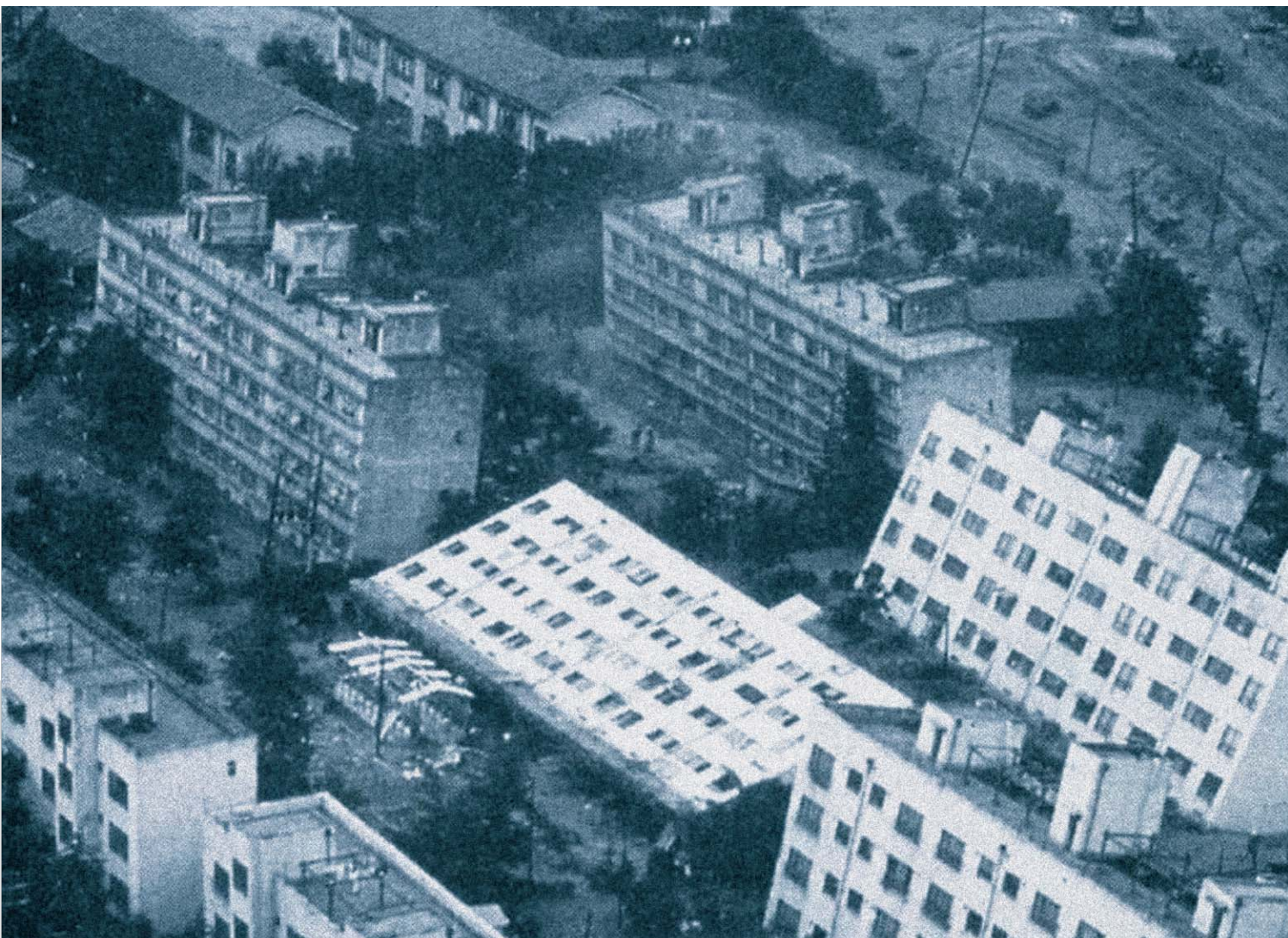




Collasso delle fondazioni indotto da eventi sismici

Il consolidamento dei terreni come intervento correttivo
per questa tipologia di dissesto



Intervento del Prof. Mario Manassero:
rinforzo ed adeguamento delle fondazioni
per sollecitazioni statiche e dinamiche.

PAG. **2**



Case History l'Aquila:
intervento di consolidamento nelle zone
del sisma d'Abruzzo.

PAG. **4**



Case History Parigi:
intervento di consolidamento presso il prestigioso
Museo di Storia Naturale di Parigi.

PAG. **6**



Memoria Convegno Internazionale di Singapore:
riduzione del rischio di collasso mediante
l'impiego di resine espandenti.

PAG. **10**

Rinforzo e adeguamento delle fondazioni per sollecitazioni statiche e dinamiche

Intervento del prof. Mario Manassero

Professore Ordinario di Ingegneria Geotecnica del Politecnico di Torino

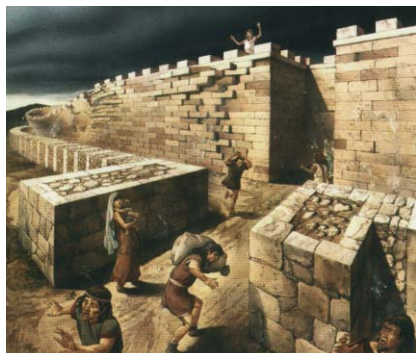
Dipartimento di Ingegneria del Territorio, dell'Ambiente e delle Geotecnologie



La salvaguardia, la conservazione ed il ripristino delle costruzioni esistenti costituiscono tematiche di grande attualità e rilevanza, soprattutto in contesti urbani quali quelli italiani, caratterizzati da un patrimonio edilizio molto ricco ma nello stesso tempo vulnerabile.

