



TECNOLOGIA

# Jet Grouting







Il jet grouting consente il miglioramento delle caratteristiche meccaniche e di permeabilità del terreno mediante trattamento con miscela acqua/cemento iniettata ad altissima velocità.

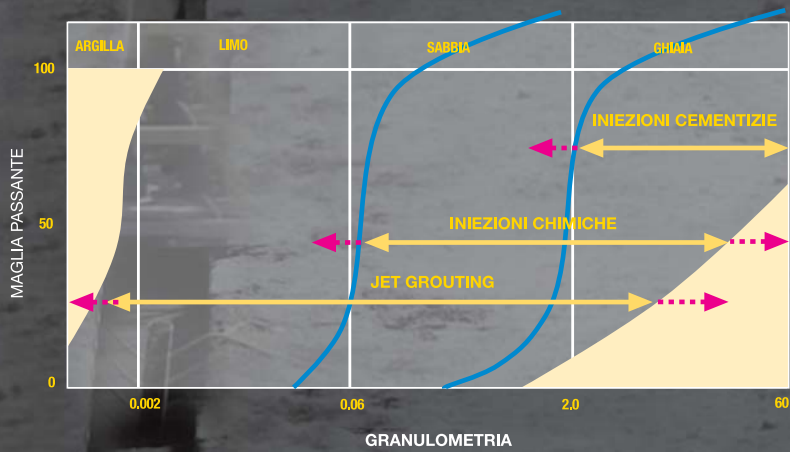
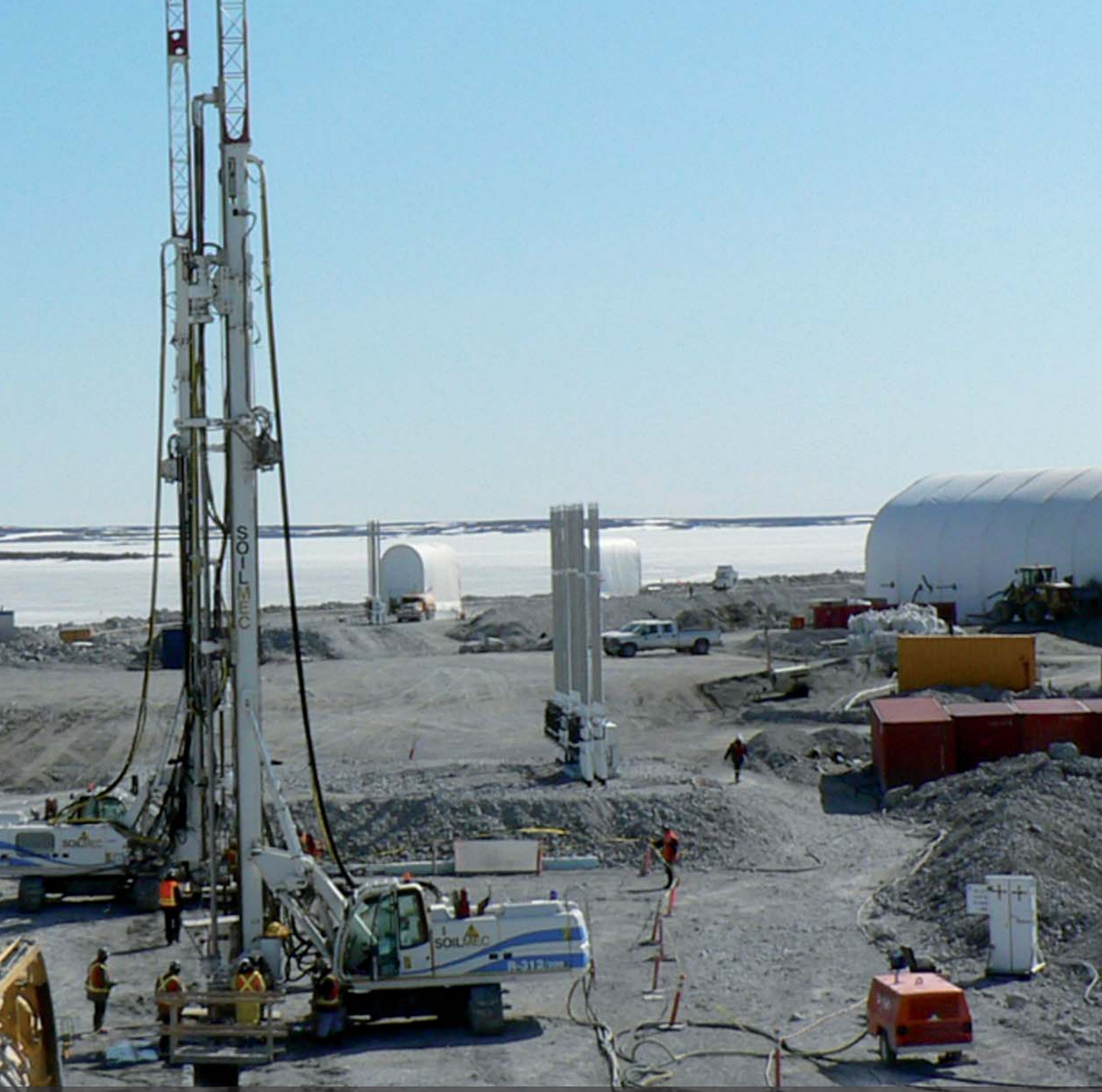
Il trattamento jet grouting si presta ad essere utilizzato in:

- **condizioni logistiche difficili**
- **spazi angusti**
- **attraversamento di ostacoli**
- **trattamento ad elevata profondità con attraversamento a vuoto**

### **Terreni trattabili**

La tecnica del jet grouting consente il miglioramento di una vasta gamma di terreni. Il Jet Grouting è un processo basato sulla erosione del terreno: pertanto l'erosibilità del terreno gioca un ruolo importante nel risultato ottenuto. Si può affermare che il diametro delle colonne diminuisce al crescere della consistenza del terreno da trattare, e pertanto si otterranno colonne grandi in terreni sciolti e soffici, e colonne più piccole in terreni coesivi.





