

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II



CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA PER L'AMBIENTE ED IL TERRITORIO

Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale

Abstract

La previsione del diametro medio delle colonne di jet grouting: interpretazione di risultati sperimentali

Relatore:

Ch.mo Prof. Ing. Alessandro FLORA

Candidato:

Filippo FACCIOLO

Matr. 49/996

La previsione del diametro medio delle colonne di jet grouting: interpretazione di risultati sperimentali

In questa tesi ci si occupa dell'interpretazione dei risultati sperimentali riguardanti la previsione del diametro medio delle colonne di jet grouting.

Il jet grouting è una tecnica di consolidamento consistente nell'iniezione ad alta velocità di una o più miscele fluide che rimaneggiano e cementano il terreno in sede attraverso la formazione di volumi di terreno trattato approssimativamente cilindrici.

Il trattamento si articola in due fasi successive di perforazione e di iniezione dei fluidi con formazione della colonna consolidata in risalita.

Il trattamento può avvenire principalmente con tre diversi tipi di tecnologia: sistema monofluido, in cui il fluido assolve sia la funzione di rimaneggiamento che di cementazione del terreno trattato; sistema bifluido che permette l'iniezione contemporanea di miscela cementizia ed aria compressa in modo da limitare la dispersione del getto incrementando l'efficienza idrodinamica e quindi il raggio d'azione; sistema trifluido per il quale il trattamento avviene separando le funzioni di disgregazione del terreno in sede (affidata ad un getto di acqua circondato da aria) da quella di cementazione, svolta dalla miscela cementizia iniettata dall'ugello inferiore.

Gli aspetti più critici che caratterizzano un intervento di jet grouting, qualora si debba garantire la compenetrazione tra gli elementi consolidati, riguardano:

- ❖ la variabilità del diametro
- ❖ la deviazione della colonna dalla verticale

La stima del diametro viene effettuata con le relazioni $D_a = D_{ref} \left(\frac{\alpha \Lambda^* E_n^I}{7,5 \times 10} \right)^\beta \left(\frac{N_{spt}}{10} \right)^\delta$,

per terreni a grana grossa, e $D_a = D_{ref} \left(\frac{\alpha \Lambda^* E_n^I}{7,5 \times 10} \right)^\beta \left(\frac{q_c}{1,5} \right)^\delta$, per terreni a grana fine. Per

quanto riguarda la stima dell'inclinazione della colonna, questa viene definita mediante due angoli: l'angolo di inclinazione calcolato con una distribuzione normale avente valore medio nullo e deviazione standard (SD(a)) correlabile alla lunghezza di perforazione e l'azimut che, invece, viene stimato con una legge di tipo casuale. La fisica del fenomeno e dei dati sperimentali indicano che il diametro della colonna di

jet grouting è dovuto alla differenza tra l'energia di taglio del getto e la resistenza a taglio del terreno. Nell'intercapedine tra asta di iniezione e foro si instaurano dei fenomeni di scambio energetico causati dal moto turbolento, dovuto all'elevata velocità dei fluidi, e, tra la massa fluida in quiete (falda, fluido per la perforazione e/o stabilizzazione del foro) e la massa del fluido iniettato che provocano una variazione delle caratteristiche del getto con il suo avanzamento (Fig. 1).

