

Consolidamento dei terreni

Jet grouting, Deep Mixing CSM
Focus sui cantieri in ambito ferroviario



Stefano Ciufegni

29 Aprile 2022

Jet grouting



Consolidamento terreni – jet grouting - Premessa

Come sappiamo il Jet Grouting è una tecnica d'iniezione per il consolidamento del terreno e viene utilizzata per stabilizzare, rinforzare od impermeabilizzare i terreni direttamente in-situ mediante l'iniezione, ad elevatissima velocità, di una miscela legante.

Questa tecnica ha avuto origine ed è stata sviluppata in Giappone alla fine degli anni '60, introdotto in Europa qualche anno più tardi (primi anni '70), la metodologia Jet Grouting si è poi largamente diffusa in tutto il mondo

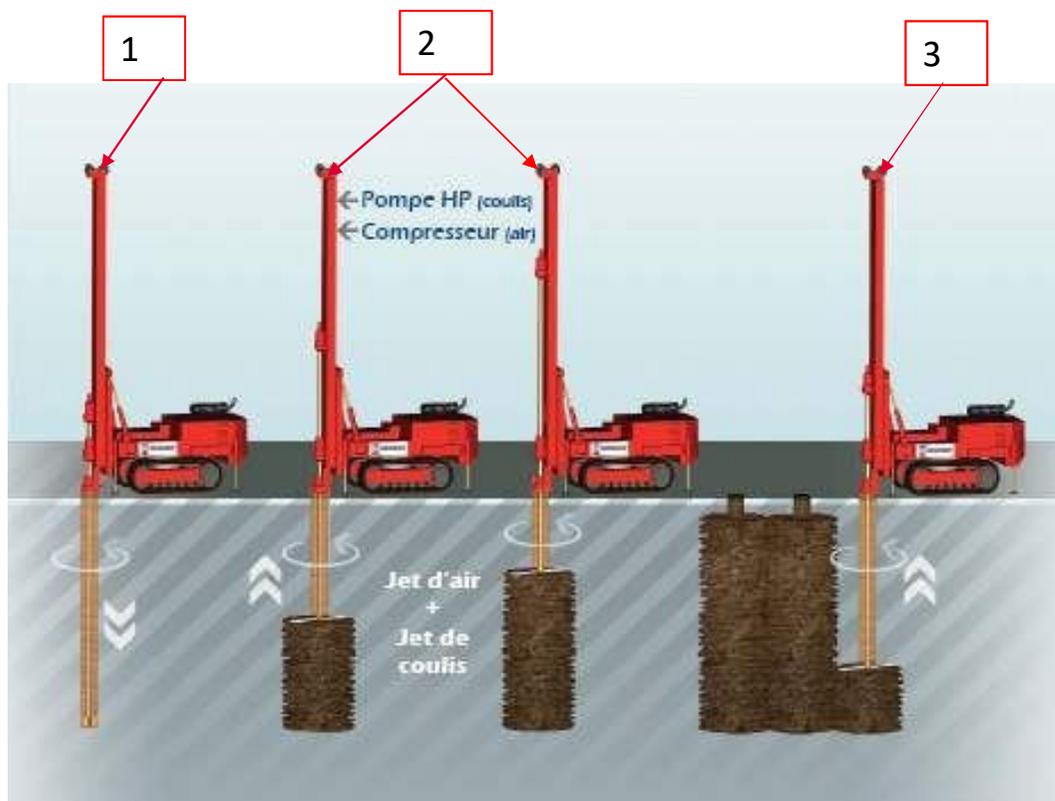
I campi di applicazione del Jet Grouting si estendono praticamente a tutte le tipologie di terre fino ad alcuni tipi di rocce tenere e, come vedremo, e sono i più svariati

La versatilità del Jet Grouting ed il dimensionamento piuttosto ridotto delle attrezzature necessarie alla sua realizzazione, ne fanno apprezzare la scelta, soprattutto per la realizzazione di opere in zone urbane e/o di difficile accesso.

Il jet grouting che facciamo oggi consiste nell'iniettare ad altissima pressione (200 – 500 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.

Consolidamento terreni – jet grouting - Premessa

La tecnica e le fasi del jet grouting possono essere così sintetizzate



1. Perforazione a distruzione di nucleo
2. Trattamento del terreno con iniezione di miscela fluida, iniettata ad alta pressione attraverso uno o più ugelli posti all'estremità di una batteria di aste metalliche
3. Ripetizione della operazione con o senza sovrapposizione delle colonne

Consolidamento terreni – jet grouting – Campi di applicazione

Per la sua versatilità il jet grouting trova applicazione in ampio campo di interventi:

- Consolidamento di fondazioni esistenti
- Realizzazione di opere di fondazione
- Realizzazione di opere di sostegno
- Riduzione di cedimenti per nuove strutture
- Paratie per protezione degli scavi
- Formazione di setti impermeabili sia orizzontali che verticali
- Formazione di tappi fondo per impermeabilizzazione fondo scavo o annullare i fenomeni di sottospinta della falda
- Consolidamenti preliminari nello scavo di gallerie eseguiti sia dall'esterno che dall'interno delle stesse

Consolidamento terreni – jet grouting

Le metodologie per l'esecuzione del jet grouting sono 3:

MONOFLUIDO

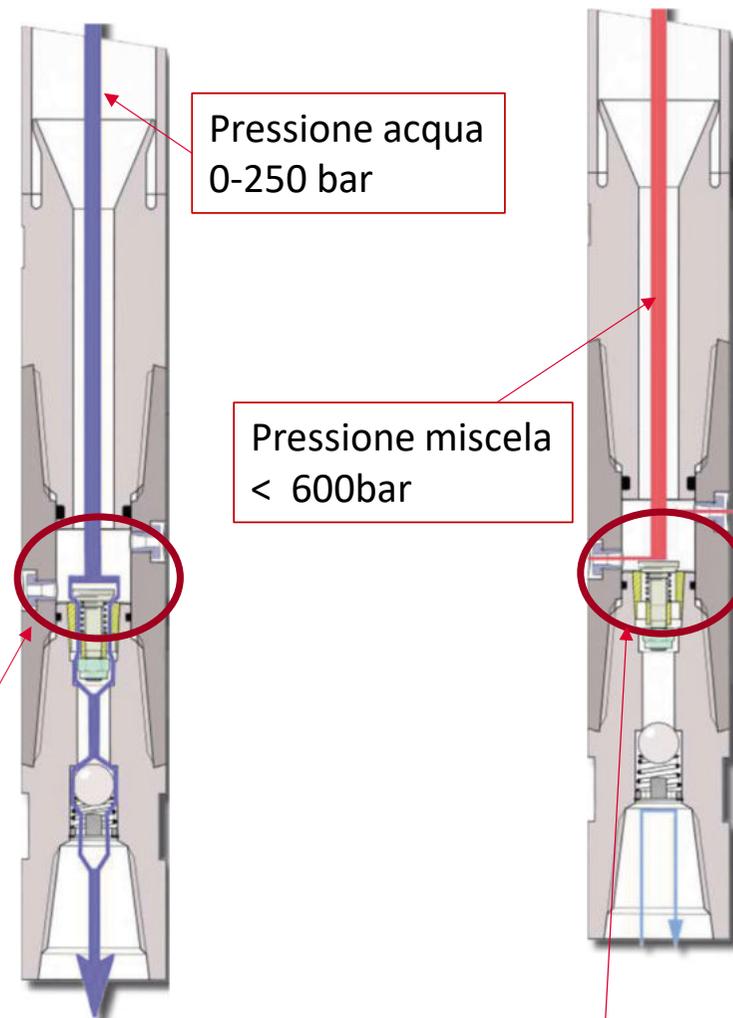
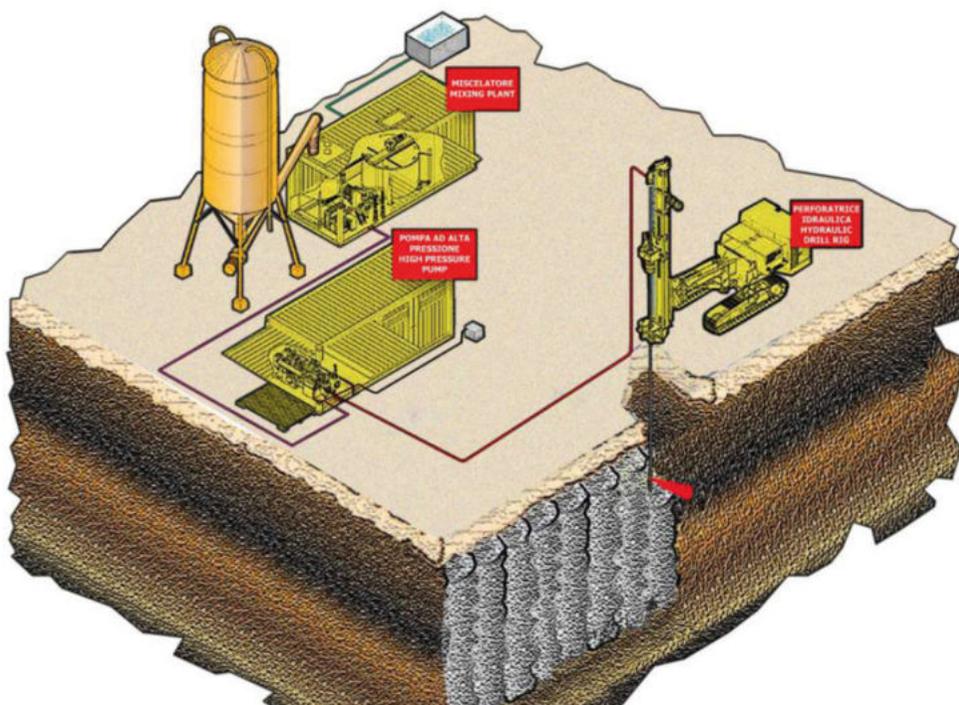
BIFLUIDO

TRIFLUIDO



Consolidamento terreni – jet grouting MONOFLUIDO

In questo sistema la disagregazione e la contemporanea miscelazione del terreno viene effettuata mediante un getto di miscela acqua/cemento. Il monitor di iniezione può essere dotato di uno o più ugelli.

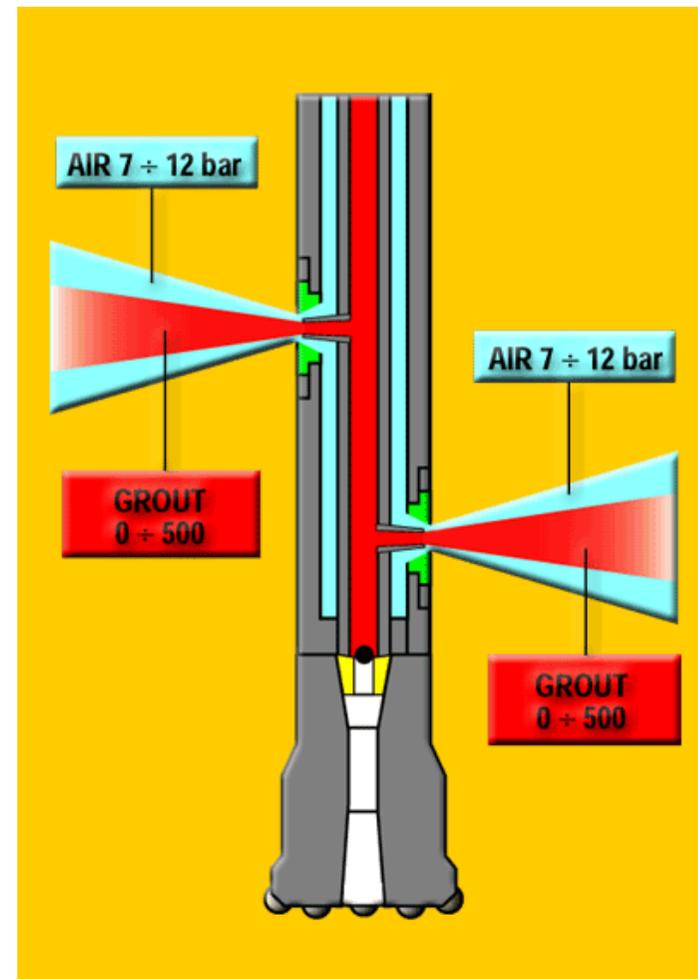
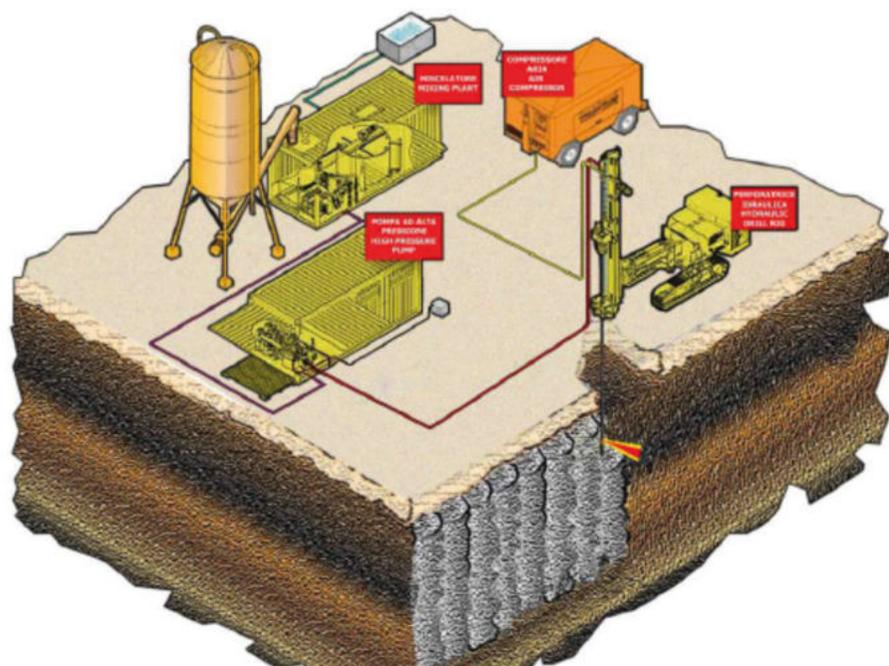


Flussi durante la **perforazione**
La valvola è aperta, l'acqua esce dalla testa di perforazione e permette la risalita del cutting

Flussi durante l'**iniezione**:
L'aumento di pressione (fino a 600 bar) fa chiudere la valvola e la miscela esce dall'ugello/i

Consolidamento terreni – jet grouting BIFLUIDO

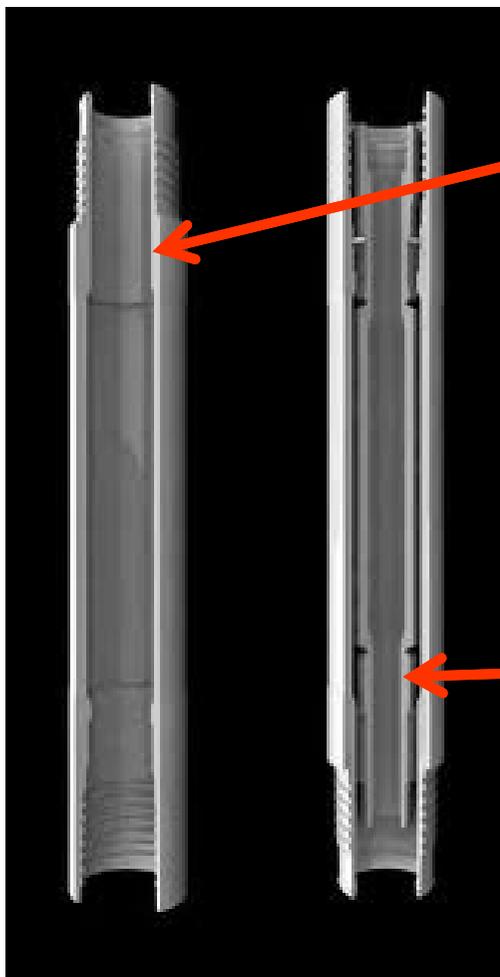
In questo sistema la disagregazione e la contemporanea miscelazione del terreno viene effettuata mediante un getto COMBINATO di miscela acqua/cemento ed aria (disposta anularmente al getto della miscela). Il monitor può essere dotato di uno o più ugelli.



Consolidamento terreni – jet grouting

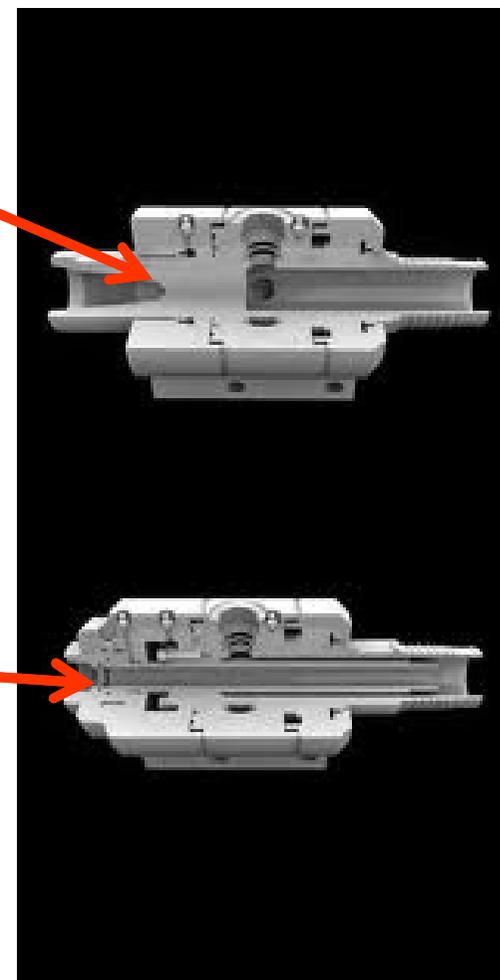


Aste



Monofluido

Monitor di iniezione



Bifluido



Consolidamento terreni – jet grouting bifluido

Valvola di non ritorno



Aste

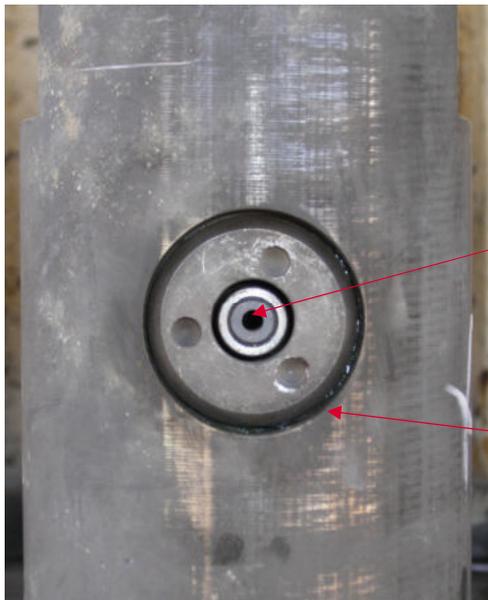


Monitor di iniezione



Consolidamento terreni – jet grouting bifluido

Dettaglio Monitor
iniezione



Ugello miscela

Uscita aria
coassiale

Teste di perforazione



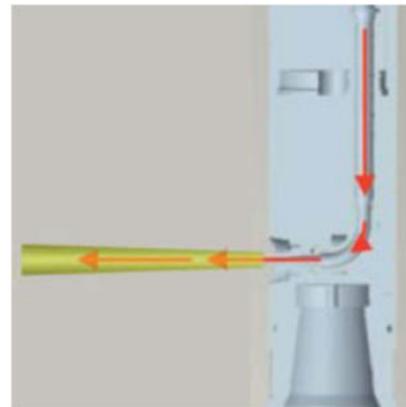
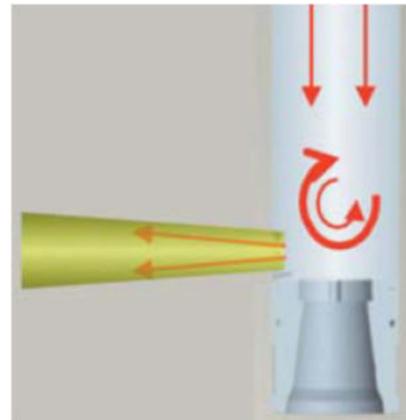
Consolidamento terreni – jet grouting BIFLUIDO - novità

Recentemente è stato sviluppati monitors ad alta efficienza che sono muniti di condotti curvilinei che riducono le perdite di carico che riducono le perdite di carico legate al brusco cambio di direzione della miscela (da assiale nelle aste a radiale attraverso gli ugelli).

