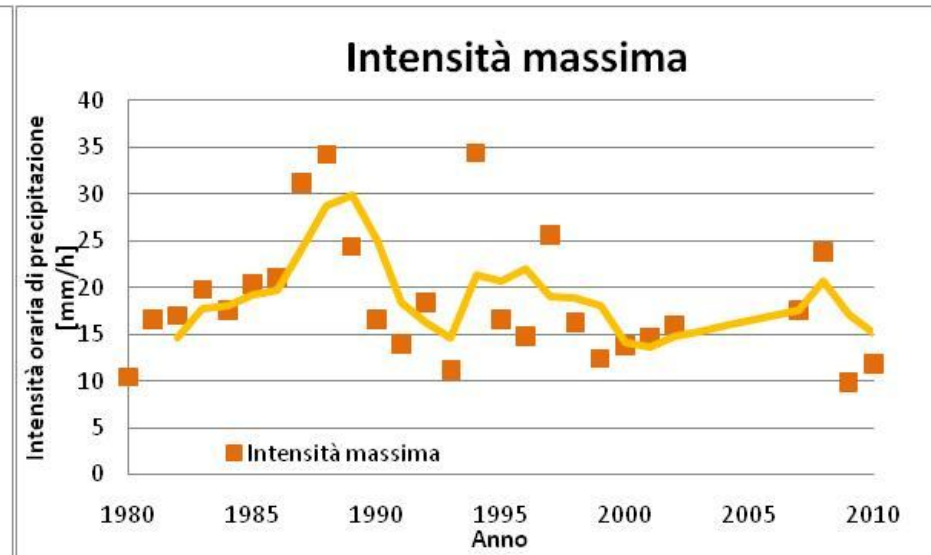
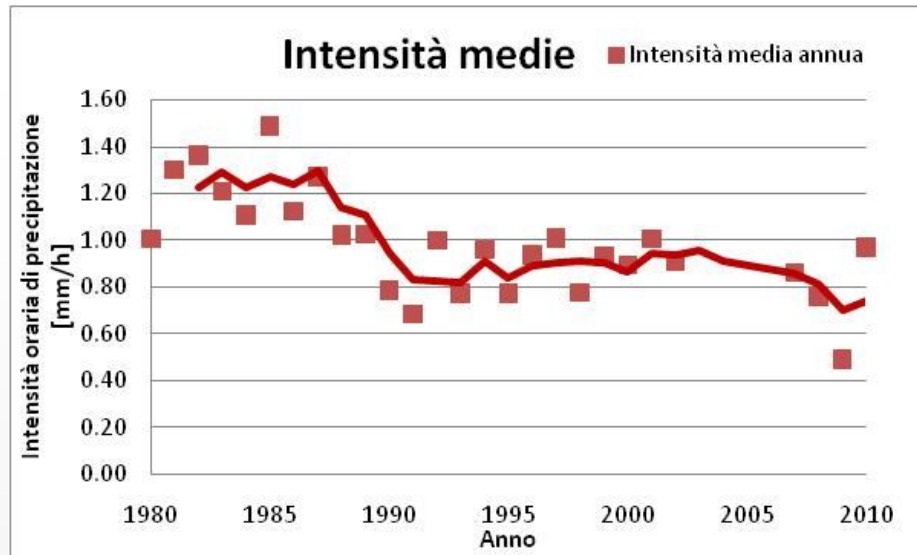


Trend (media mobile 3 periodi).

- (a1) **Precipitazioni totali**: molto variabili, picco fine anni '80;
- (a2) **Sopra soglia**: picco intorno '85 segue decrescita lenta;
- (b) **Altezze**: picco fine '80, segue decrescita forse ancora in corso;
- (c) **durate**: picco primi '90, decrescita, poi forse leggera ripresa.

