

Laurea Magistrale in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio

TITOLO DELLA TESI: Analisi sperimentale della rigidezza a piccoli livelli di deformazioni di una ghiaia nel corso di prove cicliche non drenate.

Il lavoro svolto nel corso della tesi si inserisce in una attività di ricerca in corso nel Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Geotecnica ed Ambientale (DIGA) dell'Università di Napoli Federico II sul comportamento meccanico dei terreni di fondazioni del ponte sullo Stretto di Messina (sito di Cannitello, Reggio Calabria).

Come è ben noto, il ponte sullo stretto di Messina vuole essere una delle opere più importanti e tecnologicamente avanzate mai realizzate dall'uomo, e ricade in una delle zone a più alto rischio sismico d'Italia e dell'intero continente europeo. I terreni di fondazione del Ponte sullo Stretto sono essenzialmente dei terreni a grana grossa (da sabbia debolmente ghiaiose a ghiaie debolmente sabbiose) in condizioni di totale saturazione, e quindi suscettibili al fenomeno della liquefazione (durante un evento sismico).

A causa della rilevanza del progetto, è stata eseguita una vasta campagna di indagini in sito ed in laboratorio finalizzata allo studio del comportamento meccanico dei terreni di fondazione in condizioni di carico monotono e ciclico. La sperimentazione in laboratorio è stata eseguita su campioni indisturbati prelevati grazie alla moderna tecnica del congelamento in sito.

La granulometria dei terreni interessati va da sabbie uniformi con una piccolissima percentuale di ghiaia a sabbia e ghiaia ben assortiti. Possono essere chiaramente riconosciute tre famiglie di terreni:

- *Terreno A*: è una sabbia piuttosto uniforme con una percentuale veramente piccola di ghiaia;

- *Terreno B*: questo terreno ha tipicamente un salto nella curva granulometrica, con una matrice di sabbia con grandi particelle, le quali possono essere definite “floating”, con una seconda frazione granulare con una percentuale più bassa del 30-40%;
- *Terreno C*: è un terreno con un buon assortimento di sabbia e ghiaia.

Nell’ambito del lavoro di tesi sono state eseguite nove prove triassiali cicliche non drenate su campioni di tutte e tre le famiglie granulometriche, al fine di studiare la suscettibilità alla liquefazione dei terreni. Le prove sono state condotte in una cella triassiale di grandi dimensioni messa a punto nel laboratorio del DIGA per la caratterizzazione meccanica dei terreni a grana grossa o molto grossa. Tale cella è stata strumentata anche per la misura della velocità di propagazione di onde di taglio (onde S) all’interno del provino. Da tale misura è possibile ricavare il modulo di taglio a piccoli livelli di deformazione (G_0) e la sua evoluzione nel corso della prova.

Campione	Curva	e	f(e)	liquefa	n°cicli		CSR	ρ (kg/m ³)	G_0 (Mpa)	f [Hz]
					Ru=0.9	$\epsilon_{DA}=2.5\%$				
bh2 505 b C 12 27.80-28.25	B	0.58	3.61	m.c.	-	-	0.45	2025	575	0.01
bh2 505 b3 C 6 pr1 20.30_20.90	A	0.37	4.92	m.c.	-	4	0.52	2254	708	0.01
bh2 505 b3 C 8 pr 2 22.10_23.20	C	0.52	3.95	m.c.	-	12	0.50	1790	717	0.01
bh2 505 b3 c8 pr1 22.10_23.20	A	0.70	3.01	m.c.	-	-	0.33	1970	717	0.01
campione 6 bh2 505 b 21.40 21.78 27_01_201	C	0.48	4.17	SI	6	5	0.35	2079	649	0.003
campione 10 bis bh2 505 b 25_01_2011	C	0.46	4.30	SI	7	7	0.32	2110	630	0.01
FCBH2505B_campione 10(25.55_26.20)	B	0.60	3.50	SI	85	87	0.25	1962	630	0.01
bh2 505 b3 c5bis 19.20-19.70	A	0.57	3.69	SI	29	35	0.22	2066	754	0.01
campione 7 24012011	A	0.66	3.22	SI	3	3	0.26	1969	590	0.01
ricostituito		0.53	3.87	SI	4	4	0.22	2020	369	0.01

Delle nove prove cicliche non drenate eseguite su campione naturale, cinque sono state precedute da una fase di consolidazione isotropa; mentre le rimanenti quattro sono state precedute da una fase di consolidazioni anisotropa ($K_0=0.47$).

Nel corso delle prove, dato l'impossibilità di osservare visivamente l'innesco del fenomeno della liquefazione, si è assunto che tale fenomeno si verificasse quanto vengono raggiunti e/o superati almeno uno dei seguenti valori limiti:

$R_{u,liq}=0.9$ (facendo riferimento allo stato tensionale);

$\varepsilon_{DA}>2.5\%$ (facendo riferimento alle deformazioni cumulate in un ciclo).

Dall'elaborazione delle prove si è osservato che nei campioni che giungono a rottura per liquefazione ($R_{u,max}>0.9$ oppure $\varepsilon_{DA}>2.5\%$), i valori di G_0 diminuiscono all'aumentare di R_u (e quindi al diminuire di p'), senza mai annullarsi completamente.

