

**TREVI**Group

# Jet Grouting

## Soil Improvement Jet Grouting

Rev. 0 – maggio 2004

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Rif. Int. : ZUP

Technological Department

## S O M M A R I O

<b>1. INTRODUZIONE .....</b>	<b>3</b>
<b>2. CAMPI DI APPLICAZIONE .....</b>	<b>3</b>
<b>3. TECNOLOGIE JET GROUTING.....</b>	<b>4</b>
3.1. TreviJet T1 .....	4
3.2. TreviJet T1/S.....	5
3.3. TreviJet T2.....	6
<b>4. PARAMETRI OPERATIVI.....</b>	<b>7</b>
<b>5. CARATTERISTICHE DEI TERRENI CONSOLIDATI .....</b>	<b>8</b>
<b>6. ATTREZZATURE E MATERIALI IMPIEGATI.....</b>	<b>9</b>
6.1. Attrezzature .....	9
6.1.1. Perforatrici .....	9
6.1.2. Impianto di miscelazione .....	10
6.1.3. Pompa ad alta pressione.....	10
6.1.4. Compressore .....	11
6.1.5. Batteria jet.....	11
6.1.6. Manichette .....	11
6.2. Materiali .....	12
6.2.1. Fluidi di perforazione.....	12
6.2.2. Miscele di iniezione .....	12
<b>7. FASI ESECUTIVE.....</b>	<b>13</b>
7.1. Tracciamento .....	13
7.2. Piazzamento .....	13
7.3. Perforazione .....	13
7.3.1. Pre-cutting.....	13
7.4. Iniezione.....	14
7.5. Posa armatura.....	14
<b>8. CONTROLLI .....</b>	<b>14</b>
8.1. Registrazione automatica dei parametri.....	14
8.2. Controlli di verticalità .....	16
8.3. Controlli sulla miscela .....	16
8.4. Geometria.....	17
8.5. Carotaggi.....	17
8.6. Permeabilità .....	17

## 1. INTRODUZIONE

---

La presente relazione illustrativa descrive le modalità esecutive, le attrezzature ed i materiali relativi alla realizzazione dei trattamenti jet grouting utilizzati per il consolidamento e/o l'impermeabilizzazione dei terreni.

La tecnica è nata in Giappone intorno al 1965 e si è affermata nel giro di pochi anni in tutti i paesi tecnologicamente avanzati; i motivi del rapido sviluppo e della notevole affermazione di tale tecnica sono essenzialmente dovuti alla sua elevata versatilità di impiego.

Qualora si debbano infatti trattare terreni a granulometria fine, i sistemi tradizionali di consolidamento o impermeabilizzazione per impregnazione, claquage o compattazione, presentano notevoli limitazioni di natura tecnica ed economica e possono inoltre comportare gravi problemi di inquinamento. Il consolidamento o l'impermeabilizzazione di tali terreni richiede infatti l'impiego di miscele fortemente penetranti quali quelle formate da silicati di sodio con reagenti indurenti, solitamente tossici e inquinanti, oppure miscele a base di resine i cui componenti, prima della reazione, sono generalmente tossici.

Le tecniche jet grouting, miscelando il terreno direttamente in situ con cemento, permettono di trattare queste formazioni in modo omogeneo, continuo e non inquinante.

## 2. CAMPI DI APPLICAZIONE

---

I trattamenti di jettiniezione trovano applicazione per gli scopi seguenti:

- stabilizzazione di fondazioni cedevoli o riduzione dei cedimenti presunti
- realizzazioni di paratie
- apertura di scavi in prossimità di edifici
- costituzione di sbarramenti impermeabili al di sotto ed ai fianchi di sbarramenti e dighe

- tamponi di fondo
- break-in e break-out per TBM
- consolidamenti per lo scavo di gallerie e pozzi

### 3. TECNOLOGIE JET GROUTING

Le tecnologie Jet Grouting sono classificate a seconda del numero dei fluidi iniettati durante il trattamento:

