

# UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II



Scuola Politecnica e delle Scienze di Base  
Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale

CORSO DI LAUREA IN

**INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO**

(Classe delle Lauree in Ingegneria Civile ed Ambientale, Classe N L-7)

SINTESI DELL'ELABORATO DI LAUREA TRIENNALE

**SOGLIE DI INNESCO DI COLATE RAPIDE IN TERRENI  
PIROCLASTICI**

**Relatore**

Ch.mo Prof. Gianfranco Urciuoli

**Candidato**

Giuseppe Astuto

**Correlatore**

Dott. Ing. Marianna Pirone

**Matricola**

N49000093

ANNO ACCADEMICO  
2012/2013

# INDICE

---

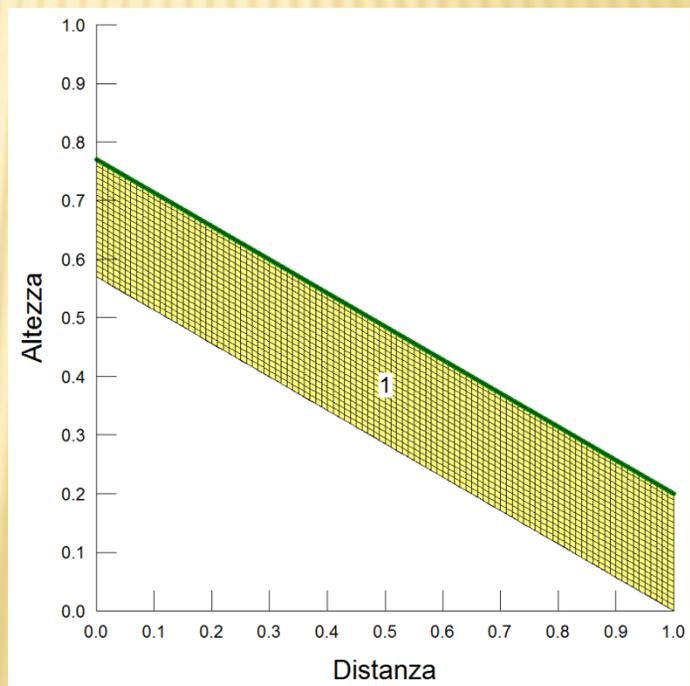
1. Le colate di fango
2. I terreni parzialmente saturi
3. Modello fisico
  - 3.1 Descrizione*
  - 3.2 Prove sperimentali*
4. Analisi numeriche
  - 4.1 Curva di ritenzione*
  - 4.2 Curva di permeabilità*
  - 4.3 Condizione iniziale*
  - 4.4 Condizioni al bordo*
  - 4.5 Risultati*
5. Conclusioni

# OBIETTIVO

Validazione di un modello numerico che simuli il reale comportamento idraulico del mezzo soggetto a piogge di forte intensità al fine di indagare le modalità di innesco delle colate rapide



- Prelievo della coltre dal sito di Monteforte Irpino (AV)
- Realizzazione del modello sperimentale
- Analisi numerica tramite software agli Elementi finiti a scopo previsionale



# 1. LE COLATE DI FANGO

---

Processi morfodinamici responsabili del modellamento dei versanti



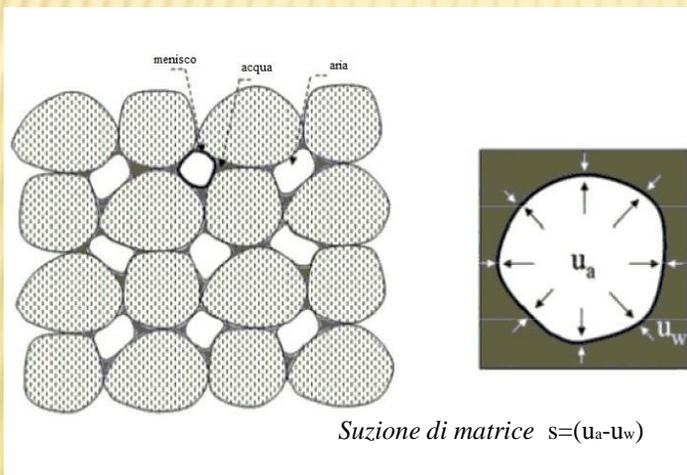
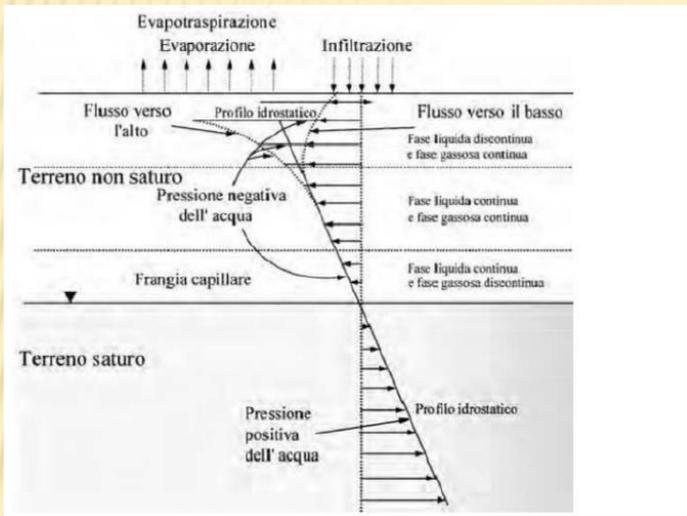
- ✘ Tempi di attivazione estremamente rapidi
- ✘ Elevate velocità

CAUSE



- ✘ Piogge di forte intensità
- ✘ Riduzione della suzione
- ✘ Riduzione della resistenza a taglio

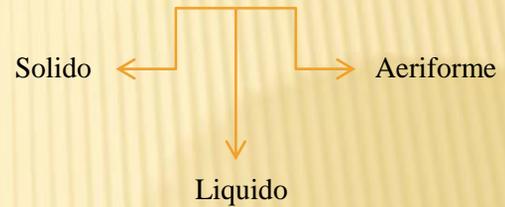
# 2. TERRENI PARZIALMENTE SATURI



Effetto della suzione sulle caratteristiche meccaniche del terreno



Mezzo trifase



Fenomeno di risalita capillare



Instaurazione della suzione



Formazione dei menischi



1. Sforzo di serraggio fra le particelle
2. Diminuzione dello scorrimento relativo fra le particelle
3. Aumento della resistenza a taglio

