

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI NAPOLI  
"FEDERICO II"



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

(Classe delle Lauree Magistrali in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio, Classe LM-35)

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E AMBIENTALE

TESI DI LAUREA

***MONITORAGGIO DI GRANDEZZE IDRAULICHE IN UN  
PENDIO DI TERRENI PARZIALMENTE SATURI***

**RELATORE**

Prof. Ing. Gianfranco URCIUOLI

**CORRELATORE**

Dott. Ing. Raffaele PAPA

**CANDIDATO**

Attilio CAMMINO

matr. M67/037

Anno Accademico 2011-2012

## RELAZIONE SINTETICA

Il presente lavoro di tesi è inserito nell'ambito di una attività di ricerca attualmente in corso presso il Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale dell'Università degli studi di Napoli "Federico II". La ricerca è finalizzata all'individuazione ed alla comprensione delle condizioni di innesco dei fenomeni franosi in terreni piroclastici parzialmente saturi. Pertanto la realizzazione di un campo sperimentale presso Monteforte Irpino (AV) ha permesso lo studio dei meccanismi che sottendono all'innesco di tali frane, attraverso il monitoraggio delle pressioni interstiziali e del contenuto d'acqua nella coltre piroclastica al variare delle condizioni climatiche.

Le caratteristiche stratigrafiche e geomorfologiche del campo-prove, sono rappresentative di un pendio suscettibile di fenomeni di colata rapida. Il sito è stato scelto per la presenza di una successione di terreni piroclastici poggiante su una base calcarea, tipica dei vicini versanti di Pizzo D'Alvano. Va precisato che i materiali costituenti la coltre piroclastica sono in genere parzialmente saturi ed il loro comportamento meccanico risente di tale condizione; in particolare numerosi studiosi ritengono che i fenomeni di instabilità (Evangelista, 1991; Pellegrino, 1991) siano in molti casi conseguenza delle variazioni del grado di saturazione prodotte dalla infiltrazione delle acque meteoriche. Pertanto una procedura efficace per la mitigazione del rischio connesso con i fenomeni franosi in questione, consiste nel monitorare le piogge, il contenuto d'acqua e la suzione nei terreni costituenti il pendio, allo scopo di determinare delle soglie pluviometriche variabili nel corso dell'anno, non solo in base alle stagioni e alle piogge cumulate, ma anche funzioni del contenuto d'acqua e della pressione interstiziale.

Il mio lavoro di ricerca e di monitoraggio in sito, svolto in dodici mesi dall'ottobre 2011 all'ottobre 2012, ha confermato i risultati riscontrati negli ultimi anni, per quanto concerne la conoscenza delle condizioni di esercizio di un pendio e per l'interpretazione delle cause predisponenti e scatenanti l'instabilità.

Lo studio statistico delle misure acquisite ha permesso di esaminare il comportamento dei singoli strumenti rispetto al valore medio, allo scopo di valutarne l'affidabilità nel tempo e di determinare eventuali disomogeneità nello spazio.

La maggiore sensibilità dei terreni superficiali alle condizioni climatiche si evince soprattutto nel periodo estivo ed autunnale, in cui si denota una accentuata variabilità delle misure di suzione, mentre nel periodo invernale si riscontra una maggiore omogeneità delle

stesse. La variabilità delle misure risulta aumentare nella coltre intermedia, dove le suzioni misurate in corrispondenza delle ultime verticali strumentate (6A, 6C e 7A) si discostano dalla media giornaliera nella stagione autunnale, per poi uniformarsi nel successivo inverno. Tale comportamento può essere spiegato dall'esistenza di un fronte di evaporazione laterale a valle del campo sperimentale, generato dal taglio del pendio in corrispondenza del passaggio del sentiero. In questa zona la coltre intermedia si trova quindi anch'essa esposta all'irraggiamento solare, così come accade per i terreni superficiali. Le suzioni registrate in corrispondenza delle verticali suddette manifestano il contributo positivo dei flussi evaporativi. A questi vanno aggiunti i picchetti 1A, 2A e 2B che danno misure che si discostano fortemente con la media. I motivi possono essere ricondotti sia all'usura naturale degli strumenti sia a cause esterne come i disturbi o i danneggiamenti dovuti alle attività della fauna presente in sito (roditori, cinghiali).