Come detto in precedenza nella fase di perforazione la valvola rimane aperta e permette all'acqua di uscire dalla testa di perforazione e con l'aumento di pressione della miscela si chiude e questa viene indirizzata verso gli ugelli con una perdita importante di pressione

Con l'introduzione di condotti curvilinei il getto risulta estremamente coerente e consente di migliorare in maniera importante l'efficienza con aumenti dei diametri delle colonne, almeno in teoria

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

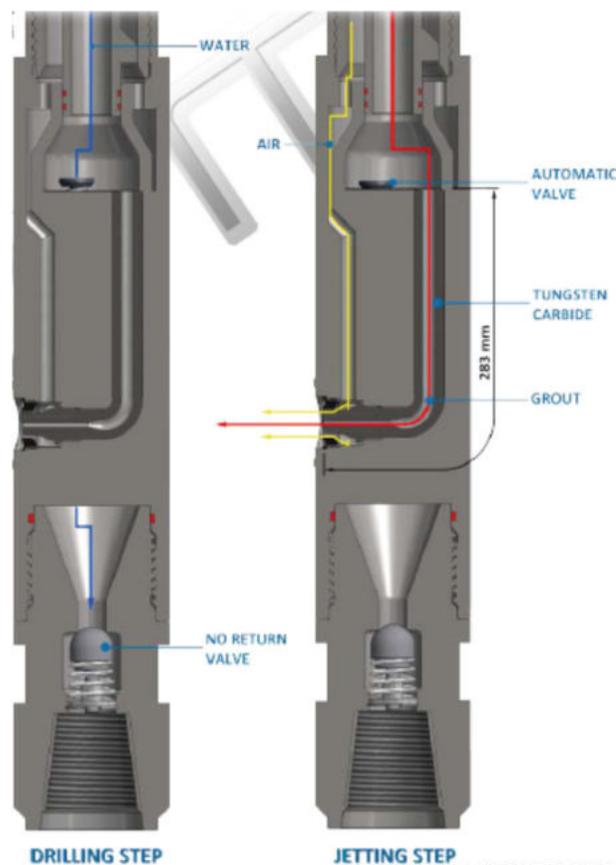


Consolidamento terreni – jet grouting BIFLUIDO - novità

Ma con questo sistema viene a mancare l'afflusso dell'acqua sulla testa di perforazione, per cui lo smaltimento del cutting di perforazione diventa particolarmente complesso, per cui si deve ricorrere ad una perforazione senza monitor, al recupero della colonna di aste per cambiare il monitor.

La ripresa da fondo foro può funzionare se non ci sono stati problemi di chiusura del foro, altrimenti i risultati non sono garantiti

L'evoluzione

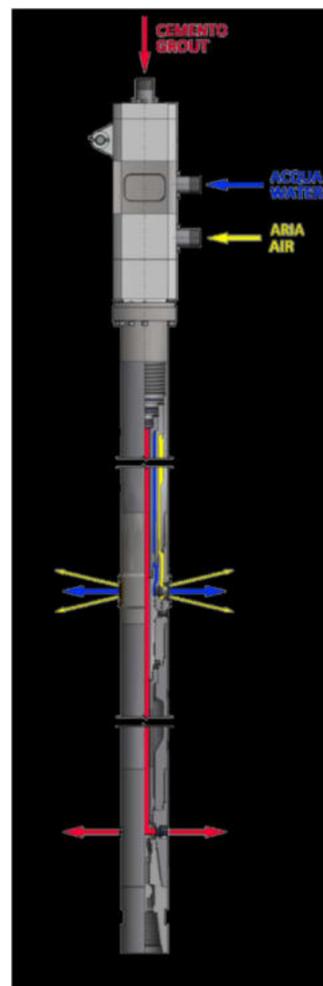
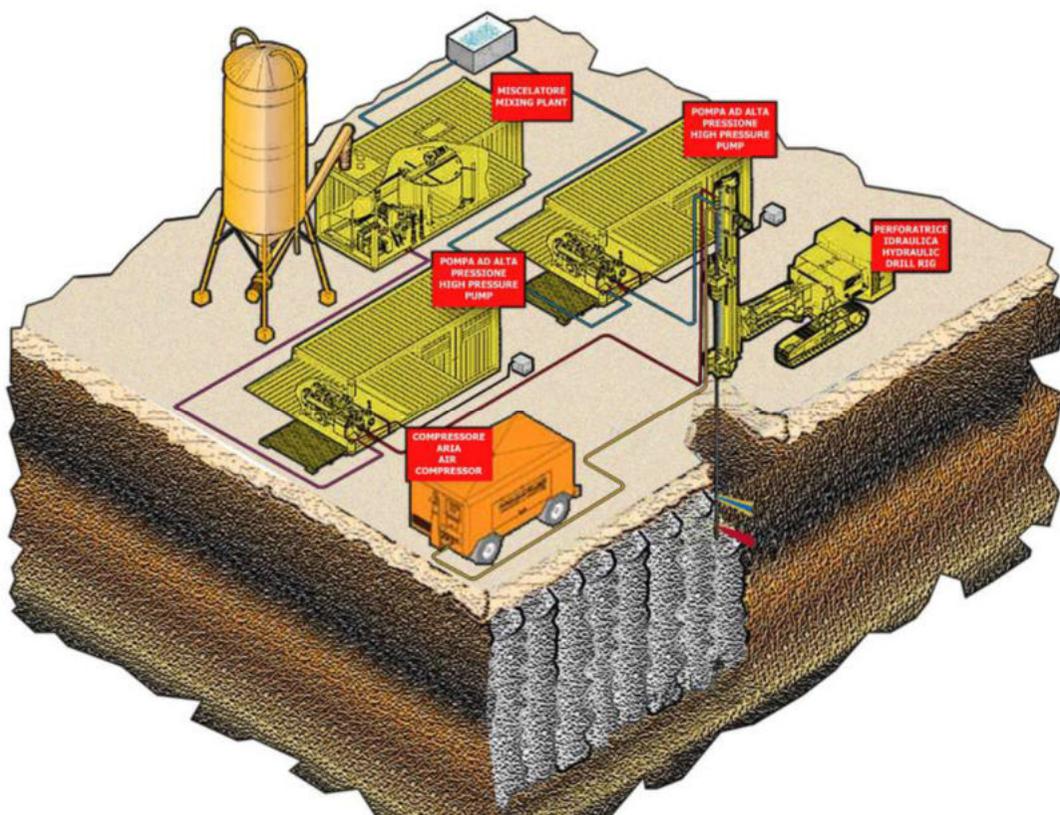


In questo monitor lo speciale disegno del condotto interno dovrebbe mantenere il flusso laminare riducendo le perdite di carico, aumentando l'efficienza del sistema in fase di disgregazione e miscelazione.

Nella fase di perforazione, è possibile usare acqua per lubrificare la testa di perforazione, quando la pressione nel condotto aumenta, la valvola chiude il passaggio dell'acqua alla testa di perforazione ed il flusso di cemento passa solo attraverso gli ugelli

Consolidamento terreni – jet grouting TRIFLUIDO

Nel sistema trifluido l'azione disgregante è prodotta da un getto coassiale di acqua + aria e successiva azione cementante prodotta da getti di miscela acqua/cemento



Con il tri-fluido si utilizzano pressioni alla pompa ed al compressore molto elevate:

- 500-600 bars per l'acqua
- 350-400 bars per la miscela
- 6-20 bars per l'aria

In questo sistema le aste sono costituite di tre elementi coassiali



Consolidamento terreni – jet grouting

Il consolidamento dei terreni con il jet grouting presenta dei grandi **vantaggi** che possono essere riassunti in :

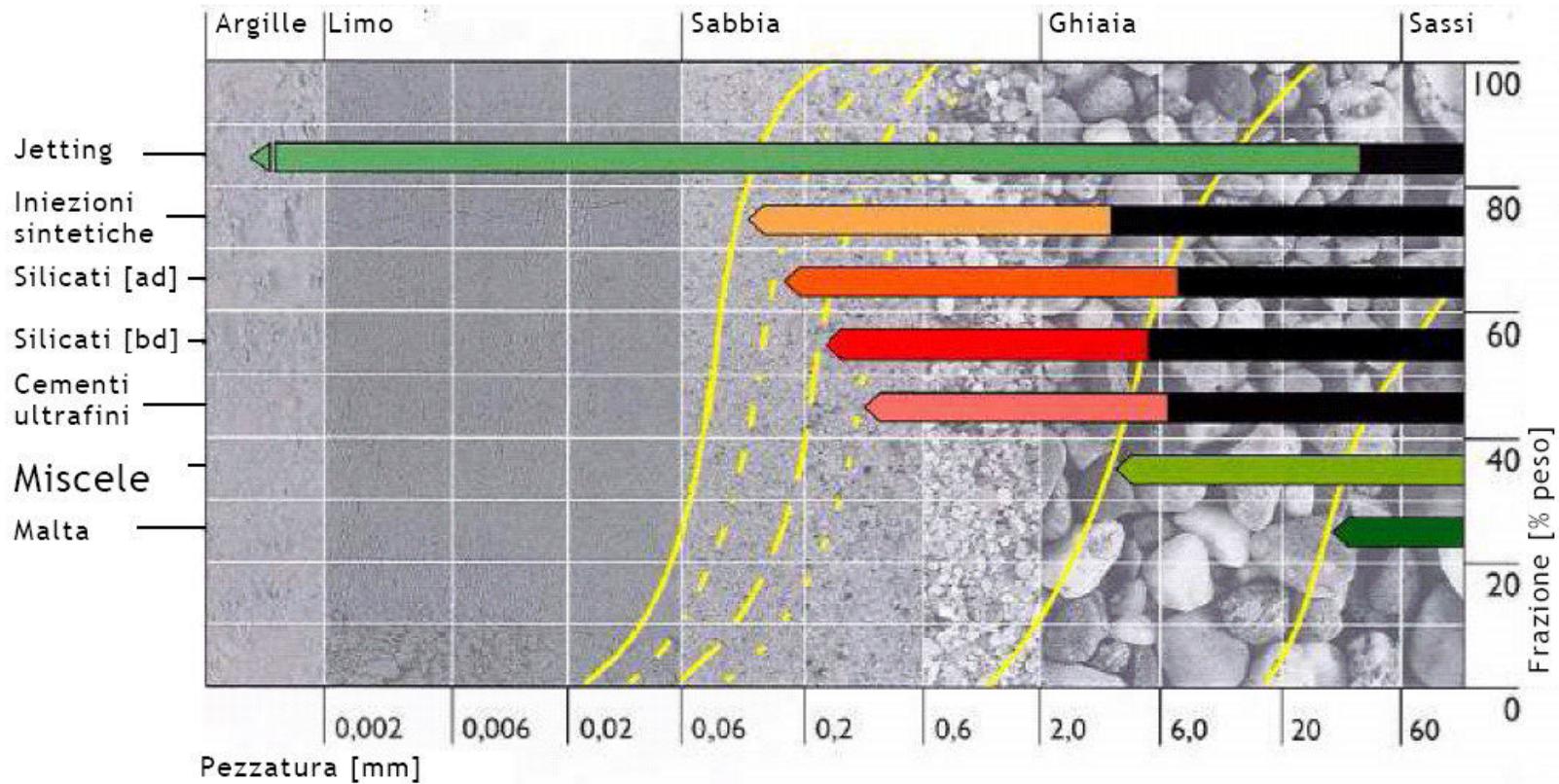
- **Semplicità**: la tecnica è di facile applicazione in qualsiasi tipo di terreno
- **Rapidità**: possibilità di realizzare un elevato numero di colonne in tempi brevi
- **Flessibilità**: possibilità di utilizzarlo in svariati contesti strutturali
- **Economicità**: richiede esigua manodopera e poche materie prime
- **Soluzione** di problemi complessi

Ma presenta anche grandi **svantaggi** dovuti all'incertezza del risultato finale che è legata a:

- **Incerteza sulle geometrie delle colonne realmente ottenute**: variabilità del diametro e della continuità della colonne
- **Incerteza sulle proprietà meccaniche**
- **Variabilità** del risultato in funzione dello scopo prefisso

Consolidamento terreni – jet grouting

Quali terreni sono stabilizzabili con il jet grouting



ad = alta densità
bd = bassa densità

Consolidamento terreni – jet grouting

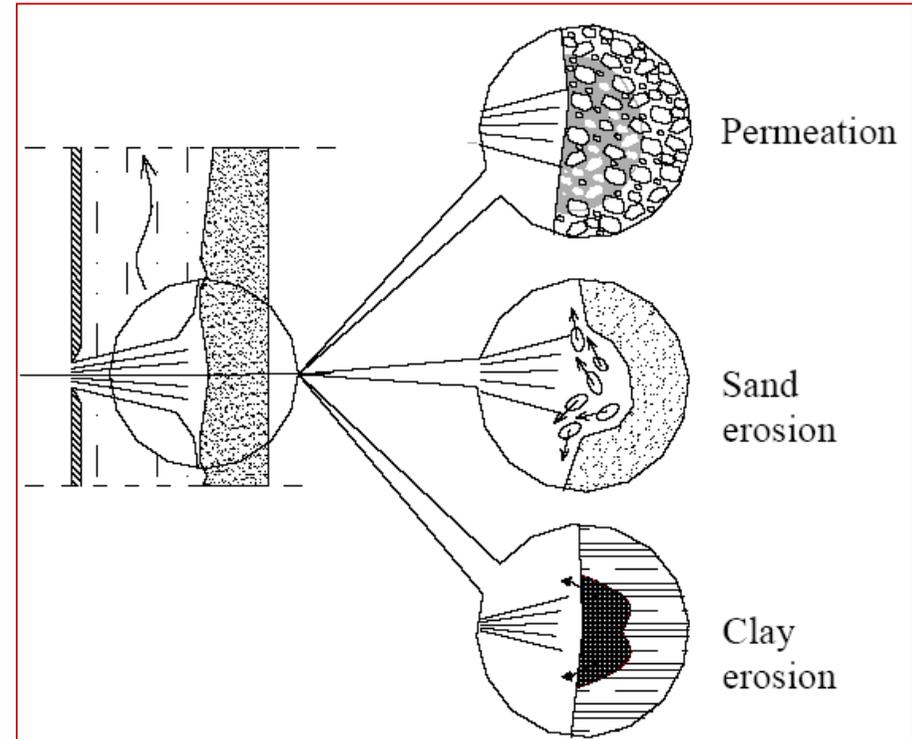
Il jet grouting interagisce con il terreno erodendolo e/o permeandolo in funzione della velocità di impatto, dell'angolo di impatto e dalle caratteristiche del terreno stesso

La conoscenza delle caratteristiche del terreno diventa determinante nella scelta del tipo di jet e dei parametri da utilizzare

Ad esempio in un terreno prevalentemente ghiaioso, con alta permeabilità e dove domina la permeazione il metodo più idoneo è certamente il jet **MONOFLUIDO**

Di contro in presenza di un terreno coesivo, dove l'azione della miscela è erodere e sostituire il terreno in sito richiede una notevole energia è opportuno preferire il jet **BIFLUIDO**.

Infatti il getto d'aria, concentrico a quello della miscela ha l'effetto di migliorare l'efficienza di quest'ultimo



Consolidamento terreni – jet grouting

I parametri controllabili che possono determinare la qualità esecutiva degli elementi jetting sono:

- La velocità di rotazione delle aste d'iniezione
- La velocità di recupero delle stesse ovvero, dal momento che la risalita non è continua ma avviene per steps, il tempo di stazionamento
- La pressione d'iniezione
- La sezione degli ugelli d'iniezione

Questi parametri definiscono l'energia che viene apportata al terreno e della quale esistono diverse formulazioni.

