UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI "FEDERICO II"

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

INDAGINE NUMERICA SULLA SPERIMENTAZIONE IN MODELLO FISICO PER LO STUDIO DELL'INFILTRAZIONE

Relatore
Ch.mo Prof. Gianfranco Urciuoli

Correlatore
Dott. Ing. Marianna Pirone

Candidata
Roberta Ventini

Matricola
N49/223

ANNO ACCADEMICO
2012/2013

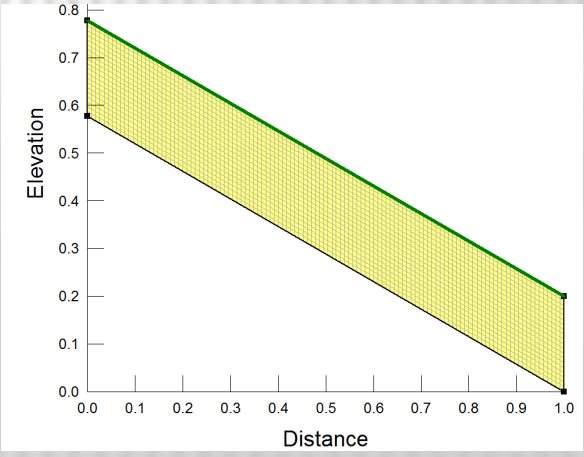
OBIETTIVO

Analisi del regime idraulico in terreni piroclastici in condizione di parziale saturazione per la comprensione dei meccanismi di innesco delle colate di fango.

Metodi utilizzati:

- Sito strumentato a Monteforte Irpino (AV);
- Modello fisico costituito dai terreni superficiali presenti in sito;
- Analisi numeriche: fase di validazione ed analisi a scopo previsionale.

Fase di validazione di un modello numerico che simula il comportamento del modello fisico soggetto ad una pioggia di forte intensità di durata pari a 3 minuti.



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
   4.6 Bilancio
5. Conclusioni

1. LE COLATE DI FANGO

Le colate sono movimenti veloci di massa che si sviluppano su versanti acclivi o mediamente acclivi in seguito a piogge brevi e intense e/o prolungate. La massa franata assume un aspetto molto simile a quello di un fluido viscoso che scorre verso valle.

Caratteristiche:

1. Elevata velocità
2. Assenza di una superficie di taglio

Cause:

Piogge intense e prolungate

⇩

Riduzione della suzione

⇩

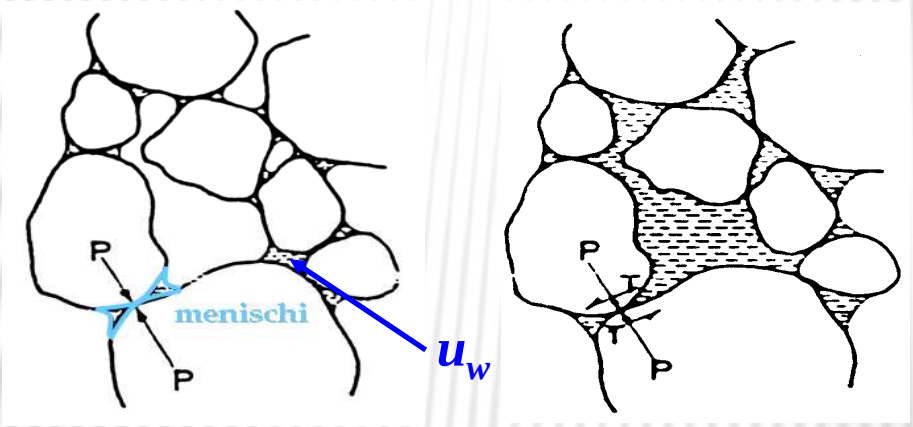
Riduzione della resistenza a taglio

2. TERRENI PARZIALMENTE SATURI

TERRENO PARZIALEMENTE SATURO → **Mezzo trifase**

Particelle solide — Acqua — Aria

Terreno parzialmente saturo **Terreno saturo**



$$s = u_a - u_w$$

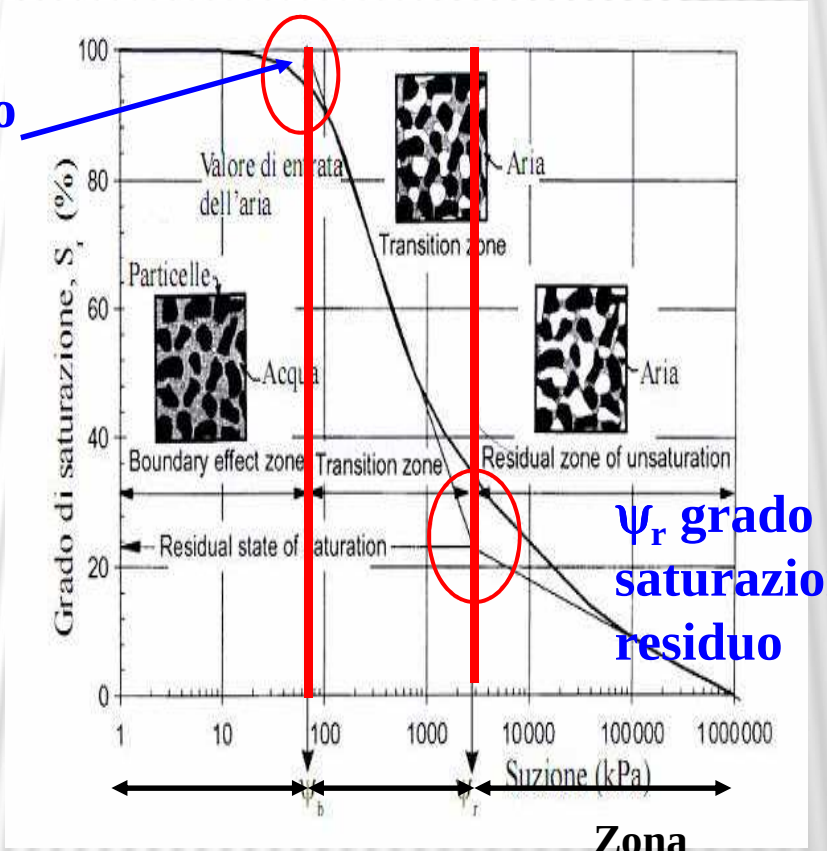
Effetto meccanico della suzione in conseguenza della formazione dei menischi

1. Incremento degli sforzi normali tra particelle
2. Aumento di resistenza a taglio
3. Riduzione della possibilità di scorrimento

2. TERRENI PARZIALMENTE SATURI

Curva di ritenzione idrica → Definisce la relazione che sussiste fra la suzione di matrice e la quantità di acqua presente nel terreno