Per quanto concerne le misure di contenuto d'acqua lungo la sezione B-B', si nota come nel terreno1, i valori di contenuto d'acqua nel tempo seguono un andamento simile per tutti gli strumenti tranne che nel picchetto 6B dove invece si riscontrano i maggiori problemi. Nel terreno2 abbiamo poche misure perché le sonde sono danneggiate o ossidate e solo in un picchetto (7B) abbiamo una continuità delle stesse in tutto l'anno idrologico. Nella coltre intermedia e profonda abbiamo invece una buona continuità di dati che seguono il trend degli ultimi anni e quindi possono essere considerati attendibili. Anche qui si segnalano delle sonde non funzionanti ed altre che registrano dati distanti dalla media, che sono stati esclusi dalle analisi successive.

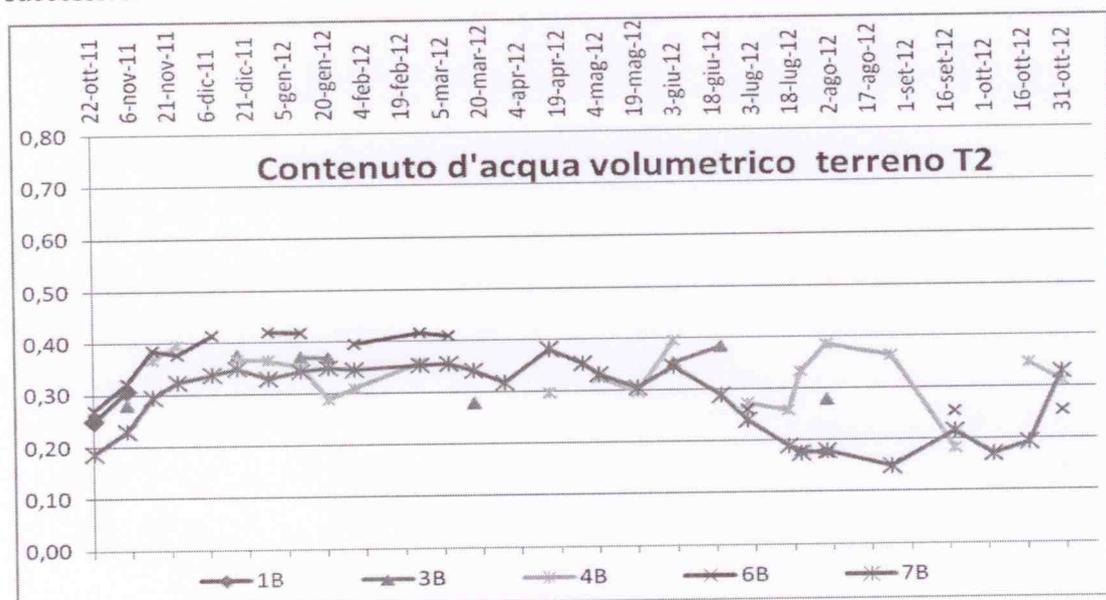


Figura 1: Serie temporale di contenuto d'acqua per i singoli strumenti nel terreno 2

Osservando lo scarto del singolo strumento dal valore medio (distorsione) si hanno conferme e maggiori informazioni riguardo ai picchetti dove riscontriamo misure non in linea con l'andamento stagionale, come nel caso del picchetto 6B del terreno 1 dove si nota chiaramente una maggiore variabilità della misura, o allo stesso modo del 4B nel terreno 2, o del 1B nel terreno 4 inferiore.