La necessità di intervenire sulle fondazioni di costruzioni esistenti può essere dettata da diversi fattori tra i quali si citano a titolo di esempio:

1) L'adeguamento per nuova destinazione d'uso o per un significativo aumento dei carichi di progetto rispetto a quelli originari;



2) Il rinforzo legato alla necessità di contrastare l'evoluzione di fenomeni in atto che possano comportare una perdita di funzionalità della struttura o, nei casi più estremi, il suo collasso.

La prima situazione si presenta ad esempio nei casi in cui siano previsti interventi di ampliamento della struttura e/o nuove esigenze funzionali che comportino un aumento dei carichi agenti. Altro esempio significativo è costituito dalla necessità di adeguare la struttura a prescrizioni normative sulle verifiche e/o sulle azioni di progetto più onerose rispetto a quelle del passato, come avviene per esempio nel caso delle azioni e delle relative verifiche sismiche la cui entità è stata recentemente modificata in modo significativo attraverso le nuove norme tecniche sulle costruzioni (NTC08 2008).

Per quanto riguarda invece gli interventi di rinforzo sul sistema sottosuolo/fondazione, gli esempi più comuni sono legati all'evoluzione di cedimenti in fondazione, a variazioni di condizioni al contorno (e.g. interventi in adiacenza al costruito; effetti del traffico veicolare;

variazioni delle piezometrie; erosione) e/o al degrado delle caratteristiche geotecniche/strutturali del sistema fondazione/terreno (e.g. movimenti franosi; cavità sotterranee; corrosione di inclusioni e rinforzi; invecchiamento delle murature; cedimenti di consolidazione e/o viscosi nel tempo).

Gli interventi di miglioramento del comportamento meccanico dei terreni e/o di rinforzo degli stessi possono essere ulteriormente suddivisi in interventi di tipo strettamente conservativo, che mirano semplicemente al mantenimento dello stato di fatto ed ad evitare ulteriori evoluzioni dei fenomeni deformativi in atto, incrementando eventualmente le condizioni di sicurezza nei confronti degli stati limite ultimi, ed interventi di ripristino e recupero vero e proprio che si propongono di ridurre il quadro deformativo e fessurativo in essere, attraverso stati di coazione indotti e/o l'attivazione di cinetismi di reversibilità in grado di recuperare condizioni di funzionalità e sicurezza in



generale già ampiamente comprese prima dell'esecuzione degli interventi.

In relazione agli interventi di adeguamento e di conservazione dello stato di fatto funzionale con eventuale incremento dei fattori di sicurezza nei confronti degli stati limite ultimi si rimanda per brevità a

quanto riportato nella letteratura specializzata e sintetizzato da Burghignoli (1996), Evangelista (1996) e Manassero e Mascardi (2004). Per quanto riguarda il rinforzo, recupero e ripristino di edifici e relative fondazioni che hanno subito cedimenti assoluti e differenziali rilevanti, vale certamente la pena di citare alcune tecnologie nell'ambito delle quali il recente contributo Italiano è stato senza dubbio molto significativo sia a livello di proposte tecnologiche che a livello di esempi applicativi di estrema delicatezza e di notevole interesse.

In particolare, per questi ultimi, vale semplicemente la pena di citare l'intervento di sottoescavazione per la stabilizzazione ed il parziale recupero della pendenza della Torre di Pisa (Burghignoli et al., 2007) e gli interventi di "compensation grouting" per lo scavo di alcune gallerie del sistema alta velocità ferroviaria in corrispondenza dei nodi di Bologna, Firenze.

Tra gli interventi di "consolidamento" degli edifici che hanno subito danni per cedimenti differenziali, si va sempre più diffondendo l'uso di resine espandenti, iniettate sotto il piano di fondazione, che, incrementando il loro volume, producono un sollevamento del terreno di fondazione, riducendo l'apertura delle lesioni nelle strutture in elevazione oltre ad un consolidamento/addensamento del terreno.

Il tempo di reazione delle resine attualmente



in commercio è molto rapido; ciò consente il confinamento della resina in un intorno massimo di circa 2.00 m dal punto di iniezione e la precisa localizzazione del volume di terreno trattato, oltre a tempi di lavorazione estremamente brevi.

