

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II



FACOLTÀ DI INGEGNERIA

CORSO DI LAUREA IN
INGEGNERIA PER L'AMBIENTE ED IL TERRITORIO

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA IDRAULICA,
GEOTECNICA E AMBIENTALE

SINTESI DELL'ELABORATO DI TESI
CARICO LIMITE DI FONDAZIONI SUPERFICIALI SU TERRENI COLLASSABILI
PARZIALMENTE SATURI

RELATORE
Ch.mo Prof. Gianfranco Urciuoli

CORRELATORE
Dott. Ing. Raffaele Papa

CANDIDATA
Eleonora Crisci
MATR. N49/096

ANNO ACCADEMICO 2011/2012

Introduzione

L'obiettivo del presente elaborato di tesi è lo studio delle cause di dissesto di manufatti di ingegneria civile fondati su terreni parzialmente saturi.

La meccanica dei terreni classica è impostata secondo un approccio incentrato prevalentemente sul comportamento dei terreni secchi e di quelli completamente saturi, questi ultimi analizzati attraverso il principio delle tensioni efficaci di Terzaghi. I terreni parzialmente saturi sono però presenti in molti contesti geologici del pianeta e hanno rilevanza notevole nei problemi applicativi dell'ingegneria. Tali tipi di terreni sono infatti spesso interessati da fenomeni di instabilità di versante (in particolare frane meteo-indotte) e pongono problemi anche nelle costruzioni in terra (dighe, argini fluviali, rilevati), nelle opere di sostegno e nelle fondazioni per le quali la variazione del grado di saturazione, a causa dell'infiltrazione di acqua meteorica o per fatti antropici (perdite nei sistemi di approvvigionamento idrico e di drenaggio urbano), può indurre seri danni.

Su quest'ultimo aspetto è incentrato il seguente elaborato, ovvero lo studio dell'interazione tra fondazioni superficiali e terreni parzialmente saturi, a seguito di un aumento della saturazione degli stessi. Infatti l'aumento del grado di saturazione del terreno causa una diminuzione della suzione, differenza tra pressione dell'aria e dell'acqua, alla quale è associata una riduzione della resistenza a taglio del terreno nonché della sua capacità portante. Diversi studiosi si sono occupati dell'estensione del criterio di resistenza di Mohr Coulomb ai terreni parzialmente saturi allo scopo di tener conto dell'effetto della suzione sulla resistenza a taglio. In linea di principio è possibile estendere anche il trinomio di Terzaghi, per il calcolo del carico limite di terreni saturi, al caso dei terreni parzialmente saturi, considerando all'interno della coesione un termine aggiuntivo, detto coesione apparente, funzione della suzione, della saturazione e dell'angolo di attrito del terreno.

Nel seguito sono mostrati i risultati di un'applicazione effettuata in laboratorio su piroclastiti sciolte poste all'interno di un modello fisico usato per la sperimentazione

Applicazione sperimentale

Il terreno utilizzato per la sperimentazione è una piroclastite prelevata dallo strato più superficiale della serie stratigrafica presente nel sito sperimentale di Monteforte Irpino (AV), sul versante ovest di Monte Faggeto, in destra orografica del Vallone del Conte (Papa et al., 2010). Per la sperimentazione descritta è stato usato un su terreno appartenente al primo strato della colonna descritta, ovvero una piroclastite fortemente humificata e pedogenizzata. Tale terreno

sottoposto ad analisi granulometrica è risultato essere una sabbia con limo ghiaiosa.

Lo scopo dell'esperimento è stato di valutare il comportamento di un terreno collassabile, parzialmente saturo, sottoposto a fondazioni superficiali di forma diversa, al diminuire della suzione nel terreno.

Preparazione del modello

Il terreno è stato essiccato in stufa a 105°C per poi essere utilizzato per la realizzazione del modello di laboratorio. Il modello è contenuto all'interno di un cassone di Plexiglass di dimensioni: lunghezza 100 x 50 x 18 cm.

