

# UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II



CORSO DI LAUREA IN  
INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE ED AMBIENTALE

SINTESI DELL' ELABORATO DI LAUREA

## CEDIMENTI DI FONDAZIONI SUPERFICIALI DOVUTI AD IMBIBIZIONE DI TERRENI NON SATURI

**RELATORE:**

Ch.mo Prof. Gianfranco Urciuoli

**CORRELATORE:**

Dott. Ing. Raffaele Papa

**CANDIDATA:**

Federica Rinaldi

Matr. 518/688

ANNO ACCADEMICO 2011/2012

## **Introduzione**

---

Scopo del presente elaborato di tesi è l'analisi del fenomeno di dissesto nei manufatti di ingegneria civile fondati su terreni parzialmente saturi.

I terreni parzialmente saturi sono presenti in maniera rilevante in molti contesti geologici del pianeta, basti pensare a quelli posti sopra il pelo libero della falda ed inumiditi dal fenomeno della risalita capillare. Ciò ha implicazioni significative nei problemi applicativi. Un terreno non saturo può essere soggetto a fenomeni di instabilità come nel caso dei pendii (frane meteo-indotte) e problemi di collasso strutturale in tutti i tipi di costruzioni, in conseguenza della variazione del grado di saturazione, per apporto di acqua di tipo sia meteorico che artificiale (perdite in fognature, acquedotti etc.).

Nella meccanica dei terreni di impostazione classica, l'approccio è incentrato prevalentemente sul comportamento dei terreni secchi (il che costituisce un'approssimazione, visto che una quantità anche minima di umidità è comunque presente) e su quello dei terreni completamente saturi.

## **Meccanica dei terreni non saturi**

---

I principi alla base del comportamento meccanico, idraulico e volumetrico dei terreni parzialmente saturi non sono immediatamente riconducibili a quelli della meccanica classica dei terreni saturi; a tal proposito sono numerosi in letteratura i

modelli proposti, ma la loro applicazione nella pratica professionale risente di un certo ritardo.

In particolare, e contrariamente all'approccio tradizionale che vuole il terreno schematizzato come un mezzo bifase (minerali + acqua se saturo, minerali + aria se secco), il terreno parzialmente saturo è a tutti gli effetti un mezzo trifase, con compresenza negli spazi tra le particelle di aria ed acqua, in genere a pressioni diverse tra loro. Questa differenza di pressione è detta *suzione di matrice*  $s = u_a - u_w$ .

La suzione è relazionata al contenuto d'acqua del terreno tramite una curva detta *di ritenzione* o *caratteristica* e può essere misurata sperimentalmente con l'aiuto di strumenti di misura detti tensiometri. Il terreno è praticamente saturo fino al valore di suzione d'ingresso d'aria, poi al crescere della suzione si desatura progressivamente, fino al raggiungimento di una condizione residua con grado di saturazione molto basso. La relazione tra suzione e contenuto d'acqua non è univoca, ma dipende dalla direzione del fenomeno. In particolare, il contenuto d'acqua è maggiore se la suzione è decrescente (ovvero sul percorso di essiccamento).

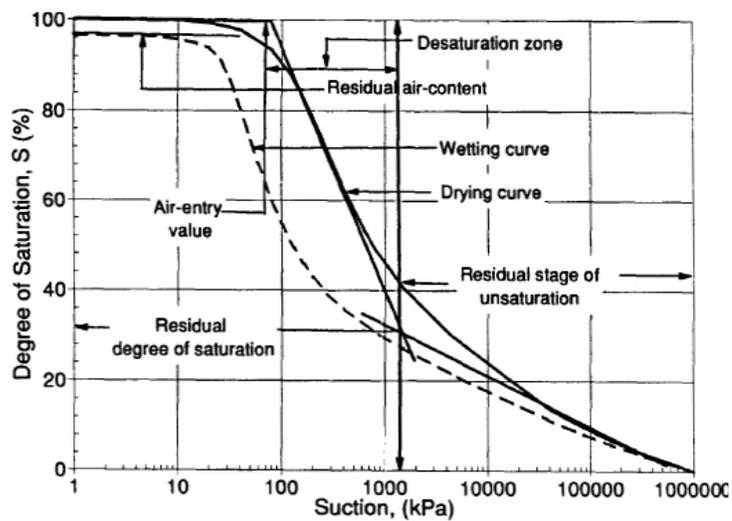


Figura 1 Tipico andamento di una curva di ritenzione

La presenza di acqua racchiusa in “sacche”, delimitate dai menischi, e circondata da aria a pressione maggiore che provoca un incremento dello sforzo di contatto tra i grani, risultando in un aumento della resistenza a taglio del materiale, in una compressione del terreno ed una riduzione della tendenza delle particelle a scorrere le une sulle altre, ovvero un aumento della rigidità. Questi effetti tendono a stabilizzarsi asintoticamente su un valore finito al tendere della suzione ad infinito.

