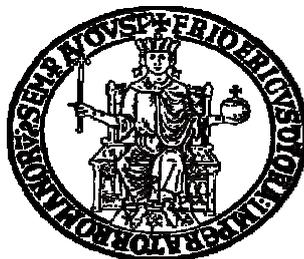


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI  
FEDERICO II



FACOLTÀ DI INGEGNERIA

CORSO DI LAUREA IN

INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE ED AMBIENTALE

**SINTESI ELABORATO DI LAUREA**

MONITORAGGIO DI GRANDEZZE IDRAULICHE IN UN  
PENDIO DI TERRENI PARZIALMENTE SATURI

RELATORE

Ch.mo Prof. Ing. G. Urciuoli

CORRELATORI

*Dott. Ing. M. Pirone*

*Dott. Ing. R. Papa*

CANDIDATO

Egidio Grillo

Matr. M67/034

ANNO ACCADEMICO 2012/2013

A seguito dei disastri naturali avvenuti in Campania nell'ultimo ventennio, hanno subito un sensibile impulso gli studi relativi ai meccanismi di innesco delle colate rapide nei terreni piroclastici. Pertanto nel 2005 è stato progettato e realizzato un campo sperimentale nel sito di Monteforte Irpino (AV).

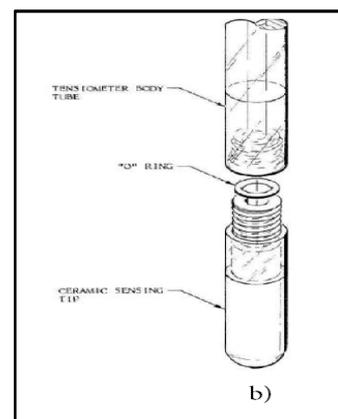
Questo elaborato di tesi si inserisce all'interno della suddetta ricerca sperimentale condotta presso il Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile ed Ambientale dedicata all'innesco di colate di fango ed ha come **obiettivo** il monitoraggio delle grandezze idrauliche in un pendio di terreni parzialmente saturi.

Questo elaborato di tesi si compone delle seguenti parti:

- una prima fase di monitoraggio in sito della durata di un anno, da Ottobre 2011 ad Ottobre 2012, durante tale periodo sono stati acquisiti i valori di suzione e contenuto d'acqua, con una frequenza pari ad 8 - 10 giorni;
- una seconda fase di studio in cui è stata svolta la validazione delle misure tramite confronto con le serie storiche registrate precedentemente;
- una terza fase di elaborazione delle misure durante la quale è stata svolta l'analisi delle piogge che hanno interessato il pendio nel periodo di sette anni, un'analisi spaziale e temporale delle misure di suzione e contenuto d'acqua;
- una quarta fase in cui è stato stimato il valore dell'infiltrazione.

### Fase I: Misure acquisite

La **suzione** è misurata tramite **tensiometri**, quest'ultimi sono degli strumenti formati da un tubo rigido in nylon collegato ad una piastra porosa, sono infissi nel terreno e saturati con acqua demineralizzata. Attraverso la piastra porosa si instaura un moto di filtrazione dal tensiometro verso il terreno fin quando la pressione interna ad esso eguaglia la pressione neutra nel terreno. Misurando la depressione



all'interno dello strumento si ha una stima diretta della suzione nel terreno. I tensiometri installati in sito si differenziano per il metodo in cui si misura detta depressione, i tensiometri **Jet Fill** sono corredati in testa di un vacuometro capace di

misurare le pressione negative. Oltre ai tensiometri Jet Fill, sono installati quelli del tipo **SDEC france** i quali sono chiusi in testa con un tappo di silicone, per la lettura della depressione si usa un **tensimetro** dotato di un ago ipodermico che penetrando il tappo in silicone misura il valore di suzione.

