

Scuola politecnica e delle scienze di Base  
UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II



DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE ED AMBIENTALE  
TESI DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL  
TERRITORIO

**INNESCO DI COLATE RAPIDE IN TERRENI PIROCLASTICI,  
SPERIMENTAZIONE DI LABORATORIO ED IN MODELLO  
FISICO**

**Relatori:**

Ch.mo Prof. Gianfranco Urciuoli

Ch.mo Prof. Luca Pagano

**Candidata:**

Valentina Illiano

Matr. M67/95

**Correlatore:**

Dott. Ing. Alfredo Reder

Anno accademico 2015/2016

## 1. INTRODUZIONE

Le colate rapide di fango sono fenomeni che interessano le coltri piroclastiche e sono caratterizzati da una cinematica rapida (fino a 60 km/h). La vulnerabilità del territorio rispetto a questi fenomeni è stata di recente portata alla ribalta dagli eventi occorsi nelle zone del salernitano e del napoletano: Nocera Inferiore (1997, 2005), Pozzano (1997), Sarno (1998), Ischia (2006, 2009). Per questo motivo risulta necessario sviluppare modelli previsionali in grado di prevedere con un certo anticipo questi fenomeni. A tal fine è stato studiato uno strumento di monitoraggio, il tensio-inclinometro, ed è stato sviluppato un modello in scala di pendio.

Il presente elaborato di tesi è dedicato alla:

- 1) caratterizzazione idraulica di un terreno piroclastico tipico dei versanti della Campania
- 2) simulazione di un evento di frana attraverso un modello fisico di pendio
- 3) interpretazione dei risultati delle misure sperimentali attraverso la modellazione del problema al finito.

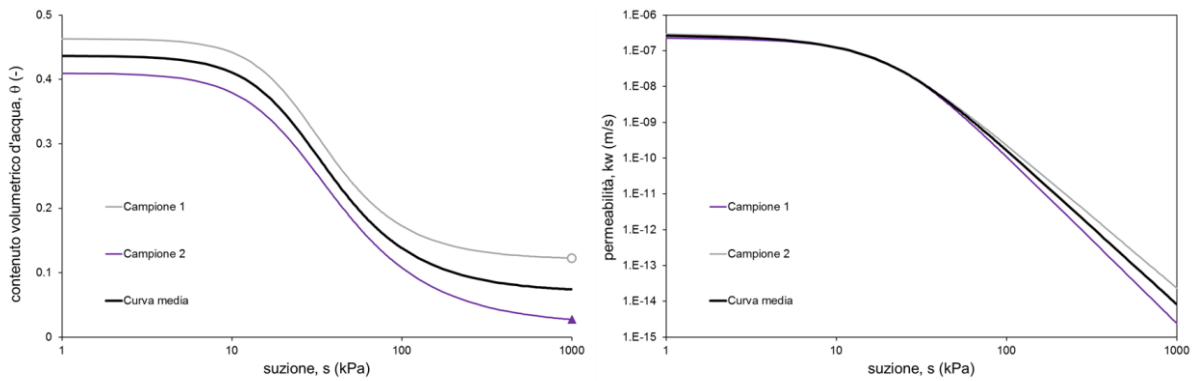
Lo scopo è quello di comprendere se il monitoraggio dell'inclinazione e della suzione all'interno della coltre superficiale sia uno strumento efficace per il preannuncio di fenomeni di frane indotte da precipitazioni.

## 2. CARATTERIZZAZIONE DEL MATERIALE INDAGATO

La prima attività dell'elaborato di tesi si è consacrata alla caratterizzazione idraulica del terreno indagato mediante prove di laboratorio. Il materiale considerato è una sabbia con limo debolmente ghiaiosa. La caratterizzazione idraulica è stata realizzata in tre fasi: (1) saturazione del campione, inizialmente asciutto, e determinazione della permeabilità satura; (2) prova di essiccamento per evaporazione (per valori di suzione massimi di 70-80 kPa); (3) prova di essiccamento attraverso la piastra di Richards a suzione di 1000 kPa.