# Analisi degli eventi di precipitazione

Trend di alcune caratteristiche delle precipitazioni

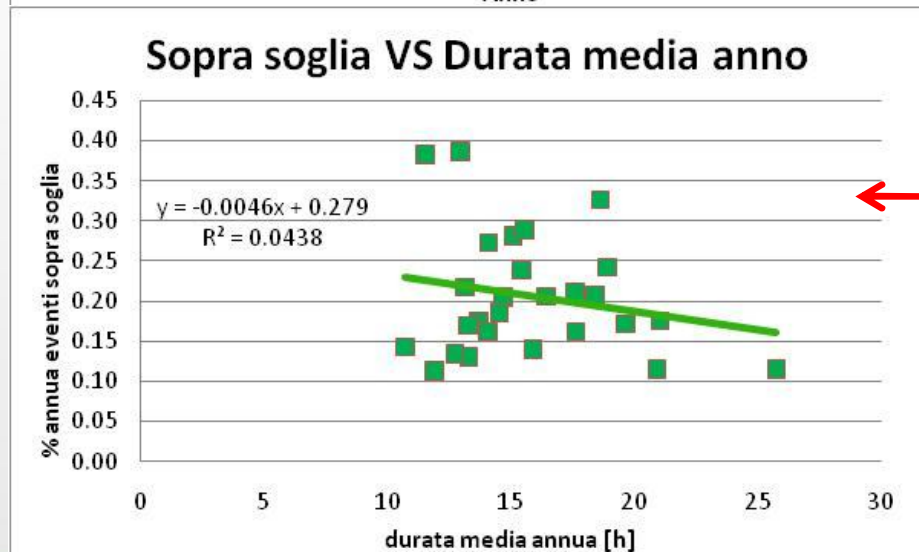
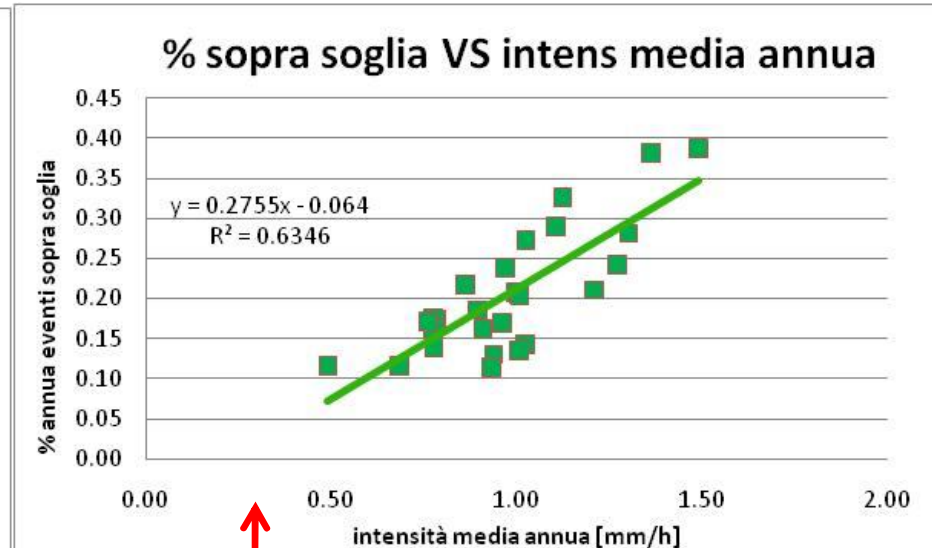
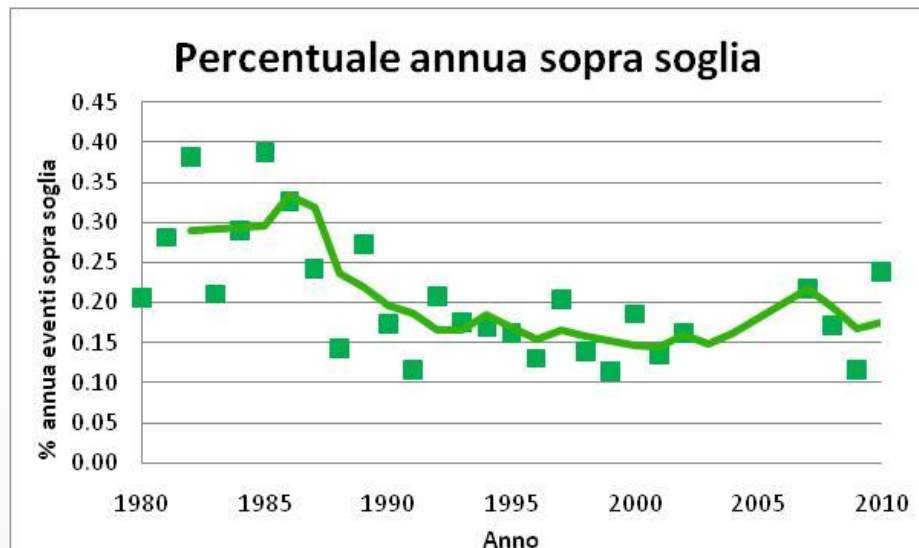


Trend simile a quello di altezze di precipitazione e n. eventi sopra soglia, picco e decrescita successiva.

Trend difficile da definire ma c'è un picco evidente a fine anni '80.

# Analisi degli eventi di precipitazione

Trend di alcune caratteristiche delle precipitazioni



% annua sopra soglia vs intensità media: discreta correlazione;

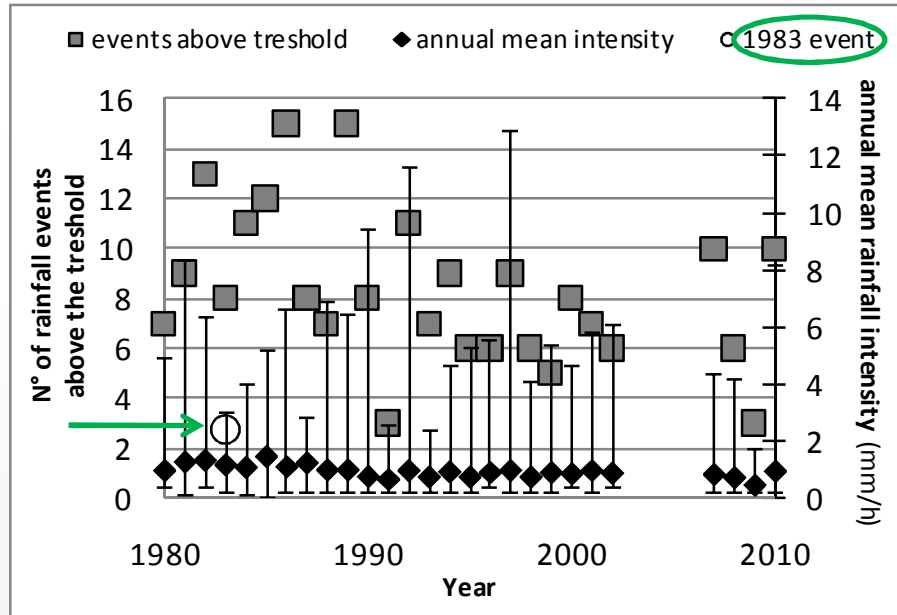
% annua sopra soglia vs durata media: nessuna correlazione.

A questa scala temporale è decisamente più importante l'**intensità** per determinare la possibilità di formazione di una falda sospesa.

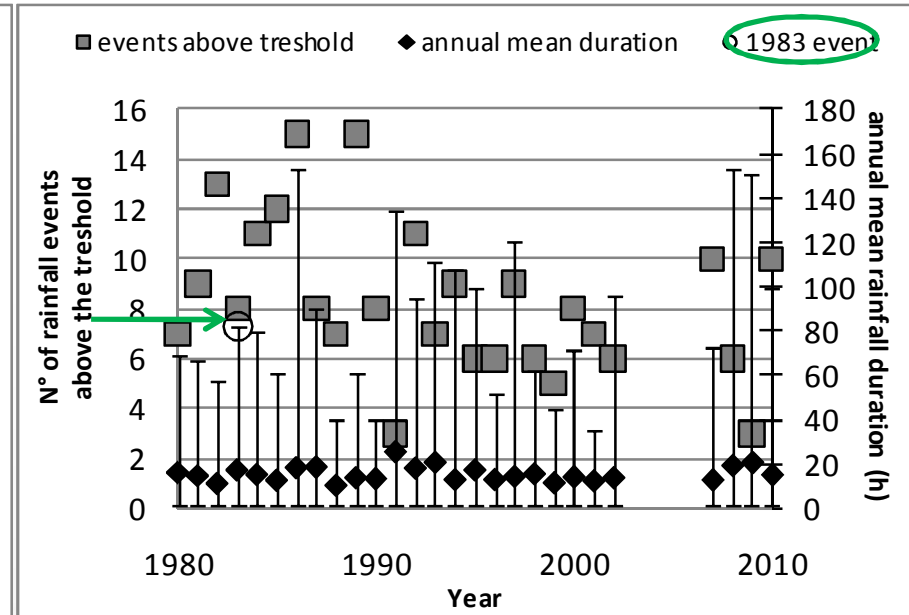
# Analisi degli eventi di precipitazione