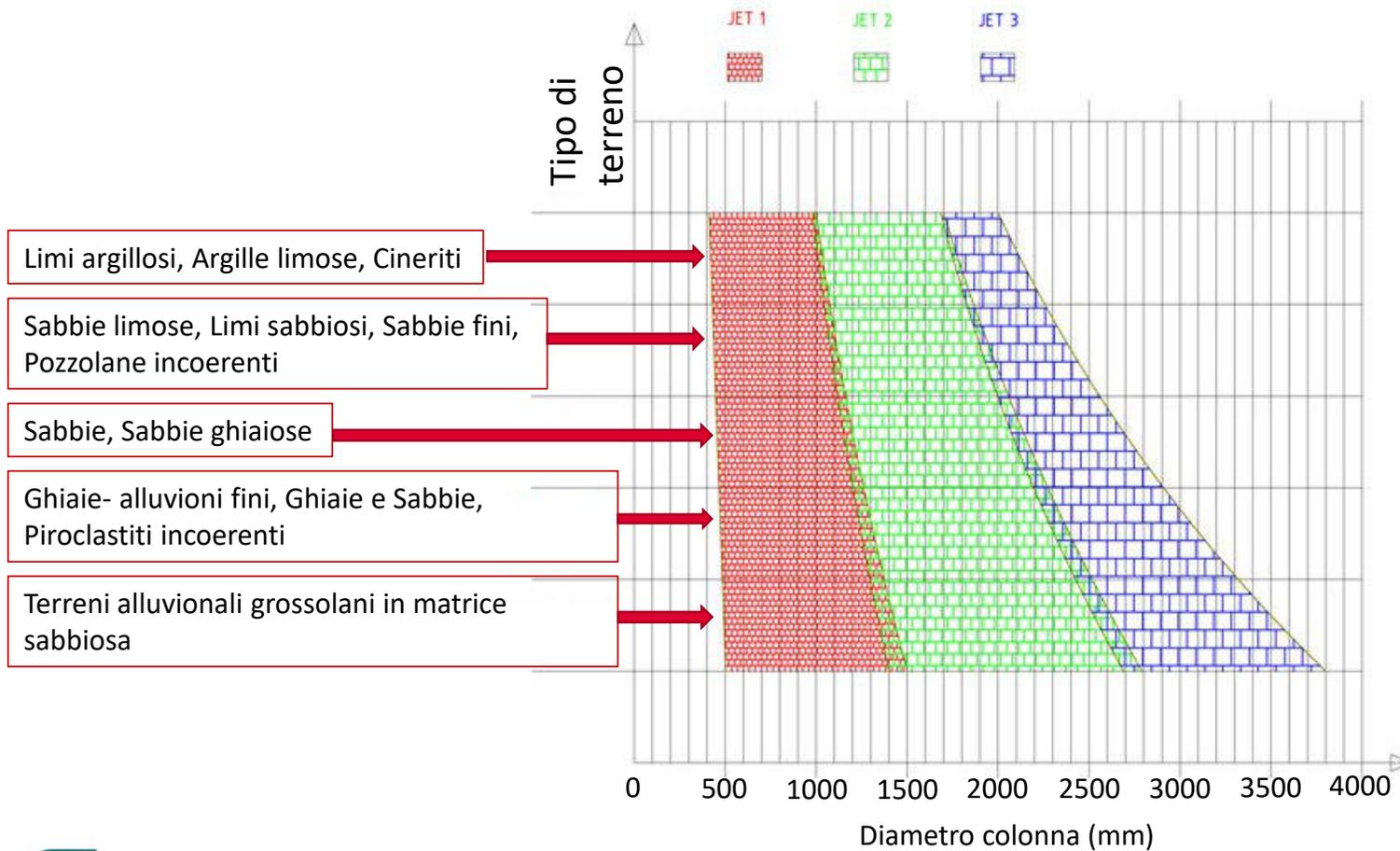
Inoltre il getto di fluido che esce da un ugello incontra il terreno nella sua quasi integrità a pochi centimetri da esso. Di conseguenza la sua azione dinamica si esaurisce assai rapidamente in funzione della distanza dal punto di uscita in funzione della resistenza meccanica del terreno e della pressione idrostatiche vi si forma

Pertanto, stabilire il diametro delle colonne jetting esclusivamente in base ad approcci teorici è alquanto difficile, visto il gran numero di variabili che devono essere tenute in considerazione.

Quale metodo soggetto al minor numero di variabili solo per il jetting monofluido è possibile approssimare il diametro delle colonne in modo teorico.

Consolidamento terreni – jet grouting

Diametro teorico della colonna in funzione del tipo di terreno



Chiaramente i diametri effettivamente ottenibili per ciascun tipo di terreno dipendono **SEMPRE** dai parametri di iniezione (portata, pressione, tempo di stazionamento, ecc.)

Consolidamento terreni – jet grouting – Parametri di trattamento

I parametri di trattamento possono essere distinti in tre categorie:

- parametri relativi alla geometria del sistema meccanico
- parametri relativi al movimento delle aste
- parametri relativi alle miscele di iniezione

Tabella 2.1 - Parametri di trattamento.

Parametri	Definizione	Simbolo	Unità di misura	
			S.I.	pratica
geometrici	Numero degli ugelli	M	-	-
	Diametro degli ugelli	d	m	mm
movimento delle aste	Passo di sollevamento	Δs	m	cm
	Intervallo di tempo per passo di sollevamento	Δt	s	s
	Velocità di rotazione	ω	rad/s	giri/min
miscele di iniezione	Rapporto ponderale acqua/cemento	A/C	-	-
	Pressione dei fluidi ^(*)	P_m, P_w, P_a	MPa	bar
	Portata dei fluidi ^(*)	Q_m, Q_w, Q_a	m ³ /s	l/min

Nota:
^(*) I pedici si riferiscono rispettivamente alla miscela (m), all'acqua (w) e all'aria (a).

Da *Raccomandazioni AGI*

Consolidamento terreni – jet grouting – Parametri di trattamento

Dai parametri elencati in Tab. 2.1 discendono alcune grandezze derivate, comunemente utilizzate per la descrizione del trattamento

Tabella 2.2 – Parametri di trattamento derivati.

Parametro derivato	Relazione con i parametri della Tab. 2.1	Unità di misura
velocità media di risalita delle aste	$v_r = \frac{\Delta s}{\Delta t}$	[m/s]
numero di giri per passo di sollevamento	$n_g = \frac{\omega \cdot \Delta t}{2\pi}$	
volume di miscela iniettato per metro di trattamento	$V_m = \frac{Q_m}{v_r}$	[m ³ /m]
massa di cemento iniettata per metro di trattamento*	$W_c = \frac{\rho_m \cdot V_m}{1 + A/C}$	[kg/m]
<p><i>Nota:</i> * ρ_m è la densità della miscela.</p>		

Da *Raccomandazioni AGI*

Consolidamento terreni – jet grouting – Parametri di trattamento

Nella successiva tabella sono indicati, orientativamente i valori tipici dei parametri di trattamento più significativi, ricavati dalla pratica consolidata

Da *Raccomandazioni AGI*

Tabella 2.3 – Valori tipici dei parametri di trattamento.

Parametri di Trattamento	Simbolo	Unità di Misura	Sistema		
			monofluido	bifluido	trifluido
Passo di sollevamento	Δs	mm	40 ÷ 50	40 ÷ 80	40 ÷ 100
Velocità media di risalita	v_r	mm/s	4 ÷ 10	1÷8	0.5÷5
Velocità di rotazione	ω	giri/min	5 ÷ 40	3÷30	1÷40
Diametro ugelli	d	mm	2 ÷ 8.0	2 ÷ 8	2 ÷ 8
Numero ugelli	M	-	1 ÷ 2	1 ÷ 2	1 ÷ 2
Pressione miscela cementizia*	p_m	MPa	30 ÷ 55	20 ÷ 40	2 ÷ 10
Pressione aria*	p_a	MPa	NA	0.5 ÷ 2.0	0.5 ÷ 2.0
Pressione acqua*	p_w	MPa	NA	NA	20÷55
Portata miscela cementizia	Q_m	l/s	2 ÷ 10	2 ÷ 10	2.0 ÷ 5
Portata aria	Q_a	l/s	NA	200 ÷ 300	200 ÷ 300
Portata acqua	Q_w	l/s	NA	NA	0.5 ÷ 2.5
Rapporto ponderale acqua/cemento	A/C	-	0.60 ÷ 1.25	0.60 ÷ 1.25	0.40 ÷ 1.0
<i>Nota:</i>					
<i>* Valori misurati alla perforatrice</i>					
<i>Legenda:</i>					
NA = non applicabile					

Consolidamento terreni – jet grouting – parametri terreno consolidato

Nella tabella sono riportati a titolo di esempio i valori di resistenza e modulo elastico di terreni trattati con jetting grouting

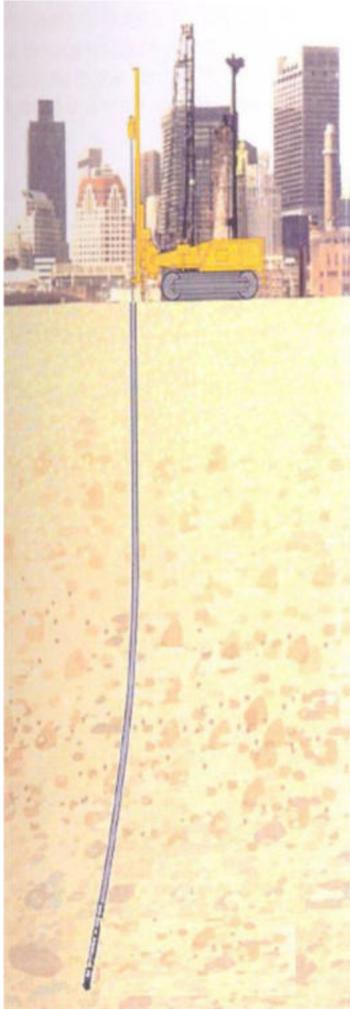
Terreno prevalente	Resistenza a 28 giorni [MPa]	Modulo elastico E [MPa]
Ghiaia e sabbia pulita	7 - 15	400 - 1'000
Sabbie limose e limi sabbiosi	4 - 8	400 - 8.000
Limi e argille mediamente compatte	1 - 3	200 - 500
Argille plastiche soffici o morbide	0.5 - 1.5	100 - 300
Argille compatte	3 - 5	200 - 500

Consolidamento terreni – jet grouting – Maturazione della miscela

Come nel caso della calce la maturazione va oltre i 28 gg, da alcune prove eseguite che i valori sia della resistenza a compressione continuano ad aumentare come può essere osservato nella tabella sottostante

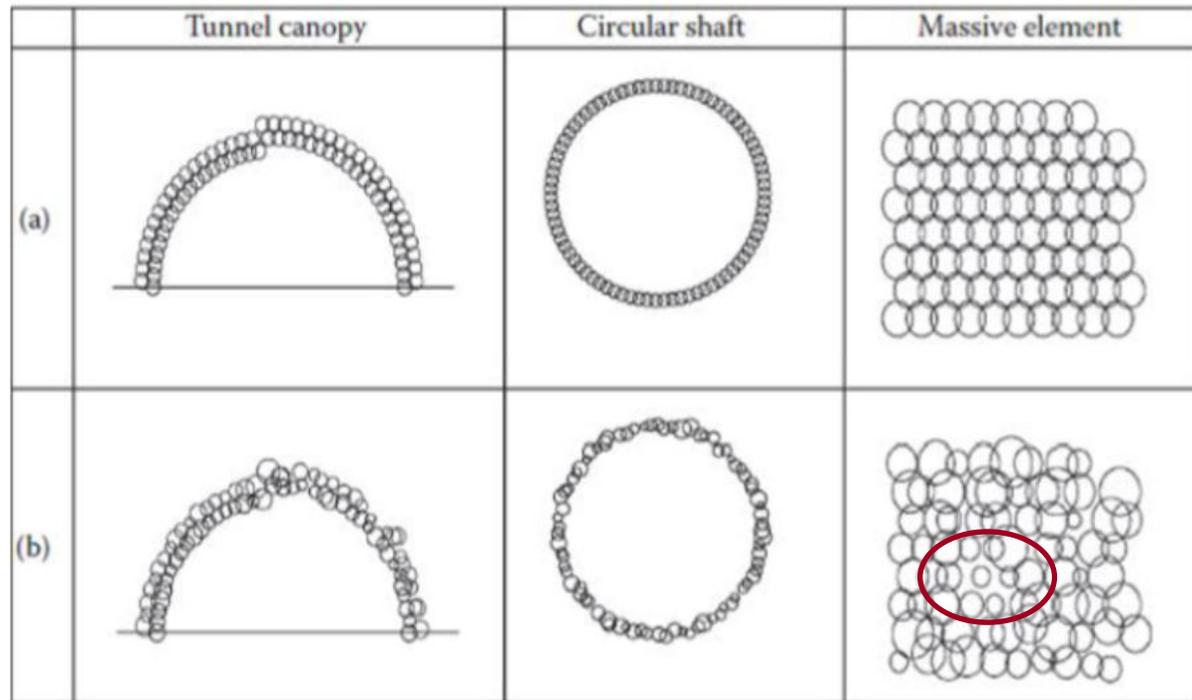
	Argilla		Ghiaia	
	40 giorni	114 giorni	40 giorni	114 giorni
Resistenza a compressione σ_c (kPa)	1656	1723	4360	5612
Modulo elastico al 50% di rottura E_{50} (Mpa)	165	460	-	12210

Consolidamento terreni – jet grouting – Deviazione delle colonne



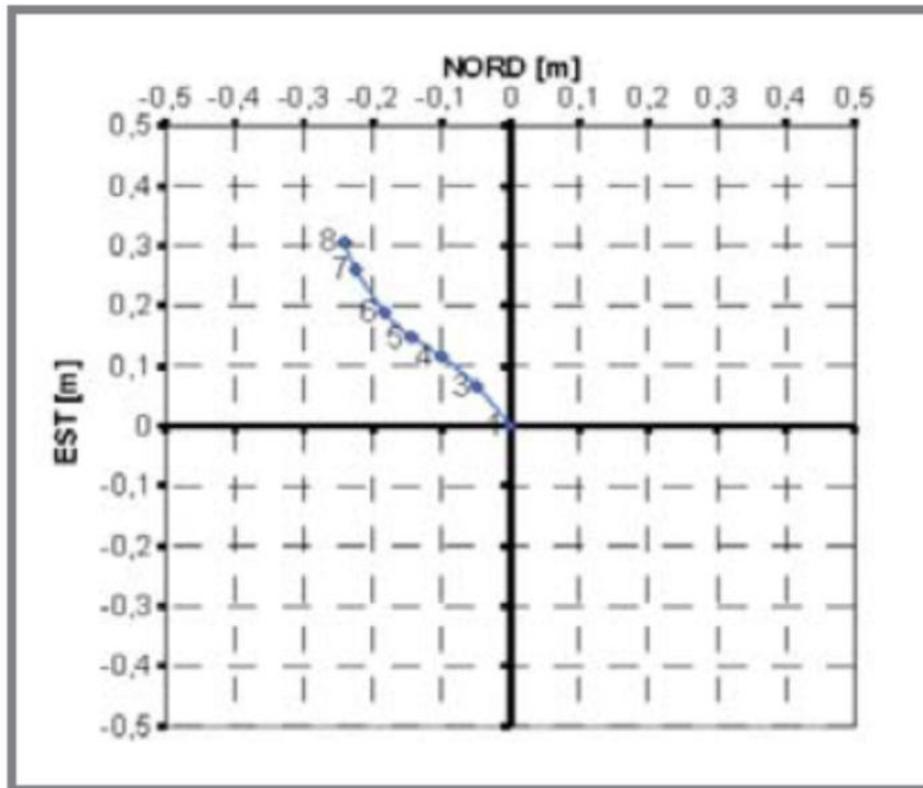
Uno dei problemi che può insorgere, soprattutto quando è necessaria la continuità delle colonne di terreno stabilizzato, come ad esempio per l'impermeabilizzazione, è quello della deviazione dalla posizione prevista

Gli effetti sono schematizzati nella figura sottostante:



Consolidamento terreni – jet grouting – Deviazione delle colonne

Sono stati sviluppati strumenti che installati sulla testa delle aste che permettono di verificare la posizione reale della colonna



Questa informazione non è però disponibile durante il consolidamento ma solo alla fine quando è stato completato il recupero delle aste, pertanto è una conoscenza importante ma il sistema non permette la correzione in tempo reale

E' un'informazione importante durante l'esecuzione del campo prova per verificare la deviazione massima che si può verificare durante la perforazione per decidere le azioni da intraprendere

Qualora si registrino deviazioni importanti occorre rivedere la penetrazione tra colonne

Inoltre è bene avere la certezza esatta della posizione della macchina e la verticalità del must di perforazione (e di conseguenza delle aste)

Consolidamento terreni – jet grouting – Lo spurgo

Un parametro da tenere sotto controllo è lo **SPURGO**

Un normale terreno non saturo può avere una percentuale di vuoti che oscilla secondo la granulometria media intorno al 20-30% del proprio volume e nel caso di terreni saturi, questi vuoti sono occupati dall'acqua.

Con la fase di jettizzazione il getto disgrega il terreno e introduce forzatamente una quantità di fluido che sommato al volume di terreno da esso interessato eccede sempre, ad eccezione di terreni grossolani e con scarsità di parti fini, il volume specifico della colonna finale ottenuta

Questa eccedenza (appunto lo *spurgo*) deve **OBBLIGATORIAMENTE** fuoriuscire dalla sommità del foro

Nei terreni coesivi, dove non si ha permeazione ma di fatto una sostituzione del terreno in sito con la miscela iniettata, l'eccedenza dovrebbe essere circa pari o maggiore del volume del fluido iniettato

Il volume dello spurgo diminuisce, fino a divenire minimo (o addirittura nullo) per i materiali grossolani privi di fini dove il processo dominante è la permeazione

Un arresto del suo deflusso provoca la trasformazione dell'azione meccanica del getto in un apporto di fluido a pressione elevata con possibili conseguenze dannose per l'ambiente circostante

ALTRIMENTI 

Consolidamento terreni – jet grouting – Lo spurgo



Informazione ad uso interno - Internal use information

Consolidamento terreni – jet grouting – Lo spurgo



Consolidamento terreni – jet grouting – Lo spurgo



Consolidamento terreni – jet grouting – Lo spurgo

Le foto mostrano il riempimento del camino di spurgo dove non ci sono stati problemi della stabilità del foro lo spurgo è stato regolare

Il diametro della testa di perforazione era di 139 mm, si può osservare solo una piccola permeazione nell'intorno del foro



Deep Mixing



Consolidamento terreni – Deep Mixing Method

Il metodo di miscelazione profonda (DMM: Deep Mixing Method), come è conosciuto oggi, è una tecnica di trattamento del suolo finalizzata a migliorarne le caratteristiche, miscelando lo stesso insieme ad un legante e/o ad altri materiali che vengono aggiunti come fanghi od asciutti.

Tipicamente uno o più alberi cavi rotanti, connessi ad uno speciale utensile di taglio, vengono assemblati verticalmente sul braccio principale del carro cingolato ed introdotti nel terreno per mezzo di teste rotanti guidate idraulicamente od elettricamente.

L'albero sopra l'utensile può essere ulteriormente equipaggiato con elementi di eliche discontinui o con pale mescolatrici.

