

PROVE DI SFILAMENTO DI NAILS INSTALLATI IN PIROCLASTITI SCIOLTE

G. Di Fonzo*, A. Flora*, G. Manfredi**, M.V. Nicotera*, A. Prota**

*DIG – Dipartimento di Ingegneria Geotecnica - Università di Napoli Federico II

**DIST – Dipartimento di Ingegneria Strutturale - Università di Napoli Federico II

giada.difonzo@unina.it, flora@unina.it, nicotera@unina.it, gaetano.manfredi@unina.it,
andrea.prota@unina.it

Sommario

Il *soil-nailing* è una tecnica di rinforzo del terreno utilizzata per il sostegno di fronti di scavo e per la stabilizzazione dei pendii che in tempi recenti ha ricevuto un'attenzione crescente per la sua flessibilità, economicità, semplicità e velocità di realizzazione. Le barre di rinforzo contribuiscono con le proprie capacità strutturali al sostegno del terreno grazie all'attrito che si sviluppa all'interfaccia tra il terreno e il rinforzo. L'analisi di dettaglio di questo meccanismo è quindi elemento indispensabile alla modellazione del comportamento dell'insieme, e la sperimentazione di laboratorio ben si presta a tal fine. In questa memoria si presenta un'apparecchiatura di laboratorio per l'esecuzione di prove di sfilamento di *nails*, ed i primi risultati sperimentali ottenuti utilizzando barre di FRP strumentate con *strain gauges* immerse in pozzolana non satura.

1.Introduzione

Il *soil-nailing* è una tecnica di rinforzo del terreno che consiste nell'introduzione di elementi di rinforzo, solitamente passivi e sempre solidali al terreno lungo l'intero sviluppo (*nails*), capaci di assorbire sforzi di trazione, taglio e flessione. I *nails* sono direttamente infissi nel terreno o installati in preforni e poi cementati, con interasse solitamente modesto (dell'ordine del metro) ed eventualmente con un rivestimento del fronte, che può avere influenza benefica sul comportamento generale del rinforzo.

La conoscenza dei meccanismi di mobilitazione dell'attrito all'interfaccia terreno-rinforzo è in questo caso molto importante, e le prove di sfilamento in laboratorio sono molto utili a tal fine. I risultati di questo genere riportati in letteratura si riferiscono nella gran parte dei casi a *nails* cementati (Junaideen et al. 2004, Chu e Yin 2005, Pradhan et al. 2006, Yin et al. 2006), mentre sono molto minori le informazioni relative a barre infisse e non cementate (Milligan & Tei, 1998). Le ricerche sperimentali descritte in letteratura evidenziano in generale come le caratteristiche geometriche e meccaniche delle barre e la tecnica di installazione giochino un ruolo determinante sull'efficacia della tecnica, insieme evidentemente a tutti i parametri intrinseci (distribuzione granulometrica e mineralogia) e di stato (stato tensionale, indice dei pori, grado di saturazione) del terreno.

Presso il Dipartimento di Ingegneria Geotecnica dell'Università di Napoli Federico II è stata recentemente realizzata una nuova apparecchiatura per prove di sfilamento di barre, al fine di verificarne l'efficacia con riferimento alle pozzolane non sature del napoletano. Il progetto, che considererà in futuro diverse tecniche di installazione, è al momento indirizzato verso

barre in FRP o acciaio direttamente infisse nel terreno, senza malta cementante. Tale tecnica è speditiva, economica e a bassissimo contenuto tecnologico, e sarebbe perciò di grande ausilio nella soluzione di alcuni dei problemi di dissesto che affliggono la città di Napoli.

2.Descrizione dell'apparecchiatura

L'apparecchiatura (Fig. 1) consiste in un contenitore parallelepipedo rigido a sezione verticale quadrata di grandi dimensioni (misure interne 1.60-0.80-0.80 m) sulla cui sommità viene applicato il carico verticale a mezzo di 4 martinetti indipendenti centrati su altrettante piastre rigide (0.40-0.80-0.11 m). La massima tensione verticale applicabile è 200 kPa. Se la pressione fornita ad ogni martinetto è uguale, si determinano nel terreno condizioni tensionali di