## 2. TERRENI PARZIALMENTE SATURI

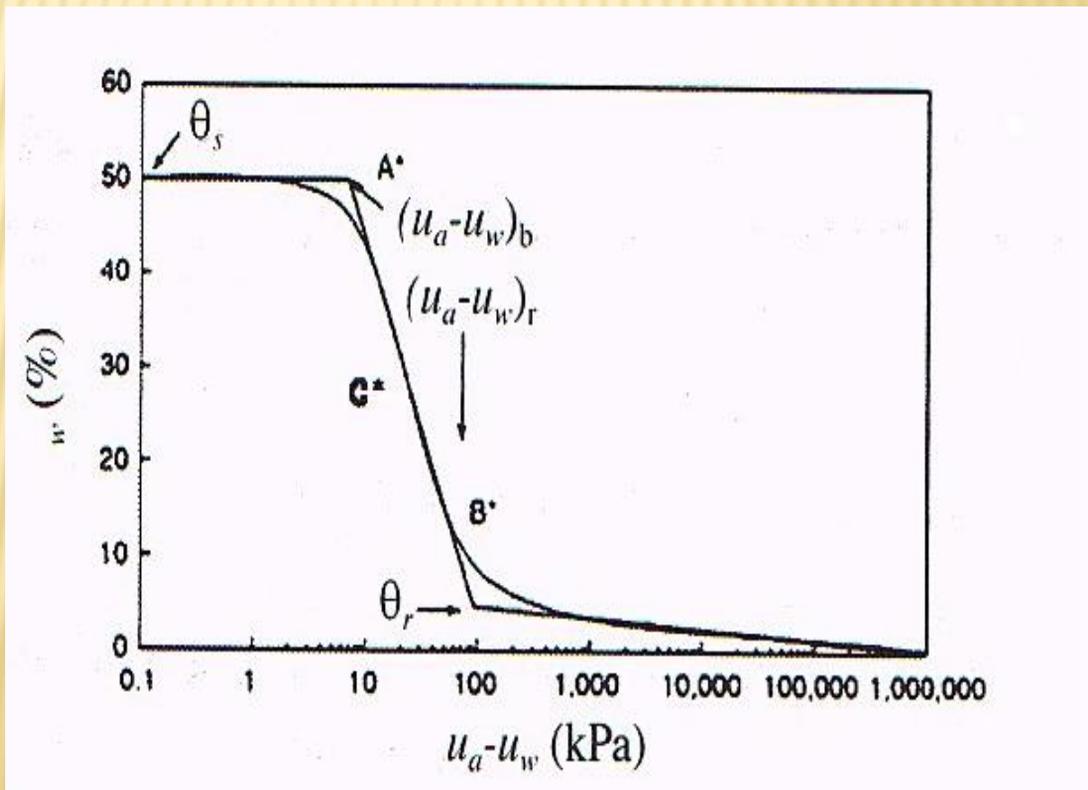
### Curva di ritenzione idrica



Indica, in fase di equilibrio, il contenuto d'acqua in funzione della suzione

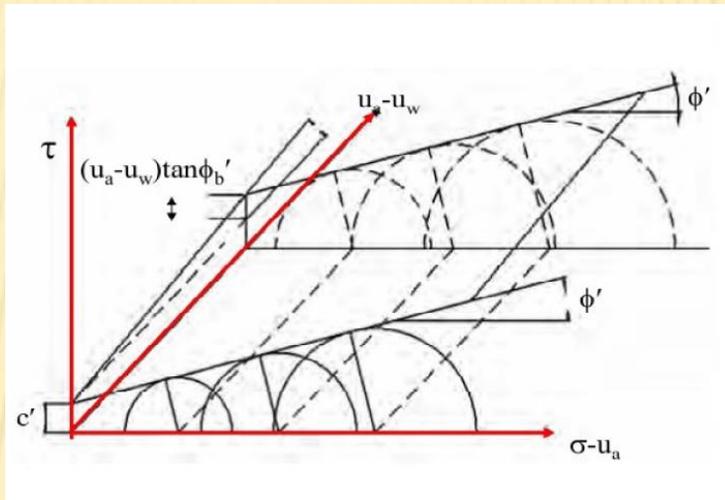


- A\*: valore di suzione di ingresso d'aria
- B\*: valore di suzione associato a  $w$  residuo
- A\*  $\rightarrow$  B\*: zona di transizione



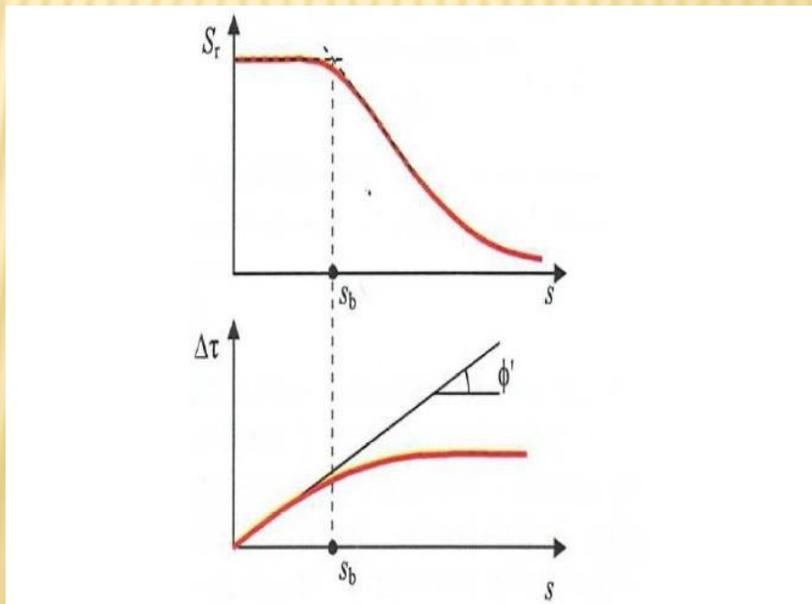
# 2. TERRENI PARZIALMENTE SATURI

Estensione del criterio di Mohr-Coulomb ai terreni parzialmente saturi



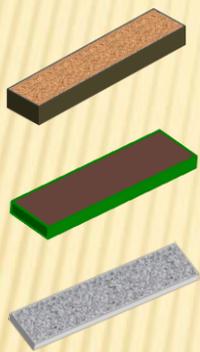
$$\tau = c' + (\sigma - u_a)_f \cdot \tan \phi' + (u_a - u_w)_f \cdot \tan \phi'_b$$

Relazione fra curva di ritenzione e incremento di resistenza a taglio



# 3.1 MODELLO FISICO: DESCRIZIONE

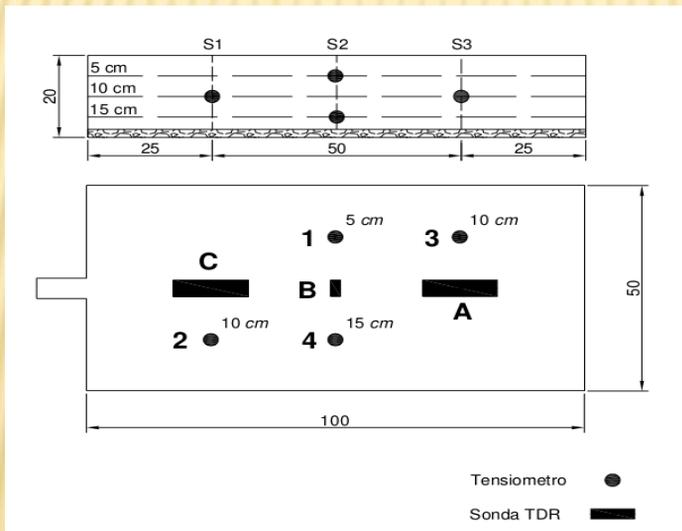
Il modello fisico è costituito da due parti: il mezzo filtrante, ovvero il pendio naturale, e l'acqua nebulizzata che simula la pioggia. Alla base è stato messo in opera uno strato drenante di ghiaia ricoperto con uno strato di geotessile accuratamente disposto. Successivamente si è ricostruito il pendio ad una porosità fissata.



