

## Cos'è il jet grouting

Con jet grouting o jetting si definisce una tecnologia che consiste nell'iniezione di un fluido stabilizzante ad altissima pressione nel terreno e che ha come scopo il consolidamento di volumi delimitati di terreno in posto al fine di migliorarne le caratteristiche meccaniche quali la resistenza e la permeabilità.

## Principio del metodo del Jet Grouting e principi di applicazione

Il principio del jet grouting consiste nell'iniettare ad altissima pressione (20 – 70 N/mm<sup>2</sup> equivalenti a 200 – 700 bar) attraverso appositi ugelli, una miscela stabilizzante con la quale il terreno viene disgregato e mescolato in situ, a formare, una volta decorso il tempo di presa della miscela, un elemento di terreno conglomerato (elemento o colonna jetting) con caratteristiche meccaniche migliorate rispetto alle condizioni iniziali. L'obiettivo principale di questo metodo è quello di riuscire ad ottenere questo miglioramento in maniera controllata, sia fisicamente (delimitando il raggio del trattamento), sia qualitativamente (ottenendo delle caratteristiche dell'elemento jetting predefinite), obiettivi di norma difficilmente raggiungibili mediante iniezioni convenzionali.

A questo scopo il fluido – normalmente una miscela acqua/cemento con fattore A/C  $\approx 1$  - viene iniettato attraverso degli ugelli situati alla base delle aste di iniezione, che nella maggior parte dei casi sono le stesse aste di perforazione.

L'inclinazione di una colonna jetting può variare dalla verticale verso il basso (180°) fino a 45° verso l'alto a secondo delle esigenze delle singole applicazioni. Per l'elevata aderenza al terreno non trattato che circonda la colonna, questa tecnologia trova un'estesa applicazione nel campo dei pali di fondazione ove sia richiesto il massimo sfruttamento dell'attrito laterale.

La possibilità di armare le colonne jetting con tubi d'acciaio o profilati, ne estende ulteriormente i campi d'applicazione ai casi in cui la struttura sia soggetta a sforzi di trazione, flessione o semplicemente a carichi che ne superano la capacità portante allo stato, per così dire, naturale.

La tecnologia jetting è dunque una tecnologia molto versatile. Il suo impiego si estende dai grossi lavori a cielo aperto, su ampi spazi dove possono operare macchine di grosse dimensioni e notevole peso, alle specialissime applicazioni di sottomurazione in scantinati con stretti limiti di spazio e di altezza con l'impiego di macchine di ridottissime dimensioni.

Va ricordato che il sistema si avvale, oltre che delle macchine sopraccitate che operano sul terreno, di stazioni di pompaggio che forniscono miscele consolidanti a pressioni che variano da 200 a 700 bar con portate da 1 a 5 l/s.

Dal punto di vista esecutivo, la tecnologia richiede l'impiego di personale qualificato e, soprattutto per certi lavori, di una sorveglianza tecnica di ottimo livello e pressoché continua. Si può quindi affermare che il metodo del jet grouting ha oggi trovato applicazione in tutti i campi della geotecnica, sia per scavi in sotterraneo, sia per scavi a cielo aperto.

## Applicazione nei lavori all'aperto

E' proprio nel campo dei lavori all'aperto che il jet grouting trova il suo maggior impiego. Le applicazioni piu frequenti di questo metodo sono:

- Consolidamento per sottomurazioni
- Realizzazione di diaframmi d'impermeabilizzazione (argini, dighe in terra)
- Preconsolidamenti per fondazioni
- Consolidamento di fondazioni esistenti
- Sostegni di scavi e trincee
- Tamponi di fondo
- Preconsolidamenti dall'esterno per scavi in sotterraneo
- Stabilizzazione di pendii

In tutti questi casi il terreno viene trattato affiancando gli elementi jetting in una maglia piu o meno fitta o secondo una geometria definita in base alle necessita progettuali ed alle caratteristiche del terreno.

Come gia accennato in precedenza la colonna jetting puo trasmettere al terreno un carico assiale, sia per attrito laterale, sia per resistenza alla punta. Infatti l'area di contatto terreno consolidato – terreno naturale non è regolare e, oltre a questa causa di attrito, un apporto non indifferente è dato dalla compressione dinamica causata dal getto sul terreno interessato, che crea una sorta di pressione laterale delle colonne. Questo tipo di trattamento si adatta perciò in particolar modo alla realizzazione di fondazioni.

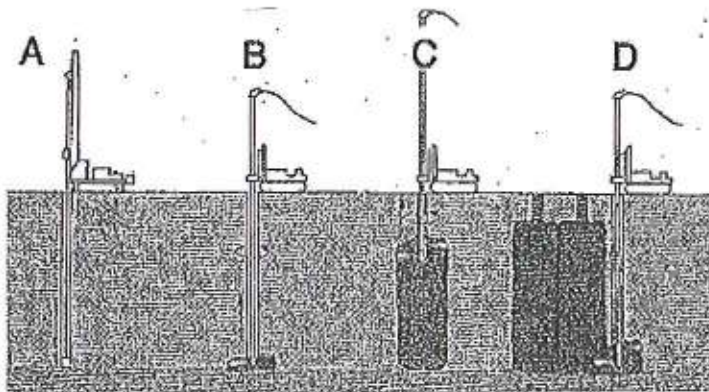
## METODI ESECUTIVI E ASPETTI TECNICI

### *Panoramica*

Come descritto nel capitolo precedente, il principio del jet grouting consiste nel mescolare il terreno con un fluido stabilizzante iniettato ad altissima pressione attraverso degli ugelli situati alla base delle aste d'iniezione.

