

ABSTRACT

Questo elaborato di tesi “*Indagine sperimentale sull’isteresi idraulica di una piroclastite campana*” si propone l’obiettivo di descrivere l’attività di sperimentazione, svolta presso il laboratorio del D.I.G.A., su provini di terreno piroclastici, in condizione iniziale di parziale saturazione, provenienti dal sito di Monteforte Irpino (AV).

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 tra 1 e 7 m, 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 meteoindotte, il cui innesco avviene in concomitanza di piogge di particolare intensità e durata.

Lo studio sperimentale, oggetto di questo lavoro di tesi, è stato svolto sui terreni piroclastici di Monteforte Irpino, derivanti dall’attività vulcanica del Somma - Vesuvio. La scelta di effettuare una sperimentazione sui terreni prelevati da tale sito è stata dettata dalla presenza, in tale area, di diversi fattori geologico-geomorfologici predisponenti l’innesco di frane da colata rapida, meccanismo di franosità piuttosto diffuso a scala regionale. Inoltre nell’area sono state censite almeno cinque frane recenti, a spese delle piroclastiti che hanno ricoperto tali pendii nel corso di antiche eruzioni vulcaniche, in più sono state riscontrate tracce di frane storiche e diversi paleocumuli di colate antiche, indicazione di un’area particolarmente soggetta a fenomeni franosi. Il meccanismo di frana da colata rapida ha un carattere fortemente distruttivo, in cui la massa franata assume caratteristiche simili a un fluido ad 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, 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, variabili 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.

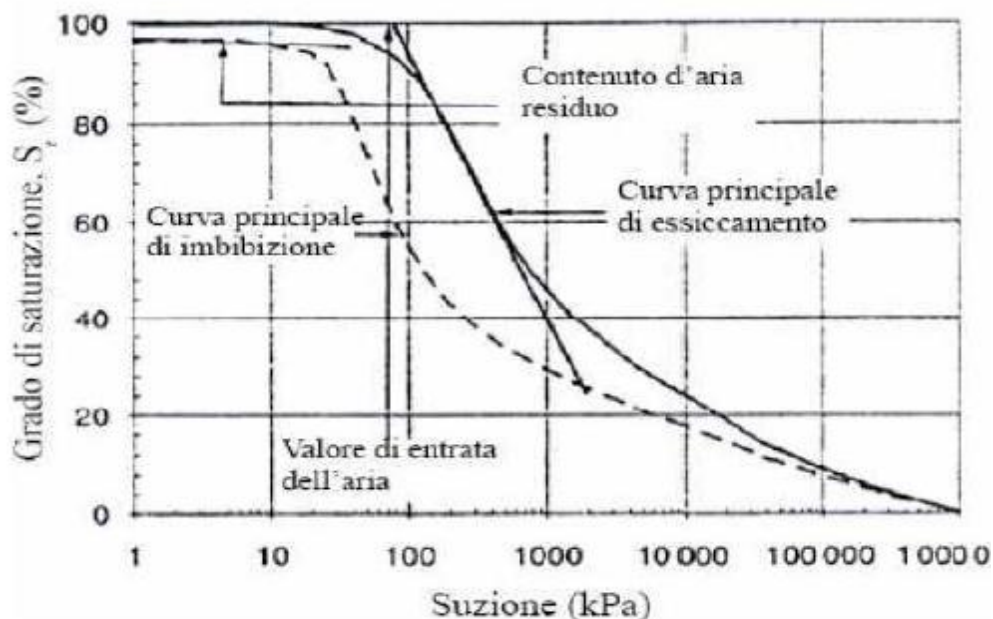
In seguito ai sempre più frequenti e catastrofici eventi di frane meteo-indotte a spese delle piroclastiti, è sorta la necessità di comprendere il comportamento idraulico e meccanico del terreno, in risposta a variazioni del contenuto d'acqua. In particolare in tale lavoro si è posta l'attenzione sullo studio del comportamento del terreno da un punto di vista idraulico. A questo scopo la sperimentazione svolta è consistita nella caratterizzazione idraulica dei campioni in condizioni iniziali di parziale saturazione, tramite prove di permeabilità satura, prove di evaporazione/imbibizione e infine prove di essiccamento, con lo scopo di determinare la curva di ritenzione.

La curva caratteristica o curva di ritenzione idrica esprime la relazione tra suzione e grado di saturazione, rappresentata nel piano (s , S_r); essa fornisce informazioni sulla capacità di un terreno di immagazzinare e, in modo del tutto identico, di trattenere acqua, al variare della suzione. 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).

