

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI NAPOLI

FEDERICO II



Scuola Politecnica e delle Scienze di Base

Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile ed Ambientale

**CORSO DI LAUREA SPECIALISTICA IN INGEGNERIA PER
L'AMBIENTE E IL TERRITORIO**

(CURRICULUM DIFESA DEL SUOLO)

(CLASSE DELLE LAUREE IN INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE, CLASSE N° L-7)

ABSTRACT

**“ANALISI SPERIMENTALE DELLA SUSCETTIBILITA’
ALLA LIQUEFAZIONE DI UNA SABBIA FINE”**

RELATORE:

Ch.mo Prof. Ing. Alessandro FLORA

CANDIDATO:

Emanuele MASI M67/260

CORRELATORE:

Ing. Lucia MELE

ANNO ACCADEMICO 2016/2017

1. Introduzione

Il presente lavoro di tesi si pone l'obiettivo di analizzare la resistenza alla liquefazione di una sabbia a bassi stati tensionali di confinamento e di definire tecniche di consolidamento innovative per ridurre il rischio da questo tipo di fenomeno. La liquefazione interessa i depositi granulari saturi i quali, sotto azioni sismiche, possono trovarsi in tempi brevi in condizione di drenaggio impedito passando, transitoriamente, da uno stato solido ad uno liquido. Il sisma dell'Emilia Romagna del 20 maggio 2012 ha messo in evidenza come ormai anche l'Italia sia interessata da fenomeni di liquefazione, potenzialmente dannosi per la vulnerabilità di strutture e infrastrutture. Per questo motivo, l'Università degli Studi di Napoli Federico II è stata coinvolta all'interno del progetto europeo LIQUEFACT, al fine di definire delle tecniche di consolidamento, simulate attraverso prove di laboratorio, che possano ridurre il potenziale di liquefazione.

La sperimentazione si basa sulla caratterizzazione statica e dinamica di un particolare tipo di sabbia interessata dal fenomeno della liquefazione. L'obiettivo della ricerca è quello di approfondire, a scala di laboratorio, la desaturazione come tecnica di mitigazione contro il fenomeno della liquefazione.

La sabbia, oggetto delle analisi di laboratorio, è stata prelevata a Pieve di Cento (BO), sito caratterizzato dal fenomeno della liquefazione durante il terremoto emiliano del maggio del 2012.

La prima parte della ricerca è stata interessata dalla caratterizzazione della sabbia nei primi due metri trovando la sua curva granulometrica, il peso specifico ed e_{max} ed e_{min} .

Per individuare la stratigrafia del sito sono state trovate delle curve granulometriche della sabbia prelevata dai sondaggi a diverse profondità. Le curve sono di seguito riportate:

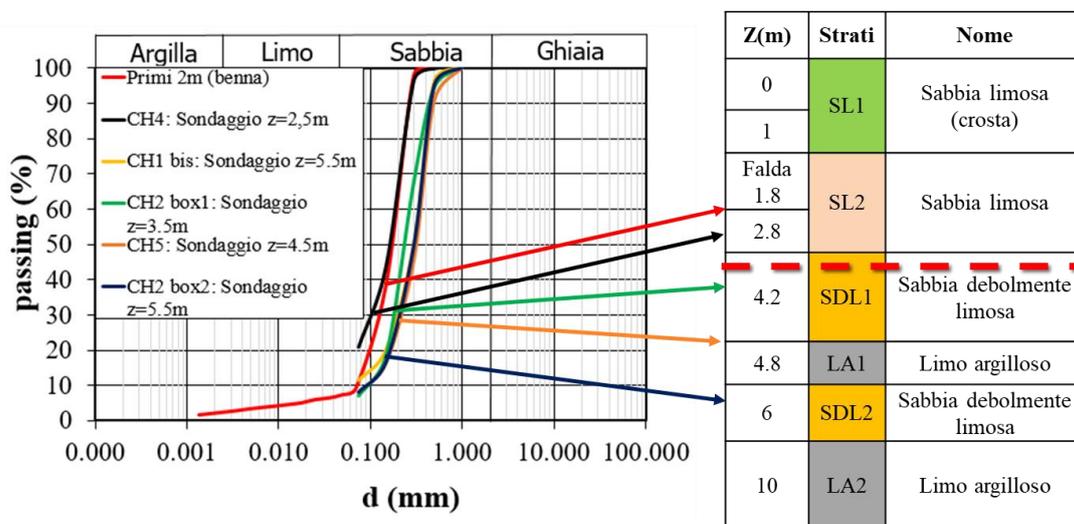
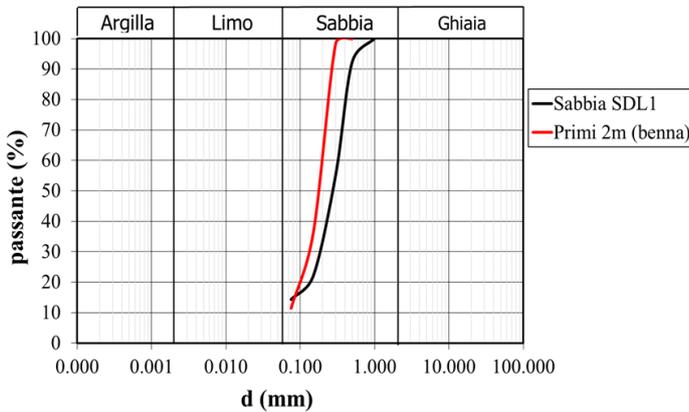


