

**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI  
FEDERICO II**



**Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale**  
**Corso di Laurea Magistrale in**  
**INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO**

**TESI DI LAUREA**

**Messa a punto di una cella triassiale servocontrollata di  
grandi dimensioni e sperimentazione sulla ghiaia di Messina**

Relatore

Ch.mo Prof. Ing. A. Flora

Correlatore

Prof. Ing. S. Lirer

Candidato

Sgariglia Lavinia

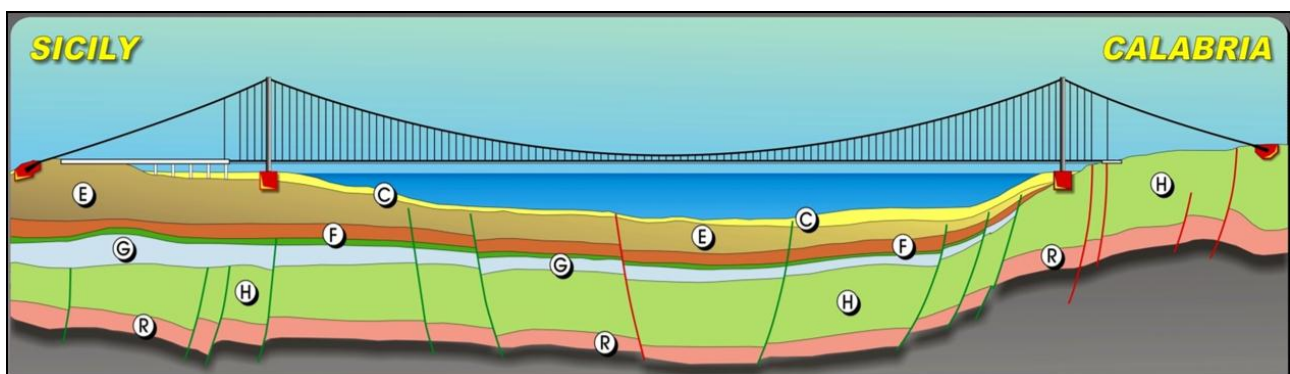
Matr. M67/92

Anno Accademico 2013 – 2014

## Premessa

Nel corso degli ultimi anni, presso il laboratorio geotecnico del DICEA sono state svolte molte prove di laboratorio per la caratterizzazione meccanica dei terreni di fondazione del ponte sullo stretto di Messina, per il quale era in corso l'attività di progettazione definitiva. La convenzione attivata a tal fine prevedeva in particolare l'esecuzione di prove triassiali su campioni indisturbati prelevati a mezzo di congelamento dal banco denominato "ghiaie di Messina". A causa della dimensione dei grani di questo terreno, è stato a tal fine necessario utilizzare un'apparecchiatura di grandi dimensioni.

La sperimentazione svolta nell'ambito di quella convenzione ha consentito sia la caratterizzazione fisico meccanica dei terreni in campo statico, sia il tracciamento di curve di suscettibilità alla liquefazione che sono state di ausilio per la progettazione degli interventi in fondazione per le pile del ponte.



## Obietti del lavoro di tesi svolto:

La presente tesi si inserisce nell'ambito delle attività di caratterizzazione delle ghiaie di Messina materiali, ad integrazione dei risultati già esistenti.

In particolare, sono state svolte attività sperimentali in laboratorio aventi lo scopo di verificare:

- a) il corretto funzionamento della cella triassiali di grandi dimensioni
- b) l'influenza del campionamento indisturbato sul comportamento meccanico delle ghiaie
- c) la correttezza dell'usuale procedura di esecuzione delle prove triassiali cicliche non drenate eseguite per la verifica della suscettibilità alla liquefazione

Il materiale utilizzato per la sperimentazione proviene dal sito di Cannitello, situato in una delle zone sismiche più pericolose in Italia, sulla sponda calabrese dello stretto di Messina.