- - - Antieconomico  
— Vantaggioso

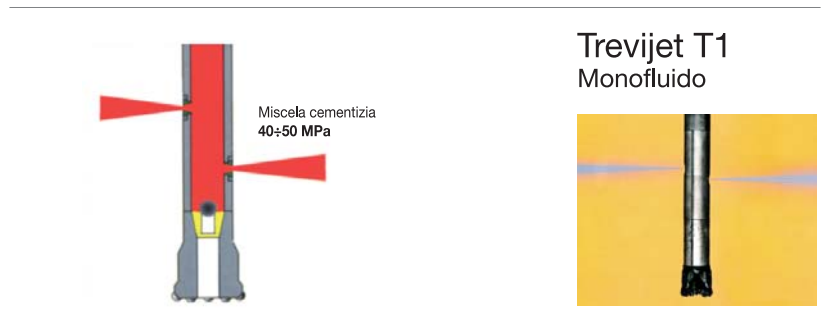
# Tecnologia

La realizzazione di elementi consolidati (*generalmente colonne*) avviene a partire da perforazioni di piccolo diametro (*normalmente compreso tra 100 e 140 mm*), con l'ausilio di macchine leggere e maneggevoli. Inoltre con questa tecnica è possibile realizzare elementi di terreno consolidato oltre il superamento di ostacoli sepolti (*fondazioni, blocchi, ecc.*). Generalmente i trattamenti jet grouting vengono eseguiti fino a profondità di 20-30 metri, anche se sono stati eseguiti progetti particolari con profondità fino a 100 metri.

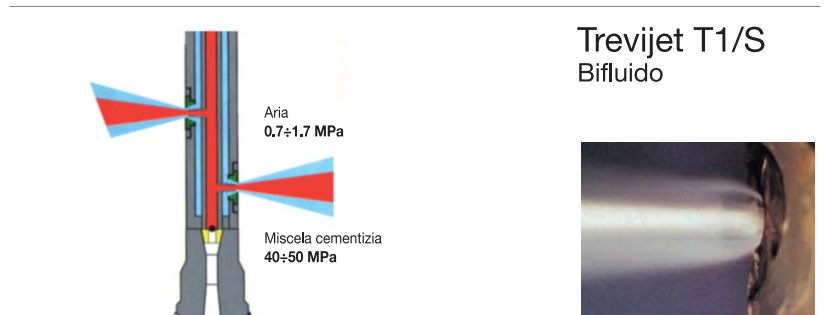
Tutti le tecniche Jet Grouting prevedono una prima fase di perforazione seguita da una fase di risalita e rotazione a valori predeterminati con simultanea iniezione ad alta pressione dei fluidi utilizzati.

Sulla base del numero di fluidi utilizzati, la normativa europea EN 12716 distingue tre principali tecniche di trattamento:

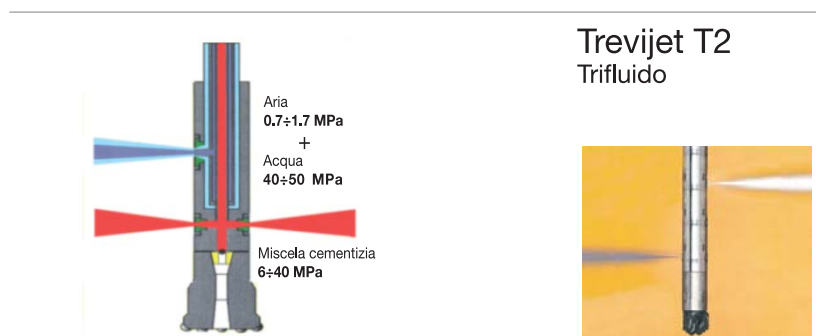
- **Monofluido (TREVJET T1)**, in cui la disgregazione e la contemporanea miscelazione del terreno in situ viene effettuata mediante un getto di miscela acqua/cemento. I diametri ottenibili sono mediamente compresi fra 0,4 e 1 m.
- **Bifluido (TREVJET T1/S)**, in cui la disgregazione e la contemporanea miscelazione del terreno in situ viene effettuata mediante un getto combinato di miscela acqua/cemento ed aria. I diametri ottenibili sono compresi fra 0,8 e 2,5 m.
- **Trifluido (TREVJET T2)**, in cui la disgregazione e la parziale rimozione del terreno in situ viene eseguita per mezzo di un getto combinato di aria ed acqua, mentre la contemporanea miscelazione del terreno in situ viene affidata ad un sottostante getto di miscela acqua/cemento.