Prima di ricostituire il terreno si è stata necessaria una vagliatura dello stesso per eliminare le pomici di dimensioni maggiori, utilizzando uno staccio con diametro dei fori di 10 mm.

Sul fondo del cassone è stato realizzato uno strato drenante di 2 cm con del ghiaietto, sul quale è stato poi disposto uno strato di carta da filtro, che consente il passaggio dell'acqua ma non del terreno. In seguito è stata posizionata una parete separatoria, anch'essa in plexiglass, che divide il contenitore in due volumi uguali, in modo da poter condurre due prove simultaneamente senza che esse siano reciprocamente influenzate.

Il campione è stato ricostruito con la tecnica della deposizione pluviale in aria all'interno del contenitore, ottenendo una porosità elevata paragonabile a quella del materiale in sito (circa il 70%). Si è scelto questo metodo in quanto la deposizione in aria è simile ai processi di deposizione per caduta attraverso cui si sono formati gli strati di piroclastiti presenti nel sito di Monteforte.

La deposizione pluviale ha il vantaggio di riprodurre i processi di deposizione naturale delle coltri piroclastiche attraverso semplici operazioni. I principali parametri che influenzano tale tecnica sono: intensità di deposizione, intesa come il numero o quantità di granuli che cade per unità di superficie e di tempo, regolata dalle dimensioni delle aperture attraverso cui defluisce il terreno; altezza di caduta; granulometria del materiale; uniformità della "pioggia" di particelle. Tali parametri regolano l'energia di impatto, la velocità di impatto dei granuli e di conseguenza la densità finale del campione. Con questa procedura si lascia cadere il terreno direttamente nel cassone utilizzando un imbuto, generando un flusso di terreno unico, su una limitata parte della base del campione. In questo modo si procede fino al totale riempimento del contenitore, creando quindi uno strato di circa 16 cm di spessore con porosità nota.

Dopo aver terminato la deposizione del terreno secco, si è proceduto alla sua parziale saturazione.

Sono state scelte due piastre, una circolare con diametro 100 mm, una quadrata di lato 100 mm, che simulano il comportamento delle fondazioni superficiali di analoga forma. Il volume d'influenza coinvolto da tali fondazioni ha per entrambe una profondità pari all'incirca alla loro dimensione, pertanto esso è certamente contenuto all'interno dello spessore di terreno del modello. Ogni piastra è situata in uno dei due volumi di terreno preparati, e per ognuna di esse sono stati installati:

- un tensiometro
- un telaio di carico
- un micrometro

Le misure sono state eseguite utilizzando dei tensiometri "small-tip", costituiti da una capsula di ceramica collegata al sensore con due tubicini coassiali e flessibili di piccolo diametro.

Durante la prova il terreno è soggetto a una suzione dipendente dalla differenza tra la pressione dell'aria e la pressione dell'acqua; grazie alle caratteristiche della pietra porosa e del circuito a cui essa è collegata, tale differenza di pressione è misurata da un manometro.

La capsula porosa è posizionata nel terreno collocata in modo che il suo centro sia ad una profondità di circa 7 cm, e quindi che l'estremità sia ad una profondità di 8,5 cm circa. Si realizza quindi un sistema di carico per ogni piastra, composto di un telaio per l'applicazione dei pesi, centrato a mezzo di una sfera sulla piastra di fondazione.

La misura dei cedimenti (spostamenti verticali) è stata effettuata attraverso micrometri con braccio di supporto a base magnetica. Il sensore dello strumento poggia sul sistema di carico della piastra, segnalandone gli spostamenti sul quadrante con una precisione al centesimo di millimetro. Sono stati posizionati due telai di ferro trasversalmente al contenitore, centrati rispetto ai due volumi di terreno definiti, in modo che vi si potessero fissare i micrometri.