Il procedimento consiste dapprima nell'esecuzione della perforazione realizzata con utensili di uso normale in terreno sciolto con spurgo adeguato alle esigenze della perforazione stessa, e nel successivo trattamento mediante graduale e progressiva estrazione delle aste in rotazione, entrambe a velocità prestabilite, e contemporanea iniezione del fluido.

La batteria di perforazione è assemblata da elementi muniti di giunti impermeabili che, unitamente a tutti i dispositivi di apporto dei fluidi di spurgo e successivamente del fluido legante, devono essere adeguati a sopportare pressioni di esercizio che si estendono dalla normalità fino a 700 bar. Una parte della miscela iniettata rigurgita in superficie attraverso il foro di perforazione. Il materiale fuoriuscito non è riutilizzabile e deve essere smaltito in modo appropriato.



Procedimento del trattamento jetting:

- A: perforazione;
- B: inserimento dell'iniezione;
- C: iniezione, rotazione ed estrazione;
- C: ripetizione con/senza sovrapposizione del trattamento.

Una volta raggiunta la profondità voluta, un dispositivo a valvola chiude le vie di accesso all'utensile di perforazione in modo che il materiale che viene inviato nel foro attraverso le aste sia obbligato ad uscire da uno o più ugelli di sezione molto ridotta.

La sezione totale di passaggio ripartita su uno o più ugelli varia da 5 a 15 mmq secondo il tipo di lavoro e l'energia che le attrezzature impiegate possono fornire.

Dall'ugello (o dagli ugelli) il fluido legante sottoposto ad elevata pressione, normalmente dai 200 ai 700 bar, esce con una velocità che si aggira sui 180-280 m/sec.

Il terreno viene così investito da un getto dotato di notevole energia e di conseguenza disgregato, entro un certo limite, nei suoi componenti litoidi che sono così costretti a miscelarsi intimamente con il fluido legante.

Con la rotazione della batteria di aste si ottiene così un cilindro di terreno miscelato la cui sezione è in relazione alla resistenza del terreno stesso e alla quantità e qualità di energia che il sistema è in grado di trasmettere al punto di applicazione.

In casi particolari è possibile, limitando l'angolo di rotazione o escludendolo completamente, ottenere elementi di forma semicircolare oppure setti o pareti. Queste applicazioni sono però assai rare e limitate ad oggetti specifici.

In tutti gli elementi realizzati con le tecnologie illustrate è possibile introdurre delle armature quali tubi o barre d'acciaio. Queste possono essere inserite immediatamente dopo l'iniezione oppure in un secondo tempo previa riperforazione della colonna. Questa possibilità amplia di molto il campo d'applicazione di questa tecnologia fornendo la possibilità di passare da quello semplice di trattamento del terreno ad uno strettamente strutturale quale i pali o le paratie, potendo realizzare dei micropali o dei tiranti che hanno una colonna come bulbo d'iniezione.

## Terreni trattabili

Il campo di applicazione di questa tecnologia è limitato dal principio di disgregazione e di parziale sostituzione del terreno. Al processo di disgregazione si oppone la resistenza del terreno che, di fatto, rappresenta la sola limitazione all'applicazione di questo sistema, al contrario delle normali iniezioni la cui applicabilità è condizionata dallo spessore delle fessure nelle rocce e dalla dimensione e volume dei pori nei terreni sciolti. Valori che non hanno nessun significato per la tecnologia jetting.

## Parametri jetting

I criteri per giudicare l'efficacia del jetting sono principalmente il diametro delle colonne (o eventualmente lo spessore dei setti), la resistenza e la permeabilità degli elementi, così come i costi di realizzazione. Questi ultimi dipendono essenzialmente dalla velocità d'esecuzione, quindi dalla velocità di rotazione e di ritiro delle aste, dal costo del materiale iniettato e da quello del personale e dei macchinari necessari sul cantiere. Fatta astrazione dei costi dei materiali e di gestione, restano unicamente quei parametri, tipici di questa tecnologia, che possono essere variati o che, in singoli casi, devono essere predeterminati, al fine di ottenere i risultati desiderati in fatto di resistenza e permeabilità degli elementi.

Questi parametri sono molteplici e si influenzano vicendevolmente.