Piroclastiti di  
Monteforte  
Irpino

Geotessile

Ghiaia



- ✗ **Suzione** → Tensiometri small tip
- ✗ **Contenuto d'acqua** → Sonde TDR
- ✗ **Ruscellamento e drenaggio** → Becker graduati
- ✗ **Volume d'acqua precipitato** → Serbatoio graduato

## 3.2 MODELLO FISICO: PROVE SPERIMENTALI

---

### Prova con piogge di 3 minuti

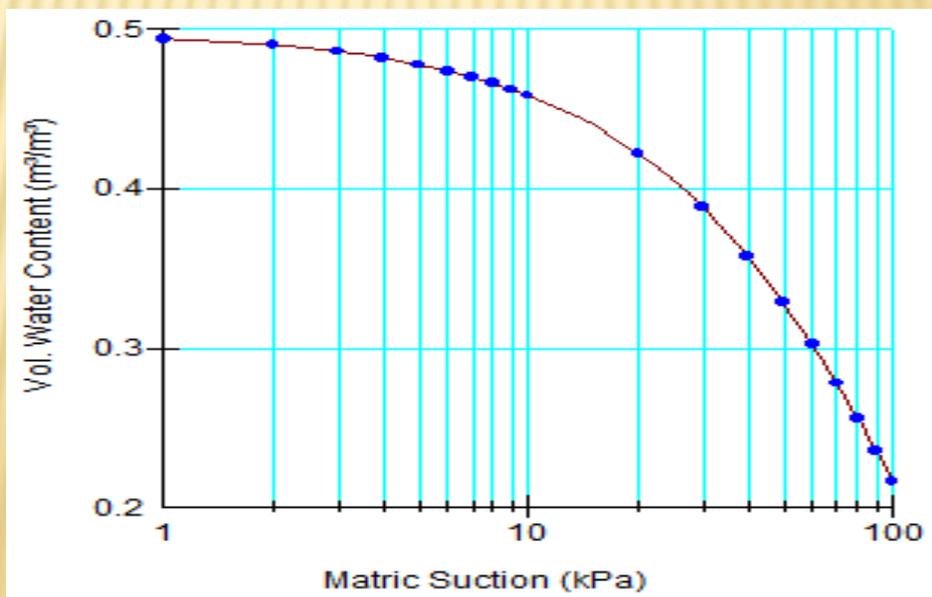
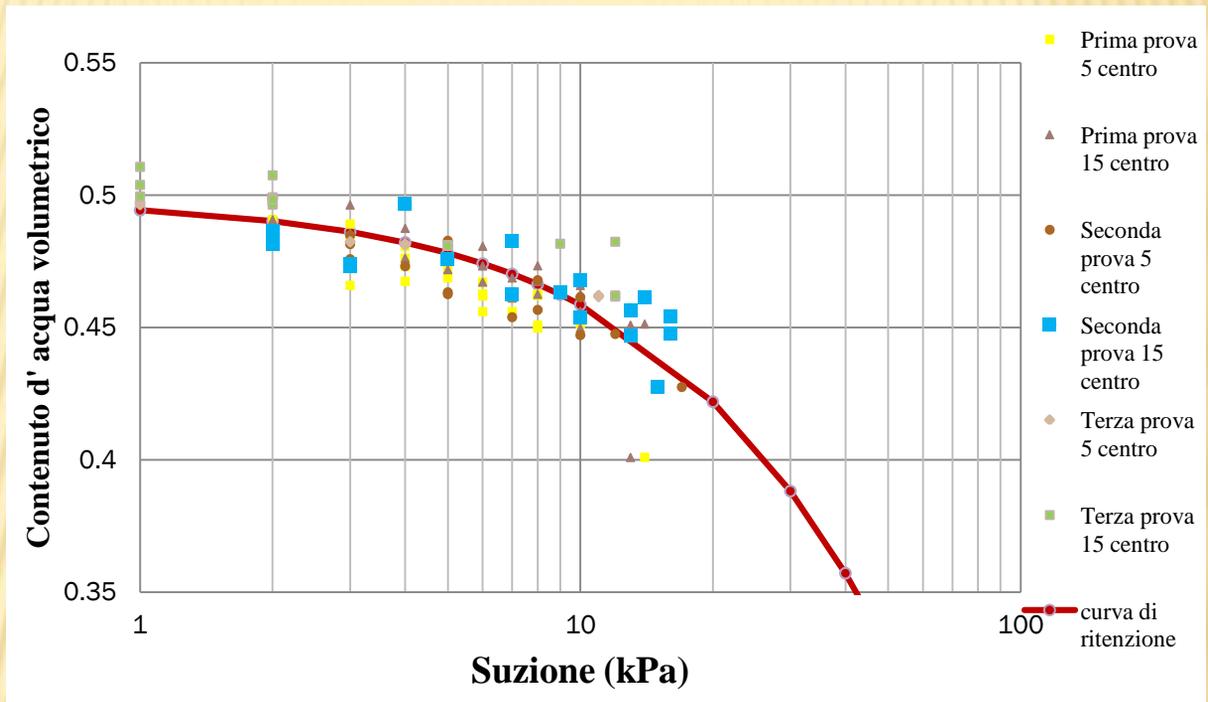
- durata della pioggia: 3 minuti
- volume precipitato: 2,8 litri
- volume effettivo: 2,4 litri
- intensità media: 94 mm/h
- intervalli tra due piogge: 30 minuti