Trend di alcune caratteristiche delle precipitazioni

## Intensità



## Durata



Evento del maggio 1983: **intensità media piuttosto elevata** (comunque superiore alla media annuale) e **durata particolarmente lunga**.



# Indice

---

- ✓ Area di Studio
- ✓ Indagini preliminari
- ✓ Analisi degli eventi di precipitazione
- ✓ **Modello di circolazione idrica**
- ✓ Conclusioni

# Modello di circolazione idrica

## Setup

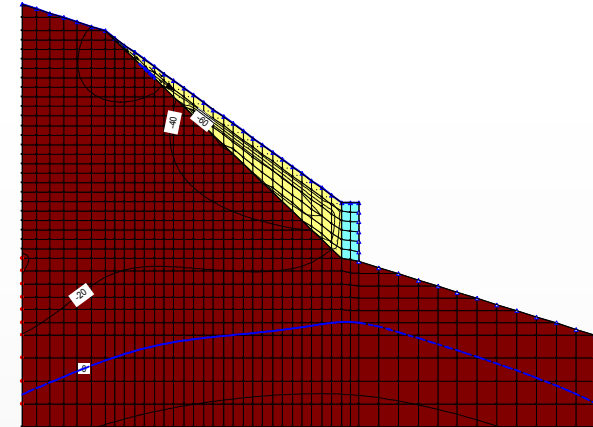
### Dati in ingresso:

- ✓ Curva di ritenzione idrica;
- ✓ Conducibilità idrauliche sature;
- ✓ Curve di conducibilità idraulica.

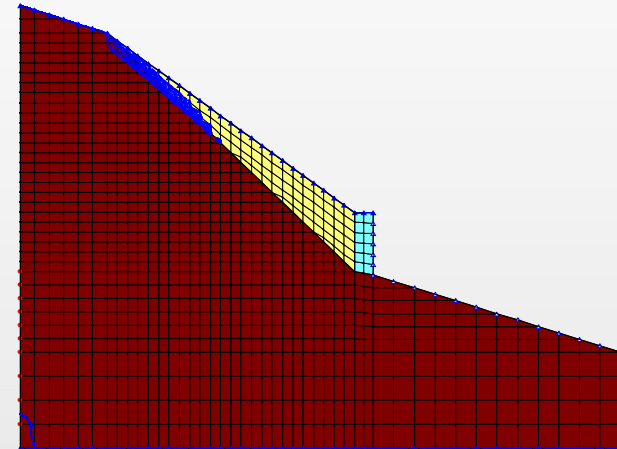
### Procedura:

- ✓ **Stazionario**;
- ✓ **Transitorio** → Pioggia di intensità costante di una durata di due giorni per avere condizioni di suzione, in superficie, simili alla realtà (misure da tensiometri);
- ✓ **Transitorio** → Precipitazioni reali per calibrazione e validazione del modello e analisi di sensitività.

Dry retaining walls stability analysis  
Wall= 2 m; Surface angle= 35.9°; Bedrock angle= 43.9°