### a) Verifica del funzionamento dell'apparecchiatura utilizzata

Il complesso percorso tensionale di taglio ciclico sperimentato dal terreno durante un terremoto può essere riprodotto in laboratorio con prove triassiali cicliche. Tali prove sono state ampiamente utilizzate per valutare la potenziale liquefazione del suolo fin dai primi anni '60, perché sono abbastanza semplici e piuttosto comuni. Inoltre, quando si tratta di terreni a grana grossa, come in questo lavoro, sono fondamentalmente le uniche prove possibili, in quanto sono necessari apparati oversize. Nel laboratorio geotecnico del DICEA sono attualmente presenti due celle triassiali di grandi dimensioni. La cella HPSP, utilizzata in questa sperimentazione, è la più recente delle due. Essa consente di effettuare prove triassiali su terreni a grana grossa con controllo del percorso di carico, a velocità di carico o spostamento controllato in retroazione. Essa è completamente automatizzata, sia per quanto riguarda l'acquisizione dei dati sia per il controllo delle prove. La macchina è adatta all'uso su provini di diametro 100 mm o 200 mm ed è in grado di applicare un carico assiale superiore ai 200 kN con una pressione di cella massima pari a 1.2 MPa.

Il software di controllo dell'apparecchiatura è stato scritto in collaborazione tra i docenti di geotecnica del DICEA e la società MEGARIS, che ha realizzato l'apparecchiatura. Siccome si tratta di un prototipo, il software è soggetto a continui e periodici aggiornamenti, per migliorare la *performance* dell'apparecchiatura sulla base delle evidenze sperimentali disponibili.

In particolare, nel corso delle ultime prove monotoniche eseguite con la HPSP prima dell'avvio di questa tesi era stato osservato un malfunzionamento di alcune funzioni di controllo. La prima attività di tesi è stata quindi quella di verificare l'esistenza di tale malfunzionamento, accertarne la rilevanza sui risultati, trovare una soluzione ed implementarla nella procedura automatica di controllo.

Sono state svolte, a tale scopo, prove preliminari monotoniche in compressione e in estensione (con ciò intendendo le prove nelle quali la tensione verticale – sempre positiva – diventa quella principale minima). Durante lo svolgimento delle prove, ci si è resi conto dell'esistenza di due problematiche:

1. perdita di controllo dello stato tensionale durante la fase di saturazione del provino, con conseguente riduzione della pressione verticale e conseguente indesiderata deformazione del provino.

La figura 1 mostra questo difetto nel corso di una prova in cui si desiderava che la tensione applicata fosse isotropa ( $q=0$ ).

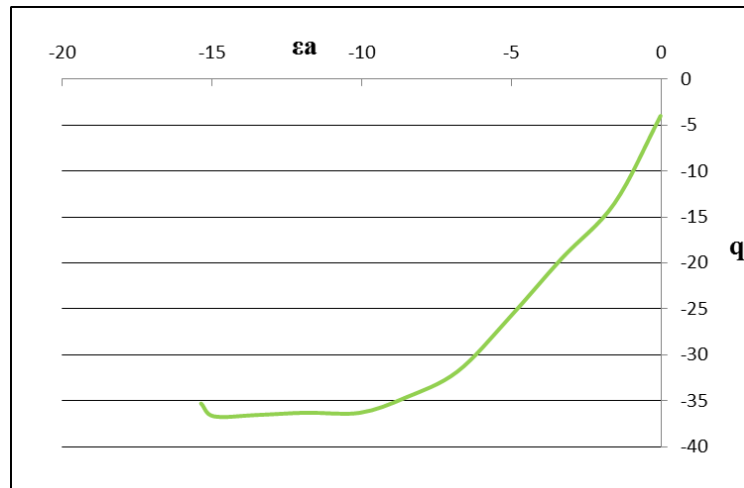
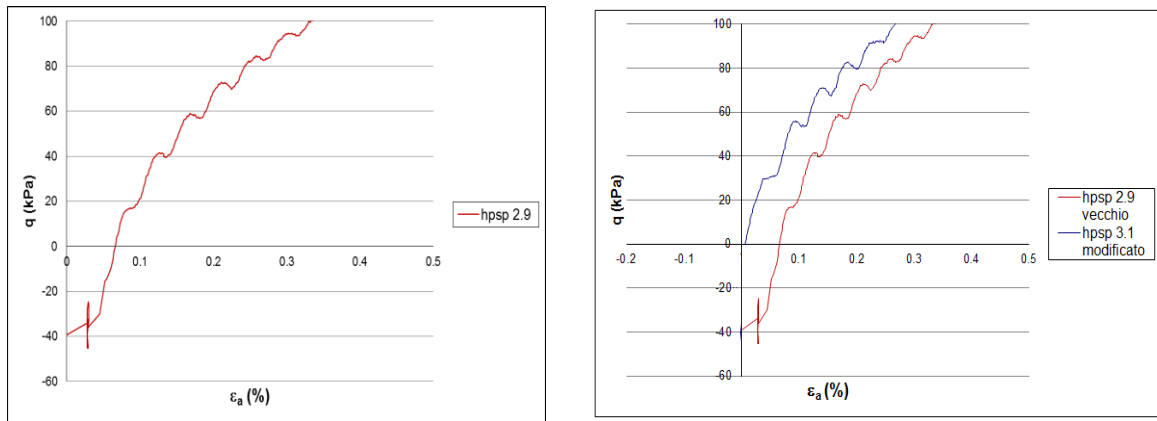


