

# UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II



Scuola Politecnica e delle Scienze di Base

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN

INGEGNERIA PER L'AMBIENTE ED IL TERRITORIO

*(Classe delle Lauree Magistrali in Ingegneria per l'Ambiente e Territorio LM-23)*

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE ED AMBIENTALE

SINTESI DELLA TESI DI LAUREA

INNESCO DI COLATE RAPIDE IN TERRENI PIROCLASTICI.  
CARATTERIZZAZIONE IDRICA DEI TERRENI

RELATORE

Ch.mo Prof. Gianfranco Urciuoli

CANDIDATA

Gabriella Comastri

Matr. M67/159

CORRELATORI

Dott. Ing. Raffaele Papa

Dott. Ing. Marianna Pirone

Ing. Anna Mastantuono

ANNO ACCADEMICO 2015/2016

# ABSTRACT

---

Il presente lavoro di tesi “*Innesco di colate rapide in terreni piroclastici. Caratterizzazione idrica dei terreni*” si propone l’obiettivo di descrivere l’attività di sperimentazione, svolta presso il laboratorio del Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile ed Ambientale dell’Università di Napoli Federico II, su provini di terreni piroclastici, in sede, in condizione di parziale saturazione, provenienti dal sito sperimentale del Monte Faito, appartenente al complesso montuoso dei Monti Lattari.

I terreni piroclastici ricoprono la maggior parte dei rilievi rocciosi dell’Appennino campano prossimi ai centri eruttivi dei Campi Flegrei e del Somma - Vesuvio. La loro deposizione nei secoli è, infatti, il risultato di un’intensa attività vulcanica.

La presenza di queste coperture piroclastiche poggianti su un substrato roccioso calcareo o tufaceo, con spessore solitamente variabile, in precarie condizioni di appoggio, pone importanti problemi di instabilità; in particolare, gli strati più superficiali, in condizioni di parziale saturazione (vadose zone), sono quelli che presentano maggiore suscettibilità alle frane meteo-indotte, il cui innesco avviene in concomitanza di piogge di particolare intensità o di eventi meteorici preceduti da prolungati periodi piovosi.

Questo lavoro di tesi si inserisce all’interno di un progetto di ricerca più ampio, condotto dal Dipartimento di Ingegneria Geotecnica dell’Università di Napoli Federico II, che ha come obiettivo la realizzazione di un modello fisico-matematico che permetta di comprendere i meccanismi d’infiltrazione delle acque di ioggia e di individuare, attraverso un’analisi di stabilità, le condizioni che rendono imminente l’innesco di una colata rapida di fango, quindi, la predisposizione del pendio alla rottura.

La necessità di caratterizzare da un punto di vista idraulico e meccanico i terreni delle aree campane sensibili all’innesco di colate rapide, nella fattispecie i terreni del sito del Monte Faito, è fondamentale per poter poi sviluppare un modello che

riproduca il comportamento di un pendio naturale, costituito da terreni parzialmente saturi, in seguito alle variazioni del contenuto d'acqua, cui questi sono naturalmente soggetti per effetto delle diverse condizioni climatiche, quali le precipitazioni, la temperatura dell'aria e l'irraggiamento solare.

Lo studio sperimentale, oggetto di questo lavoro di tesi, è stato svolto sui terreni piroclastici del Monte Faito, prodotti dall'attività vulcanica del Somma - Vesuvio che, durante l'eruzione del 79 d.C., distrusse Ercolano e Pompei ed ebbe un asse di dispersione diretto verso SE ricoprendo di pomici e ceneri i versanti carbonatici della Penisola Sorrentina - Monti Lattari.

Si è scelto di effettuare una sperimentazione su terreni prelevati dal sito del Monte Faito per l'elevato numero di eventi franosi di colata rapida, meccanismo di franosità piuttosto diffuso a scala regionale, cui tale area è stata storicamente interessata. La scelta, inoltre, è stata dettata dalla presenza di diversi fattori geologico - geomorfologici predisponenti l'innescò di tale tipo di frane, quali l'elevata acclività dei versanti, le profonde incisioni e le diffuse coperture di materiale piroclastico, in più la presenza del centro abitato di Castellammare di Stabia a pochi chilometri dall'area di studio, quindi, l'elevata presenza di beni esposti, contribuisce a definire la zona ad alto rischio di frana. I materiali piroclastici costituenti la coltre di copertura del substrato carbonatico del sito sperimentale sono da considerarsi rappresentativi di quelli presenti nel complesso dei Monti Lattari, interessati da tali fenomeni franosi.