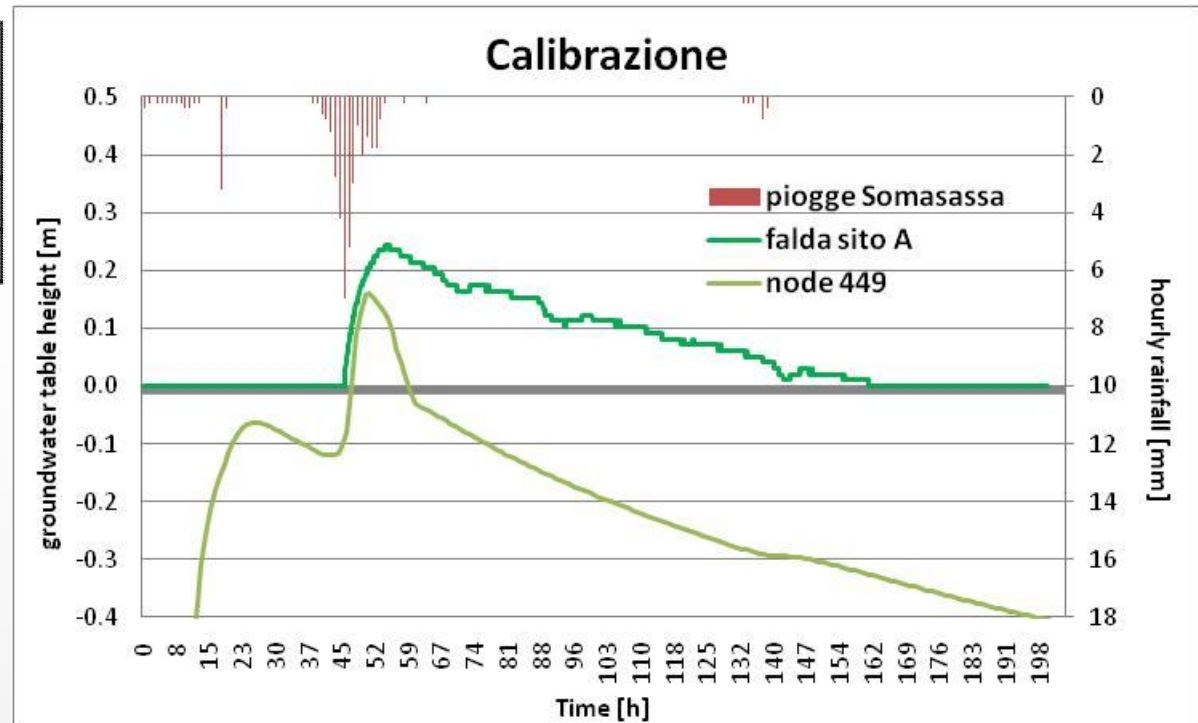
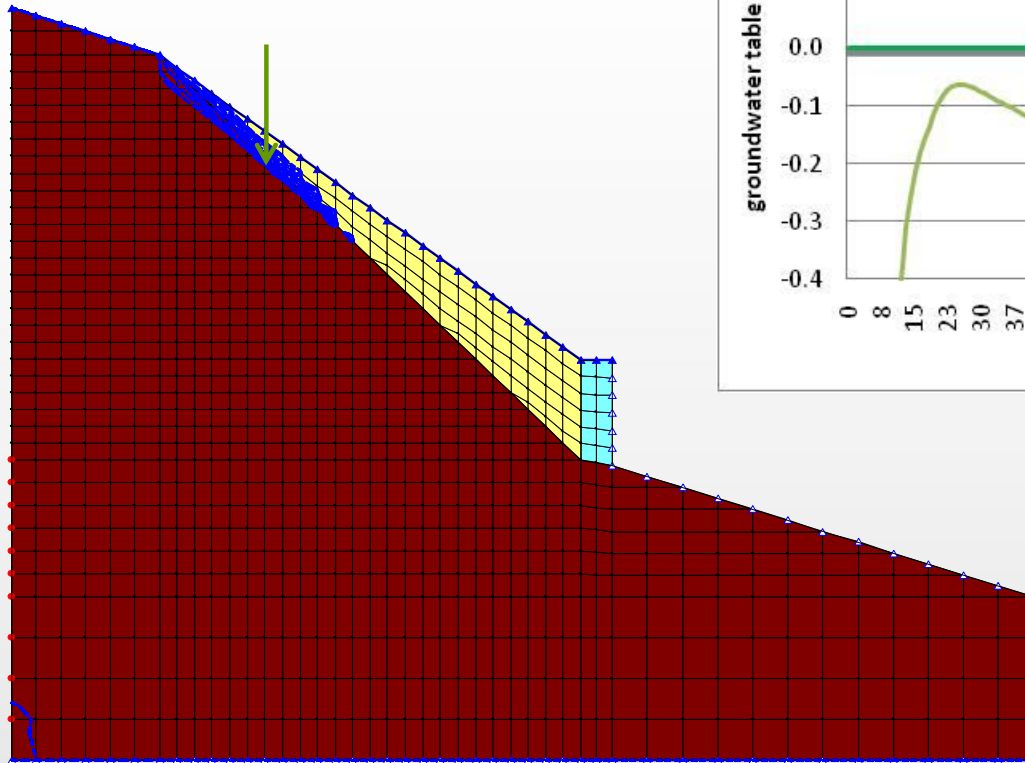
Dry retaining walls stability analysis  
Wall= 2 m; Surface angle= 35.9°; Bedrock angle= 43.9°



# Modello di circolazione idrica

Calibrazione - Validazione - Sensitività

H \ $\alpha$	1.4 m	2.0 m	2.5 m
40°	SA	SA	SA
44°	SA	CV	SA
48°	SA	SA	SA



Evento di calibrazione: 17/02/2010

C. Camera, T. Apuani, M. Masetti

Giornate di Studio *Impatto delle modificazioni climatiche su rischi e risorse naturali.*  
*Strategie e criteri d'intervento per l'adattamento e la mitigazione* - Bari, 10-11 Marzo 2011