La curva di ritenzione è determinata attraverso prove sperimentali di essiccamento e imbibizione. Ciascuna delle due prove permette di ottenere curve continue, ma i due rami non coincidono tra loro. Il legame suzione/grado di saturazione, espresso dalla

curva caratteristica, non è quindi univoco, ma dipendente dalla direzione del processo. Questo fenomeno, noto come isteresi idraulica, e l'individuazione del cosiddetto dominio di isteresi, ovvero l'area compresa tra le due curve, hanno costituito l'aspetto centrale dell'indagine sperimentale.

Durante la fase di evaporazione, da una condizione iniziale di completa saturazione ($S_r=1$), si osserva una riduzione del grado di saturazione con la suzione che assume valori crescenti; si ottiene una curva di ritenzione, detta curva principale di essiccamento (main drying), diversa dalla curva che si ricava con il processo inverso d'imbibizione e quindi di riduzione della suzione. Quest'ultima curva, detta curva principale d'imbibizione (main wetting), non termina con la completa saturazione, perché una certa quantità di aria (residual air content) rimane comunque intrappolata nei vuoti del terreno; l'aria occlusa all'interno dei pori durante un processo d'imbibizione, comporta un minor contenuto d'acqua corrispondente ad una assegnata suzione.



Infine, si aggiunge che, se il processo di essiccamento o imbibizione in un terreno comincia da condizioni di saturazione intermedie, la relazione suzione/contenuto d'acqua segue dei percorsi di raccordo tra le due curve principali, descrivendo le cosiddette curve di scansione (scanning curve).

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

Per la determinazione del comportamento idraulico 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 imbibizione, con l'utilizzo del ku-pF Apparatus;
 - Prove di essiccamento 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 del volume di acqua entrante e uscente dal sistema, in corrispondenza di determinati fasi 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 e imbibizione 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), durante cicli successivi di evaporazione/imbibizione; è stato, così, possibile ottenere coppie di

valori contenuto d'acqua/suzione necessarie per la determinazione della curva di ritenzione.

Dopo la prova di permeabilità (permeometro a carico costante), con la quale è stata ottenuta la completa saturazione, i provini di terreno sono stati sottoposti ad una prova successiva di evaporazione attraverso la superficie superiore del provino, incrementata dall'utilizzo di apposite ventoline. Durante la prova sono state registrate, per ciascun provino, le misure della suzione attraverso due tensiometri (inseriti all'interno del provino a differenti altezze) e del peso, effettuate contemporaneamente quando ognuno dei provini a turno 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, i provini sono stati sottoposti alla fase d'imbibizione, sono stati ripetutamente inumiditi con una siringa graduata e poi chiusi superiormente con un coperchio (in modo da impedire l'evaporazione), fino a riportare i provini in condizioni di suzioni nulle o quasi nulle.

- 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 ad un valore equivalente di suzione. Per effetto della pressione d'aria imposta, il provino di terreno con il tempo perde 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 recentemente, 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 Idraulica, Geotecnica ed Ambientale dell'Università degli Studi di Napoli *Federico II* 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.

La sperimentazione ha consentito, durante le prove di evaporazione/imbibizione 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.

Nei vari cicli effettuati, ciascuna delle due fasi (evaporazione e imbibizione) ha consentito di ottenere curve differenti a seconda della direzione del percorso. Il terreno in esame ha mostrato un comportamento isteretico, individuando un dominio di isteresi tendente a ridursi con i cicli successivi.

Mentre i rami relativi alla fase d'imbibizione hanno mostrato un andamento quasi coincidente (la seconda fase di umidificazione ricalca l'andamento della prima umidificazione), il ramo di evaporazione tende con i cicli successivi a spostarsi, determinando il restringimento del dominio di isteresi.

L'ultima coppia relativa al contenuto d'acqua residuo (ricavata con la prova in pressure plate) ha evidenziato un valore del grado di saturazione residuo, dovuto alla presenza di una certa quantità di acqua che rimane ancora nei vuoti dopo la prova di essiccamento, intorno al 20 %, molto simile per tutti i provini esaminati.

Attraverso la sperimentazione è stato possibile tracciare la curva principale di essiccamento (main drying) con la prima fase di evaporazione e le scanning curves appartenenti al dominio di isteresi.

Dall'osservazione delle curve di ritenzione emerge un progressivo accumulo di aria nei vuoti del terreno con i cicli successivi, che modifica la risposta del terreno, riducendone in modo benefico la permeabilità.

I risultati emersi dalla sperimentazione sono in linea con quelli attesi e confermano quanto rilevato da precedenti prove. Tuttavia la caratterizzazione idraulica di laboratorio richiede uno studio più completo attraverso un confronto con prove in sito.