

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI
FEDERICO II



Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale
CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL
TERRITORIO

TESI DI LAUREA MAGISTRALE

**CHIODI AD ELICA DISCONTINUA PER IL
CONSOLIDAMENTO DEI TERRENI: ANALISI NUMERICA
ED EVIDENZE SPERIMENTALI**

Relatore:

Ch.mo Prof. Ing. FLORA ALESSANDRO

Candidato:

DAVIDE VASSALLO (M67/015)

Correlatore:

Ch.mo Ing. STEFANIA LIRER

ANNO ACCADEMICO 2011/2012

La tecnica del *soil nailing* (letteralmente, chiodatura del terreno, ma indicata anche nel nostro paese con il termine inglese) è largamente diffusa in molti paesi, mentre in Italia non è ancora diventata una pratica corrente. Si tratta di una tecnica di rinforzo usata per il sostegno - permanente o temporaneo - di scavi. Essa consiste nell'infissione ravvicinata di barre metalliche a sezione circolare di piccolo diametro (tipicamente compreso tra 20 e 30 mm) a contatto con il terreno per l'intera lunghezza.

Con il progredire della tecnologia si è cominciato a pensare a barre metalliche di forma non cilindrica quali possono essere ad esempio i chiodi ad elica. Questo tipo di chiodo rappresenta un'innovazione tecnologica molto promettente ed interessante nel campo del *soil nailing*. Dato che la forma ad elica rende necessaria l'infissione con l'applicazione di uno sforzo normale e di una coppia, nel campo della chiodatura (in cui l'installazione viene solitamente effettuata con macchinari leggeri) ha trovato diffusione, essenzialmente all'estero, l'impiego di chiodi con spire di eliche discontinue o addirittura uniche. L'impiego di chiodi a sezione non circolare migliora notevolmente l'interazione chiodo-terreno che governa l'efficacia di questa tecnica di rinforzo dei fronti di scavo.

L'obiettivo del lavoro di tesi è quello di approfondire il comportamento resistente di chiodi (*nails*) non convenzionali composti da una barra a sezione circolare alla cui estremità è presente uno o due piattelli metallici assimilabili ad eliche discontinue.

Il lavoro di tesi è stato svolto sia mediante uno studio numerico tridimensionale che attraverso una attività sperimentale. L'attività sperimentale è consistita nell'esecuzione di numerose prove di sfilamento di chiodi (tradizionali e con piattello) in pozzolana in un cassone di grandi dimensioni appositamente progettato e realizzato nel laboratorio del DICEA (Figura 1).

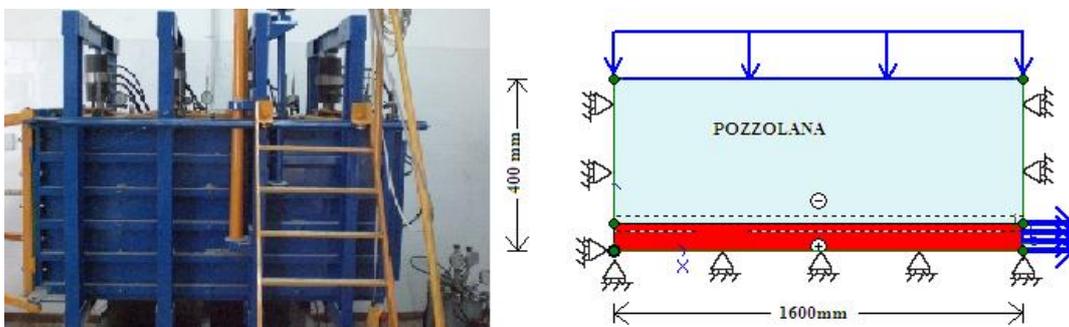


Figura 1: Strumentazione e schematizzazione di una prova sperimentale.

Il lavoro di tesi è stato esposto in sei capitoli. Nel CAPITOLO 1 viene descritta la tecnica del *soil nailing*, la procedura di esecuzione e i principali tipi di rinforzo che vengono utilizzati. Nel CAPITOLO 2 viene analizzato in dettaglio il meccanismo di interazione chiodo-terreno ed i vari aspetti che governano la resistenza allo sfilamento dei rinforzi. Nel CAPITOLO 3 si descrivono i principali metodi di progetto impiegati nella realizzazione di opere in *soil-nailing*. Nel CAPITOLO 4 si descrive l'attività sperimentale svolta nell'ambito del lavoro di tesi. In particolare dopo una descrizione dell'attrezzatura utilizzata per l'esecuzione delle prove di sfilamento, si illustra ampiamente il programma sperimentale e si commentano i risultati avuti nelle singole prove. Alcune delle prove sono state poi simulate numericamente attraverso il codice di calcolo *FLAC3D*. Nel CAPITOLO 5 si descrivono tutte le fasi di generazione del modello numerico tridimensionale e si confrontano i risultati numerici con le prove sperimentali. Infine nel CAPITOLO 6 si sintetizzano i risultati ottenuti e si evidenziano gli aspetti più rilevanti della ricerca svolta.