Comportamento diverso invece è stato osservato per le due prove che sviluppano mobilità ciclica: in questi casi i valori di R_u non superano mai un valore massimo di 0.7 (non si ha mai l'annullamento delle tensioni efficaci) ed i valori di G_0 restano pressochè costanti nel corso della prova. Ciò conferma la dipendenza di G_0 dalle tensioni medie efficaci.

Tuttavia un ruolo fondamentale è giocato anche dallo stato di addensamento del materiale, infatti come è ben noto in letteratura i terreni aventi maggiore peso secco per unità di volume presentano valori dei moduli di rigidezza più elevati, il fenomeno può essere ragionevolmente attribuito al maggior numero di contatti che caratterizza le particelle di terreni molto addensati riducendone la mobilità. Per tener conto di questo fenomeno si utilizza una funzione dell'indice dei vuoti $f(e)$.

Una seconda parte della tesi è stata dedicata alla ricerca di un modello meccanico capace di interpretare lo schema costituito del campione disposto nella cella triassiale. Partendo dalle misure delle velocità delle onde di taglio (V_s), ed analizzando gli spettri di Fourier delle onde di in-put e le onde di out-put, è stato possibile ricavare la frequenza caratteristica del primo modo di vibrare del sistema. attraverso la relazione:

$$V_s = f \cdot \lambda = f \cdot \frac{\beta \cdot L}{n}$$

Si è individuato attraverso i valori di β lo schema meccanico che meglio schematizza il grado di vincolo a cui è sottoposto il provino nel corso della prova.

È stato interessante osservare come, per le prove che arrivano a liquefazione, lo schema meccanico evolve passando da una trave a mensola (all'inizio della prova) ad una trave incastrata-incastrata agli estremi (in prossimità della liquefazione) Fig.1.

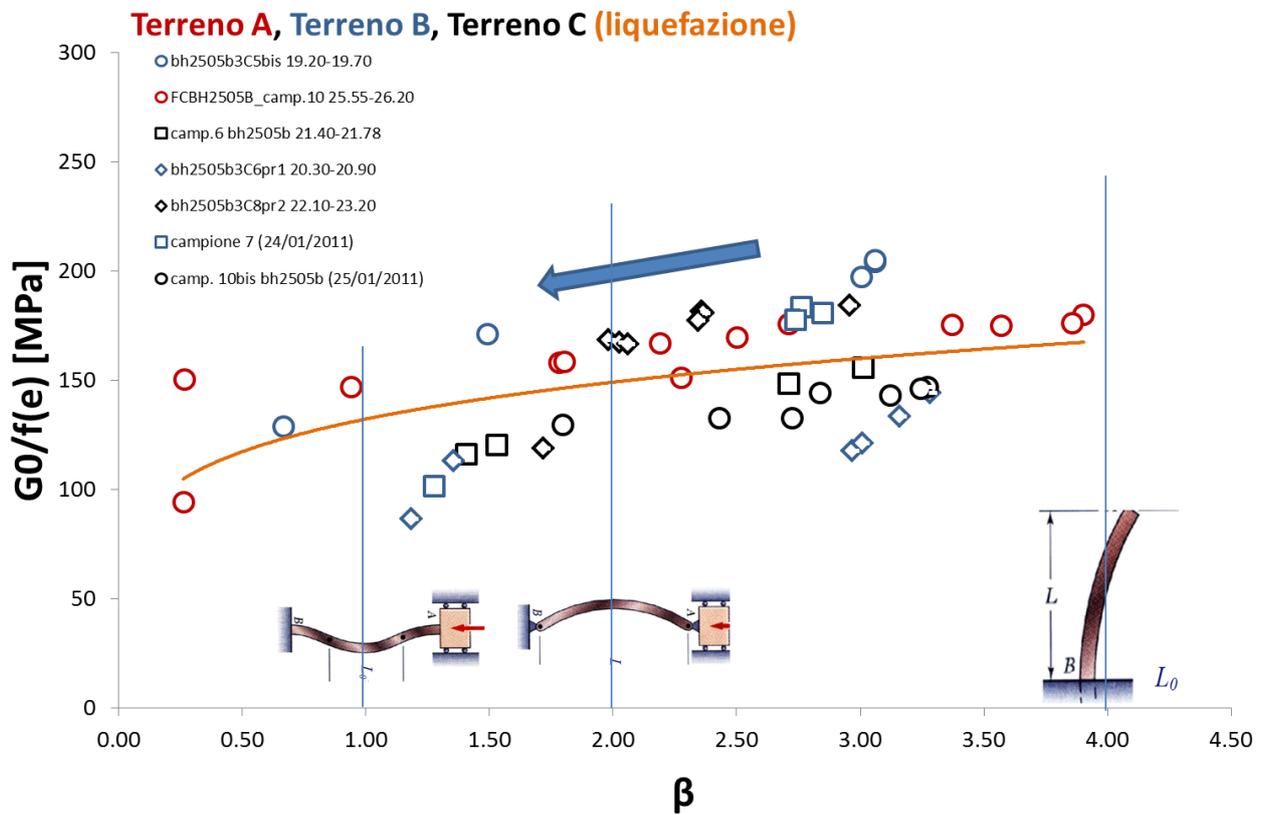


Figura 1-Evoluzione dello schema meccanico nel corso di prove che arrivano a rottura per liquefazione

grado di vincolo che le basi della cella triassiale esercitano sul privino stesso nel corso della prova. Nel caso invece delle prove che sviluppano mobilità ciclica, si osserva come i valori di β restano costanti nel corso della prova, così come i valori del modulo di taglio G_0 .