

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 ed il Territorio, Classe LM-35)

Tesi di Laurea

*“Simulazione numerica di prove di liquefazione in centrifuga con e senza
interventi di drenaggio: calibrazione del modello e primi risultati”*

Relatore:

Prof. Ing. Alessandro Flora

Correlatore:

Ing. Gianluca Fasano

Candidato:

Antonio Sbrizzi

Matr. M67/287

Anno Accademico 2016/2017

Abstract

Il presente elaborato di tesi si pone come un piccolo segmento del più grande progetto ‘LIQUEFACT’ il quale ha come obiettivo “la valutazione e la mitigazione in Europa del potenziale di liquefazione” attraverso “un approccio olistico per proteggere le strutture/infrastrutture tramite un aumento della resilienza ai disastri della liquefazione indotti dai terremoti.”

Nello specifico si è affrontato la calibrazione di modelli costitutivi avanzati, la modellazione di prove in centrifuga e di opere per la mitigazione dei danni collegati alla liquefazione.

La liquefazione è uno stato temporaneo del terreno, in cui la sabbia perde la capacità di resistere a sollecitazioni di taglio e si comporta come un fluido, provocando ingenti danni alle strutture costruite su di essa. Tale fenomeno è causato dalla presenza di sollecitazioni sismiche le quali generano sovrappressioni neutre di entità tale da annullare le tensioni efficaci in terreni non coesivi.

La prima fase del lavoro di tesi ha previsto la modellazione di prove triassiali monotoniche attraverso l’utilizzo di un software alle differenze finite chiamato *Flac^{3D}*. Vista l’impossibilità da parte dei modelli costitutivi classici nel descrivere il comportamento a liquefazione si è reso necessario l’utilizzo di un modello costitutivo avanzato, nello specifico si è utilizzato il modello *SANISAND* elaborato da Manzari e Dafalias nel 2004.

In tale modello sono presenti 15 costanti dipendenti dal tipo di materiale utilizzato. Avendo a disposizione prove eseguite su sabbia prelevata nei pressi del paese di Pieve di Cento in provincia di Bologna, la parametrizzazione proposta è da riferirsi unicamente a questo specifico terreno.

Per quanto riguarda le prove triassiali monotoniche il set di parametri utilizzato per il modello *SANISAND* è il seguente:

Dati SANISAND 2004									CSL				
h_0	c_h	n_b	A_0	n_d	z_{max}	c_z	mm	c	G_0	Mc	e_{c0}	λ	ξ
[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
0.5	0.3	10	0.2	0.8	0	0	0.02	0.669	190	1.264	0.817	0.018	0.7

Tabella 1-Set di parametri per le prove triassiali monotoniche

Trovato attraverso un processo di *trial and error* con l’obiettivo di riprodurre con il metodo numerico le curve acquisite dalle prove sperimentali.

Viene riportata la prova eseguita nel laboratorio di Geotecnica del Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale dell’Università degli Studi di Napoli “Federico II”, eseguita il giorno 12/09/17 su una sabbia con indice dei vuoti pari a 0,765 e una tensione di confinamento pari a 100 kPa. Le prove sono diagrammate nei piani $q-p'$, $\Delta u-\varepsilon_a$ e $q-\varepsilon_a$; con il colore rosso è rappresentata la curva ottenuta tramite il modello costruito su *FLAC^{3D}* e in nero è riportata la curva acquisita dalle prove in laboratorio.

