



IAGIG 2012

Bologna

2° INCONTRO ANNUALE
DEI
GIOVANI INGEGNERI GEOTECNICI

BOLOGNA 4 - 5 MAGGIO 2012

*Sala dell'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Bologna
Strada Maggiore 13*

Raccolta dei Sommari



Ordine degli Ingegneri della Provincia di Bologna

con il Patrocinio di

Consiglio Nazionale degli Ingegneri

e

Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e dei Materiali - DICAM
Università di Bologna

www.iagig.unisa.it

STUDIO DEL COMPORTAMENTO DI RESINE POLIURETANICHE ESPANDENTI PER INTERVENTI DI SOTTOFONDAZIONE

Roberto Valentino (roberto.valentino@unipr.it)
Università degli Studi di Parma

Davide Stevanoni (davide.stevanoni@novatek.it)
Novatek s.r.l.

ABSTRACT. In questa nota si riportano i risultati preliminari di un'attività sperimentale che ha come oggetto lo studio del comportamento meccanico di diverse tipologie di resina espandente utilizzate per interventi di rinforzo di fondazioni esistenti. Lo studio è finalizzato principalmente alla messa a punto di una metodologia progettuale per questo tipo di interventi. L'attività è stata rivolta da un lato alla determinazione del legame tra densità della resina e pressione di confinamento, dall'altro alla misura di parametri meccanici della resina tramite prove di compressione in laboratorio. La presente nota riassume i risultati preliminari della prima parte della sperimentazione.

1. Introduzione

Il cedimento di fondazioni superficiali, con conseguente deformazione degli edifici esistenti, è un problema diffuso che richiede spesso una risoluzione in tempi brevi e con il minimo grado di invasività.

Diversi sono i sistemi di intervento che, mediante l'uso di tecnologie innovative, consentono di incrementare la capacità portante e limitare i cedimenti dei terreni di fondazione sia a breve che a lungo termine. Uno di questi è costituito dall'utilizzo di resine poliuretaniche espandenti che vengono iniettate nel terreno al di sotto del piano di posa delle fondazioni (Valentino e Stevanoni, 2010; Valentino e Stevanoni 2011). Tali interventi richiedono, tuttavia, uno studio scientifico di base che consenta di definire una metodologia di progettazione adeguata, superando l'attuale approccio meramente empirico.

2. Strumenti e metodi

Le resine poliuretaniche testate sono identificate con il nome commerciale *High Density Resins* (HDR) e sono il prodotto della miscelazione di due componenti: il poliolo e l'isocianato. I principali fattori che influiscono sulla reazione dei due componenti sono il rapporto di dosaggio, la temperatura e la pressione alla quale avviene la reazione. La tecnologia adottata per l'esecuzione delle iniezioni di resina in profondità consente di fissare le prime due variabili (rapporto di dosaggio e temperatura), mentre la pressione esterna dipende dalla profondità di iniezione e dai sovraccarichi esistenti. Durante la reazione si ha un considerevole aumento di volume, dovuto alla reazione dei gruppi isocianato in eccesso con l'acqua o l'acido carbossilico e alla conseguente produzione di anidride carbonica. È alla presenza di anidride carbonica che si deve la tipica struttura reticolare a celle chiuse della resina.

L'obiettivo dello studio qui presentato è quello di determinare, per ogni tipologia di resina considerata, una correlazione tra pressione di confinamento (p_{HDR}) e densità finale assunta dalla resina (ρ_{HDR}), mantenendo costanti sia la temperatura sia il rapporto di miscelazione dei due componenti iniettati. Per pressione di confinamento s'intende la pressione cui la resina è soggetta durante l'iniezione; tale pressione sarà direttamente proporzionale alla profondità d'iniezione rispetto al piano campagna e dipenderà anche dai sovraccarichi gravanti sul terreno di fondazione.

Alla base delle prove sperimentali vi è l'intenzione di riprodurre in laboratorio diverse pressioni di confinamento, in un intervallo di valori compatibile con le tensioni comunemente incontrate in sito. Per poter disporre di campioni di resina espansa ad una pressione p_{HDR} uniforme e costante durante la reazione e per rendere ripetibile l'esperimento è stato necessario progettare e realizzare uno strumento apposito cui è stato dato il nome di "*pistone HDR*", che consente di ottenere un'espansione della resina con diverse condizioni di confinamento (espansione confinata). Tale strumento, il cui schema è riportato in Figura 1, è costituito da un tubo cilindrico in acciaio della lunghezza di 2m. In corrispondenza della base inferiore del cilindro è posto l'innesto della canna d'iniezione, attraverso la quale viene iniettata la resina nella cavità interna del tubo. All'interno di questa è posto un pistone in grado di scorrere verticalmente lungo l'asse verticale. La presenza di una piccola quantità di lubrificante consente di minimizzare l'attrito durante la corsa. La testa del pistone è rigidamente collegata con un

