

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II



SCUOLA POLITECNICA E DELLE SCIENZE DI BASE

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

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE EDILE E AMBIENTALE

SINTESI DELL'ELABORATO DI TESI:
SPERIMENTAZIONE E MODELLAZIONE DEL COLLASSO STRUTTURALE PER
PIROCLASTITI NON SATURE

RELATORI

Ch.mo Prof. Gianfranco Urciuoli

Dott. Ing. Alessio Ferrari

CORRELATORE

Dott. Ing. Marianna Pirone

CANDIDATA

Eleonora Crisci

MATR. M67/171

ANNO ACCADEMICO 2013/2014

Introduzione

I terreni parzialmente saturi se soggetti a percorsi di umidificazione, ossia di diminuzione di suzione a tensione media netta costante, possono esibire un'espansione volumetrica reversibile seguita da una compressione volumetrica irreversibile, nota come 'collasso strutturale'. Quest'ultimo è un fenomeno tipico dei terreni non saturi caratterizzati da una struttura aperta e da un'elevata porosità dovuta al processo di deposizione.

Le strutture ad elevata porosità sono in grado di sostenere i carichi esterni a causa dell'azione dei menischi d'acqua che si formano al contatto interparticellare. Infatti, i menischi causano un incremento di sforzo di contatto tra i grani ed un conseguente aumento fittizio di resistenza al taglio. A seguito della saturazione, i menischi scompaiono e di conseguenza lo scheletro solido non è più in grado di sostenere lo stato tensionale a cui era soggetto se non mediante un repentino riarrangiamento dell'assetto particellare in una formazione più compatta. Questa tipologia di terreni è definita come metastabile.

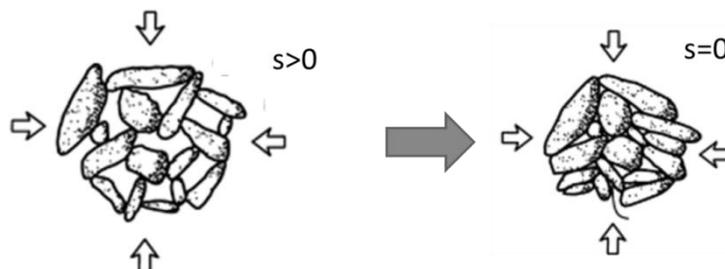


Figura 1 Fenomeno del collasso a seguito di imbibizione.

In un terreno metastabile l'entità del cedimento dovuto al collasso è funzione della suzione iniziale e della tensione di confinamento alla quale la riduzione di suzione ha luogo. Per alcuni tipi di terreni, infatti, il collasso potenziale aumenta con l'aumento delle tensioni applicate e, raggiunto un massimo, diminuisce.

I terreni parzialmente saturi metastabili sono presenti in molti contesti geologici del pianeta e hanno rilevanza notevole nei problemi applicativi dell'ingegneria geotecnica. Per esempio se tali tipi di terreni sono presenti al di sotto di fondazioni superficiali, soggetti a saturazione a causa dell'infiltrazione di acqua meteorica e/o di azioni antropiche (perdite nei sistemi di approvvigionamento idrico e di drenaggio urbano) possono esibire compressioni plastiche irreversibili che a loro volta determinano cedimenti differenziali della fondazioni e conseguenti danni alle infrastrutture.

La presente tesi riguarda lo studio sperimentale del collasso strutturale di una piroclastite non satura e la relativa modellazione mediante il legame costitutivo, 'Advanced Constitutive Model for Environmental Geomechanics'.

Attività sperimentale

Le attività sperimentali sono state condotte su un terreno vulcanico vesuviano prelevato dal sito di Monteforte Irpino (AV). Tale terreno ha la tipica struttura di un terreno metastabile, caratterizzato da un'elevata porosità ($n=72\%$) e dallo stato in sito in condizioni di parziale saturazione.

Un primo set di prove è stato effettuato su provini ricostituiti con la tecnica del Moist-Tamping, riproducendo le condizioni di saturazione e porosità riscontrate in sito. Tali prove sono state condotte in edometro tradizionale presso il Laboratorio di Meccanica dei Terreni del "École Polytechnique Fédérale De Lausanne" (Losanna, Svizzera), dove sono stati svolti tre mesi di tirocinio finalizzato all'elaborato di tesi. Ogni provino è stato caricato fino ad un prefissato valore di carico e successivamente imbibito.