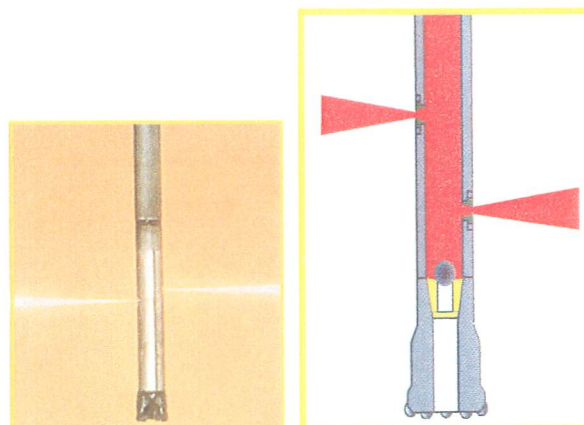
- **Sistema monofluido:** la miscela cementizia è utilizzata come agente disgregante e consolidante (TREVIJET T1)
- **Sistema bifluido:** la miscela cementizia e l'aria sono utilizzate come agente disgregante e consolidante (TREVIJET T1/S)
- **Sistema trifluido:** l'acqua e l'aria sono utilizzate come agenti disgreganti mentre la miscela cementizia è utilizzata come agente consolidante (TREVIJET T2)

#### 3.1. TREVIJET T1

Il sistema prevede la disgregazione e la contemporanea miscelazione del terreno in situ mediante un getto di miscela acqua/cemento; i diametri ottenibili sono mediamente compresi fra 0,4 e 1 m.

La perforazione viene eseguita a rotazione o a rotopercolazione direttamente tramite la batteria di iniezione attrezzata con un passaggio interno e munita di un monitor autopercorante (fig. 1).

Figura 1: monitor sistema monofluido (T1)



Il monitor è attrezzato con un ugello di fondo e con uno o più ugelli posti lateralmente.

Durante la perforazione si provvede ad immettere il fluido di perforazione che fuoriesce dal fondo agevolando la penetrazione nel terreno e mantenendo pulite le lame dell'utensile disgregatore.

Al termine della perforazione il passaggio al fondo viene chiuso mediante una biglia o una valvola a molla e si procede al trattamento in risalita, con l'iniezione della miscela cementizia che fuoriesce ad alta pressione attraverso gli ugelli laterali creando la colonna di terreno consolidato (fig. 2).

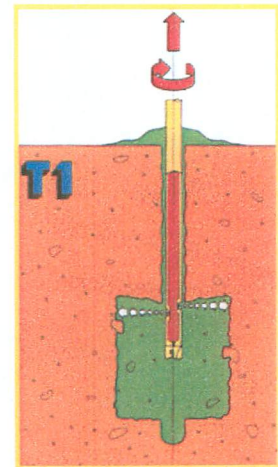


Figura 2: trattamento con sistema monofluido (T1)

### 3.2. TREVIJET T1/S

Tale sistema prevede la disgregazione e la contemporanea miscelazione del terreno in situ mediante un getto combinato di miscela acqua/cemento ed aria (fig. 3, 4); i diametri ottenibili sono compresi fra 0,8 e 2,5 m.

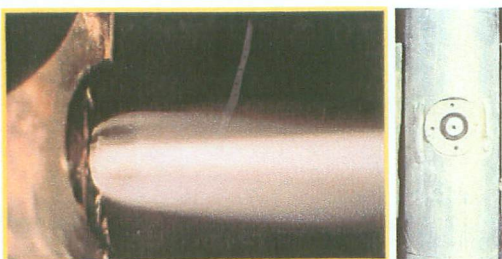


Figura 3: particolare monitor sistema bifluido (T1/S)

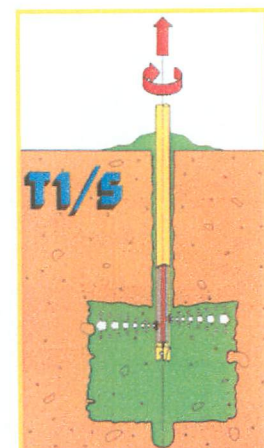
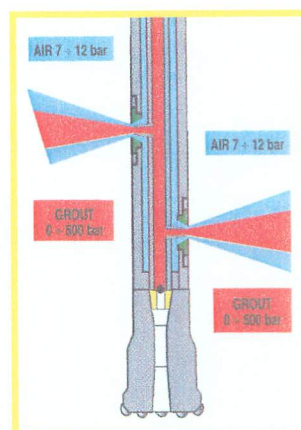


Figura 4: trattamento con sistema bifluido (T1/S)

L'efficacia del getto di miscela cementizia risulta in tal caso incrementata dal getto coassiale ed anulare di aria compressa. Con tale accorgimento il raggio di azione del getto di miscela viene notevolmente incrementato; nella zona interessata dall'iniezione si innesca inoltre un fenomeno di "air-lifting" che agevola lo spurgo della colonna.