Al fine di superare gli attuali approcci di dimensionamento sostanzialmente di tipo osservazionale ed empirico, procedure progettuali più moderne ed aggiornate per il dimensionamento delle iniezioni con resine espandenti dovrebbero fare sostanzialmente riferimento ai tre diversi approcci di seguito sintetizzati:

A. L'espansione della resina a seguito della sua introduzione nel sottosuolo provoca l'espansione di cavità di forma irregolare che possono essere assimilate in prima approssimazione a cavità sferiche o cilindriche a



seconda delle localizzazioni e delle modalità di esecuzione delle iniezioni. L'effetto sul terreno circostante è quello di un incremento dei due parametri di stato di riferimento di un qualsiasi mezzo particellare (i.e. la densità e lo stato tensionale di confinamento) con conseguente miglioramento delle caratteristiche di rigidità

e resistenza di un volume significativo di sottosuolo al di sotto delle fondazioni della struttura danneggiata. Questo tipo di approccio progettuale può essere del tutto assimilabile a quelli adottati per gli interventi con iniezioni compattanti (compaction grouting) realizzate mediante immissione in pressione nel sottosuolo di conglomerati cementizi di elevata viscosità e basso contenuto d'acqua.

B. Con particolare riferimento al caso di trattamenti colonnari, le iniezioni con resine espandenti possono essere assimilate ad un intervento di sottofondazione mediante inclusioni verticali o sub-verticali in grado di sopportare direttamente e almeno parte i



carichi verticali trasmessi dalla sovrastruttura e dalla sua fondazione. In questo caso il trattamento, dal punto di vista dello schema statico concettuale per il dimensionamento, può essere assimilato al trattamento colonnari con jet-grouting o soil-mixing o al limite ai pali o micropali utilizzati come riduttori dei cedimenti.

C. Nel caso in cui il trattamento di iniezione con resine espandenti sia concepito anche allo scopo di ottenere un parziale sollevamento dell'edificio ammalorato al fine di ridurre i cedimenti totali e/o differenziali che ne pregiudicano la funzionalità, è necessario modellare gli effetti del trattamento stesso mediante approcci numerici in grado di simulare le deformazioni indotte nel sottosuolo e gli spostamenti delle relative fondazioni con riferimento a geometrie complesse di tipo piano o addirittura tridimensionale.



Per leggere la versione integrale dell'intervista vai sulla pagina facebook di **uretek group**

L'Aquila

Un intervento eseguito successivamente ai dissesti causati dal sisma registratosi in Abruzzo durante l'ultima primavera



L'INTERVENTO

Oggetto dell'intervento è un fabbricato ad uso civile situato a L'Aquila, fuori dal centro abitato, e costruito nel 1980.

La fondazione è continua in cls. armato delle dimensioni di 0,6 m di larghezza ed impostata a circa 1,5 m dal piano campagna.

I primi cedimenti si sono avuti in seguito al sisma dello scorso Aprile ed hanno interessato in particolare due spigoli del fabbricato.

L'intervento di consolidamento ha interessato anche zone che non presentavano lesioni apparenti, con l'obiettivo di rendere il terreno di fondazione il più possibile omogeneo con le zone interessate dai dissesti.

Il terreno di fondazione è costituito da limi argilloso-sabbiosi.

L'intervento si è articolato in due fasi distinte e consecutive, su tre livelli complessivi di iniezione, compattando il terreno fino a m 3,0 dal

piano di appoggio delle fondazioni e quindi a m 4,5 circa dal piano di calpestio del seminterrato, ovvero circa m 5,8 dal piano campagna.

Mediante il trattamento con iniezioni di resina Uretek Geoplus®, con pressione di rigonfiamento superiore a 10.000 kPa, si è ottenuto un incremento della capacità portante del terreno di fondazione del 30% rispetto al valore iniziale.

Fase A: compattazione superficiale

In questa fase l'azione espansiva della resina Uretek Geoplus® si è concentrata nella zona di terreno immediatamente sottostante le fondazioni, allo scopo di migliorarne le caratteristiche geomeccaniche e la resistenza a rottura per sforzi di taglio, riempiendo i vuoti macroscopici eventualmente presenti.

Fase B: consolidamento in profondità

Nella seconda fase le iniezioni sono state eseguite più in profondità, nel volume di terreno maggiormente interessato dai cedimenti dovuti alle tensioni indotte dal carico sovrastante, utilizzando il metodo Uretek Deep Injections® (lavorazione protetta da Brevetto Europeo n. 0851064, di proprietà di Uretek).

I lavori si sono conclusi in data 22/10/09.

LA TECNOLOGIA

Uretek Deep Injections® è un metodo di consolidamento e compattamento dei terreni di fondazione, non invasivo, adatto a terreni sia granulari che coesivi e ad ogni tipologia di fondazione: isolata, nastriforme e a platea, costruita con qualunque materiale.

L'intervento prevede iniezioni, nel terreno, della speciale resina espandente Uretek Geoplus®, una resina di ultima generazione, concepita per le iniezioni in profondità, proprie del metodo Uretek Deep Injections®.

Certificata dall'Università di Padova, Geoplus® possiede caratteristiche uniche: una pressione di espansione massima di 10.000 kPa ed una reazione estremamente rapida, stabile e controllabile.

Il modulo elastico del materiale, simile a quello dei terreni, evita il trasferimento dei carichi in profondità. Geoplus® è leggera, non appesantisce il terreno e resiste ad una compressione



molto superiore a quella di qualsiasi terreno sciolto. Il sistema trova impiego ideale negli interventi su edifici storici, capannoni industriali, condomini, piscine, muri di contenimento.