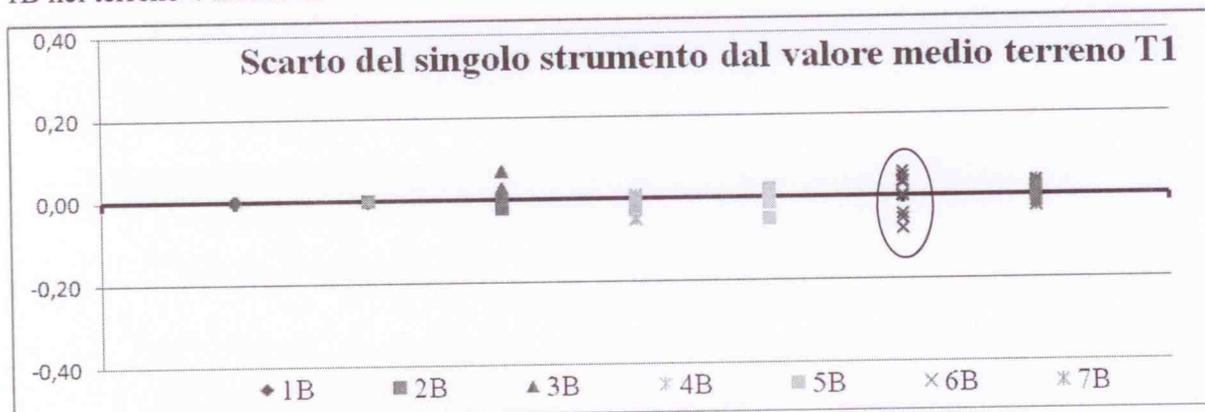


Figura 2: Scarto del singolo strumento dal valore medio nel terreno T1

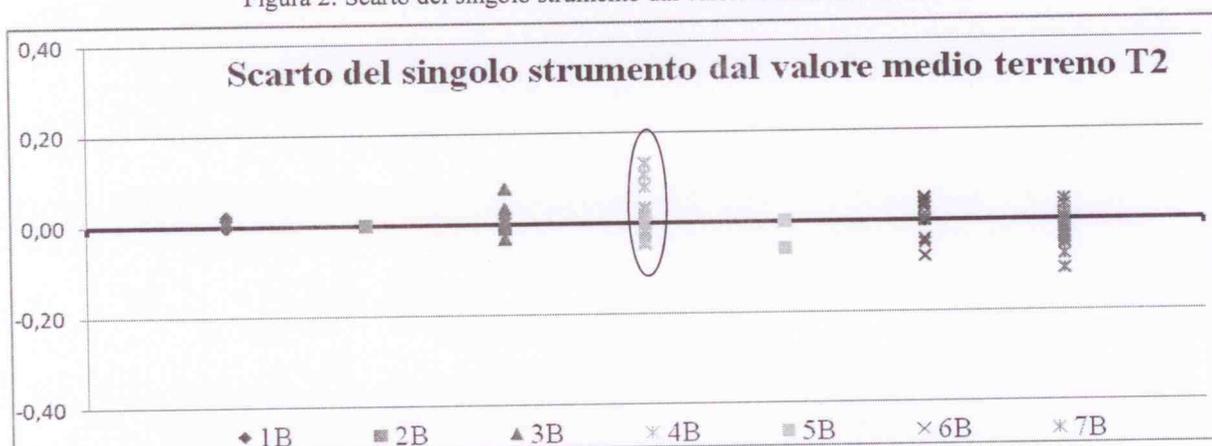


Figura 3: Scarto del singolo strumento dal valore medio nel terreno T2

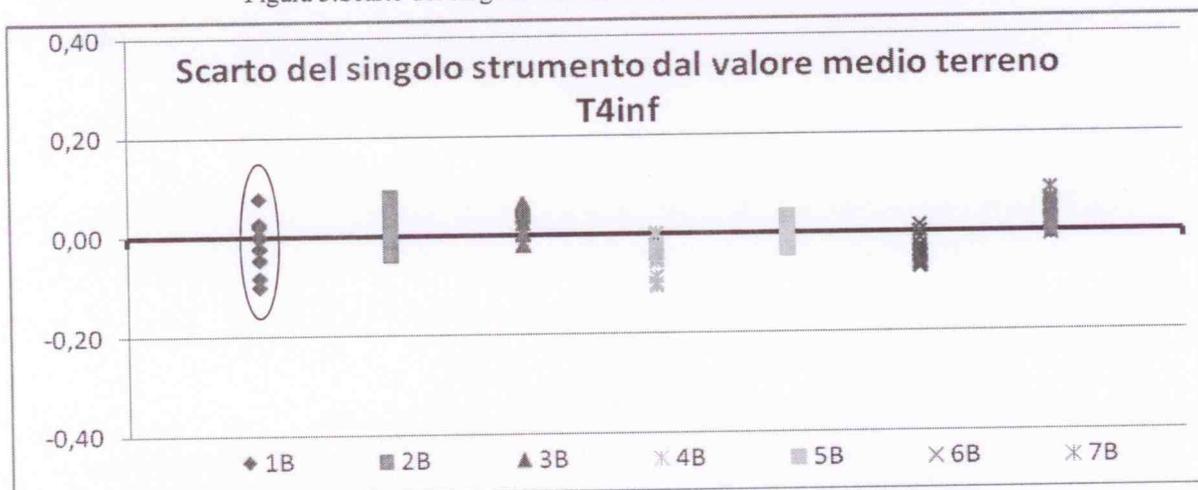


Figura 4: Scarto del singolo strumento dal valore medio nel terreno T4inf

Lo scarto relativo rispetto alla media, invece, conferma la minore variabilità delle misure di contenuto d'acqua, (a confronto con quelle di suzione), in quanto esso non supera quasi mai il 50%. Il risultato ci viene confermato anche dallo scarto quadratico medio che ha piccole variazioni percentuali (sempre rispetto alla media).

