

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II



SCUOLA POLITECNICA E DELLE SCIENZE DI BASE

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

“Fattori di influenza sul comportamento ciclico non drenato dei terreni liquefacibili”

RELATORE

Prof. Ing. Anna d'Onofrio

CORRELATORE

Ing. Anna Chiaradonna

CANDIDATO

Francesco Spiedo

MATRICOLA

N49/348

A.A. 2015/2016

Sommario

COSA È STATO FATTO?

- ✓ Descrizione del fenomeno della liquefazione
- ✓ Individuazione dei fattori di influenza sul comportamento ciclico dei terreni in prove di laboratorio
- ✓ Analisi critica dei modelli presenti in letteratura per la descrizione dell'evoluzione delle pressioni neutre in prove cicliche non drenate
- ✓ Sviluppo di un nuovo modello di previsione delle pressioni neutre in condizioni cicliche

COME È STATO FATTO?

- ✓ Ricerca bibliografica finalizzata al reperimento di risultati di prove cicliche non drenate di laboratorio
- ✓ Raccolta e classificazione dei dati per l'individuazione dei fattori di influenza sul comportamento ciclico non drenato
- ✓ Regressione dei dati relativi all'evoluzione delle pressioni neutre attraverso una funzione potenza (funzione «Chiaradonna»)
- ✓ Analisi dei coefficienti ottenuti dalle regressioni dei dati sperimentali ed interpretazione dei risultati ottenuti

Cos'è la liquefazione?

La liquefazione è un fenomeno che interessa terreni preferibilmente a **grana grossa** sciolti e saturi, tendenzialmente quando sono soggetti ad uno stato di confinamento iniziale modesto.

Se i **carichi esterni sono applicati molto rapidamente** le condizioni di drenaggio risultano impedito: di conseguenza, si verifica un aumento di pressione interstiziale che riduce la rigidità e la resistenza del terreno.

In concomitanza di eventi sismici di particolare intensità, la sovrappressione interstiziale può raggiungere valori elevati. In questo caso limite, lo stato tensionale efficace si annulla ed il terreno si comporta come un **fluido pesante**.

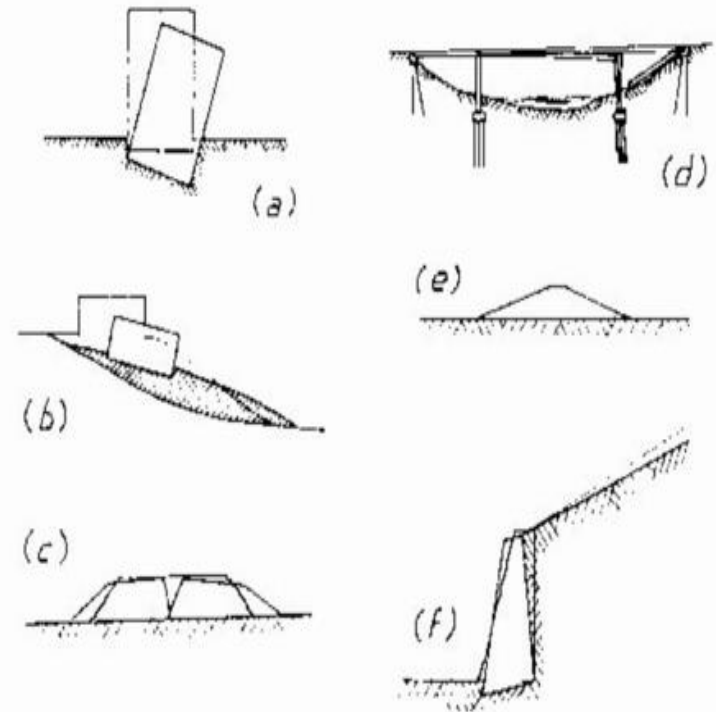
Come si suddivide?