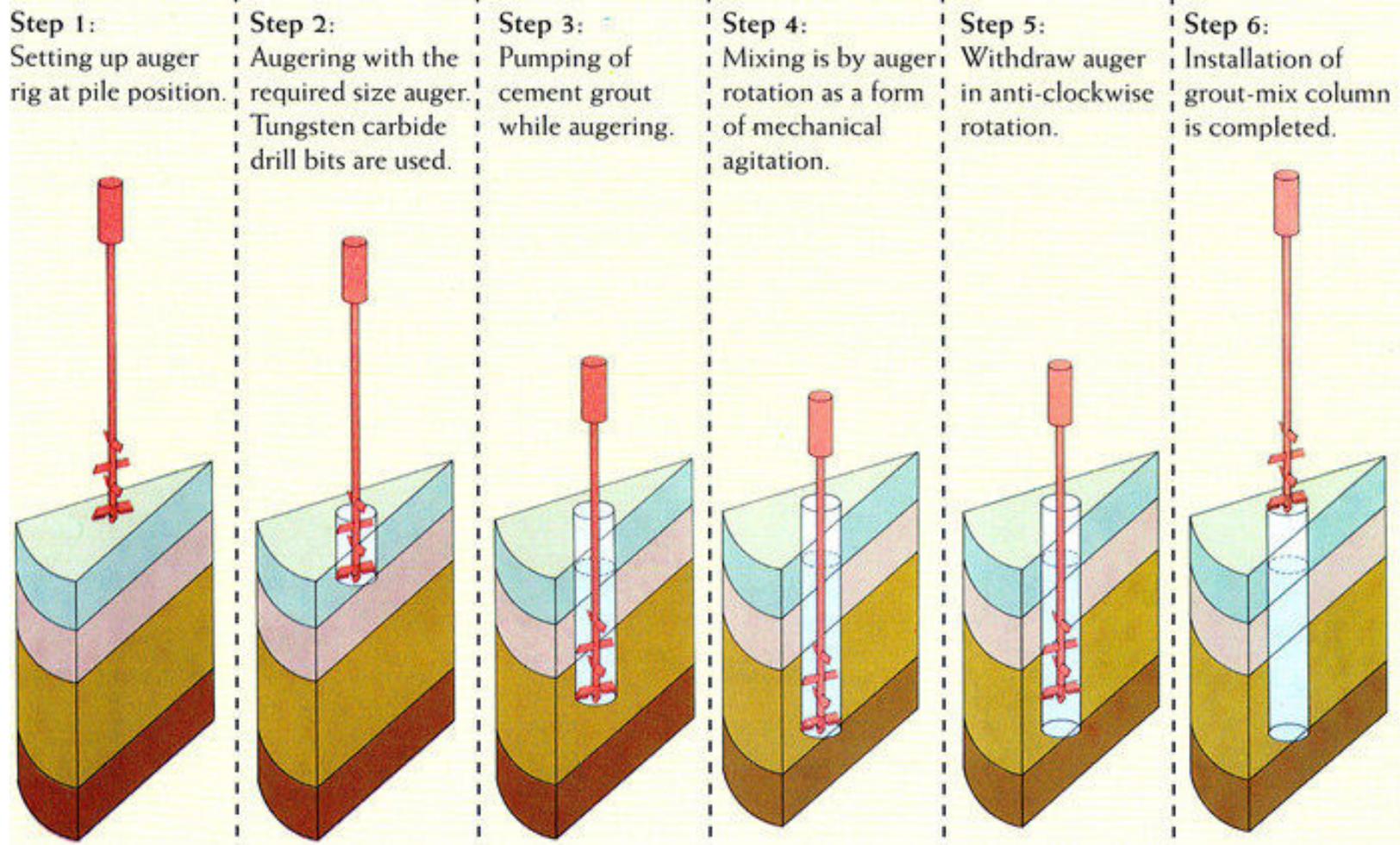
Il legante viene iniettato attraverso l'albero cavo per mezzo di ugelli di scarico localizzati vicino all'utensile, dove viene mescolato con il terreno formando quindi colonne di materiale trattato.

Il diametro di ogni colonna può essere compreso tra 0,6 e 1,5 m e può estendersi sino a 40 m di profondità.

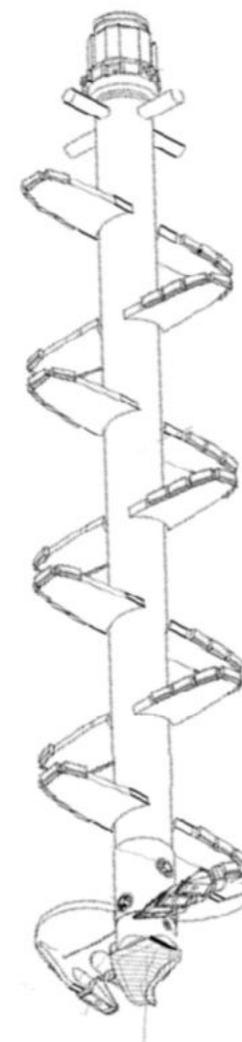
Le colonne possono essere realizzate singolarmente, affiancate o secanti in modo da realizzare:

- Trattamento di grossi quantitativi di terreno.
- Riduzione del fenomeno della liquefazione del terreno o cedimenti
- Diaframmi di ritenuta idraulica
- Muri di sostegno per scavi

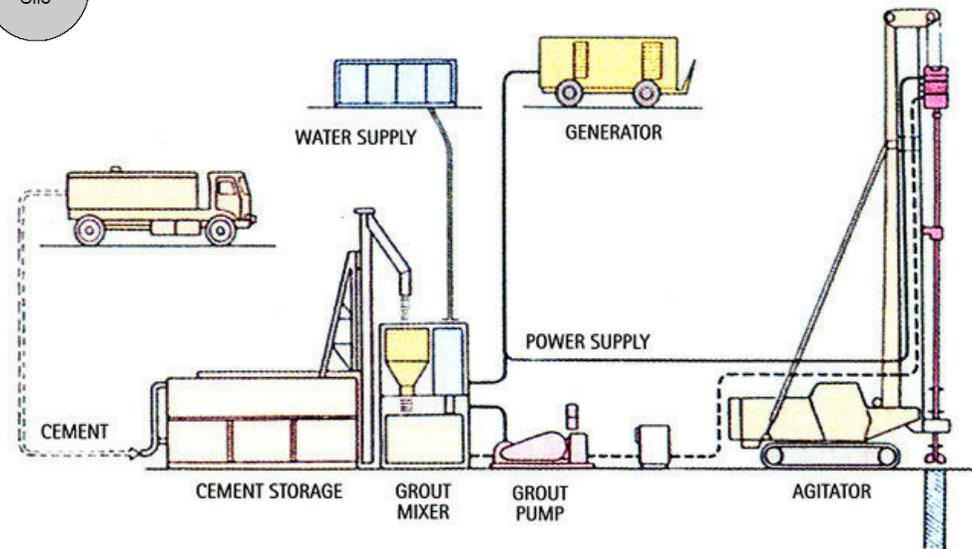
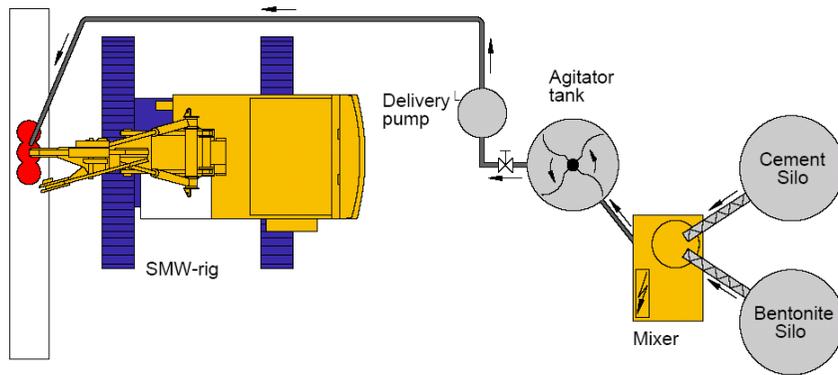
Consolidamento terreni – Deep Mixing Method



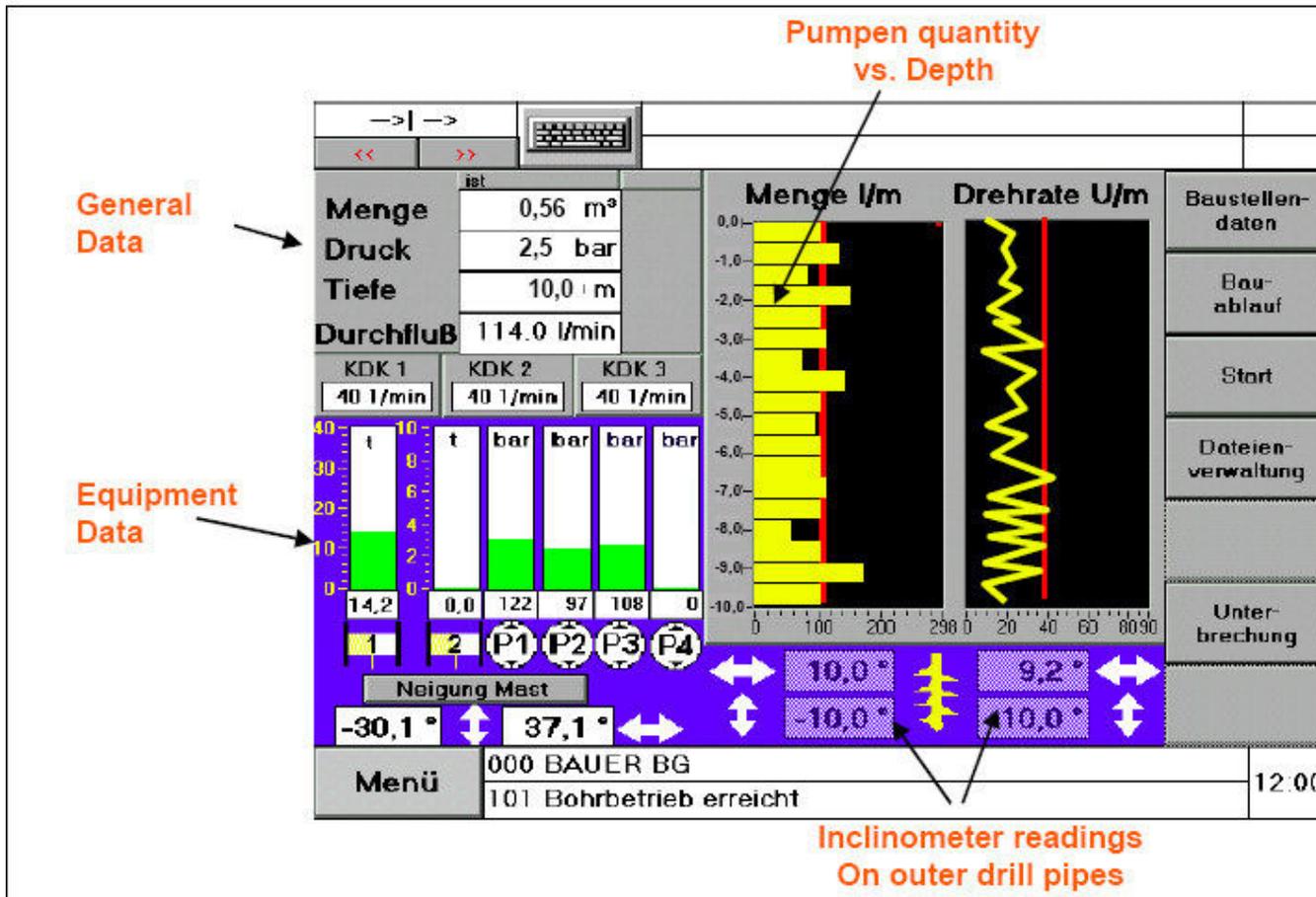
Consolidamento terreni – Deep Mixing Method



Consolidamento terreni – Deep Mixing Method- Layout di cantiere



Consolidamento terreni – Deep Mixing Method – il pannello di controllo



A differenza di altri metodi l'operatore può controllare dalla macchina tutti i parametri e intervenire per correggere eventuali problemi



CSM



Informazione ad uso interno - Internal use information

Consolidamento terreni – Cutting soil mixin - CSM

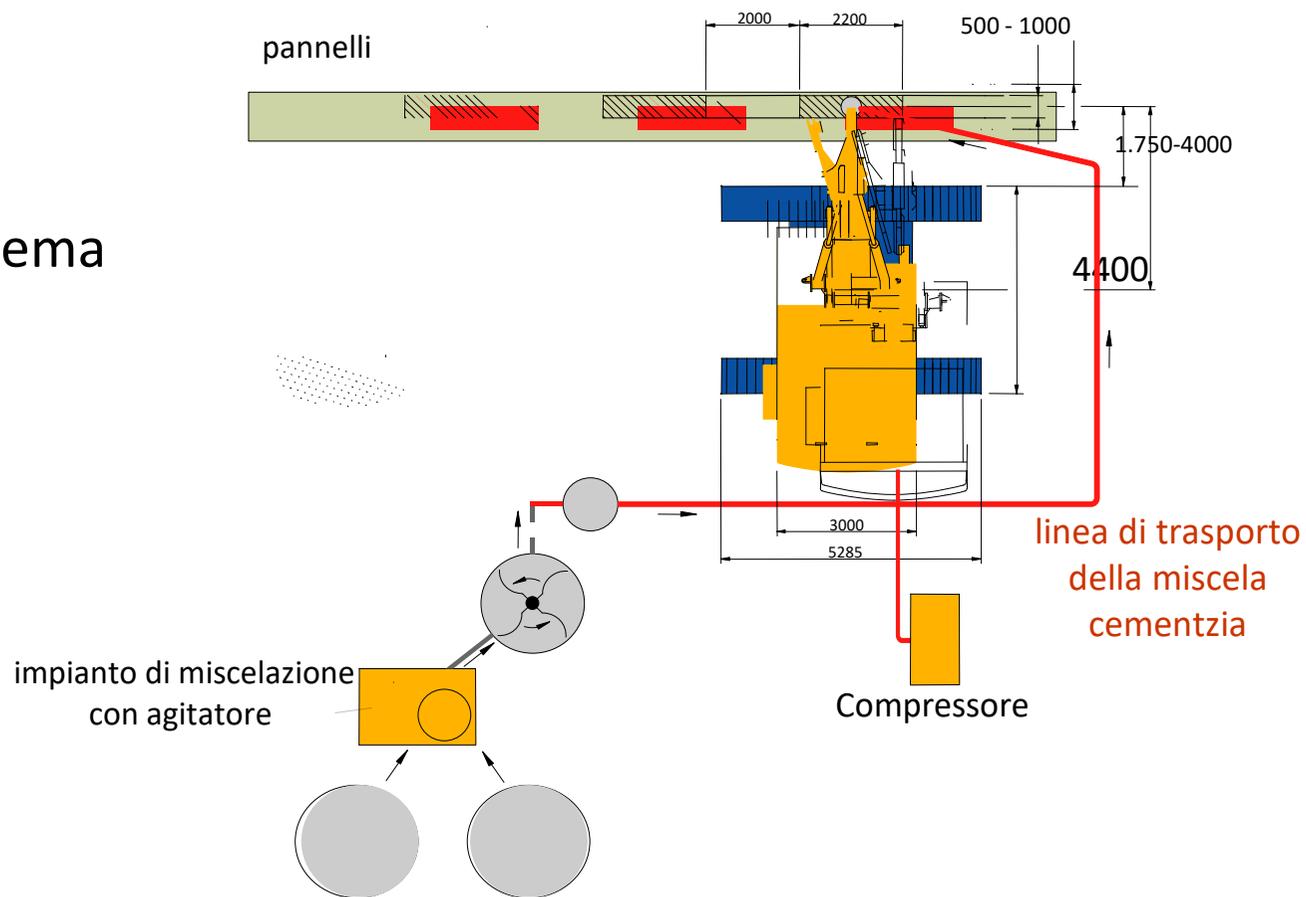
Il CSM (Cutting Soil Mixing) è una tecnologia recente (2003) che nasce come una evoluzione della tecnica realizzativa dei diaframmi con idrofresa e unisce questa tecnica alla miscelazione in situ del terreno con una sospensione acqua/cemento permettendo quindi la costruzione di diaframmi con terreno consolidato in situ.