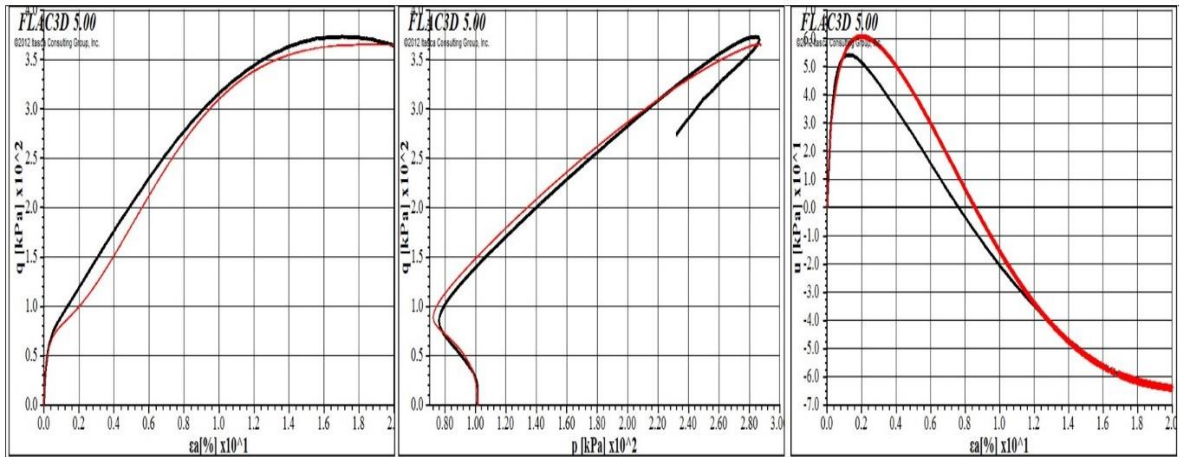


Figura 1-Confronto curve triassiali monotoniche elaborate in laboratorio (in nero) ed elaborate su Flac3D (in rosso)

Lo stesso procedimento utilizzato con le prove monotoniche è stato riproposto con le prove triassiali cicliche, ottenendo il seguente set di parametri:

h_0	c_h	n_b	A_0	n_d	Z_{max}	c_z	mm	c
[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
3.5	0.96	6.0	0.08	8.0	10.0	3000	0.02	1.0

Tabella 2-Set di parametri per le prove triassiali cicliche

Per dimostrare la validità dei parametri trovati si riporta la prova del 29/11/2017, caratterizzata da una tensione di confinamento di 50 kPa, un indice dei vuoti pari a 0.769 e una tensione deviatorica massima imposta di 18.5 kPa. (Come nella rappresentazione precedente in rosso è raffigurata la curva derivante dal modello numerico e in nero la curva relativa alle prove di laboratorio).

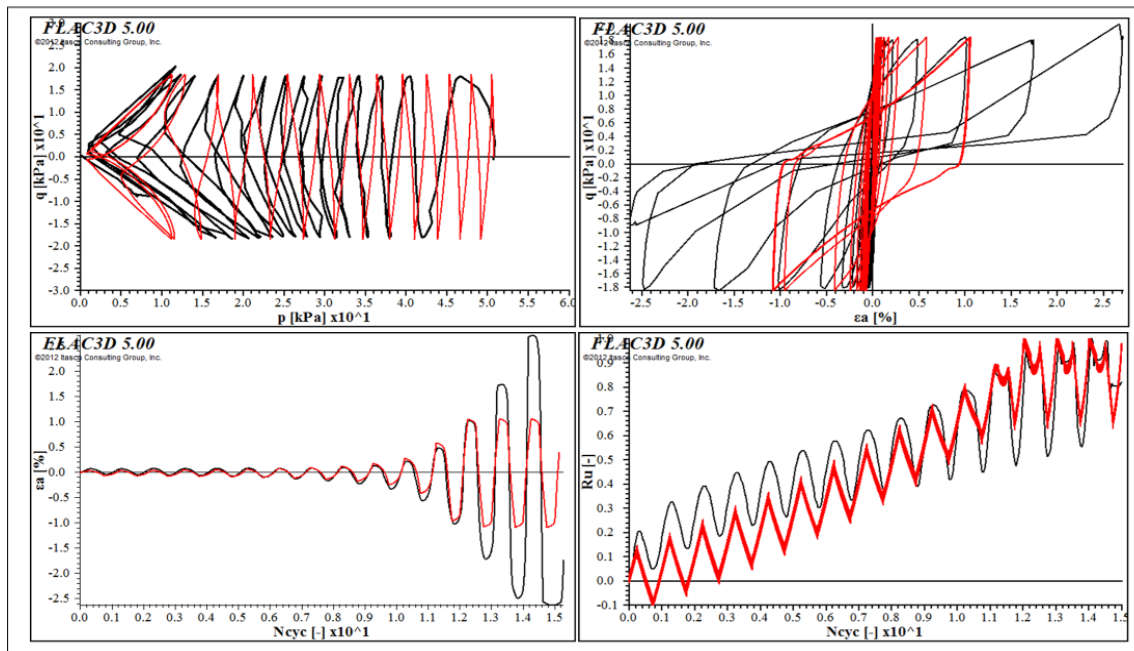


Figura 2- Confronto curve triassiali cicliche elaborate in laboratorio (in nero) ed elaborate su Flac3D (in rosso)