ψ_b valore d'ingresso d'aria

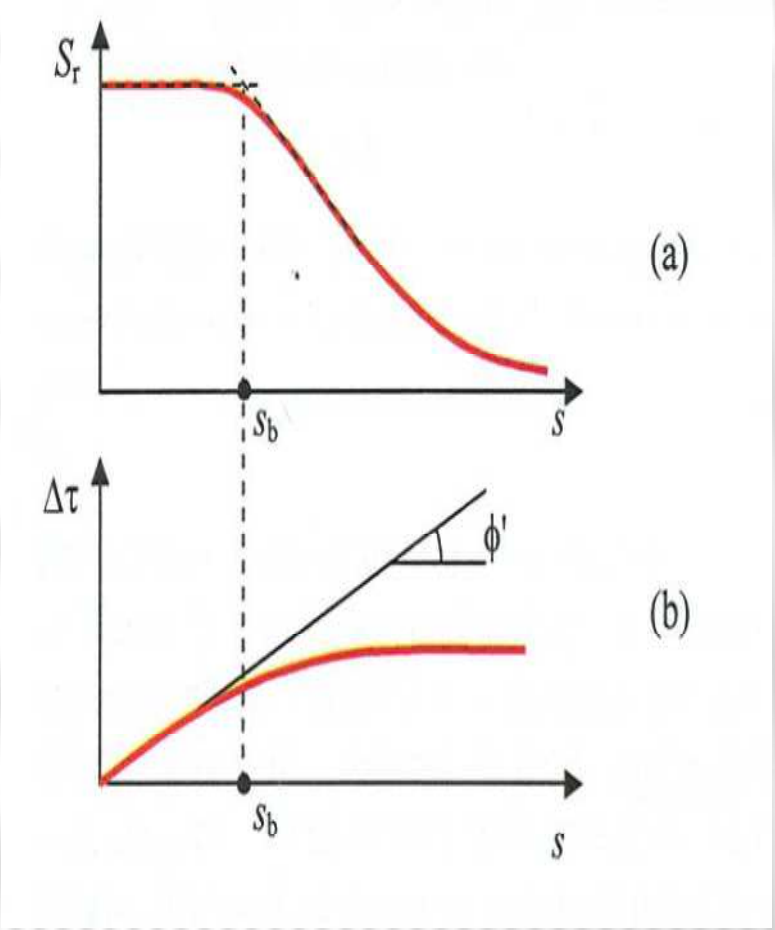


ψ_r grado di saturazione residuo

Zona di saturazione | **Zona di transizione** | **Zona residua di non saturazione**

2. TERRENI PARZIALMENTE SATURI

Relazione tra curva di ritenzione e resistenza a taglio



Estensione del criterio di Mohr-Coulomb alla condizione di parziale saturazione

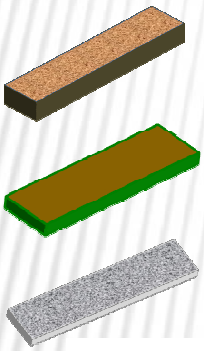
$$\tau = c' + (\sigma - u_a) \cdot \tan\varphi' + (u_a - u_w) \cdot \tan\varphi^b$$

Fredlund, 1978

Suzione

3.1 MODELLO FISICO: DESCRIZIONE

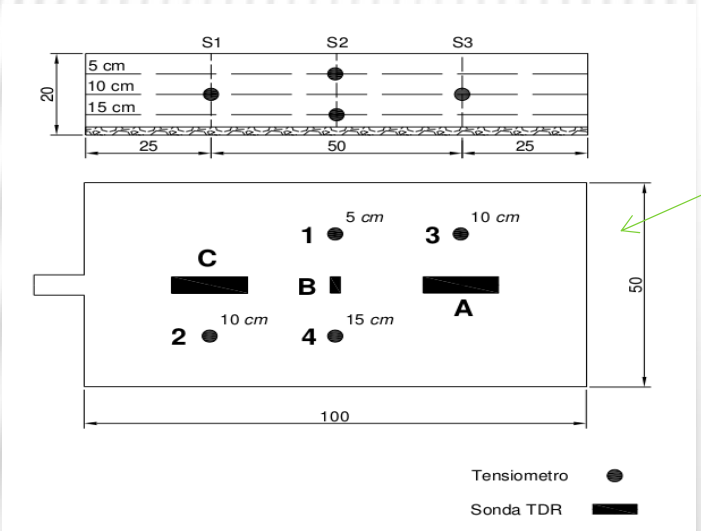
Il modello fisico è costituito da due parti fondamentali: il mezzo filtrante, ovvero il pendio naturale, e l'acqua nebulizzata che simula la pioggia. È stato messo in opera uno strato drenante di ghiaia ricoperto con uno strato di geotessile accuratamente disposto. Successivamente si è ricostruito il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



Piroclastiti di Monteforte Irpino

Geotessile

Ghiaia

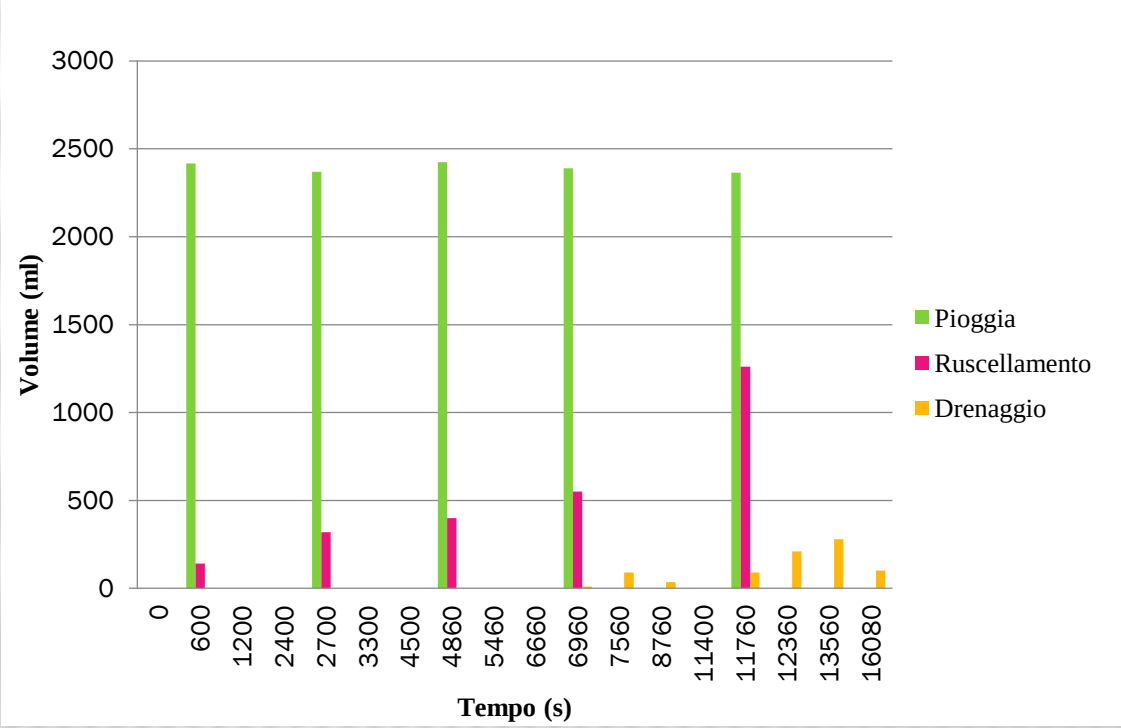


- Suzione → Tensiometri small tip
- Contenuto d'acqua → Sonde TDR
- Ruscellamento e drenaggio → Becker graduati
- Volume d'acqua precipitato → Serbatoio graduato