Consolidamento terreni - Cutting soil mixing - CSM

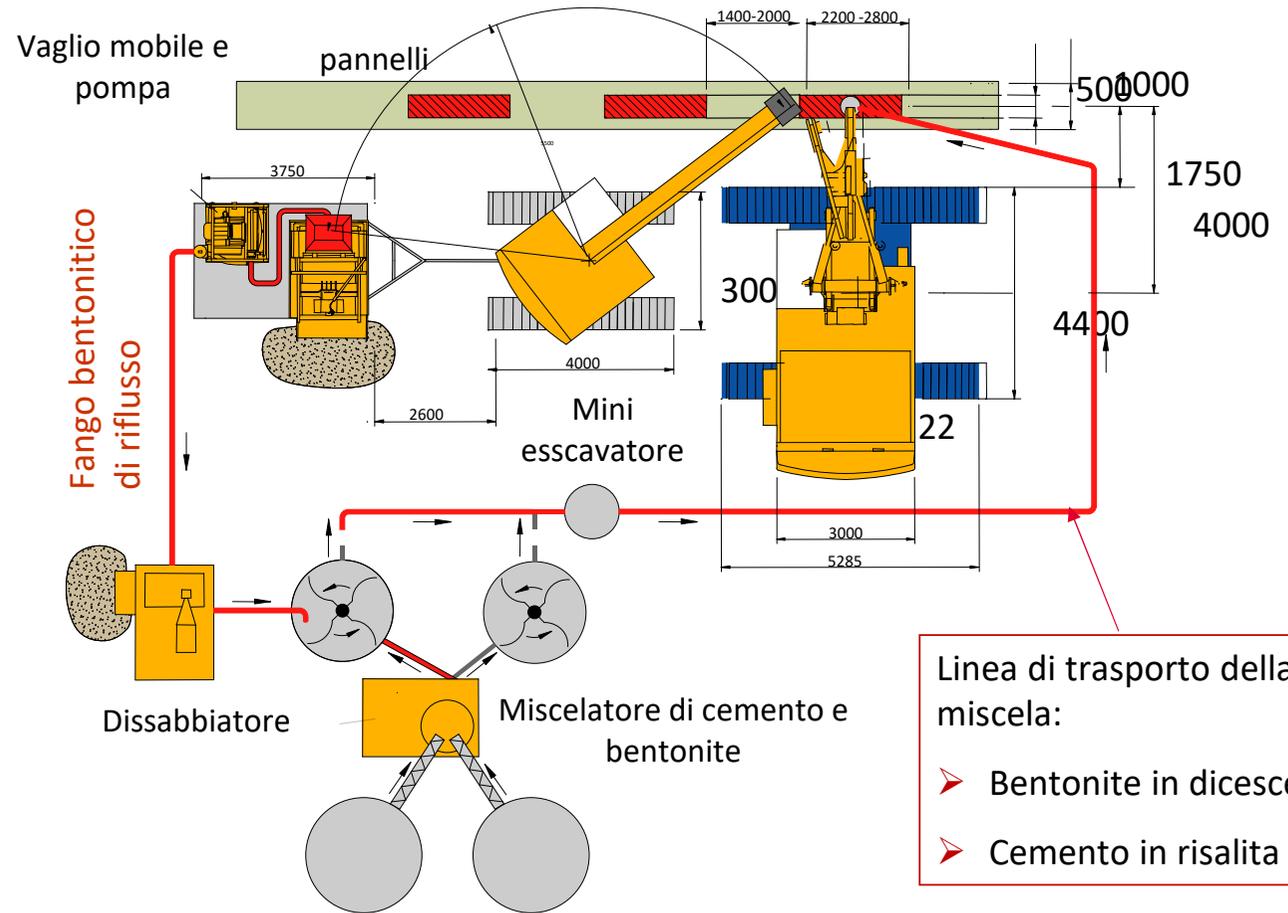


Schema operativo - sistema monofase



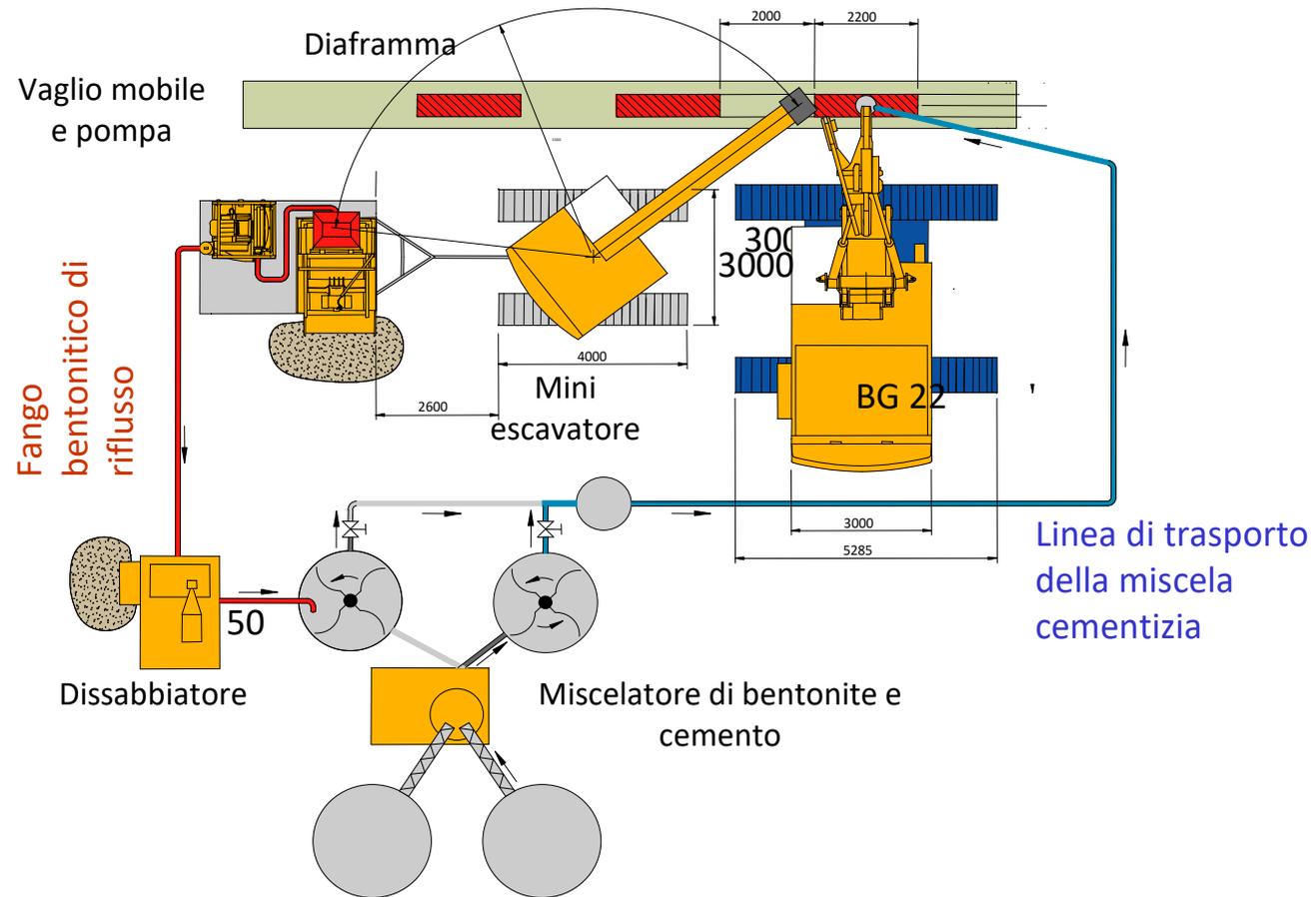
Consolidamento terreni – Cutting soil mixin - CSM

Schema operativo – sistema bifase discesa



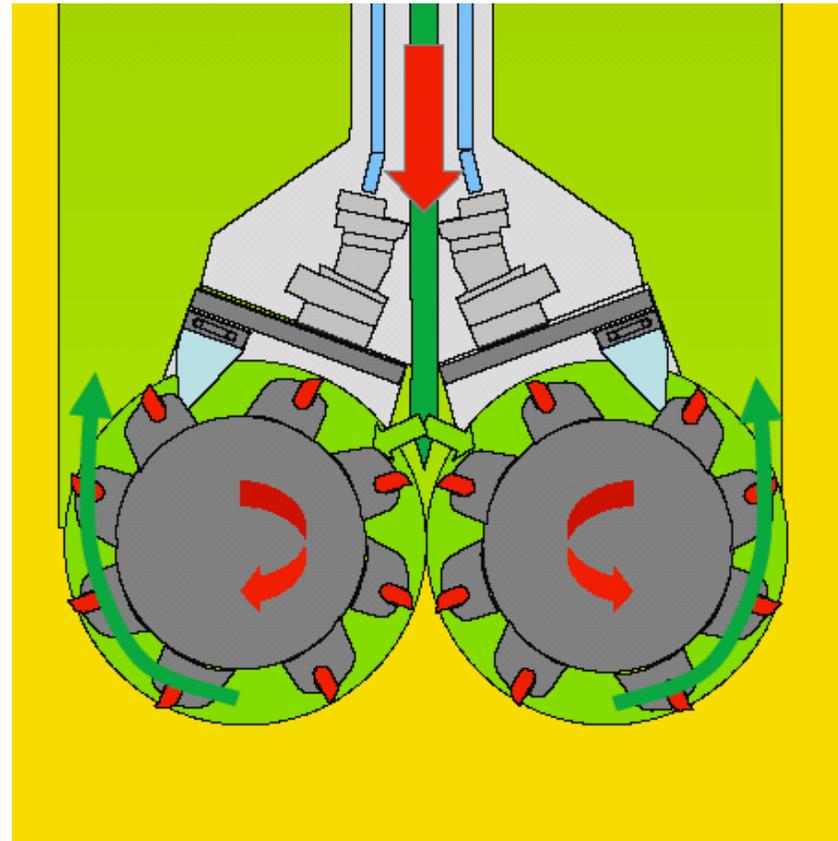
Consolidamento terreni – Cutting soil mixin - CSM

Schema operativo – sistema bifase in risalita



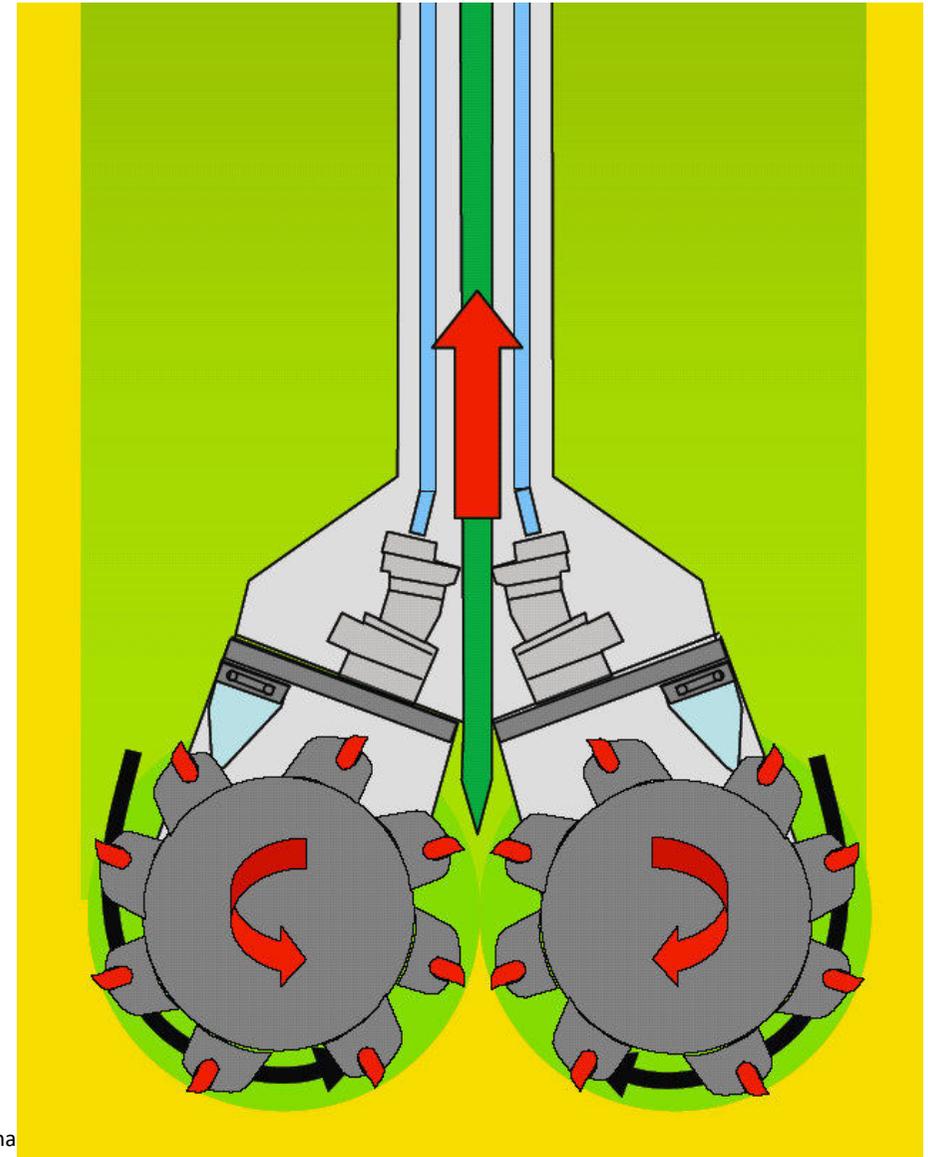
Consolidamento terreni – Cutting soil mixin - CSM

Durante la procedura di discesa delle teste fresanti, il terreno viene frantumato e disgregato; in questa fase un agente fluidificante è iniettato nell'area compresa tra le teste stesse

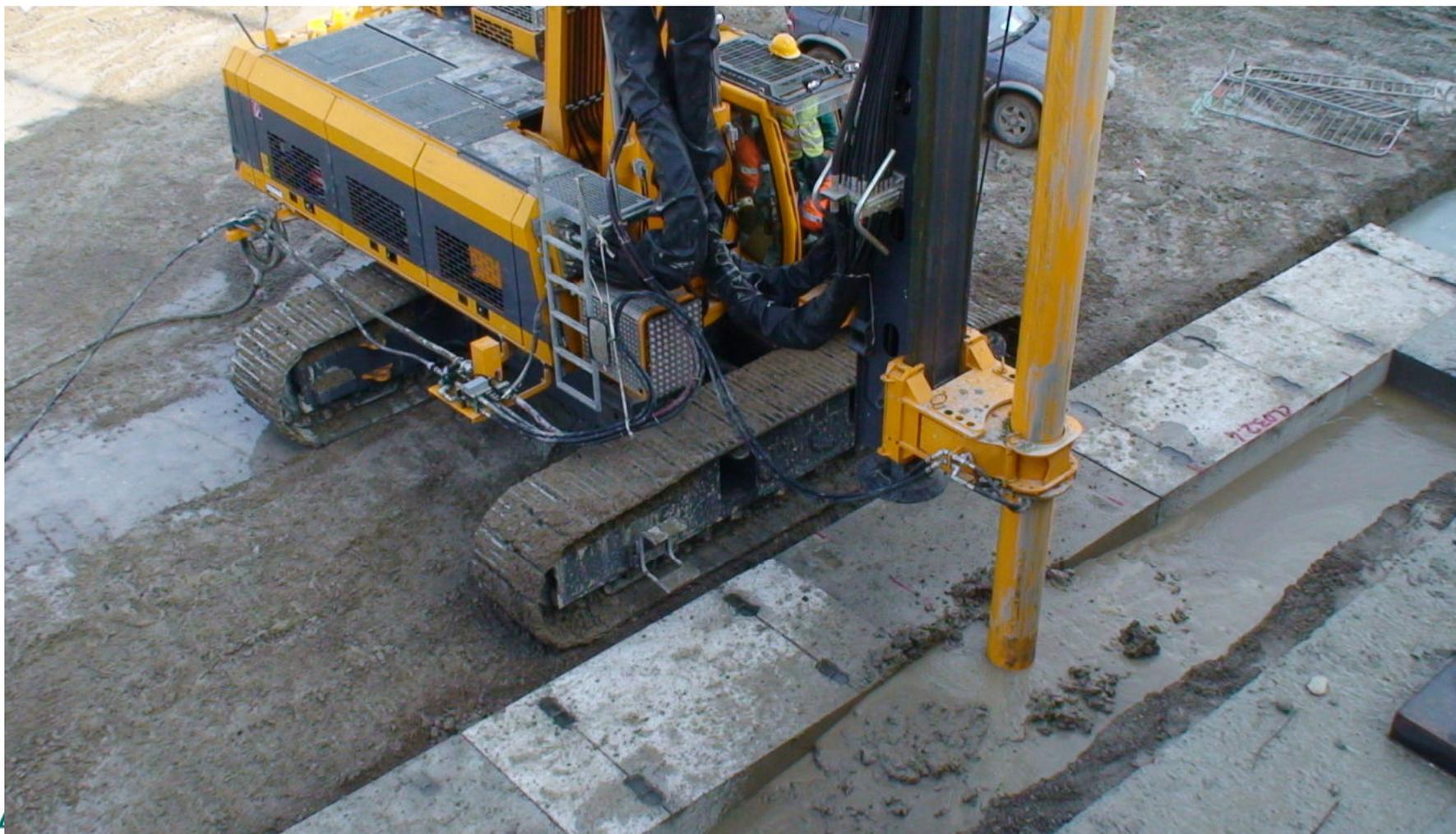


Consolidamento terreni – Cutting soil mixin - CSM

Nella fase di estrazione le teste fresanti ruotano in maniera tale da mescolare il legante, costituito da una miscela acqua cemento con il terreno per formare un pannello rettangolare



Consolidamento terreni – Cutting soil mixin - CSM

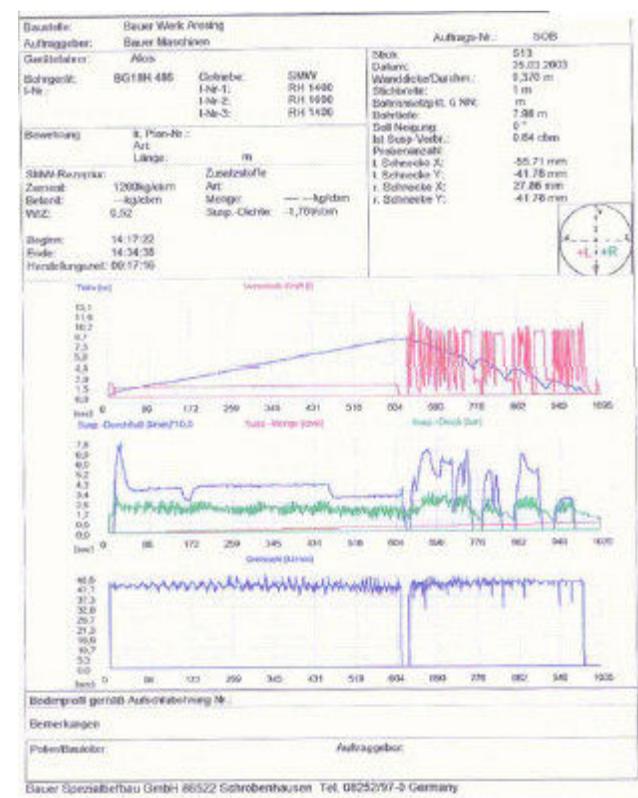
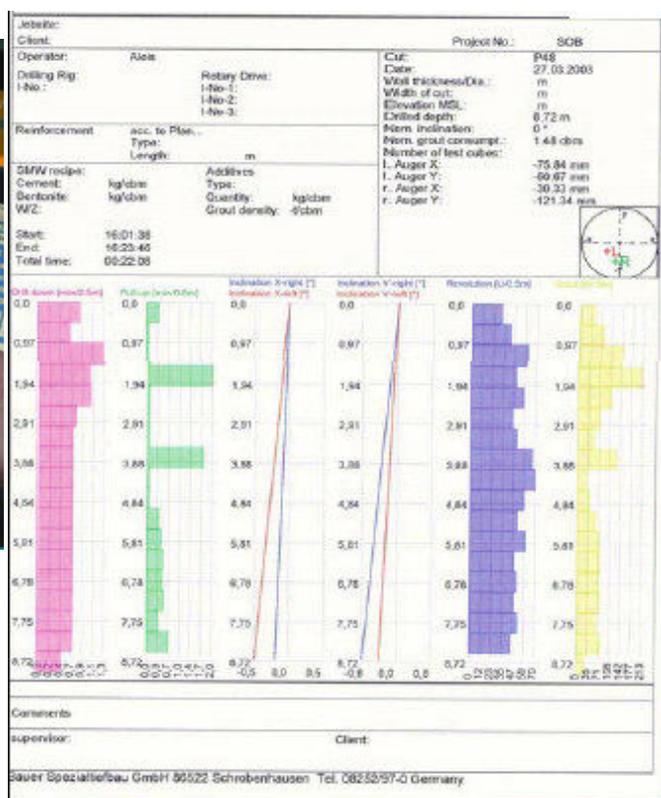


informazione ad uso interno - internal use information

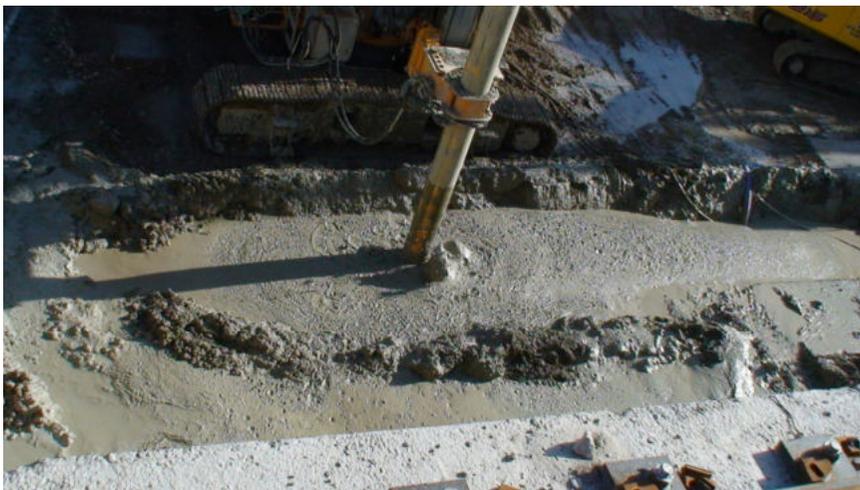
Consolidamento terreni – Cutting soil mixin - CSM