secondo tubo cavo esterno, coassiale al primo e con diametro maggiore, anch'esso in grado di scorrere verticalmente. Alla base del tubo esterno è presente una piastra ad anello, che consente il posizionamento del sovraccarico desiderato, in modo tale da esercitare sulla resina una pressione e simulare così le condizioni in sito. Il pistone HDR è stato utilizzato per realizzare campioni di resina caratterizzati da diverse pressioni di confinamento p_{HDR} . In particolare, disponendo sull'anello di carico dei pesi definiti, è stato possibile determinare lo sforzo che, per contrasto, la resina ha esercitato dal basso verso l'alto, durante l'espansione, fino a sollevare il pistone. Nel computo di tale sforzo si è tenuto conto anche del peso degli elementi che costituiscono lo strumento. È stato inoltre valutato l'attrito pistone-cilindro.

Dimensioni significative del pistone HDR:

Diametro del cilindro d'espansione:
 $d = 60 \text{ mm}$

Lunghezza utile del cilindro d'espansione:
 $L = 750 \text{ mm}$

Volume utile del cilindro d'espansione:
 $V = 1700 \text{ cm}^3$

Superficie di spinta del pistone HDR:
 $Sup = 28.26 \text{ cm}^2$

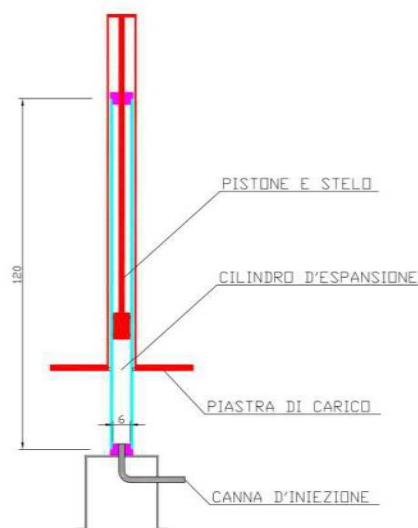


Figura 1. Pistone HDR per confezionamento dei provini con espansione confinata.

Durante una seconda fase della campagna sperimentale la resina è stata iniettata in un recipiente aperto, in modo tale che l'espansione avvenisse a pressione atmosferica (espansione non confinata). I campioni di resina realizzati in questo modo sono caratterizzati da una struttura reticolare a celle chiuse pressoché uniforme in tutte le direzioni (Buzzi et al., 2008).

Tanto in espansione confinata quanto in quella non confinata, sono stati testati due tipi di resina: l'HDR1000 e l'HDR300. L'HDR1000 è una resina con basso grado d'espansione e con resistenza meccanica elevata. L'HDR300 è una resina con grado d'espansione maggiore rispetto all'HDR1000 e, a parità di p_{HDR} , con resistenza meccanica inferiore. Ogni campione ottenuto ha forma cilindrica con diametro 60mm e altezza 60mm (Figura 2); la densità dei campioni (ρ_{HDR}) è stata calcolata misurandone la massa e il volume. I dati relativi ai campioni realizzati sono riportati in Tabella 1.



Figura 2. Campioni di resina a diversa densità.

	Tipo resina	N. campioni	p_{HDR} (kPa)	ρ_{HDR} (medio) (kg/m ³)	L (kJ)
Esp. non confinata	HDR 1000	7	0	215	0.384
	HDR 300	13	0	34	2.942
Esp. confinata	HDR 1000	10	101.3	973	0.033
	HDR 1000	8	302.8	1056	0.034
	HDR 300	5	101.3	243	0.654
	HDR 300	5	302.8	368	0.750
	HDR 300	5	465.3	483	0.684
	HDR 300	3	935.4	656	0.687

Tabella 1. Dati sui campioni di resina realizzati.

3. Risultati sperimentali e considerazioni conclusive

Considerando sia la miscela originata dai due componenti allo stato liquido, nella fase immediatamente precedente rispetto all'inizio della reazione d'espansione, sia la resina allo stato solido, prodotta in seguito alla reazione d'espansione, è possibile determinare le seguenti grandezze: la massa della miscela iniettata soggetta a reazione e la massa della resina prodotta; il volume occupato dalla resina prima e dopo la reazione; la densità della miscela e quella della resina (ρ_{HDR}). Disponendo di tali parametri è possibile calcolare il lavoro compiuto dall'espansione sull'ambiente circostante.