Fig.1

Si è studiata quindi la procedura di controllo in questa fase di prova e si è osservato che il difetto era legato ad un'assenza di chiusura del *loop* di retroazione sulle tensioni di confinamento verticale ed orizzontale. Tale difetto era stato nel passato risolto con un controllo manuale delle tensioni, che però rendeva necessaria la presenza continua di un operatore e rendeva possibili errori di controllo. Per risolvere tale problema è stato quindi impostato un loop chiuso che permette di portare le tensioni radiale e assiale dal valore iniziale assunto all'atto della chiusura della cella, letto dalla strumentazione, al valore di partenza per l'inizio della saturazione ( $\sigma_{\text{assiale}} = \sigma_{\text{radiale}} = 50$  kPa). Si è quindi imposto un *rate* in kPa/h in modo da ottenere un aumento del valore della  $\sigma$  in un tempo prestabilito dell'ordine del qualche minuto ( $\approx 5$  minuti).

## 2. Difficoltà del controllo dello stato tensionale all'inizio della prova a velocità di deformazione controllata

Osservando la figura 2(a) si nota che, all'atto della partenza della prova a velocità di deformazione controllata, si ha una riduzione del valore del carico deviatorico  $q$  e di  $\epsilon$ . Tale andamento è dovuto ad una complessa *routine* impostata in una centralina *hardware*, che consente il passaggio dai sensori di pressione a quelli di spostamento per il controllo in retroazione dell'apparecchiatura. Tale routine lega il valore del deviatore  $q$ , misurato della cella di carico, alla posizione dell'attuatore del pistone a doppio effetto (RAM) controllato da una servovalvola. Per la risoluzione di tale problematica è stata apportata una modifica al software che ha di fatto ridotto il tempo di controllo della routine, passando quindi dalla versione 2.9 alla versione 3.1.



(a)

Fig.2

(b)

Dalla fig.2(b) si può notare che il problema riscontrato con la versione del software 2.9 è risolto.

### b) Influenza del campionamento indisturbato sul comportamento meccanico delle ghiaie

Una volta risolti i problemi legati al funzionamento dell'apparecchiatura, il primo obiettivo dello studio condotto è stato quello di confrontare il comportamento del materiale rimaneggiato sottoposto a sollecitazioni cicliche, che simulano nel campione le sollecitazioni indotte dal sisma, con la risposta ottenuta con il materiale indisturbato.

Dopodiché si è esteso lo studio effettuando ulteriori prove sui campioni rimaneggiati facendo variare lo stato di addensamento del terreno.

Le prove svolte sono prove cicliche consolidate anisotropicamente non drenate CCK0U.

La sperimentazione effettuata ha indicato che i risultati ottenuti su campioni indisturbati o rimaneggiati sono di fatto equivalenti (fig.4). Tale esito era anche prevedibile data la giovane età del banco di estrazione del materiale. Questo significa che la tecnica di congelamento per campionare il materiale a grana grossa non influenza il comportamento meccanico del suolo e quindi, considerando gli elevati costi per la realizzazione della procedura di campionamento, in terreni geologicamente giovani non è strettamente necessaria ai fini pratici