La perforazione prevede fori, compresi tra 14 e 26 mm, che vengono realizzati attraverso la fondazione in modo da raggiungere il volume di terreno da trattare. Nei fori vengono poi inseriti dei tubi che serviranno ad iniettare la resina Geoplus®.

Le iniezioni di resina continuano fino a quando il terreno trattato risulta talmente addensato da rifiutare un'ulteriore compressione. A questo punto, la resina si espanderà verso l'alto, provocando un inizio di sollevamento dell'edificio.

Sull'edificio vengono posizionati dei ricevitori laser in grado di rilevare movimenti millimetrici: quando si osserva un inizio di sollevamento le iniezioni vengono interrotte ed il trattamento è così concluso in maniera sicura e definitiva.

L'intervento, eseguito direttamente sul terreno di fondazione, non altera la struttura sovrastante e può essere effettuato su porzioni di edificio.

L'intervento, poi, non genera vibrazioni e non è influenzato dalla presenza d'acqua.

La garanzia è di 10 anni.



Museo di Parigi

Uretek preserva lo spazio dedicato alla storia

Intervento di successo a Parigi, presso il prestigioso Museo di Storia Naturale. L'impiego del metodo Deep Injections® ha consentito di porre rimedio ad una situazione che andava deteriorando la stabilità di un edificio lungo quasi 100 metri.

PROBLEMATICA

A partire dal 1998 si è notato un accentuarsi del punzonamento di alcuni pali nel terreno di fondazione della struttura.

Il fenomeno si è via via accentuato producendo svariate lesioni che presentavano un'aper-



tura variabile da 1 a 2 centimetri.

La causa del dissesto non era mai stata individuata chiaramente, anche se si sospettava una diretta correlazione con la circolazione d'acqua nel sottosuolo dell'edificio. Nel 2005 si è deciso di intervenire.

DURATA DEI LAVORI

Le iniezioni di resina, realizzate in meno di una

settimana, sono state distribuite su una maglia regolare calcolata con precisione per rimediare al danno e stabilizzare il terreno in modo permanente.

INDAGINI IN SITO

E PROVE DI LABORATORIO

L'indagine geognostica del dicembre 2004, eseguita dal Dipartimento Costruzioni e Lavori Pubblici, ha rilevato l'esistenza di un generale allentamento e detensionamento del terreno di fondazione.

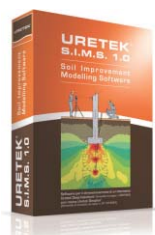
SOFTWARE UTILIZZATI PER MODELLARE L'INTERVENTO

Per progettare l'intervento Uretek® ha fatto ricorso al software di calcolo Uretek® S.I.M.S. 1.0. Si tratta di un programma alle formule implicite, basato sulla teoria dell'espansione delle cavità unite di Yu H. S. e Houlsby G. T., che permette ai professionisti di realizzare la progettazione degli interventi di consolidamento Uretek Deep Injections®.



MODALITÀ D'INTERVENTO

Il metodo Uretek Deep Injections® ha previsto l'esecuzione di fori in profondità, distribuiti lungo le fondazioni nastriformi al di sotto delle sale espositive. Questa tecnologia innovativa ma al contempo ben collaudata, riscuote consensi sempre più ampi, sia da parte di tecnici ed imprese che da parte del mondo accademico (si contano varie collaborazioni con le Università italiane come il Politecnico di Torino e l'Università degli Studi di Padova), e straniere (Università di Ankara ed altre).



pressione, per cui risulta adatta all'impiego anche in presenza di costruzioni e reti di sottoservizi. L'edificio è costantemente controllato con monitoraggio laser, per cui, in qualsiasi momento, si possono sospendere le iniezioni se si riscontrano condizioni operative diverse da quelle preventivate in sede di progettazione.

L'intervento delle squadre Uretex® in cantiere avviene in completa autonomia, articolandosi in quattro fasi principali:

Perforazione:

La lavorazione ha un basso grado di invasività essendo necessari, per l'intervento, fori di dia-



metro ridotto, inferiore ai 3 cm. L'assenza di vibrazioni non reca disturbo alle opere vicine.

Iniezione:

Il consolidamento prevede l'iniezione di una speciale resina (Geoplus®) che, espandendosi all'interno del terreno, ne provoca la compattezza; si migliorano così le caratteristiche del terreno quali coesione, modulo elastico e resistenza alla compressione. L'iniezione della resina avviene allo stato liquido e a bassa

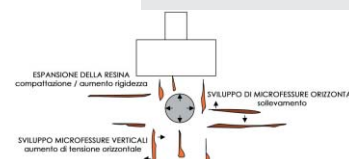
(tolleranza $\pm 0,1\text{mm}$).

Collaudo:

Il collaudo dell'intervento di consolidamento avviene con prove penetrometriche eseguite nel terreno, in adiacenza agli elementi di fondazione, prima e dopo il trattamento.

Il principio di sollevamento, rilevato con continuità dalla livellazione laser, assicura la buona riuscita dell'intervento, senza produrre effetti sulla sovrastruttura.