Ad oggi con il termine liquefazioni si intendono due particolari fenomeni: *flow liquefaction* e *cyclic mobility*.

- **Fluidificazione** quando le tensioni tangenziali richieste per assicurare le condizioni di equilibrio alle forze d'inerzia indotte dal terremoto sono maggiori della resistenza al taglio del terreno. Le deformazioni prodotte proseguono anche dopo il terremoto: interessa ampi volumi di materiale ed comporta spostamenti elevati e molto veloci.
- **Mobilità ciclica** se, al contrario della fluidificazione, la resistenza del terreno si è ridotta, ma rimane comunque superiore alle tensioni di taglio necessarie all'equilibrio statico. Le deformazioni si sviluppano in maniera incrementale durante il terremoto.

Quali sono gli effetti?

- Affondamento di edifici nel terreno (a);
- Scorrimento di pendii (b);
- Collasso di terrapieni, rilevati stradali e opere di terra in genere (c);
- Collasso di palificate per perdita di connessione laterale (d);
- Zampillio di copiosi getti d'acqua e di sabbia con formazione di coni (e);
- Collasso di opere di sostegno per sovrappinta del terreno a monte (f).



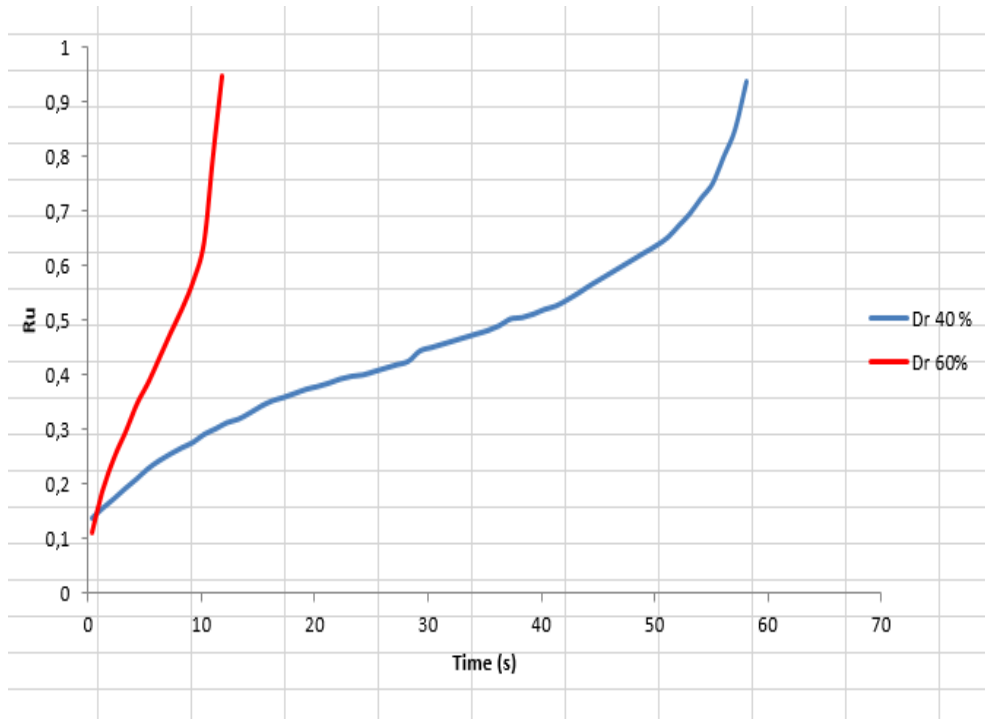


Da dove inizia lo studio:

- 213 provini provenienti da 19 diverse località nel mondo (oppure ricostruiti in laboratorio);
- 123 prove triassiali cicliche e 90 prove di taglio semplice ciclico;