#### **FRANE DI COLATA RAPIDA NEI TERRENI PARZIALMENTE SATURI**

Il meccanismo di frana di colata rapida ha un carattere fortemente distruttivo, in cui la massa franata assume caratteristiche simili a un fluido in movimento, dotato di alta viscosità ed elevata energia. Spesso sono interessate anche masse inizialmente di modeste dimensioni che, procedendo verso valle, inglobano e si arricchiscono di nuovo materiale di diversa natura, detritico e vegetale, e di dimensioni molto variabili, con progressivo aumento di volume della massa coinvolta.

Le piogge intense e prolungate, per effetto dell'infiltrazione, finiscono per

imbibire le coltri piroclastiche, provocando un aumento del grado di saturazione del terreno e una conseguente riduzione della suzione e della resistenza a taglio, condizionando la stabilità del pendio e rappresentando uno dei principali fattori d'innescio di frana sui versanti non saturi. Le condizioni di stabilità delle coltri piroclastiche sono, quindi, influenzate dal contenuto d'acqua del terreno e di conseguenza dalla suzione, che variano continuamente con il regime delle piogge. La presenza di suzioni significative, nei terreni parzialmente saturi con modesto grado di saturazione, ha un effetto benefico sulla capacità di resistenza del terreno, fornendo la cosiddetta coesione apparente.

Per i terreni parzialmente saturi si fa riferimento al criterio di Fredlund:

$$\tau_{lim} = c' + (\sigma_n - u_a) \tan \phi' + \chi(u_a - u_w) \tan \phi'_b$$

Secondo la trattazione di Fredlund, che è un'estensione del criterio di resistenza di Mohr-Coulomb, la resistenza dipende da una coesione vera, da una resistenza attritiva (tensione netta moltiplicata per l'angolo di attrito drenato) e poi c'è un ulteriore termine che rappresenta l'influenza della suzione, la quale anch'essa contribuisce a incrementare gli sforzi particella-particella, ma attraverso un angolo di attrito  $\phi'_b$  minore dell'angolo di attrito  $\phi'$ .

In seguito ai sempre più frequenti e catastrofici eventi di frane meteo-indotte a spese delle piroclastiti, è sorta la necessità di comprendere il comportamento idraulico e meccanico del terreno, in risposta a variazioni del contenuto d'acqua. In particolare in tale lavoro si è posta l'attenzione sullo studio del comportamento del terreno da un punto di vista idraulico. A questo scopo la sperimentazione ha riguardato dapprima un'indagine granulometrica che ha permesso di classificare i terreni, le cui dimensioni dei granelli ne influenzano le proprietà idrauliche; si è proceduto, quindi, alla caratterizzazione idraulica di alcuni campioni di terreno indisturbati tramite prove di permeabilità satura, prove di evaporazione e infine prove di essiccamento, che hanno consentito di determinare la permeabilità satura e la curva di ritenzione, legame tra suzione e grado di saturazione che fornisce informazioni sulla capacità di un terreno di trattenere acqua. Al crescere della suzione si assiste a una riduzione del grado di saturazione, con una progressiva perdita di acqua, contenuta nel terreno, che

coinvolge gradualmente pori di dimensioni sempre minori, fin quando, raggiunti alti valori di suzione, solamente i pori più piccoli riescono a trattenere acqua (condizioni residue).

### **ATTIVITÀ SPERIMENTALE**

Nel seguito si fa una breve sintesi della procedura sperimentale eseguita.

- Per l'analisi granulometrica si sono eseguite prove di stacciatura e sedimentazione che hanno portato alla determinazione della curva granulometrica dei campioni di terreno prelevati.
- Per la caratterizzazione idrica del terreno la sperimentazione si è articolata secondo le seguenti fasi:
  - Prove di permeabilità per la determinazione della permeabilità satura, con l'utilizzo di un permeametro a carico costante;
  - Prove di evaporazione, con l'utilizzo del ku-pF Apparatus, fino ad una suzione di 80-90 kPa;
  - Prove di essiccazione in "pressure plate" per determinare il contenuto d'acqua corrispondente ad un valore di suzione di 1000 kPa.

