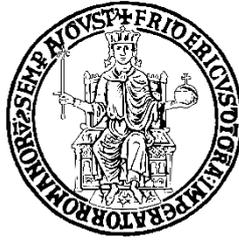


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI “FEDERICO II”



Scuola Politecnica e delle Scienze di Base

Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile ed Ambientale

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

Tesi di Laurea in Fondamenti di Geotecnica

LA LIQUEFAZIONE DEI TERRENI IN CONDIZIONI
DINAMICHE: EVIDENZE SPERIMENTALI E VERIFICHE
SEMPLIFICATE.

Relatore:

Ch.ma Prof.ssa

Anna d'Onofrio

Candidato:

Roberta Raimondo

Matricola N49000784

Anno Accademico 2019/2020

ABSTRACT

Il fenomeno della liquefazione interessa terreni a grana grossa sotto falda soggetti ad azioni sismiche di elevata intensità. Quando i carichi esterni sono applicati molto rapidamente, come nel caso di un terremoto, le condizioni di drenaggio risultano impedito anche per terreni a grana grossa, e pertanto la propensione di una sabbia sciolta satura ad addensarsi è impedita dalla condizione di drenaggio bloccato. Di conseguenza, si verifica un aumento di pressione interstiziale che riduce gli sforzi di contatto tra le particelle solide e, quindi, la rigidità e la resistenza del terreno. In condizioni iniziali estreme (porosità elevata e tensioni efficaci ridotte) ed in concomitanza di eventi sismici di particolare intensità, la sovrappressione interstiziale può raggiungere valori così elevati che le particelle solide perdono il mutuo contatto. In questo caso limite, lo stato tensionale efficace si annulla ed il terreno si comporta come un fluido pesante. L'annullamento delle tensioni efficaci conduce alla perdita dei contatti tra le particelle; le sovrappressioni che si sviluppano non sono in equilibrio con la condizione idraulica al contorno (p_{atm}), per cui al termine dell'evento sismico, a drenaggio consentito, esse verranno dissipate. Il fluido di porosità perverrà ad una condizione di equilibrio con la condizione idraulica al contorno, raggiunta in molti casi attraverso la fuoriuscita di acqua e sabbia al piano campagna. I granelli di sabbia, quindi, tenderanno a ridisporsi secondo una configurazione maggiormente addensata, provocando un cedimento del terreno.

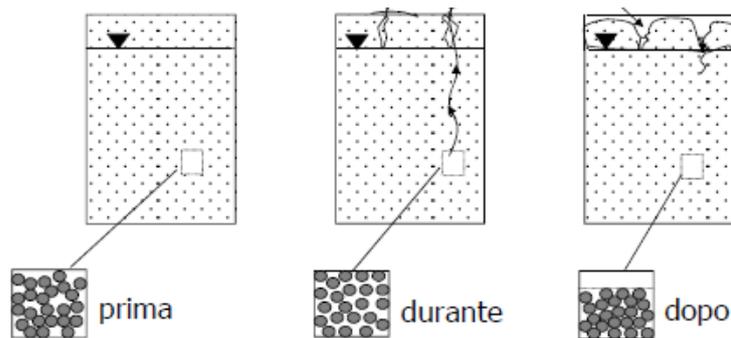


Figura 1 – Schema semplificato del fenomeno della liquefazione ciclica

Nelle sabbie addensate, invece, il meccanismo di collasso è differente ed è caratterizzato dal superamento di una deformazione tangenziale γ ammissibile. Questi depositi collassano per “mobilità ciclica”.

A titolo di esempio, gli eventi sismici di Nigata (Giappone) (1964) e Good Friday (Alaska) (1964) e, più recentemente in Italia il terremoto dell’emilia del 2012, sono stati caratterizzati da diffuse evidenze di tale fenomeno, sotto forma di vulcanelli di sabbia, fuoriuscita di acqua e sabbia da fratture del terreno in superficie, instabilità.



Figura 2 – Vulcanelli di sabbia e fratture del terreno in superficie

Casi di liquefazione sono prevalentemente osservabili in vicinanza di fiumi, specchi d’acqua naturali o artificiali, e nelle zone costiere. Ne consegue che tra i manufatti più vulnerabili a fenomeni di liquefazione ci sono le infrastrutture portuali, idrauliche (argini e dighe), e quelle di trasporto; i problemi indotti agli edifici derivano essenzialmente dalla perdita istantanea di capacità portante dei terreni di fondazione, in seguito alla quale

tali manufatti, pur conservando un'apparente integrità strutturale, tendono a perdere la funzionalità, risultando pericolosamente inclinati o addirittura completamente adagiati sul piano campagna.

La "liquefazione" avviene quando le tensioni tangenziali richieste per assicurare le condizioni di equilibrio alle forze d'inerzia indotte dal terremoto (τ_{eq}) sono maggiori della resistenza al taglio disponibile del terreno (τ_{lim}). Ne consegue che una volta avviate, le deformazioni prodotte dalla fluidificazione proseguono anche dopo il terremoto. Il fenomeno di fluidificazione generalmente interessa ampi volumi di materiale ed è caratterizzato da spostamenti elevati e molto veloci.

