

# Università Degli Studi Di Napoli Federico II



## Scuola Politecnica e delle Scienze di Base

Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale

Corso di Laurea Magistrale in

### Ingegneria per l'Ambiente ed il Territorio

(Classe delle Lauree magistrali in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio, Classe LM-35)

#### ABSTRACT

---

## ANALISI SPERIMENTALE DELLA RESISTENZA ALLA LIQUEFAZIONE DI UNA SABBIA E POSSIBILI TECNICHE DI MIGLIORAMENTO DEL SUO COMPORTAMENTO CICLICO

---

#### RELATORI

Ch.mo Prof. Ing. Alessandro Flora  
Ch.mo Prof.ssa Ing. Stefania Lirer  
Dott.ssa Lucia Mele

#### CANDIDATO

Giuseppe Astuto M67/266

ANNO ACCADEMICO 2015/2016

# 1. Introduzione

Il presente lavoro di tesi si pone l'obiettivo di analizzare la resistenza alla liquefazione di due differenti sabbie 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 ciclica di due sabbie:

- Leighton Buzzard, sabbia standard inglese monogranulare;
- Sabbia limosa prelevata da Sant'Agostino (FE), sito campione all'interno del progetto LIQUEFACT.

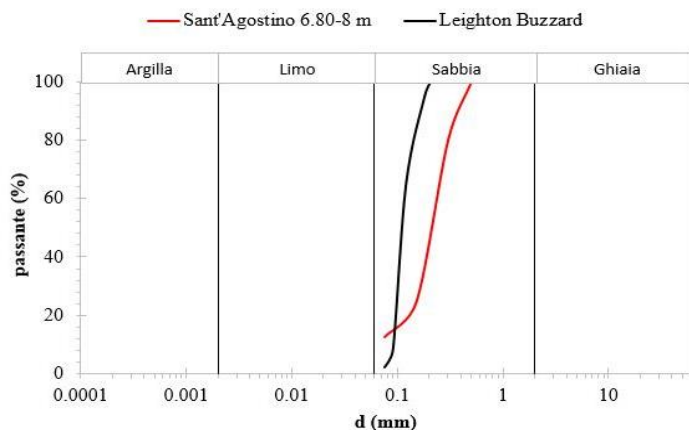


Figura 1.1 - Curve Granulometriche

Tabella 1.1 – Proprietà intrinseche

	Sant'Agostino	Leighton Buzzard
<b>G<sub>s</sub></b>	2.674	2.650
<b>e<sub>max</sub></b>	1.013	1.014
<b>e<sub>min</sub></b>	0.370	0.613
<b>U<sub>c</sub> (d<sub>60</sub>/d<sub>10</sub>)</b>	4.60	1.58

# 2. Sperimentazione

Le prove sono state effettuate in una cella triassiale a percorso di carico controllato del tipo *Bishop & Wesley*. Per la Leighton Buzzard la caratterizzazione statica è stata effettuata in precedenti studi, mentre per la sabbia limosa di Sant'Agostino sono state effettuate diverse prove monotoniche al fine di ricavare la curva di stato critico e il valore dell'angolo di attrito. Per entrambi i materiali è stata determinata sperimentalmente la *Curva di Resistenza Ciclica* ad una densità relativa media del 45%. Successivamente è stato analizzato il comportamento ciclico delle sabbie trattate con due diverse tecniche di consolidamento:

- *Leighton Buzzard*: immissione di laponite, materiale fine altamente plastico, nel fluido di porosità;
- *Sant'Agostino*: compattazione del materiale con conseguente aumento della densità relativa  $D_r$ .

### 2.1 *Leighton Buzzard*

La caratterizzazione ciclica sulla *Leighton Buzzard* è stata condotta effettuando 9 prove cicliche non drenate in cui il terreno viene sottoposto a dei cicli di compressione-estensione. La sollecitazione imposta, *Cyclic Stress Ratio*, è definita come il rapporto tra tensione tangenziale  $\tau_d$  e la tensione normale efficace  $\sigma'_{ref}$  agente sul piano inclinato di  $45^\circ$  rispetto al piano orizzontale:

$$CSR = \frac{\tau_d}{\sigma'_{ref}} = \frac{q_d}{2 \cdot \sigma'_c}$$

mentre si definisce la resistenza *CRR*, *Cyclic Resistance Ratio*, come il CSR che causa liquefazione ad un numero finito di cicli. Come parametro di avvenuta liquefazione è stato utilizzato  $R_u$  definito come il valore della sovrappressione neutra generata all' $i$ -esimo ciclo adimensionalizzato rispetto alla tensione efficace di fine consolidazione. Le prove su sabbia pulita sono riportate in *Tab.2.1*. Successivamente sono state effettuate due prove cicliche (*Tab.2.2*) su sabbia trattata con laponite, (argilla sintetica super-plastica che a contatto con l'acqua idrata e rigonfia, gelificando).