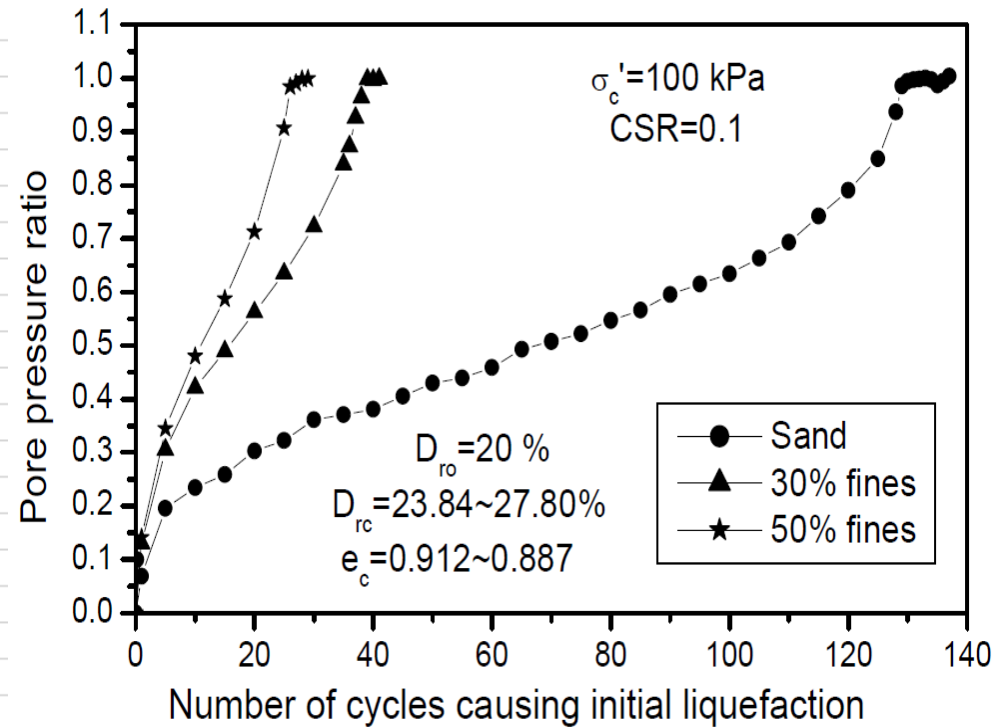
Parametri fisico meccanici di influenza sul comportamento ciclico dei terreni

DENSITÀ RELATIVA



K. Arulmoli et Al. (1992)

COMPOSIZIONE GRANULOMETRICA



K. R. Wamy et Al. 2010

Perché i modelli proposti in letteratura non sono sempre adatti?

Relazione proposta da Seed, Martin & Lysmer (1975):

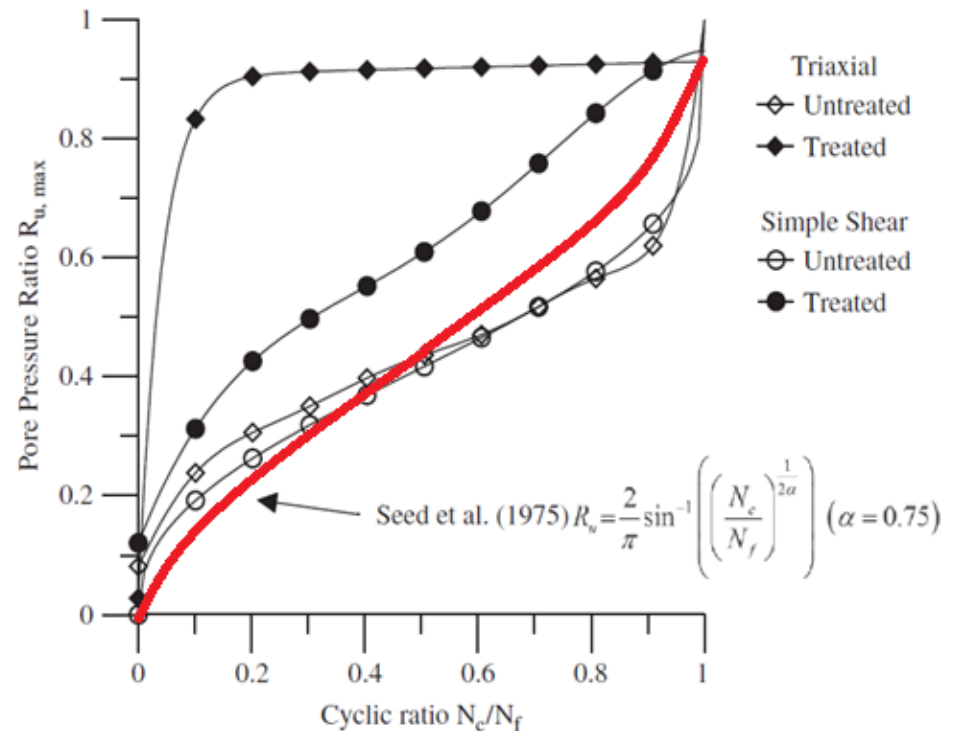
$$\Delta u_N^* = \frac{\Delta u_N}{\sigma_o'} = \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \cdot \sin^{-1} \left[2 \cdot \left(\frac{N}{N_L} \right)^{1/a} - 1 \right]$$