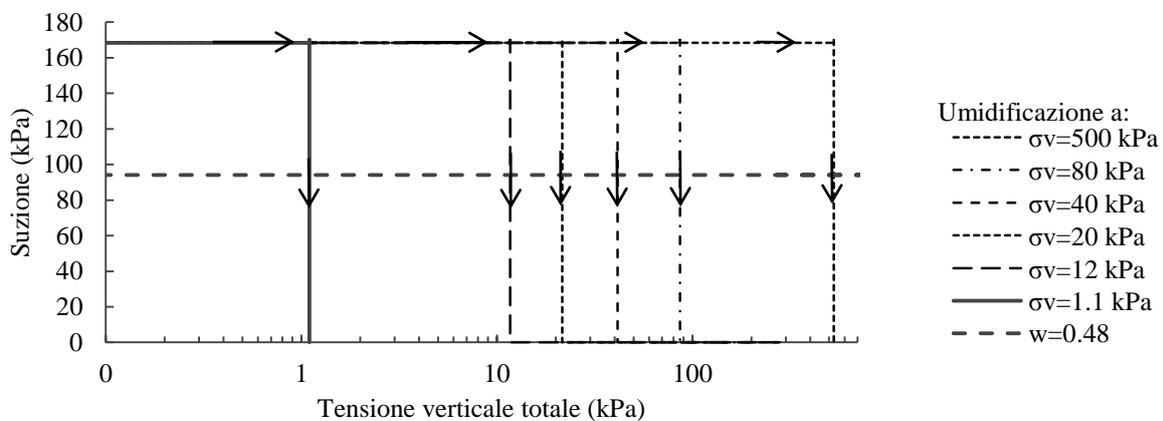


Figura 2 Percorsi di carico e imbibizione eseguiti per le prove edometriche.

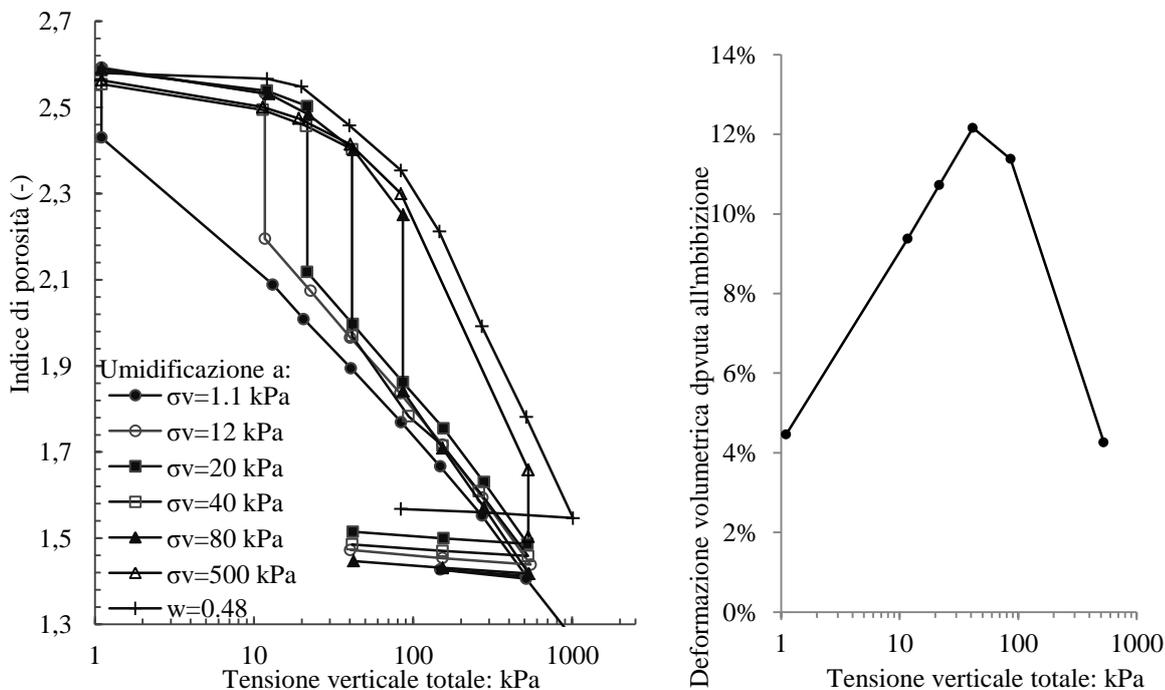


Figura 3 (a) Risultati delle prove edometriche: fasi di carico e imbibizione; (b) deformazione volumetrica di compressione misurata in fase d'imbibizione.