Figura 1.1 – Curve granulometriche Pieve di Cento (BO)-Sondaggi

In sito si effettuerà l'intervento di desaturazione nei primi 3 m di profondità dal piano campagna, ragion per cui l'attenzione è stata posta sulla sabbia debolmente limosa che caratterizza tale strato nella colonna stratigrafica. Un'unica curva granulometrica media è stata ottenuta per la sabbia SDL ed è riportata in *Fig.1.2* insieme alla curva della sabbia nei primi 2 m:



Caratteristiche	PdC_2m
Gs	2.667
$e_{\max}-e_{\min}$	1.04-0.55
D_{50} (mm)	0.18
$U_c (=d_{60}/d_{10})$	2.67
FC($d<0,075\text{mm}$) (%)	11.4

Caratteristiche	PdC_SDL1
Gs	2.509
$e_{\max}-e_{\min}$	0.77-0.36
D_{50} (mm)	0.18
$U_c (=d_{60}/d_{10})$	3.76
FC($d<0,075\text{mm}$) (%)	14.0

Figura 1.2 – Curve granulometriche Pieve di Cento (BO)- Strati SDL1/SDL2 e primi 2m

2. Sperimentazione

Per la caratterizzazione statica e ciclica dei materiali sono state utilizzate principalmente due apparecchiature: apparecchiatura di taglio semplice (CSS) e cella triassiale del tipo Bishop & Wesley a percorso di carico controllato (CTX), disponibili presso il laboratorio di Geotecnica della Federico II mentre per l'esecuzione di prove dinamiche di laboratorio su terreni a bassi livelli deformativi sono state effettuate delle prove di colonna risonante attraverso la cella di taglio torsionale THOR.



Figura 1.3 – Cella triassiale del tipo Bishop & Wesley



Figura 1.4 – Apparecchiatura di taglio semplice (CSS)

2.1. Prove di laboratorio: risultati

2.1.1. Prove triassiali

Le prove triassiali condotte sono sia monotone, per caratterizzare il terreno staticamente, che cicliche, per individuare il comportamento del terreno sotto azioni sismiche.

2.1.1.1. Prove triassiali monotone

Per la caratterizzazione statica del materiale sono state effettuate 8 prove sulla sabbia nei primi 2 m e 3 prove sulla sabbia SDL1 al fine di determinare *angolo di attrito di stato critico* e *Critical State Line* (CSL) nel piano ($e-p'$).

In Fig.1.5 si riportano i percorsi di carico di ogni prova nel piano ($q-p'$) dove le prove mostrano una pendenza dell'involuppo di rottura $M=1.26$ che restituisce un valore dell'angolo di attrito di stato critico $\varphi=31.5^\circ$. Al fine di ricavare la CSL sono stati inseriti nel piano ($e-p'$) i valori corrispondenti allo stato critico (Fig.1.6).