La perforazione viene eseguita a rotazione o rotopercolazione direttamente tramite la batteria di iniezione costituita da due aste coassiali per il passaggio della miscela cementizia (al centro) e dell'aria (esterno). Il monitor è attrezzato con uno o due ugelli coassiali per la miscela cementizia e l'aria.

### 3.3. TREVIJET T2

Tale sistema prevede la disgregazione e la parziale rimozione del terreno in situ per mezzo di un getto combinato di aria ed acqua e la contemporanea miscelazione del terreno in situ mediante un sottostante getto di miscela acqua/cemento (fig. 5 e 6).

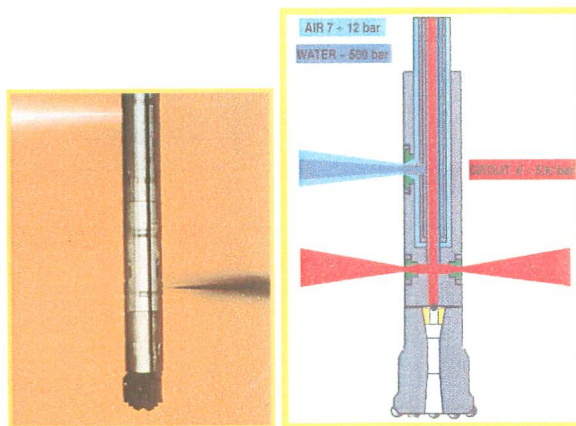


Figura 5: particolare monitor sistema trifluido (T2)

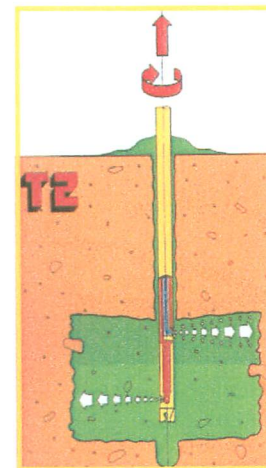


Figura 6: trattamento con sistema trifluido (T2)

L'efficacia del getto d'acqua è infatti notevolmente incrementata da un getto coassiale ed anulare di aria compressa.

La perforazione viene eseguita a rotazione direttamente tramite la batteria di iniezione costituita da tre aste coassiali per il passaggio dell'acqua (al centro), dell'aria (intermedio), e della miscela cementizia (esterno).

Il monitor è attrezzato con uno o più ugelli per la miscela cementizia e con uno o più set di ugelli coassiali per l'acqua e l'aria.

In terreni particolarmente difficili, in cui è richiesta una perforazione a rotopercolazione, è necessario provvedere ad un preforo, eventualmente rivestito, in cui inserire successivamente la batteria di iniezione. Il sottostante getto di boiaccia di cemento, a pressione inferiore, penetra nella massa di terreno già disgregata e privata, in parte, della sua frazione più fine, miscelandosi in maniera uniforme.

## 4. PARAMETRI OPERATIVI

I range di parametri operativi generalmente utilizzati sono riassunti nella tabella seguente.

Parametri operativi standard		TreviJet T1	TreviJet T1/S	TreviJet T2
Pressione della miscela cementizia	MPa	40 ÷ 45	40 ÷ 55	6 ÷ 30
Portata della miscela cementizia	lt/min	80 ÷ 300	120 ÷ 300	70 ÷ 200
Pressione dell'acqua	MPa	-	-	40 ÷ 60
Portata dell'acqua	lt/min	-	-	80 ÷ 200
Pressione aria	MPa	-	0,7 ÷ 1,7	0,7 ÷ 1,7
Portata aria	mc/min	-	8 ÷ 10	8 ÷ 10
Velocità di risalita	cm/min	30 ÷ 80	16 ÷ 25	4 ÷ 7
Velocità di rotazione	rpm	7 ÷ 30	7 ÷ 20	4 ÷ 15