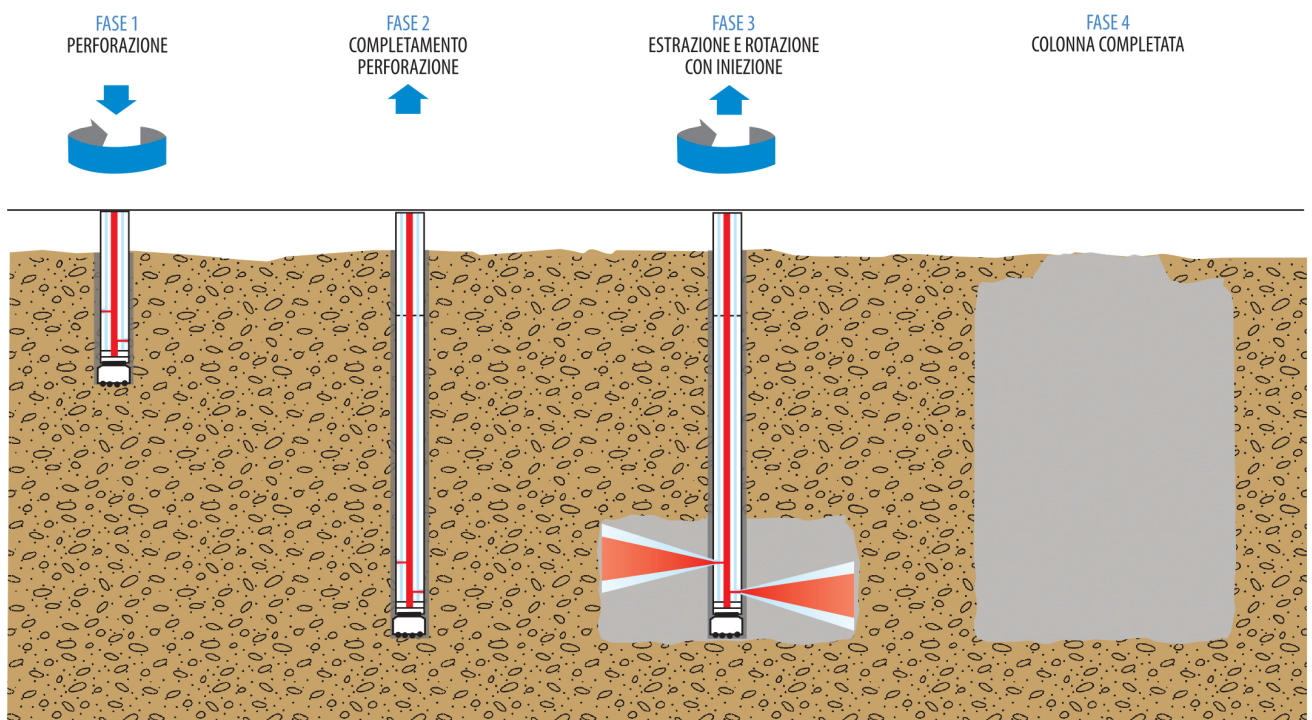
Trevijet T1  
Monofluido



Trevijet T1/S  
Bifluido



Trevijet T2  
Trifluido







La posizione di ogni singola perforazione (*interassi e distanze da punti di riferimento*) deve essere determinata prima di iniziare il lavoro, e marcata sul terreno con il picchetto di riferimento, oppure utilizzando un sistema di posizionamento satellitare.

**I parametri di trattamento** vengono scelti solo dopo aver effettuato un campo prove preliminare.

In terreni particolarmente coesivi può essere utilizzata la tecnica del **pre-cutting** che consiste in un pretrattamento con acqua in pressione. Tale trattamento può essere effettuato in risalita, oppure in discesa durante la fase di perforazione.

L'**iniezione** va eseguita appena ultimata la perforazione estraendo e ruotando la batteria a velocità di risalita e di rotazione predeterminate e costanti; contemporaneamente viene pompata la miscela cementizia ad alta pressione.

Le miscele di iniezione sono composte principalmente da acqua e cemento; additivi e bentonite possono essere aggiunti per stabilizzare la miscela.

Le miscele standard utilizzate hanno la seguente composizione (*per 1 m<sup>3</sup>*):

- cemento (kg) 500 ÷ 1100
- acqua (lt) 650 ÷ 800
- bentonite o fluidificanti (kg) 0 ÷ 14

Al termine del trattamento, qualora il progetto lo preveda, è possibile l'installazione di un tubo o putrella di **armatura** nella massa di terreno miscelato. In alcune situazioni può essere necessaria la riperforazione per la posa in opera dell'armatura.

Durante il trattamento viene espulso in superficie il fluido in eccesso (*comunemente chiamato spurgo*). Anche se può essere considerato uno spreco, la sua assenza potrebbe essere indice di un cattivo risultato del trattamento.





# Innovazione

## ETJ (Enhanced Trevijet)

TREVI ha recentemente sviluppato e brevettato un nuovo monitor ad elevata efficienza (*ETJ = Enhanced Trevi Jet*). Il sistema ETJ prevede l'utilizzo di un sofisticato monitor, e delle consuete attrezzature di cantiere per il jet grouting (impianti di miscelazione, pompe, perforatrici, aste jetting). Il monitor è munito di due condotti curvilinei che riducono le perdite di carico legate al brusco cambio di direzione del fluido disgregante (*da assiale nelle aste a radiale attraverso gli ugelli*).