I risultati evidenziano un comportamento metastabile, con un'entità del cedimento strutturale che al picco sfiora il 12%. È da rilevare che i provini hanno subito una considerevole compressione anche se saturati a stati tensionali molto bassi (dell'ordine di pochi kPa). Pertanto si è proceduto al confronto del comportamento del terreno ricostituito con quello del terreno naturale, che pur mostrando una suscettibilità al fenomeno del collasso, ha esibito deformazioni significativamente inferiori rispetto a quello ricostituito. Le cause di tale differenza sono state ricercate nell'analisi microstrutturale (analisi funzione densità dei pori mediante intrusione di mercurio; immagini rilevate al microscopio elettronico) delle due tipologie di terreni, ma non è stata ancora trovata una spiegazione esaustiva.

Modellazione nell'ambito di un legame costitutivo in termini di tensioni efficaci

Il comportamento dell'elemento di volume di terreno è stato modellato attraverso un foglio di calcolo utilizzando il legame costitutivo ACMEG: Advanced Constitutive Model for Environmental Geomechanics (Nuth & Laloui 2007; Nuth & Laloui 2008). Questo è un legame costitutivo di tipo Cam Clay con incrudimento isotropo, il cui dominio elastico può essere rappresentato nello spazio tridimensionale p' tensione media efficace, q deviatore, s suzione.

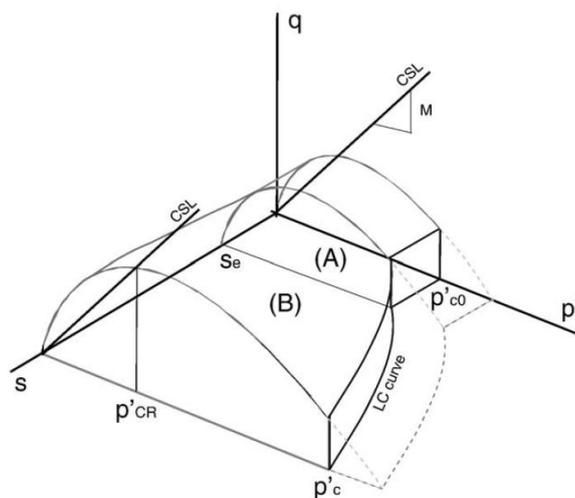


Figura 4 Forma del dominio elastico e della linea di stato critico CSL nello spazio p' , q , s (Nuth & Laloui, 2007).

Il legame è scritto in termini di tensioni efficaci e una formulazione alla Bishop (1959) è utilizzata in presenza di un terreno non saturo:

$$\sigma'_{ij} = \sigma_{ij} - u_a \cdot \delta_{ij} + S_r \cdot (u_a - u_w) \cdot \delta_{ij}$$

con: σ'_{ij} tensione efficace, σ_{ij} tensione netta, u_a pressione dell'aria, u_w pressione dell'acqua, S_r grado di saturazione e δ_{ij} delta di Kronecker.

Il dominio elastico è delimitato dalla superficie di snervamento, che nel modello ACMEG dipende dalla pressione di pre-consolidazione a suzione nulla p'_{c0} .

$$f_{iso}(p', \varepsilon_v^p, r_{iso}) = p' - r_{iso} \cdot d \cdot p'_{CR} = p' - r_{iso} \cdot p'_c$$

p'_{CR} è la tensione media di stato critico e d è un parametro del materiale, r_{iso} è il grado di mobilitazione del meccanismo isotropo.

Il luogo dei punti delle tensioni di snervamento p'_c nel piano (p', s) è definito *Loading Collapse*:

$$p'_c = \begin{cases} p'_{c0} & \text{if } s \leq s_e \\ p'_{c0} [1 + \gamma_s [\log(s/s_e)]^{n_{LC}}] & \text{if } s > s_e \end{cases}$$

In cui γ_s e n_{LC} sono parametri del terreno, s_e la suzione d'ingresso d'aria. I percorsi di imbibizione simulati nell'ambito dei test edometrici mediante tale legame costitutivo sono i seguenti:

n°	Umidificazione a σ_v kPa
1	1.1
4	40
5	80
6	500

Tabella 1 Test edometrici simulati con il legame costitutivo ACMEG.

