

## LIQUEFAZIONE DEI TERRENI IN CONDIZIONI SISMICHE: LA MITIGAZIONE DEL RISCHIO MEDIANTE INIEZIONI CHIMICHE ECO-COMPATIBILI

M. d'Attoli, D. Gualerzi, F. Navi, A. Occhi, M. Occhi

Geosec Srl, Italy

La liquefazione dei terreni è un fenomeno cosismico conseguente ad eventi sismici in zone caratterizzate da importanti spessori di depositi sabbiosi o limoso - sabbiosi saturi d'acqua.

In seguito all'evento sismico del maggio 2012 verificatosi in Emilia Romagna, che ha manifestato numerosi casi di liquefazione dei terreni, GEOSEC ha condotto alcuni test sites in vera grandezza nelle zone colpite dal sisma, sotto la supervisione del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna, con lo scopo di valutare l'efficacia dell'utilizzo di tecniche di consolidamento dei terreni con resine chimiche ai fini della mitigazione del rischio liquefazione.

Grazie agli ottimi risultati ottenuti è stato poi possibile trasferire l'esperienza maturata nei test sites alla scala di cantiere.

Prima dell'intervento di consolidamento, in accordo con il Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna, sono stati condotti dei test site preliminari finalizzati a valutare la suscettibilità a liquefazione dello strato sabbioso, a progettare la maglia d'intervento ed i quantitativi di resina da utilizzare nonché a dimostrare l'efficacia del trattamento. Sono state eseguite prove penetrometriche CPTU mediante penetrometro Pagani modello TG63 (200KN) spinte sino ad una profondità di - 15 m dal p.c. Tutte le verifiche a liquefazione sono state condotte secondo il metodo Robertson-Wride.

Per le sue caratteristiche tecnologiche quanto operative la soluzione adottata per questo test site può inserirsi tra quelle definite di tipo "attivo" ovvero con tecnica del "compaction grouting".

La resina poliuretanicca ha consentito una efficace compattazione dello strato trattato, con conseguente riduzione dell'indice dei vuoti e del contenuto d'acqua, da cui ne deriva una maggiore resistenza a liquefazione, una minore permeabilità ed una maggiore rigidità, grazie anche a buone proprietà meccaniche della miscela stessa. Essa infatti, a differenza delle tradizionali iniezioni di malte cementizie, viene iniettata nel terreno a pressioni decisamente inferiori favorendo dapprima un'azione di permeazione e a seguire, grazie alla sua reazione chimica volume di espansione < 5 volte il volume iniziale e tempo di reazione > 15 secondi) un'azione permeante e più compattante, tale da conferire miglioramenti al mezzo trattato, anche in breve termine rispetto alle soluzioni più tradizionali, secondo un raggio d'azione definito e verificato dalla maglia di verticali CPTU in post trattamento.

Le iniezioni sono state spinte fino ad una profondità di 5.0 m dal piano di campagna ed hanno interessato uno strato di terreno compreso tra - 2.5 e - 5.0 m con effetti comunque rilevati anche più superficialmente. La verifica a liquefazione condotta preliminarmente alle iniezioni ha permesso di riscontrare la presenza di isolati strati potenzialmente liquefacibili a profondità comprese tra - 3.3 e - 5 m dal p.c..

Le prove post-intervento sono state eseguite ad opportune distanze dalle verticali di iniezione così come suggerite dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna ed hanno mostrato (cfr. Fig. 1) un incremento medio nello strato trattato della resistenza alla punta di circa il 109% e della resistenza all'attrito laterale di circa il 158%. Il fattore di sicurezza ha evidenziato un incremento medio sullo strato del 61% e la verifica a liquefazione è risultata anche in questo caso soddisfatta.

**Confronto CPTU<sub>4</sub> Pre-Post Intervento.** I risultati ottenuti mostrano un significativo miglioramento delle prestazioni geotecniche del terreno trattato in assoluta conformità con le norme tecniche di settore e le prescrizioni indicate dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna. Ne consegue che il metodo si conferma a pieno titolo quale soluzione alternativa e di significativo interesse per la risoluzione dei problemi di mitigazione