In tal modo il getto risulta estremamente coerente, e consente di migliorare in maniera consistente l'efficienza del trattamento jet grouting, ottenendo così diametri di colonne considerevolmente superiori a quelli raggiunti con sistemi tradizionali.

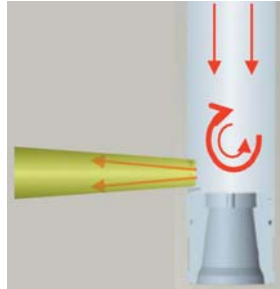
Il sistema ETJ può essere usato per i trattamenti monofluido e per i trattamenti bifluido

### Incremento di efficienza

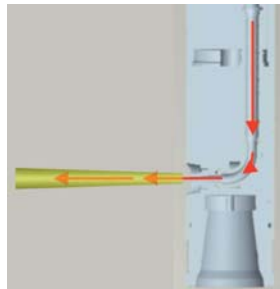
Monofluido	Variazione diametro	25-50%
Monofluido	Volume trattato	60-100%
Bifluido	Variazione diametro	15-20%
Bifluido	Volume trattato	25-40%



Monitor TRADIZIONALE



Monitor ETJ





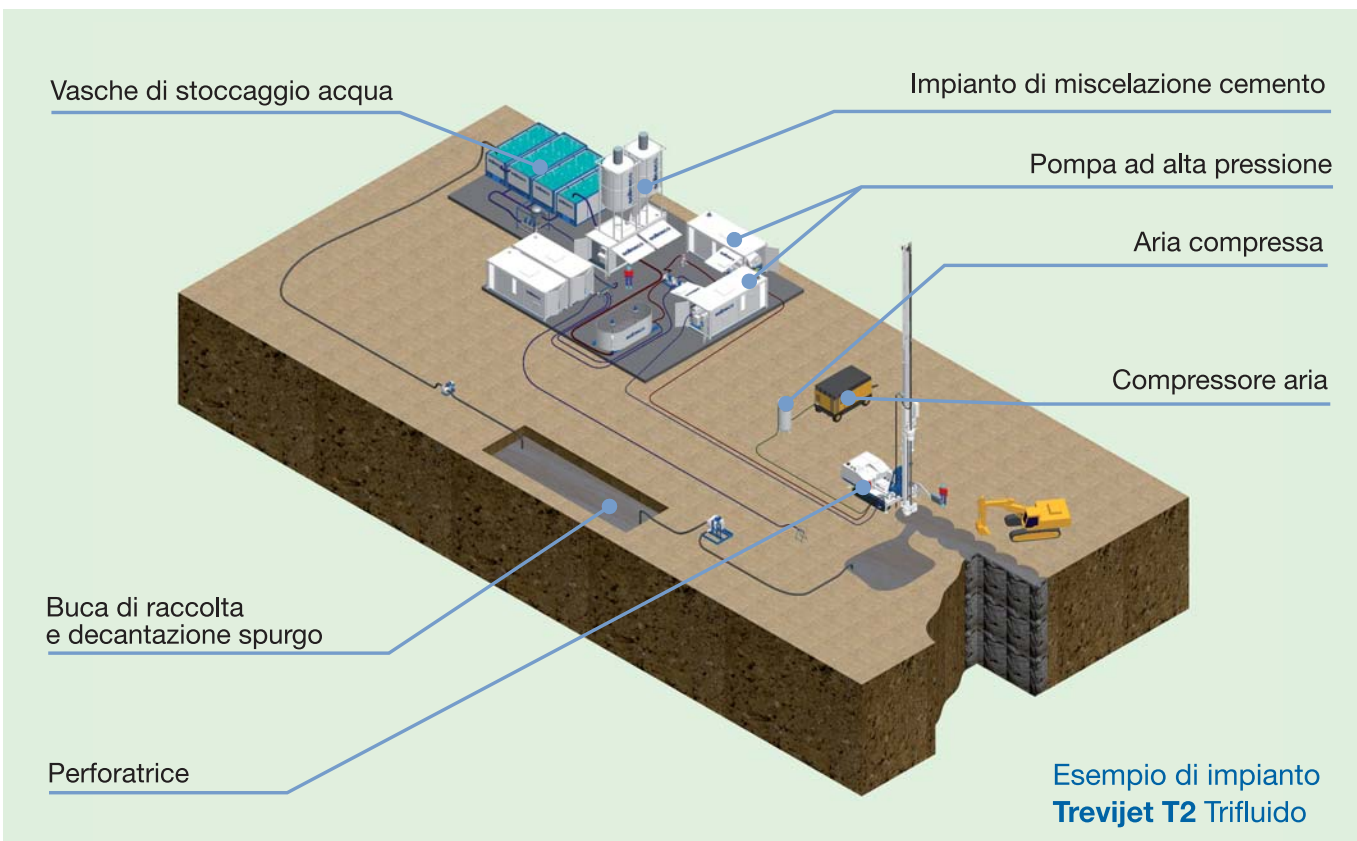
# Logistica



Le attrezzature necessarie per la realizzazione di trattamenti jet grouting comprendono perforatrici, impianti per la preparazione della miscela cementizia, pompe ad alta pressione, compressori. Il tipo e la quantità delle attrezzature impiegate dipende dalla tecnica utilizzata.

Le potenze installate vanno da un minimo di 600 HP (*monofluido*) ad un massimo di circa 1000 HP (*trifluido*).