L'attività sperimentale ha dimostrato la notevole capacità resistente dei chiodi ad elica discontinua rispetto ai chiodi lisci; si è osservato, inoltre, che nel caso di rinforzo con un solo piattello, l'aumento del diametro del piattello di 2cm comporta una crescita della resistenza allo sfilamento di circa il 30% (Figura 2).

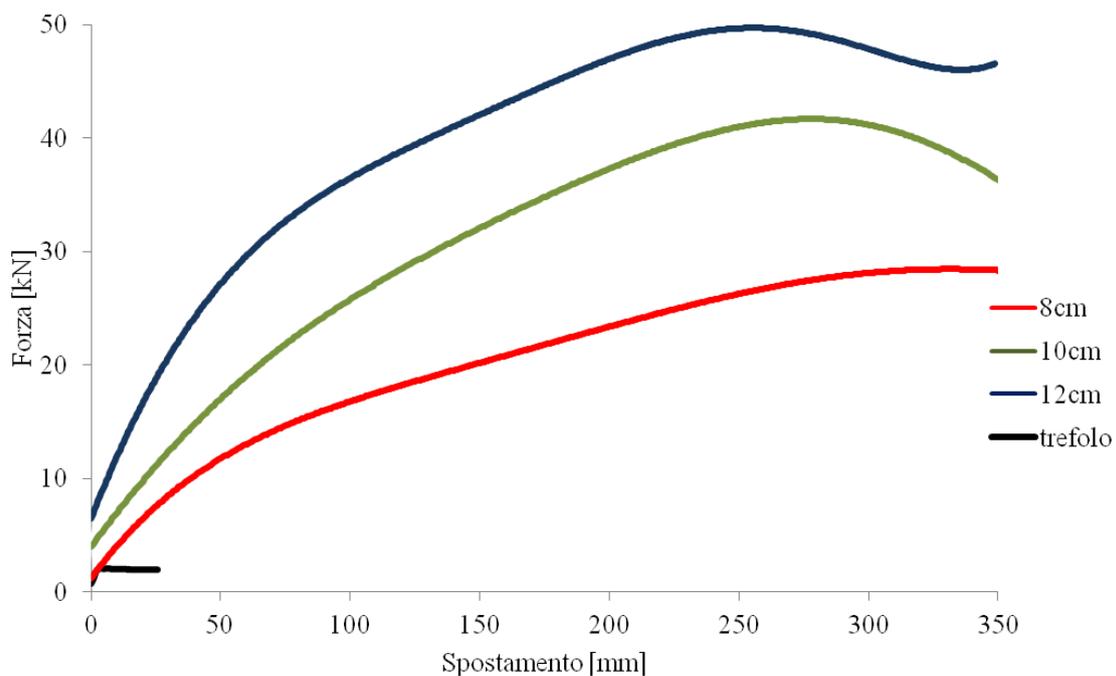


Figura 2: Risultati delle prove sperimentali su rinforzi con singolo piattello.

Per il caso di rinforzo con doppio piattello, si è osservato che all'aumentare della distanza tra i piattelli si ottiene un incremento della capacità resistente del rinforzo. La variazione della distanza tra i piattelli ha consentito di osservare la formazione di due distinti meccanismi resistenti così come viene riportato nella letteratura tecnica. Quando i piattelli sono disposti ad una distanza inferiore a circa 3 volte il diametro, si manifesta un meccanismo che non consente ai due piattelli di poter esplicare al massimo la capacità resistente che mostrerebbero se considerati singolarmente, con una resistenza complessiva minore della somma dei due contributi presi singolarmente; ciò è dovuto alla rottura del terreno compreso tra i due piattelli, il cui spessore si riduce con lo spostamento imposto in corso di prova. Ponendo i piattelli ad una distanza di almeno 3 volte il diametro, si è ottenuto il massimo valore della capacità resistente del rinforzo. Per tale condizione si è osservato che la capacità resistente del rinforzo è maggiore del contributo dei singoli piattelli considerati separatamente. (Figura 3).