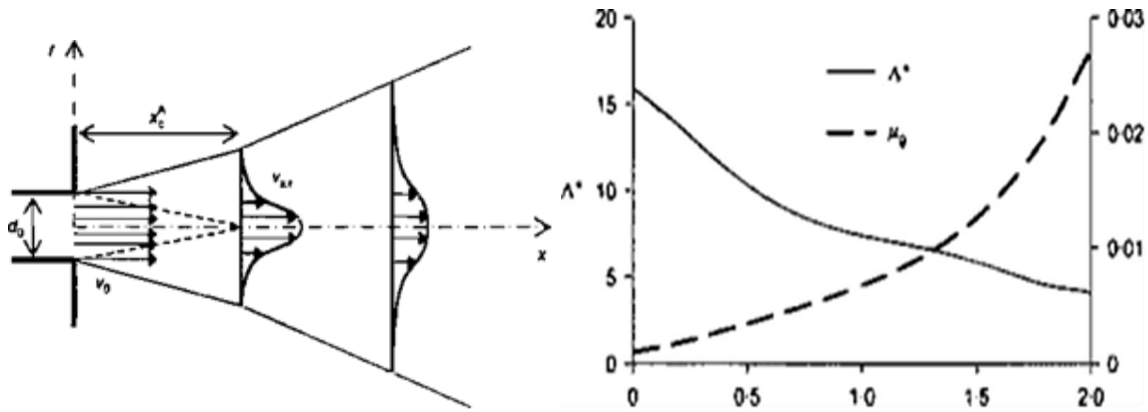


Fig. 1 Profili di velocità trasversale di un getto sommerso (Hinze, 1948) Fig. 2 Dipendenza di Λ^* da ω (come riportato da Bell (1993))

L'energia di taglio del getto è $E' = \alpha \Lambda^* E'_n$, con E'_n pari al 90% dell'energia specifica alla pompa; Λ^* tiene conto della composizione del fluido iniettato (acqua o malta) e dipende dal rapporto cemento-acqua (Fig. 2); α è un parametro, fondamentale, che considera l'interazione tra fluido iniettato e fluido circostante. α dovrebbe essere correlato al flusso d'aria (dimensione dell'ugello e velocità iniziale dell'aria iniettata), tuttavia, data la difficoltà di effettuare misurazioni sperimentali sui getti d'aria, α è stato calibrato sui diametri, ottenuti con sistema bifluido e trifluido, misurati sperimentalmente ($\alpha=1$ per sistemi monofluido, $\alpha=6$ per sistemi bifluido e trifluido). Riguardo alla resistenza a taglio del terreno, le sperimentazioni effettuate hanno dimostrato la diversità dei meccanismi erosivi relativamente a terreni a grana fine, argille e limi, terreni a grana grossa, sabbia e ghiaia. Nel primo caso l'erosione comporta il taglio di grossi grumi di suolo, mentre nel secondo caso le particelle di terreno vengono asportate singolarmente dal getto fluido. Si propone di rappresentare sinteticamente la resistenza a taglio del terreno attraverso i risultati di prove standard penetration test (SPT_s) (N_{spt}) per terreni a grana grossa, e cone penetration test (CPT_s) (q_c) per terreni a grana fine, essendo tali parametri ben noti e largamente utilizzati. Inoltre i parametri di resistenza N_{spt} e q_c tengono implicitamente conto delle proprietà

del suolo, (angolo d'attrito efficace ϕ' e coesione non drenata s_u), attuale stato tensionale (profondità del livello di falda) e grado di sovraconsolidazione. Il diametro di riferimento D_{ref} dipende dalle proprietà del suolo e, insieme agli esponenti β e δ , deve essere calibrato sui dati sperimentali. L'argomento di questa tesi è l'interpretazione dei risultati sperimentali consistenti la previsione del diametro medio delle colonne di jet grouting. A tale scopo sono stati considerati 11 lavori, svolti dal 2003 al 2012, per un totale di 64 colonne realizzate, paragonando i diametri misurati con quelli calcolati tramite la formulazione proposta in relazione alla tecnica utilizzata per la realizzazione.