Metodo	Potenza installata
TREVIJET T1	HP 600 ÷ 700
TREVIJET T1/S	HP 700 ÷ 800
TREVIJET T2	HP 850 ÷ 1000



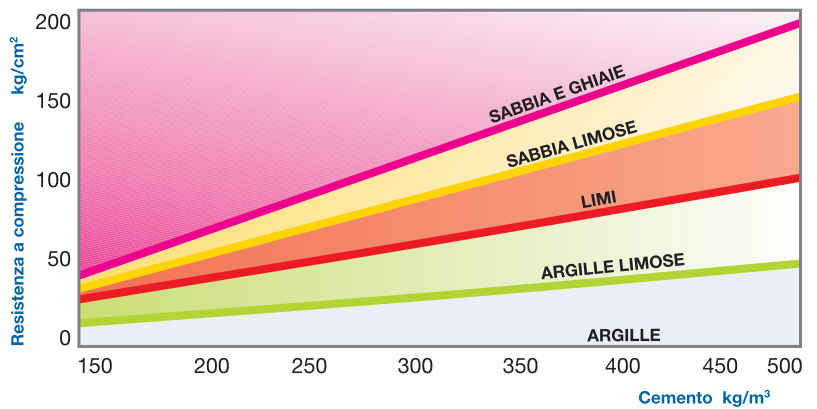
# Caratteristiche terreni consolidati

Le caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni consolidati sono principalmente in funzione della natura e composizione dei terreni stessi e della quantità di cemento che rimane nel terreno. Valori di resistenza a compressione non confinata pari a 6 ÷ 15 MPa sono ottenibili in terreni alluvionali grossolani mentre in presenza di litotipi coesivi le resistenze decrescono sensibilmente.

I valori medi di permeabilità del terreno variano da  $10^{-6}$  a  $10^{-7}$  m/sec.



Resistenza in funzione della litologia e della quantità di cemento



Le caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni consolidati dipendono principalmente dalla natura e composizione dei terreni stessi e dalla quantità di cemento che rimane nel terreno. Nel grafico qui a fianco viene mostrata la resistenza di vari tipi di terreni trattati in funzione della quantità di cemento effettivamente presente nel prodotto finale, in cui si evidenzia come valori di resistenza a compressione non confinata pari a 6-15 MPa sono raggiungibili in terreni alluvionali grossolani, mentre in presenza di litotipi coesivi le resistenze diminuiscono sensibilmente.

# Controlli qualità

Il jet grouting è una tecnologia che mira alla formazione di corpi consolidati nel sottosuolo, e spesso non è possibile il controllo diretto della qualità del prodotto finale. Inoltre la realizzazione di alcune opere richiede particolari attenzioni dai punti di vista del controllo di qualità.

In considerazione della variabilità dei terreni in cui si realizza il jet grouting, è sempre consigliabile prevedere la realizzazione di un campo prova che consenta di tarare i parametri esecutivi per ottenere i risultati richiesti dal progetto.

## DMS (Drilling Mate System)

Durante l'esecuzione delle colonne in opera, è consigliabile adottare un apparecchio automatico per la registrazione dei parametri, che permetta di mantenere i parametri stabiliti in sede di campo prove. In tal modo ogni colonna viene corredata di un documento che ne testimonia la modalità esecutiva.

Il DMS è un sistema di registrazione che può equipaggiare ogni perforatrice. Il sistema è costituito da un apparecchio automatico che acquisisce e controlla i parametri di perforazione e trattamento, permettendo in tal modo il mantenimento di un alto standard qualitativo. L'operatore ha a disposizione un touch screen sul quale imposta i parametri.

Lo stesso strumento può essere interfacciato con una serie di altri strumenti ed accessori, per la misura della verticalità, e per aiutare l'operatore nel posizionamento della macchina.

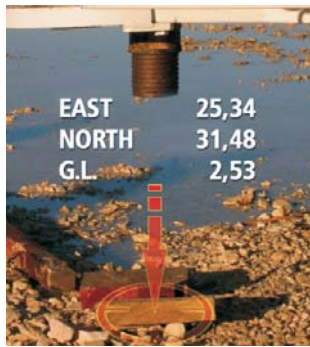


Display sistema DMS (SOILMEC)





Display sistema DPS



## DPS JET (Drilling Positioning System)

Il sistema DPS è stato sviluppato per il controllo della posizione delle colonne jet grouting monofluido e bifluido. Lo strumento consente di effettuare misurazioni in un campo +/- 60 gradi rispetto alla verticale. Questo controllo è di fondamentale importanza nella realizzazione di tamponi di fondo e di schermi impermeabili profondi.

Il DPS restituisce i dati di inclinazione e orientamento, il valore di deviazione standard di ognuna di queste misure, le deviazioni calcolate in coordinate Nord-Est e polari relative ad ogni sosta e le diverse quote di sosta.

