

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II



FACOLTÀ DI INGEGNERIA

CORSO DI LAUREA TRIENNALE IN

INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA IDRAULICA, GEOTECNICA E AMBIENTALE

TESI DI LAUREA:

**INDAGINE SULLE CURVE DI RITENZIONE DI TERRENI PARZIALMENTE  
SATURI DA MISURE IN SITO**

RELATORE

CH.MO PROF. GIANFRANCO URCIUOLI

CANDIDATO

VITTORIO DE IULIO 518/401

ANNO ACCADEMICO 2011/2012

## **INTRODUZIONE**

In Italia il dissesto idrogeologico rappresenta un problema di notevole importanza.

Esso è fortemente condizionato anche dall'azione dell'uomo: la densità della popolazione, l'abbandono dei terreni montani, l'abusivismo edilizio, il continuo disboscamento, l'uso di tecniche agricole poco rispettose dell'ambiente e la mancata manutenzione dei versanti e dei corsi d'acqua hanno sicuramente aggravato il dissesto.

In particolare nella regione Campania sono molto diffuse le colate di fango nei terreni piroclastici in condizioni di parziale saturazione; tali frane sono innescate da eventi di pioggia di particolare intensità capaci di incrementare la suzione ed abbattere la resistenza a taglio dei terreni.

Ai fini di un'adeguata prevenzione e previsione di tali eventi è indispensabile descrivere il comportamento idraulico dei terreni. Le curve di ritenzione, che legano la suzione al contenuto d'acqua nel sottosuolo, sono strumenti grazie ai quali è possibile descrivere le dinamiche idrauliche all'interno di un terreno. La modellazione dei meccanismi di innesco delle colate rapide e quindi la formulazione di soglie previsionali non possono prescindere dallo studio della distribuzione di pressioni neutre nel sottosuolo. Pertanto nel presente elaborato di tesi sarà modellato il comportamento idraulico dei terreni del sito sperimentale allestito nel 2005 a Monteforte Irpino (AV). In particolare sono state interpolate le misure (raccolte in sito in tre anni) di suzione e contenuto d'acqua che nel piano della curva di ritenzione individuano le curve di scanning cioè al fine di ottenere una relazione sperimentale utile all'analisi del regime idrico nel sottosuolo, mediante codici numerici.

## **TERRENI PARZIALMENTE SATURI**

I terreni sono mezzi particellari costituiti da una fase solida costituita dalle particelle minerali, da una fase liquida formata generalmente da acqua, ma talvolta anche da altri liquidi e da una fase gassosa rappresentata da aria e vapor d'acqua ma, talvolta, anche da altri gas.

Le molecole d'acqua possono essere libere di muoversi nei vuoti interparticellari (Bulk Water) oppure essere aderenti alla superficie delle particelle solide di terreno a causa di legami elettrochimici (Meniscus Water).

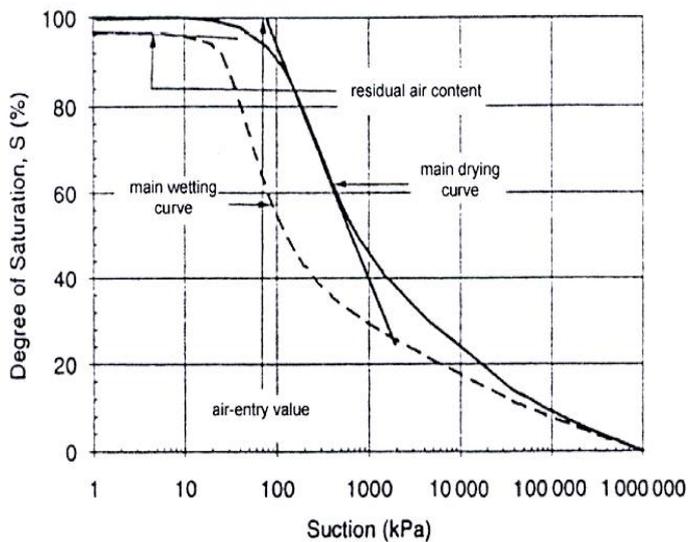
## **SUZIONE**

In un terreno parzialmente saturo, a causa della tensione superficiale, la pressione dell'acqua nei pori ( $u_w$ ) risulta sempre inferiore alla pressione dell'aria nei pori ( $u_a$ ).