Lo studio delle serie temporali di suzione e di contenuto d'acqua, attraverso le misure raccolte in sito mediante i tensiometri e le sonde T.D.R., hanno evidenziato come la risposta idraulica del sottosuolo dipenda soprattutto dalla distanza del punto esaminato dal piano campagna. L'andamento alla scala annuale è ciclico in tutti i terreni, ma l'ampiezza delle oscillazioni decresce con la profondità ed è sfasata. Si nota chiaramente che nei terreni superficiali, un singolo evento piovoso può bastare per far conseguire una forte variazione delle suzioni, mentre nello strato intermedio e in quello inferiore si riscontra una variazione ritardata e meno marcata. Nonostante ciò, tutte le misure di suzione seguono il medesimo andamento, finché non si raggiunge nella stagione estiva il limite superiore di misura (circa 70 kPa). Ancora, nella coltre intermedia e in quella inferiore, si osserva un chiaro ritardo anche nel raggiungimento della massima suzione che si registra verso ottobre-novembre mentre nei terreni superficiali verso luglio-agosto. Tutto questo denota come gli strati intermedi del terreno tendano a rispondere essenzialmente ai fattori climatici stagionali, cioè a condizioni al contorno mediate sulla durata della stagione.

Nel corso dell'analisi dei dati acquisiti, si è condotto uno studio stagionale per comprendere meglio le variazioni delle grandezze monitorate. Utilizzando le profondità medie alle quali sono stati inseriti gli strumenti nel terreno, sono stati ricavati i profili di suzione e contenuto d'acqua.

Nel periodo autunnale (settembre-dicembre) si evince che nella coltre superficiale la suzione tende a diminuire bruscamente in quanto risente delle prime piogge. Si nota una cuspidine intorno alla profondità di 1.50 m, dovuta alla sensibilità dei terreni superficiali rispetto ai flussi evaporativi presenti ed alla presenza della vegetazione in sito che pure riveste un ruolo importante. Scendendo in profondità si denota una variazione meno marcata, (in controtendenza con i terreni superficiali), e la suzione tende ancora ad aumentare leggermente fino poi a diminuire in inverno inoltrato. I profili di suzione nel periodo invernale (gennaio-aprile,) sono caratterizzati dall'abbattimento dei valori di suzione.

Mentre nei terreni superficiali questo abbassamento risulta evidentemente più repentino, per la più veloce risposta di tali terreni ai fenomeni di pioggia, per la coltre media e ancor più per quella profonda, l'andamento è più graduale. In ogni caso verso la fine della stagione invernale si registrano per tutti i terreni valori al di sotto dei 10 kPa.

Per quanto riguarda le misure di contenuto d'acqua, vediamo che esse variano seguendo profili più omogenei tra loro ma sempre in accordo con le misure di suzione.

Come ultima elaborazione sono state valutate le variazioni dei volumi d'acqua nella coltre superficiale (terreni 1 e 2), a partire dai valori di contenuto d'acqua volumetrico disponibile per ogni picchetto ed utilizzando gli spessori medi di entrambi i terreni. Le piogge misurate in sito e l'evapotraspirazione di riferimento (ETP), stimata con la formula di Penman-Monteith a partire dai dati meteorologici in sito, sono state confrontate con le variazioni di volume d'acqua su un anno e per stagioni.

Il risultato ottenuto è che nel periodo autunnale (ottobre - dicembre) le piogge cumulate sono ben superiori alla portata di evapotraspirazione che lascia il terreno, e si ha un immagazzinamento dell'acqua nella coltre; nel periodo umido (gennaio - aprile), le piogge cumulate restano sempre di maggiore entità, e siccome si è riscontrato che le variazioni di volume d'acqua nella coltre rimangono pressoché costanti, si può affermare che gran parte dell'acqua cumulata si trasferisca nei terreni più profondi. Infine nel periodo secco (maggio - agosto) le piogge cumulate restano costanti e sono di gran lunga inferiori alla portata di evapotraspirazione, che cresce sempre più velocemente. Ciò comporta un flusso uscente d'acqua sottoforma di vapore acqueo dalla coltre superficiale, che si svuota come ci viene confermato anche dalle variazioni di volume d'acqua nei due terreni superficiali investigati.

Infine, l'insieme dei risultati ottenuti nel lavoro di tesi consente di affermare che l'andamento stagionale del regime delle suzioni e del contenuto d'acqua nel sottosuolo sia una componente determinante per la comprensione dell'innescò delle frane di colata rapida, al punto da poter essere considerato il fattore predisponente. Il singolo evento meteorico può invece essere ritenuto un fattore scatenante, ovvero che il verificarsi di esso in presenza di condizioni iniziali sfavorevoli, porterebbe all'innescò della frana.