L'energia specifica impiegata è riferita all'unità di lunghezza della colonna da realizzare (MJ/m). Per la sua determinazione i parametri di interesse sono: pressione (MPa), portata (lt/m) e velocità di risalita (cm/min).

$$\text{Energia specifica miscela cementizia} \quad E_g = 0,1 \times \frac{P \times Q}{V_t}$$

$$\text{Energia specifica acqua} \quad E_w = 0,1 \times \frac{P \times Q}{V_t}$$

$$\text{Energia specifica aria} \quad E_a = 0,035 \times \frac{Q \times [(10 \times P)^{0,29} - 1]}{V_t}$$

$$\text{Energia totale} = E_g + E_w + E_a$$

I valori medi di energia impiegati sono riportati nella tabella sottostante.

TreviJet system	$E_g$	$E_w$	$E_a$	$E_{tot}$
	MJ/m	MJ/m	MJ/m	MJ/m
T1	8 ÷ 20	-	-	8 ÷ 20
T1/S	20 ÷ 40	-	10 ÷ 20	30 ÷ 60
T2	2 ÷ 10	30 ÷ 120	20 ÷ 70	50 ÷ 200

## 5. CARATTERISTICHE DEI TERRENI CONSOLIDATI

Le caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni consolidati sono principalmente funzione della natura e composizione dei terreni stessi; tale fatto è intuitivo essendo il prodotto del trattamento una miscelazione in situ di acqua, cemento e terreno.

Valori di resistenza a compressione non confinata pari a  $100 \div 150 \text{ kg/cm}^2$  sono ottenibili in alluvioni grossolane mentre in presenza di litotipi coesivi le resistenze decrescono sensibilmente.

La figura 7 riporta le resistenze ottenibili in funzione delle differenti litologie interessate e della quantità di cemento impiegata per metro cubo di terreno trattato.

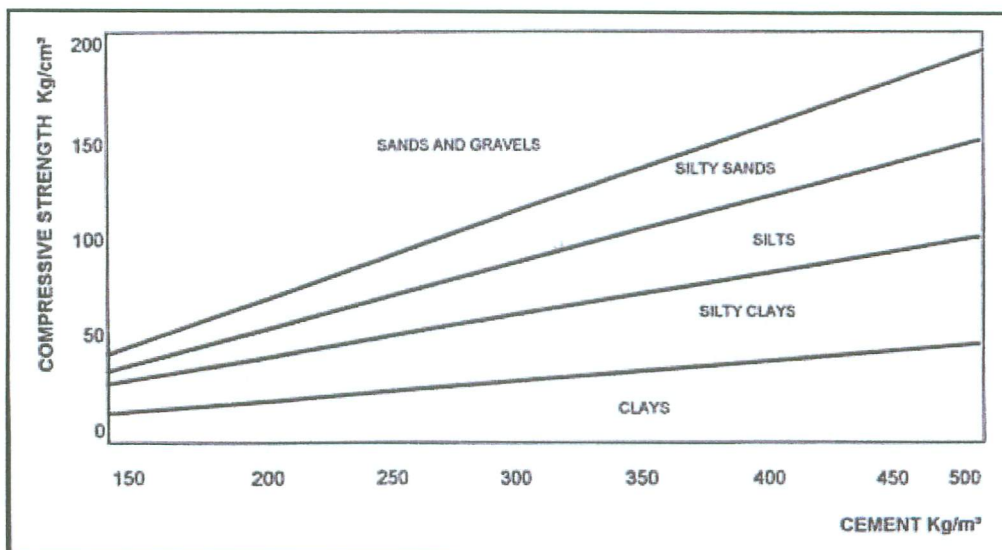


Figura 7: resistenze ottenibili mediante trattamento JG

I valori di permeabilità dei terreni trattati sono mediamente compresi fra  $10^{-4}$  e  $10^{-5}$  cm/sec.

