

I pali prefabbricati infissi e la mitigazione della liquefazione delle sabbie

Il comportamento dei terreni in seguito all'infissione di pali prefabbricati nei confronti della liquefazione indotta con la tecnica del blast test

Si denomina genericamente liquefazione una diminuzione di resistenza a taglio e/o di rigidità causata dall'aumento di pressione interstiziale in un terreno saturo non coesivo (sabbia, ghiaia, limo non plastico) durante lo scuotimento sismico, tale da generare deformazioni permanenti significative o persino l'annullamento degli sforzi efficaci nel terreno (Decreto 17 gennaio 2018, Eurocodice 8-Parte 5). La liquefazione delle sabbie innescata da un evento sismico è uno dei processi che causa il collasso delle strutture e la sua rilevanza è stata messa in luce in occasione del sisma del 2012 che ha interessato un'ampia zona del ferrarese.

Geofondazioni Ingegneria e Lavori, società che opera da decenni nel campo delle fondazioni profonde, in particolare nell'ambito dei pali prefabbricati infissi mediante battitura, nel 2020 ha condotto una complessa e scientificamente estremamente interessante sperimentazione su scala reale in collaborazione con le Università di Chieti-Pescara e Padova, e con tecnici dell'INGV.

Essa parte da precedenti osservazioni sperimentali con le quali è stato rilevato che materiali con maggior densità (esprimibile ad esempio attraverso la resistenza alla punta "qt" rilevata con un penetrometro statico con punta elettrica) risultano meno suscettibili al fenomeno della liquefazione. L'intento quindi è stato quello di verificare il livello di addensamento prodotto dall'infissione dei pali prefabbricati, che per eccellenza sono a dislocamento orizzontale del terreno, e i suoi effetti nei confronti della liquefazione prodotta artificialmente con la tecnica del blast test.

In un primo sito nelle vicinanze di Ostellato (FE) sono stati messi a confronto gli addensamenti prodotti dall'infissione di pali a geometria cilindrica e troncoconica equivalente.

Successivamente, nel sito di Mirabello (FE), interessato nel 2012 da vistosi fenomeni di liquefazione, sono stati infissi pali prefabbricati troncoconici da 16 m, diametro in punta 26 cm e conicità 1.5 cm/m, per condurre una ricerca sperimentale articolata in due fasi:



Infissione dei pali

- Infissione di gruppi di 4 pali in postazioni diversificate per interasse ed energia di battitura, allo scopo di indagare i fattori che condizionano l'addensamento del terreno, attraverso il confronto di misure dilatometriche e della resistenza alla punta di un penetrometro statico con punta elettrica (CPTu), effettuate prima e dopo l'infissione dei pali.

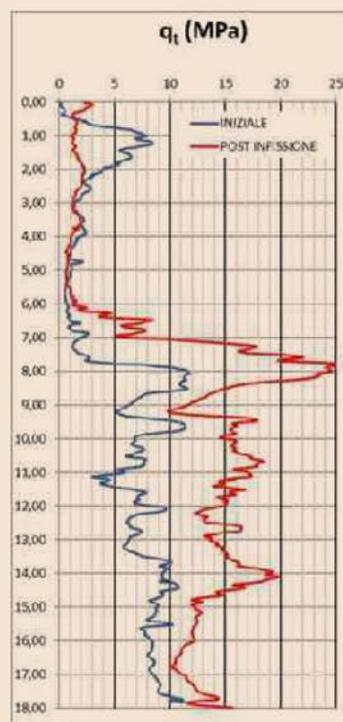
- Infissione di un gruppo di 13 pali e di 2 pali isolati, alcuni dei quali strumentati mediante inserimento nel cavo interno del palo di una catena estensimetrica, costituita da una successione di strain gauges. L'attività è stata completata col posizionamento di cariche esplosive distribuite planimetricamente su una circonferenza circoscritta all'insieme dei pali e fatte brillare secondo una precisa sequenza. La tecnica, blast test, produce la liquefazione delle sabbie in conseguenza ad una prevalente azione sussultoria impulsiva e attraverso i pali strumentati ne sono stati studiati gli effetti.