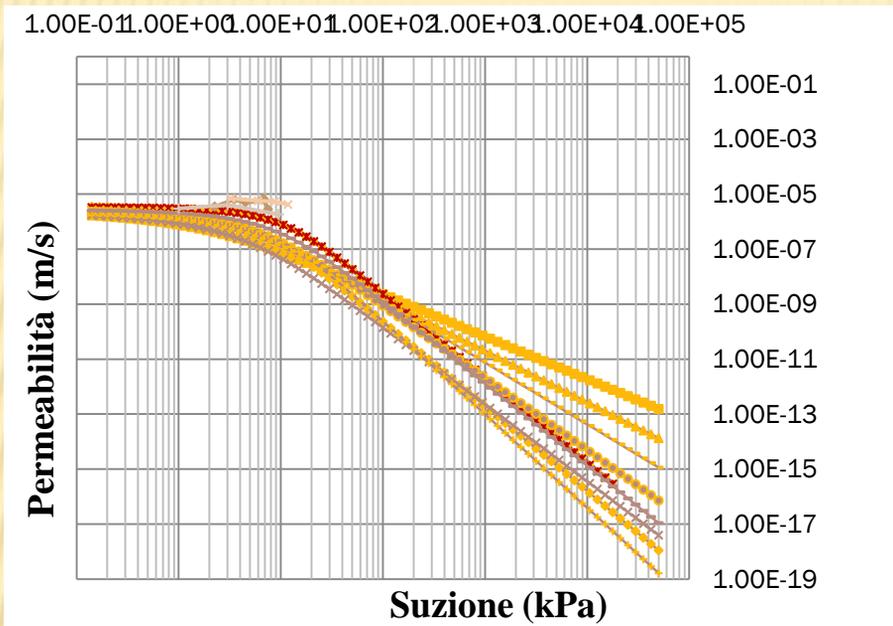
## 4. ANALISI NUMERICHE



# 4.1 ANALISI NUMERICHE: CURVA DI RITENZIONE



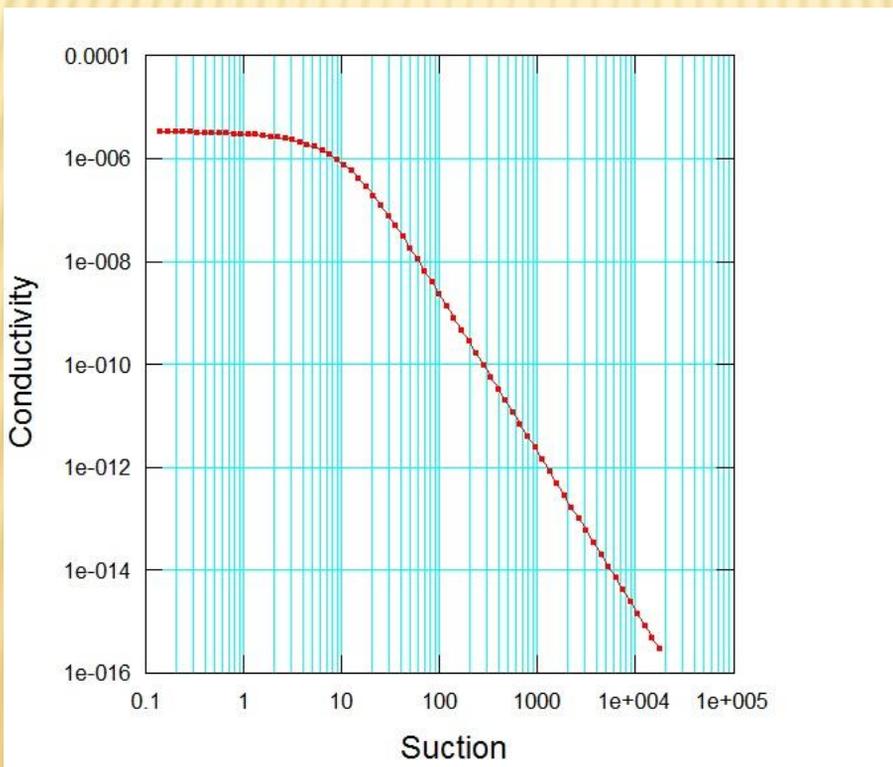
# 4.2 ANALISI NUMERICHE: CURVA DI PERMEABILITA'



Curve di permeabilità dell' elemento di volume



Curva di permeabilità iniziale della coltre



## 4.3 ANALISI NUMERICHE: CONDIZIONE INIZIALE

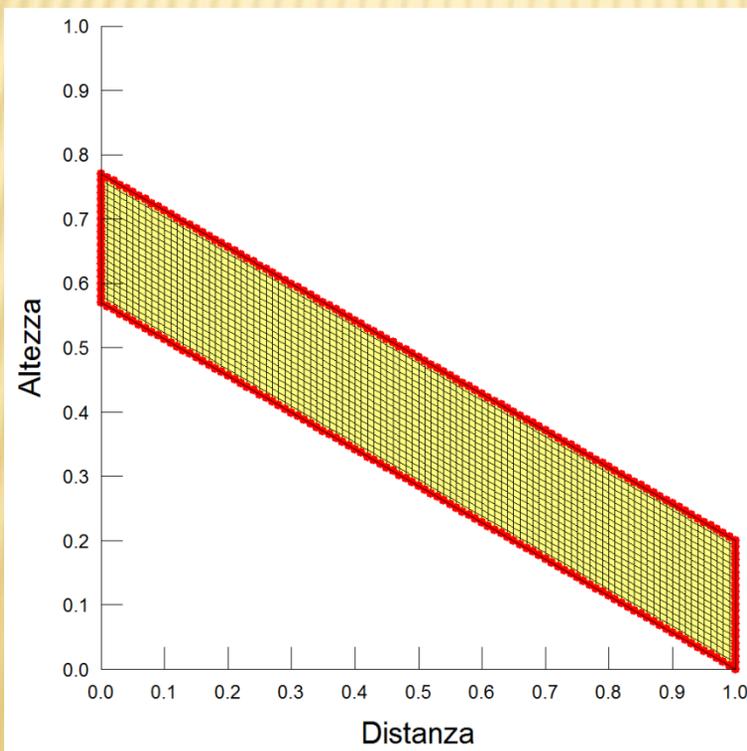
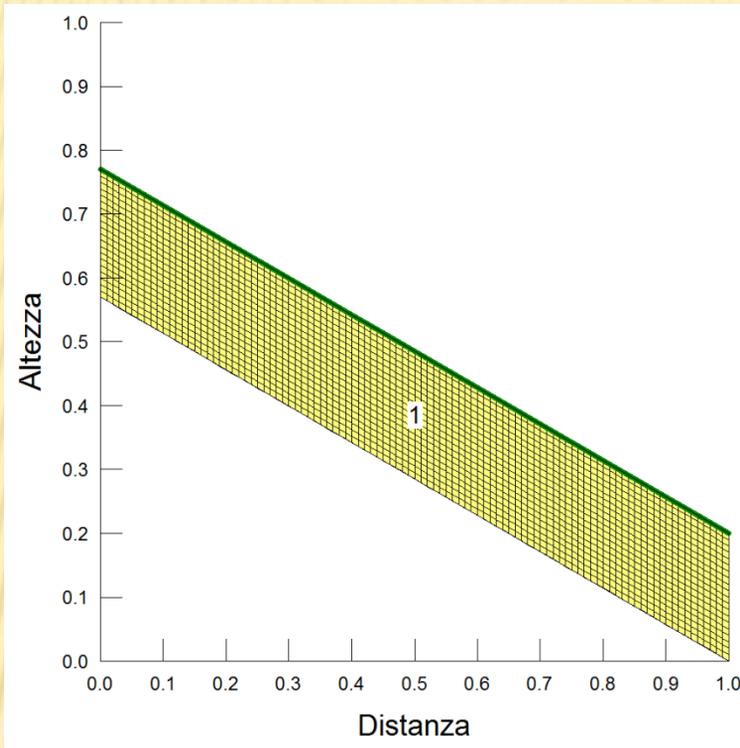
Analisi stazionaria



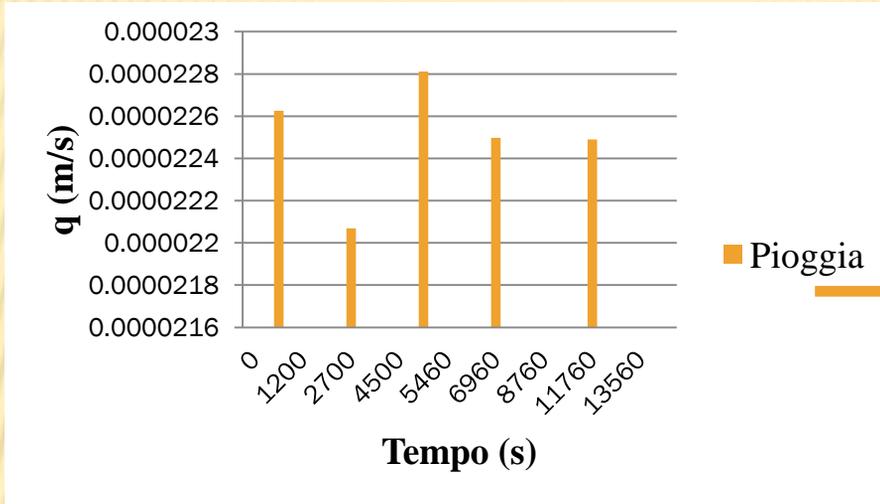
Condizioni al  
contorno: suzione  
misurata in  
laboratorio



