© 2021 Associazione Geotecnica Italiana, Roma, Italia, ISBN 978-88-97517-16-0

LIQUEFAZIONE IN GHIAIE: CASI DI STUDIO IN ITALIA

Emanuel D'Eramo (emanuel.deramo@studenti.unich.it)
Università degli Studi "G. d'Annunzio" Chieti-Pescara, Italia

Diana Faieta (diana.faieta@studenti.unich.it)
Università degli Studi "G. d'Annunzio" Chieti-Pescara, Italia

Sara Amorso (sara.amoroso@unich.it)
Università degli Studi "G. d'Annunzio" Chieti-Pescara, Italia
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, L'Aquila, Italia

Kyle M. Rollins (rollinsk@byu.edu)
Brigham Young University, Provo, Utah

ABSTRACT. Lo studio del fenomeno di liquefazione nei terreni è trattato nelle recenti Norme Tecniche delle Costruzioni (NTC, 2018) anche facendo riferimento a fusi granulometrici con possibile liquefazione. In questo articolo si vanno ad analizzare e confrontare i risultati ottenuti in diversi siti che sono stati (Friuli, sequenza sismica 1976-1977) o non sono stati (L'Aquila, terremoto 2009) affetti dal fenomeno della liquefazione in ghiaia in seguito a forti terremoti. A tale scopo sono state effettuate prove geotecniche di laboratorio ed indagini in sito, per evidenziare sia le criticità sia le potenzialità delle analisi effettuate e della normativa in vigore. Dalle elaborazioni preliminari effettuate si osserva che il solo uso dei fusi granulometrici secondo NTC (2018) porterebbe ad escludere il fenomeno della liquefazione in ghiaia anche dove è avvenuto. Pertanto risulta fondamentale accoppiare tali risultati quantomeno con le analisi semplificate mediante indagini geotecniche in sito.

1. INTRODUZIONE

Il lavoro presentato è focalizzato sul fenomeno di liquefazione in ghiaie. Simili fenomeni si sono verificati e sono stati studiati in diverse aree del mondo in concomitanza con eventi sismici, quali quelli di: Mino-Owari, Giappone (1891, Mw = 7,9), Fukui, Giappone (1948, Mw = 7,3), Alaska (1964, Mw = 9,2), Haicheng, Cina (1975, Mw = 7,3), Tangshan, Cina (1976, Mw = 7,8), Friuli, Italia (1976-1977, Mw=6,4), Kobe, Giappone (1995, Mw = 7,2) e Wenchuan, Cina (2008, Mw = 7,9) (Rollins et al., 2020). Considerate le limitate informazioni presenti in letteratura, sono state condotte prove penetrometriche dinamiche con maglio cinese pesante (DPT) (Cao et al., 2013) e analisi geotecniche di laboratorio sulla base di case histories di liquefazione in ghiaie sature selezionati ad Avasinis, Friuli (sequenza sismica del 1976-1977, Figura 1a) e di case histories di non liquefazione in ghiaie sature selezionati a L'Aquila, Abruzzo (sequenze sismiche del 2009 e del 2016-2017). Le aree di studio sono state scelte in base alle loro caratteristiche geotecniche, preventivamente analizzate grazie ai dati disponibili in letteratura (e.g. Sirovich, 1996; MS-AQ, 2010). Le analisi granulometriche eseguite sui campioni seguono le raccomandazioni AGI (Linee Guida AGI, 1994) e sono state analizzate considerando i fusi di possibile liquefazione previsti dalle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2018 (NTC, 2018). Le NTC (2018) specificano che la verifica a liquefazione può essere omessa quando si verifica almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, in caso di piano di campagna sub-orizzontale e della presenza di strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$, dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna ai fusi granulometrici, definiti in funzione del coefficiente di uniformità Uc.