## 6. ATTREZZATURE E MATERIALI IMPIEGATI

### 6.1. ATTREZZATURE

#### 6.1.1. Perforatrici

La profondità del trattamento ed il tipo di terreno, insieme agli spazi di lavoro a disposizione, determinano la scelta della macchina più adatta. Se possibile, è preferibile utilizzare antenne che permettano di realizzare l'intero trattamento senza giunzioni di aste. Le perforatrici sono predisposte con dispositivi che consentono di fissare e mantenere in maniera automatica la velocità di rotazione e di risalita; l'attrezzatura di perforazione deve inoltre essere munita di manometri per consentire all'operatore di verificare la pressione di iniezione dei fluidi pompati.

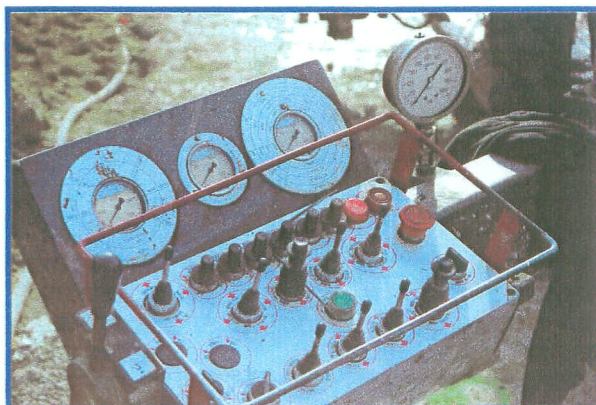


Figura 8: plancia di comando con manometro di controllo

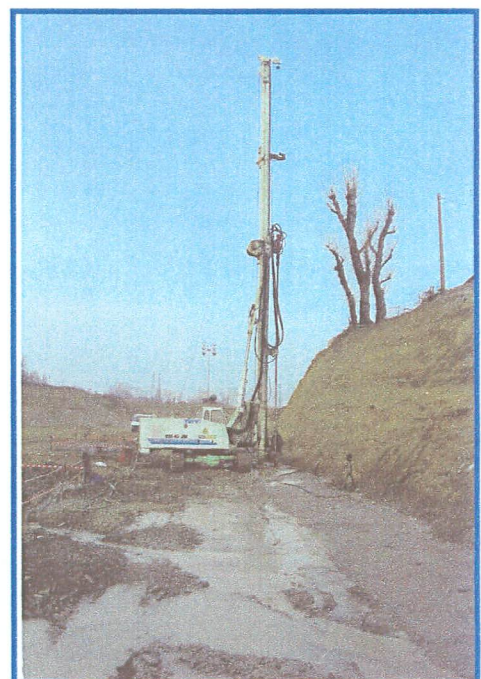


Figura 9: perforatrici per Jet Grouting

### 6.1.2. Impianto di miscelazione

A seconda delle portate richieste dalla metodologia impiegata si utilizzeranno impianti in grado di garantire la necessaria capacità produttiva.

Gli impianti di miscelazione generalmente utilizzati sono i SOILMEC GM-14 ed il GM-20.



Figura 10: impianto di confezionamento miscela cementizia

### 6.1.3. Pompa ad alta pressione

Per l'iniezione delle miscele o dell'acqua si utilizzano pompe a pistoni tipo SOILMEC 5T-302, 7T-450, 7T-600 o 7T-800 per portate e pressioni di esercizio rispettivamente comprese fra 100 e 600 lt/min e 35 ÷ 50 MPa.

Sulla pompa è sempre montato un manometro che permette al pompista di verificare la pressione di iniezione.



Figura 11: pompa ad alta pressione

#### 6.1.4. Compressore

Per la produzione dell'aria compressa che assiste il getto si usano compressori con portata superiore a 10 m<sup>3</sup>/min, ad una pressione compresa tra 0,7 e 2,0 MPa.

#### 6.1.5. Batteria jet

Le aste hanno generalmente lunghezze di 1,0, 1,5, 2,0, 3,0 m. con diametro di 90 o 114 mm.

Al fondo della batteria di aste é montato il monitor porta-ugelli per l'iniezione e lo scalpello. Il numero di ugelli varia da 1 a 4 con diametro compreso fra 1,5 e 6,0 mm.

#### 6.1.6. Manichette

Per il trasporto della miscela cementizia si utilizzano tubi in gomma ad alta pressione da 1" o 1"½. I tubi e i raccordi resistono a pressioni di scoppio di 1.200 bar.