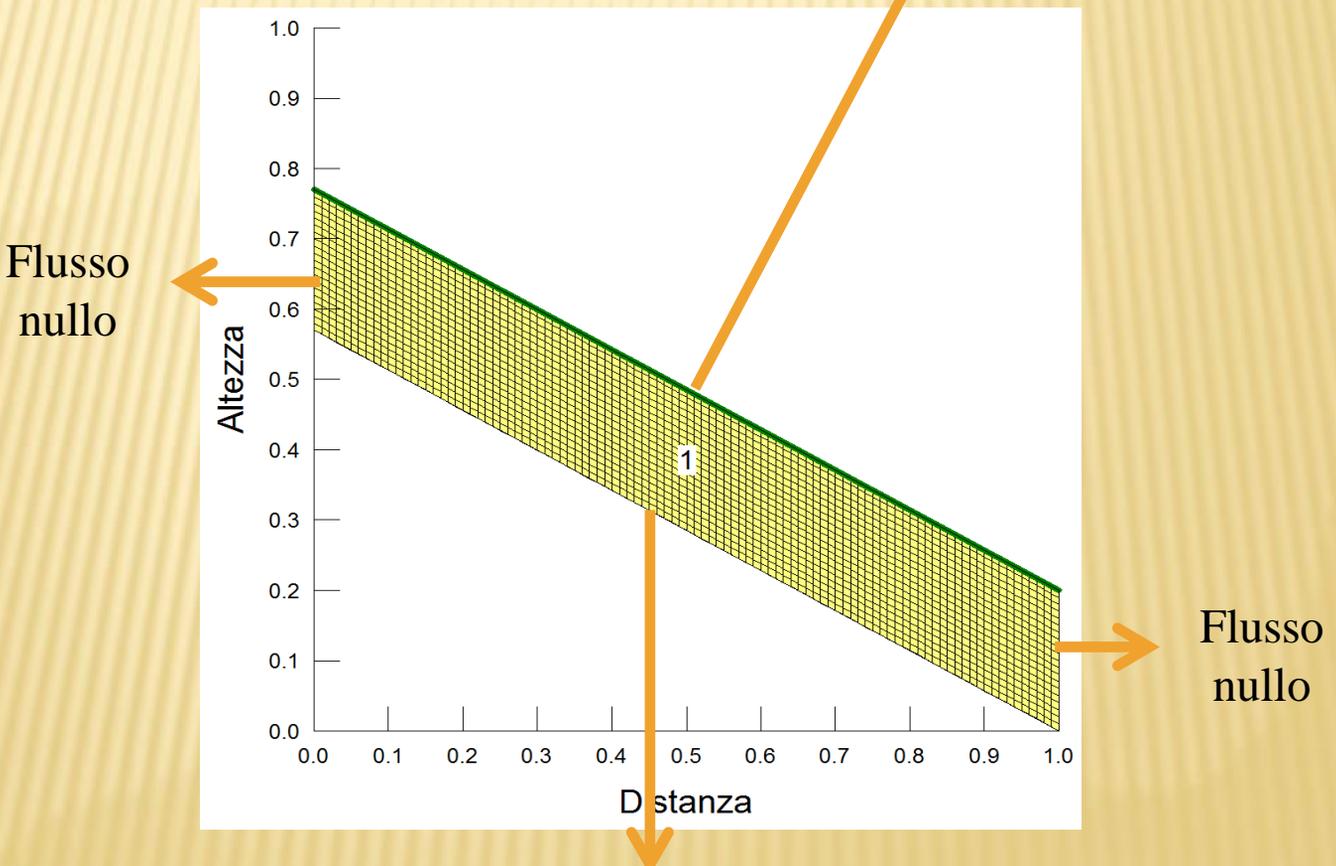
Andamento  
istantaneo  
della  
suzione



# 4.4 ANALISI NUMERICHE: CONDIZIONI AL BORDO



Flusso per unità di superficie relativo alle piogge applicate

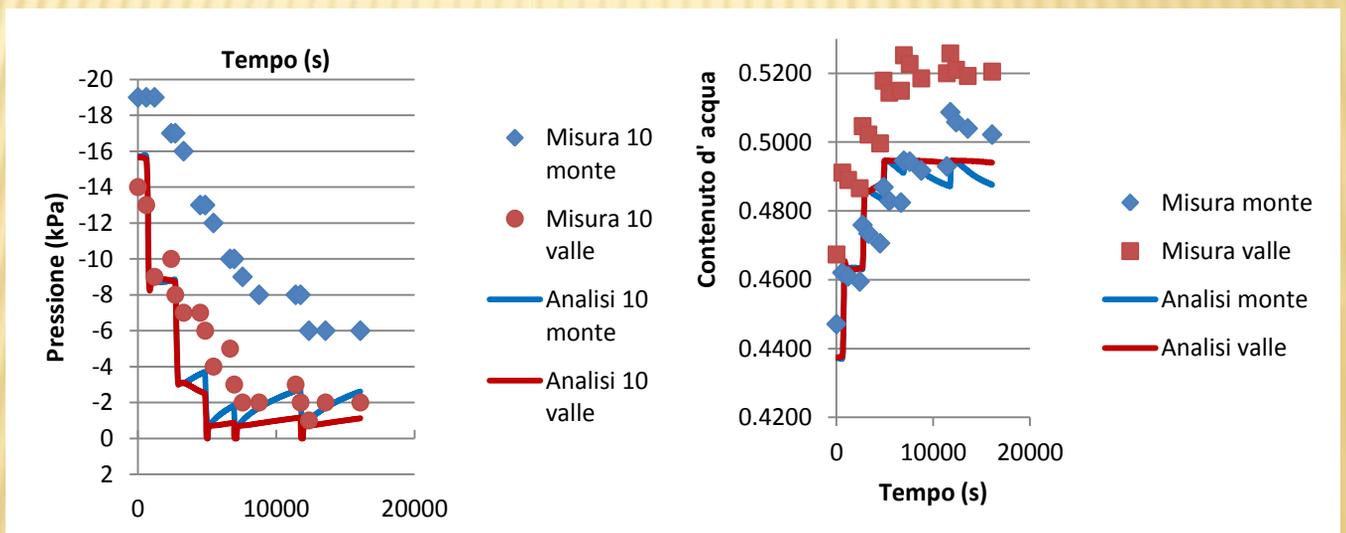
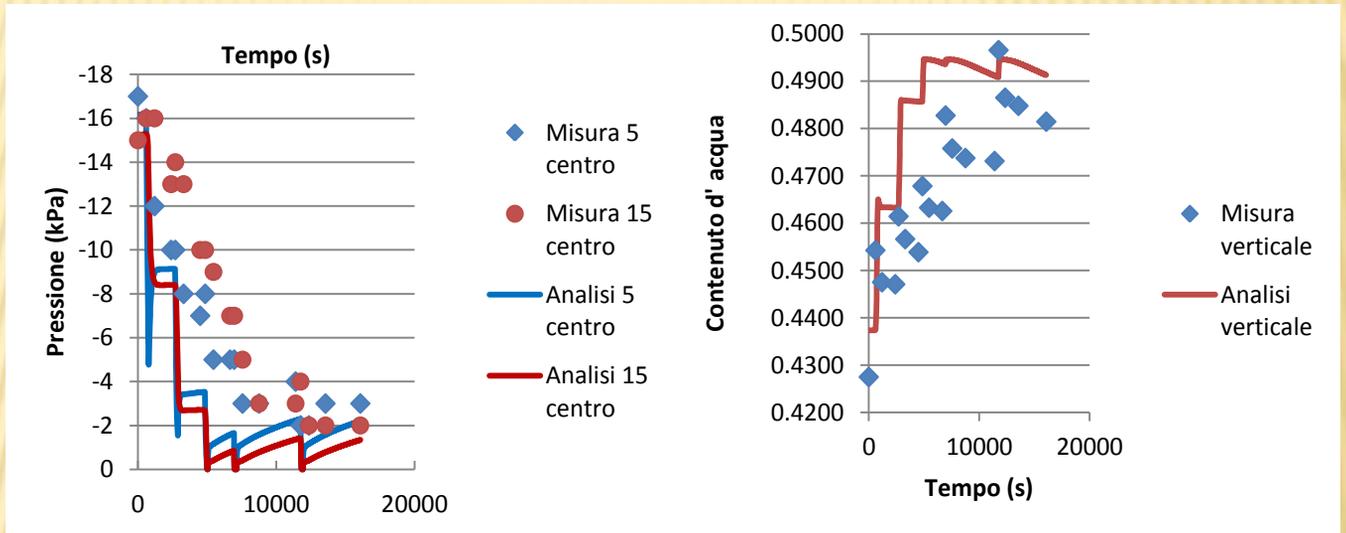