Per tenere conto nel modello di questo aumento di resistenza a taglio, si utilizza per i terreni saturi il criterio di resistenza di Mohr-Coulomb modificato da Fredlund:

$$\tau = c' + (\sigma - u_a) \tan \phi' + (u_a - u_w) \tan \phi^b \quad (1.1)$$

L'equazione conferma le evidenze sperimentali, che vogliono la resistenza a taglio dipendente dalla suzione in maniera non lineare.

Per quanto concerne il comportamento volumetrico, i terreni non saturi esibiscono deformazioni differenti a seconda che a variare sia la tensione media netta applicata a suzione costante, oppure, mantenendo tale tensione fissa, sia la suzione ad aumentare (percorso di essiccamento) o diminuire (percorso di imbibizione).

In particolare, in alcuni terreni detti *collassabili*, una diminuzione di suzione può comportare una deformazione di compressione volumetrica rilevante, nota come *collasso strutturale*, giustificata dalla sparizione dei menischi che contribuivano all'aumento del serraggio tra i grani di terreno.

Questa deformazione può indurre dei cedimenti nei manufatti, come osservato nei due casi storici di cui al cap.2., in cui l'imbibizione del terreno non saturo è dovuta ad una risalita anomala del livello di falda. Il primo caso è relativo ad un evento meteorico eccezionale accaduto a Napoli nel settembre del 2001, il secondo alla costruzione di una diga nella città di Pereira Barreto, in Brasile.

## Esperienza di laboratorio

---

Obiettivo dell'esperienza di laboratorio, condotta su un campione di terreno piroclastico sciolto, è la misura del cedimento di una fondazione superficiale di forma quadrata, caricata con un carico distribuito di  $1 \frac{kg}{cm^2}$ , in condizioni di parziale saturazione, e la sua evoluzione con l'introduzione di una perdita da condotta forata nel sottosuolo (al di sotto della fondazione).

Il terreno è stato dapprima preparato mediante essiccazione in stufa a 105°C e vibro staccatura per eliminare la frazione ghiaiosa (pomici); successivamente è stato predisposto un cassone in perspex di dimensioni 100x50x18 cm, forato per l'introduzione della condotta. Il cassone è stato sigillato e collaudato rispetto a possibili perdite.

La ricostituzione del terreno è stata effettuata con il metodo della deposizione pluviale a secco, che simula le condizioni di deposizione naturale per le piroclastiti in sito, e permette di ottenere uniformità della posa e porosità elevate. A metà dell'altezza del cassone è stata installata la condotta, opportunamente forata per introdurre una perdita idrica che simulasse una perdita reale da acquedotto, fognatura ecc.

Il campione è stato successivamente inumidito per riportare il grado di saturazione ad un livello plausibile, comparabile a quello naturale in sito; dopo una fase di equalizzazione e consolidazione sono stati installati gli strumenti di misura.

Questi consistono in due mini tensiometri per la misura della suzione, un decimetro per la misura del cedimento iniziale ed un micrometro per seguire il decorso del cedimento nel tempo. I due tensiometri hanno riportato una prima lettura di 36 kPa a 5 cm di profondità e 29 kPa a 10 cm.

La fondazione superficiale quadrata è stata poi caricata con 4 pesi da 25 kg ognuno, per un totale di 100 kg, tramite un sistema di carico a pistone, ed ha subito un cedimento iniziale di 25 mm. In condizioni asciutte è stata valutata la costante di sottofondo del terreno, risultata pari a  $0,4 \frac{kg}{cm^3}$ .



## Conclusioni

---

La sperimentazione, avviata e tuttora in fase di esecuzione per problemi tecnici che non hanno reso possibile la sua conclusione nei tempi previsti, consente di valutare gli effetti in termini di cedimenti di perdite idriche nel sottosuolo.

I dati raccolti possono essere poi utilizzati per stimare gli effetti che tali cedimenti possono avere sugli edifici, in termini di cedimenti differenziali e distorsionali, utili in fase di progetto e verifica delle strutture in elevazione.

I primi risultati hanno evidenziato che i terreni piroclastici sciolti, in condizioni di parziale saturazione, presentano un cedimento significativo anche su terreno asciutto o appena umido. Si prevedono, nel corso di ulteriori sviluppi della sperimentazione, un cedimento maggiore con l'introduzione della perdita dalla tubazione, e possibili problemi di rottura per punzonamento della fondazione. La costante di sottofondo varia con il grado di saturazione e sarà dunque stimata nuovamente con le mutate condizioni.