2. CASI DI STUDIO ANALIZZATI

In questa sezione vengono mostrate le stratigrafie semplificate dei quattro siti presi in esame: L'Aquila-Sito 3, L'Aquila-Sito 4, L'Aquila Sito-5 e Avasinis Sito-5. I siti presi in esame sono stati scelti in funzione della loro stratigrafia e della distanza epicentrale rispetto alle sequenze sismiche del 2009 per L'Aquila, del 2016-2017 per il centro Italia e del 1976-1977 per il Friuli. In Figura 1b è rappresentato un grafico che mette in relazione la distanza epicentrale e la magnitudo momento, con la possibilità di avere/non avere liquefazione (Maurer et al., 2015, Galli 2000, Ambraseys, 1988, Castilla and Audemart, 2007). Dal grafico si evidenzia che il fenomeno della liquefazione può essere associato al terremoto Mw 6.1 dell'Aquila e ai terremoti Mw 6,4, Mw 6 e Mw 5,9 del Friuli, mentre non può essere associato ai terremoti Mw 5,3, Mw 5,4 e Mw 5,9 del centro Italia data l'elevata distanza epicentrale. I restanti terremoti (Mw 5, Mw 5,4 e Mw 5,2 dell'Aquila, Mw 5, e Mw 5,2 del Friuli, Mw 6,5, Mw 6, Mw 5,5 Mw 5,4, Mw 5,2, Mw 5 e Mw 4,9 del centro Italia) invece sono associati ad una fascia di transizione.

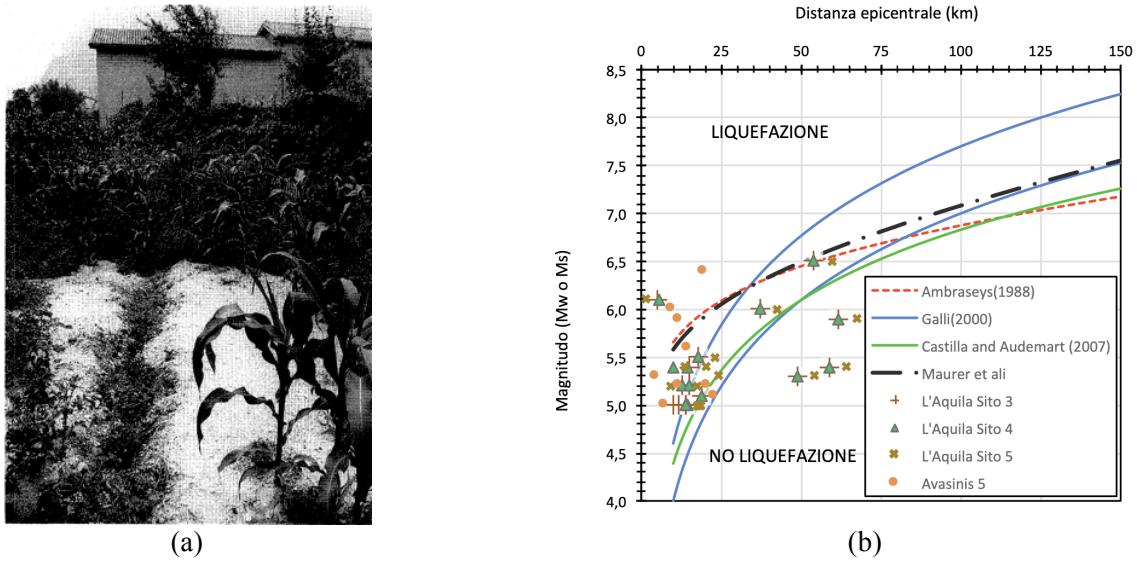

Figura 1. Avasinis, maggio 1976. Fessura in ghiaia (Sirovich, 1996) (a); grafico magnitudo – distanza epicentrale associato al fenomeno della liquefazione (b).

In Figura 2 sono mostrati i profili stratigrafici semplificati dei quattro siti: all'interno di ognuno, in via preliminare, è stato identificato lo strato potenzialmente liquefacibile sulla base delle stratigrafie di sondaggio, della profondità della falda e dei profili delle prove penetrometriche DPT. Si può osservare che lo strato così identificato sotto falda è composto da ghiaie ad una profondità variabile tra 3,5 e 10 m.