Considerato valido tale set di parametri si è modellata una prova in centrifuga i cui risultati hanno mostrato una buona riproduzione dell'andamento del segnale sismico, verificabile attraverso il confronto proposto tra lo

spettro delle accelerazioni relativo al modello e quello relativo alla prova di laboratorio. Si notano invece discrepanze evidenti tra l'andamento delle R_u della prova reale e quello simulato, con quest'ultimo molto sovrastimato.

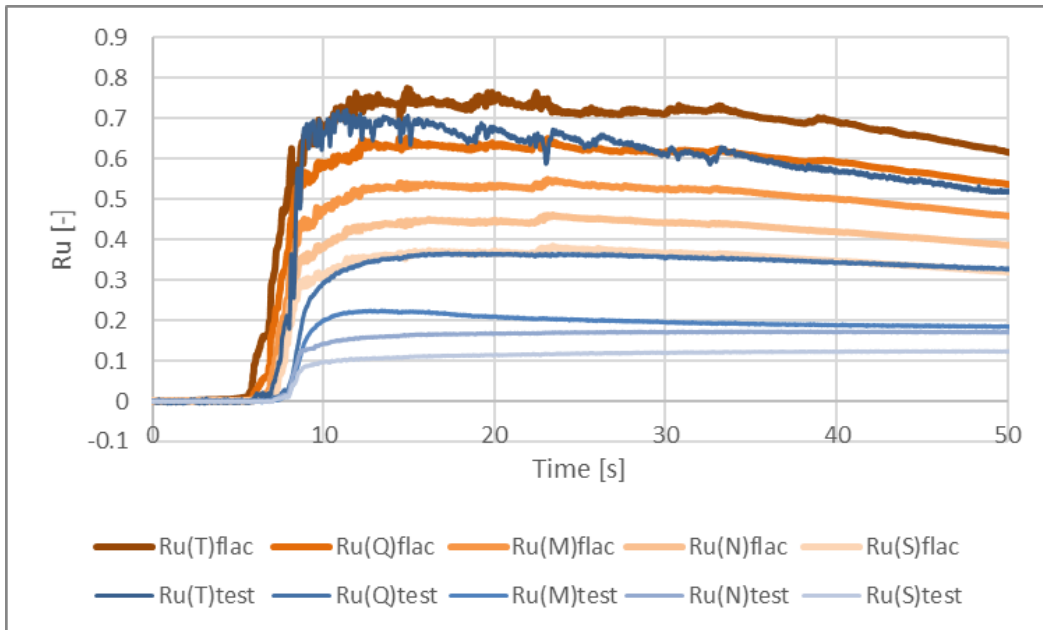


Figura 3-Confronto andamento R_u elaborato in laboratorio (in blu) ed elaborato su Flac3D (in arancione)

