

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II



FACOLTA' DI INGEGNERIA

CORSO DI LAUREA TRIENNALE
IN INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA IDRAULICA,
GEOTECNICA E AMBIENTALE

ABSTRACT

ANALISI DELLA CONDIZIONE AL CONTORNO IN PROBLEMI DI
FLUSSO NEL SOTTOSUOLO

RELATORE

Ch. mo Prof. Ing. Gianfranco Urciuoli

CORRELATORE

Dott. Ing. Marianna Pirone

CANDIDATO

Manuela De Falco

matr. 747/74

ANNO ACCADEMICO 2009/2010

I massicci calcarei diffusi nella Regione Campania sono in larga parte ricoperti da terreni piroclastici prodotti da eruzioni vulcaniche avvenute in diverse fasi. Tali terreni sono spesso in condizione di parziale saturazione ed il loro comportamento idraulico e meccanico è fortemente influenzato dalle condizioni climatiche. I versanti di terreni piroclastici sono talvolta interessati da colate di fango, fenomeni repentini che iniziano con il distacco degli strati più superficiali della coltre. Fra i fattori che innescano tali frane vi sono principalmente le piogge di particolare intensità e durata, che, modificando la distribuzione di suzione e di contenuto d'acqua nel terreno, ne riducono la resistenza a taglio. Pertanto la conoscenza della distribuzione della pressione neutra e del contenuto d'acqua nel sottosuolo permette di individuare il periodo più critico per la stabilità dei versanti.

A tal proposito è stato allestito dal 2005 un campo sperimentale nel territorio comunale di Monteforte Irpino (AV). In sito sono misurati i valori di suzione e contenuto d'acqua mediante rispettivamente tensiometri e sonde TDR installate a diverse profondità; inoltre, mediante una stazione meteo, sono registrate le variabili climatiche: intensità di pioggia, temperatura dell'aria, umidità dell'aria, radiazione netta, velocità e direzione del vento. Il progetto di ricerca connesso al campo prove, nato per la comprensione dei meccanismi di innesco delle colate di fango, si articola in tre fasi:

- 1) caratterizzazione meccanica e idraulica dei terreni del sito mediante prove di laboratorio su campioni indisturbati (Papa, 2007);
- 2) monitoraggio in sito delle grandezze che influenzano i meccanismi di innesco di colate di fango in pendii di terreni piroclastici: variabili climatiche, suzione e contenuto d'acqua nel sottosuolo (Pirone et al., 2009; Papa et al., 2009);
- 3) modellazione del pendio monitorato a scopo previsionale mediante analisi numeriche: (i) validazione del modello adottato nelle analisi e (ii) successiva applicazione di pluviogrammi che conducono il pendio al collasso per studiarne il comportamento in condizioni critiche (Pirone, 2009).

Il seguente lavoro di tesi ha riguardato il terzo metodo di analisi fra quelli citati. Il punto di partenza del lavoro è stato una precedente tesi di laurea dal titolo “Modellazione della circolazione idrica in un pendio di piroclastiti parzialmente saturo” (Teotino C., 2010). In quest'ultima è stata analizzata la distribuzione di pressioni neutre e di contenuto d'acqua in un dominio che riproduce una sezione stratigrafica longitudinale del campo prove soggetto alle precipitazioni meteoriche registrate in sito in un anno solare. Il codice di calcolo utilizzato è stato Vadose/W Ldt, software

capace di risolvere, mediante il metodo agli elementi finiti, il sistema di due equazioni differenziali a derivate parziali: il bilancio d'acqua e il bilancio di energia nel sottosuolo. La caratterizzazione idraulica dei terreni era già disponibile sia grazie alle numerose prove di laboratorio condotte su campioni indisturbati prelevati in sito, sia grazie alle misure eseguite nel sottosuolo. Le suzioni e i contenuti d'acqua calcolati nel dominio di analisi risultarono in accordo con le misure in sito, validando così la caratterizzazione idraulica utilizzata. Tuttavia la modellazione svolta nella tesi di C. Teotino ha evidenziato il problema di individuare quale sia la giusta condizione da assegnare al bordo inferiore del dominio, al fine di ottenere valori di suzione e contenuto d'acqua calcolati nel terreno 8 (quello a contatto con i calcari del substrato) confrontabili con quelli misurati in sito. È stato riscontrato, infatti, che né la condizione di flusso nullo, né quella di suzione nulla, né quella di gradiente unitario sul fondo, al contatto con il calcare, erano condizioni in grado di giustificare i valori di suzione registrati in sito nel terreno 8. Pertanto in quel lavoro è stata condotta una sorta di back-analysis, andando alla ricerca di quei valori di suzione da imporre al fondo del dominio, tali da generare dei valori di suzione nel terreno 8 confrontabili con le misure.