Il rilascio di acqua per eguagliare le pressione neutra nel terreno fa sì che i tensiometri tendano a desaturarsi velocemente, quindi hanno necessità di costante manutenzione. Il processo di ricarica non può essere effettuato ad intervalli di tempo molto ravvicinati in quanto all'atto di riempimento si ha un azzeramento della pressione a cui segue un transitorio la cui durata dipende dalle caratteristiche dello strumento e dalla natura dei terreni.

La misura del **contenuto d'acqua** è stata effettuata attraverso l'impiego di sonde

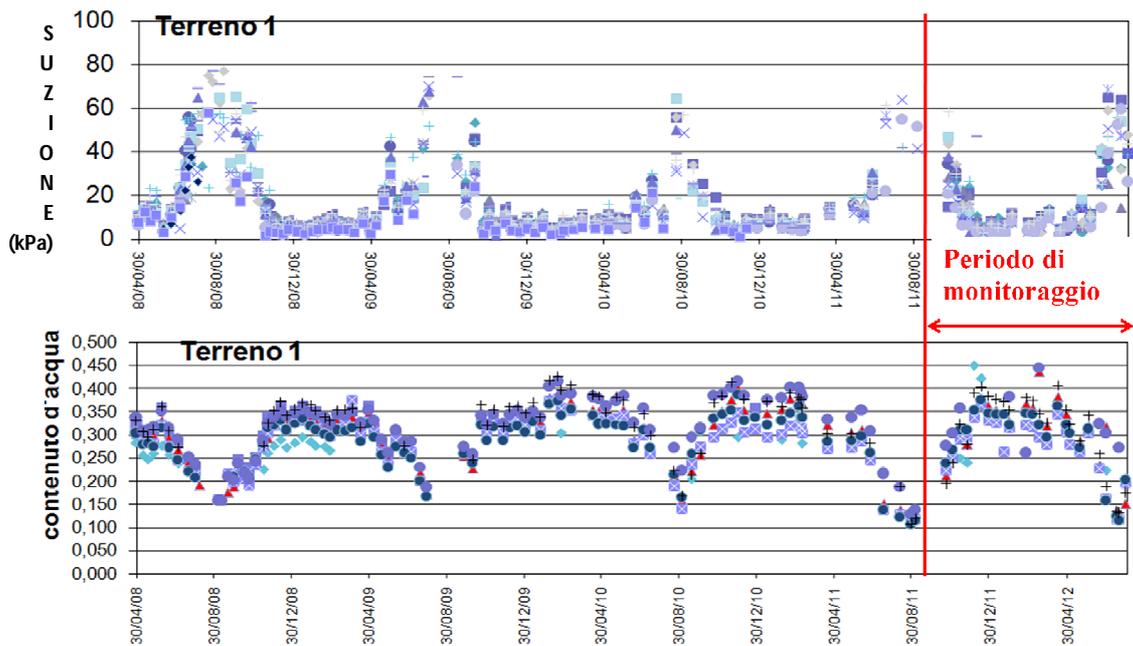


TDR. La riflettometria nel dominio del tempo (TDR) è il metodo indiretto maggiormente utilizzato per la stima del contenuto di acqua in sito, in quanto è non distruttivo e poco invasivo. Tale tecnica si basa sulla propagazione delle onde elettromagnetiche nel terreno; in particolare tramite la stima della costante dielettrica del terreno stesso è possibile

risalire al suo contenuto di acqua.

## **Fase II: Validazione delle misure**

All'acquisizione dei dati è seguita una fase di confronto con le serie storiche precedenti, mediante il quale è stato riscontrato lo stesso andamento ciclico con cadenza annuale, riscontrato negli anni precedenti, che ha permesso di validare i valori di suzione e contenuto d'acqua acquisiti. Di seguito si riporta la serie storica per la sola coltura superficiale:



Le misure massime di suzione, nel periodo, secco risultano non attendibili in quanto si verificano dei picchi che sono maggiori della capacità di misura degli strumenti installati in sito (70 kPa).

### Fase III: Elaborazione dei dati

Le analisi spaziali della suzione e del contenuto d'acqua nella coltre superficiale indicano una variabilità marcata dovuta soprattutto alla variabilità della copertura vegetativa ed alle diverse caratteristiche topografiche del pendio. Tale variabilità si riduce con la profondità.