- La prova di permeabilità è stata realizzata con l'utilizzo di un permeametro a carico costante, facendo attraversare ogni singolo provino, inizialmente non saturo, con un flusso d'acqua dal basso verso l'alto, applicando, attraverso un compressore, una differenza di pressione alle due estremità del circuito.

La prova è stata ripetuta per diversi cicli, fino al raggiungimento della completa saturazione del provino.

La misurazione dei volumi di acqua entrante e uscente dal sistema, in corrispondenza di determinati intervalli temporali, ha permesso di ricavare il coefficiente di permeabilità satura identificativo di ciascun provino di terreno analizzato, attraverso la legge di Darcy. La lettura è stata effettuata attraverso delle burette graduate contenenti all'interno due liquidi a differente densità (acqua e kerosene), osservando il movimento del menisco di contatto acqua/kerosene.

- Le prove di evaporazione attraverso l'apparecchiatura Ku-pF Apparatus hanno consentito di registrare l'andamento nel tempo della suzione e del contenuto d'acqua (attraverso misure della variazione di peso dei provini); sono state registrate, per ciascun provino, le misure della suzione attraverso due tensiometri (inseriti all'interno della fustella a differenti altezze) e del peso, effettuate contemporaneamente quando ognuno dei provini veniva posizionato, grazie alla rotazione della macchina, in corrispondenza del piatto di una bilancia elettronica. Raggiunti valori di suzione di 80– 90 kPa, è terminata la fase di evaporazione.

- Attraverso la prova di essiccamento in Piastra di Richards è stato possibile ricavare il contenuto d'acqua residuo corrispondente a un valore di suzione di 1000 kPa.

I provini sistemati all'interno di questa apparecchiatura, consistente in una camera a tenuta ermetica, erano in comunicazione idraulica con il sistema di drenaggio attraverso una piastra porosa, su cui sono stati posizionati. Una volta chiusa ermeticamente la piastra di Richards, attraverso un circuito di aria compressa è stata imposta una pressione dell'aria all'interno della camera di 1000 kPa, corrispondente a un uguale valore di suzione. Per effetto della pressione d'aria imposta, il provino di terreno con il tempo cede acqua e si pone in equilibrio con il valore della suzione applicata, assumendo il valore di contenuto d'acqua corrispondente.

Ogni 24h sono state effettuate misure di peso dei provini fino al raggiungimento della condizione di equilibrio, corrispondente a variazioni di peso trascurabili.

## *Conclusioni*

Per molti anni lo studio del comportamento del terreno è stato limitato al caso dei terreni asciutti o completamente saturi; le nozioni riguardanti i terreni parzialmente saturi sono state raramente oggetto di approfondimento, sebbene costituiscano la principale categoria dei terreni presenti in natura. Solo negli ultimi vent'anni, in seguito ai sempre più frequenti eventi di frane innescate da precipitazioni, è nata la consapevolezza dell'importanza di uno studio e una ricerca sui terreni non saturi. In tal senso, il Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile ed Ambientale dell'Università Federico II di Napoli è da tempo impegnato nello studio e in attività di ricerca su tali terreni.

Attraverso tale tesi si è ulteriormente approfondita la conoscenza del comportamento idraulico dei terreni piroclastici parzialmente saturi. I risultati emersi dalla sperimentazione confermano quanto rilevato da precedenti prove relativamente sia alla granulometria sia alle proprietà fisiche.

Le prove di permeabilità, eseguite sui primi due strati più superficiali, hanno evidenziato valori di permeabilità satura dell'ordine di grandezza di  $10^{-7}$  m/s.

La sperimentazione ha consentito, durante le prove di evaporazione ed essiccamento, di effettuare misure delle coppie di valori suzione/contenuto d'acqua, che rappresentano i punti della curva di ritenzione e ne hanno, pertanto, permesso la determinazione.

I risultati ottenuti della caratterizzazione idraulica insieme alle proprietà meccaniche dei terreni del sito del Monte Faito saranno poi utilizzate per sviluppare un modello fisico-matematico che permetta di prevedere l'evoluzione dei profili di suzione e contenuto d'acqua nel tempo in funzione delle condizioni climatiche e, attraverso un'analisi di stabilità, di individuare le condizioni che rendono imminente l'innescio di una colata rapida di fango, quindi, la predisposizione del pendio alla rottura.