Si tratta ovviamente di una funzione sinusoidale che dipende dal parametro a (variabile tra 0.4 e 2.5). Anche il modello successivamente proposto da Chameau & Clough (1983), dipendente questa volta da due parametri (α e β), e quello di Seed & Booker (1977) sono basati su una funzione di tipo sinusoidale:

$$\Delta u_N^* = \frac{\Delta u_N}{\sigma_o'} = \left[1 - \frac{2}{\pi} \cdot \sin^{-1} \left(1 - \frac{N}{N_L} \right)^{1/2\alpha} \right]^\beta$$

$$\Delta u_N^* = \frac{\Delta u_N}{\sigma_o'} = \frac{2}{\pi} \cdot \sin^{-1} \left[\left(\frac{N}{N_L} \right)^{1/2\alpha} \right]$$

La figura seguente è esplicativa dei problemi d'adattabilità dei modelli qui elencati.



Lo sviluppo di un nuovo modello

Obiettivi:

1. Individuare una relazione tra N e Ru in grado di modellare la variabilità dei comportamenti osservati;
2. Riprodurre anche curve molto diverse da quella sinusoidale;
3. Ottenere valori di Ru^{2adj} sufficientemente vicini all'unità;

In definitiva ottenere un modello più **versatile** di quelli proposti in letteratura, ma senza sacrificare l'attendibilità e la bontà dei risultati.

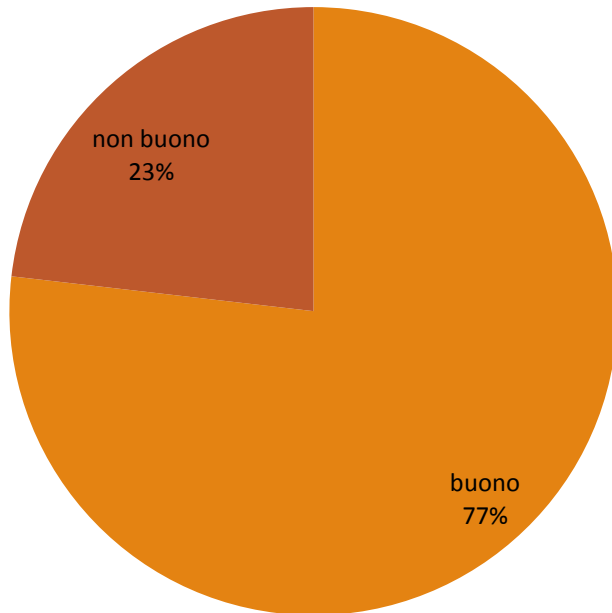
Come è stato elaborato:

1. Digitalizzazione delle curve (N , Ru);
2. Normalizzazione delle stesse (imposto Ru a liquefazione pari 0,9);
3. Ottenimento di colonne di valori $Ru - N/Nl$ (con Nl corrispondente al N di cicli a liquefazione);
4. Utilizzo dell'equazione ideata dall' Ing. Anna Chiaradonna ($y = a x^b + c x^4$);
5. Determinazione dei coefficienti della funzione attraverso la regressione dei dati sperimentali con una routine di MATLAB;
6. Valutazione della bontà della funzione proposta attraverso l'analisi della bontà della regressione (Ru^{2adj})
7. Interpretazione critica dei coefficienti ottenuti;

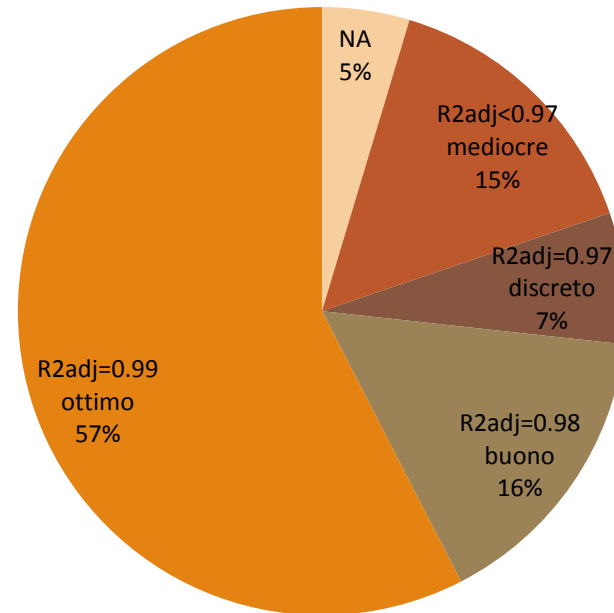
Si tratta ovviamente di un processo reiterato per tutti i 213 campioni raccolti precedentemente.