Schematizzazione dell'evoluzione della reazione della resina nel terreno:



L'operazione di iniezione si divide in due distinte fasi esecutive: compattezza superficiale e consolidazione in profondità.

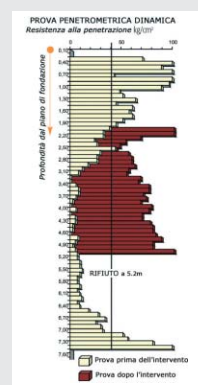
La 1ª e 2ª fase possono essere così schematizzate:



Monitoraggio:

La rapidità del processo di espansione consente un costante controllo delle operazioni realizzato in tempo reale. Una strumentazione laser di precisione, indica l'esatta entità del sollevamento

Risultati delle prove penetrometriche comparative



ESITO DELL'INTERVENTO

I risultati del monitoraggio e dei test penetrometrici comparativi eseguiti, hanno confermato il successo dell'intervento.

Inoltre, una volta assicurata la stabilità della struttura, indagini successive hanno rivelato che una condotta del riscaldamento urbano si era rotta proprio sotto la parte danneggiata dell'edificio. Sono stati quindi realizzati dei lavori di riparazione e ristrutturazione mirati a risolvere anche questo problema.

OSSERVAZIONI

Questo intervento evidenzia la scarsa invasività della tecnica (che non necessita di opere provvisorie, movimentazione di ingombranti macchinari o rimozione delle pavimentazioni o dei sottoservizi) e sottolinea la capacità delle squadre di lavorare in un ambiente ristretto in ragione della presenza di più puntellamenti.

Si comprende, inoltre, come la tecnica di consolidamento Uretex® restituisca immediatamente una buona coesione ai terreni allentati. Nel caso in esame questa caratteristica si è rivelata essenziale per arrestare repentinamente il pericoloso dissesto del terreno e consentire di intraprendere, in un secondo momento,



nuove ricerche che hanno determinato l'origine precisa del problema.

Test Uretek:

Test d'iniezione con resina Uretek Geoplus®

Il metodo Deep Injections®, per il consolidamento e l'aumento della capacità portante del terreno di fondazione con iniezioni di resine espandenti, è stato sviluppato e brevettato dalla società Uretek srl. Il materiale d'iniezione Uretek Geoplus® è già impiegato con successo in numerosi paesi europei. L'Austrian Institute of Technology GmbH è stato incaricato, da Uretek Austria, di redigere una relazione tecnica basata sulla documentazione esistente e sui risultati di prove d'iniezione in scala reale.



Cilindro idraulico e piastra di carico con centesimali comparatori

state realizzate in tre contenitori cilindrici riempiti con i tre terreni naturali.

In ogni contenitore è stato inserito un volume di terreno di circa 2,4 m³; i singoli terreni sono stati inseriti nei contenitori per la prova di riferimento (terreno non iniettato) e la prova di iniezione in condizioni pressoché uguali (densità e contenuto d'acqua).

Nell'ambito delle prove di carico, sui contenitori è stato applicato, in modo alternato, un elemento portante costituito da due supporti a doghe in acciaio, collegati l'uno all'altro mediante barre di acciaio. Il materiale inserito nei contenitori è stato sottoposto ad un carico mediante una piastra di carico, con diametro di 60 cm, completa di cilindro idraulico e pressa. L'assestamento della piastra è stato registrato con l'aiuto di quattro comparatori centesimali.

PROVE DI INIEZIONE IN SCALA REALE

Note generali - Strutturazione delle prove

Nell'autunno 2009 sono state condotte prove d'iniezione in scala reale con resina Uretek Geoplus® in un sito dell'AIT.

Scopo delle prove era dimostrare l'efficacia del materiale d'iniezione attraverso prove geotecniche di tipo convenzionale. In questo ambito erano previste indagini con il penetrometro leggero DPL, misurazioni del contenuto di acqua con sonda isotopica, la determinazione del modulo di deformazione dinamica con piastra di carico dinamica, nonché la realizzazione di prove di carico con piastra circolare (DN 600 mm).

Le prove si sono svolte su tre diversi tipi di terreno naturale, senza iniezione (terreno di riferimento) e con iniezione. Dal confronto dei risultati ottenuti con e senza iniezione è stata definita l'efficacia o l'azione migliorativa, sul terreno, della miscela iniettata.

Tutte le prove sono state realizzate in presenza di condizioni al contorno ben definite e riproducibili (densità a secco, contenuto di acqua, grado di compattazione), in modo da assicurare la comparabilità dei risultati.

Come substrati naturali sono stati utilizzati un terreno di natura non coesiva (calcare di Leitha), e due terreni coesivi (denominati Tegel e Löss). Le prove d'iniezione sono

VANTAGGI DI QUESTA PROVA:

- Condizioni al contorno definite con chiarezza.
- Terreno omogeneo con parametri chiaramente definibili (densità a secco, contenuto d'acqua).
- Possibilità di valutare visivamente l'intero volume migliorato.

• Indagine parallela su diversi tipi di terreno presso un unico sito (tre contenitori l'uno accanto all'altro con diversi tipi di terreno).