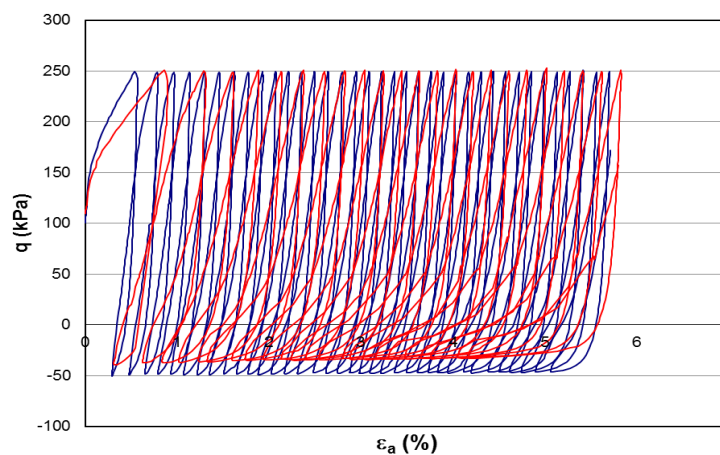
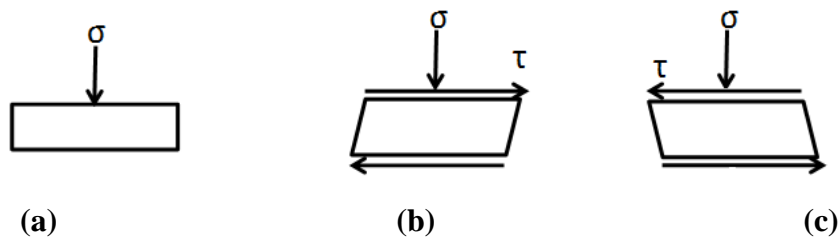


Fig.3

Le prove rimaneggiate sono quindi state estese ad altri valori del grado di addensamento, consentendo di ottenere utili informazioni sul comportamento del materiale.

**c) Correttezza dell'usuale procedura di esecuzione delle prove triassiali cicliche non drenate eseguite per la verifica della suscettibilità alla liquefazione**

Durante il terremoto, un elemento di terreno nel sottosuolo è soggetto ad un complesso sistema di deformazioni di taglio cicliche risultanti da una sequenza irregolare di sollecitazioni nel suolo indotte dal terremoto stesso. Lo stato tensionale agente su un piano orizzontale nel terreno in sito (fig. 4) non può essere riprodotto in modo rigoroso nella cella triassiale, in cui ad esempio le tensioni principali non possono ruotare.



**Fig 4**

Pertanto, nel tempo è stata elaborata una procedura semplificata di esecuzione delle prove che è diventata di uso comune per la verifica alla liquefazione. Questa procedura, originariamente suggerita da Seed e Lee (1968), è stata implementata in tutti i laboratori geotecnici, trascurando una correzione teorica delle pressioni neutre che gli autori invece suggerivano.

In questa tesi, grazie alla disponibilità di un'apparecchiatura sofisticata, si sono quindi effettuate prove cicliche secondo una procedura più complessa e realistica (che definiamo modificata), confrontando i risultati con quelli ottenuti con la procedura tradizionale, eventualmente corretti con la correzione teorica suggerita da Seed e Lee.

Le figure da 5 a 7 sono riportate a titolo di esempio dei risultati ottenuti. Si osserva che la modifica del percorso di carico induce una maggiore ampiezza delle oscillazioni delle sovrappressioni neutre, ma non altera in modo significativo il numero di cicli per il quale il materiale raggiunge la liquefazione (fig. 8).

Si può quindi concludere che la procedura tradizionale, ancorché non rigorosa dal punto di vista del percorso di carico imposto, è utilizzabile in modo affidabile e preferibile per la sua maggiore semplicità.