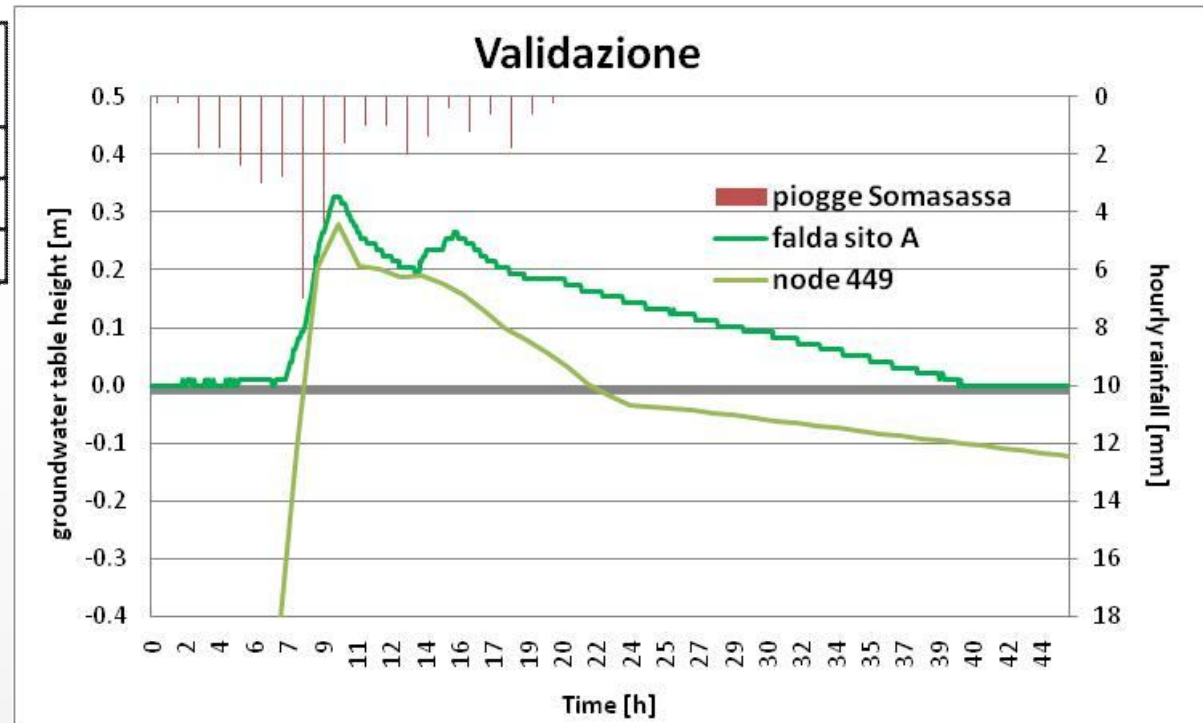
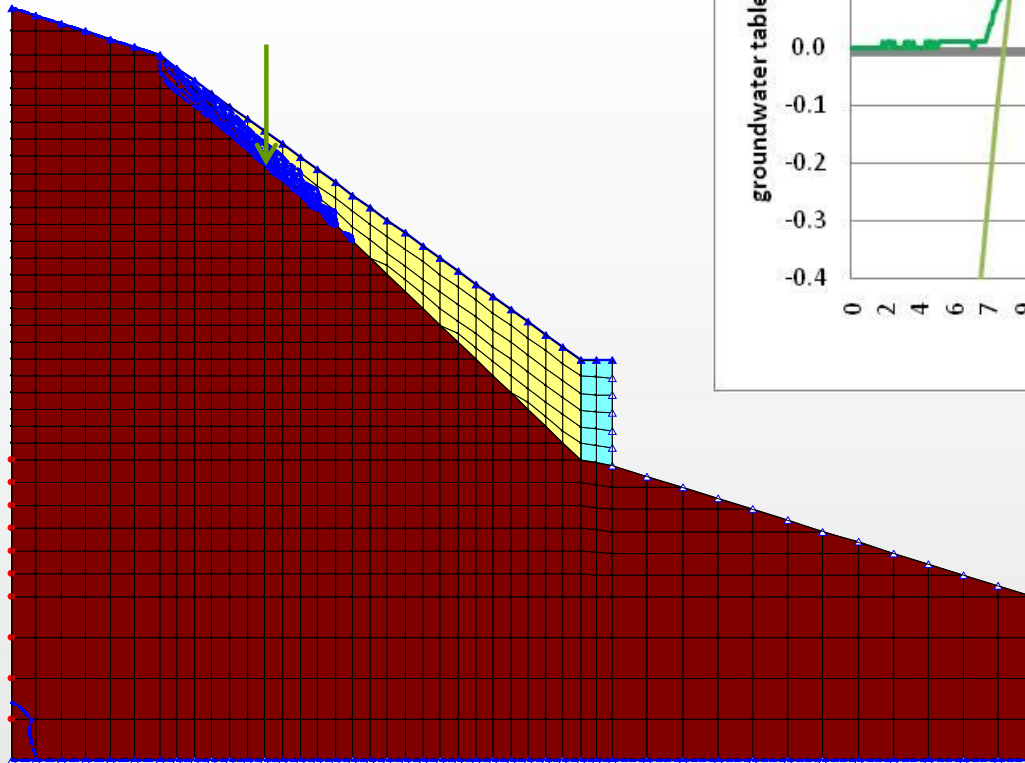


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO  
 DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA TERRA  
 A: DESIO

# Modello di circolazione idrica

Calibrazione - Validazione - Sensitività

H \ $\alpha$	1.4 m	2.0 m	2.5 m
40°	SA	SA	SA
44°	SA	<b>CV</b>	SA
48°	SA	SA	SA



Evento di validazione: 22/10/2009

C. Camera, T. Apuani, M. Masetti

Giornate di Studio *Impatto delle modificazioni climatiche su rischi e risorse naturali. Strategie e criteri d'intervento per l'adattamento e la mitigazione* - Bari, 10-11 Marzo 2011

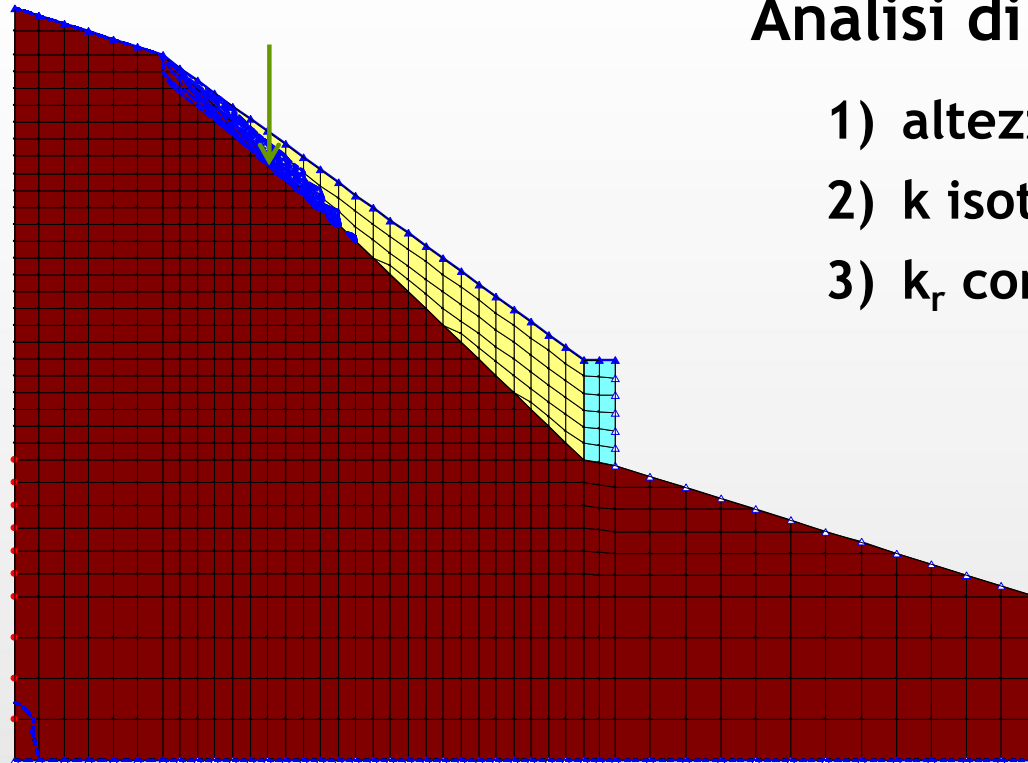


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO  
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA TERRA  
A: DESIO