Al bordo inferiore è stato necessario imporre diverse condizioni al fine di riprodurre al meglio il comportamento idraulico del pendio. 14

# 4.5 ANALISI NUMERICHE: RISULTATI

Prova con al fondo  $q=0$  per l'intera prova

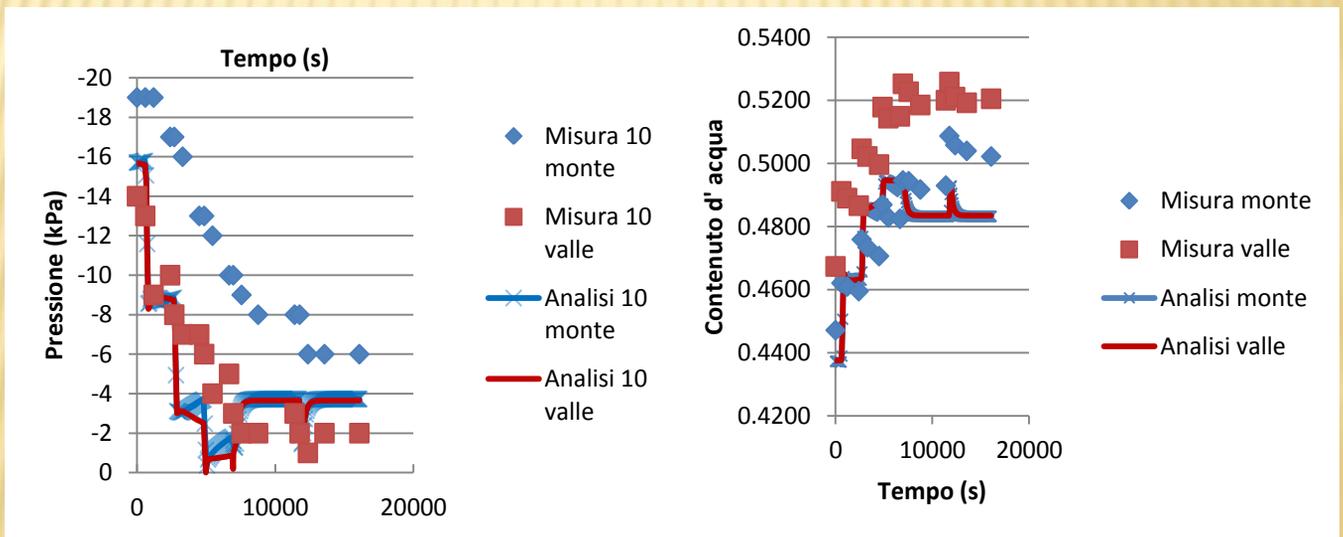
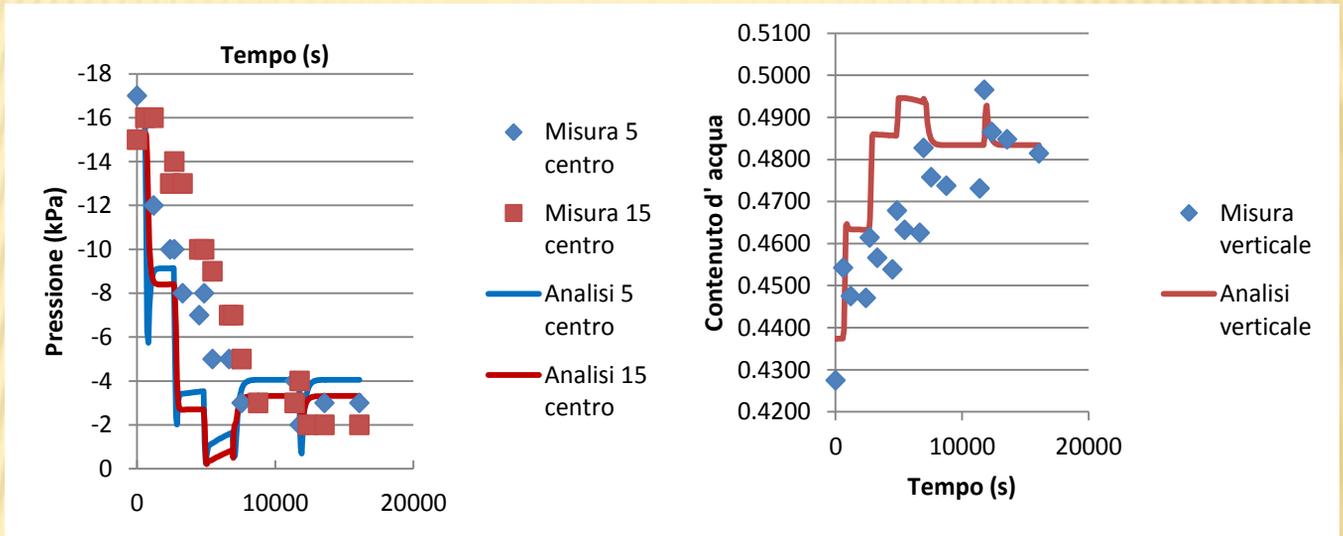
$$K_{\text{sat}} = 3,30 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$$



Ovviamente l'analisi è molto diversa dalla misura;  $q=0$  al fondo non riproduce il comportamento reale del pendio.