Tabella 2.1 - Programma di prove della *Leighton Buzzard* per la sabbia pulita

<b>CRR</b>	<b><math>N_{liq}</math></b>	<b><math>e_c</math></b>	<b><math>D_r</math></b>	<b><math>\sigma'_c</math> (kPa)</b>
0.197	1.1	0.832	45%	100
0.179	1.2	0.835	45%	50
0.147	4	0.792	55%	50
0.128	12	0.794	55%	50
0.115	12.26	0.825	47%	25
0.109	14.25	0.824	47%	50
0.0992	33	0.837	44%	100
0.097	No Liq	0.805	52%	50
0.0804	No Liq	0.812	50%	50

Tabella 2.2 - Prove Cicliche su provini trattati con laponite

<b>CRR</b>	<b><math>N_{liq}</math></b>	<b><math>D_r</math></b>	<b><math>\sigma'_c</math> (kPa)</b>	<b>Aging (h)</b>	<b>% Lap</b>
0.135	38	53%	50	110	1
0.162	6	57%	50	110	1

La percentuale di laponite immessa è calcolata rispetto al peso secco della sabbia e i provini sono stati lasciati in cella, dopo la fase di consolidazione, per un tempo di *Aging* di 110 ore per garantire

---

l'avvenuta gelificazione. I risultati di ogni prova sono trattati nel piano ( $CRR; N_{liq}$ ). L'interpolazione dei punti ottenuti sperimentalmente rappresenta la *Curva di Resistenza Ciclica* (Fig.2.1).

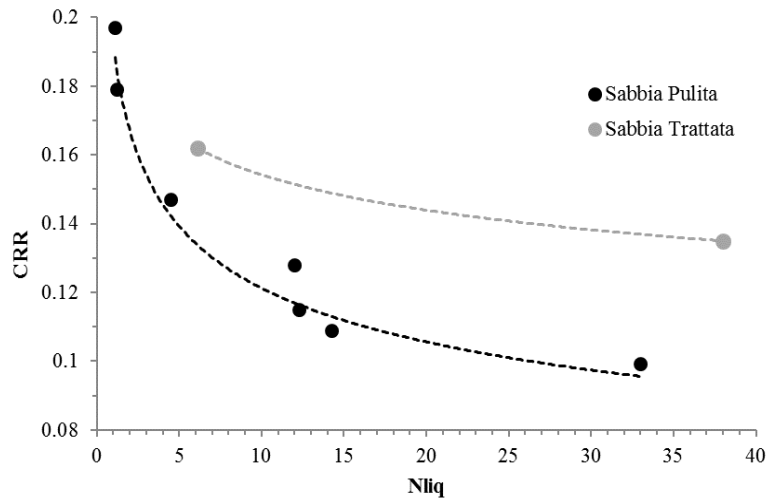


Figura 2.1 - Curva di Resistenza Ciclica - Leighton Buzzard

Al fine di verificare l'iniettabilità in sito della miscela acqua-laponite sono state effettuate prove di viscosità e di permeabilità. Per facilitare la permeazione della miscela nel terreno sono stati inseriti dei ritardanti, SPP, che aumentano il tempo di gelificazione della miscela stessa. Essendo la permeabilità del terreno alla miscela molto simile a quella dell'acqua il trattamento risulta possibile.