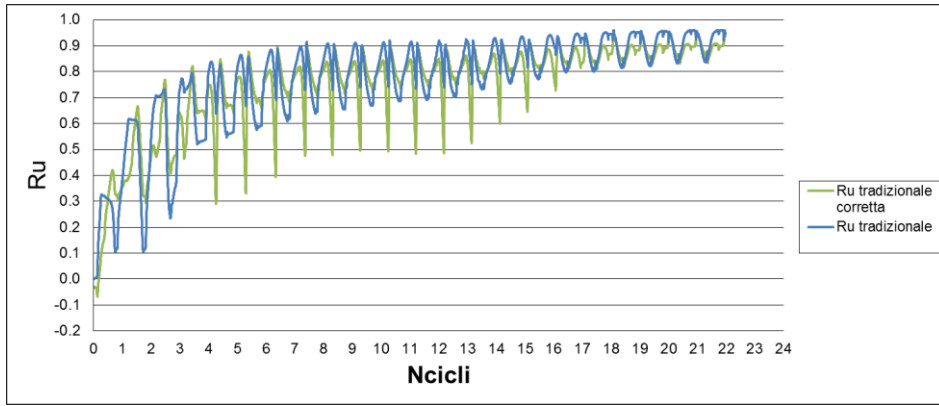


Fig. 5

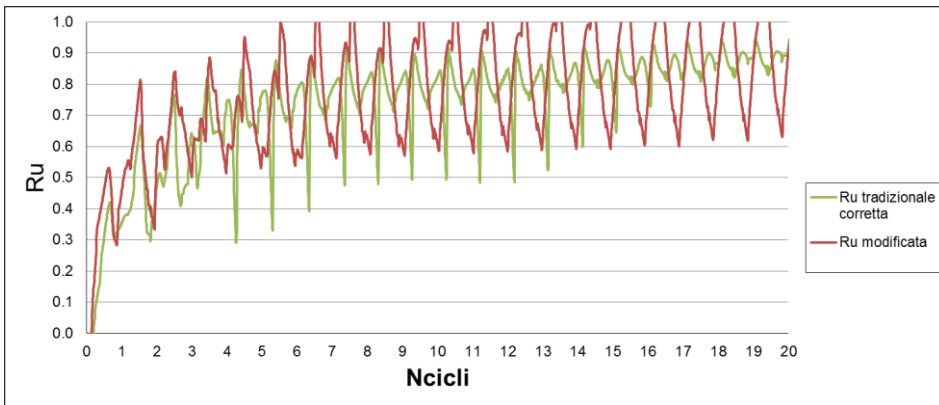


Fig. 6

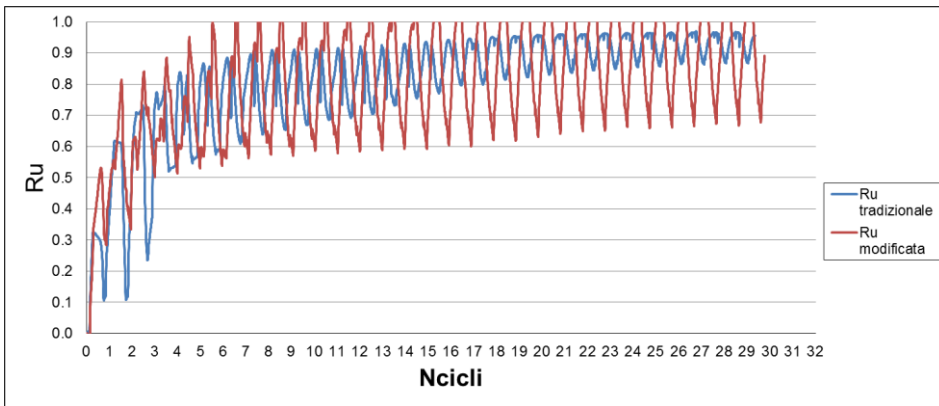


Fig. 7

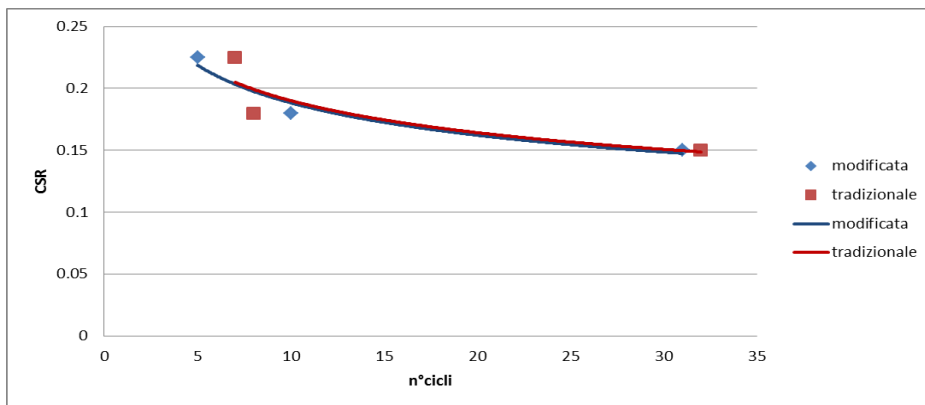


Fig.8