

**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II**



**SCUOLA POLITECNICA E DELLE SCIENZE DI BASE**

**DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE ED AMBIENTALE**

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

**SINTESI DELL'ELABORATO DI TESI:**

**INDAGINE SPERIMENTALE SUL COLLASSO STRUTTURALE  
DI PIROCLASTITI NON SATURE**

**RELATORE**  
CH. MO PROF. ING.  
GIANFRANCO URCIUOLI

**CANDIDATA**  
GAIA RODRIQUEZ  
MATRICOLA M67/184

**CORRELATORI**  
DOTT. ING. ALESSIO FERRARI  
DOTT. ING. RAFFAELE PAPA

**ANNO ACCADEMICO 2014/2015**

## INTRODUZIONE

Le coltri piroclastiche sono il prodotto di fenomeni eruttivi dovuti ad un'intensa attività vulcanica. Possono presentare una struttura metastabile ed essere in condizioni di parziale saturazione. In questo caso ricoprono un ruolo fondamentale i menischi che si formano al contatto interparticellare, causando un aumento dello sforzo al contatto tra i grani.

I depositi di materiale piroclastico, proprio perché in condizioni di parziale saturazione, possono esibire un'elevata resistenza e sostenere tensioni di confinamento elevate con configurazioni di alta porosità, grazie alla presenza dei menischi. In presenza di fenomeni di infiltrazione di acqua piovana, potrebbe verificarsi la condizione per cui il grado di saturazione aumenta, con la conseguente scomparsa dei menischi. Per tale motivo il terreno non è più in grado di sostenere lo stato tensionale a cui era soggetto, senza un significativo cambiamento dell'assetto particellare. Si verifica cioè il fenomeno del *collasso strutturale*, ovvero una compressione volumetrica irreversibile e repentina dovuta ad una diminuzione di suzione a tensione media netta costante.

D'altro canto, proprio perché possono presentare buone caratteristiche meccaniche *in situ*, in Regioni dove i terreni piroclastici sono ampiamente diffusi, essi sono usati come terreni compattati nella costruzione di rilevati. Le caratteristiche di tali terreni dipendono da diversi fattori tra cui la configurazione particellare e il metodo di compattazione a cui sono soggetti.

Recenti indagini sperimentali hanno evidenziato un comportamento geotecnico del terreno compattato diverso rispetto a quello del terreno naturale. Infatti è stato dimostrato mediante prove di compressibilità edometrica su provini di piroclastiti non sature, compattate e naturali, che, se portati a saturazione sotto lo stesso carico agente, i provini compattati esibiscono collasso strutturale, il che non avviene durante le prove su provini di terreno indisturbato, (Papa, 2007, Crisci, 2015). Ciò è probabilmente dovuto al processo di compattazione, attraverso cui i legami preesistenti e le proprietà idrauliche del terreno possono essere modificati irreversibilmente, per cui in laboratorio non si riescono a riprodurre le stesse condizioni di quelle del terreno *in situ*.

L'obiettivo della presente indagine sperimentale è di analizzare il comportamento idraulico, la microstruttura e le caratteristiche di compressibilità di un terreno vulcanico compattato, e di confrontare i risultati qui ottenuti con dati esistenti sullo stesso terreno naturale, al fine di individuare, eventualmente, qual è la causa del diverso comportamento geotecnico del terreno compattato rispetto al terreno naturale. Inoltre si vuole individuare una relazione tra la porosità del terreno e l'entità del cedimento indotto dalla saturazione dello stesso, verificando anche per quale valore di porosità il terreno non esibisce una significativa variazione di volume.

## INDAGINE SPERIMENTALE E RISULTATI

L'indagine sperimentale è stata svolta nel "Laboratorio di Meccanica dei Terreni" della Scuola Politecnica Federale di Losanna (EPFL) e nel "Laboratorio di Geotecnica" del Dipartimento di Ingegneria Civile Edile e Ambientale (DICEA).