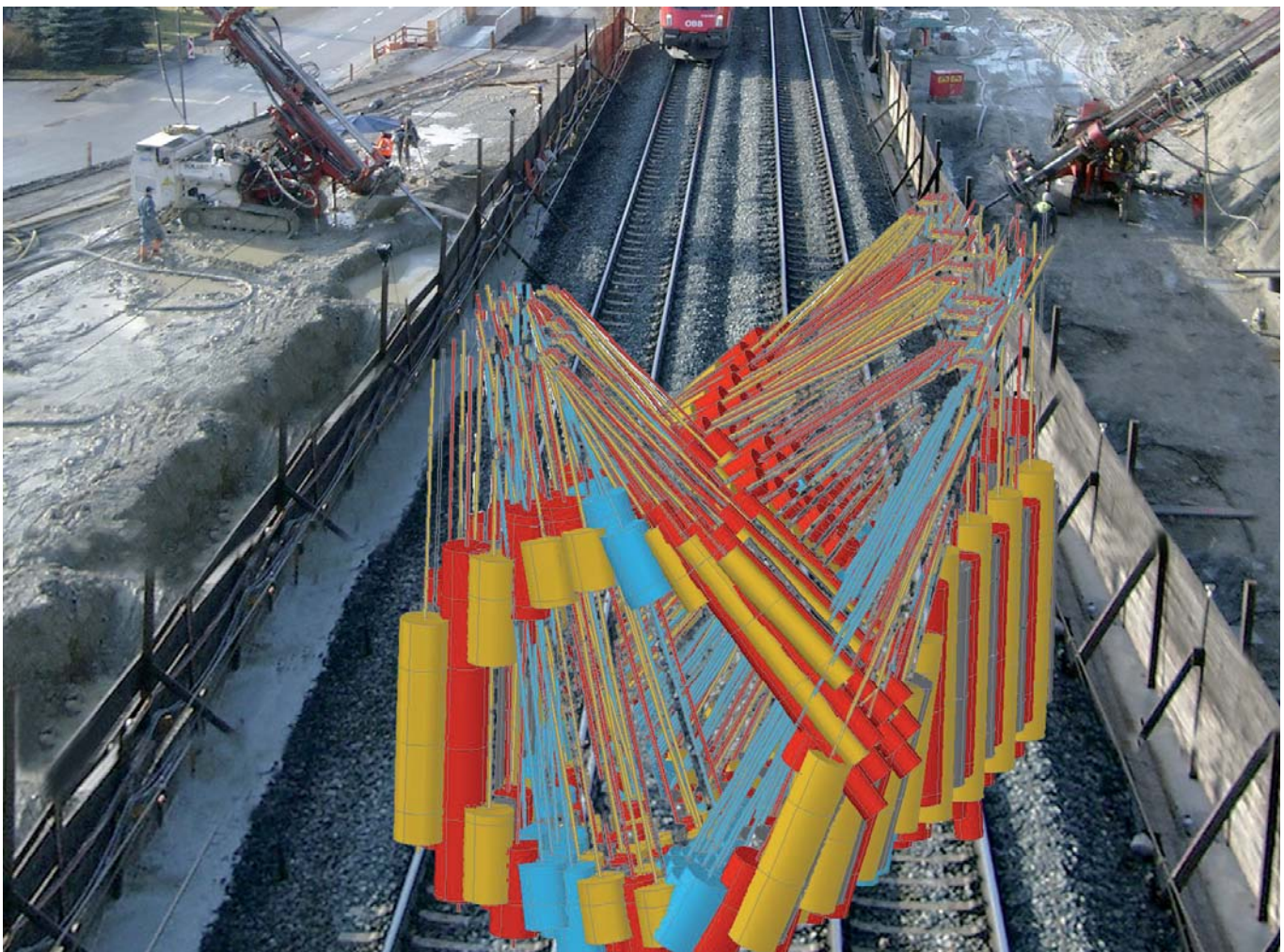
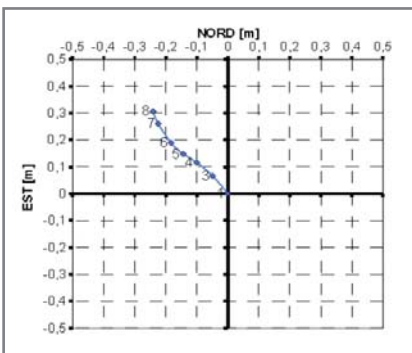
## APS (Automatic Positioning System)

L'APS è un sistema di guida GPS in grado di integrare in tempo reale le coordinate di posizionamento topografico ed i parametri di perforazione di ogni attrezzatura da cantiere.

Nel posizionamento della perforatrice, l'operatore viene guidato sul punto di perforazione dalle indicazioni che compaiono sul display. Inoltre l'operatore può controllare ogni funzione su un display installato sulla perforatrice.

Questo strumento consente un migliore controllo di qualità, consentendo di registrare per ogni colonna l'esatta altezza iniziale e finale della colonna, e memorizzando i punti già trattati.