# Modello di circolazione idrica

Calibrazione - Validazione - Sensitività

H \ $\alpha$	1.4 m	2.0 m	2.5 m
40°	SA	SA	SA
44°	SA	CV	SA
48°	SA	SA	SA



## Analisi di sensitività

- 1) altezza muri e pendenza substrato
- 2)  $k$  isotropa  $\rightarrow k_r = k_v/k_x = 1$
- 3)  $k_r$  con  $k_x$  costante &  $k_r$  con  $k_v$  costante

C. Camera, T. Apuani, M. Masetti

Giornate di Studio *Impatto delle modificazioni climatiche su rischi e risorse naturali.*  
*Strategie e criteri d'intervento per l'adattamento e la mitigazione* - Bari, 10-11 Marzo 2011

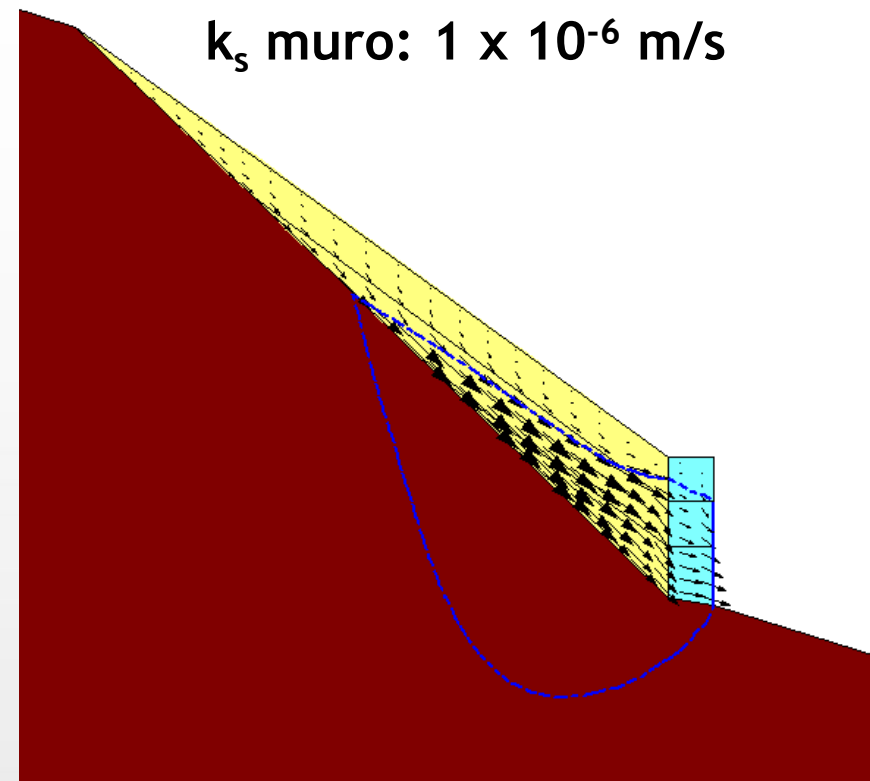
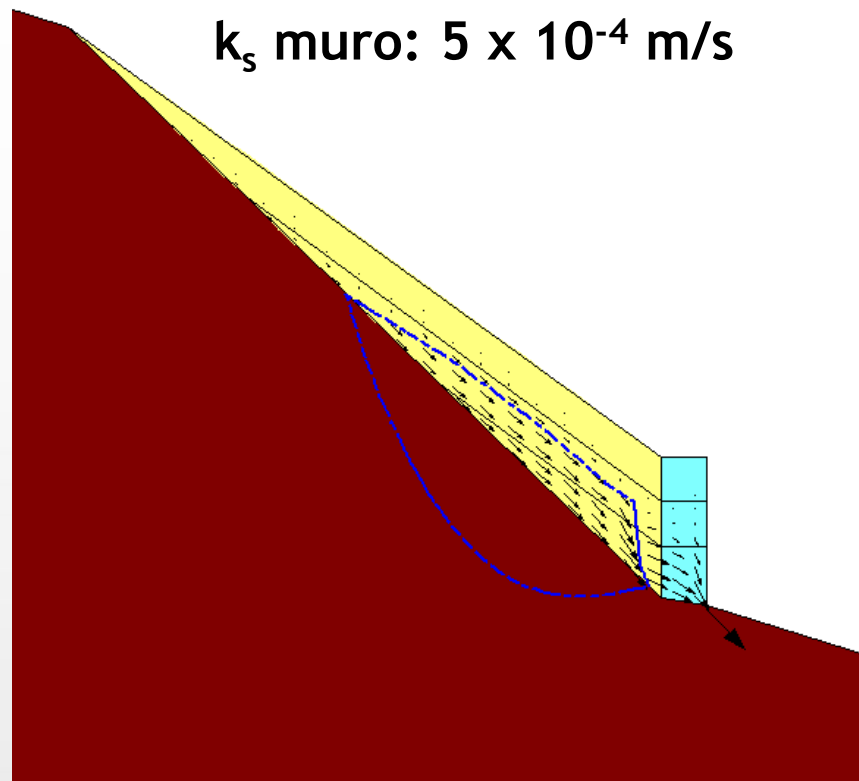


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO  
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA TERRA  
A: DESIO

# Modello di circolazione idrica

Altri risultati

Evento di precipitazione di 72 h a intensità costante con T 50



C. Camera, T. Apuani, M. Masetti

Giornate di Studio *Impatto delle modificazioni climatiche su rischi e risorse naturali.*  
*Strategie e criteri d'intervento per l'adattamento e la mitigazione* - Bari, 10-11 Marzo 2011



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO  
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA TERRA  
A: DESIO

# Indice

---

- ✓ Area di Studio
- ✓ Indagini preliminari
- ✓ Analisi degli eventi di precipitazione
- ✓ Modello di circolazione idrica
- ✓ **Conclusioni**



# Conclusioni

---

## Analisi delle precipitazioni

- ✓ Dagli anni '80 ad oggi ci sono state variazioni nel trend con una **diminuzione** sia nel numero, sia nell'intensità, sia quindi nel totale cumulato di eventi di precipitazione.
- ✓ Definita una soglia per l'insorgenza di falda sospesa da dati pluviometrici e piezometrici registrati in sito, si è visto che il **numero annuale di insorgenze** può essere correlato a parametri annuali come le intensità medie registrando quindi una **decrecita negli anni recenti**.
- ✓ Il numero di insorgenze può essere considerato un **indice della probabilità di innesco di movimenti di massa** senza però esserne direttamente proporzionale.