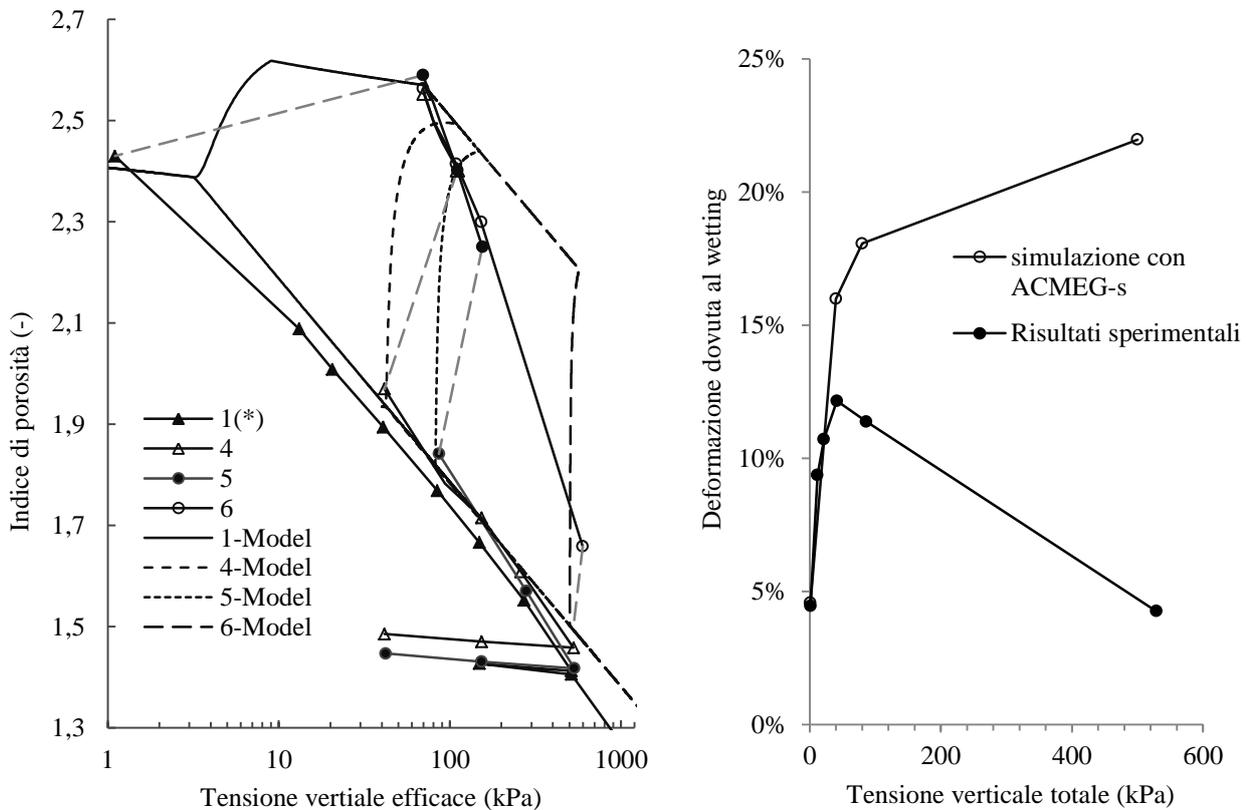


Figura 5 Confronto fra percorsi calcolati e risultati sperimentali del terreno piroclastico di Monteforte Irpino. (*) I numeri si riferiscono alla tabella 1

Il legame costitutivo ACMEG prevede un cedimento strutturale indefinitamente crescente con la tensione applicata, contrariamente al reale comportamento del terreno. Questo comportamento è ben riprodotto per bassi stati tensionali, ma non per stati tensionali vicini al massimo cedimento o superiori.

Quindi è stata proposta una modifica al modello ACMEG al fine di cogliere la deformazione plastica associata al collasso anche ad elevati stati tensionali. In particolare si è proposto di modificare il parametro della Loading collapse γ_s in una funzione della tensione di preconsolidazione:

$$\gamma_s = \left(\frac{\gamma_{s,in}}{1 + (\alpha \cdot p'_{c0})^n} \right)$$

con: $\gamma_{s,in}$ parametro legato al primo snervamento
 $\alpha = 1/p'_m$ con p'_m tensione media efficace per la quale si verifica il massimo collasso
 n parametro legato alla velocità di decremento.