SCOPO DELLE PROVE:

- Determinazione dei parametri geotecnici di base dei terreni iniettati con l'ausilio di metodi d'indagine convenzionali (sondaggi, determinazione della densità).
- Determinazione delle curve cedimento/tempo per diversi carichi applicati.
- Comparazione del comportamento deformativo dei terreni iniettati e non iniettati in presenza di condizioni al contorno definite e con lo stesso procedimento di carico.
- Determinazione e comparazione del modulo di deformazione dei terreni iniettati e non iniettati.

RISULTATI:

• I risultati delle prove di carico evidenziano con chiarezza l'effetto positivo del materiale d'iniezione Uretek Geoplus®, espanso e polimerizzato, sul comportamento di deformazione nonché sulla capacità portante dei tipi di suolo oggetto dell'indagine.

• Nel caso dei terreni non coesivi (calcare di Leitha), con l'iniezione si è potuta ottenere una netta riduzione degli assestamenti indotti dal carico simulato sulle fondazioni.

La curva di assestamento sotto carico risulta decisamente appiattita.

Il ciclo di scarico mostra analogamente un andamento orizzontale: si tratta pertanto di deformazioni plastiche.

Non vi è alcuna indicazione di una compressione e decompressione elastica della resina espansa.

L'osservazione dell'area di iniezione rivela che il materiale ha completamente permeato i vuoti, dando origine ad una struttura del terreno che presenta le caratteristiche di un conglomerato.

L'espansione della resina è avvenuta uniformemente su una ampia superficie.

• Anche nel caso dei terreni di natura coesiva (Tegel, Löss), l'iniezione ha determinato una netta riduzione degli assestamenti indotti dalla prova di carico.

Inoltre anche la capacità portante risulta decisamente migliorata.

Ciò appare evidente se si osservano le curve di assestamento sotto carico del Tegel.

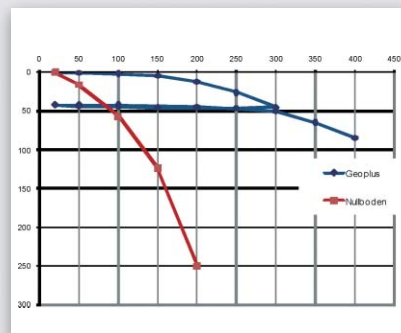
Il tegel non iniettato raggiunge la sua capacità portante limite già a ca. 200 kN/m², mentre il terreno iniettato con resina Uretek Geoplus® è in grado di reggere il carico massimo di 400 kN/m².

La resina ha formato nel Tegel un fitto reticolo di lame; grazie a questa struttura lamellare, si genera da un lato una compattazione localizzata del terreno in prossimità delle lame e dall'altro il suo irrobustimento per effetto del reticolo.

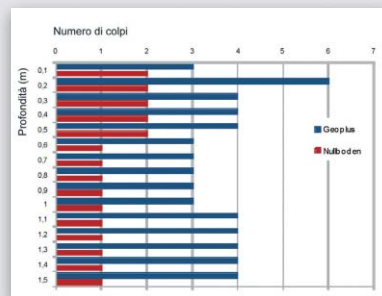
• A causa della sua compattezza estremamente allentata, il terreno Löss analizzato rappresenta un caso a parte.

Nel terreno non iniettato, la capacità portante limite viene raggiunta già dai primi cicli di carico. In seguito all'iniezione risulta invece applicabile un carico fino a 100 kN/m² con assestamenti ancora accettabili; ciò significa un netto aumento della capacità portante e al contempo la riduzione degli assestamenti risultanti.

RISULTATI E CONCLUSIONI DELLE INDAGINI GEOTECNICHE TERRENO COESIVO - LÖSS



Terreno coesivo - Löss:
prove di carico.
Grafico carico-spostamento - Löss



Valutazione del sondaggio
con penetrometro leggero nel Löss



Espansione della resina nell'area
circostante il punto di iniezione

Riduzione del rischio di collasso strutturale con le resine espandenti

L'iniezione di resine polimeriche altamente espandenti, sul terreno di fondazione, mitiga il rischio di crollo di strutture indebolite da fenomeni sismici



Esempi di rotture per superamento della capacità portante di fondazioni superficiali ad Adapazari (Turchia)

M. Erdemgil
SMP Engineering, Ankara, Turkey.
S. Saglam and B. S. Bakir
Department of Civil Engineering,
Middle East Technical University, Ankara, Turkey.

RIASSUNTO

Il collasso delle fondazioni indotto da eventi sismici può essere innescato dall'incremento del carico oltre la capacità portante o dalla perdita di quest'ultima. Il consolidamento dei terreni di fondazione costituisce un'importante categoria di interventi correttivi per questa tipologia di dissesto.

Trattando il caso di strutture esistenti in ambiente urbano, tuttavia, l'applicabilità della grande maggioranza dei metodi appartenenti a questa categoria o non è realizzabile o è seriamente limitata a causa del rumore o delle vibrazioni eccessive generati durante l'intervento. Al contrario, il consolidamento dei terreni di fondazione attraverso procedimenti di iniezione porta vantaggi eccezionali per la risoluzione di questi problemi e fornisce un livello

di efficacia relativamente alto se confrontato con quello delle possibili alternative.