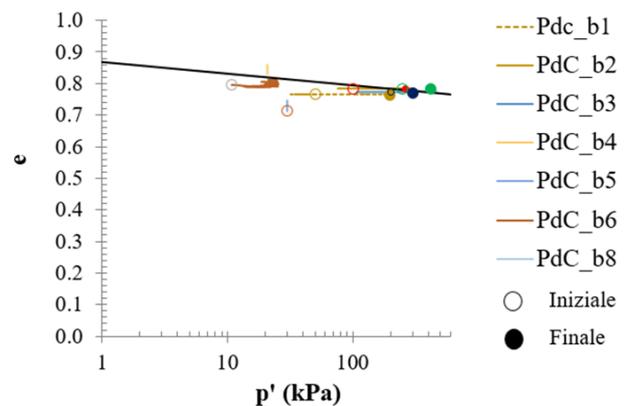
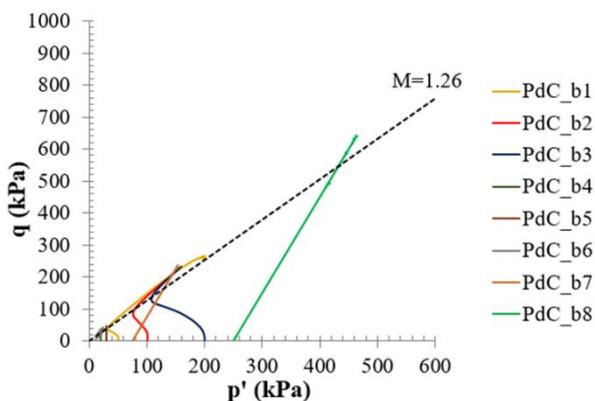


Figura 1.5 – Percorso tensionali nel piano $q-p'$

Figura 1.6 – Critical State Line (CSL)

2.1.1.2. Prove triassiali cicliche

Per la misura delle proprietà dinamiche dei terreni si sono effettuate delle prove triassiali cicliche. Consistono nell'applicazione di un carico ciclico di compressione (o estensione) su un provino cilindrico. Le prove sono condotte a tensione controllata e sono utili per studiare fenomeni di liquefazione analizzando le grandezze q/p' e il numero di cicli necessari per indurre la liquefazione.

Il programma sperimentale di prove cicliche sulla sabbia di Pieve di Cento (BO) si compone di 3 prove sulla sabbia dei primi 2 m e 2 prove sulla sabbia SDL1.

Grazie ai risultati delle prove triassiali cicliche è stato possibile definire le curve di resistenza ciclica della sabbia di Pieve di Cento (BO) per i primi 2 m e per la sabbia SDL1, per una densità relativa media del 47 %. In questo modo, per una data coppia di parametri D_r e σ'_c , è possibile definire la curva di resistenza ciclica nel piano (CRR- N_{Liq}) (Fig.1.7):

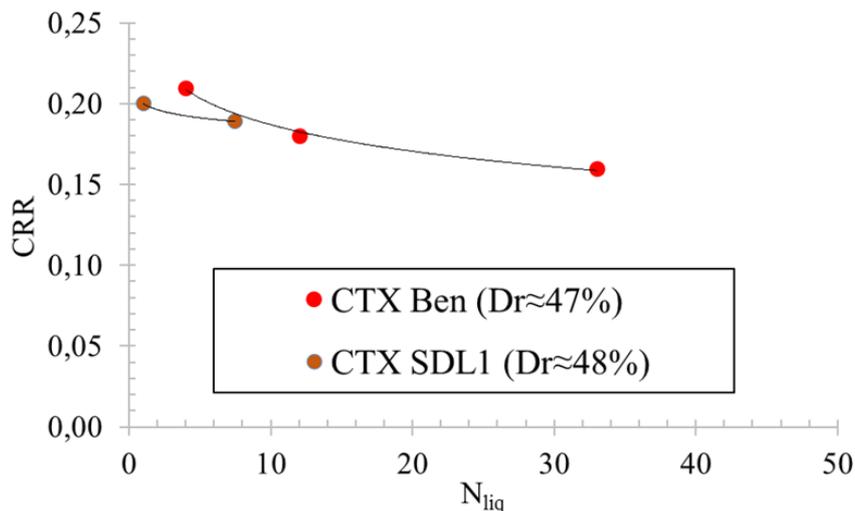


Figura 1.7 – Curva di resistenza ciclica – Prove CTX

2.1.2. Prove di taglio semplice ciclico

Per la misura delle proprietà dinamiche dei terreni si sono effettuate anche delle prove cicliche sull'apparecchiatura di taglio semplice ottenendo una curva di resistenza ciclica a diverse densità relative. Il programma di prove prevede in totale 8 prove cicliche a diversi valori di D_r per la sabbia dei primi due metri e 5 prove per la sabbia SDL1.

Si riporta di seguito le curve di resistenza ciclica della sabbia dei primi due metri a diverse densità relative (Fig.1.8). Si nota subito come al crescere della densità relativa, la resistenza a liquefazione aumenta. Il punto verde si riferisce ad un provino congelato. Il provino congelato con una densità relativa del 70% si posiziona sulla curva di resistenza ciclica con una D_r media di 74%. Tutto ciò esprime come la modalità di preparazione del provino non influenza il comportamento ciclico del terreno. In Fig.1.9 si riporta, invece, il confronto tra la curva di resistenza ciclica della sabbia SDL1 e la curva di resistenza ciclica della sabbia nei primi due metri. Si nota come, a parità di densità relativa, la sabbia SDL1 abbia una resistenza maggiore.