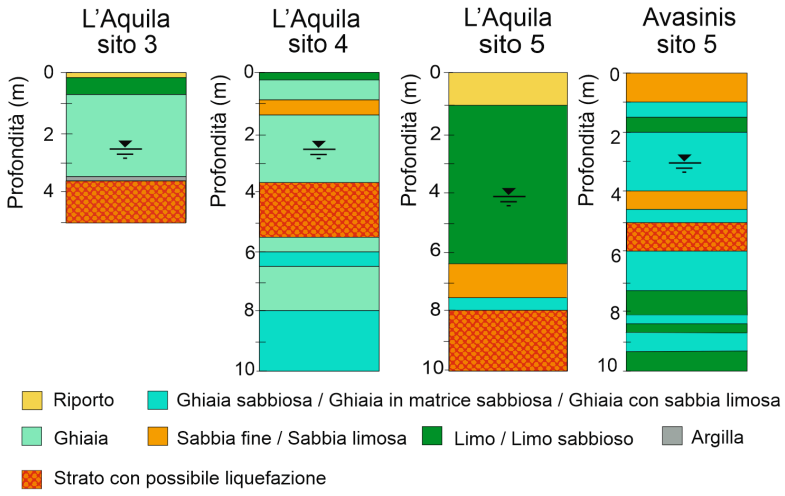

Figura 2. Profili stratigrafici semplificati dei quattro siti.

3. RISULTATI DELLE ANALISI LABORATORIO

In Figura 3 vengono mostrate le curve granulometriche dei campioni prelevati dagli strati indicati come potenzialmente liquefacibili. Come visibile in Figura 2, le loro profondità sono: 3,5-5 m per L'Aquila-Sito 3; 3,9-5,4 m per L'Aquila Sito-4; 8,0-10,0 m per L'Aquila-Sito 5 e 5,0-6,0 m per Avasinis-Sito 5.

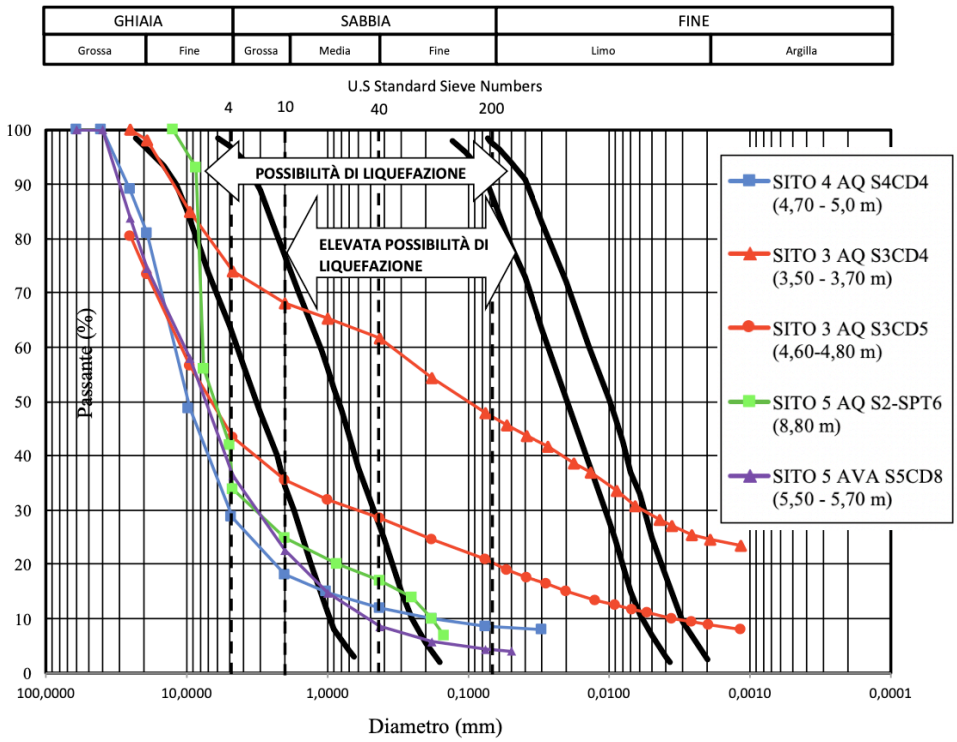

Figura 3. Curve granulometriche dei quattro siti: L'Aquila-Sito 3 (in rosso), L'Aquila-Sito 4 (in verde), L'Aquila-Sito 5(in azzurro), Avasinis-Sito 5 (in viola).

In Tabella 1 sono elencati i parametri ricavati dalle analisi granulometriche (coefficiente di curvatura Cc, coefficiente di uniformità Uc, contenuto di fine FC, indice di plasticità PI) utilizzati per la classificazione USCS (Unified Soil Classification System, ASTM D2487-11, 2011). È inoltre riportata la classificazione AGI (Associazione Geotecnica Italiana, AGI 1994).

Tabella 1. Parametri ricavati dalle analisi granulometriche.