Eseguendo un'iniezione nel pistone HDR a pressione nota e misurando la densità della resina del campione prodotto è stato possibile disporre di almeno un punto sul piano (p_{HDR} ; ρ_{HDR}). Avendo a disposizione i dati sperimentali di vari provini, è stato possibile individuare la curva a lavoro costante che lega le variabili p_{HDR} e ρ_{HDR} per le diverse tipologie di resina HDR. In Figura 3 sono rappresentati i punti sperimentali e le curve d'espansione relative alle resine HDR300 e HDR1000. Dall'analisi eseguita sui campioni ad espansione confinata è risultata verificata l'ipotesi relativa alla possibilità di tracciare la curva d'espansione dei diversi tipi di resina considerando costante il lavoro di volume.

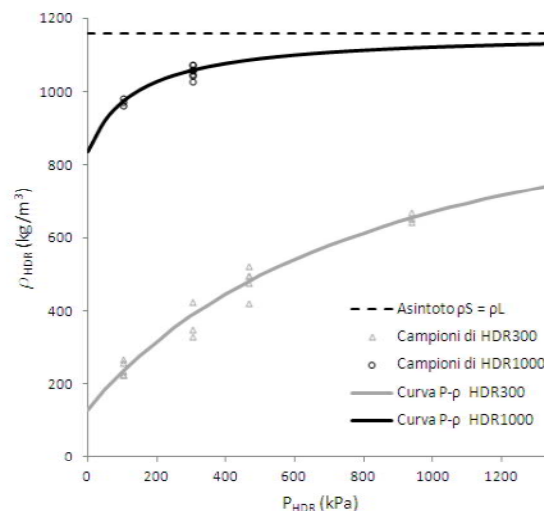


Figura 3. Confronto tra le curve d'espansione relative alle resine HDR300 e HDR1000.

Un secondo elemento d'indagine è relativo al rapporto esistente tra proprietà assunte dalla resina e tipologia d'espansione (confinata o non confinata). In particolare, calcolando il lavoro compiuto dall'espansione della resina sull'ambiente circostante, si è evidenziata una notevole differenza tra il lavoro compiuto dal sistema durante l'espansione non confinata (L_{NC}), a pressione atmosferica, rispetto a quello compiuto durante l'espansione confinata (L_{C}). Osservando più nel dettaglio i valori del lavoro compiuto, per entrambe le tipologie di resina testate, si può osservare che il lavoro è maggiore in condizioni non confinate rispetto alle condizioni confinate ($L_{\text{NC}} > L_{\text{C}}$); inoltre, il rapporto $L_{\text{NC}}/L_{\text{C}}$ è molto più elevato per l'HDR1000 rispetto all'HDR300.

In fase di dimensionamento di un intervento d'iniezione al di sotto di fondazioni esistenti, scegliendo la tipologia di resina HDR e la profondità alla quale eseguire le iniezioni, nota la pressione di confinamento p_{HDR} , è possibile determinare, grazie alla curva d'espansione, la densità assunta dalla resina allo stato solido. Il parametro che risulta significativo, al fine della stima del miglioramento conseguito dall'intervento, è il volume occupato dalla resina: in un terreno a grana grossa o in un terreno a grana fine, ma fessurato, tale volume coinciderà con quello dei vuoti prima dell'iniezione. Determinata la densità del materiale, il volume occupato dalla resina allo stato solido può essere definito utilizzando come parametro di dimensionamento la massa di prodotto iniettata. I risultati appena descritti possono considerarsi il primo passo per la definizione di un metodo in grado di dimensionare in modo affidabile gli interventi realizzati con iniezioni di resina espandente.

4. Bibliografia

- Buzzi O., Fityus S., Sasaki Y., Sloan S. (2008). Structure and properties of expanding polyurethane foam in the context of foundation remediation in expansive soil, *Mechanics of Materials*, 40: 1012-1021.
- Valentino R., Stevanoni D. (2010). Micropiles made of reinforced polyurethane resins: load tests and evaluation of the bearing capacity, *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 15, Bund. H: 895-912.
- Valentino R., Stevanoni D. (2011). Prove di carico e valutazione della capacità portante di micropali armati in resina espandente, *Atti del XXIV Convegno Nazionale di Geotecnica*, Napoli, Giugno 2011.