# 4.5 ANALISI NUMERICHE: RISULTATI

Prova  $q=0$  fino al primo drenaggio (116min) e poi suzione pari a 3kPa con  $K_{sat}=3,30 \cdot 10^{-6}$  m/s

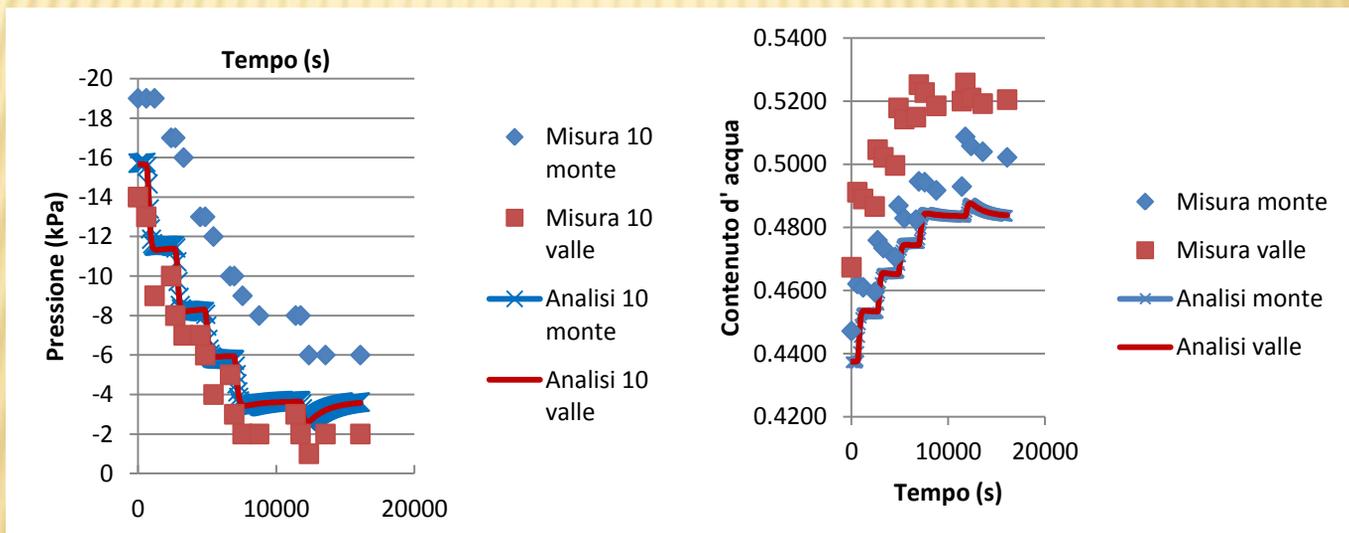
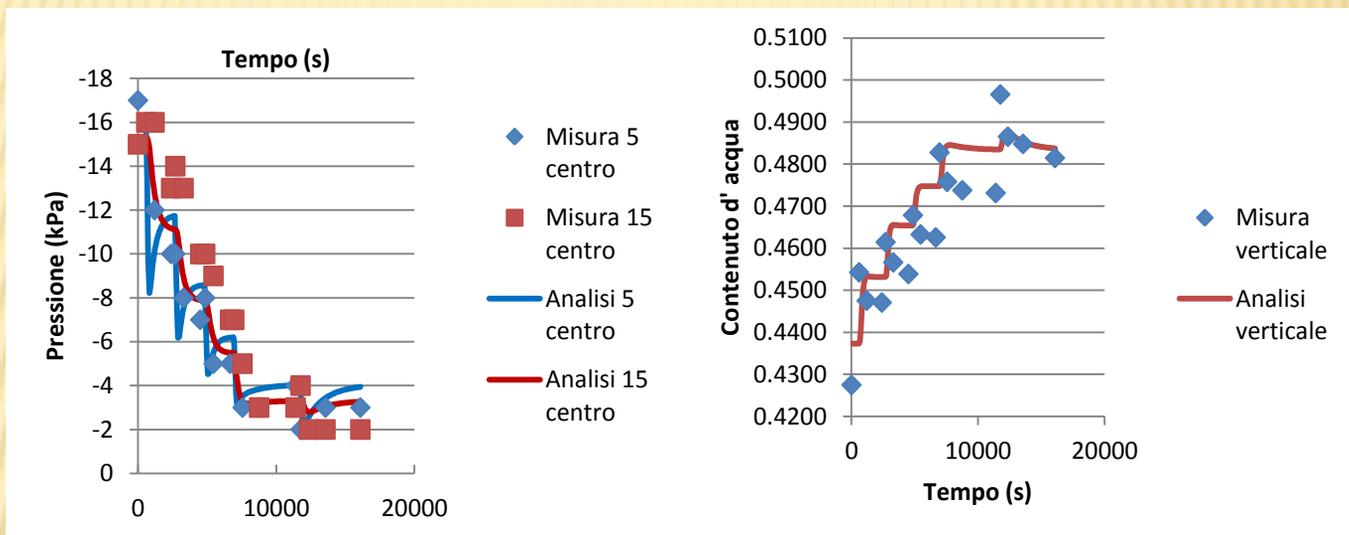


Dal primo drenaggio in poi c'è una migliore corrispondenza.  
Resta la discordanza tra 0 e 116min.  
Si è deciso di intervenire sulla permeabilità.