La differenza tra la pressione dell'aria, che in condizioni naturali è pari alla pressione atmosferica, e la pressione dell'acqua nei pori è detta suzione di matrice:  $s = (u_a - u_w)$

## CURVA DI RITENZIONE

La curva di ritenzione idrica definisce la relazione fra la suzione di matrice e il contenuto d'acqua volumetrico



Durante un processo di riduzione del contenuto in acqua a partire dalle condizioni saturate, e quindi di aumento della suzione, il terreno segue una curva di ritenzione, detta curva principale di essiccamento (*main drying*), diversa rispetto alla curva di ritenzione che il terreno segue nel processo inverso di aumento del contenuto in acqua, e quindi di riduzione della suzione.

Questa ultima curva, detta curva principale di imbibizione (*main wetting*), non raggiunge la completa saturazione del terreno, perché una certa quantità di aria (*residual air content*) rimane comunque intrappolata nei pori del terreno. Il legame tra saturazione e suzione non è quindi univoco.

Tale comportamento, chiamato isteresi, può essere attribuito alle seguenti cause:

- irregolarità della forma dei pori che produce il cosiddetto effetto a bottiglia d'inchiostro;
- dipendenza del raggio di curvatura del menisco dalla modalità di raggiungimento dell'equilibrio;
- presenza di aria occlusa nei pori che riduce il contenuto d'acqua durante il processo di saturazione;
- fenomeni di ritiro o di rigonfiamento che possono modificare la struttura del terreno.

Le due curve principali delimitano i possibili stati del terreno.

## CAMPO SPERIMENTALE DI MONTEFORTE IRPINO

Il campo sperimentale è ubicato nel comune di Monteforte Irpino (AV), su un versante del Monte Faggeto in destra orografica del Vallone del Conte. Le indagini preliminari hanno permesso di ricostruire la geologia dell'area, mediante la rilevazione di varie colonne stratigrafiche. Viene riportata in seguito la stratigrafia di una verticale della sezione super-strumentata B-B. I terreni più superficiali (1 e 2) hanno caratteristiche granulometriche tra loro molto simili, presentandosi a granulometria leggermente più fina il terreno 2. Lo strato 4 si presenta con una granulometria mediamente più fina dei due precedenti. Gli strati 6 ed 8 sono decisamente più fini degli altri terreni analizzati. Infine i terreni 3, 5 e 7 sono da considerarsi come materiali a "grana grossa".



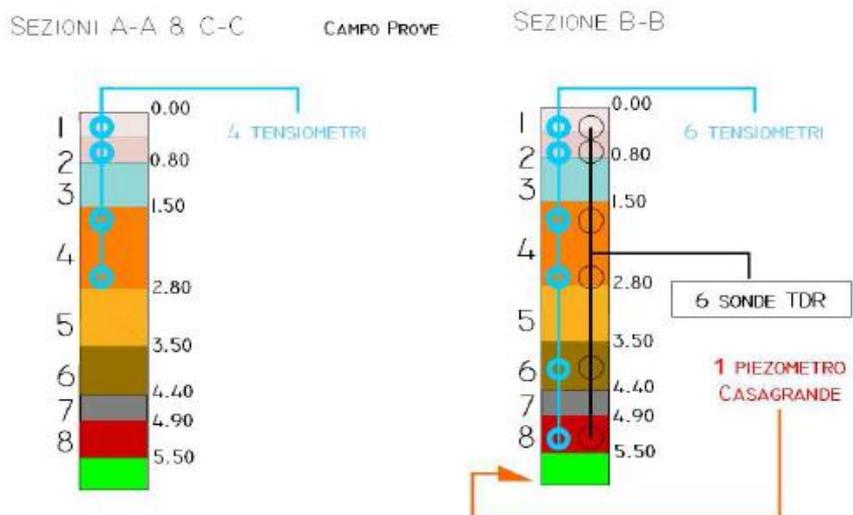
L'area di installazione degli strumenti è stata scelta all'interno del campo sperimentale e suddivisa in una magliatura regolare, nei cui nodi sono stati posti i picchetti di riferimento per l'installazione degli strumenti. Ciascuna maglia è costituita da un quadrato di lato 4 m, per un totale di 14 maglie che ricoprono un'area di circa 230 m<sup>2</sup>. In corrispondenza di ciascuna delle 26 verticali strumentate sono stati installati:

- 2 tensiometri nella porzione superficiale della coltre ad una profondità variabile fra 0.25 m e 0.45 m dal piano campagna;
- 2 tensiometri nella porzione intermedia della coltre, ad una profondità variabile fra 1.30 m e 2.30 m, a seconda della stratigrafia incontrata durante la perforazione.

Infatti il primo tensiometro è stato installato a 10 cm al di sotto del banco di pomici di Avellino, il quale presenta una notevole variabilità nello spessore dello strato; il secondo è stato invece posto a 10 ÷ 20 cm al di sotto dello strumento superiore.

L'allineamento B-B dell'area strumentata, oltre ai tensiometri superficiali ed intermedi, per ciascuna verticale è munito di:

- 2 tensiometri nella coltre piroclastica profonda ad una profondità variabile fra 3.10 m e 3.90 m, posti a 10 ÷ 20 cm di distanza verticale;
- 6 sonde TDR in accoppiamento con i tensiometri, due per ciascuna delle tre porzioni sopra descritte;
- 1 piezometro Casagrande con presa in corrispondenza del contatto tra coltre piroclastica e substrato calcareo.



## MISURE DI SUZIONE E DI CONTENUTO D'ACQUA

La depressione della fase liquida (suzione) è stata misurata con i tensiometri **Jett-fill**, costituiti da una capsula di pietra porosa ed il cui funzionamento si basa sul raggiungimento dell'equilibrio idraulico che si instaura nell'interfaccia terreno-pietra porosa. Per la misura del contenuto d'acqua sono stati invece utilizzate le sonde TDR. Il metodo è in questo caso indiretto, poiché si misura il contenuto d'acqua attraverso la correlazione con un ulteriore parametro: la permittività elettrica del terreno, cioè la capacità di un materiale di polarizzarsi in presenza di un campo elettrico.

## MODELLAZIONE IDRAULICA DEI TERRENI

Le misure di suzione e contenuto d'acqua raccolte sono state elaborate per ogni singolo picchetto, per ciascun terreno, per gli anni 2008, 2009 e 2010.

In ciascun terreno, in corrispondenza di ciascun picchetto e per ogni anno, i dati di contenuto d'acqua volumetrico e suzione sembrano essere interpolati da una funzione lineare nel piano semilogaritmico con gradi di correlazione superiori a 0.90:

$$\theta = \alpha_1 * \ln(s) + c_1$$

Tuttavia in corrispondenza di qualche picchetto, specialmente nel terreno 2, è sembrata più efficace un'interpolazione con una funzione bilineare nel piano semi-logaritmico, quanto meno per massimizzare il grado di correlazione del tratto di funzione interpolante i punti con suzione maggiore di 5 kPa. Quindi laddove sono stati registrati suzioni più basse di 5-6kPa si individua una seconda relazione lineare nel piano semilogaritmico dotata di una pendenza minore:

$$\theta = \alpha_1 * \ln(s) + c_1 \quad \text{per } s > s^*$$

$$\theta = \alpha_2 * \ln(s) + c_2 \quad \text{per } s < s^*$$

in cui  $s^*$  è intorno ai 5-6kPa.