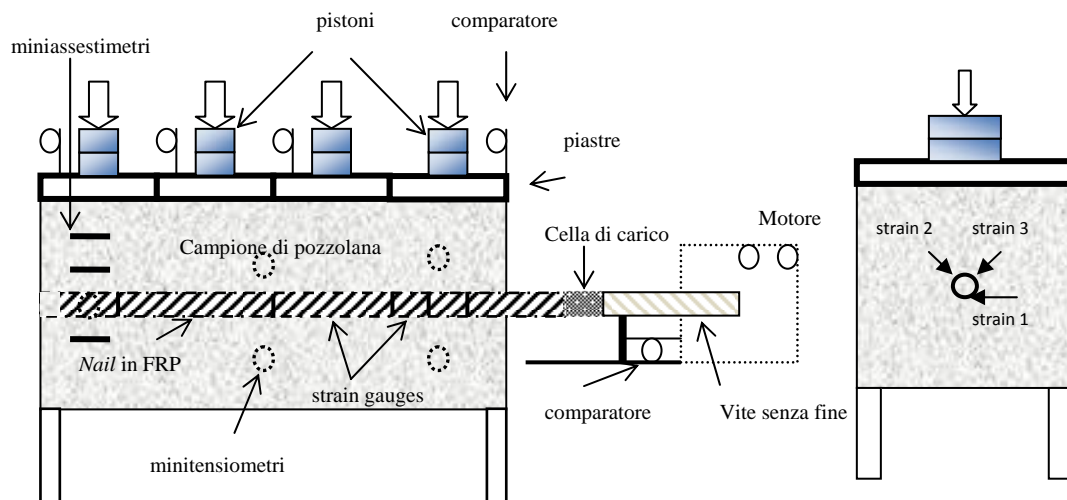


Figura 1. L'apparecchiatura per le prove di sfilamento in laboratorio: sezione longitudinale e trasversale

tipo edometrico; l'indipendenza dei martinetti consente anche di applicare carichi variabili in superficie per simulare diverse possibili condizioni di funzionamento del rinforzo. L'apparecchiatura è forata su uno dei lati corti verticali, e da questo foro fuoriesce il *nail* da sottoporre a prova. I due lati corti sono rimovibili, sia per comodità di montaggio e smontaggio, sia per consentire se desiderato prove con fronte del terreno non confinato. Il tiro viene applicato alla barra con un meccanismo controllato da una vite senza fine, a velocità di spostamento controllata. Il meccanismo di serraggio della barra è snodato per non indurre sollecitazioni flettenti, ed è strumentato con una cella di carico da 10 kN per la misura del tiro applicato. Lo spostamento della barra in prossimità della sezione di serraggio e gli spostamenti verticali delle piastre superiori sono misurati con LVDT o comparatori millesimali. Nel volume di terreno sono anche immersi miniassessimetri a piastra per la misura degli spostamenti verticali di punti non appartenenti al limite superiore del campione di terreno.

Le notevoli dimensioni dell'apparecchiatura sono state scelte in modo da ridurre al minimo gli effetti di bordo, al fine di riprodurre quanto più fedelmente possibile le condizioni ideali di un *nail* immerso in un semispazio indefinito, e sono state preventivamente stimate sulla base di simulazioni numeriche effettuate con il codice di calcolo Plaxis2D. Esse sono comunque risultate non inferiori di quelle minime suggerite dalla letteratura (ad esempio Palmeira et al., 1989).

3. Le barre di prova strumentate in FRP.

Le prime barre utilizzate sono in fibra di vetro rinforzata (FRP), a sezione circolare cava con $d_i=11\text{mm}$ e $d_e=34\text{mm}$ e filettatura elicoidale esterna di resina con passo 0.5 cm per migliorare l'aderenza con il terreno. Per calcolare lo sforzo di taglio all'interfaccia terreno-barra, quest'ultima è stata strumentata in 5 sezioni, ponendo in ogni sezione 3 estensimetri equidistanti (a 120°), del tipo ERSG (*Electric Resistance Strain Gauges*) (Fig. 2).