SITO	CAMPIONE	PROFONDITÀ (m)	Cc	Uc	FC (%)	PI	CLASSIFICAZIONE USCS	CLASSIFICAZIONE AGI
L'Aquila Sito 3	S3CD4	3,50-3,70	-	-	47,98	20	Clayey gravel with sand (GC)	Ghiaia argillosa sabbiosa limosa
	S3CD5	4,60-4,80	12,33	71,7	20,94	17	Clayey gravel with sand (GC)	Ghiaia sabbiosa limosa debolmente argillosa
L'Aquila Sito 4	S4CD4	4,70-5,00	1,88	108,6	6,64	NP	Well graded gravel with silt with sand (GW-GM)	Ghiaia con sabbia debolmente limosa
L'Aquila Sito 5	S2-SPT6	8,80	7,64	43,23	-	NP	Poorly graded gravel with sand (GP)	Ghiaia con sabbia
Avasinis Sito 5	S5CD8	5,50-5,70	1,86	19,8	4,35	NP	Well graded gravel with sand (GW)	Ghiaia sabbiosa

Dalla Figura 2 si evince che nessuna delle curve granulometriche ottenute rientra nei fusi granulometrici indicati dalle NTC (2018), eccetto quella del campione S3CD4, prelevato dal sito L'Aquila-Sito 3 ad una profondità di 3,50-3,70 m. Questi risultati porterebbero ad escludere la maggior parte dei siti dalla verifica di liquefazione secondo le Norme Tecniche delle Costruzioni (NTC, 2018), nonostante ci siano state evidenze di questi stessi fenomeni nel sito di Avasinis (Figura 1b), come diffusamente riportato da Sirovich (1996).

4. CONCLUSIONI

Tutte le granulometrie prese in analisi (eccetto quella del campione S3CD4) ricadono al di fuori dei fusi di liquefazione previsti dalle NTC del 2018, suggerendo che la sola analisi granulometrica non è sufficiente per determinare l'esclusione di un sito dalla verifica di liquefazione. Per esempio, nonostante la granulometria di Avasinis-Sito 5 ricada al di fuori dei fusi, in questo sito è stato osservato il fenomeno di liquefazione. In siti simili è quindi opportuno condurre attente analisi, che includano campagne di indagini geotecniche in sito e prove di laboratorio al fine di ricostruire un adeguato modello geotecnico di sottosuolo e al fine di effettuare analisi di liquefazione quantomeno con "metodi semplificati". A parità di curva granulometrica, le analisi di liquefazione mediante prove penetrometriche dinamiche con maglio cinese pesante (DPT) offrono la possibilità di discriminare i siti potenzialmente liquefacibili (e.g. Cao et al., 2013; Rollins et al., 2020).

5. RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia il Direttore del Laboratorio di Geologia Applicata dell'Università degli Studi "G. D'Annunzio" Chieti-Pescara, Prof. Nicola Sciarra, e il tecnico del laboratorio Sandro Toro per il supporto alle analisi geotecniche di laboratorio durante l'attività di tesi.

6. BIBLIOGRAFIA

AGI (1994). *Linee Guida "Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio"*.

Abraseys N., Engineering Seismology. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics.* 17: 1-105.

ASTM D2487-11 (2011). Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017, www.astm.org

Cao Z., Leslie Youd T., Yuan X. (2013). Chinese Dynamic Penetration Test for Liqefaction Evaluation in Gravelly Soils. *American Society of Civil Engineers.* 139 (8): 1320-1333.

Castilla R., Audemart A. (2007) Sands blows as a potential tool for magnitude estimation of pre-instrumental earthquakes. *J. Seismol.*

Galli P. (2000), New Empirical Relationships between magnitude and distance for liquefaction. *Tectonophysics.* 324 169-187.

Maurer B., Green R., Quigley M. Bastin S. (2015). Development of magnitude-bound relations for paleoliquefaction analyses: New Zealand case study. *Engineering Geology,* 197: 253-266.

NTC (2018). Norme tecniche per le costruzioni. *Gazzetta ufficiale della repubblica Italiana,* 20 febbraio.

Rollins K., Amoroso S., Milana G., Minarelli L., Vassallo M. Di Giulio G. (2020). Gravel Liquefation Assessment Using the Dynamic Cone Penetration Test Based on Field Performance from the 1976 Friuli Earthquake. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering,*146: 04020038.

Sirovich L. (1996). Repetitive liquefaction at a gravelly site and liquefaction in overconsolidated sands. *Soils and Foundation,* 36: 23 - 34.