# Conclusioni

---

## Modello di circolazione idrica

- ✓ E' **in grado di ricostruire con buona approssimazione il fenomeno** indagato a tergo del muro durante gli eventi di precipitazione.
- ✓ Risulta **molto sensibile alle variazioni di conducibilità idraulica** sia per condizioni isotrope sia anisotrope.
- ✓ Spiega quantitativamente il **diverso comportamento di un muro** “nuovo” e ben mantenuto rispetto ad uno non adeguatamente conservato.



*Grazie per l'attenzione*

# Modello di circolazione idrica

Analisi di sensitività

## Variazione

### 1) altezza muri e pendenza substrato

	17 February 2010			22 October 2009		
<b>H</b>	1.4 m	2 m	2.5 m	1.4 m	2 m	2.5 m
<b><math>\alpha</math></b>						
40°	0.19	0.21	0.22	0.22	0.27	0.31
44°	0.16	0.18	0.21	0.24	0.28	0.31
48°	0.1	0.16	0.17	0.17	0.25	0.22

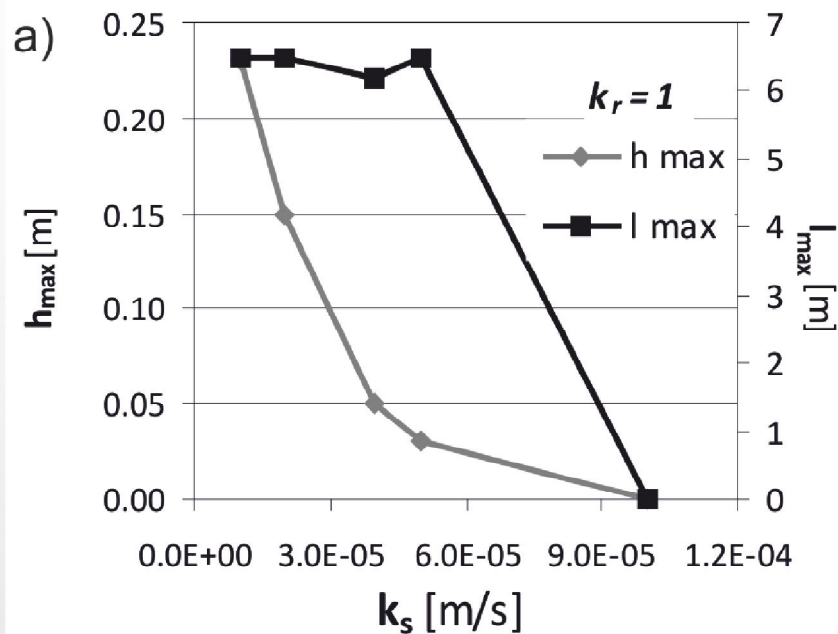
**H cresce all'alzarsi dei muri e al decrescere della pendenza del substrato**

# Modello di circolazione idrica

Analisi di sensitività

## Variazione

2)  $k$  isotropa  $\rightarrow k_r = k_v/k_x = 1$



All'aumentare della  $k_s$  l'altezza massima di falda diminuisce, restando pressoché costante la lunghezza del tratto saturo. Il comportamento è coerente con un aumento della velocità di flusso.