Svolgimento delle prove

È stato valutato attraverso la teoria di Terzaghi il carico limite per terreno sauro e si è applicato il carico calcolato alle rispettive fondazioni attraverso pesi di valore noto. Dopo l'applicazione dei carichi, a suzione costante, sono stati registrati i cedimenti nel tempo. Infine si è passati quindi alla fase di *wetting*. È stato nebulizzato in modo omogeneo un litro d'acqua distillata su ognuno dei due volumi di terreno e si sono registrati i cedimenti della fondazione sovrastante. Quando i cedimenti si attestavano su un valore stabile si procedeva al bagno successivo.

Dopo la fase di *wetting* si è proceduto all'essiccazione del modello (fase di *drying*), valutando poi, attraverso la formula di Terzaghi, la capacità portante del terreno utilizzato nella sperimentazione:

$$q_{lim} = N_q \gamma_q q_0 + N_c c + N_\gamma \gamma B/2$$

con c pari al valore della coesione apparente, dovuta alla suzione

$$c = c^{app} = S_r (u_a - u_w) \tan \varphi'$$

Si è ipotizzato un grado di saturazione pari 0,7 e si è valutato il carico limite nei due casi al variare della suzione.

Si è scelto di caricare entrambe le piastre con 150 kg ciascuna, valore limite per la piastra circolare per una suzione compresa tra 2 e 3 kPa, per la quadrata per un valore di suzione compreso tra 3 e 4 kPa. È stata effettuata una nuova fase di *wetting* di cui sono stati registrati i cedimenti e le variazioni di suzione.

Conclusioni

Nel corso dell'ultimo decennio i terreni parzialmente saturi sono progressivamente diventati uno dei temi di maggiore interesse della Geotecnica, a causa dei numerosi problemi di ingegneria civile che li vede coinvolti in tutto il mondo. Il territorio italiano, e in particolare quello campano è spesso teatro di diversi fenomeni di instabilità e dissesto. Si ricordano ad esempio i dissesti verificatisi a Napoli, in Via Settembrini, nel 2001, quando a seguito di un importante nubifragio si verificarono cedimenti degli edifici dell'ordine di qualche decina di centimetri. Inoltre il sottosuolo napoletano è ricco di antiche cavità di cui si sono spesso perse le tracce sulle cartografie, e che in occorrenza di apporti idrici naturali o antropici possono andare in pressione e saturare il terreno circostante, come è appunto accaduto in via Settembrini.

I terreni piroclastici, hanno esibito nella sperimentazione di laboratorio un comportamento plastico, ovvero in fase di umidificazione hanno subito una compressione volumetrica irreversibile.

Nella seconda prova, le due piastre, a parità di condizioni di carico e di suzione, hanno mostrato un andamento dei cedimenti molto simile, ma la piastra circolare ha subito cedimenti maggiori, con differenza tra le due piastre crescente al diminuire della suzione.

In questa prova inoltre i cedimenti non hanno raggiunto un valore costante nel tempo, ma hanno continuato ad aumentare seppur con basse velocità. Questi cedimenti sono identificabili come cedimenti secondari, o al limite di creep, dovuti alle deformazioni viscosse che si sviluppano nello scheletro solido in condizioni drenate, a stato tensionale efficace costante, nonché all'assestamento del sistema.

Dalle prove effettuate si è messo in evidenza che i cedimenti delle fondazioni sono stati di elevata entità ben prima di raggiungere la condizione critica di rottura.

I cedimenti dovuti al solo aumento del grado di saturazione del terreno, pur non raggiungendo la condizione di suzione nulla, sono preponderanti rispetto ai cedimenti dovuti all'applicazione iniziale del carico, e sono pari a 2-3 volte fino anche a 7-8 volte il cedimento iniziale, in funzione del tipo di fondazione. Ciò mette in evidenza come nelle valutazioni ingegneristiche non si può considerare il cedimento dovuto al solo peso del manufatto, ma bisogna valutare le conseguenze di un eventuale aumento del grado di saturazione, dovuto ad apporti idrici che possono provenire da reti di drenaggio urbano, di approvvigionamento idrico, o da infiltrazione di acqua piovana nel sottosuolo, come d'altronde accade spesso nel napoletano.