Lo schema operativo delle attrezzature utilizzate in un cantiere Jet Grouting è raffigurato in figura 12.

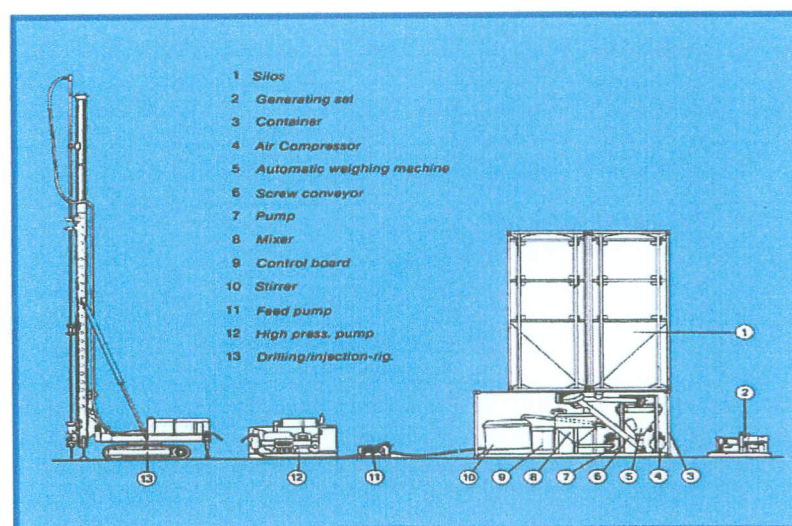


Figura 12: schema attrezzature utilizzate nella tecnologia Jet Grouting

## 6.2. MATERIALI

Per la realizzazione dei trattamenti TreviJet occorrono i seguenti materiali:

- fluidi di perforazione
- miscele di iniezione

### 6.2.1. Fluidi di perforazione

Tali fluidi devono assolvere a vari compiti:

- mantenere pulito il foro durante la perforazione, trasportando in superficie i detriti;
- raffreddare e mantenere pulito l'utensile;
- evitare il franamento delle pareti del foro.

I fluidi normalmente utilizzati sono:

- acqua;
- aria compressa;
- fango bentonitico.

### 6.2.2. Miscele di iniezione

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     |

I parametri fisici caratteristici di tali miscele sono i seguenti:

- |                   |                       |             |
|-------------------|-----------------------|-------------|
| • viscosità Marsh | (sec)                 | 30 ÷ 40     |
| • densità         | (kg/dm <sup>3</sup> ) | 1,35 ÷ 1,75 |

## **7. FASI ESECUTIVE**

---

La realizzazione dei trattamenti Jet Grouting può essere riassunta nelle seguenti fasi esecutive:

- Tracciamento dei punti di trattamento
- Piazzamento della perforatrice
- Perforazione
- Iniezione in risalita a pressione
- Posa dell'armatura (eventuale)

### **7.1. TRACCIAMENTO**

Prima di iniziare il lavoro la posizione di ogni singola perforazione (interassi e distanze da punti di riferimento) deve essere determinata.

### **7.2. PIAZZAMENTO**

La perforatrice viene movimentata in modo da fare coincidere l'utensile di perforazione con il picchetto di riferimento.

### **7.3. PERFORAZIONE**

La perforazione avviene secondo le modalità prestabilite e prosegue sino alla quota di progetto.

#### **7.3.1. Pre-cutting**

In alcune occasioni può essere utilizzata la tecnica del pre-cutting; questa consiste in un pre-trattamento con acqua in pressione. Tale trattamento viene effettuato in discesa durante la fase di perforazione.

## 7.4. INIEZIONE

L'iniezione va eseguita appena ultimata la perforazione estraendo e ruotando la batteria a predeterminate e costanti velocità di risalita e di rotazione; contemporaneamente viene pompata la miscela cementizia ad alta pressione. I parametri di trattamento vengono scelti solo dopo aver effettuato un campo prove preliminare.

## 7.5. POSA ARMATURA

Qualora il progetto lo preveda è possibile l'installazione di un tubo o putrella di armatura al termine del trattamento. L'elemento di armatura viene calato per peso proprio all'interno della massa di terreno miscelato con eventuale ausilio di un vibratore o di un infissore con massa battente.