I risultati sperimentali sono stati interpretati attraverso il codice di calcolo Hydrus 1D al fine di determinare i parametri da inserire nei modelli selezionati per descrivere la curva di ritenzione e la curva di permeabilità (rispettivamente, modello di Van Genuchten e modello di Mualem-Van Genuchten con  $\lambda$  variabile).



### 3. SPERIMENTAZIONE ATTRAVERSO UN MODELLO FISICO DI PENDIO

La seconda attività del lavoro di tesi ha riguardato il monitoraggio di un evento di frana indotta da precipitazione attraverso un modello fisico di pendio opportunamente strumentato per la misura contestuale di suzione e di inclinazione.



Il modello fisico di pendio è costituito da un cassone inclinato a sezione rettangolare (lunghezza = 2 m; larghezza = 1,5 m; altezza = 0,5 m), sostenuto da un telaio inclinabile in tubolari metallici. Sul fondo del modello, realizzato in acciaio, è posizionata un'interfaccia di tipo attritivo atta a simulare il substrato e ad impedire lo scivolamento del terreno durante il sollevamento; tale interfaccia è realizzata con uno strato di geotessile. La parete laterale lato valle è in acciaio forato, per consentire il drenaggio ed è costituita da elementi mobili che si assemblano l'uno sull'altro. Su questa parete è stato risvoltato lo strato di geotessile a formare un filtro-dreno. La presenza del dreno influenza il meccanismo di rottura del pendio.

La struttura è infine sormontata da quattro portali removibili in acciaio sul quale è fissato un sistema di nebulizzatori per la riproduzione della pioggia artificiale.

Per il monitoraggio della suzione e dell'inclinazione della coltre si utilizza uno strumento che prende il nome di tensio-inclinometro. La misura dell'inclinazione avviene mediante un accelerometro posto in testa allo strumento. La misura della suzione avviene mediante trasduttore di pressione che si trova in corrispondenza dell'estremità superiore dello strumento stesso. Il tensio-inclinometro realizza, pre-elabora e trasmette i dati ad un'unità di acquisizione collegata ad un computer che registra i dati.

Per le prove su modello fisico di pendio è stata sviluppata una procedura che si articola nei seguenti punti: (1) posa in opera di uno strato di terreno con uno spessore di 30 cm con il cassone posizionato in orizzontale e il filtro-dreno assemblato fino ad un'altezza di 30 cm; (2) inclinazione del cassone ad una pendenza di 33°; (3) preparazione ed installazione dei tensio-inclinometri; (4) verifica del sistema di monitoraggio e del sistema di nebulizzatori; (5) avvio della prova.

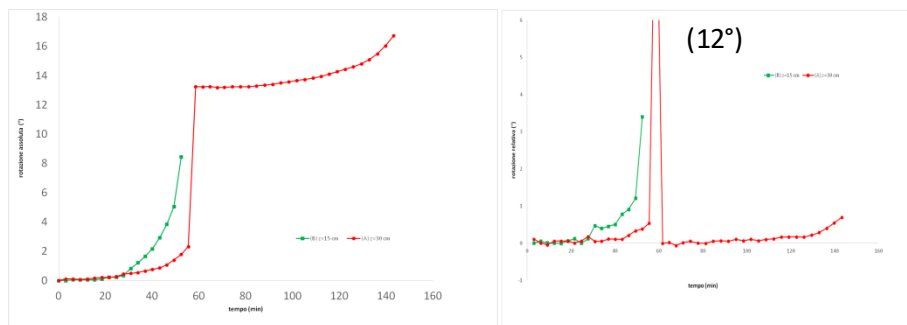
Per monitorare il comportamento dello strato sono stati installati cinque strumenti. Due sono dotati di sensore di accelerazione e di pressione a tecnologia MEMS (uno posto a una profondità di 30 cm e l'altro di 15 cm); gli altri tre sono invece dotati di sensore di accelerazione a tecnologia MEMS e sensore di pressione acquisito tramite una centralina Campbell CR1000 (di cui due posti alla