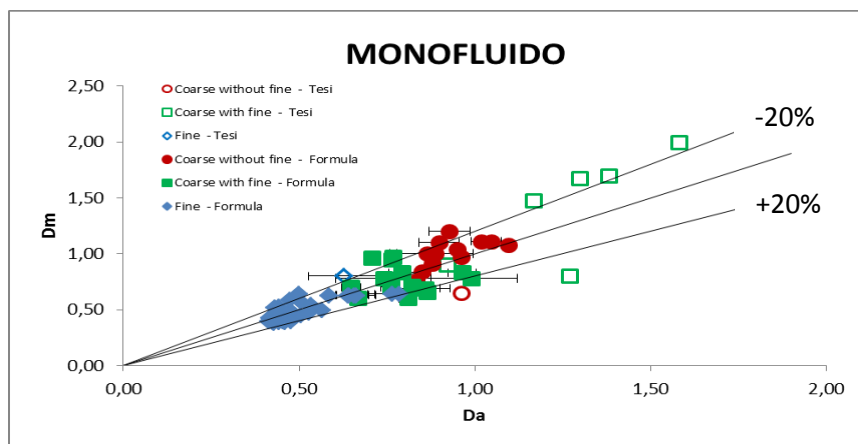


Fig. 3: Diametri calcolati per il sistema monofluido

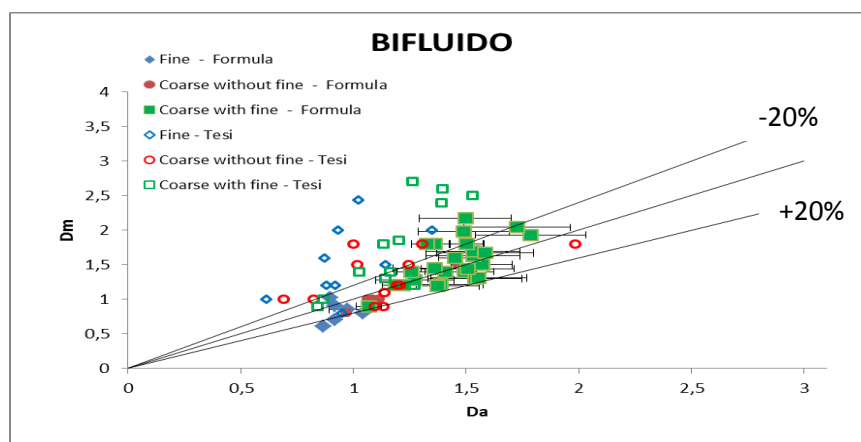


Fig. 4: Diametri calcolati per il sistema bifluido

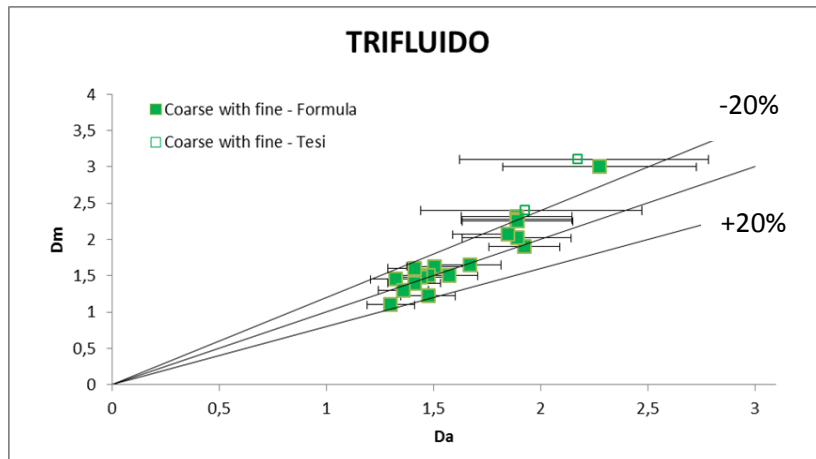


Fig. 5: Diametri calcolati per il sistema trifluido

Dall'analisi effettuata si evince come tale formula sia effettivamente valida per la stima del diametro medio per i tre sistemi di iniezione (monofluido, bifluido e trifluido), soprattutto per il monofluido. Per i sistemi bifluido e trifluido, pur validandone le capacità previsionali, si registrano delle sottostime dei diametri ricavati. Sottostime attribuibili, da un lato alla superficialità dei parametri di trattamento forniti, dall'altro ad una bassa taratura del parametro α (che tiene conto dell'energia dell'aria iniettata). Tale parametro, considerato costante e pari a 6 per i sistemi bifluido e trifluido, sembrerebbe essere funzione dell'energia specifica dell'aria iniettata (E' aria). Si nota, infatti, come l'utilizzo nella formula di un'energia specifica corrispondente alla somma dell'energia specifica della boiaccia e dell'aria, unitamente a $\alpha=6$, comporta una migliore stima del diametro medio delle colonne (Fig. 6).