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



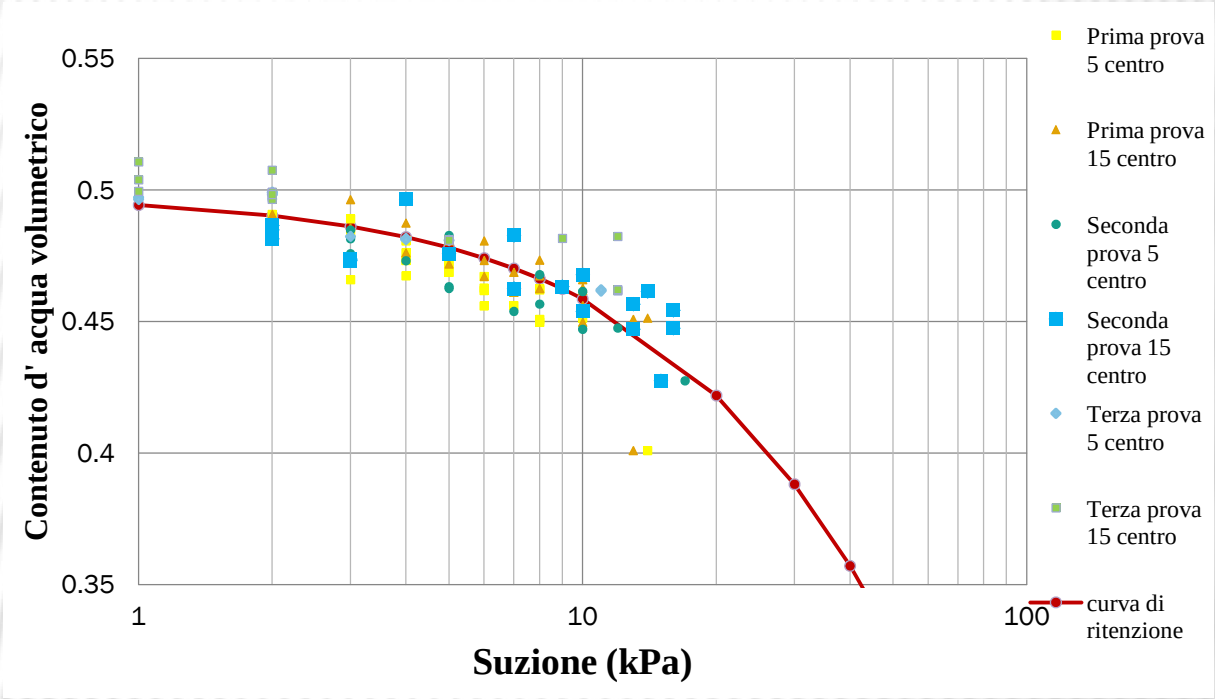
4. ANALISI NUMERICHE

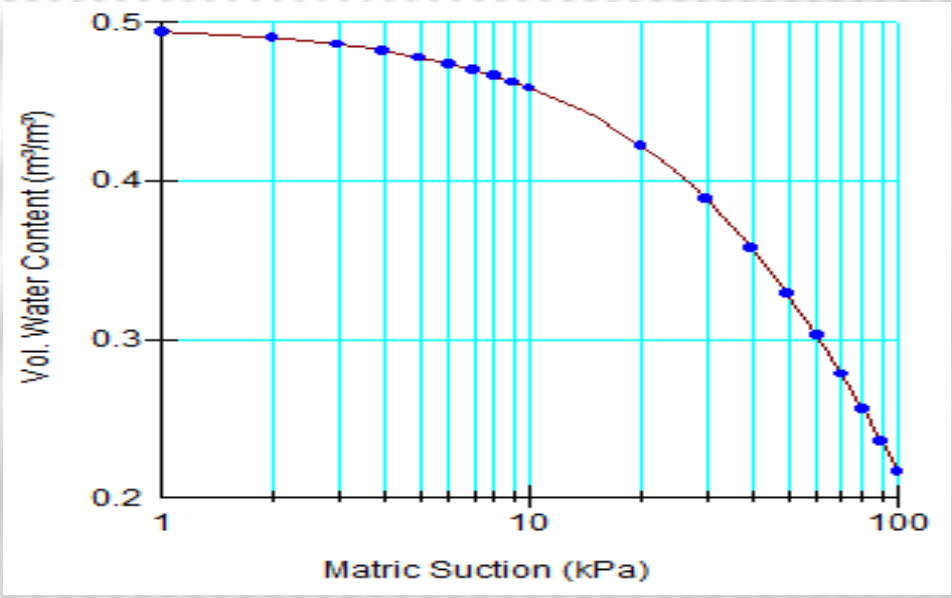
SEEP/W è un software del pacchetto Geostudio/W capace di riprodurre la circolazione delle acque in terreni parzialmente saturi

Per la determinazione della suzione e del contenuto d'acqua in pendii soggetti ad una determinata intensità di pioggia mediante il metodo agli Elementi finiti è necessario:

1. La discretizzazione del dominio (generazione della mesh);
2. La caratterizzazione idraulica del dominio (curva di ritenzione e curva di permeabilità);
3. La definizione della condizione iniziale (analisi stazionaria);
4. La definizione delle condizioni al contorno.

4.1 ANALISI NUMERICHE: CURVA DI RITENZIONE





4.2 ANALISI NUMERICHE: CURVA DI PERMEABILITÀ

La permeabilità della coltre è stata valutata, a partire dalle misure di ruscellamento e suzione effettuate durante le prove sperimentali su modello fisico, attraverso le seguenti equazioni:

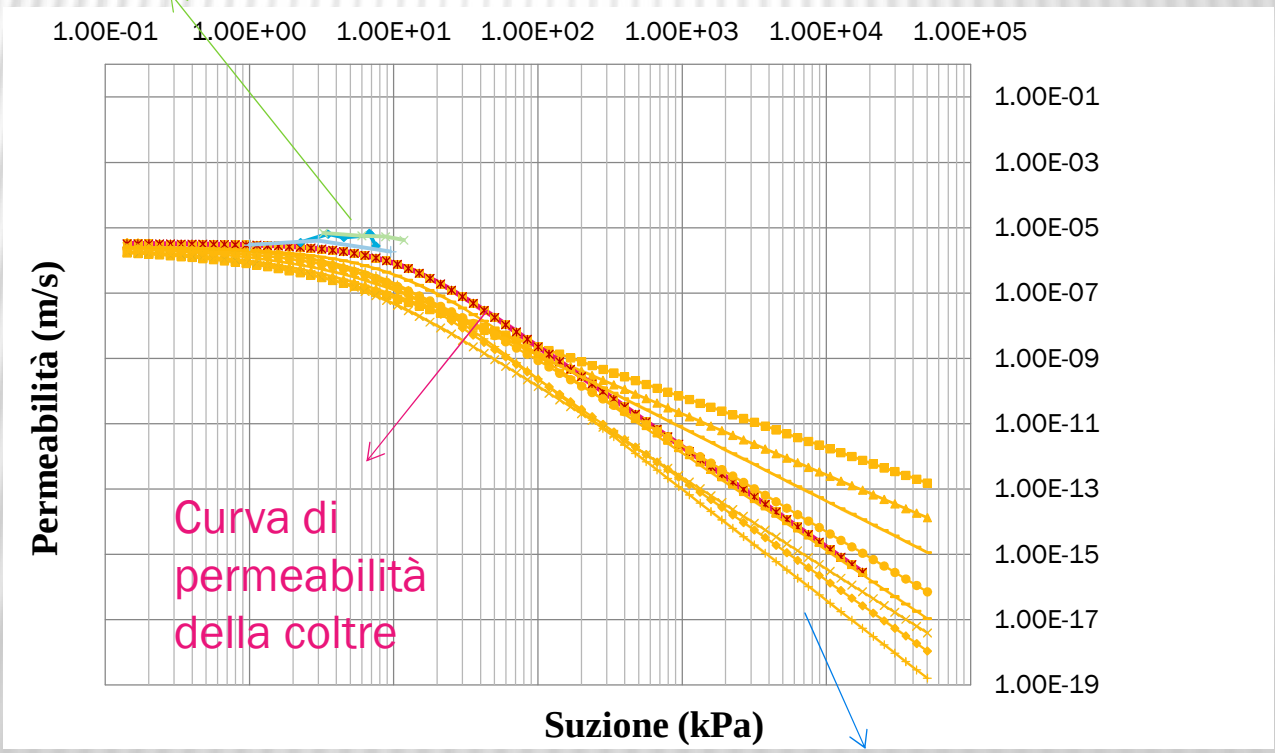
$$K = \frac{(P - R)}{i}$$

$$i = \frac{-\left(z_1 + \frac{s_1}{9{,}8}\right) + \left(z_2 + \frac{s_2}{9{,}8}\right)}{(z_2 - z_1)}$$

i: gradiente
P: volume effettivo di pioggia;
R: volume d'acqua ruscellato;
P-R = Infiltrazione
K: permeabilità (m/s)

z_1: 0,05m; z_2: 0,15 m;
s_1: suzione a 0,05m mediata tra i tempi t_i (inizio pioggia) e t_{i-1} ;
s_2: suzione a 0,15m mediata tra i tempi t_i (inizio pioggia) e t_{i-1};

Curve costruite con le precedenti equazioni

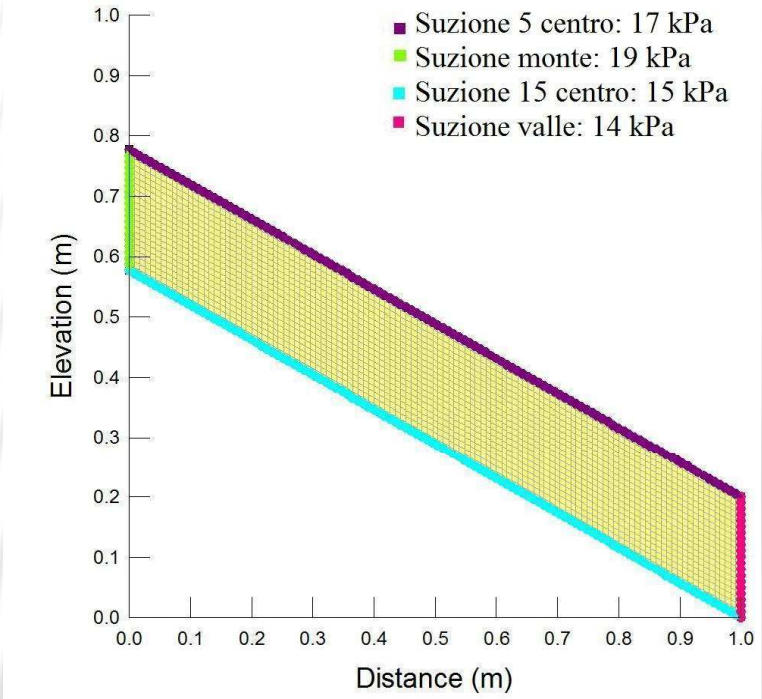


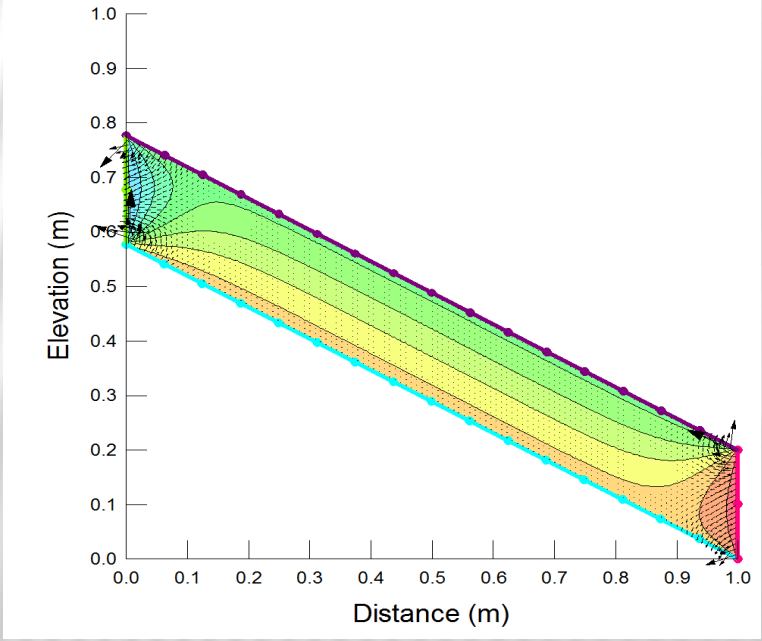
Curve derivanti da prove di laboratorio sull'elemento di volume

4. 3 ANALISI NUMERICHE: CONDIZIONE INIZIALE

Analisi stazionaria

Al fine di ricostruire la condizione iniziale del modello, si applicano ai bordi le suzioni misurate in laboratorio.



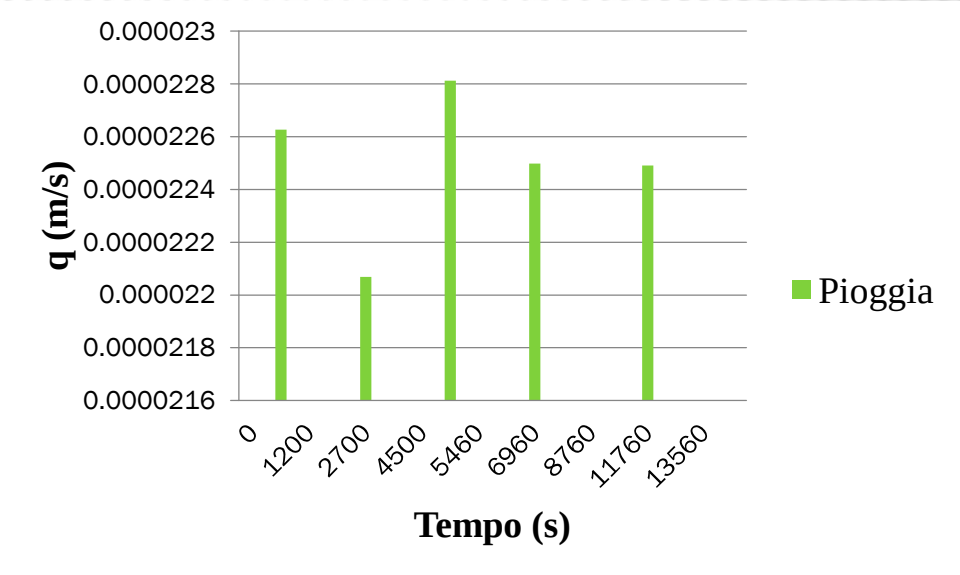


4.4 ANALISI NUMERICHE: CONDIZIONI AL BORDO

La pioggia applicata nella prova condotta sul modello fisico, di durata pari a 3 minuti, è stata modellata come un flusso d' acqua per unità di superficie (q) e calcolata attraverso la seguente espressione:

$$q = \frac{V}{b * h * t}$$

V: volume d'acqua (m^3);
b*h: area della sezione (m^2);
t: durata dell'evento di pioggia (s).