## 8. CONTROLLI

---

I controlli generalmente utilizzati durante e dopo l'esecuzione del trattamento jet grouting sono:

- registrazione automatica dei parametri operativi
- controllo della verticalità dell'antenna della perforatrice e della colonna di trattamento
- controlli periodici sulla miscela di iniezione
- verifica della geometria ottenuta
- carotaggi
- prove di permeabilità

### 8.1. REGISTRAZIONE AUTOMATICA DEI PARAMETRI

I parametri di perforazione e trattamento possono essere registrati in automatico mediante strumentazioni elettroniche.

I principali parametri acquisiti sono:

- velocità di perforazione;
- velocità di risalita;
- velocità di rotazione;
- pressione di iniezione;
- portata di iniezione.

Le strumentazioni elettroniche possono inoltre pilotare in automatico la velocità di risalita.



Figura 13: attrezzatura elettronica per la registrazione dei parametri

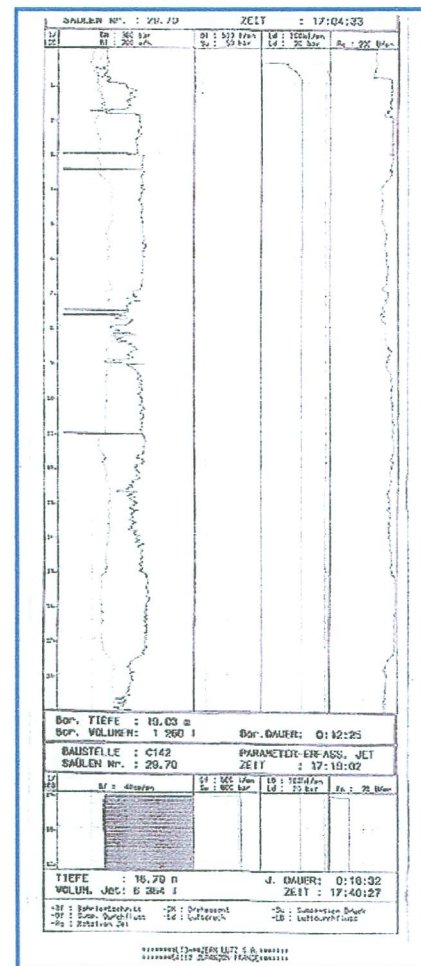


Figura 14: esempio di grafico con i parametri registrati



In produzione vengono verificati periodicamente sulla miscela cementizia:

- la densità mediante la bilancia Baroid
- la viscosità mediante il cono di Marsh
- la resistenza meccanica su provini cilindrici

## **8.4. GEOMETRIA**

Il controllo sistematico della geometria delle colonne si rivela generalmente non praticabile. Tale controllo viene pertanto sostituito dalla registrazione dei parametri di iniezione i quali devono essere uguali a quelli scelti sulla base dei risultati del campo prove, nel quale il controllo geometrico viene effettuato in maniera quanto più possibile precisa. La geometria delle colonne può tuttavia essere verificata tramite carotaggi inclinati che attraversino almeno una colonna in corrispondenza del suo asse. In tal caso le dimensioni della colonna esaminata andranno calcolate sulla base della lunghezza carotata e dell'angolo di inclinazione del foro.

Il Gruppo Trevi ha recentemente sviluppato un sistema per la verifica del diametro ottenuto; il dispositivo meccanico, inserito nella colonna al termine del trattamento, permette di rilevare il raggio della colonna ottenuta.

## **8.5. CAROTAGGI**

I controlli con carotaggi, realizzati dopo un sufficiente tempo di maturazione del trattamento, servono essenzialmente per verificare la continuità del trattamento e per prelevare campioni da sottoporre alle prove di schiacciamento.

## **8.6. PERMEABILITÀ**

Se lo scopo dei trattamenti è la realizzazione di uno schermo impermeabile o di un tampone di fondo vengono generalmente realizzate prove Lugeon in foro o prove di pompaggio nonché prove di permeabilità in laboratorio su provini di terreno trattato prelevati mediante carotaggio.