Analisi dei risultati ottenuti

Bontà della regressione $R^2 > 0.98$



Risultati regressione



Variabilità dei parametri sperimentali

	min	max
a	0,2347	1,769
b	0,04858	1,653
c	-0,8182	0,6976

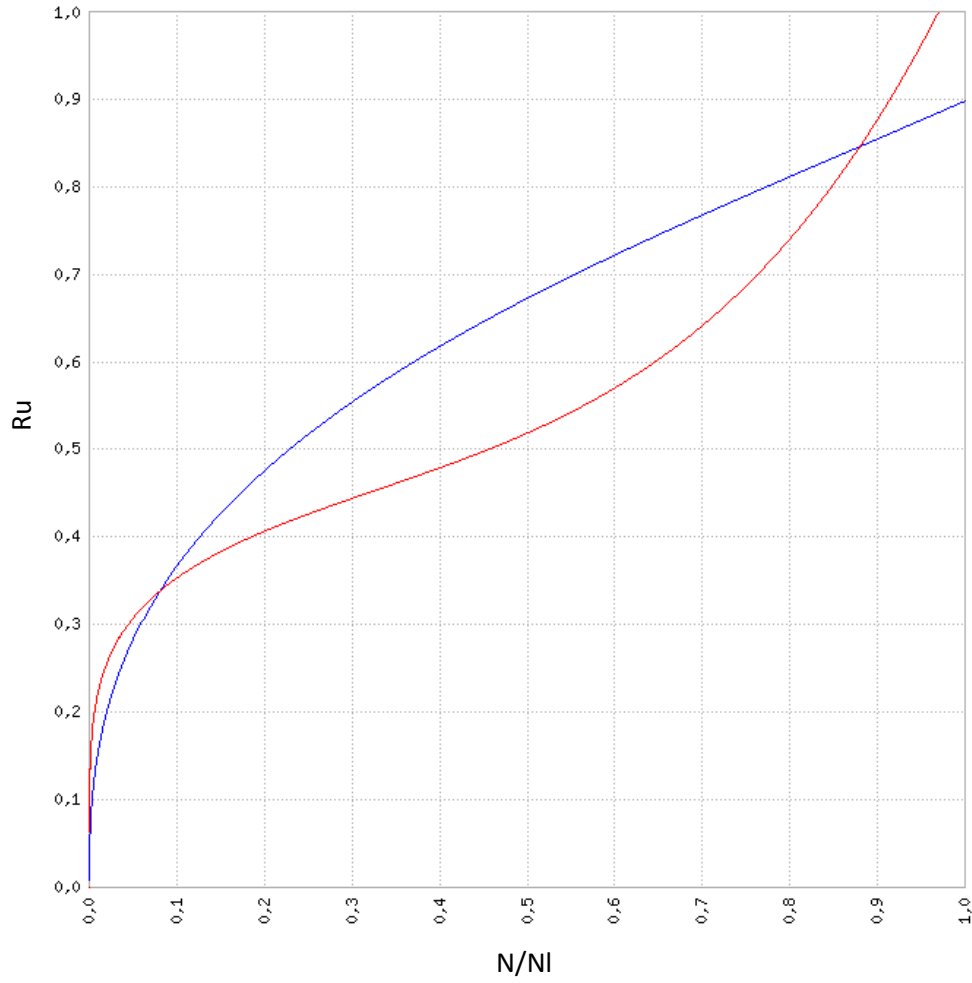
I coefficienti ottenuti eseguendo le regressioni sui 213 set di dati mostrano una ridotta variabilità.

Poiché la liquefazione dipende dalle caratteristiche dei terreni, è chiaro che dobbiamo ricercare un'ulteriore dipendenza: questa volta tra parametri caratteristici dei terreni e coefficienti del modello prescelto.

Tentativi effettuati:

1. Su tutti i provini:
 - 1.1 CSR
 - 1.2 Dr
 - 1.3 Tensione confinamento
 - 1.4 % Granulometrica
2. Dopo averli suddivisi per composizione granulometrica:
 - 2.1 Ghiaie
 - 2.2 Sabbie pulite
 - 2.3 Sabbie con fine
 - 2.4 Fine
3. Dopo averli suddivisi per % di fine presente
4. Dopo aver suddiviso in range variabili i parametri caratteristici
5. Dopo aver eliminato i risultati con $R^2_{adj} < 0,98$