In entrambi i siti la successione stratigrafica è caratterizzata da un livello superficiale argilloso

di qualche metro al di sotto del quale si riscontrano livelli sabbiosi fini intercalati da strati limo-argillosi.

■ Risultato della ricerca: Fase 1

La figura mette in evidenza l'effetto di addensamento prodotto dall'infissione dei pali.



Addensamento del terreno

In particolare si è avuto modo di notare che il fenomeno è condizionato:

- dall'interasse tra i pali,
- dalla geometria del palo, con una maggior efficacia del palo troncoconico rispetto a quello cilindrico,
- dall'energia impiegata per l'infissione del palo messa in correlazione con i cicli di battitura (nu-

mero delle volte che il terreno è stato attraversato dall'energia),

- dalla massa del palo.

Attualmente la ricerca è in corso ed è orientata alla definizione di una legge previsionale dell'addensamento assumendo quali dati di ingresso il risultato dell'analisi di battibilità, condotta con programmi specifici, le caratteristiche del palo da infiggere e le prove penetrometriche (CPTu).

■ Risultato della ricerca: Fase 2

Quando gli strati di sabbia vanno in liquefazione, l'acqua in pressione risale velocemente verso il piano campagna trascinando con sé le particelle di terreno; in questa fase si assiste alla riduzione delle forze intergranulari, gli strati di sabbia perdono la loro struttura e collassano manifestando importanti deformazioni, a seguito della pressione esercitata dagli eventuali strati soprastanti.

Terminata la sollecitazione sismica si esaurisce lo stato di sovrappressione e l'insieme acqua terreno ripristina la condizione di equilibrio in tempi relativamente lunghi (anche di qualche mese); in questo lasso di tempo si manifestano dei cedimenti secondari nel terreno a seguito dell'azione di assestamento.

In generale l'abbassamento relativo del terreno rispetto al palo, si traduce in una inversione delle tensioni tangenziali di interfaccia, che oltre ad azzerrare il loro contributo alla capacità portante per attrito laterale del palo, si trasformano in carico aggiuntivo per attrito negativo.

Lo scopo del blast test è stato quello di verificare il comportamento dei pali infissi, in gruppo e isolati, nei confronti dell'eventuale sviluppo della liquefazione e il successivo studio dei suoi effetti.

Sono emerse le seguenti evidenze:

- nella zona interessata dal gruppo di pali la liquefazione ha indotto effetti modesti testimoniati da un cedimento assai contenuto nel terreno, ascrivibile per lo più a fenomeni secondari. L'addensamento nel terreno prodotto dall'infissione dei pali ha avuto pertanto un ruolo determinante ed efficace ai fini del contenimento del fenomeno.

- La zona interessata dai pali isolati è risultata molto più suscettibile alla liquefazione. Infatti, in tali pali, strumentati, si è registrato l'insorgere di attriti negativi di considerevole entità con conseguente variazione della capacità portante del palo stesso, che tuttavia è risultata comunque idonea a soddisfare i carichi attesi nella verifica allo Stato limite di Salvaguardia della vita. Questo evidentemente significa che anche in presenza di terreni liquefatti i pali prefabbricati infissi reagiscono mantenendo in sicurezza la struttura. Altra nota degna di interesse è l'evidenza che l'attrito negativo che si origina negli strati coesivi superficiali trascinati verso il basso dall'assestamento del livello sabbioso sottostante soggetto a liquefazione, è risultato più contenuto nei pali troncoconici rispetto ai cilindrici; l'osservazione, basata sul riscontro con sperimentazioni condotte in altri siti, può essere attribuita alla conicità del palo che favorisce il distacco del terreno e riduce l'entità delle tensioni tangenziali.



Si ringrazia Vincenzo Collella di Geofondazioni Ingegneria e Lavori per la stesura del testo

Istante del blast test: nella parte cerchiata è evidenziato l'effetto della liquefazione avvenuta nei pali isolati, esterni al gruppo di pali