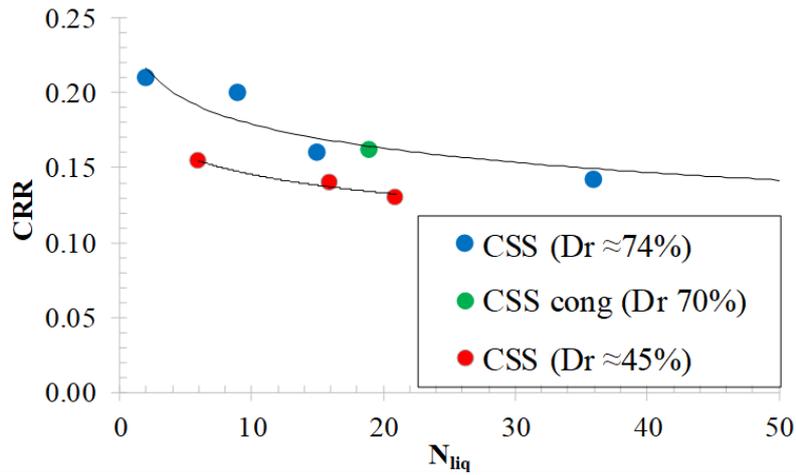


Figura 1.8 – Curva di resistenza ciclica (CRR) a differenti densità relative – Sabbia primi 2 m

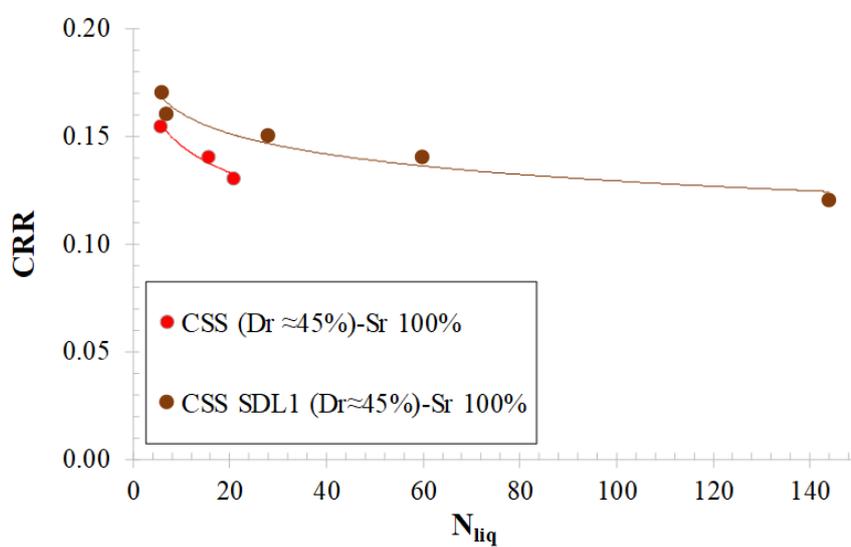


Figura 1.9 – Curva di resistenza ciclica (CRR) a differenti densità relative – Sabbia SDL1

2.1.3. Prove non sature su apparecchiatura di taglio semplice

La parziale saturazione è una tecnica di mitigazione usata contro la liquefazione. La presenza di aria nei pori incrementa la resistenza a liquefazione, in quanto consente di “ammortizzare” le sovrappressioni neutre indotte da un carico ciclico. L’apparecchiatura di taglio semplice ciclico è stata modificata con l’introduzione di piastre porose ad elevato valore di ingresso d’aria. Queste piastre sono state incollate (Fig.1.10), con una colla epossidica bi-componente, su un piedistallo e all’interno del quale va montato il provino.



Figura 1.10 – Piastre ceramiche per condurre prove non sature

Il programma di prove prevede in totale 4 prove cicliche, a diversi gradi di saturazione ma con la stessa densità relativa, per la sabbia SDL1.

Si riportano di seguito le curve di resistenza ciclica della sabbia SDL1, con una densità relativa pari al 45% e gradi di saturazione diversi, in Fig. 1.11. Si nota come al diminuire del grado di saturazione, la resistenza a liquefazione aumenti.

