UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI "FEDERICO II"

SCUOLA POLITECNICA E DELLE SCIENZE DI BASE

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E AMBIENTALE (DICEA)

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE

INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO

DIFESA DEL SUOLO

TESI DI LAUREA SPERIMENTALE

"Suscettibilità alla Liquefazione della Sabbia di Coimbra Influenza della Frazione Fine non Plastica"

RELATORI

CH.MO PROF. DOTT. ING.
GIANFRANCO URCIUOLI

CH.MA PROF. DOTT. ING.
ANNA D'ONOFRIO

CANDIDATI

ARCANGELO PENTA
Matr. M67/116

LUIGI BORDO
Matr. M67/118

ANNO ACCADEMICO 2013/2014

Il lavoro sperimentale oggetto della tesi è stato svolto nel Laboratorio di Geotecnica dell'Istituto Superior Tecnico di Lisbona, nell'ambito del Progetto Erasmus, ed è stato incentrato sulla caratterizzazione e lo studio dell'influenza derivante dall'aggiunta del 20% di particelle fini non plastiche sulla resistenza a liquefazione della sabbia di Coimbra.

Storicamente il termine liquefazione è stato usato per la caratterizzazione di vari fenomeni, originati da azioni monotoniche e cicliche, che comportano deformazioni nei terreni granulari saturati in condizioni non drenate.

Nonostante la complessità, tutti i fenomeni di liquefazione, in condizioni di carico non drenate, hanno in comune la generazione di pressione interstiziale in eccesso. Tale eccesso, quando è prossimo o uguale alla tensione efficace di confinamento iniziale del terreno, è responsabile della perdita completa di resistenza dello stesso che, pertanto, assumerà un comportamento liquido.

Anche se il fenomeno è già stato segnalato in diversi terremoti avvenuti nel corso dei secoli, solo dopo il terremoto di Niigata del 1964 ha catturato l'attenzione dell'opinione pubblica, avendo causato ingenti danni in tutti i tipi di infrastrutture moderne, come edifici e ponti e, di conseguenza, forti danni economici.

Nella letteratura è noto che la presenza di materiale fine plastico aumenta la resistenza a liquefazione di un terreno, ma non si può affermare con altrettanta sicurezza che lo stesso avvenga per il materiale fine non plastico.

Tuttavia, Polito[1] ed altri ricercatori sostengono che la resistenza decresca con l'aggiunta di materiale fine non plastico, ma che oltre un certo limite questa resistenza inizi ad aumentare. Ciò avviene perché la resistenza a liquefazione è direttamente correlata alla densità relativa dei materiali.

Ciò premesso, ed ai fini dello studio in parola, sono state effettuate prove di caratterizzazione fisica sia della sabbia di Coimbra tal quale che della sabbia limosa (con aggiunta del 20% di particelle fini non plastiche).

In particolare sono state effettuate le analisi granulometriche, la determinazione della densità delle particelle solide e del peso di volume massimo e minimo in corrispondenza dei quali sono stati calcolati gli indici dei vuoti minimo e massimo.

---

[1] (Polito, C. P., and Martin, I., J. R. (2001)"Effects of Nonplastic Fines on the Liquefaction Resistance of Sands." Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 127(5), 408-415.)

Terreno	Indice dei vuoti	
	e_{min}	e_{max}
Sabbia di Coimbra	0,48	0,81
Sabbia limosa	0,29	0,78

Conoscendo i valori degli indici dei vuoti minimi e massimi per la sabbia pura e la sabbia limosa, sono stati valutati l'influenza dell'aggiunta di fine sulla densità relativa della sabbia di Coimbra, per due differenti indici dei vuoti.

Terreno	Densità relativa (%)	
	e = 0.74	e = 0.54
Sabbia di Coimbra	21%	82%
Sabbia limosa	8%	49%

Gli indici dei pori massimi e minimi e, di conseguenza la densità relativa, decrescono con l'aggiunta di fine.

Tra la sabbia tal quale e la sabbia limosa si ha quindi un decremento maggiore dell'indice dei vuoti minimo rispetto a quello massimo con conseguente diminuzione di densità relativa, la quale risulta più accentuata per un indice dei vuoti più prossimo allo stato più denso dato che tutte le particelle fini sono contenute nei vuoti originati dalla struttura della sabbia.