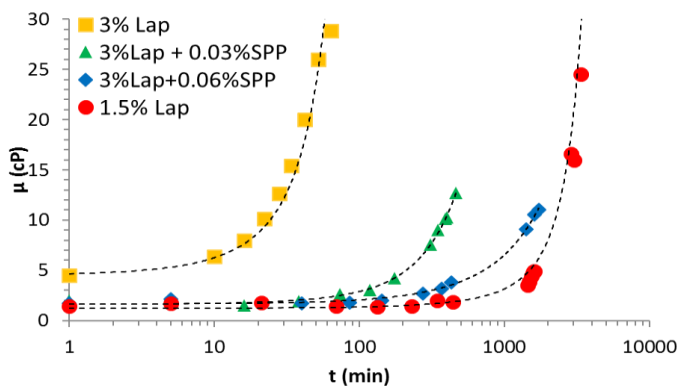


Figura 2.2 - Prove di Viscosità

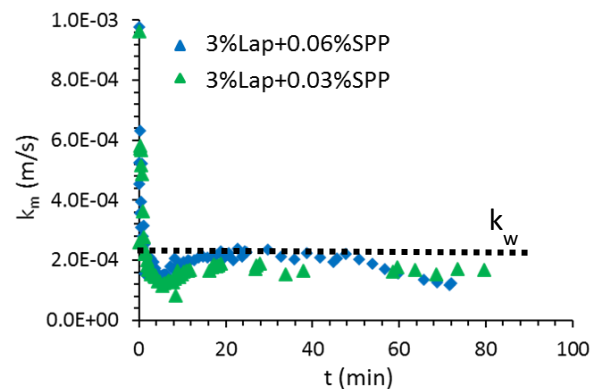


Figura 2.3 - Prove di Permeabilità

## 2.2 Sant'Agostino

Dopo aver determinato curva granulometrica, peso specifico e grado di addensamento massimo e minimo, il materiale è stato caratterizzato staticamente, effettuando 4 prove monotoniche, definendo un angolo di attrito di stato critico, pari a  $35^\circ$ , e la curva di stato critico, *CSL* (Fig.2.4-2.5).

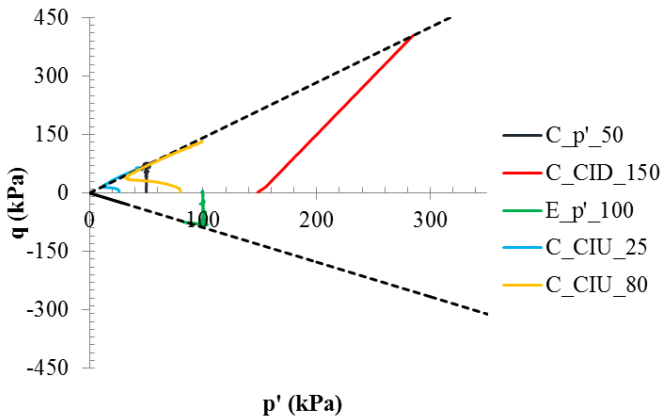


Figura 2.4 – Percorsi tensionali

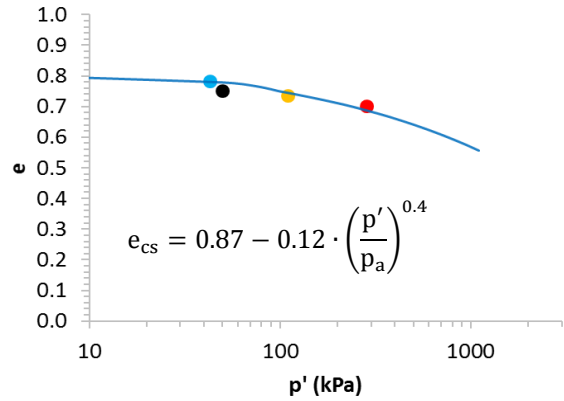


Figura 2.5 - Critical State Line

Successivamente, è stata effettuata la caratterizzazione ciclica del materiale partendo da una densità relativa media del 45% e verificando come una compattazione del materiale incrementi la resistenza alla liquefazione, a parità di tensione di confinamento. Si riporta in Fig.2.6 le curve di resistenza ciclica ottenute sperimentalmente.

Tabella 2.3 - Programma di prove cicliche - Sant'Agostino

	CRR	N <sub>liq</sub>	e <sub>c</sub>	D <sub>r</sub>	σ' <sub>c</sub> (kPa)
<b>Dr 45%</b>	0.147	3	0.707	47%	50
	0.128	7	0.738	43%	50
	0.098	19	0.719	46%	50
	0.087	No Liq	0.713	47%	50
<b>Dr 60%</b>	0.128	14	0.652	56%	50
	0.179	3	0.604	64%	50
	0.147	11.5	0.636	59%	50
<b>Dr 75%</b>	0.179	9	0.524	75%	50
	0.164	28	0.542	73%	50
	0.198	4	0.536	74%	50