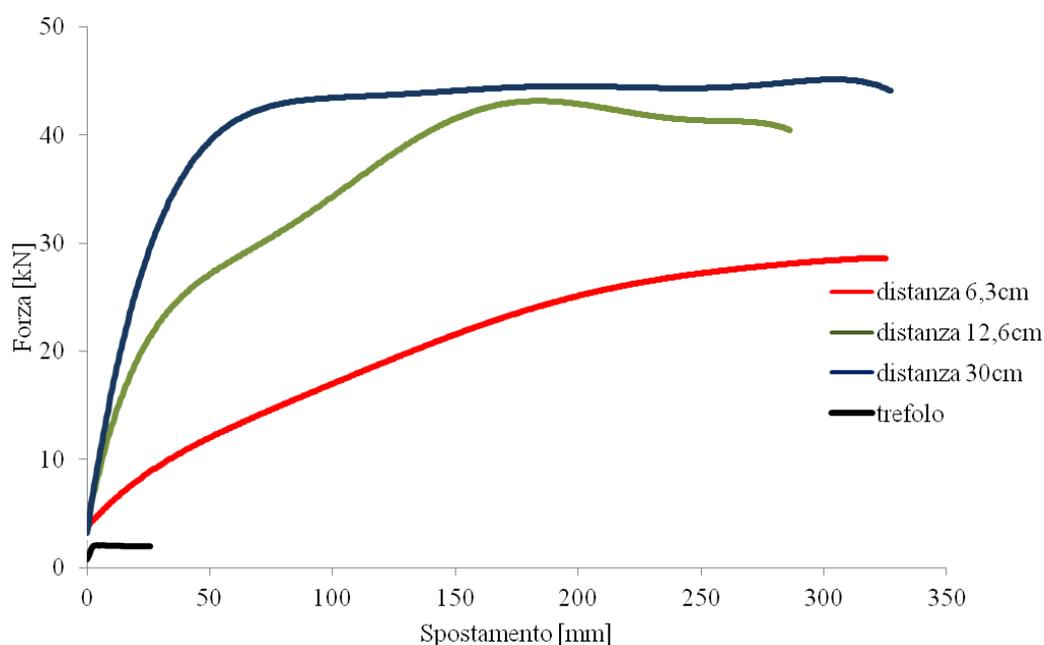


Figura 3: Risultati delle prove sperimentali su rinforzi con doppio piattello.

Questa evidenza sperimentale non è stata completamente spiegata, ed è possibile che sia influenzata anche da una disomogeneità del campione di terreno e quindi da un diverso addensamento della pozzolana circostante il chiodo.

Per ogni singola prova, sono state effettuate misurazioni con il penetrometro statico (all'altezza del chiodo o all'altezza del piattello) che hanno permesso di definire il volume di terreno interessato dall'avanzamento del piattello. Tale operazione ha consentito di dimostrare che il meccanismo di collasso esibito dai rinforzi esaminati, corrisponde effettivamente al meccanismo di collasso preso a riferimento dai principali metodi presenti in letteratura tecnica per la valutazione della capacità resistente dei rinforzi ad elica discontinua. Il terreno coinvolto in fase di crisi del sistema resistente corrisponde ad un bulbo di terreno tridimensionale che assume la massima estensione in corrispondenza dell'asse del chiodo, ovviamente, al crescere del diametro del piattello crescerà l'estensione del bulbo e quindi aumenterà la capacità resistente del rinforzo. Tale meccanismo di crisi corrisponde ad una rottura per punzonamento in quanto è possibile osservare una compressione del terreno a contatto con il piattello il quale andrà a costituire il bulbo precedentemente citato.

Confrontando la resistenza allo sfilamento dei rinforzi con singolo piattello con le previsioni fornite dal modello teorico di Merifield, si è osservato che tale teoria fornisce una soluzione confrontabile con quella misurata in laboratorio in corrispondenza di uno spostamento di 5 cm. Siccome questo può essere cautelativamente considerato uno spostamento limite ammissibile, sembra lecito fare riferimento ad esso per definire un estremo del carico ammissibile. In questo senso, la stima del carico limite con la formula di Merifield è soddisfacente, nonostante essa faccia riferimento ad un meccanismo di rottura ben diverso da quello reale (rigido plastico).

Per quanto riguarda i piattelli accoppiati, la teoria non sembra invece soddisfacente. A 5 cm di spostamento, in particolare, il risultato sembra dipendere in modo marcato dallo stato di addensamento del terreno compreso tra i due piattelli, che cresce all'aumentare della loro mutua distanza.

La sperimentazione numerica è stata sviluppata con l'obiettivo principale di riprodurre le evidenze sperimentali emerse durante le prove di pull-out eseguite in laboratorio ed, allo stesso tempo, mettere in luce alcuni aspetti del fenomeno non visibili chiaramente in laboratorio.

Il programma di calcolo *Flac3D* ha permesso la costruzione di un modello che aderisse perfettamente alle reali condizioni definite in laboratorio, sia in termini di geometria del cassone sia in termini di sviluppo della prova. Il programma infatti consente di applicare

una velocità costante alla testa del chiodo e monitorarne sia lo spostamento che la forza necessaria allo sfilamento. Questi dati permettono, infine, al programma di restituire una curva Forza-Spostamento.

Le simulazioni effettuate hanno dimostrato un'estrema sensibilità alla velocità di spostamento imposta. Tarando opportunamente tale velocità, sono state riprodotti con una discreta accuratezza i risultati osservati sperimentalmente, anche se solo per piccoli valori dello spostamento, e con oscillazioni ed andamenti delle curve di carico poco verosimili.