A seguito della caratterizzazione fisica dei materiali, è stata eseguita, insieme ad un gruppo di ricerca dell'IST, una serie di prove triassiali monotoniche e di torsione ciclica, in condizioni non drenate, sui due materiali oggetto di studio, tenendo presente che le azioni reali da simulare tendono a verificarsi ad una velocità tale che, nonostante l'elevata permeabilità della sabbia, le condizioni sono verosimilmente non drenate, in quanto la velocità di applicazione del carico è maggiore della velocità di consolidazione come in caso di sisma.

Le prove triassiali sono di grande interesse in quanto consentono, da un lato, di definire le condizioni al contorno ed i percorsi di tensione e, dall'altro, di controllare le condizioni di drenaggio e la velocità di deformazione. Tuttavia, nel caso della sabbia, il prelievo di

campioni indisturbati non è possibile, il che non consente la ricostruzione delle condizioni iniziali presenti in situ.

Nelle prove svolte si è cercato, inoltre, di comprendere in che misura le tensioni efficaci di consolidazione e la densità relativa dei campioni possano influenzare la risposta non drenata della sabbia quando sollecitata ciclicamente.

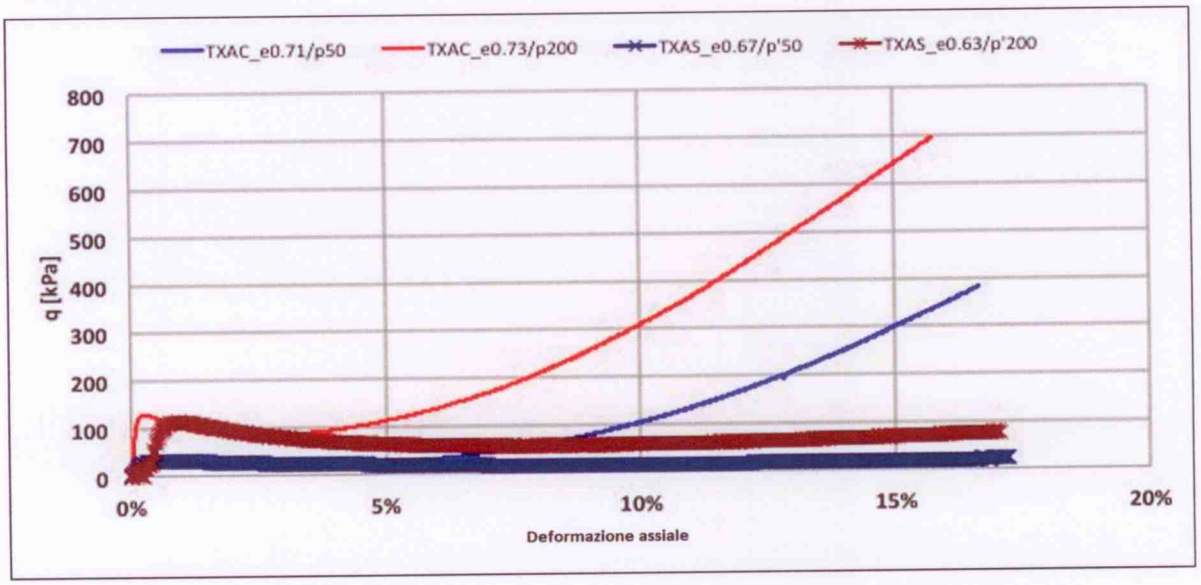
Pertanto, tutte le prove di laboratorio sono state effettuate per densità relative del 20 e dell'80% e per tensioni di confinamento inziali di 50 e 200 kPa.