Il terreno investigato è una cenere vulcanica vesuviana con intrusioni di pomici prelevata ad una profondità compresa tra 1.20m e 2.80m dal sito di Monteforte Irpino (AV): essa presenta la tipica configurazione di un terreno metastabile ad elevata porosità ( $n=72\%$ ).

### ➤ *Caratteristiche idrauliche*

Al fine di ottenere una Curva Caratteristica Acqua – Terreno, attraverso la quale si stabilisce una relazione tra la suzione del terreno compattato e il grado di saturazione dello stesso, e confrontarla con Curve Caratteristiche ottenute in precedenti studi sia sul materiale indisturbato che compattato, sono stati utilizzati due diversi dispositivi: un sensore termico (WMP) ed uno psicrometro (WP4). Con il sensore termico è possibile determinare una relazione tra la conducibilità termica del sensore e la suzione di matrice del terreno, in un intervallo di misura compreso tra 10kPa e 2500kPa.

Lo psicrometro, invece, è un dispositivo attraverso il quale è possibile determinare la suzione totale del terreno, in un intervallo di misura compreso tra 1MPa e 300MPa, in relazione all'umidità relativa dell'aria all'interno di una camera stagna in cui è disposto il campione di terreno.

I provini di terreno sono stati preparati mediante una tecnica di compattazione nota come: Moist – Tamping, riproducendo le condizioni di saturazione e porosità *in situ*. L'esecuzione di entrambe le prove prevede che si lasci essiccare all'aria il provino, in condizioni di temperatura e umidità controllata, in modo tale che l'acqua di porosità evapori, per cui il contenuto d'acqua e il grado di saturazione si riducono provocando l'aumento della suzione. Giunti alla condizione di completa essiccazione del provino, si procede con la fase di imbibizione che consiste nell'aggiungere una fissata quantità d'acqua distillata al provino in modo tale che il contenuto d'acqua e il grado di saturazione aumentino inducendo una riduzione della suzione. Mediante tale procedura si può valutare il comportamento isteretico del terreno compattato.

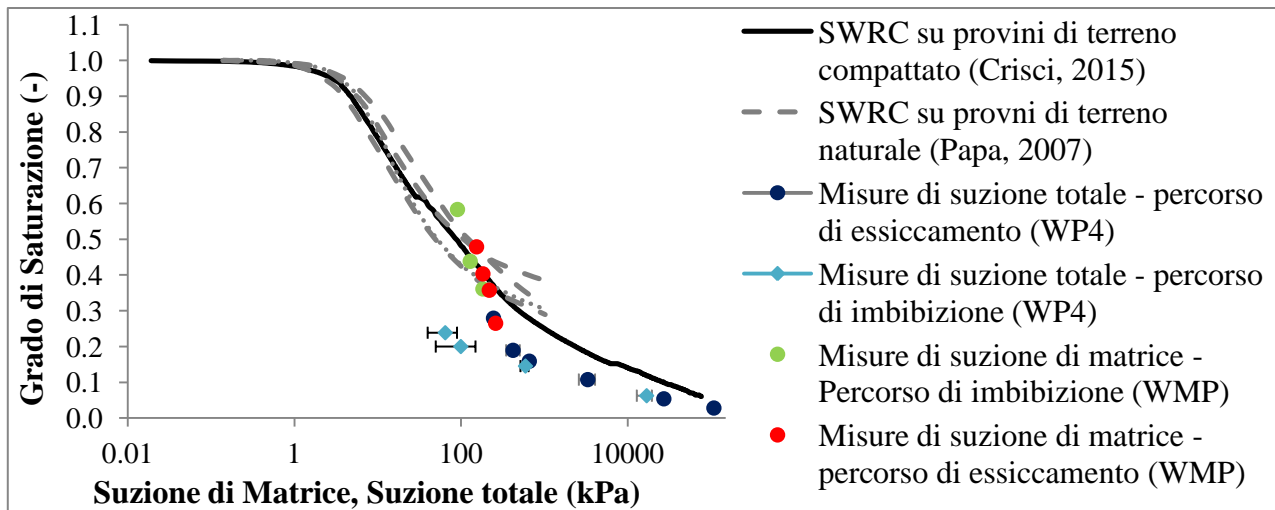


Figura 1: Misure di suzione in fase di essiccamento e imbibizione ottenute mediante il sensore termico (WMP) e lo psicrometro (WP4) e confrontate con preesistenti Curve Caratteristiche.