GRANA FINA VS GRANA GROSSA



GRANA FINA

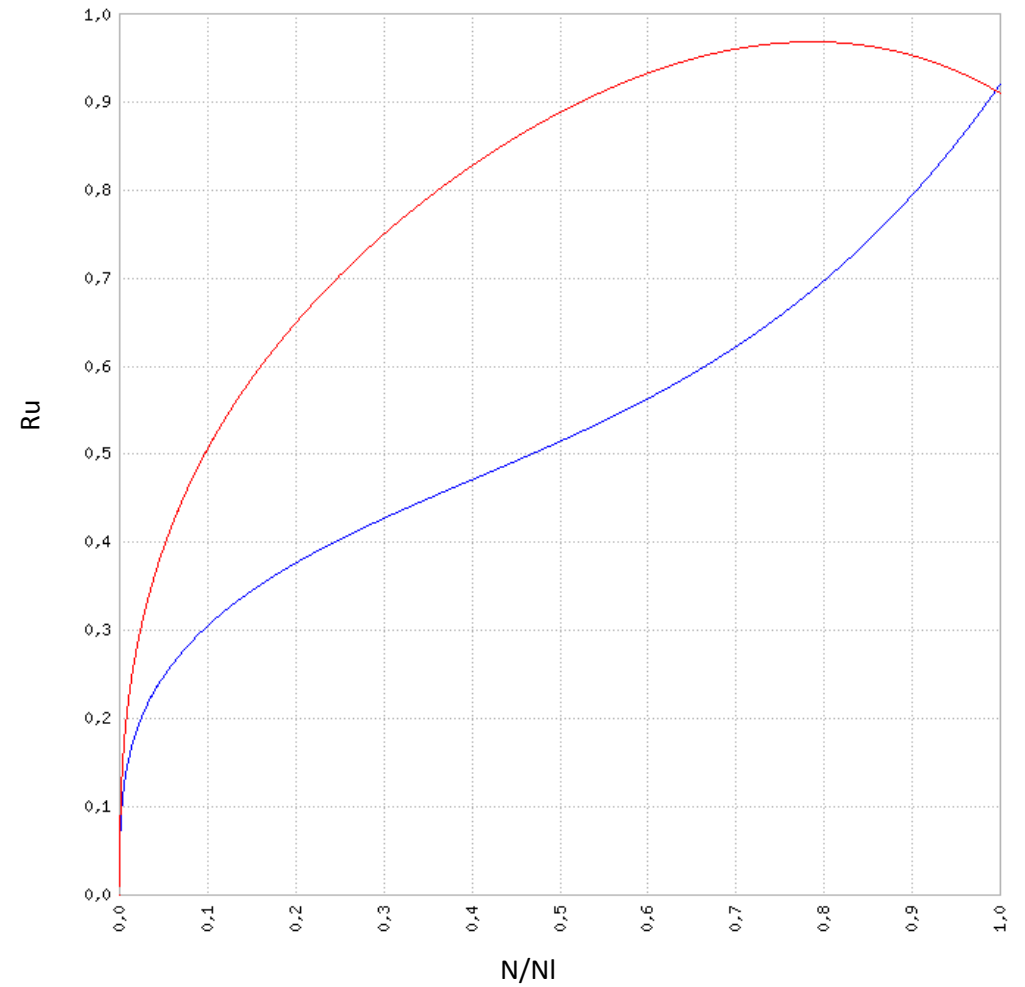
CSR

0,195

0,48

BLU

ROSSO



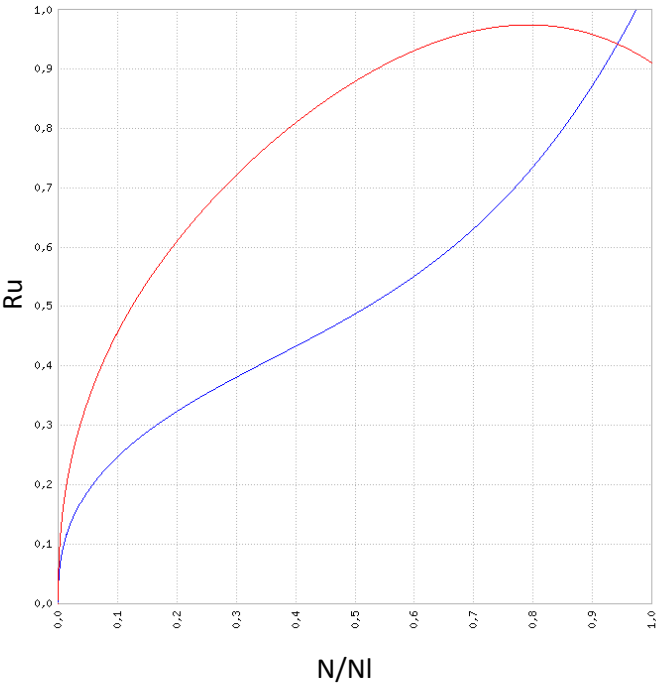
GRANA GROSSA

CSR

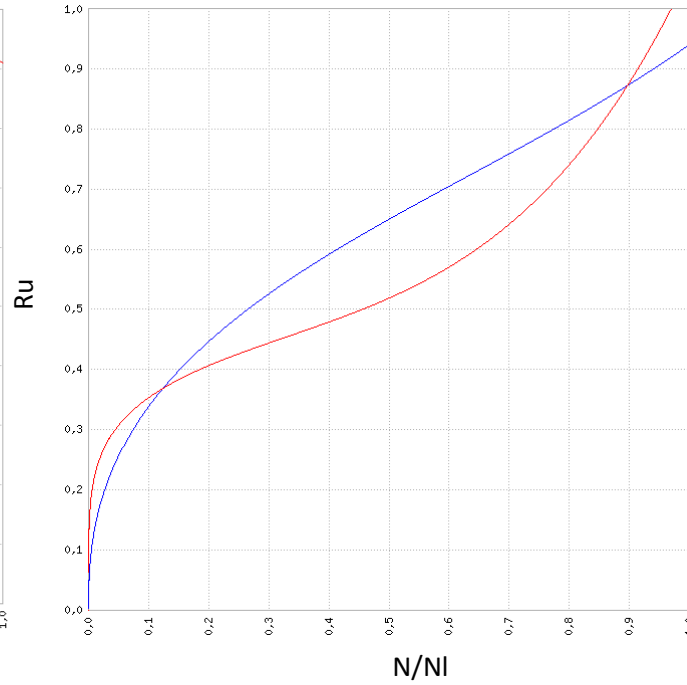
0,18

0,5

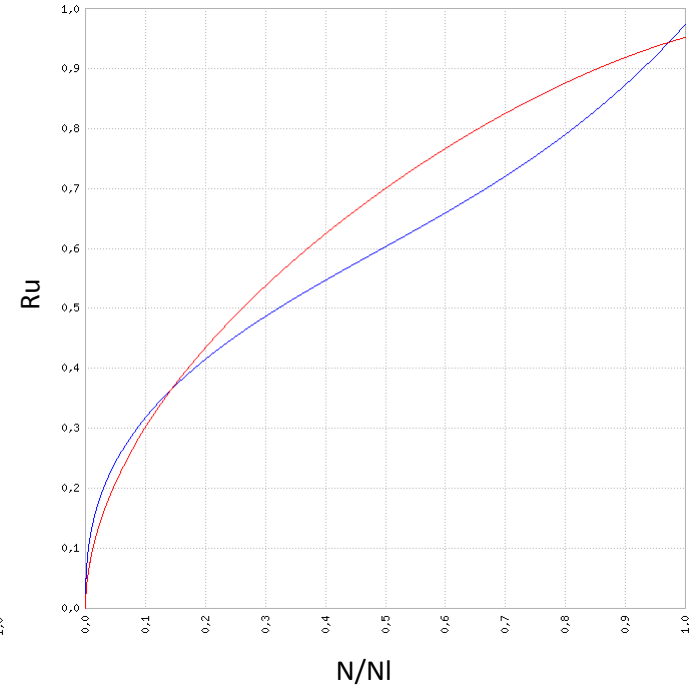
PERCENTUALE DI FINE PRESENTE



Minore del 30%



Tra il 30% e il 60%



Superiore al 60%

BLU
ROSSO

CSR
0,1
0,365

CSR
0,1
0,2

CSR
0,17
0,48

La variabilità della forma delle curve di resistenza è evidente!

Conclusioni

SULLA LIQUEFAZIONE

- Il fenomeno risulta essere fortemente influenzato dalla presenza di fine;
- La forma delle curve (N , R_u) può variare notevolmente in relazione alla granulometria e tipologia di prova;
- Il CSR sembra il fattore meno influente;

SUL MODELLO

- Affidabile e con ottima capacità di adattamento;
- I parametri sono influenzati dalla percentuale di fine;
- Interessante il contributo del CSR;
- Necessità di ulteriori studi per la ricerca dei legami tra caratteristiche dei provini e parametri sperimentali;