Poi si è proceduto all'elaborazione delle piogge verificatesi sul pendio. L'analisi dei dati è stata condotta su un periodo di osservazione di 7 anni. Tale analisi ha mostrato come il 50 % del numero di eventi totali si è verificato con un'altezza di pioggia giornaliera compresa tra 0 e 5 mm, ma sono gli eventi di pioggia con altezze giornaliere comprese tra 10 e 50 a contribuire maggiormente al volume di pioggia totale, infatti esse rappresentano quasi il 60% del volume totale.

Successivamente i dati pluviometrici sono stati messi in relazione con le grandezze idrauliche monitorate nel pendio. Pertanto l'anno idrologico può essere diviso in tre periodi:

- periodo umido: dal 30 novembre al 30 maggio durante il quale le abbondanti precipitazioni provocano un aumento del contenuto d'acqua a cui

corrisponde una diminuzione della suzione, che in tale periodo si mantiene costante intorno al valore medio di 8 kPa;

- periodo secco: in cui le piogge sono quasi del tutto assenti, l'evapotraspirazione provoca un flusso di vapore acqueo in uscita che fa diminuire il contenuto d'acqua e porta la suzione al valore massimo annuale;
- periodo intermedio: durante il quale le piogge diventano preponderanti rispetto all'evapotraspirazione, provocando un aumento del contenuto d'acqua a cui si associa una diminuzione di suzione.

Nel periodo umido il valore della suzione si mantiene costante indipendentemente della pioggia caduta, ciò è giustificato dall'elevato valore di ruscellamento che si verifica nel periodo invernale.

#### **Fase IV: Calcolo dell' infiltrazione nel sottosuolo**

L'infiltrazione nel sottosuolo è stata calcolata come il flusso verticale che abbandona i primi 20 cm della colonna stratigrafica. Il flusso per unità di superficie è stato calcolato mediante l'equazione di Darcy, mediante tale relazione è possibile calcolare la velocità come prodotto tra la permeabilità e la cadente piezometrica.

Nei terreni parzialmente saturi la permeabilità non assume un valore costante ma dipende dal contenuto d'acqua, motivo per il quale si parla di funzione di permeabilità.

La determinazione della funzione di permeabilità dei terreni in sito è stata effettuata a partire dalle misure di contenuto d'acqua registrate in sito. Per effettuare il calcolo è stata fatta l'ipotesi che la variazione totale del contenuto d'acqua dell'intera colonna stratigrafica nel periodo umido è pari al flusso di acqua che scende dai primi 20 cm del sottosuolo, a partire dal piano campagna.

La variazione del contenuto d'acqua è stata calcolata integrando sul valore di ciascuno strato il valore del contenuto d'acqua misurato in sito. A partire dalla relazione di Darcy sono state calcolate le permeabilità come rapporto tra il flusso ed il gradiente di variazione verticale.

Per ogni valore di permeabilità così stimato si è effettuata una regressione lineare usando come parametro di fitting la permeabilità satura. Tramite l'equazione di Mualem Van Genuchten (1980) è stata calcolata la curva di permeabilità relativa al

valore mediano di  $K_{sat}$ , tale relazione lega la permeabilità al valore di contenuto d'acqua registrato in sito.

In **conclusione** con questo elaborato di tesi è stato dimostrato che i valori di suzione e contenuto d'acqua seguono un andamento stagionale in accordo con le serie storiche registrate in precedenza.

I terreni superficiali risentono maggiormente della variabilità delle condizioni meteorologiche a piano campagna e le oscillazioni della suzione minima e massima si smorzano con l'aumentare della profondità.

Nel periodo umido la suzione si mantiene costante intorno al valore di 8 kPa indipendentemente dalla pioggia caduta.

Le permeabilità stimate dalle misure in sito risultano sempre maggiori delle permeabilità stimate in laboratorio tramite prove di essiccamento.