Osservando la Figura 1, le misure di suzione ottenute con il sensore termico si sovrappongono alle curve caratteristiche ottenute precedentemente sia su provini di terreno indisturbato (Papa, 2007) che su provini di terreno compattato (Crisci, 2015). Ciò nonostante, non è stato possibile ottenere una curva caratteristica del terreno compattato completa, in quanto, in fase di imbibizione, in corrispondenza del contenuto d'acqua superiore al 50% si è verificato il collasso strutturale. Ciò conferma che a causa del processo di compattazione il terreno non presenta le stesse caratteristiche idrauliche del terreno naturale, che invece è stato sottoposto a saturazione. Le misure di suzione totale (WP4), se confrontate con l'ultimo tratto della curva caratteristica ottenuta sul provino di terreno compattato (curva nera), mostrano come queste ultime siano poco affidabili nel intervallo di misura investigato. A ragione si può affermare che valori di suzione di matrice compresi in un intervallo tra 1MPa e 300MPa si raggiungono per valori del grado di saturazione inferiori rispetto a quelli ottenuti mediante la tecnica Mercury Intrusion Porosimetry (MIP) attraverso la quale la curva caratteristica è stata determinata. Infine non è stato osservato un comportamento interetico particolarmente accentuato del materiale compattato.

### ➤ **Microstruttura**

La microstruttura del terreno compattato è stata investigata mediante fotografie al microscopio (SEM) ed immagini 3D ottenute con una tomografia computerizzata e confrontata con la microstruttura del terreno naturale.

Il provino compattato è stato preparato utilizzando la tecnica Moist – Tamping, riproducendo le condizioni di saturazione e porosità *in situ*. Inoltre la tecnica di preparazione di entrambi i provini, per l'osservazione al microscopio, ha permesso di ottenere una superficie 1D

completamente levigata, ciò ha reso possibile investigare la distribuzione dei pori e i contatti interparticellari, eliminando l'effetto topografico (Fig.2). L'osservazione delle immagini 3D invece non ha evidenziato particolari differenze nell'aggregazione delle particelle, ciò è causato da una non sufficiente risoluzione delle immagini ottenute.

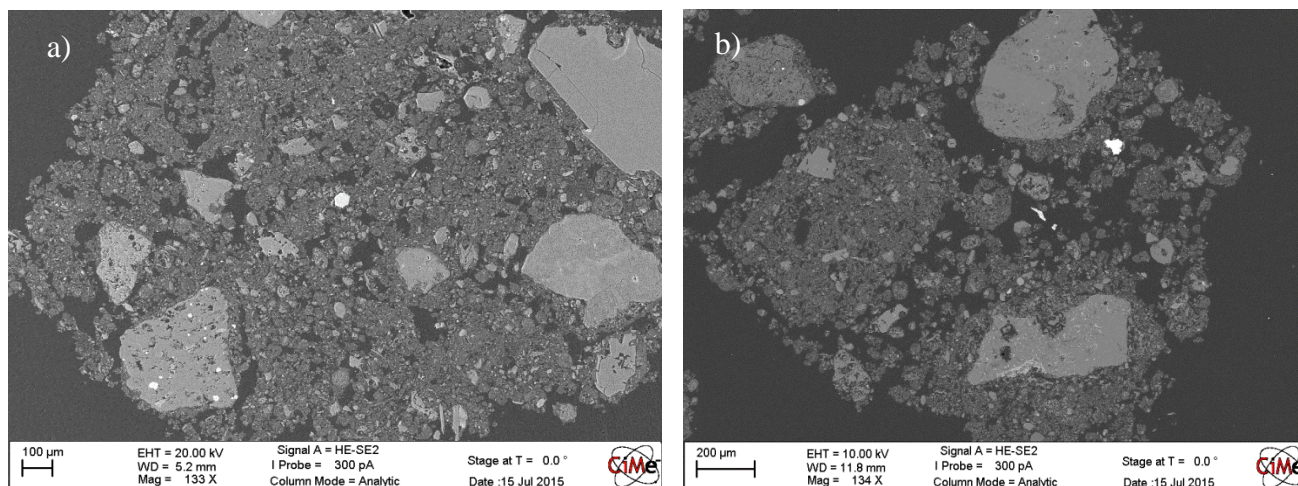


Figura 2: Confronto tra immagini ottenute al microscopio (SEM) su a) campione naturale; b) campione compattato, alla scala della minifabbrica.