Consolidamento terreni – Cutting soil mixin - CSM



Consolidamento terreni – Cutting soil mixin - CSM



CAMPI PROVA E CONTROLLI



Capitolato

La sezione di riferimento per queste attività è la 10

Sono descritte in dettaglio tutte le modalità con cui, laddove sono previsti, devono essere sviluppati i campi prova, le attrezzature necessarie, le caratteristiche dei materiali da utilizzare, nonché i controlli da eseguirsi durante la produzione

 RFI RETE FERROVIARIA ITALIANA GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	CAPITOLATO GENERALE TECNICO DI APPALTO DELLE OPERE CIVILI PARTE II - SEZIONE 10 OPERE DI MIGLIORAMENTO RINFORZO E STABILIZZAZIONE	
CAPITOLATO - PARTE II - SEZIONE 10	Codifica: <u>RFI DTC SI CS SP IFS 008 D</u>	FOGLIO 1 di 122

CAPITOLATO GENERALE TECNICO DI APPALTO DELLE OPERE CIVILI	
PARTE II - SEZIONE 10 OPERE DI MIGLIORAMENTO RINFORZO E STABILIZZAZIONE	
10.1	SCOPO E CAMPO DI APPLICAZIONE
10.2	DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO
10.3	DEFINIZIONI
10.4	ABBREVIAZIONI
10.5	ANCORAGGI
10.6	TRATTAMENTI COLONNARI
10.7	INIEZIONI
10.8	DRENI
10.9	MICROPALI E INFILAGGI
10.10	TOLLERANZE

Consolidamento terreni – Controlli – Premessa

Per quanto concerne i controlli di interventi di consolidamento è opportuno suddividerli in 2 tipologie:

➤ Controlli Standard

Sono controlli di routine che valgono per tutte le tecniche e tutti gli interventi e riguardano le attrezzature, la miscela nonché i parametri esecutivi, le caratteristiche fisiche del terreno trattato:

- Taratura delle bilance, dei contatori e dei manometri, ecc.
- Densità e viscosità della miscela
- Controllo dei tabulati e delle registrazioni dei parametri di iniezione, ecc.
- Prelievo campioni di terreno trattato per mezzo di sondaggi
- Prove di laboratorio

➤ Controlli Specifici in funzione del tipo di intervento e della tecnica esecutiva

Sono controlli specifici, che devono essere progettati, e che devono garantire la funzionalità dell'intervento con informazioni non ottenibili con i controlli standard (es. resistenza a compressione, modulo elastico, ecc.).

Consolidamento terreni – Controlli standard: Le attrezzature

Prima dell'inizio delle lavorazioni dovrà essere verificato che tutte le attrezzature siano idonee ad eseguire le lavorazioni con le stesse metodologie risultate dal campo prova ed approvate dalla DL

Sarà controllato ad esempio:

- che tutte le attrezzature siano efficienti
- che tutti gli eventuali manometri, bilance e contatori siano riconoscibili con il proprio numero di serie e scadenza dei certificati di taratura. E' bene ricordare che:
 - ✓ Le bilance devono essere tutte le volte che sono installate
 - ✓ Per gli altri strumenti (manometri, trasduttori di pressione, ecc.) le tarature dovrebbero essere inferiori a mesi
- che le modalità operative (automatiche o manuali) siano conformi alle prescrizioni
- presenza e funzionamento dei sistemi di registrazione dichiarati e/o prescritti
- analisi certificati sulle caratteristiche dei materiali utilizzati
- controllo delle miscele:
 - ✓ viscosità
 - ✓ densità

Consolidamento terreni – Controlli sulle miscele

Viscosità (UNI EN 445:2007 “Grout for prestressing tendons - Test methods”)

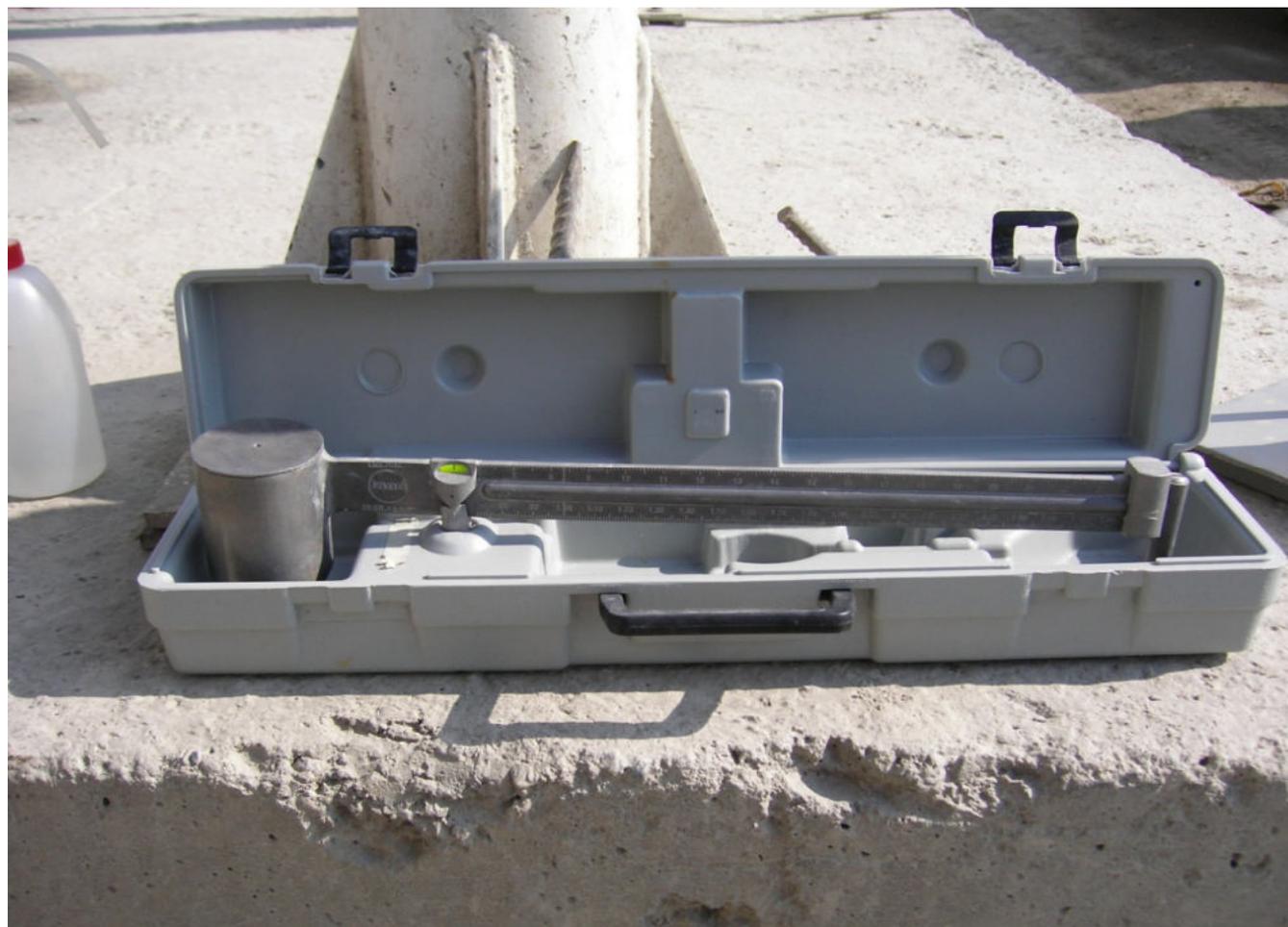
La prova si esegue con il cono di Marsh misurando il tempo complessivo di deflusso di 2 litri di miscela da una bocca di uscita di 13 mm.



Consolidamento terreni – Controlli sulle miscele

Peso di volume

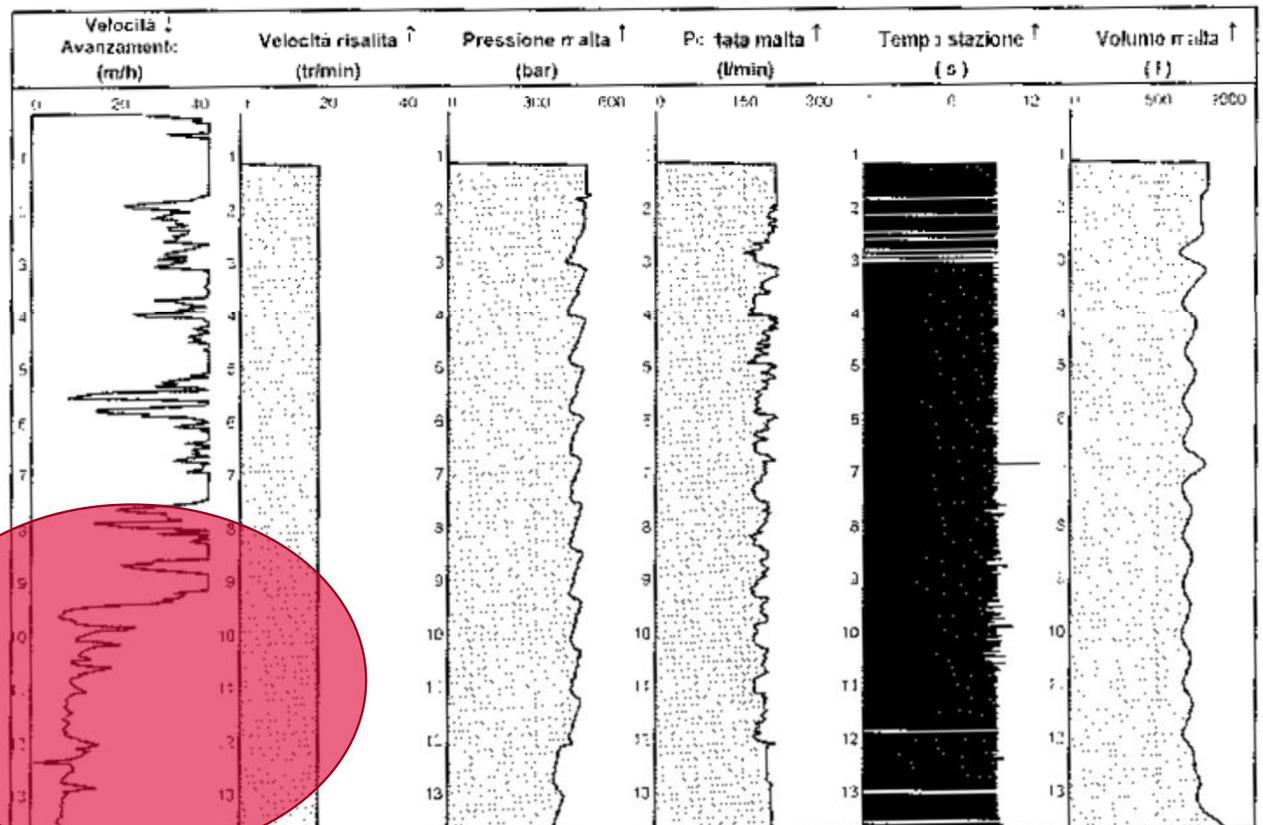
La prova si esegue la bilancia la bilancia Baroid



Consolidamento terreni – Controlli sui parametri di perforazione e iniezione

Di Vincenzo Dino & C Spa			solignano		Contratto C8:
			JETGROUTING		
Data : 25/08/2008	Macchina : 285	Volume calcestruzzo : 8.69 m ³	Profondità : 0,00-13,52 m		
Inizio : 11 h 05	Durata calcestruzzo : 00:56.29	Volume per metro : 696 l/m	Largo JET : 12.48 m		
Fine : 14 h 29					

Colonna 5.A.



L'analisi dei tabulati permette anche di controllare eventuali prescrizioni di progetto. In questo caso dovendo la colonna attestarsi per almeno 3 metri nel bedrock era fondamentale registrare anche la velocità di avanzamento

Consolidamento terreni – Controlli sui dati da sistema di controllo posizione

CAPITOLATO GENERALE TECNICO DI APPALTO
DELLE OPERE CIVILI
PARTE II-SEZIONE 10
OPERE DI MIGLIORAMENTO RINFORZO E
STABILIZZAZIONE

Quando si devono consolidare grandi superfici di terreno a profondità tali che anche le tolleranze ammesse posso determinare la non compenetrazione dei singoli elementi, al fine di ridurre il rischio di errore occorre certificare la corretta posizione planimetrica delle colonne eseguite, nonché la verticalità della torre di perforazione. Per questo le macchine dovranno essere attrezzate con sistema di posizionamento con sistema GPS, in grado di registrare gli scostamenti, durante le lavorazioni, rispetto alla coordinata progettuale.

La perforatrice sarà attrezzata con opportuno monitor, collegato ad un computer in cui saranno visualizzate le posizioni planimetriche del centro delle singole colonne, la quota di inizio trattamento.

Saranno inoltre visualizzati il picchetto virtuale della colonna da eseguire e la “bolla” per la verticalità della torre di perforazione.

Quando la macchina sarà correttamente posizionata dovranno essere registrate le coordinate di inizio perforazione e sarà calcolata e visualizzata la lunghezza esatta della perforazione da eseguire.

Durante la perforazione e la fase d’iniezione saranno visualizzati e registrati eventuali spostamenti rispetto alle tolleranze di progetto dei parametri monitorati (posizione planimetrica, quota, verticalità della torre).

Analoga registrazione a quella di inizio perforazione sarà eseguita alla fine.

Consolidamento terreni – Controlli sui dati da sistema di controllo posizione

Questo sistema fu sperimentato e implementato nel passante di Torino e successivamente implementato nel capitolato



Passante di Torino - quadruplicamento tra porta Susa e Stura

Sistema di posizionamento con GPS



Consolidamento terreni – Controlli sui dati da sistema di controllo posizione

PtNr	E_Progetto	N_Progetto	E_Triv	N_Triv	dE	dN	Tilt_X	Tilt_Y	Q_I_Tratt	Q_F_Tratt	Inizio Triv.	Fine Triv.	Durata	Tipo_Pos
1bO29	3608,934	16819,920	3608,897	16819,928	0,007	0,008	0,0	0,1	201,570	211,570	10/07/2007 15:58:39	17:44:31	01:45:51	Gps
1bE29	3601,641	16823,733	3601,665	16823,737	0,024	0,004	-0,1	-0,1	201,570	211,570	10/07/2007 13:04:17	15:42:34	02:01:15	Gps
1bD30	3601,132	16824,535	3601,159	16824,579	0,027	0,044	0,1	0,0	201,570	211,570	10/07/2007 11:20:34	13:01:00	01:40:25	Manuale
1bC29	3600,182	16824,495	3600,175	16824,498	-0,007	0,003	0,2	0,0	201,570	211,570	10/07/2007 09:47:04	11:14:27	01:27:23	Gps
1bB30	3599,673	16825,298	3599,675	16825,303	0,002	0,005	-0,1	-0,1	201,570	211,570	10/07/2007 07:47:38	09:45:00	01:57:22	Gps
1bA29	3598,724	16825,258	3598,715	16825,244	-0,008	-0,014	0,0	0,0	201,570	211,570	09/07/2007 17:17:13	07:44:48	01:42:13	Gps
1bG31	3603,540	16823,812	3603,543	16823,804	0,003	-0,008	0,0	-0,1	201,570	211,570	09/07/2007 10:19:52	12:39:47	02:19:54	Gps
1bF36	3603,839	16826,161	3603,861	16826,140	0,022	-0,021	0,0	0,0	201,570	211,570	09/07/2007 08:16:13	10:15:54	01:59:40	Gps
1bF32	3603,031	16824,614	3603,019	16824,587	-0,011	-0,027	0,1	0,0	201,570	211,570	08/07/2007 13:24:26	15:19:29	01:52:19	Gps
1bE31	3601,994	16824,519	3602,007	16824,511	0,013	-0,008	0,1	0,0	201,570	211,570	08/07/2007 11:46:37	13:20:40	01:34:02	Manuale
1bD32	3601,572	16825,377	3601,579	16825,400	0,007	0,024	0,1	-0,2	201,570	211,570	08/07/2007 09:47:46	11:22:45	01:34:59	Gps
1bC31	3600,622	16825,337	3600,602	16825,351	-0,020	0,013	0,1	0,0	201,570	211,570	08/07/2007 08:03:18	09:43:29	01:40:11	Gps
1bB32	3600,113	16826,139	3600,103	16826,119	-0,010	-0,020	0,0	0,0	201,570	211,570	08/07/2007 06:15:01	07:55:18	01:40:17	Gps
1bA31	3599,184	16826,100	3599,185	16826,129	0,001	0,029	0,1	0,0	201,570	211,570	05/07/2007 20:10:42	21:28:52	01:18:10	Gps
1bF34	3603,471	16825,456	3603,477	16825,432	0,006	-0,024	0,1	0,0	201,570	211,570	05/07/2007 18:33:52	19:55:59	01:22:07	Gps
1bG35	3604,420	16825,496	3604,422	16825,524	0,002	0,029	-0,1	0,1	201,570	211,570	05/07/2007 16:46:16	18:31:02	01:44:45	Gps
1bG33	3603,980	16824,654	3603,981	16824,683	0,001	0,009	0,1	0,0	201,570	211,570	05/07/2007 12:57:57	16:43:22	03:18:57	Gps
1bH34	3604,929	16824,693	3604,935	16824,708	0,006	0,015	0,0	-0,1	201,570	211,570	05/07/2007 11:24:52	12:54:45	01:29:52	Gps
1bI33	3605,439	16823,891	3605,413	16823,901	-0,026	0,010	0,1	-0,1	201,570	211,570	05/07/2007 10:06:37	11:20:45	01:14:08	Gps
1bJ34	3606,398	16823,931	3606,376	16823,941	-0,013	0,011	-0,1	0,1	201,570	211,570	05/07/2007 08:00:12	09:53:57	01:53:44	Gps
1bK33	3606,777	16822,899	3606,760	16822,919	-0,017	0,020	0,0	0,0	201,570	211,570	05/07/2007 06:11:59	07:52:10	01:40:11	Gps
1bL34	3607,847	16823,168	3607,855	16823,178	0,008	0,010	0,1	-0,1	201,570	211,570	04/07/2007 16:57:14	18:52:43	01:55:28	Gps
1bM33	3608,356	16822,366	3608,360	16822,356	0,004	-0,010	0,0	0,0	201,570	211,570	04/07/2007 07:34:19	16:51:40	09:17:21	Gps
1bN34	3609,305	16822,406	3609,316	16822,382	0,011	-0,024	-0,1	0,1	201,570	211,570	03/07/2007 17:24:46	19:08:21	01:41:34	Gps
1bO33	3609,815	16821,603	3609,840	16821,592	0,025	-0,012	0,0	0,1	201,570	211,570	03/07/2007 15:54:06	16:58:04	01:03:57	Gps
1bE33	3602,521	16825,416	3602,544	16825,421	0,022	0,005	-0,1	0,1	201,570	211,570	03/07/2007 12:37:13	15:19:19	01:17:40	Gps
1bD34	3602,012	16826,219	3601,998	16826,209	-0,014	-0,010	0,0	0,1	201,570	211,570	03/07/2007 10:13:01	12:31:48	02:18:47	Gps
1bC33	3601,083	16826,179	3601,055	16826,148	-0,008	-0,031	0,0	0,1	201,570	211,570	03/07/2007 09:14:50	10:07:52	00:53:01	Gps
1bB34	3600,553	16826,981	3600,528	16826,978	-0,026	-0,003	0,0	0,1	201,570	211,570	03/07/2007 07:11:22	08:25:14	01:13:52	Gps
1bA33	3599,604	16826,942	3599,575	16826,945	-0,029	0,003	0,1	0,1	201,570	211,570	02/07/2007 17:09:07	18:27:16	01:18:08	Gps
1bH36	3605,298	16825,398	3605,315	16825,395	0,017	-0,003	-0,1	0,1	201,570	211,570	02/07/2007 15:43:30	17:01:07	01:17:37	Gps
1bI35	3605,879	16824,733	3605,870	16824,711	-0,008	-0,022	0,1	0,1	201,570	211,570	02/07/2007 12:58:03	15:38:23	01:17:47	Gps
1bJ36	3606,756	16824,635	3606,781	16824,641	0,025	0,005	0,1	0,0	201,570	211,570	02/07/2007 11:29:02	12:53:09	01:24:06	Gps
1bK35	3607,337	16823,971	3607,330	16823,980	-0,007	0,009	0,1	-0,1	201,570	211,570	02/07/2007 09:28:35	11:22:44	01:54:08	Gps
1bL36	3608,215	16823,873	3608,206	16823,854	-0,009	-0,019	0,1	0,0	201,570	211,570	02/07/2007 07:53:07	09:22:22	01:29:14	Gps
1bE35	3602,981	16826,258	3602,978	16826,250	0,017	-0,008	-0,1	0,1	201,570	211,570	29/06/2007 13:52:20	16:42:38	02:50:18	Gps
1bD36	3602,380	16826,923	3602,388	16826,932	0,008	0,009	0,0	-0,1	201,570	211,570	29/06/2007 09:52:10	12:22:27	02:30:16	Gps
1bC35	3601,503	16827,021	3601,521	16826,996	0,018	-0,025	0,1	-0,1	201,570	211,570	29/06/2007 07:19:51	09:33:42	02:13:51	Manuale
1bB36	3600,922	16827,686	3600,913	16827,683	-0,009	-0,003	-0,1	0,1	201,570	211,570	28/06/2007 15:29:41	17:34:39	02:04:58	Gps
1bA35	3600,044	16827,784	3600,069	16827,766	0,025	-0,017	-0,1	-0,1	201,570	211,570	28/06/2007 11:15:11	15:24:24	02:07:47	Gps
1bM35	3608,796	16823,208	3608,824	16823,221	0,028	0,013	0,0	-0,1	201,570	211,570	28/06/2007 09:07:47	11:06:07	01:58:20	Gps
1bN36	3609,674	16823,110	3609,693	16823,107	0,019	-0,003	0,0	0,0	201,570	211,570	27/06/2007 16:08:15	09:04:47	04:05:08	Gps
1bO35	3610,255	16822,445	3610,254	16822,444	0,000	-0,002	0,1	0,0	201,570	211,570	27/06/2007 12:15:36	16:03:10	02:04:42	Gps