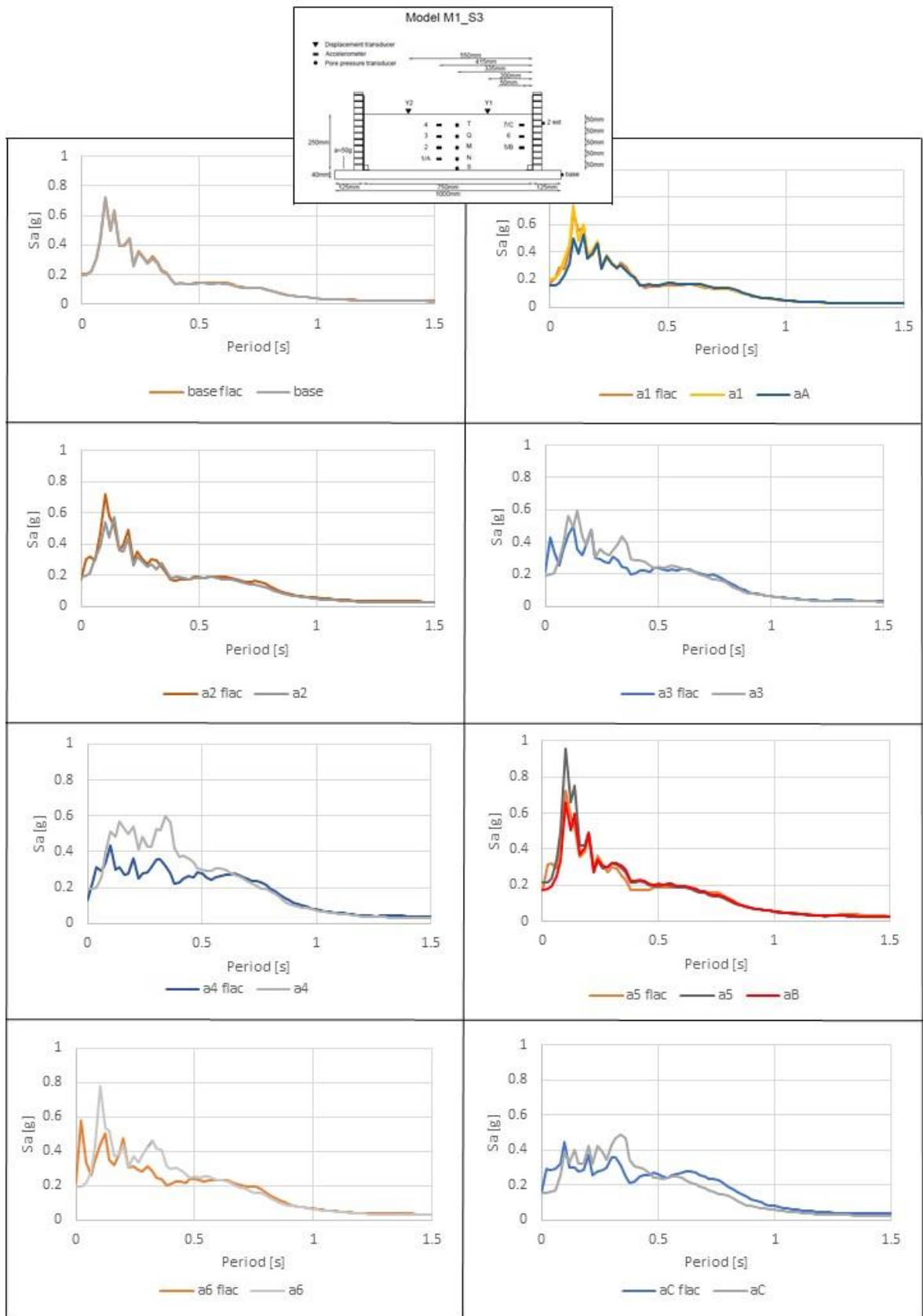


Figura 4-Confronto andamento degli spettri delle accelerazioni

L'ultima fase della tesi ha visto la modellazione di dreni orizzontali che rientrano tra le opere di mitigazione del rischio liquefazione.

Il modello costruito è composto da un blocco di sabbia di 5x5x1m dove sono state collocate tre file di dreni alle profondità di 1,5-2,5-3,5m con interasse di 1m. A tale volume di terreno è stata imposta una sovrappressione (Δu) tale da ottenere $R_u=1$ nei pressi del dreno centrale alla profondità di 2,5m, dove sono stati collocati 21 punti di misura delle pressioni. Si è atteso l'annullamento della sovrappressione imposta acquisendo l'andamento delle pressioni in tale fase. Con i dati ricavati si è potuto calcolare il grado di consolidazione medio relativo all'intorno del dreno.

Ipotizzando una consolidazione radiale si è confrontata la curva ricavata tramite tale teoria con quella calcolata utilizzando i dati di *FLAC^{3D}*.