Alla luce delle difficoltà esistenti per la modellazione del bordo inferiore, nel presente lavoro di tesi è stato analizzato il ruolo svolto da un ulteriore strato, inserito tra il terreno 8 (fondo della coltre) ed il calcare sottostante, indicato come *strato 9*. Questo è stato modellato come uno strato composto da calcare integro e fratture riempite di materiale appartenente al fondo della coltre, in modo da simulare una condizione quanto più simile a quella reale (fig.1).

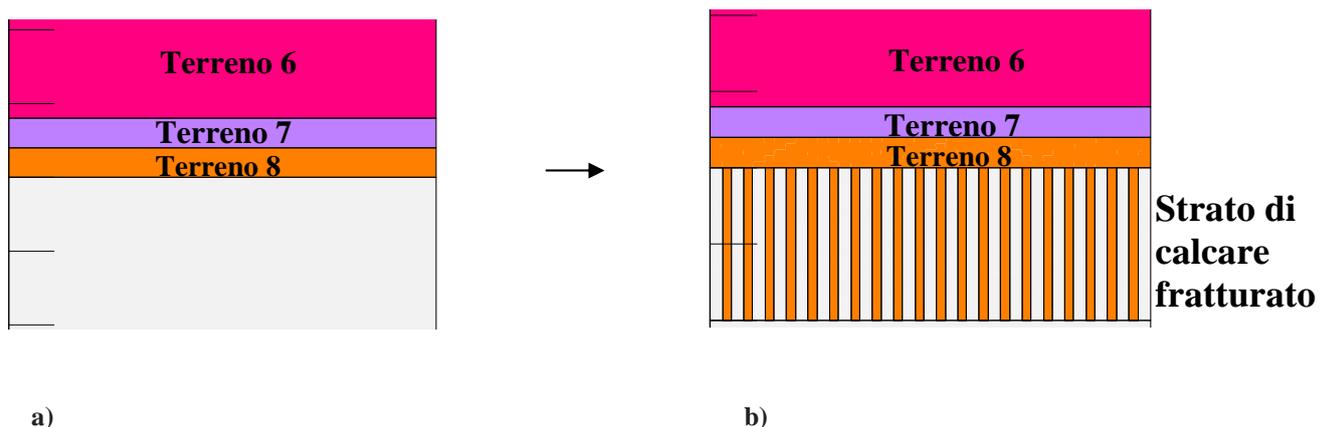


Fig.1. Modellazione del bordo inferiore: a) assenza delle fratture; b) sistema di fratture

Dunque è stato analizzato e modellato il regime di pressioni neutre in tre verticali di misura del campo: al fondo di ciascuna verticale è stato inserito lo strato 9, applicando sul bordo superiore dei domini le piogge registrate in sito dal 1° gennaio 2009 al 30 aprile 2009. In questi quattro mesi è stato possibile supporre, senza incorrere in un errore grossolano, che il flusso idrico sia

prevalentemente verticale, e che quindi il modello di calcolo unidimensionale adottato sia adeguato. Si è indagato su lunghezza, numero ed inclinazione delle fratture capaci di riprodurre nel terreno 8 suzioni confrontabili con quelle misurate in sito. Tuttavia si è giunti alla conclusione che la geometria delle fratture gioca un ruolo del tutto marginale nella modellazione del bordo inferiore, dal momento che non influenza in alcun modo la distribuzione delle suzioni calcolate nel terreno 8.

Si è ottenuto, invece, che la caratterizzazione idraulica del terreno presente nelle fratture, in particolare la *permeabilità satura*, è il parametro più influente sulle suzioni calcolate nel terreno 8. Infatti il terreno nelle fratture potrebbe non mantenere gli assetti ed il grado di compattazione tipici del terreno 8 in sede, ma verosimilmente potrebbero formarsi dei vuoti con assenza di materiale, che offrono poca resistenza al moto dell'acqua creando zone di elevata permeabilità. Pertanto si è adottata per le fratture una permeabilità satura più grande di quella relativa al terreno 8. Caratterizzando il riempimento con una permeabilità satura 5.5 volte più grande di quella del terreno presente al fondo della coltre, sono state calcolate suzioni nel terreno 8 confrontabili con quelle misurate in sito (fig. 2).