# Modello di circolazione idrica

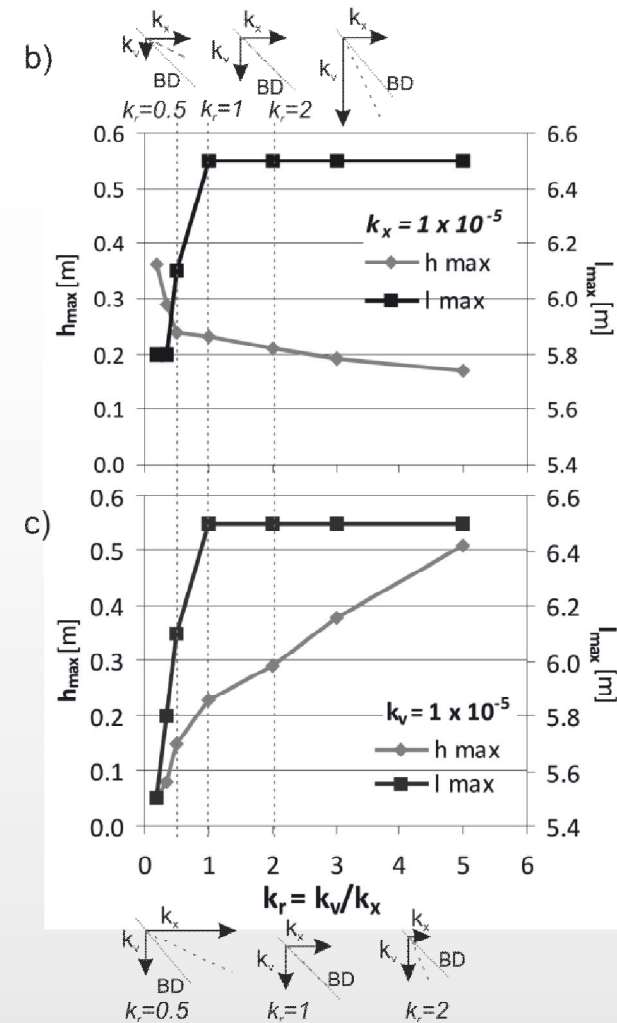
Analisi di sensitività

## Variazione

### 3) $k_r$ con $k_x$ costante & $k_r$ con $k_v$ costante

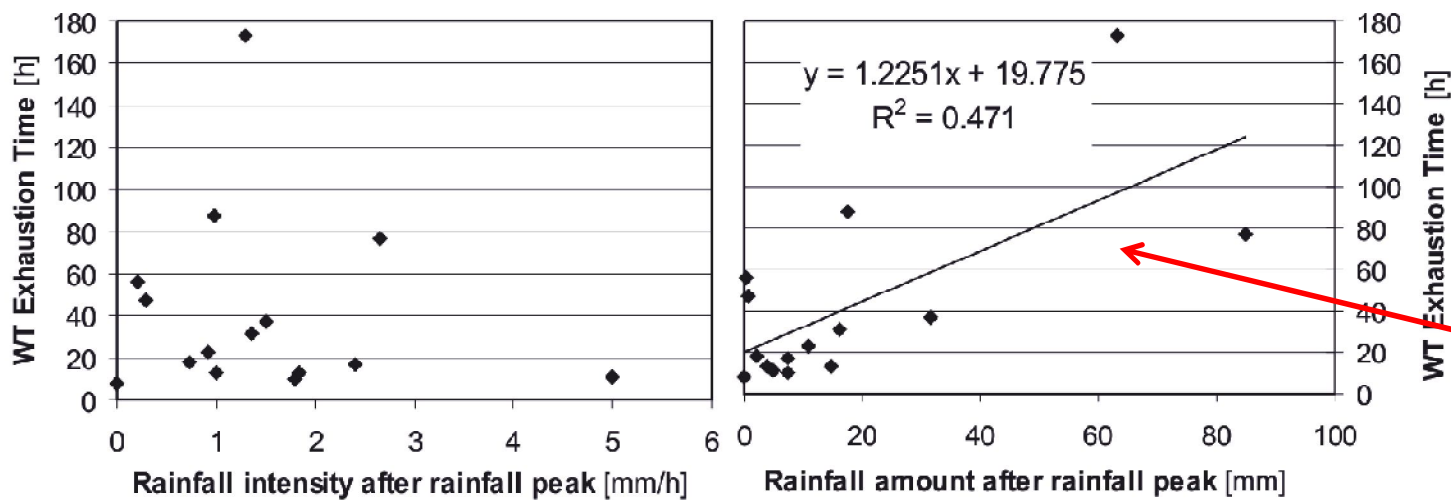
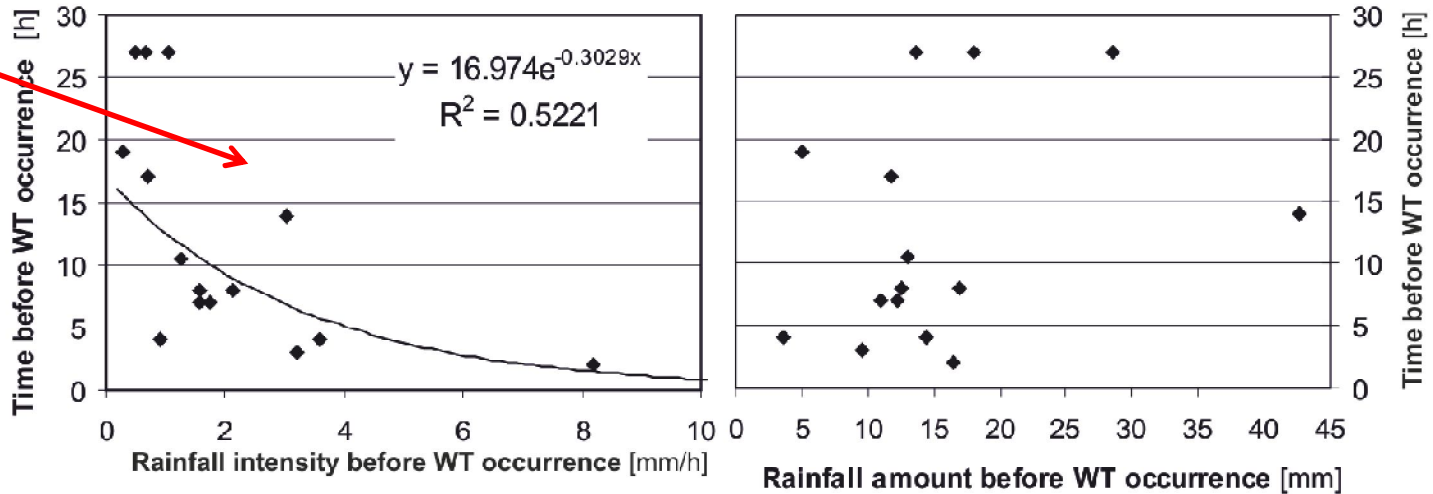
Coerentemente con il grafico precedente si vede che **aumentando una qualsiasi componente della  $k_s$  ( $k_x$  o  $k_v$ ) diminuisce l'altezza massima**, aumentando la velocità di flusso.

La lunghezza è invece regolata da più fattori, primo fra tutti la pendenza della superficie di scorrimento dell'acqua data dal contatto terreno-substrato. In questo caso ha un angolo di circa  $45^\circ$ , per cui finché  $k_x$  è maggiore di  $k_v$ , l'acqua riesce ad **accumularsi solo dove il terreno è poco spesso**. Al diminuire della differenza, la zona satura si estende fino ad arrivare ad una lunghezza massima che in questo caso corrisponde al valore di  $k_r = 1$ .



# Analisi degli eventi di precipitazione

Relazioni Precipitazioni - Falda sospesa



C. Camera, T. Apuani, M. Masetti

Giornate di Studio *Impatto delle modificazioni climatiche su rischi e risorse naturali.*  
*Strategie e criteri d'intervento per l'adattamento e la mitigazione* - Bari, 10-11 Marzo 2011



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO  
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA TERRA  
A: DESIO