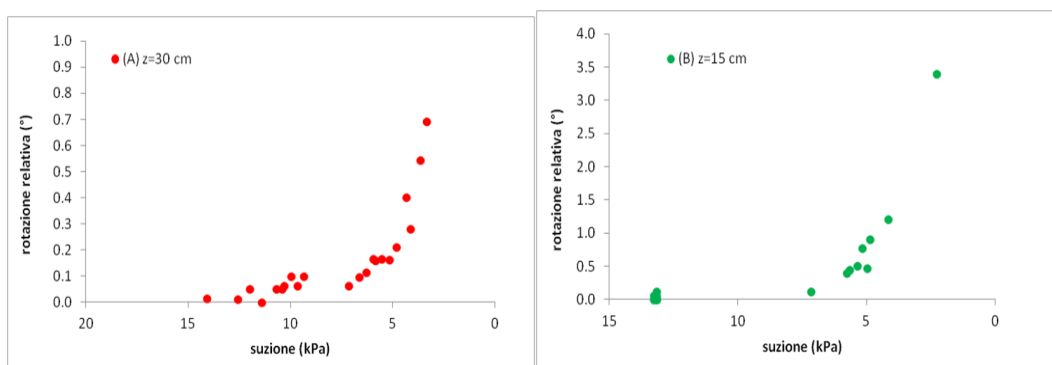
profondità di 30 cm e uno a 15 cm). La sperimentazione è durata 143 minuti, istante nel quale si è verificato il fenomeno di frana. Di seguito si riportano le evoluzioni di suzione di due tensio-inclinometri di riferimento, il primo posto alla profondità di 30 cm (linea rossa) ed il secondo posto alla profondità di 15 cm (linea verde).

L'evoluzione di suzione ottenuta con il tensio-inclinometro più superficiale (curva verde) evidenzia una riduzione di suzione nel corso della prova dovuta all'approfondimento del fronte umido, fino al completo ribaltamento dello strumento. Questo fenomeno si è registrato dopo 52 minuti dall'inizio della prova per effetto di un fenomeno di rottura locale. L'evoluzione di suzione ottenuta con il tensio-inclinometro più profondo (curva rossa) evidenzia una riduzione di suzione più lenta rispetto al tensiometro più superficiale a causa dell'effetto "filtro" del terreno; dopodiché si registra una riduzione di suzione fin quando non si verifica il fenomeno di frana.

L'interpretazione dei dati di monitoraggio dell'inclinazione è effettuata sia in termini di rotazione assoluta (rispetto alla posizione iniziale) che in termini di rotazione relativa (rispetto alla posizione precedente). In termini di rotazioni relative si osserva una crescita del gradiente di rotazione per entrambi gli strumenti, che termina con il fenomeno di frana.



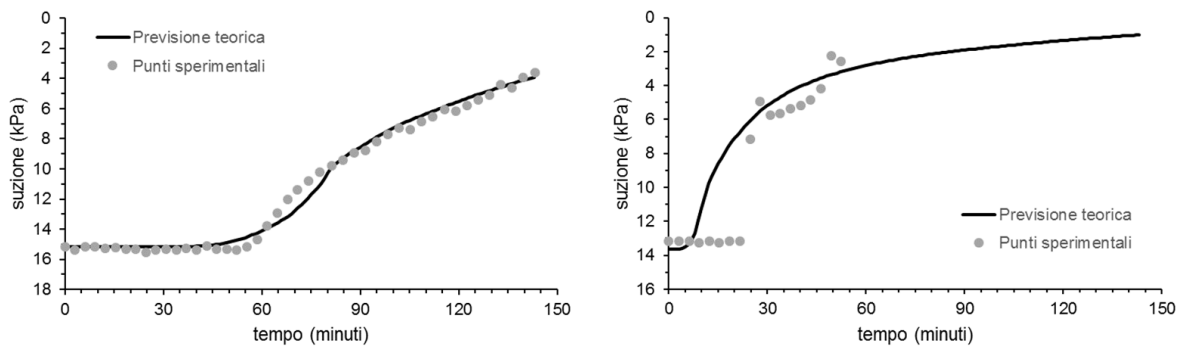
Dato che le rotazioni sono prodotte dal fatto che si riduce la suzione si è ritenuto opportuno diagrammare, in una relazione causa-effetto, le due grandezze fisiche. Di seguito viene mostrato il risultato in termini di rotazione relativa sia per lo strumento più profondo che per quello più superficiale.