Stabilita la migliore funzione che interpola i valori di suzione e contenuto d'acqua per ogni anno per ogni picchetto, si è confrontata la stessa con le curve di ritenzione di essiccamento, ottenute in laboratorio, e si è calcolato il valore di  $\alpha_{1\text{medio}}$ ,  $\alpha_{2\text{medio}}$ ,  $c_{1\text{medio}}$ ,  $c_{2\text{medio}}$  e  $s^*_{\text{medio}}$  ottenendo un'unica bilineare che rappresenta ciascun terreno. Dalla tabella riassuntiva si nota che per ogni terreno i valori di  $\alpha_1$  medio e  $\alpha_2$  medio sono simili tra loro, tranne il terreno 2, dove si nota un forte dislivello tra i due valori. I valori di  $s^*$  oscillano tra i 5 e 7 KPa

	$\alpha 1$ medio	$\alpha 2$ medio	$s^*$ medio
SOIL 1	-0,0599	-0,04107	5,79
SOIL 2	-0,061	-0,028	5
SOIL 4 SUP	-0,058	-0,049	6,3
SOIL 4 INF	-0,067	-0,052	4,7
SOIL 6	-0,056	-0,039	7,5
SOIL 8	-0,0174	-0,013	6

*Tabella riassuntiva*

È stata effettuata un'ultima elaborazione riguardante ogni terreno, prendendo in considerazione sempre il singolo picchetto ma, questa volta, analizzando i dati del 2008, 2009 e 2010 tutti insieme. I gradi di correlazione sono risultati elevati anche in questo tipo di elaborazione ad eccezione del terreno 2. Successivamente è stata effettuata la media di ogni picchetto ed è stata confrontata sia con la curva di ritenzione di laboratorio sia con la media ottenuta grazie all'elaborazione precedente. Questa ultima elaborazione conferma ciò che si è potuto dedurre con il tipo di analisi precedente, in quanto nella tabella

riassuntiva dei parametri dei valori medi è possibile notare una grande differenza tra le due pendenze solo nel terreno 2. Per codesto terreno è più corretto utilizzare una rappresentazione bilineare, mentre negli altri terreni è possibile utilizzare un'unica equazione.

## CONCLUSIONI

Il lavoro di ricerca e di monitoraggio, svolto sul campo sperimentale di Monteforte Irpino (AV), si è rivelato fondamentale per la conoscenza delle condizioni idrauliche che si instaurano nel versante. In particolare in tale elaborato di laurea si è dato un contributo alla modellazione del comportamento idraulico di ogni strato del sito individuando le curve di scansioni intermedie, nel piano della curva di ritenzione. A tal fine i dati sperimentali sono stati interpolati con funzioni logaritmiche caratterizzate da gradi di correlazioni superiori 0.90.

Per quanto concerne i terreni 1, 4, 6, 8 è possibile rappresentare il legame tra suzione e contenuto d'acqua con una funzione lineare nel piano semilogaritmico:

$$\Theta = \ln(s) * (-0.059) + 0.4511 \quad \text{terreno 1}$$

$$\Theta = \ln(s) * (-0.058) + 0.5659 \quad \text{terreno 4 superiore}$$

$$\Theta = \ln(s) * (-0.067) + 0.598 \quad \text{terreno 4 inferiore}$$

$$\Theta = \ln(s) * (-0.056) + 0.66 \quad \text{terreno 6}$$

$$\Theta = \ln(s) * (-0.0174) + 0.3237 \quad \text{terreno 8}$$

Nel terreno 2, invece, a differenza degli altri, il legame tra suzione e contenuto d'acqua è rappresentabile da due funzioni lineari nel piano semilogaritmico:

$$\Theta = \ln(s) * (-0.028) + 0.4516 \text{ (periodo umido) per } s > 5 \text{ kPa}$$

$$\Theta = \ln(s) * (-0.061) + 0.5040 \text{ (periodo secco)}$$

Le funzioni individuate consentono di utilizzare modelli completi di versante per la previsione del regime idrico nel sottosuolo e dell'innescò di colate rapide, quanto meno nell'intervallo dei valori di suzione misurati in sito. Per suzioni inferiori ai 3 kPa il legame tra suzione e contenuto d'acqua può essere soltanto estrapolato.