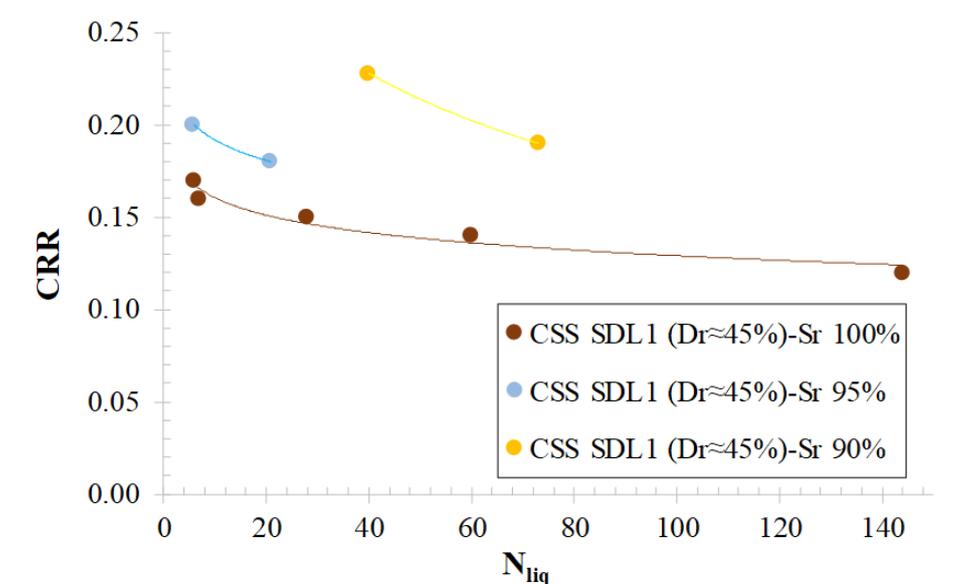


Figura 1.11 – Curva di resistenza ciclica (CRR) a differenti gradi di saturazione – Sabbia SDL1

La figura 1.12 mette in relazione il rapporto tra il CRR del terreno non saturo (CRR_{un}) e quello saturo a parità di numero di cicli ($N_{liq}=10$). Si nota come al ridurre del grado di saturazione tale rapporto cresce secondo una funzione lineare per alti gradi di saturazione. Tale legge può essere utilizzata come criterio di progetto.

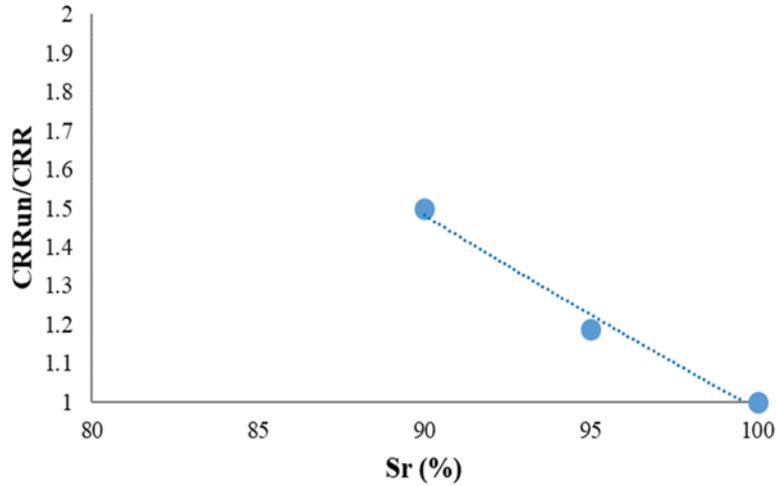


Fig.1.12 – Andamento CRR_{un}/CRR con grado di saturazione, S_r

2.1.3.1. Prove triassiali cicliche

Se un sito risulta essere liquefacibile è possibile sapere di quanto abbassare il grado di saturazione per incrementare la resistenza a liquefazione di un terreno saturo (CRR) secondo la correlazione trovata (Fig. 1.12).

Scelto quindi un certo coefficiente di sicurezza (FS), entrando nel grafico in figura 1.12 si ottiene il valore di S_r a cui desaturare il terreno per avere l'incremento di resistenza desiderato.

Tale legge sarà fornita a Trevi S.p.a per realizzare la desaturazione indotta in sito.

3. Conclusioni

Le prove di laboratorio hanno confermato alcuni dati di letteratura secondo i quali la resistenza a liquefazione di un terreno può essere incrementata riducendone il grado di saturazione. Tale tecnica può essere pertanto applicata in sito nei terreni liquefacibili. La legge $CRR_{un}/CRR-S_r$ è stata calibrata in laboratorio per fornire al progettista un'indicazione utile sul grado di saturazione da applicare in sito per avere un certo incremento del grado di saturazione.