Diagramma polare APS



Restituzione tridimensionale colonne jet grouting - STANS Tunnel (Austria)

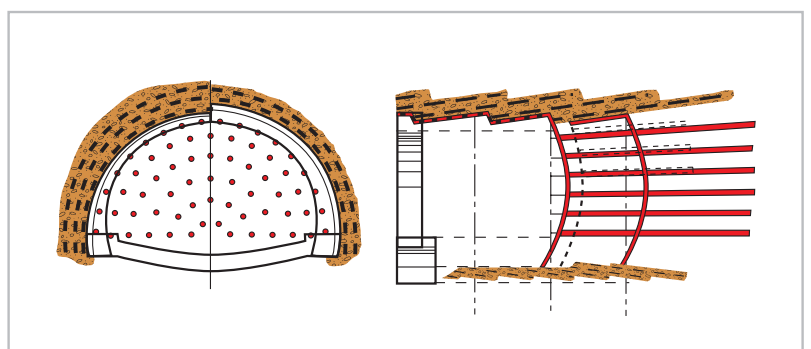
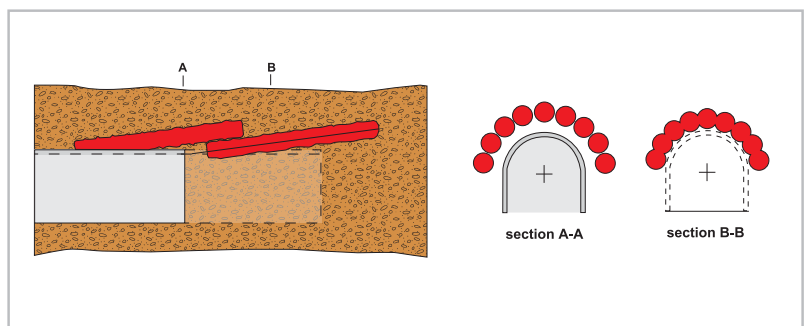
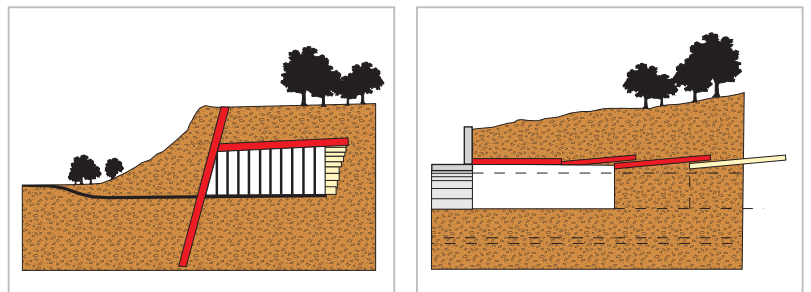
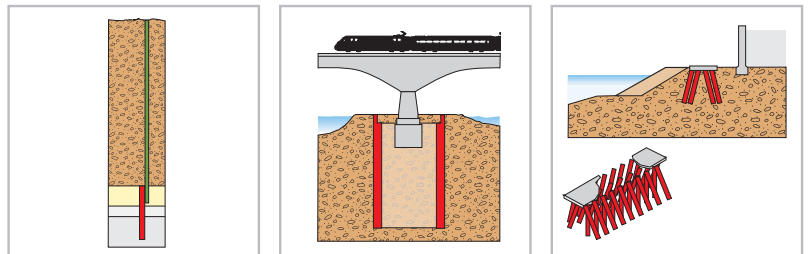
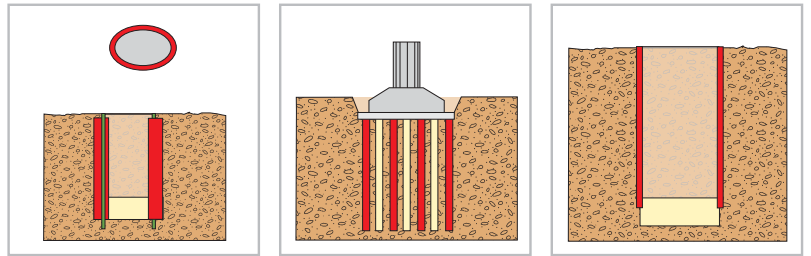
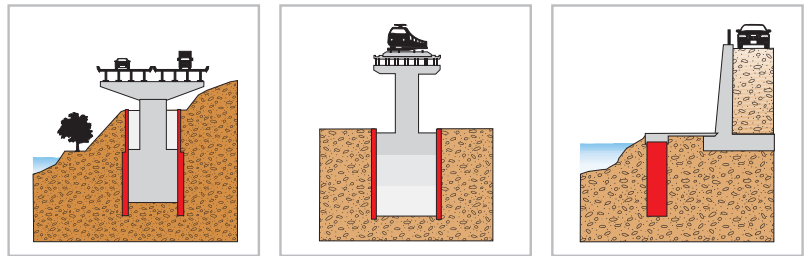


# Applicazioni

Il jet grouting è una tecnica che si presta all'applicazione in un gran numero di situazioni progettuali, quando tecniche differenti non possono essere applicate.