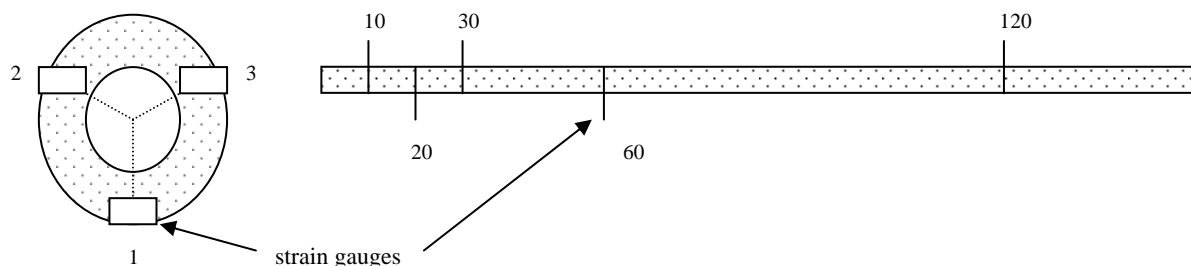


Figura 2. Sezione trasversale e longitudinale del nail: particolare delle sezioni strumentate con gli strain gauges

Note le caratteristiche geometriche e meccaniche della barra, infatti, la misura locale di deformazione consente di ricavare il valore dello sforzo normale nella sezione di misura e, per l'equilibrio, la risultante degli sforzi di taglio all'interfaccia nella stessa sezione. Nell'ipotesi che la sollecitazione di taglio sia uniformemente distribuita lungo il perimetro, ed assumendo una ragionevole legge di variazione longitudinale della stessa (in questo caso, a gradino) se ne può quindi ricavare il valore. La scelta delle sezioni di misura consegue al fatto, ben noto in letteratura, che l'interazione è massima nella prima parte immersa della barra, ed è quindi in questa zona che sono massime le variazioni in direzione longitudinale alla barra degli sforzi normali e delle sollecitazioni di taglio all'interfaccia.

Si osserva che la presenza di 3 estensimetri per ogni sezione di misura consente, nell'ipotesi di conservazione della sezione piana, di ricostruire lo stato di sollecitazione nella barra anche in presenza di flessione. Sebbene in questo caso a rigore l'interazione barra-terreno si arricchisca di una componente aggiuntiva di vincolo cinematico, trascurandola è possibile, anche in questo caso, ricostruire la legge di variazione in direzione longitudinale della sollecitazione di taglio all'interfaccia.

4. Il terreno utilizzato

Come detto in premessa, si è deciso di utilizzare una pozzolana del Tufo Giallo rimaneggiata non satura, per simulare le tipiche condizioni di fronti di scavo della città di Napoli. La pozzolana è stata prelevata ad una profondità di circa 20m dal piano campagna sul versante ovest della collina del Vomero. Il campione di terreno è stato ricostituito per *wet tamping*, in 4 strati di spessore 20 cm. Ogni strato è stato costipato con un contenuto d'acqua $w=0.23\div0.25$ e 5 colpi per unità di superficie, imposti a mezzo di una massa battente di 10.5 kg e area di 226 cm^2 , lasciata cadere da 10 cm d'altezza. La procedura ha consentito di ottenere campioni sufficientemente omogenei, con indice dei pori (misurato localmente a mezzo di formacampioni di acciaio immersi nel terreno) e grado di saturazione poco variabili (Tab. I) e comunque rappresentativi delle reali condizioni in sito. Le caratteristiche meccaniche del terreno nelle condizioni di prova sono state valutate con prove triassiali ed edometriche che non si riportano per brevità.

Tabella I. Proprietà del terreno

Peso specifico (kN/m^3)	d_{50} (mm)	w	e	Sr intervallo	Ua-Uw (kPa)
24.8	0.15	0.23÷0.25	1.33-1.39	0.37÷0.45	20÷26

Per misurare la suzione localmente in più punti del campione (a diverse distanze dalla barra) durante la prova, sono stati inseriti 10 minitensiometri all'interno della massa di terreno, attraverso piccoli fori laterali appositamente realizzati nel contenitore metallico.