Esistono differenti metodi di analisi per valutare l'occorrenza a scala territoriale e locale di fenomeni di liquefazione. Essi sono classificabili in 'livelli' corrispondenti a gradi di dettaglio crescente, in termini di: definizione dell'azione sismica, accuratezza dei rilievi geologici e della caratterizzazione geotecnica, complessità dell'analisi, e significato ingegneristico dei parametri rappresentativi degli effetti (cfr. p.es. ISSMGE, 1999; AGI, 2005). Al crescere del livello di dettaglio, aumenta di conseguenza il rapporto di scala di riferimento, da quelli tipici per la scala territoriale (p.es. per mappe di microzonazione), fino a quelli rappresentativi del singolo fenomeno alla scala locale, cioè quella del manufatto.

Il passaggio da un livello di analisi ad uno superiore deve avvenire man mano che si manifesta la necessità di approfondimenti. In questa sede ci si è limitati alla descrizione dei metodi di screening e delle procedure di analisi semplificata basata su correlazioni empiriche con le prove di laboratorio.

Le NTC 2018 impongono di effettuare una verifica alla liquefazione ogni qual volta si realizza un manufatto che, quindi, interagisce con il terreno. Vi sono, tuttavia, dei casi di esclusione della verifica:

- $M_w < 5$;
- $a_{max} < 0,10g$;
- profondità media stagionale della falda < 15 m;
- distribuzione granulometrica esterna a fusi limite;

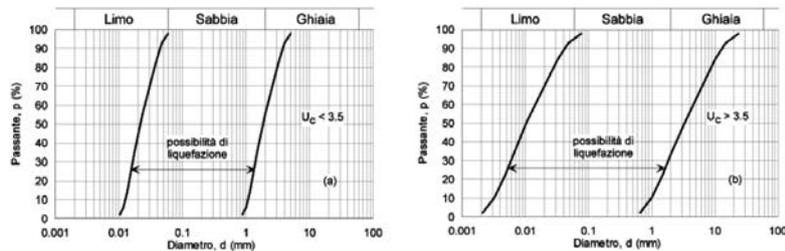


Figura 3 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione

- resistenze penetrometriche, opportunamente corrette e normalizzate $(N_1)_{60} > 30$ e $q_{C1N} > 180$.

L'occorrenza o meno del fenomeno della liquefazione, ad una generica profondità, è valutata attraverso il *fattore di sicurezza FS*, rapporto fra resistenza disponibile alla liquefazione e sollecitazione indotta dall'azione sismica. Entrambi i parametri sono normalizzati rispetto alla tensione verticale efficace agente alla suddetta profondità, in maniera da definire un rapporto di resistenza ciclica, CRR (Cyclic Resistance Ratio):

$$CRR = \frac{\tau_{lim}}{\sigma'_{v0}}$$

e un rapporto di tensione ciclica, CSR (Cyclic Stress Ratio):

$$CSR = \frac{\tau_{eq}}{\sigma'_{v0}}$$

Per la stima di entrambi i parametri esistono vari metodi, che necessitano di una caratterizzazione più o meno dettagliata sia dell'azione sismica che delle proprietà geotecniche.

I criteri di screening e i metodi empirici evidenziano soltanto la suscettibilità alla liquefazione di un deposito, attraverso la costruzione di abachi basati sull'osservazione di evidenze sperimentali. Nelle analisi tramite metodi empirici l'azione sismica viene caratterizzata in termini di PGA (Peak Ground Acceleration), mentre le proprietà geotecniche tramite le resistenze penetrometriche.

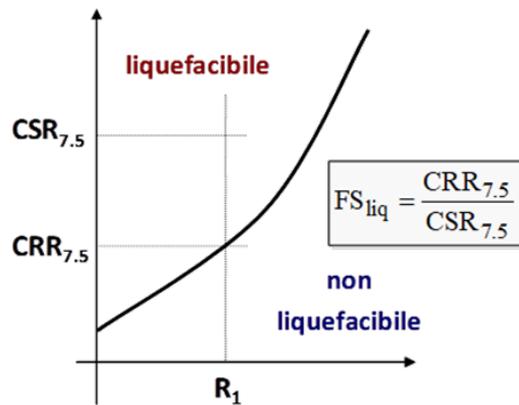


Figura 4 – Schema per le verifiche tramite metodi semi empirici

Se questi metodi evidenziano una suscettibilità al fenomeno, bisogna proseguire con analisi dinamiche, semplificate o avanzate, che permettono di studiare in maniera dettagliata la sua evoluzione.

In seguito alla stima di CRR e CSR, si può condurre una verifica globale sulla base del *Potenziale di Liquefazione* I_L , stimato nei primi 20 m di profondità (Iwasaki et al. 1981).

$$I_L = \int_0^{20} F_L(z)w(z)dz$$

F_L è definito come *funzione del fattore di sicurezza*, mentre $w(z)$ è una *funzione peso* che tiene conto dell'importanza decrescente del fenomeno con la profondità.

In funzione di I_L si valuta il potenziale di rottura del terreno.

BIBLIOGRAFIA

D.M. 17 Gennaio 2018, *Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"*, G.U. Serie Generale n.42 del 20-02-2018, Suppl. Ordinario n.8.

Iwasaki, T.; Tokida, K.; and Tatsuoka, F., "Soil Liquefaction Potential Evaluation with Use of the Simplified Procedure" (1981). International Conferences on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics. 12.