- Con il crescere della resistenza del terreno aumenta l'energia indispensabile alla disgregazione del materiale. L'energia è determinata dalla velocità del getto, quindi dalla superficie degli ugelli e dalla pressione d'iniezione.
- A parità di resistenza del terreno le dimensioni degli elementi aumentano con il crescente apporto di energia. Questa è determinata dalla velocità di rotazione e di estrazione delle aste.
- Per ottenere una dimensione costante degli elementi con il crescere della profondità è necessario aumentare l'apporto di energia ed il tempo di lavorazione, dal momento che la resistenza del terreno cresce a sua volta con la profondità.
- La resistenza finale degli elementi dipende dalla composizione del fluido legante, dal rapporto della miscela fluido legante - terreno, dal terreno stesso ed infine dall'omogeneità degli elementi.
- L'impermeabilità degli elementi aumenta normalmente con il crescere della resistenza e dell'omogeneità.

Riassumendo quanto sopra esposto si può affermare che i parametri controllabili che possono determinare la qualità esecutiva degli elementi jetting sono:

- la velocità di rotazione delle aste d'iniezione,
- la velocità di ritiro delle stesse,
- la pressione d'iniezione e
- la sezione degli ugelli d'iniezione.

In ultima analisi questi parametri definiscono l'energia indotta nel terreno.

La complessa interazione di tutti questi fattori, aggiunta alla possibile variabilità del terreno da trattare, richiede una pianificazione accurata dei lavori, una notevole esperienza da parte degli specialisti incaricati e, se possibile, la realizzazione di prove preliminari in scala 1:1 di colonna per diversi tipi di terreni (C. Kutzner).

## **Macchinari**

Come accennato nei capitoli introduttivi la tecnologia jetting è molto versatile ed applicabile in quasi tutti i tipi di terreni e per quasi ogni tipo di necessità progettuale nell'ambito del trattamento dei terreni sciolti. A questo scopo sono state sviluppate macchine capaci di eseguire questi tipi di lavori di dimensioni e potenze diverse adeguate alle varie esigenze.

La scelta dell'attrezzatura di perforazione è in genere eseguita in modo da avere il minor numero di manovre per realizzare l'intera colonna, ottenere un maggior rendimento in termini di rapidità esecutiva e di diminuire la possibilità di intoppi legati ad ogni interruzione del lavoro di iniezione (intasamento degli ugelli, incidenti di varia natura), che possono compromettere la qualità finale di un elemento.

Questo non è evidentemente possibile quando si opera in spazi limitati come scantinati, all'interno di edifici, al di sotto di linee elettriche aree ecc.

E perciò indispensabile tener conto di questi fattori nella pianificazione degli accessi e dell'area di cantiere, che dovrà ospitare anche tutte le altre installazioni necessarie quali pompe, compressori, stazione di miscelazione, silos ecc.

## **Il trattamento jetting quale opera di sostegno.**

### Panoramica

Grazie alla possibilità, più volte citata, di armare gli elementi jetting con barre, tubi o profilati d'acciaio, l'applicazione del jetting quale opera di sostegno non diverge, nell'essenziale, da altri sistemi utilizzati a questo scopo che adottano un "pretrattamento del terreno" (s'intendono sistemi messi in opera prima di qualsiasi attività di scavo), quali pali o paratie. A differenza di questi metodi, il jet grouting presenta il notevole vantaggio di una flessibilità esecutiva ben maggiore di quella offerta da altri metodi, grazie alla quale è possibile attuare strutture complesse formate da singoli elementi jetting combinati a creare ad esempio muri a gravità. È inoltre possibile, con le dovute precauzioni, intervenire non solo a ridosso, ma anche direttamente al di sotto di strutture esistenti (edifici, fondazioni ecc.), cosa assai complicata se non inattuabile con altri sistemi di sostegno.

Per questi motivi il jetting è indicato sia per il sostegno di pareti, sia per sottomurazioni comunque anch'esse facenti parte della categoria dei sostegni.

### Sostegno di pareti

Come già accennato sopra, il sostegno di pareti con il sistema jetting può essere considerato alla stessa stregua di altri tipi di sostegni di pareti. L'esecuzione avviene realizzando una serie lineare di colonne secanti verticali eventualmente armate con profilati o barre in acciaio, di dimensioni adeguate ai carichi statici che la struttura è chiamata ad assumere. Queste possono essere eventualmente completate da una serie di colonne ad inclinazione diversa a creare ad esempio delle mensole, degli ancoraggi o semplicemente un maggior spessore della parete a dipendenza delle necessità. La messa in opera può avvenire sia sopra che sotto livello di falda.

Come prima operazione sarà eseguita una serie di colonne distanziate in modo da poter sostenere la totalità del carico della struttura da sottomurare.

Particolare attenzione dovrà essere rivolta alla continuità del deflusso dei materiali eccedenti per non creare pressioni incontrollabili sulle fondazioni interessate. In seconda fase, si provvederà ad estendere la vera e propria sottomurazione con colonne secanti e con colonne disposte in modo da sopperire alle esigenze statiche del sistema.

La sequenza e le modalità esecutive devono sempre prioritariamente salvaguardare la continuità del deflusso delle eccedenze.

Lavori sotto falda devono essere accuratamente studiati e pianificati.

Entro certi limiti è possibile realizzare sottomurazioni autoportanti con l'impiego esclusivo di elementi colonnari Jetting eventualmente armati secondo le esigenze