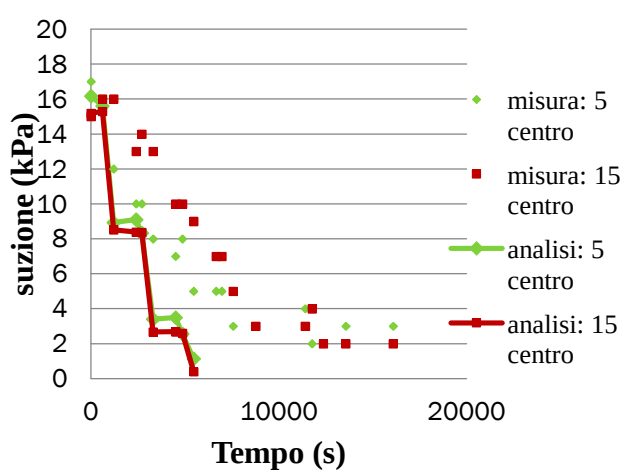


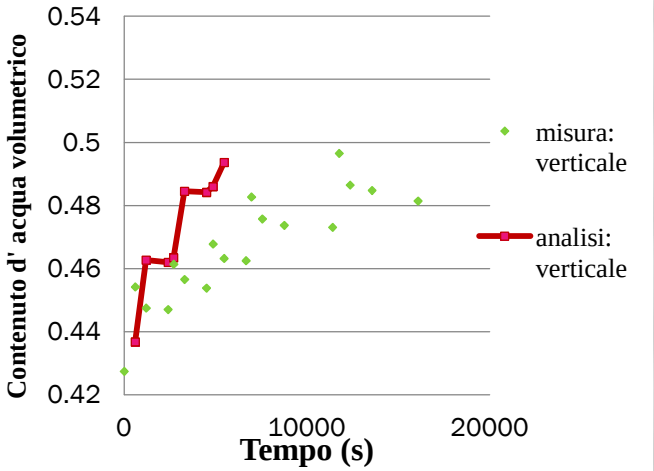
La condizione inferiore:
Il bordo è modellato come impermeabile (q=0) fino a quando durante la prova non è misurato un drenaggio inferiore diverso da zero, istante a partire dal quale è necessario sostituire la condizione q=0 con una in termini di suzioni.

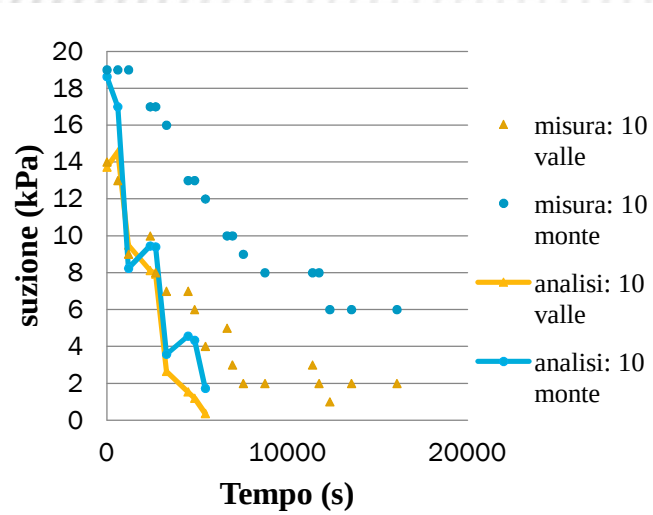
4.5 ANALISI NUMERICHE: RISULTATI

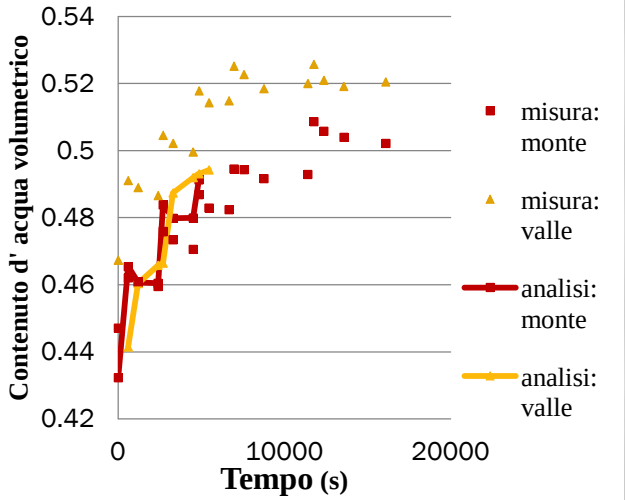
Ksat=3,27e-006

0-5460s: al bordo inferiore q=0









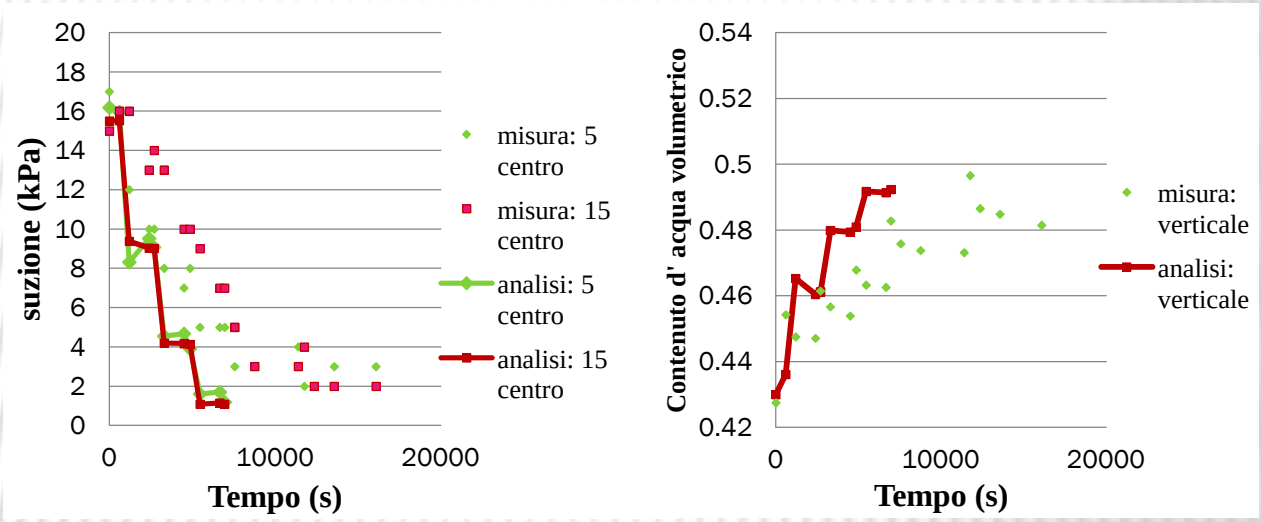
A partire dal primo evento di pioggia è nata la necessità di cambiare la condizione al bordo data la non corrispondenza tra il risultato delle analisi e le misure effettuate.