# 4.5 ANALISI NUMERICHE: RISULTATI

Prova  $q=0$  fino al primo drenaggio e poi suzione pari a 3kPa

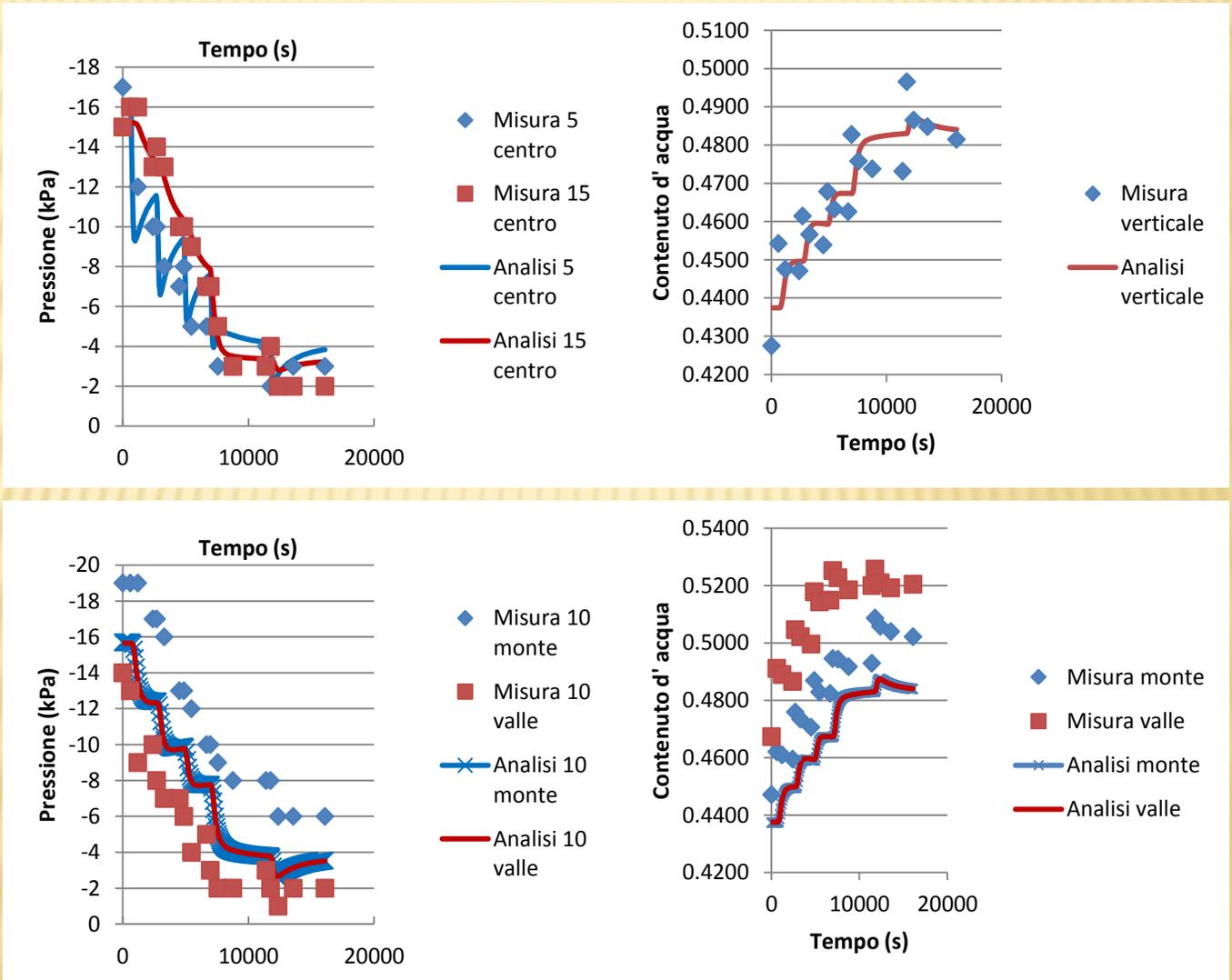
$$K_{\text{sat}} = 3,30 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$$



C'è una migliore corrispondenza fra analisi e misura. Il software però non coglie la differenza fra monte e valle e fra superficie e fondo.

# 4.5 ANALISI NUMERICHE: RISULTATI

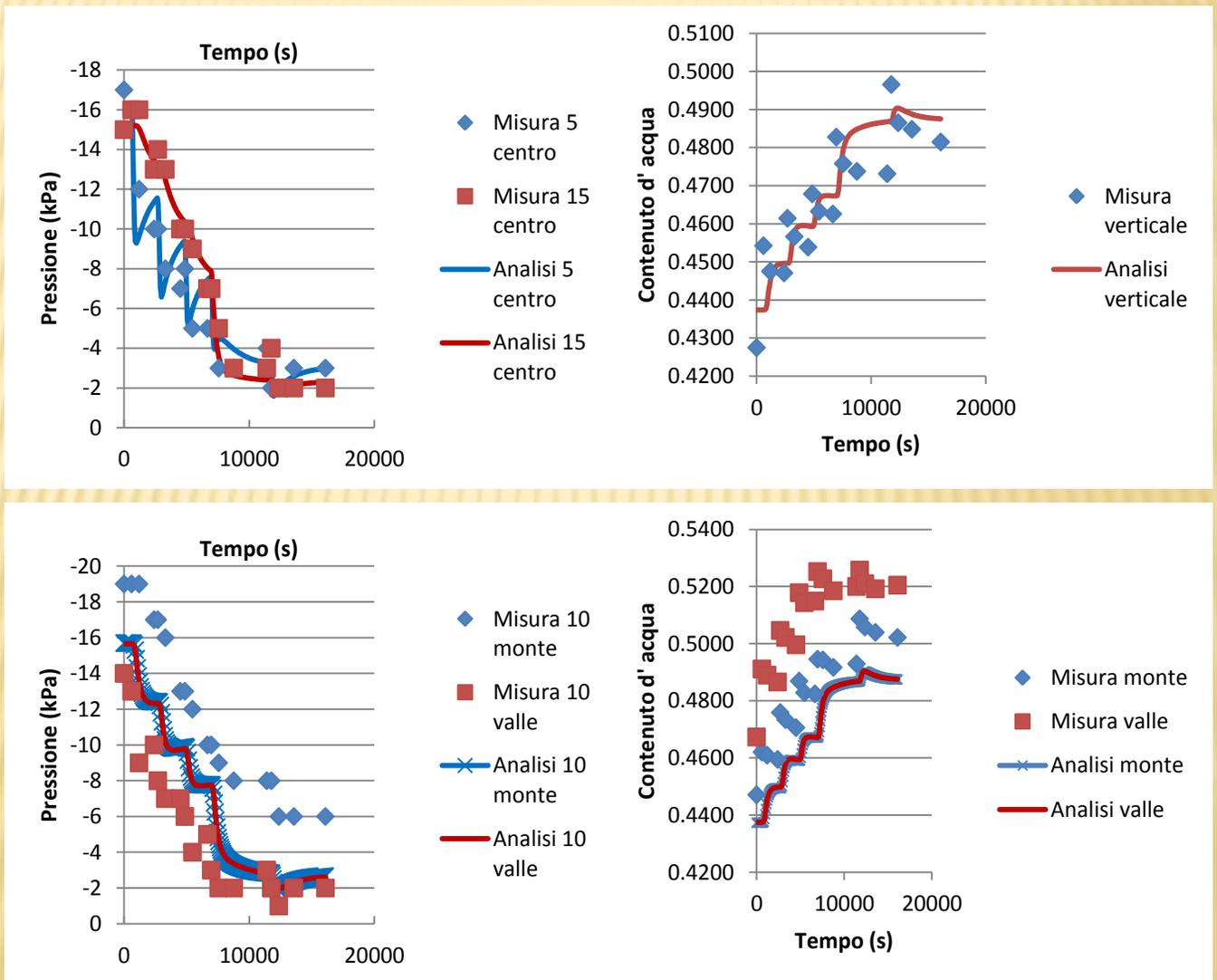
Prova  $q=0$  fino al primo drenaggio e poi suzione pari a 3kPa  
 $K_{\text{sat}}=3,30 \cdot 10^{-7}$  m/s ma con una diversa funzione di permeabilità  
nell' intervallo compreso fra 6 e 12 kPa



Con tale modifica sulla permeabilità si è ottenuta un' ottima corrispondenza fra analisi e misura riguardo i tensiometri e le sonde TDR centrali. Permane il problema della differenza fra monte e valle, non colta dal modello.

# 4.5 ANALISI NUMERICHE: RISULTATI

Prova  $q=0$  fino al primo drenaggio e poi suzione pari a 2kPa  
 $K_{sat}=3,30 \cdot 10^{-7}$  m/s ma con una diversa funzione di permeabilità  
nell' intervallo compreso fra 6 e 12 kPa



Imponendo al bordo inferiore una suzione di 2kPa si riproduce meglio la risposta del pendio in termini di suzione e contenuto d'acqua misurati a 5 e a 15 cm di profondità.

# 5. CONCLUSIONI

---

Il modello rappresenta un importante strumento di previsione, grazie alla capacità di analizzare la risposta del terreno sottoposto a qualsiasi tipo di pluviogramma. La condizione al bordo inferiore è di estrema importanza per l' esatta calibrazione del modello.