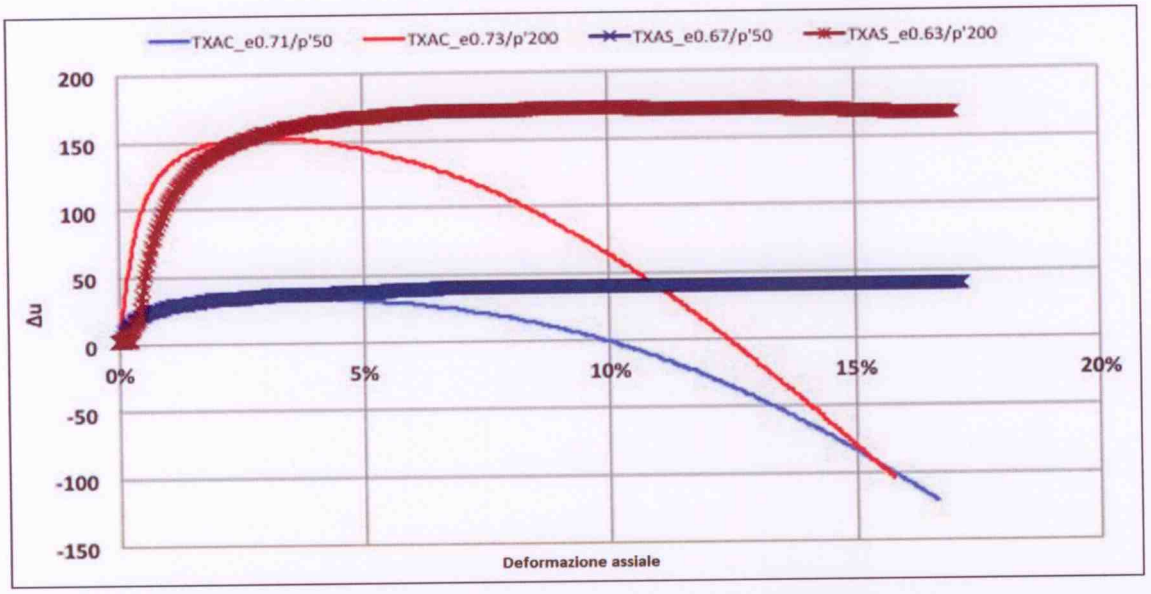
Sebbene nel corso del lavoro sperimentale sia stata possibile la preparazione, con relativa facilità, dei campioni di sabbia di Coimbra con indice dei vuoti pari 0.74, non è stato possibile procedere alla preparazione di campioni di sabbia limosa con lo stesso indice dei vuoti che rimanessero stabili o avessero dimensioni standard. Pertanto, per la sabbia limosa, si è dovuto scegliere un indice dei vuoti differente pari a 0.65.

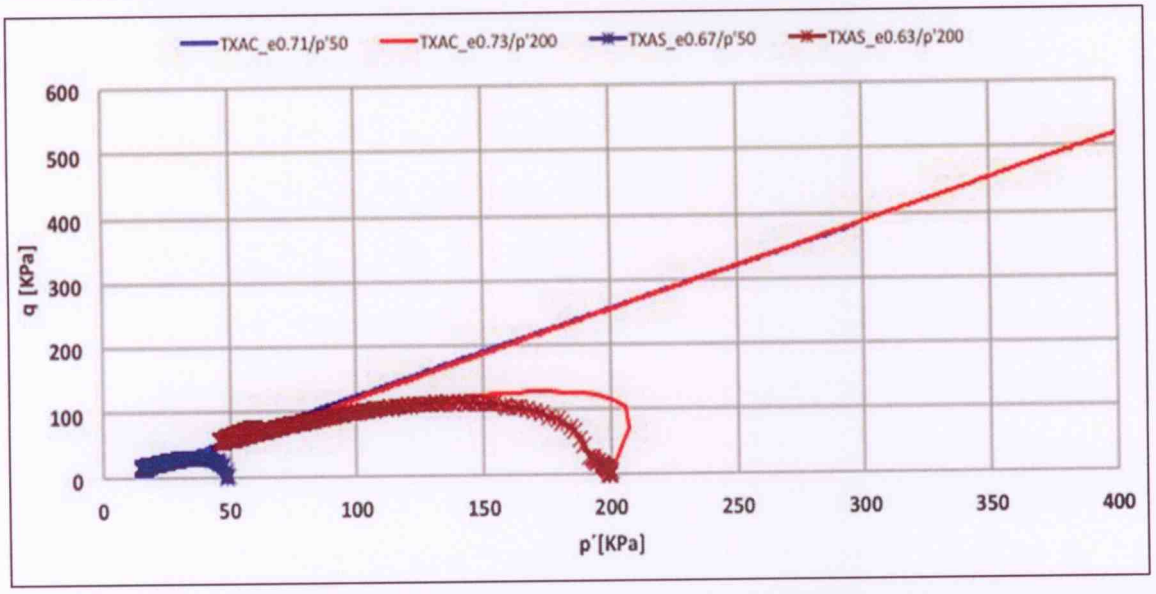
Nelle prove triassiali monotoniche si è osservato:

- per la sabbia di Coimbra tal quale: un comportamento tendenzialmente contraente fino a deformazioni assiali del 3-4% e dilatante fino al termine della prova;
- per la sabbia limosa: un decremento della tensione deviatorica fino a deformazioni assiali di circa il 10% ed un leggero aumento della tensione deviatorica per grandi deformazioni.

Nel caso della sabbia limosa si è ottenuta, quindi, una maggiore suscettibilità alla liquefazione statica.





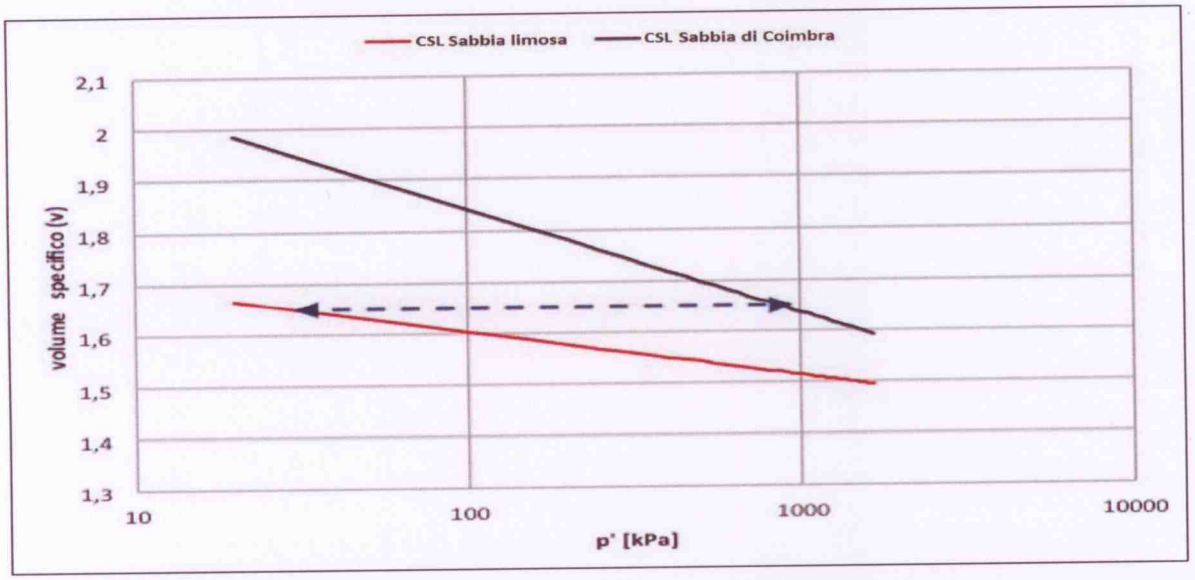


Tuttavia, non è stato possibile raggiungere, nelle prove triassiali realizzate, per alcun materiale studiato, la liquefazione con caricamento monotonico.

Si ritiene che le tensioni di confinamento non siano state abbastanza elevate per il verificarsi di tale fenomeno.

A causa della elevata dilatanza della sabbia di Coimbra, è stato anche necessario studiare l'influenza del fenomeno della cavitazione, avvenuta durante l'esecuzione della prova triassiale non drenata sulla sabbia di Coimbra allo stato denso.