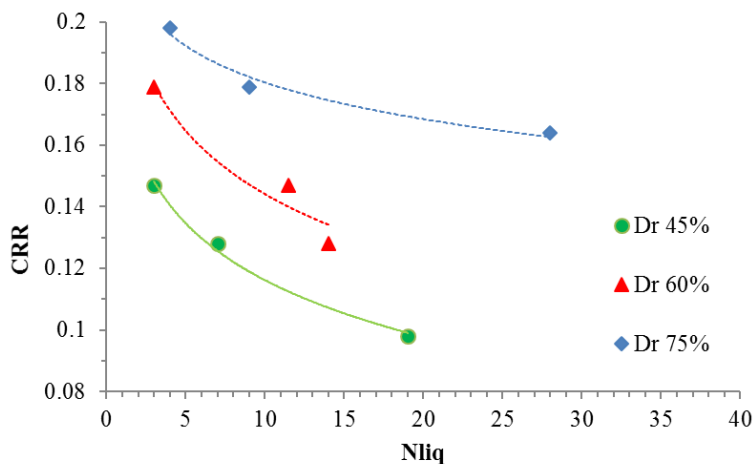


Figura 2.6 - Curve di Resistenza Ciclica - Sant'Agostino

### 3. Conclusioni

La curva di resistenza ciclica di un materiale dipende fortemente dal grado di addensamento e dallo stato tensionale efficace. L'immissione di materiale fine altamente plastico nel fluido di porosità aumenta la resistenza alla liquefazione perché il gel riduce la mobilità relativa dei grani e, di conseguenza, la formazione di sovrappressioni neutre (Fig. 3.1).

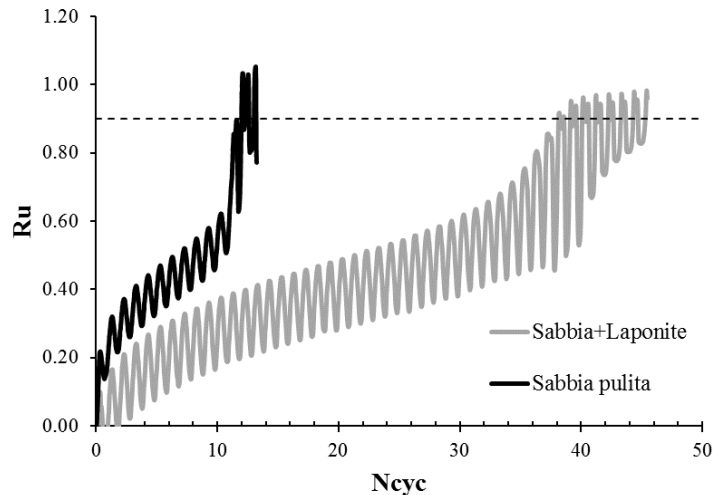


Figura 3.1 - Confronto tra sabbia pulita e sabbia trattata con laponite, a parità di CSR

Pertanto, in uno sviluppo futuro, dovranno essere effettuati studi sulla curva di decadimento del materiale trattato, al fine di dimostrare come il gel aumenti la dissipazione di energia in un ciclo di carico e scarico (*Damping di tipo viscoso*). Le prove di permeabilità dimostrano l'iniettabilità della miscela in sito tramite l'utilizzo di SPP. A tal proposito, sono ancora in atto studi di natura chimica atti a determinare la durabilità dell'intervento in sito. Infine, la compattazione del materiale incrementa anch'essa la resistenza alla liquefazione perché modifica alla base l'accoppiamento volumetrico-distorsionale del terreno e quindi, cambiando il comportamento meccanico del mezzo, si riduce, a parità di sollecitazione, la formazione delle sovrappressioni (Fig.3.2).

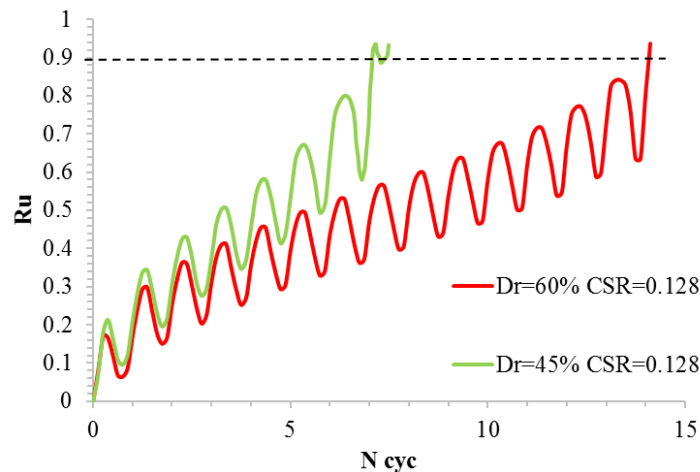


Figura 3.2 - Confronto tra sabbie a diverse densità relative, a parità di CSR