Il confronto tra la microstruttura del terreno naturale e compattato è stato fatto seguendo le linee guida individuate da Collins e McGown nel 1974. Le maggiori differenze tra la microstruttura del terreno compattato e naturale sono state individuate alla scala della minifabbrica, corrispondente ad una dimensione superiore alle centinaia di micrometri. Infatti osservando la Figura 2, è possibile notare una porosità più diffusa del campione compattato rispetto al campione naturale, con una elevata concentrazione di materiale a grana fine intorno ai grani di sabbia e limo. La struttura del terreno più aperta e la configurazione a porosità più elevata del materiale compattato rispetto al materiale naturale potrebbe essere la causa del comportamento collassabile del terreno compattato.

### ➤ *Caratteristiche di compressibilità*

Sono state eseguite quattro prove in edometro tradizionale, su altrettanti provini compattati a porosità decrescenti, partendo dalla porosità *in situ*. In questo caso la tecnica di compattazione del terreno è la Moist - Tamping leggermente diversa da quella eseguita per la preparazione dei provini nelle precedenti prove. Infatti il terreno è stato dapprima essiccato in forno a 105°C, è stata poi calcolata la sola massa secca di terreno da mettere all'interno dell'anello edometrico, al fine di ottenere la porosità richiesta e successivamente è stata aggiunta la quantità d'acqua distillata necessaria a raggiungere il contenuto d'acqua corrispondente a quella porosità. È stata poi eseguita una misura della suzione di matrice mediante minitensiometri disposti direttamente a contatto con la superficie superiore dei provini:

Tabella 1: Proprietà principali dei quattro provini compattati a porosità decrescenti.

Provino	Porosità	Indice di porosità	Grado di saturazione	Suzione di matrice
	-	-	-	kPa
1	0.72	2.57	0.68	7.44
2	0.65	1.82	0.68	18.50
3	0.61	1.59	0.68	28.80
4	0.59	1.42	0.68	47.73

Le prove sono state eseguite caricando i provini fino al raggiungimento di uno stato tensionale prossimo a quello a cui è sottoposto il terreno in sito, che corrisponde ad un incremento di carico nella prova edometrica uguale a 40 kPa. In corrispondenza di tale valore i provini sono stati imbibiti.

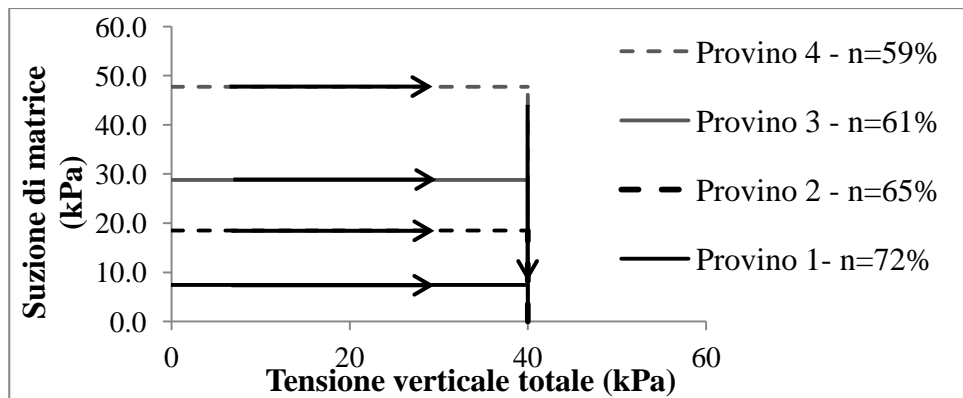


Figura 3: Percorsi di carico e imbibizione eseguiti durante le prove edometriche.