Consolidamento terreni – Controlli in produzione jet grouting

CAPITOLATO GENERALE TECNICO DI APPALTO
DELLE OPERE CIVILI
PARTE II-SEZIONE 10
OPERE DI MIGLIORAMENTO RINFORZO E
STABILIZZAZIONE

10.7.2.2.21 *Controlli e documentazione*

Il monitoraggio dovrà essere progettato prima dell'inizio delle lavorazioni alla conclusione del campo prova e sarà eseguito con le tecnologie utilizzate nel campo prova.

Il numero delle prove sarà definito sulla base della funzionalità del campo prova e comunque saranno controllate, complessivamente, utilizzando metodi diretti (sondaggi) e indiretti (geofisica) almeno l'80 % delle colonne eseguite.

Le indagini geofisiche potranno essere rappresentate da profili sismici tomografici, sezioni tomografiche in foro, sezioni tomografiche geoelettriche. La scelta delle metodologie da utilizzare sarà fatta in funzione delle caratteristiche dell'intervento e dell'ambiente in cui si opera.

I valori delle prove di laboratorio e/o in sito non dovranno essere inferiori a quelli registrati durante il campo prova.

Consolidamento terreni – Controlli sulla qualità del trattamento

Generalmente sono rappresentate da:

Indagini DIRETTE:

- Sondaggi a Carotaggio Continuo
- Prove di permeabilità tipo Lugeon
- Prove di laboratorio

Indagini INDIRETTE:

- Tomografia sismica tridimensionale
- Tomografia sismica bidimensionale da superficie
- Tomografia sismica bidimensionale da foro
- Tomografia elettrica

Campo prova Jet grouting

CAPITOLATO GENERALE TECNICO DI APPALTO
DELLE OPERE CIVILI
PARTE II-SEZIONE 10
OPERE DI MIGLIORAMENTO RINFORZO E
STABILIZZAZIONE

10.7.2.2.8 *Messa a punto del sistema ed esecuzione di un adeguato campo prove*

Per la scelta della miscela da utilizzare per ottenere i risultati richiesti dal progetto, nonché per verificare le modalità operative, le dimensioni medie rese, ecc., dovranno essere progettati e realizzati, come detto, idonei campi prova in con i seguenti obiettivi:

- definire i dosaggi delle miscele cementizie;
- stabilire i parametri per l'esecuzione delle colonne e/o dei pannelli;
- per trattamenti non meccanici, determinare il diametro medio reso;
- le caratteristiche meccaniche del terreno trattato;
- l'omogeneità del trattamento;
- la verticalità delle colonne o dei pannelli di terreno trattato.

I trattamenti dovranno essere eseguiti in condizioni simili a quelle operative, in sostanza il trattamento dovrà essere eseguito alle stesse profondità di progetto e in terreni affini a quelli previsti in progetto.

Il campo prova potrà svolgersi in due fasi, la prima dovrà permettere di definire tutte le metodologie operative, e nella seconda fase sarà simulato il trattamento, con i parametri e le metodologie individuate nella prima fase.

Case History – Ponte sul Po

La procedura prevista dal Capitolato trae origine dalle esperienze della realizzazione del Ponte sul Po' della linea Bologna - Verona e dell'ultimo tratto del Passante di Torino. Così come oggi prescritto dal Capitolato:

- con la prima fase è stato definito il set dei parametri d'iniezione
- con la seconda fase è stata simulata la lavorazione su scala reale realizzando un trattamento con un gruppo di 7 colonne di diametro di progetto compenetrante secondo lo schema operativo previsto per la produzione.



Case History – Ponte sul Po

PROGETTO JET GROUTING - CAMPO PROVA 1 FASE

La determinazione delle caratteristiche meccaniche è stata fatta con prove di laboratorio eseguite su campioni prelevati per mezzo di sondaggi a carotaggio continuo.

All'interno del foro, inoltre, sono state eseguite prove di permeabilità



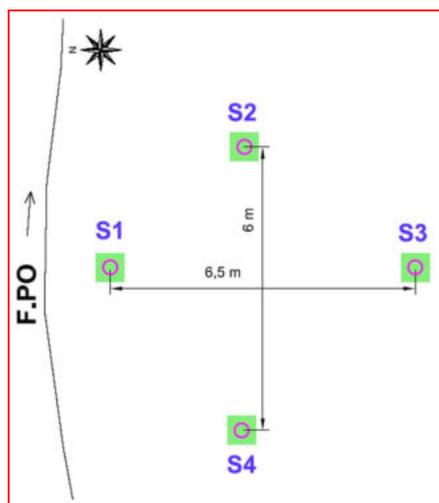
Inoltre per una più completa valutazione della omogeneità del trattamento, determinare il diametro medio reso per tutta la lunghezza nonché per sviluppare il modello teorico per la seconda fase del campo prova, è stata eseguita una indagine geofisica bidimensionale

Case History – Ponte sul Po

PROGETTO JET GROUTING - CAMPO PROVA 1 FASE

Indagine geofisica bidimensionale

La metodologia è stata quella della tomografia sismica, già abbondantemente utilizzata per indagini di questo tipo, che consente, attraverso l'acquisizione e l'elaborazione di un considerevole numero di dati, la costruzione di immagini bidimensionali (o tridimensionali) della variazione in continuo della velocità sismica di compressione (onde P). Con questa tecnica si riesce a ricostruire, pertanto, una visione seppur qualitativa della stratigrafia del terreno investigato, in termini di variazioni di "densità" dello stesso, essendo questo parametro direttamente legato alla velocità sismica.



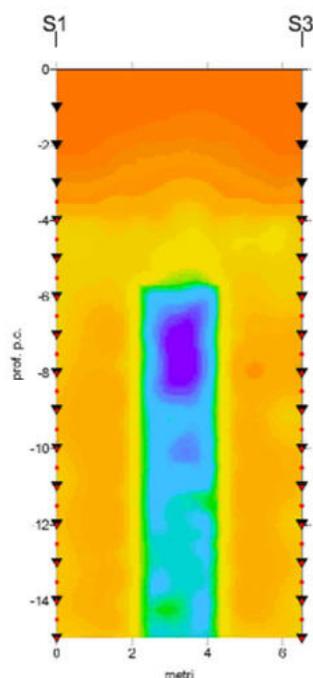
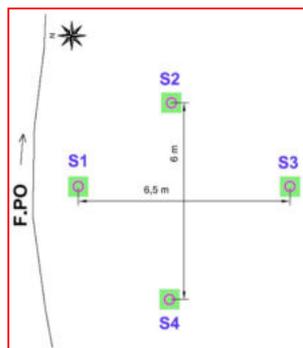
Analogamente per le 2 sezioni in un foro è stata calata una colonna con 24 sensori (idrofoni) spazati di 0.5 m, mentre nel foro opposto, sono stati creati degli impulsi sismici procedendo dal fondo alla superficie, ad intervalli di 1 metro.

Per la certezza della geometria del sistema i fori dei sondaggi erano stati attrezzati con **tubi inclinometrici**, sui quali, prima dell'esecuzione delle prove geofisiche è stato fatto il rilievo

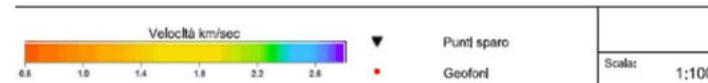
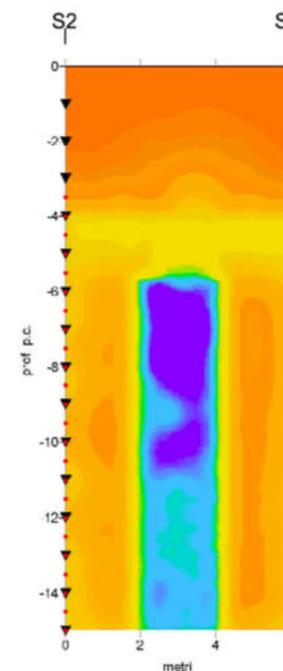
Case History – Ponte sul Po

PROGETTO JET GROUTING - CAMPO PROVA 1 FASE

Indagine geofisica bidimensionale



- *Le velocità sono maggiori di 2.3 Km/s*
- *L'aumento di velocità, è evidente alle quote e per lo spessore previsto*
- *Il diametro medio della colonna, in entrambe le sezioni è mediamente di 2 m, come previsto*
- *All' interno della colonna si registrano valori leggermente inferiori (2,2.-2.3 Km/s), denotando la presenza di materiale leggermente meno compatto*



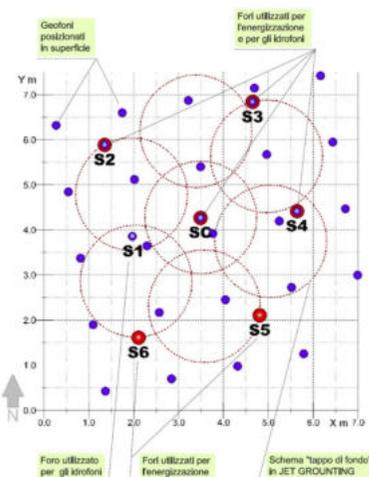
Case History – Ponte sul Po

PROGETTO JET GROUTING - CAMPO PROVA 2 FASE

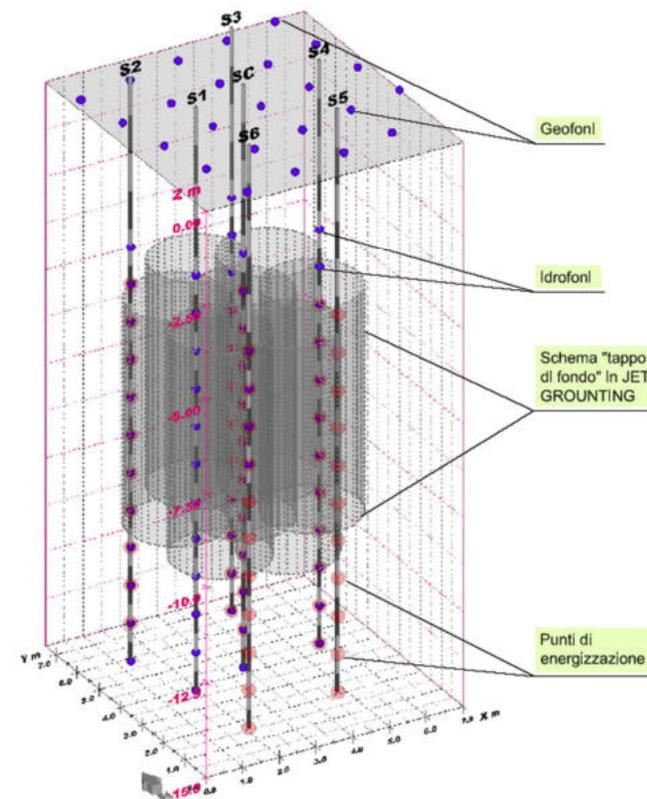
Indagine geofisica 3D

Per questa fase è stata, quindi, realizzata una “rosetta” di colonne che simula la lavorazione prevista con caratteristiche geometriche e tecniche pensate per la produzione

C o l o n n e	Diametr o m e d i o r e s o	Ugelli c e m e n t o		Ugelli a r i a		Pressione B o i a c c a	Pressione a r i a	Portata m i s c e l a	Velocità r i s a l i t a	Dosaggi
		n°	DN m m	n°	DN m m					
9	2500	1	7	1	23	450	16	535	12	1,0



Nelle figure è riportato lo schema planimetrico e tridimensionale delle colonne e dei sondaggi eseguiti sia per verificare le caratteristiche del materiale sia per predisporre i fori per l'indagine geofisica



Case History – Ponte sul Po

PROGETTO JET GROUTING - CAMPO PROVA 2 FASE

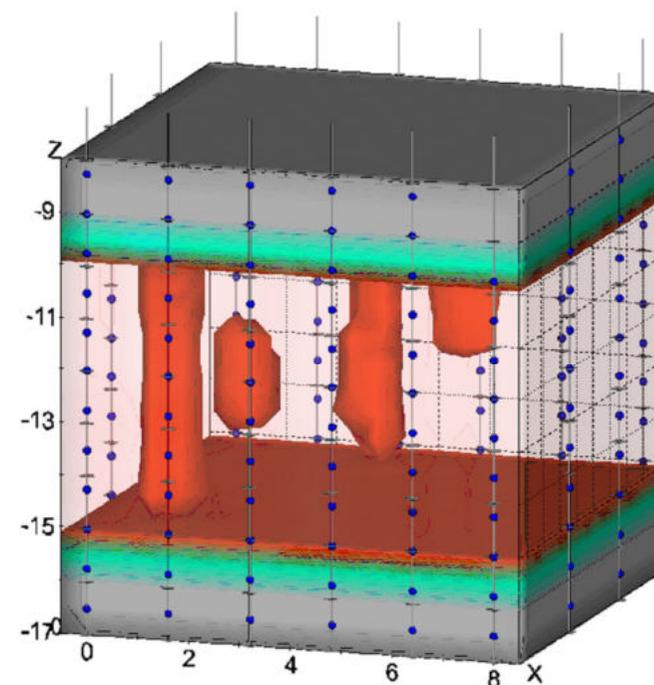
Indagine geofisica 3D

Sulla base delle caratteristiche tecniche del terreno trattato verificate nella prima fase del campo prova è stato possibile costruire un modello teorico previsionale, sia per individuare il dimensionamento del dispositivo di misura, sia la rispondenza del sistema di osservazione alle ipotesi di progetto

Pertanto prima è stato realizzato un modello della distribuzione di velocità del sistema terreno – tappo di fondo trattato con jet grouting, e si è ricostruito il percorso dei raggi sismici relativi al layout ipotizzato (sistema spari-ricevitori)

Successivamente è stata simulata la presenza di alcune anomalie nel volume di terreno trattato:

- due fori passanti con diametro rispettivamente di 0,5 e 1m
- due zone a bassa velocità, che dovevano simulare un volume di terreno non trattato



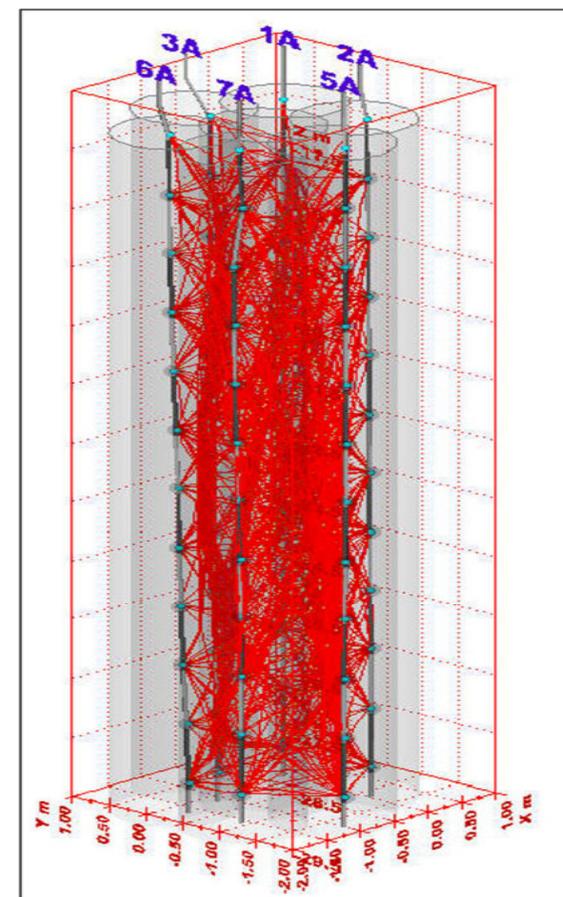
Case History – Ponte sul Po

PROGETTO JET GROUTING - CAMPO PROVA 2 FASE

Indagine geofisica 3D

L'indagine è stata effettuata registrando simultaneamente con 4 catenarie da 12 sensori (idrofondi) con intervallo di 1m inserite nei fori attrezzati e di una rete (24) di geofoni superficiali disposti secondo una maglia quadrata con lato di 1.5m.