Notata la non coincidenza delle due curve si è ricercato un coefficiente di consolidazione fittizio c^* tale da far convergere la soluzione teorica con quella numerica; tale tecnica è stata ripetuta per 34 analisi dove si è fatto variare la rigidità del terreno, la permeabilità della sabbia e la grandezza dei dreni.

Si è calcolato infine il parametro α dato dal rapporto tra il coefficiente di consolidazione fittizio e quello teorico:

$$\alpha = \frac{c^*}{c_h}$$

Diagrammando α rispetto al modulo Edometrico, adimensionalizzato tramite la pressione atmosferica, si è riscontrato un allineamento dei dati lungo una curva di equazione:

$$\alpha = 78.047 \left(\frac{E_{ed}}{p_{atm}} \right)^{-0.591}$$

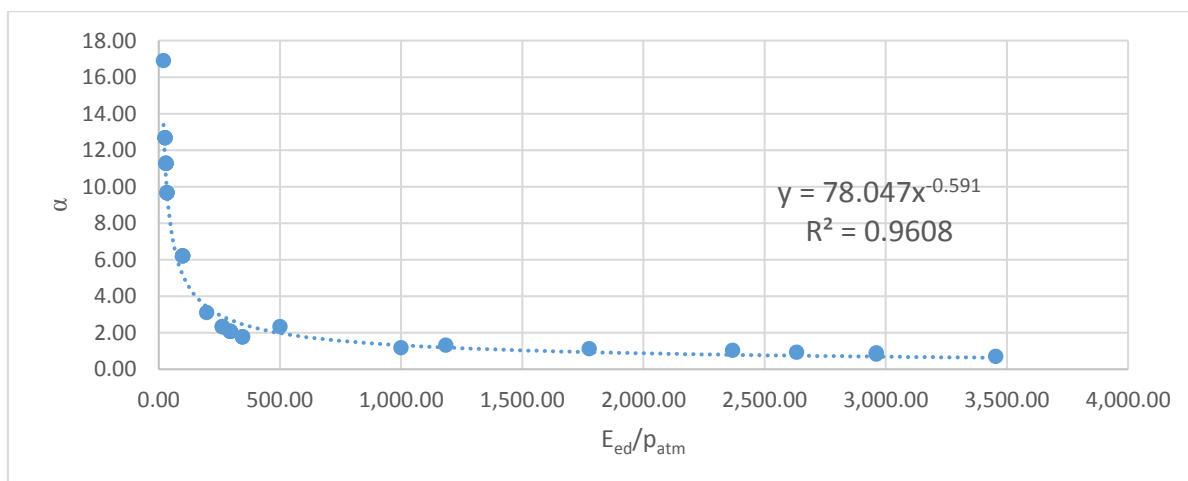


Figura 5-Grafico α - E_{ed}/p_{atm}

Tale formula, se convalidata attraverso ulteriori studi, può essere un utile e semplice strumento per la progettazione di dreni orizzontali; progettazione che si baserebbe sull'utilizzo di una rigidità del terreno funzione del parametro α e sulla teoria della consolidazione radiale.

In conclusione, tale lavoro di tesi si propone di presentare un set di parametri relativi al modello *SANISAND(2004)* per la modellazione del comportamento della sabbia prelevata nei pressi del paese di Pieve di Cento (BO). Sono proposti due set diversi, uno per la modellazione di prove triassiali monotoniche e un altro per la modellazione di prove triassiali cicliche. Tramite tali parametri si è presentata la modellazione numerica di una prova in centrifuga con relativi risultati.

Infine, si è deciso di modellare dei dreni orizzontali i quali rientrano nelle opere di mitigazione del rischio liquefazione. Dai risultati della modellazione si è constatato l'applicabilità della teoria della consolidazione radiale ai dreni orizzontali, sebbene quest'ultima sia subordinata all'utilizzo di un fattore di correzione (α) per il coefficiente di consolidazione. Si è quindi, infine, ricavata la formula, in funzione del modulo edometrico, attraverso cui ricavare il coefficiente α .