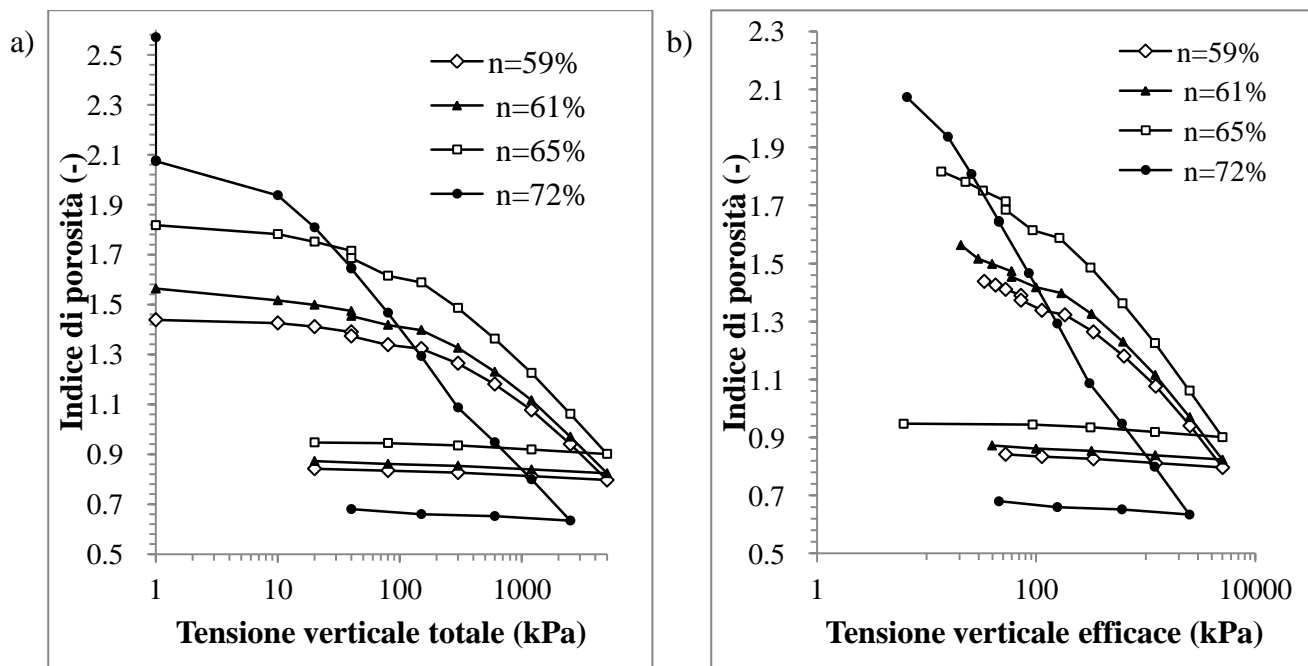


Figura 4: Risultati delle prove edometriche: a) nel piano indice dei vuoti - tensione verticale totale; b) nel piano indice dei vuoti - tensione verticale efficace.