Calibrando i parametri del modello e della funzione γ_s , è possibile riprodurre il reale comportamento del terreno, e l'andamento del cedimento strutturale dovuto al collasso in fase di imbibizione.

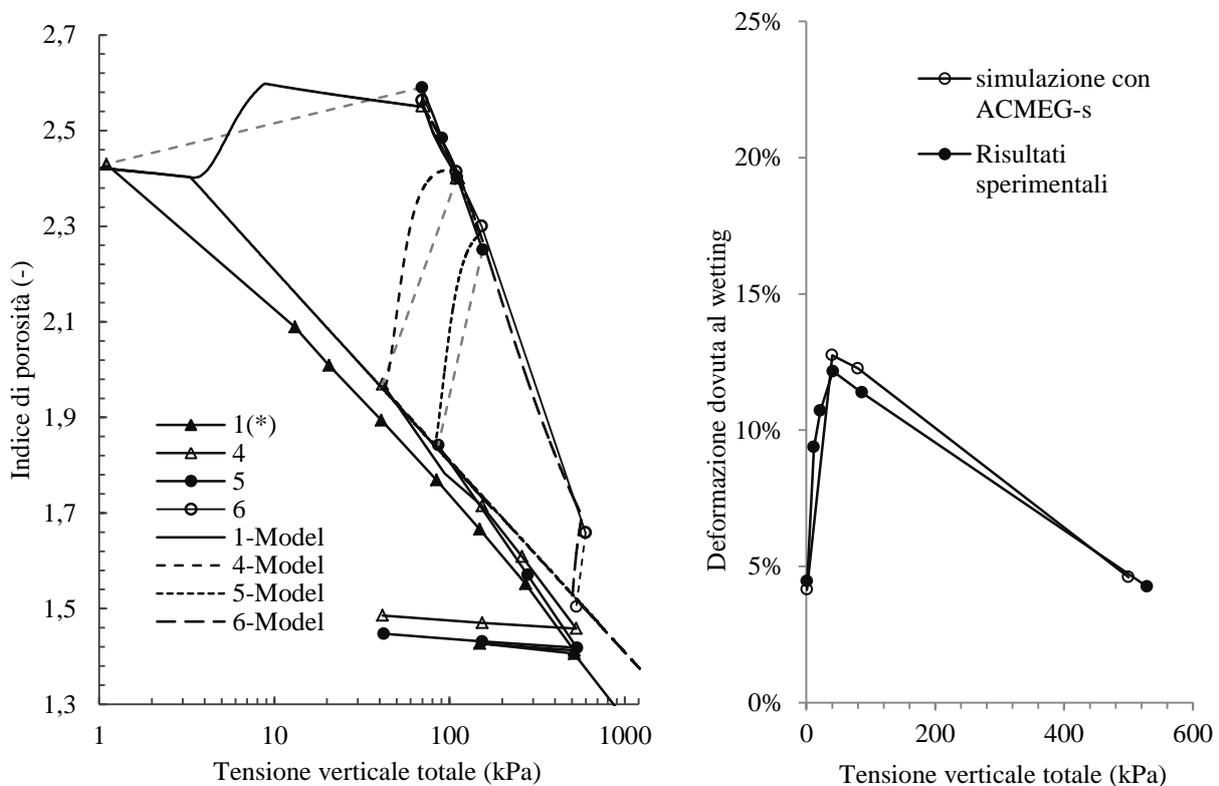


Figura 6 Confronto fra percorsi calcolati mediante il modello modificato e risultati sperimentali del terreno piroclastico di Monteforte Irpino.

Conclusioni

I terreni metastabili sono spesso coinvolti in problemi ingegneristici quali dissesti di fondazioni e rilevati, è pertanto necessario avere uno strumento in grado di modellarne e quindi prevederne il comportamento.

L'entità del cedimento strutturale associato al collasso è una funzione della suzione e dello stato tensionale agente. Con l'aumento delle tensioni applicate il collasso potenziale inizialmente aumenta e, raggiunto un massimo, diminuisce.

Alcuni modelli costitutivi, come quello presentato, non sono in grado di cogliere questo comportamento, ma sovrastimano il possibile cedimento strutturale ad alti stati tensionali. Dallo studio del comportamento al collasso dei terreni vulcanici, è stata individuata una possibile modifica al legame ACMEG che consente di modellare la massima deformazione plastica, associata al collasso e la sua diminuzione per tensioni superiori.

Con tale modifica il comportamento del terreno è ben riprodotto anche ad elevati stati tensionali.