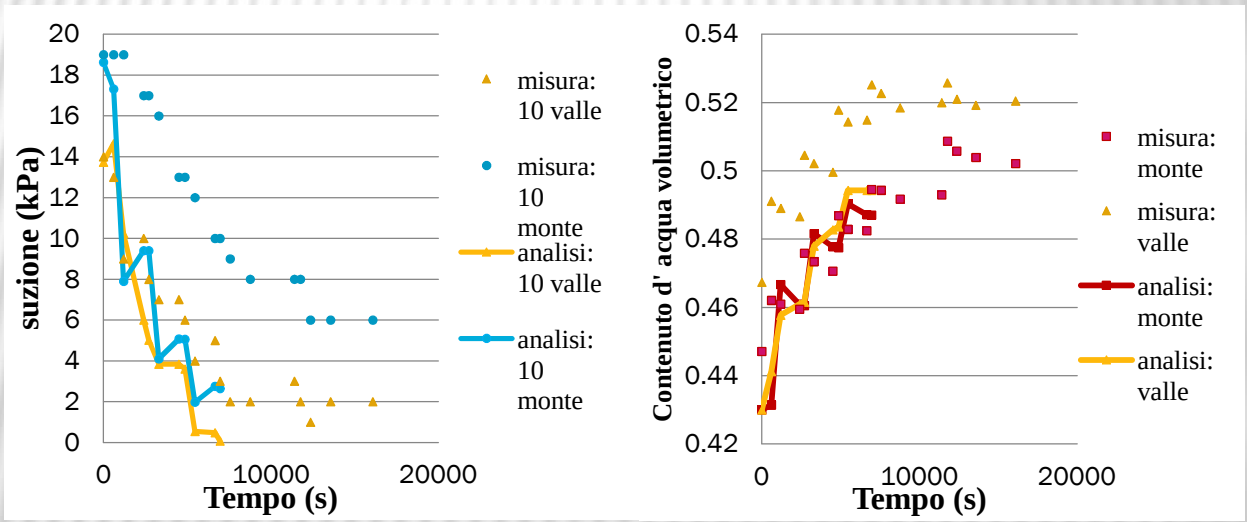
4.5 ANALISI NUMERICHE: RISULTATI

Ksat = 2.57e-006

Permeabilità più bassa rispetto al caso precedente

0-6960s: al bordo inferiore q=0

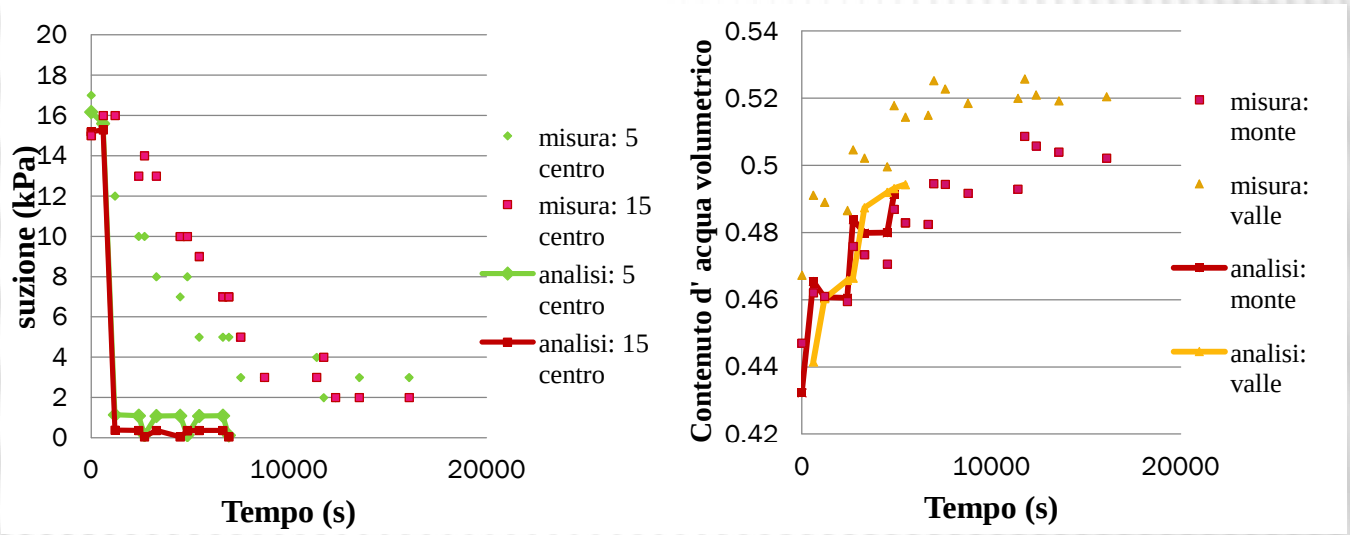


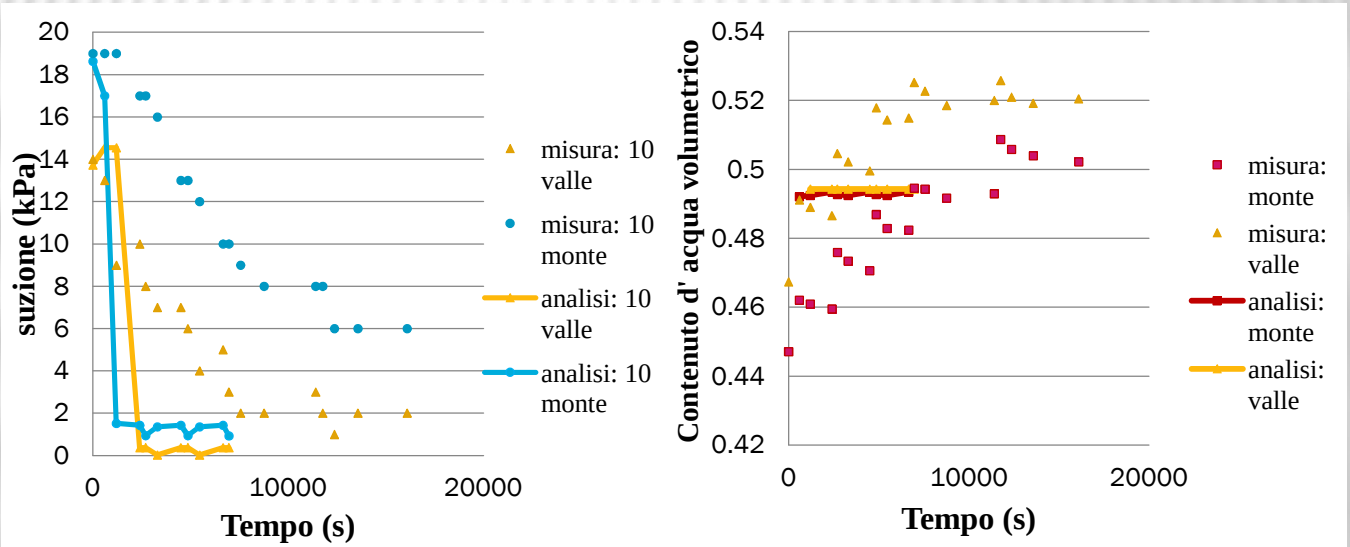


Nonostante la variazione della curva di permeabilità, la modellazione non restituisce un buon riscontro tra analisi e misure. Le suzioni calcolate a 15 e 5 cm di profondità dal bordo superiore risultano uguali.