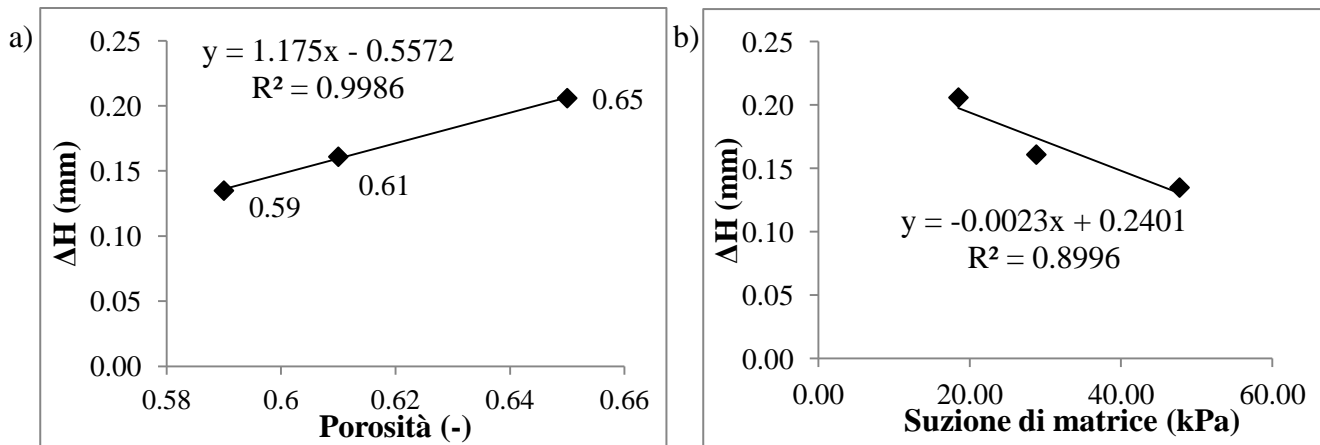


Figura 5: Relazione tra: a) entità del collasso per effetto dell'imbibizione e porosità del terreno; b) entità del collasso per effetto dell'imbibizione e suzione di matrice.

Durante lo svolgimento della prova edometrica sul provino compattato alla porosità *in situ* (n=72%), non è stato osservato un sostanziale incremento di cedimento e quindi una riduzione dell'indice dei vuoti dovuto all'imbibizione (Fig. 4a), come ci si aspettava dalle precedenti prove edometriche su provini compattati a n=72% (Crisci, 2015). Ciò è probabilmente da ascrivere alla diversa tecnica di compattazione usata in questa sede per preparare il provino. Infatti già successivamente alla preparazione dello stesso si è osservato un cedimento tale per cui l'indice dei vuoti iniziale si è ridotto rispetto a quello *in situ*. Si può quindi affermare che il collasso è stato indotto dall'aggiunta di acqua durante la compattazione del terreno.

Per quanto riguarda i provini compattati a porosità decrescenti (n=65%, n=61%, n=59%), è stato registrato un incremento di cedimento dovuto all'imbibizione anche se non tale da indurre il collasso (Fig. 4.a). Si può, quindi, affermare che per porosità inferiori al 65% non si verifica il collasso strutturale del terreno vulcanico analizzato. Si è, inoltre, individuata una relazione tra l'entità del cedimento dovuto all'imbibizione, la porosità del terreno e la suzione, prettamente lineare (Fig.5a e 5b). Ciò comporta che, nota la porosità del terreno è possibile valutare l'incremento di cedimento indotto dall'imbibizione e determinare, mediante la Curva Caratteristica del terreno, il corrispondente grado di saturazione.

## CONCLUSIONI

Dallo studio del comportamento delle coltri piroclastiche e dall'indagine sperimentale sul cenere vulcanica compattata, è possibile affermare che:

- Le coltri piroclastiche a causa della loro struttura metastabile possono essere coinvolte in fenomeni di collasso strutturale.
- Il terreno vulcanico compattato in laboratorio alle stesse caratteristiche del terreno *in situ*, mostra un comportamento geotecnico diverso rispetto al terreno naturale.
- La caratterizzazione idraulica mostra che il comportamento idraulico del terreno compattato è confrontabile con quello del terreno naturale solo per un ristretto intervallo di valori di contenuto d'acqua, al di fuori del quale si presentano sostanziali differenze.
- L'analisi della microstruttura ha permesso di individuare alla scala della minifabbrica (intorno alle centinaia di micrometri) le maggiori differenze nell'aggregazione delle particelle tra il terreno naturale e quello compattato.
- Mediante le prove edometriche è stato possibile definire una relazione tra l'entità del cedimento per effetto della saturazione del terreno e la porosità dello stesso di tipo lineare.

Come conseguenza dell'indagine sperimentale è possibile affermare che:

*per evitare fenomeni di dissesto nei rilevati realizzati con materiali vulcanici è necessario compattare il terreno ad una porosità inferiore al 65%.*