INTRODUZIONE

Collapsi di fondazioni superficiali di grandi dimensioni, indotti da sismi, si sono verificati recentemente nella città di Adapazari durante il terremoto (Mw 7.4) di Izmit (Kocaeli), Turchia, il 17 Agosto 1999. Come conseguenza, centinaia di edifici in cemento armato da 3 a 6 piani, con platee superficiali, hanno subito cedimenti delle fondazioni di vari tipi ed intensità.

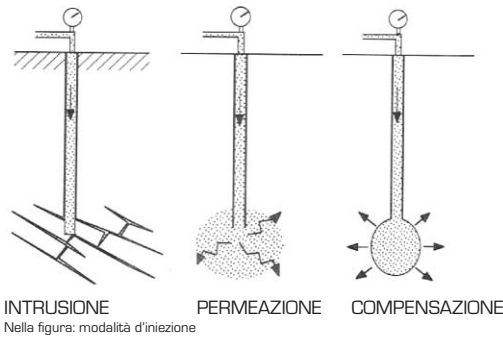
In questo documento sono presentati due casi d'incremento della capacità portante del terreno di fondazione dopo un evento sismico. Gli interventi hanno riguardato strutture edificate in ambiente urbano in Turchia. **Si sono realizzate iniezioni di polimeri commerciali (Uretek) per il miglioramento del sedime di fondazione in terreni suscettibili alla liquefazione, in un caso, e piuttosto cedevoli, a grana fine e non liquefacibili, nell'altro.**

CONSOLIDAMENTO CON INIEZIONE DI POLIMERI

Negli ultimi 40 anni si sono sviluppate diverse miscele chimiche utilizzate nel trattamento dei terreni; l'applicazione di questa tecnologia richiede inevitabilmente la conoscenza del materiale da iniettare e del terreno che deve essere trattato. Le specifiche del materiale della miscela, del tipo di terreno, delle caratteristiche dell'applicazione e le relazioni tra esse hanno una significativa influenza sull'efficacia del trattamento (Clough et al., 1979; Christopher et al., 1989; Ata and Vipulanandan, 1999; Ozgurel and Vipulanandan, 2005).

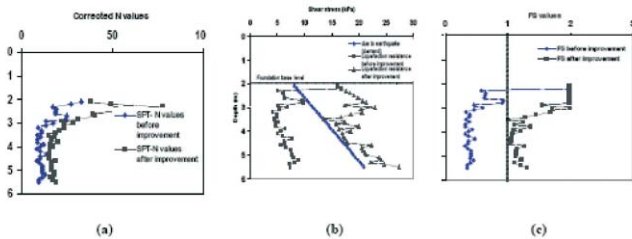
La miscela commerciale d'iniezione, utilizzata da Uretek nelle applicazioni descritte in questo documento, è un polimero espandente ed inerte. Grazie alla sua struttura chimica essa può diffondersi facilmente in terreni aventi permeabilità iniziali basse, dell'ordine di 10^{-6} m/s. Inoltre, può essere iniettata efficacemente a "intrusione", oppure a "compensazione", a se-

condita del tipo di terreno e della pressione d'iniezione (Fig. sotto). Il tempo di gel della resina Uretek è veramente breve, quasi immediato. Per raggiungere una resistenza a compressione prossima a quella finale ± sufficiente un'ora, mentre la resistenza finale della resina è raggiunta dopo un tempo di presa indicativo di 24 ore. Le osservazioni e le prove di laboratorio dimostrano che, dopo l'indurimento della resina iniettata, non ha luogo alcuna reazione apprezzabile con i materiali naturali circostanti o con i prodotti usati nell'industria edilizia (URETEK, 2007).



2.1 Caso 1 - Miglioramento di terreno liquefacibile

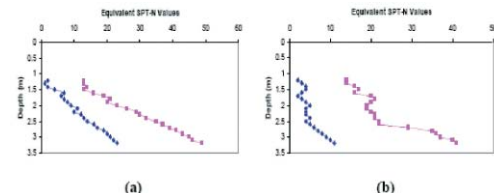
I terreni di fondazione sono stati migliorati fino ad una profondità di circa 4.0 m sotto la platea di fondazione con iniezioni sistematiche, dal piano di calpestio dell'edificio, realizzate con pressioni di applicazione che raggiungono i 6 bar alle profondità maggiori.



Nella figura: variazioni prima e dopo il trattamento (a) del numero di colpi SPT equivalente, (b) dello sforzo ciclico necessario per dare inizio alla liquefazione e (c) dei fattori di sicurezza contro la liquefazione (caso 1).

2.2 Caso 2 - Miglioramento di terreni alluvionali cedevoli

I terreni di fondazione sono stati trattati a profondità leggermente superiori a 3.0 m con iniezioni sistematiche sotto ed attorno alle platee di fondazione sulle quali poggia lo stabilimento. È stato stimato che, in seguito all'iniezione, la resistenza al taglio dello strato di argilla limosa è aumentata, in media, del 180%.



Nella figura: variazioni prima e dopo il trattamento del numero di colpi SPT nelle prove (a) DPT2 e (b) DPT4 (caso 2).