4.5 ANALISI NUMERICHE: RISULTATI

Ksat=3,27e-006
0-600s: al bordo inferiore q=0
600-6960s: al bordo inferiore suzione pari a 0 kPa

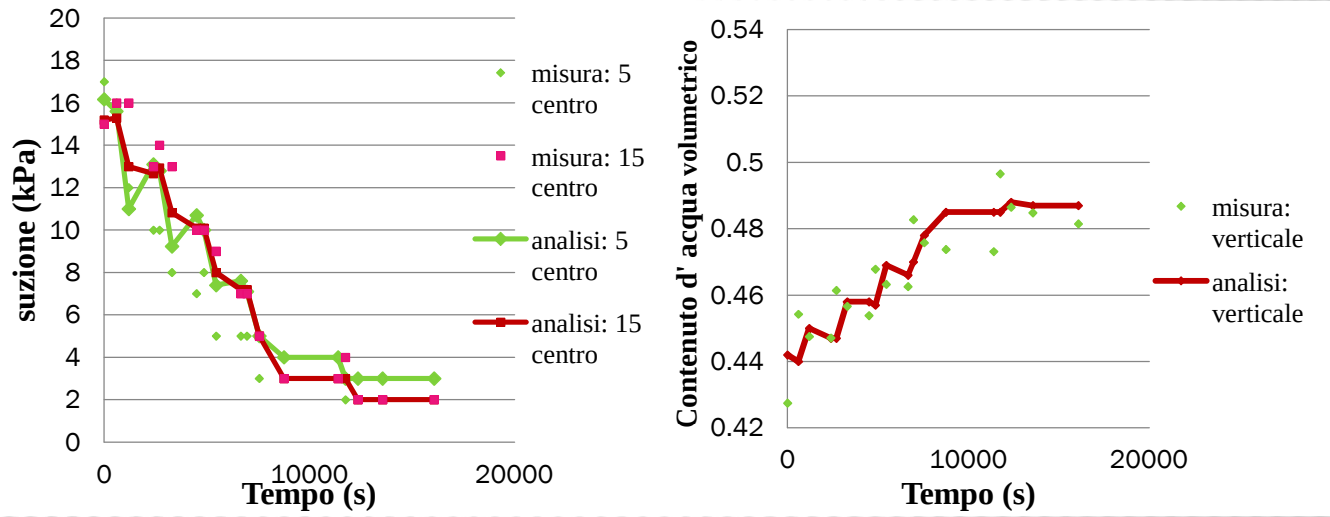


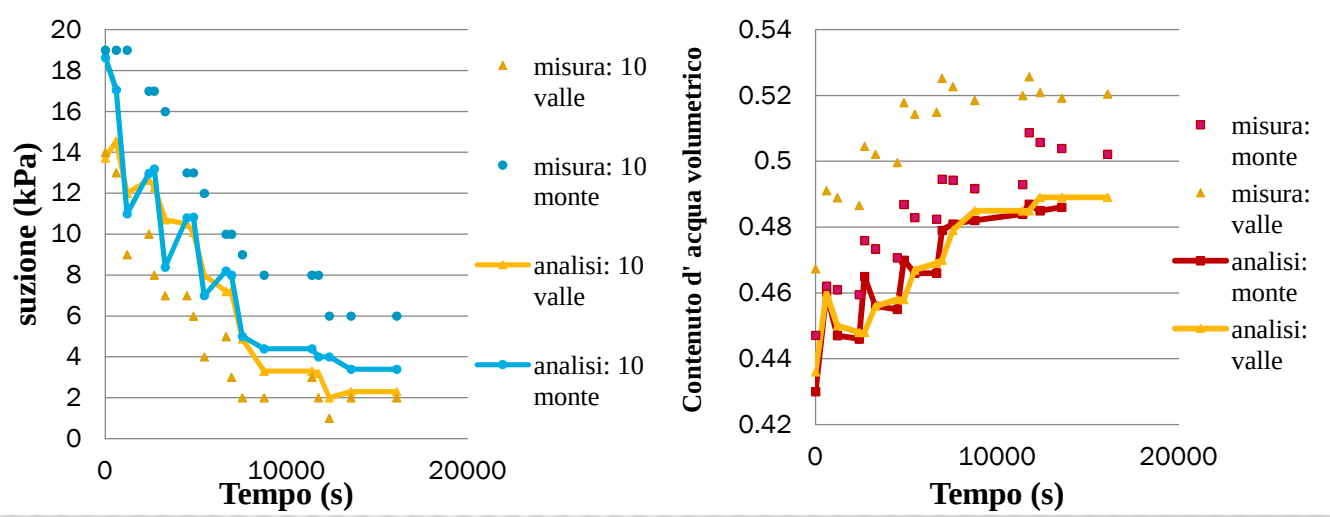


Risulta evidente l'abbattimento delle suzioni che si verifica fin dall'inizio dell'analisi.

4.5 ANALISI NUMERICHE: RISULTATI

Ksat=3,27e-006
0-600s: al bordo inferiore q=0
600s-16080s: al bordo inferiore suzione misurata