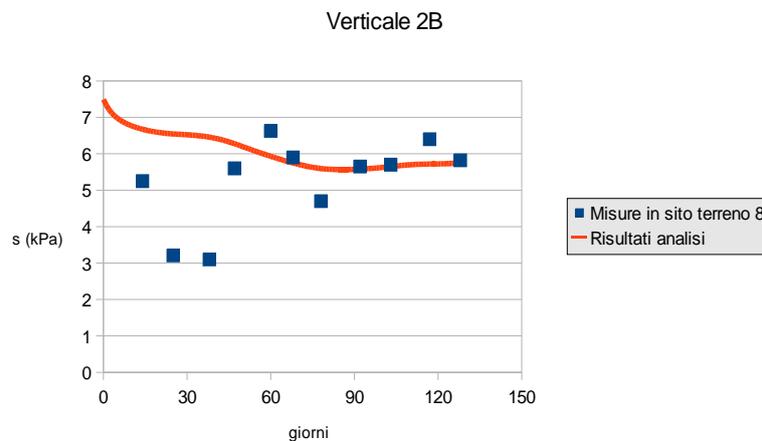


Fig.2: Suzioni misurate e calcolate nel terreno 8

Individuate la configurazione e la caratterizzazione idraulica ottimali del sistema di fratture, queste sono state poi sostituite da uno strato omogeneo di permeabilità e lunghezza equivalente.

Lo strato 9, modellato mediante strati di fratture e di calcare intatto disposti in parallelo, è stato sostituito da uno strato omogeneo dotato di una permeabilità satura equivalente.

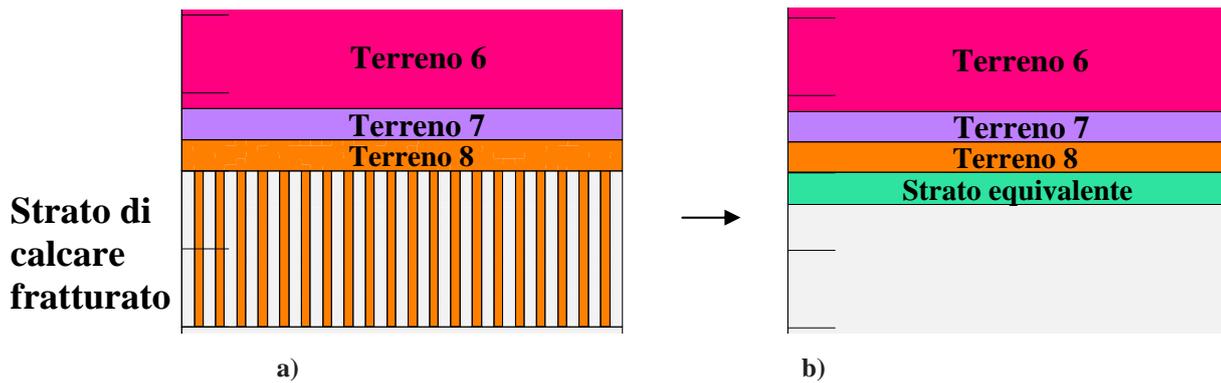


Fig.3: Modellazione del bordo inferiore: a) sistema di fratture; b) strato omogeneo equivalente

Si è verificato, in primo luogo, che lo strato omogeneo consente di calcolare gli stessi valori di suzione nel terreno 8 ottenuti in presenza del sistema di fratture e quindi di ottenere, anche attraverso questa via, valori confrontabili con le misure in sito. E' stato inoltre riscontrato che anche la lunghezza dello strato omogeneo equivalente, L , risulta essere un parametro influente sulle suzioni calcolate nello strato 8 (fig. 4).

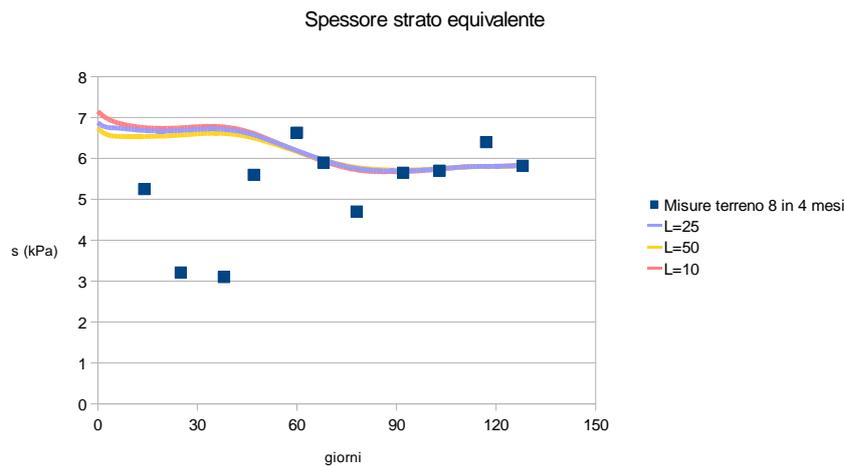


Fig.2: Suzioni misurate e calcolate nel terreno 8 mediante l'inserimento al fondo di uno strato omogeneo equivalente.

In definitiva il ruolo determinante è svolto dal valore di permeabilità saturo associato allo strato equivalente. La funzione svolta dall'aggiunta dello strato 9 nella modellazione è di *amplificare* i valori dei gradienti calcolati nel terreno 8 rispetto a quelli che si calcolerebbero in sua assenza a parità di condizione assegnata al bordo inferiore del dominio (gradiente unitario).