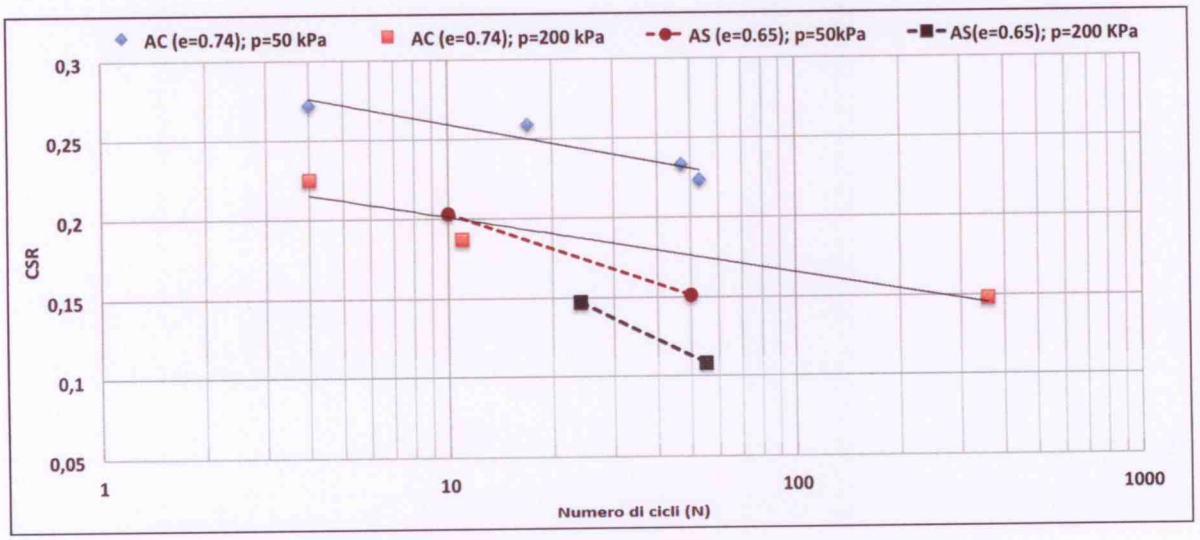
È stato dimostrato che questo fenomeno ha influenzato la determinazione della CSL, sebbene non il valore ottenuto di Mc.



Comparando le due curve di stato critico (CSL) per i materiali studiati, si osserva che la presenza di particelle fini non plastiche provoca una traslazione ed una attenuazione della pendenza della CSL, riducendo la tensione critica del terreno per un dato indice dei vuoti.

Nelle prove torsionali cicliche, con l'aggiunta del 20 % di fine alla sabbia di Coimbra, si è osservato un decremento del numero di cicli di caricamento necessari al raggiungimento della liquefazione per un dato sforzo di taglio applicato (CSR).

Inoltre, per entrambi i materiali si è verificato sperimentalmente che, all'incremento della tensione di confinamento efficace iniziale, corrisponde una decremento della resistenza ciclica.



Si è constatato, pertanto, che:

- La sabbia di Coimbra addizionata al 20% di particelle fini non plastiche è più suscettibile alla liquefazione rispetto alla sabbia di Coimbra tal quale.
- Le particelle fini non plastiche giocano un ruolo negativo nella resistenza del materiale e incrementano la suscettibilità alla liquefazione.

Il presente lavoro di tesi, se da un lato ci ha consentito di rispondere ad alcune domande poste inizialmente sull'argomento in questione, dall'altro lato, ha fatto sorgere altre domande e/o dubbi a causa delle difficoltà incontrate durante il percorso sperimentale. Pertanto, per quanto riguarda i possibili sviluppi futuri sull'argomento trattato, si riterrebbe opportuno:

- caratterizzare fisicamente e meccanicamente la sabbia di Coimbra con differenti percentuali di fine non plastico, oltre il 20%, in modo da tracciare l'evoluzione della sua resistenza a liquefazione. Sarà altrettanto importante determinare la percentuale limite di fine non plastico e la definizione di un indice dei vuoti che consenta, nella pratica, il montaggio dei campioni della sabbia di Coimbra con diverse percentuali di fine.
- utilizzare maggiori tensioni di confinamento, nelle prove triassiali, in modo da poter osservare il fenomeno della liquefazione con caricamento monotonico, sia nella sabbia di Coimbra che nella sabbia limosa;
- effettuare prove di torsione ciclica con frequenza di caricamento inferiore (per esempio: 0.1 Hz), per garantire che i campioni abbiano il tempo sufficiente per reagire a ciascun ciclo di caricamento. L'obiettivo sarebbe comprendere se, in queste condizioni, continua a verificarsi un decremento del CSR imposto durante la prova.