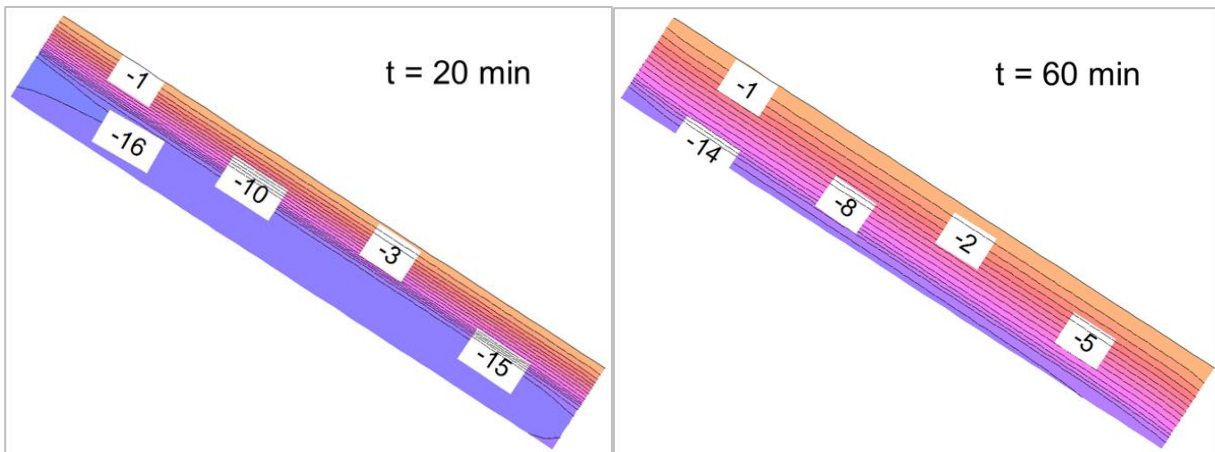
Si osserva una chiara relazione tra le due grandezze fisiche, per cui l'incremento del gradiente di rotazione al ridursi della suzione può essere considerato un criterio sul quale stabilire una soglia di allertamento.

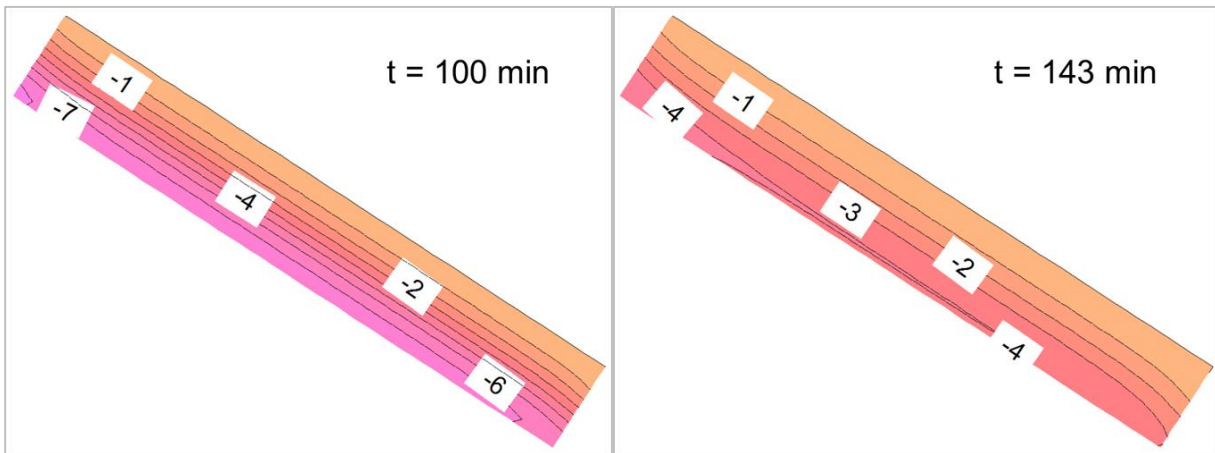
#### 4. ANALISI TEORICA PER LA PREVISIONE DELL'AVANZAMENTO DEL FRONTE UMIDO