DISCUSSIONI E CONCLUSIONI

L'iniezione di polimeri espandenti, migliora la resistenza del terreno secondo due modalità distinte in funzione del tipo di terreno e della metodologia di iniezione.

Il primo effetto delle iniezioni, nel terreno saturato dalla resina, è il riempimento dei vuoti durante il processo di espansione. La miscela iniettata realizza un legame chimico tra i grani solidi costituenti il terreno.

Inoltre, durante l'espansione della resina, il blocco di terreno iniettato tende ad aumentare di volume esercitando pressioni significative sul terreno circostante. Ne consegue un incremento degli sforzi efficaci ed una riduzione dei vuoti (compattazione).

L'effetto combinato induce un miglioramento sostanziale delle caratteristiche del terreno misurabile con l'aumento della resistenza penetrometrica.

I case history qui presentati dimostrano, quindi, che l'iniezione di polimeri espandenti può essere utilizzata efficacemente per aumentare la capacità portante del terreno di fondazione rispetto ad un evento sismico. Sulla base dei risultati delle prove penetrometriche, realizzate per stimare il grado di miglioramento, si è osservato che il metodo è ugualmente efficace sia come intervento correttivo, per prevenire fenomeni di liquefazione in terreni a grana fine, sia come intervento rivolto ad aumentare la capacità portante di depositi alluvionali cedevoli.

Si può inoltre notare come le prove penetrometriche siano uno strumento valido e pratico per la stima in sito dell'efficacia dell'intervento.

La versione integrale è contenuta nella raccolta Uretek Scientific Book e può essere richiesta all'indirizzo: uretek@uretek.it

Scientific Book Uretek

Una nuova pubblicazione esclusiva di Uretek.

Questo libro costituisce la prima **raccolta di contributi scientifici sul tema del consolidamento dei terreni con iniezioni di resine espandenti**.

L'intensa attività di ricerca, promossa e sostenuta da Uretek in tutto il mondo, ha stimolato professionisti ed accademici ad interessarsi di questo microsettore della geotecnica.

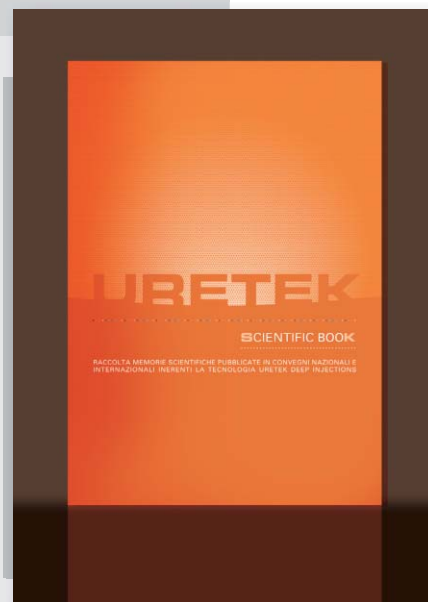
Nel corso degli anni, sono state presentate interessanti memorie in convegni internazionali tenutisi sia in Italia (Palermo, Abano Terme e Torino) che all'estero (Coimbra, Singapore, Parigi, Graz e Trondheim).

I contributi raccolti in questo volume spaziano dalla descrizione di case history particolari, ai metodi di progettazione e

modellazione fino all'applicazione della tecnologia Uretek Deep Injections® per l'attenuazione degli effetti indesiderati indotti da vibrazioni e ritiro/rigonfiamento dei terreni.

Il consolidamento del terreno con iniezioni di resina espandente è oggi una tecnologia che poggia su solide basi scientifiche e fa parte dei programmi di corsi universitari sul consolidamento dei terreni.

Questa raccolta vuole essere uno strumento che consenta, a chiunque lo desiderasse, di approfondire le proprie conoscenze sul tema e capire quali siano le caratteristiche fondamentali per la buona riuscita di un intervento.



NEWS URETEK

Uretek diventa socio sostenitore AGI.

Da settembre 2010 Uretek è socio sostenitore dell' AGI, Associazione Geotecnica Italiana. L'Associazione svolge attività di vario tipo:

SCIENTIFICO

Promuove e favorisce la creazione, in Italia, di centri di studio e di ricerca; propone alle istituzioni studi e criteri d'intervento in campo geotecnico; bandisce premi e borse di studio; incoraggia lo scambio culturale tra università e mondo delle professioni. Costituisce commissioni di studio su tematiche generali e locali.

INFORMATIVO

Divulga studi e ricerche di punta in campo geo-

tecnico, tramite il suo organo ufficiale (RIG) e incoraggia la diffusione della Geotecnica su tutto il territorio nazionale. Promuove la pubblicazione e la diffusione di studi specialistici in campo geotecnico.

ORGANIZZATIVO

Favorisce e mantiene rapporti di collaborazione, a livello nazionale ed internazionale, tra quanti - enti, associazioni e persone - si occupano di Geotecnica. Rappresenta l'Italia presso Società e Istituzioni scientifiche internazionali operanti in tale ambito.

Inoltre, organizza periodicamente riunioni, convegni e congressi.



Pubblicazione periodica pubblicitaria ed informativa sul Mondo URETEK.

Copia Gratuita.



SE RISOLVE, È URETEK.