5. Primi risultati sperimentali.

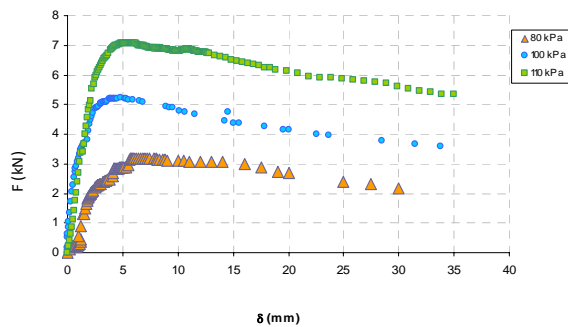
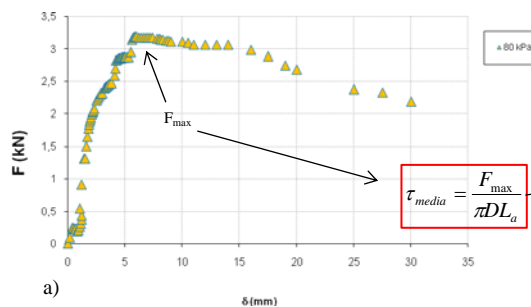


Figura 3. Forza di sfilamento: risultato di tre prove tipo



Al momento, sono state effettuate prove con tensioni di confinamento verticali non superiore a 110 kPa. In Fig. 3 sono riportati in particolare i risultati relativi a tre prove che mostrano la grande influenza della tensione di confinamento sulla rigidità e sulla resistenza; dal valore massimo della resistenza allo sfilamento si può calcolare lo sforzo di taglio all'interfaccia (figura 4a). Lo sforzo di

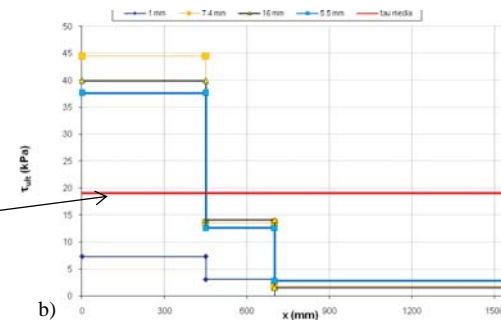


Figura 4 a) Risultato di una prova di sfilamento a $\sigma_v = 80$ kPa; b) Andamento dello sforzo di trazione nel nail per diversi valori dello spostamento: prova a $\sigma_v = 80$ kPa

taglio all'interfaccia così calcolato (τ_{media}) è un valore medio agente sul *nail* che si basa sull'ipotesi che tale sforzo sia mobilitato in ugual misura lungo l'intera barra; come ben noto, in realtà lo sforzo di taglio si riduce allontanandosi dal punto di tiro. La presenza di sezioni di misura per le deformazioni locali lungo la barra permette di ricavare l'andamento delle tensioni di taglio all'interfaccia, ipotizzando una distribuzione lineare a tratti dello sforzo assiale (fig.4b). Le misure confermano che il taglio all'interfaccia è massimo in testa, dove viene applicato il tiro, e si riduce lungo il *nail*. Il valore di τ_{media} mobilitata (calcolata sulla superficie laterale immersa di lunghezza L_a) è ovviamente uguale alla media pesata dei valori locali. Ai fini della modellazione del comportamento all'interfaccia, da questo confronto si evidenzia la necessità di utilizzare misure locali di deformazione.

Bibliografia

- Chu, L.M., and Yin, J.H. 2005. *A laboratory device to test the pull-out behavior of soil nails*. Geotechnical Test. J., Vol.28, No.5, pp. 1-15.
- Junaideen, S.M., Tham, L.G., Law, K.T., Lee, C.F. and Yue, Z.Q. 2004. *Laboratory study of soil-nail interaction in loose completely decomposed granite*. Can.Geotech.J., 41(2), 274-286.
- Milligan, G.W.E. and Kouji, Tei 1998. *The pull-out resistance of soil-nails*. Soils Found., 38(2), 179-190.
- Palmeira, E.M., Milligan, G.W.E. 1989. *Scale and other factors affecting the results of pull-out tests on grid buried in sand*. Géotechnique 11 (3), 511-524.
- Pradhan, B., Tham, L.G., Yue, Z.Q., Junaideen, S.M. and Lee, C.F. 2006. *Soil-nail pullout interaction in loose fill materials*. Int. Journal of Geomechanics, Vol.6 No.4, 238-247.
- Yin, J.H. and Su, L.H. 2006. *An innovative laboratory box for testing nail pull-out resistance in soil*. Geotechnical Testing Journal, Vol.29 No.6, 451-461.