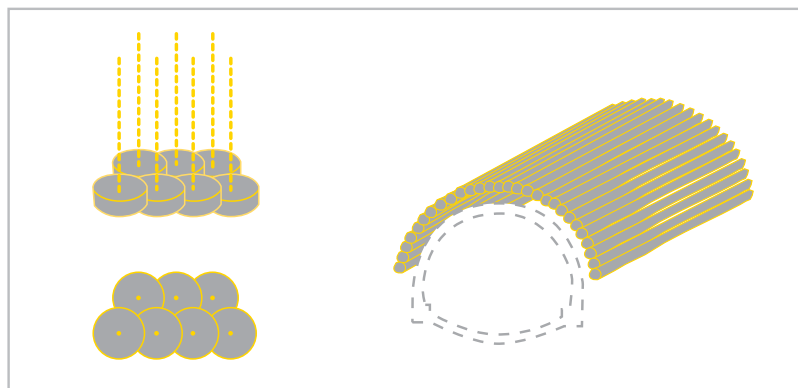
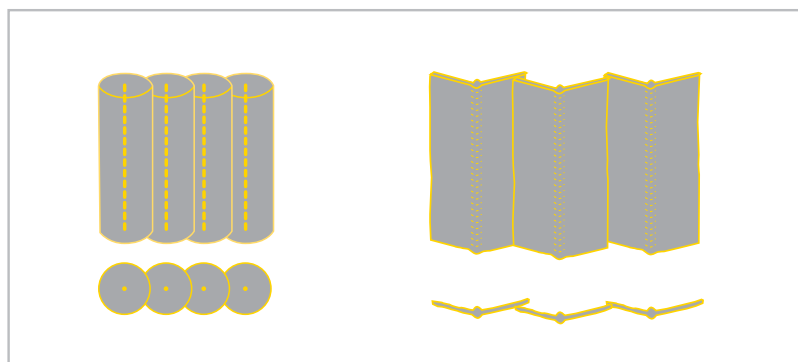
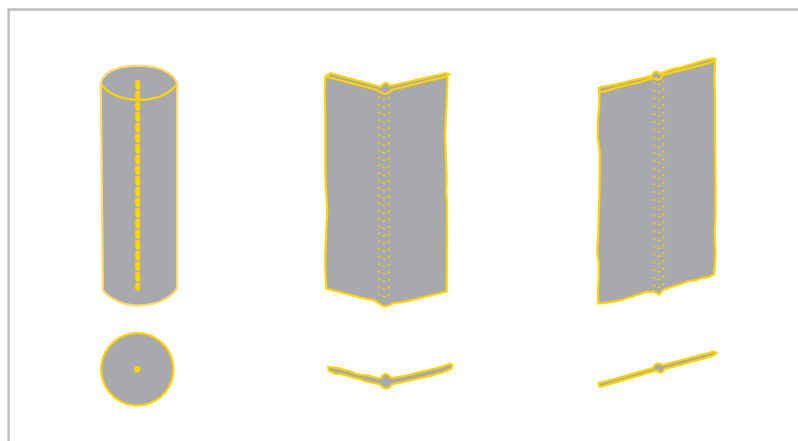
In particolare, i trattamenti di jet grouting trovano applicazione per:

- **Consolidamento di fondazioni esistenti**
- **Riduzione dei cedimenti per nuove strutture**
- **Paratie per protezione di scavi**
- **Formazione di cortine impermeabili (orizzontali e verticali)**
- **Consolidamenti preliminari**, eseguiti dall'esterno o dall'interno, per lo scavo di gallerie.





# Forme



Le forme comuni dei trattamenti ejt grouting sono colonne cilindriche, ottenute mantenendo una velocità di rotazione e di risalita costante, oppure lamelle, ottenute mantenendo una velocità di risalita costante, ma senza ruotare la batteria.

Altre forme sono realizzabili modificando la velocità di rotazione, per la realizzazione di settori cilindrici.



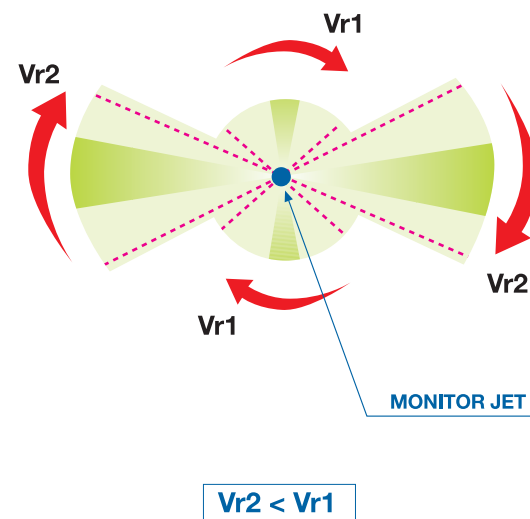
## EJG (Elliptical Jet Grouting)

Un'ulteriore novità introdotta e brevettata da TREVI riguarda la possibilità di eseguire colonne di forma pseudo-ellittica.

Questa particolare geometria viene ottenuta variando in maniera programmata la velocità di rotazione. Questa tecnica consente di ottimizzare l'impiego di colonne jet grouting quando il trattamento è mirato a realizzare una cortina, consentendo consistenti risparmi di tempo e di materiale.

### Principio operativo per la realizzazione delle colonne ellittiche

La velocità di rotazione varia da  $Vr1$  a  $Vr2$ , per creare settori a raggio variabile.







Protagonista mondiale nel settore dell'ingegneria nel sottosuolo, Trevi ha consolidato, in oltre 50 anni di attività in ogni angolo del mondo, la propria capacità di risolvere qualsiasi problema d'ingegneria nel sottosuolo.

Trevi opera nel settore della fondazioni speciali, nel consolidamento di terreni, nel ripristino delle dighe, nella costruzione e consolidamento delle gallerie, nei lavori marittimi, nella messa in sicurezza dei siti inquinati, nella costruzione di parcheggi interrati e automatizzati.

Trevi è votata all'innovazione continua e alla costante ricerca di soluzioni per le complesse problematiche che l'ingegneria civile deve affrontare in tutto il mondo. Sperimentazione della tecnologia più avanzata, tradizione imprenditoriale e volontà di investire in ricerca e nelle risorse umane sono i punti di forza di una realtà radicata in oltre 30 paesi.



[www.trevispa.com](http://www.trevispa.com)