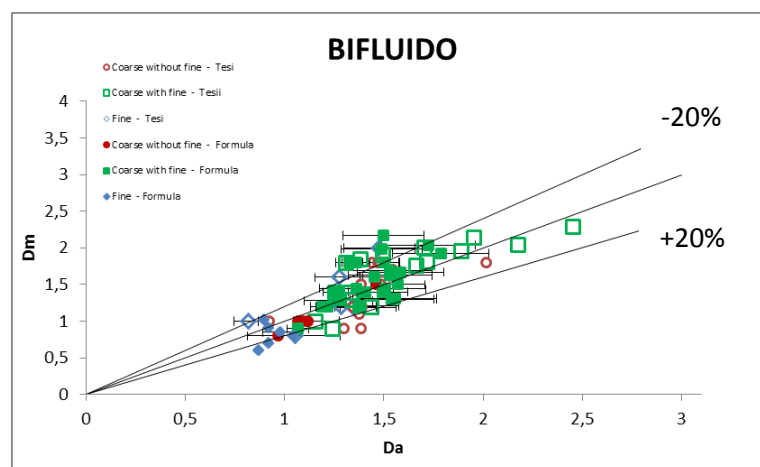


Fig. 6: Diametri calcolati con $E'=E'_{boiaccia}+E'_{aria}$ e $\alpha=6$

Al fine di validare tale dipendenza, si è proceduto alla stima di un α ottimizzato, considerando 28 colonne realizzate col sistema bifluide, in modo da poter diagrammare tali valori con le relative energie specifiche dell'aria (E'_{aria}) e valutarne l'andamento al crescere di E'_{aria} (Fig. 7).

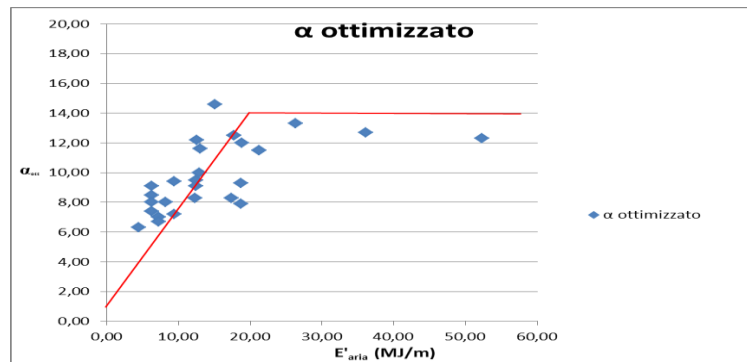


Fig. 7: Relazione tra α ed E'_{aria}

Da tale analisi si evince come effettivamente tale parametro risulti dipendente da E'_{aria} , con un aumento che può essere considerato lineare fino a valori di E'_{aria} prossimi a 20 MJ/m e solo per $E'_{aria} > 20$ MJ/m potrebbe essere considerato costante, con un valore prossimo a 14. L'utilizzo di un α ottimizzato funzione dell'energia specifica dell'aria iniettata nella formula comporta una migliore stima del diametro medio delle colonne, come si evince dalla Fig. 8:

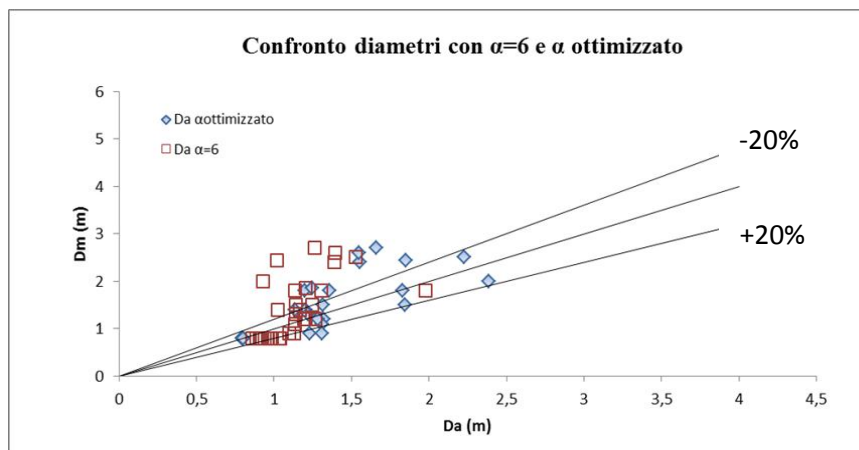


Fig. 8: Confronto diametri calcolati con $\alpha=6$ e $\alpha_{ottimizzato}$

Risulta necessario, quindi, effettuare uno studio più approfondito su tale parametro al fine di valutarne meglio la sua dipendenza da E'_{aria} , e poter quindi individuare il valore più appropriato da utilizzare. Con questo lavoro si è cercato di fornire un contributo per l'individuazione di criteri razionali utili alla scelta di procedure più idonee per evitare, a secondo della tipologia del suolo, inconvenienti nella fase di esecuzione dei consolidamenti.