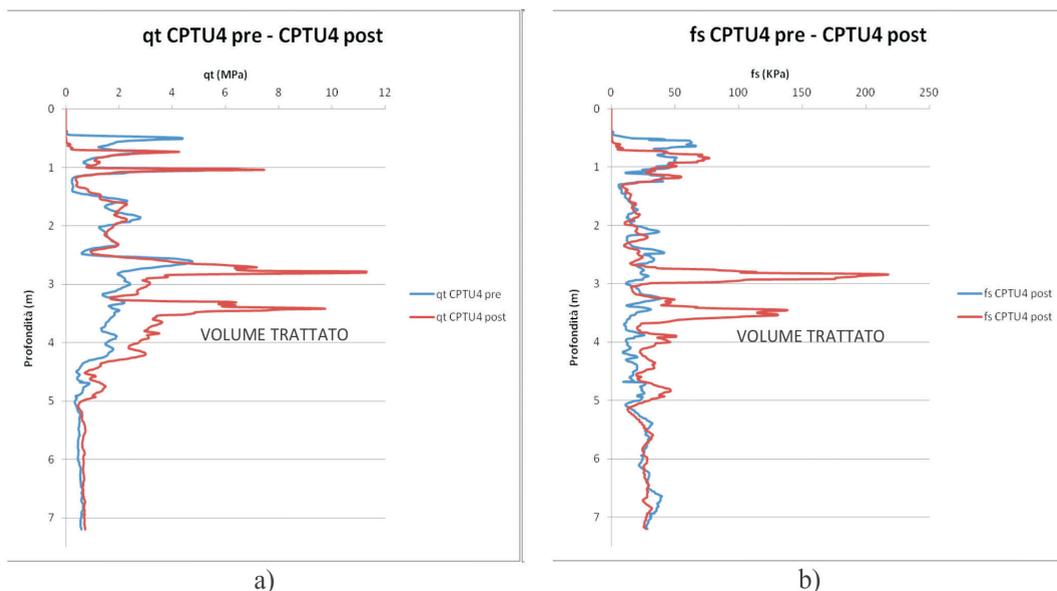


Fig. 1 - Confronto CPTU4 (pre trattamento) – CPTU4 (post trattamento) a) qt resistenza alla punta b) fs resistenza all'attrito laterale.

del rischio liquefazione ed in particolare evidenziando i seguenti vantaggi in confronto alle soluzioni di iniezione più tradizionali:

- non necessità di scavi e trivellazioni pesanti e non produce vibrazioni alle opere;
- non richiede opere di demolizione e ricostruzione delle fondazioni esistenti;
- non necessità di alta pressione di spinta alla pompa come ad esempio il jet grouting e dunque riduce notevolmente il rischio di dispersione della miscela;
- non appesantisce il terreno dopo il trattamento: il peso specifico della resina risulta molto inferiore alle miscele cementizie e compreso tra 230-600 Kg/mc;
- tempi di maturazione della miscela pressoché incomparabili rispetto alle tradizionali iniezioni di miscele cementizie e più precisamente in un rapporto minimo pari ad almeno 1/30;
- non inquina, un terreno dopo il trattamento rimane non inquinato (D. Lgs. 152/06 e s.m.i.).

### Bibliografia

- Aiello, E.; 2010: *Università degli Studi di Siena, Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2008) - Teoria ed applicazioni nella progettazione geologica e geotecnica – Ordine dei geologi del Lazio - Corso di Aggiornamento Professionale Continuo, Roma 2010*
- Gruppo di Lavoro dell'AGI per gli Edifici Industriali, AGI; 2012: *Linee di indirizzo per interventi su edifici industriali monopiano colpiti dal terremoto della pianura padana emiliana del maggio 2012 non progettati con criteri antisismici: aspetti geotecnici*
- Gruppo di lavoro MS; 2008: *Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica. Conferenza delle Regioni e delle Province autonome - Dipartimento della Protezione Civile Reperibile <http://www.protezionecivile.it/> sezione "Rischio sismico"*
- Lanzo, G.; 2013: *Università di Roma 'La Sapienza' – Le categorie di sottosuolo delle NTC08: limiti di applicabilità di Vs30. Workshop 'Strategie di Mitigazione del Rischio Sismico', la microzonazione sismica: esperienze, risultati, applicazioni dal 2008 al 2013 Roma, 22-23 maggio 2013 – CNR*
- Madiai, C.; 2013: *Università degli studi di Firenze Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale Sezione Geotecnica - Liquefazione dei terreni in condizioni sismiche.*
- Norme tecniche per le costruzioni; 2018: *D.M. 17 Gennaio 2018;*
- Occhi, M., Occhi, M., Occhi, A., Gualerzi, D.; 2017: *Method and kit for mitigating the risk of liquefaction of ground to be consolidated, IPN WO 2017/182939 A1, IPC E02D 3/12 (2006.01)*

- Occhi, M., Occhi, A., Gualerzi, D.; 2008: *Local seismic protection method for existing and/or possible construction sites destined for the foundation areas and those surrounding the building construction. Patent EP1956147*
- Occhi, M., Occhi, A., Gualerzi, D.; 2006: *A method for homogenizing and stabilising a soil by way of injections Patent EP1914350.*
- Regione Emilia Romagna; 2012: *Determinazione n° 12418 del 02/10/2012 Approvazione degli elaborati cartografici concernenti la delimitazione delle aree nelle quali si sono manifestati gravi effetti di liquefazione a seguito degli eventi sismici del 20 e 29 maggio 2012 e degli indirizzi per interventi di consolidamento dei terreni.*
- Robertson P.K., and Wride C.E.; 1998: *Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test. Can. Geotech. J., Ottawa, 35(3), 442–459*