I risultati della prova su modello fisico sono stati oggetto di un'analisi a ritroso finalizzata a determinare le proprietà idrauliche dello strato con lo scopo di prevedere in maniera teorica l'avanzamento del fronte umido. Lo studio è stato condotto adottando un approccio semplificato, cioè modellando l'infiltrazione in un mezzo rigido e parzialmente saturo sotto condizioni isotermiche. Nel nostro caso tale assunzione può essere considerata realistica in quanto i fenomeni di evaporazione sono trascurabili durante la simulazione dell'evento di pioggia. L'evoluzione di pressione dell'acqua nei pori è stata ottenuta risolvendo teoricamente l'equazione di Richards attraverso il codice di calcolo agli elementi finiti SEEP/W 2004. Di seguito si riportano i risultati dell'analisi a ritroso, confrontando le evoluzioni teoriche di suzione (linea nera) con le evoluzioni ottenute dal monitoraggio (indicatori grigi), rispettivamente alla profondità di 30 cm e 15 cm.



L'analisi a ritroso ci ha permesso anche di prevedere comportamenti non misurati in maniera diretta, infatti è stato possibile estrapolare in determinati istanti di tempo l'approfondimento del fronte umido nello strato e le evoluzioni di suzione all'interno del modello. Di seguito si riportano i risultati per intervalli temporali di 40 minuti.





## 5. CONCLUSIONI

L'attività sperimentale svolta nel presente elaborato di tesi ha avuto come obiettivo quello di caratterizzare attraverso prove di laboratorio, prove su modello fisico di pendio e previsioni teoriche il fenomeno di innesco di un evento di colata rapida. In relazione a ciascuna attività svolta è possibile trarre le seguenti conclusioni:

- 1) l'attività sperimentale di laboratorio ha permesso di caratterizzare il comportamento idraulico del materiale indagato durante un processo di completa desaturazione. Le misure sperimentali, opportunamente interpretate attraverso il codice di calcolo Hydrus 1D, hanno consegnato curva caratteristica e curva di permeabilità coerenti con quelle presenti in letteratura su terreni di analoga natura;
- 2) l'attività sperimentale su modello fisico di pendio ha permesso di riprodurre in maniera realistica un evento di colata rapida. Il modello fisico è risultato uno strumento idoneo a tale attività in quanto è in grado di riprodurre condizioni al contorno controllate su un volume di terreno significativo. Durante la prova sono state monitorate all'interno dello strato due grandezze fisiche significative, suzione e inclinazione, entrambe misurate a mezzo di uno strumento di recente sviluppo: il tensio-inclinometro. La prova ha messo in luce il legame causa-effetto che sussiste tra le due grandezze fisiche indagate; nello specifico, si è osservato un gradiente crescente di rotazione al ridursi della suzione negli istanti precedenti fenomeni di collasso locale e generale dello strato;
- 3) attraverso una modellazione del problema al finito, sono state determinate le proprietà idrauliche dello strato durante il processo di imbibizione; queste sono state desunte tramite un'analisi a ritroso finalizzata a riprodurre in maniera soddisfacente le misure sperimentali di suzione. Lo strumento di calcolo adoperato in questa fase è il codice FEM SEEP/W 2004. Le proprietà idrauliche ricavate risultano coerenti con quelle caratteristiche di altri materiali piroclastici della Campania, per i quali sono disponibili diversi riferimenti di letteratura;
- 4) la previsione teorica ha infine consentito di ottenere l'approfondimento del fronte umido all'interno dello strato della prova in diversi istanti di tempo. All'istante  $t = 60$  min., si osservano valori di suzione inferiori a 3 kPa fino alla profondità di circa 15 cm; in questa fase si genera un fenomeno di collasso locale come segnalato dal crollo delle unità installate più in superficie. All'istante  $t = 143$  min, si notano invece valori di suzione minori di 4 kPa all'interno di tutto il dominio; in tale istante si verifica il crollo delle unità installate alla profondità di 30 cm cui si associa il fenomeno di collasso dello strato.