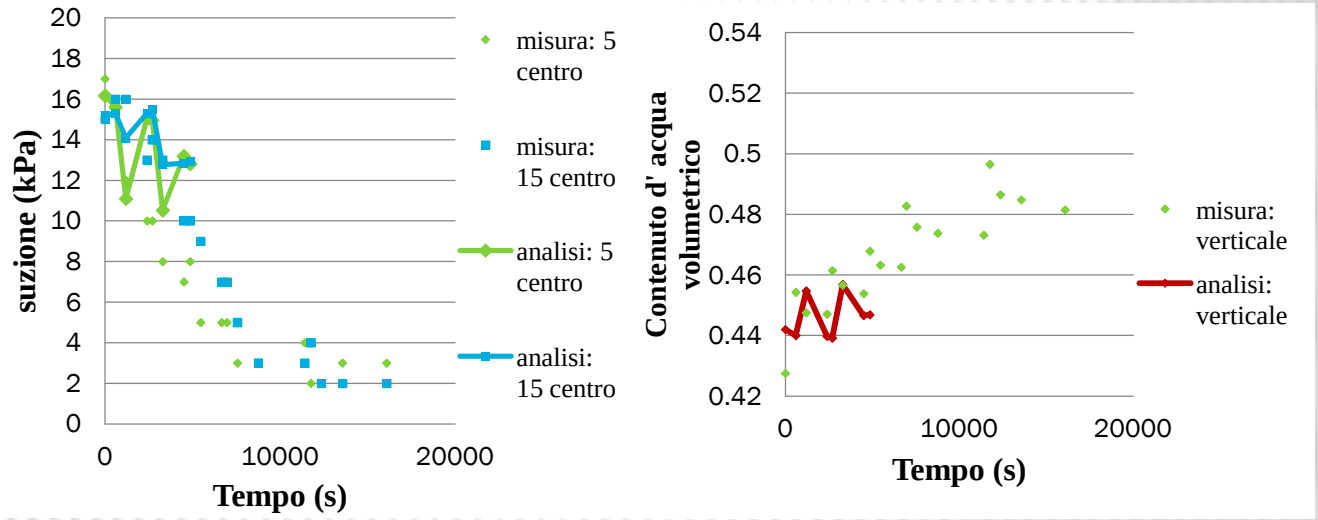


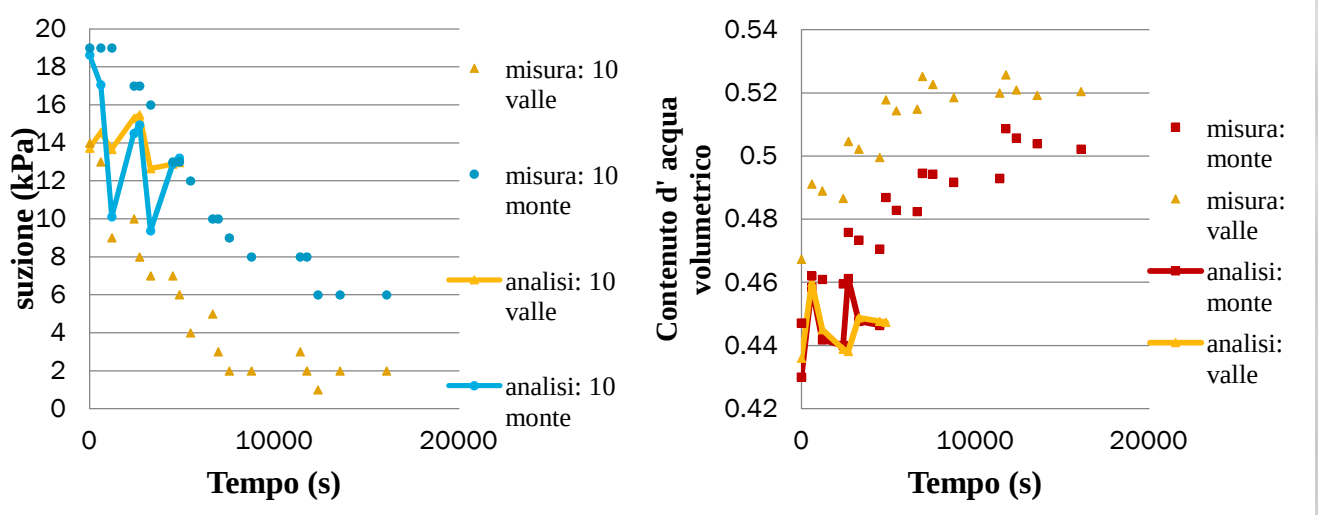


Come è ovvio aspettarsi, i diagrammi ci forniscono una migliore corrispondenza tra la sperimentazione e la modellazione numerica.

4.5 ANALISI NUMERICHE: RISULTATI

Ksat=3,27e-006
0-600s: al bordo inferiore q=0
600-4860s: al bordo inferiore suzione 3kPa maggiore di quella misurata





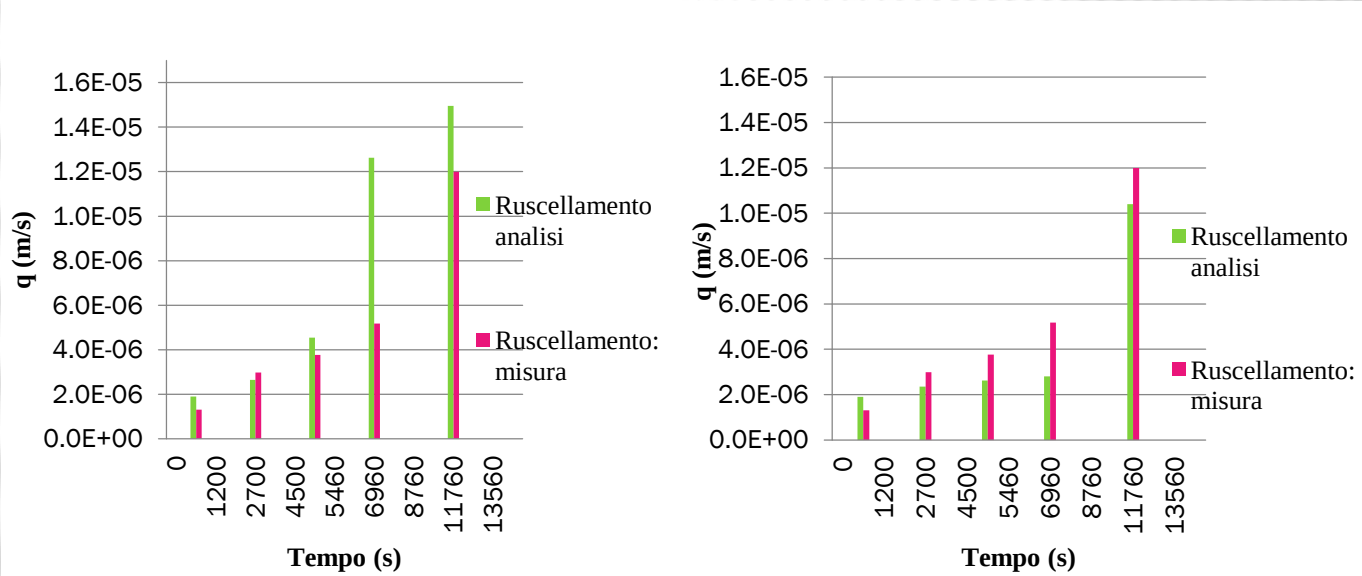
Il modello coglie, in questo caso, la differenza tra le condizioni superficie - fondo ma vi è discordanza tra le misure e il risultato dell'indagine numerica.

4.6 ANALISI NUMERICHE: BILANCIO

Il confronto tra il flusso di ruscellamento misurato e quello fornito dal software permette di verificare la correttezza del modello elaborato.

Al bordo inferiore q=0

Al bordo inferiore suzione misurata



Nell' immagine a sinistra il ruscellamento analizzato e quello misurato sono confrontabili fino al penultimo evento di pioggia cioè fino a che non si verifica il drenaggio al bordo inferiore.
Diversamente, a destra, si osserva una corrispondenza che permane per tutta la durata della prova. Tale andamento conferma la necessità di definire al bordo inferiore la suzione misurata nel modello sperimentale.

5. CONCLUSIONI

Dalla modellazione si evince l’ importanza della corretta definizione della condizione al bordo inferiore, il quale condiziona notevolmente il bordo superiore. È necessario definire una funzione idraulica al fondo che tenga conto della presenza del geotessile. L’analisi numerica è stata condotta per la previsione, tramite opportuni fattori di scala, del bilancio in sito in corrispondenza di qualsiasi pluviogramma applicato. Costituisce, quindi, un efficace strumento per anticipare il verificarsi di eventi dalle conseguenze disastrose.