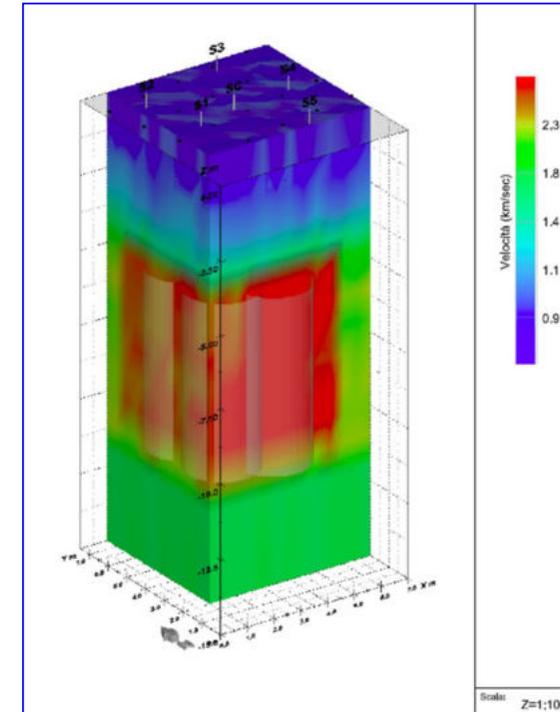
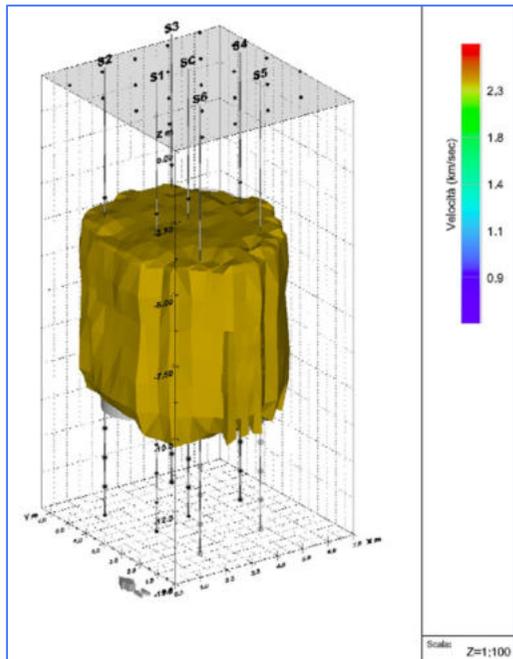
L'energizzazione è stata ripetuta lungo tutte le colonne di sondaggio ad intervalli di 1m, procedendo dal fondo dei fori verso la superficie. Le operazioni sono state ripetute in modo simmetrico, con posizioni rovesciate dei punti sorgente e dei punti registrazione. In questo modo è stato possibile l'acquisizione di una ragnatela di traiettorie sismiche attraversanti l'intero corpo oggetto d'indagine



Case History – Ponte sul Po

PROGETTO JET GROUTING - CAMPO PROVA 2 FASE Indagine geofisica 3D - risultati

volume di terreno trattato con
velocità maggiori a 2,4 km/sec



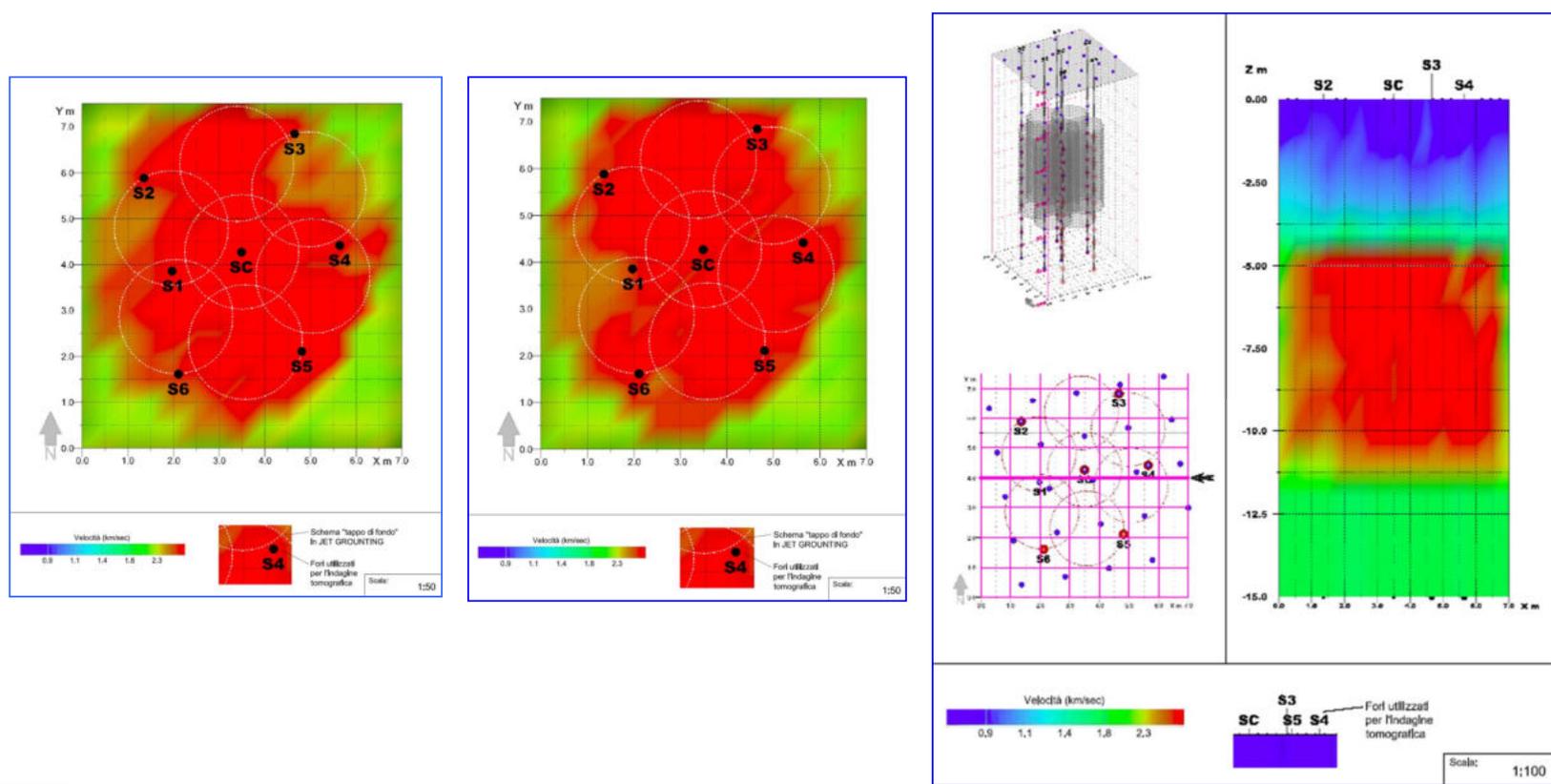
altra visione d'insieme il colore rosso relativo alle alte
velocità sismiche del terreno consolidato rispetto al terreno
non trattato e sono inoltre visualizzati i volumi teorici delle
colonne che costituiscono il tappo di fondo

Case History – Ponte sul Po

PROGETTO JET GROUTING - CAMPO PROVA 2 FASE

Indagine geofisica 3D

Oppure il volume generato può essere tagliato lungo piani significativi e rappresentato secondo sezioni bidimensionali

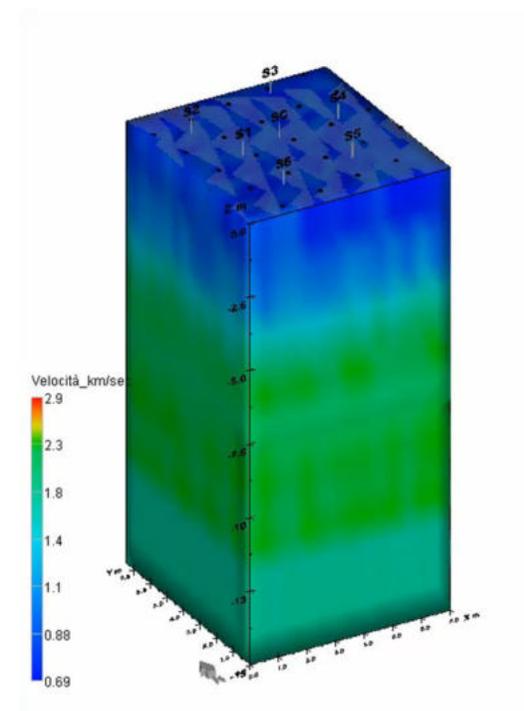
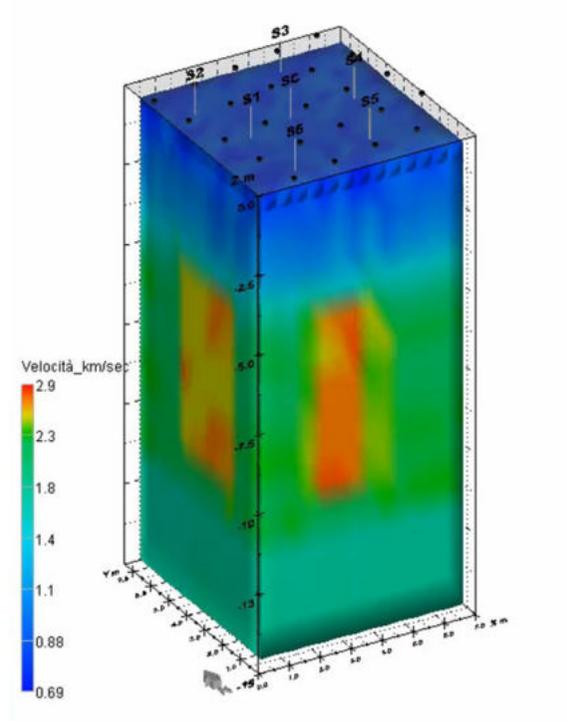
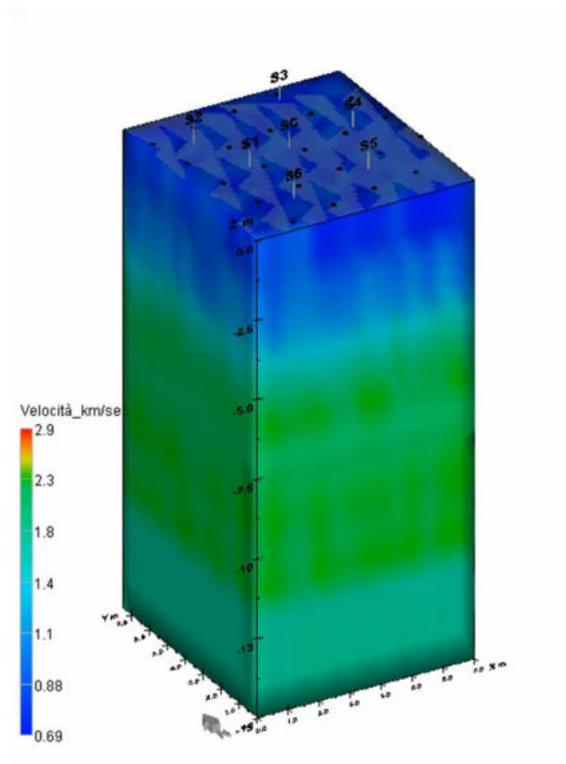


Case History – Ponte sul Po

PROGETTO JET GROUTING - CAMPO PROVA 2 FASE

Indagine geofisica 3D

Oppure



Case history



Case history - Passante di Torino - quadruplicamento tra porta Susa e Stura

Il Passante ferroviario per la città di Torino è un'infrastruttura cardine per il riassetto urbanistico della città. Iniziati nel 1986, i lavori dovrebbero concludersi attorno il 2011-2012. Ad opera ultimata il capoluogo piemontese disporrà di un collegamento ferroviario integrato, interrato per ben 15 km, e riprenderà possesso di 260 mila metri quadri di superficie, cancellando la ferita che tagliava in due il tessuto urbano

Particolarmente eloquenti i numeri del progetto:

- 8 km di galleria artificiale da realizzare in ambito urbano,
- 980.000 mc di calcestruzzo,
- 113.600.000 kg di acciaio in barre,
- 2.100.000 mc di scavi prevalentemente in galleria,
- 275.000 mq di diaframmi di paratia,
- 60.000 ml di pali di grande diametro.

Ed in particolare per il jet grouting

- **70.000 colonne** di terreno consolidato con jet grouting (per circa **600 Km di terreno trattato** e 1.400 Km di perforazione a vuoto).

Case history - Passante di Torino - quadruplicamento tra porta Susa e Stura

Sistema di posizionamento con GPS



Case history - Passante di Torino - quadruplicamento tra porta Susa e Stura

Controllo e monitoraggio durante l' esecuzione – indagini dirette

Il metodo più tradizionale per la verifica della qualità del getto è l'esecuzione di sondaggi a carotaggio continuo

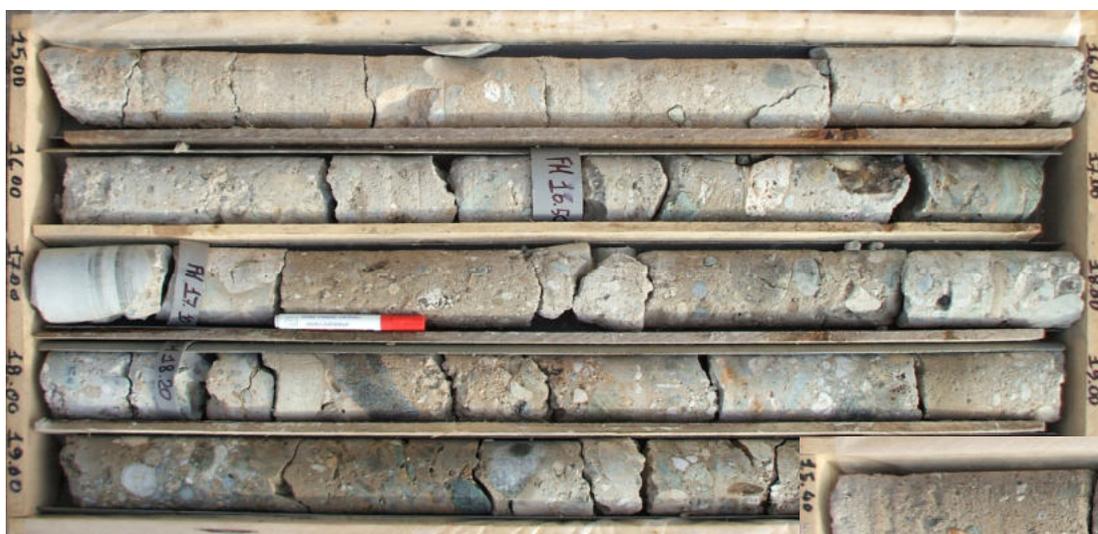
Esso, però, fornisce informazioni puntiformi, permettendo il massimo grado di approfondimento delle caratteristiche del terreno indagato, non fornendo al contempo alcun valore aggiunto all'area presente nell'intorno dello stesso e ancor meno la presenza di anomalie diffuse

Al fine di aver il miglior risultato possibile si è deciso di effettuare carotaggi con carotieri con diametro da 131 mm che forniscono una qualità di risultato migliore rispetto a quelli normalmente utilizzati con diametro di 101mm

Infine l'attrezzaggio con tubi inclinometrici ha permesso di verificare come la deviazione rispetto alla verticale dei fori, sia spesso significativa, anche superiore al metro, lasciando quindi l'incertezza sulla vera colonna indagata

Case history - Passante di Torino - quadruplicamento tra porta Susa e Stura

Controllo e monitoraggio durante l' esecuzione – indagini dirette



Diametro di perforazione 101 mm

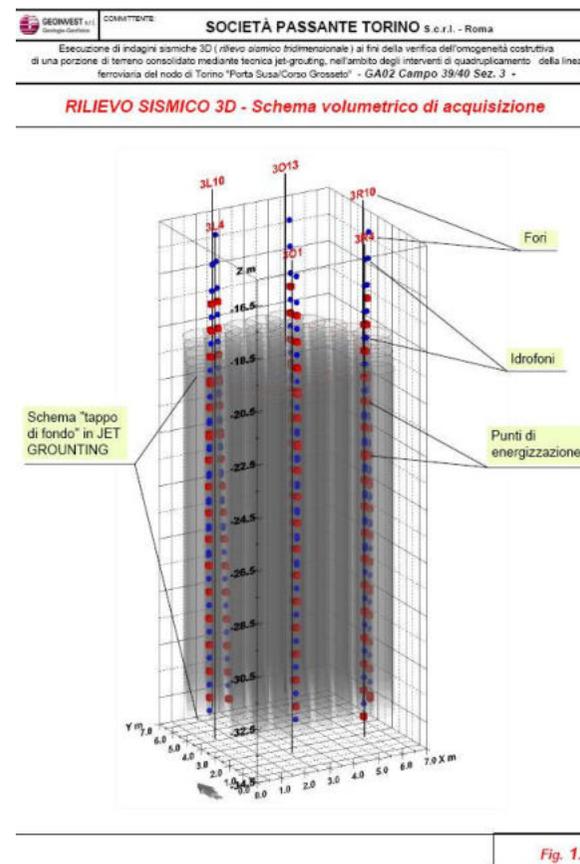
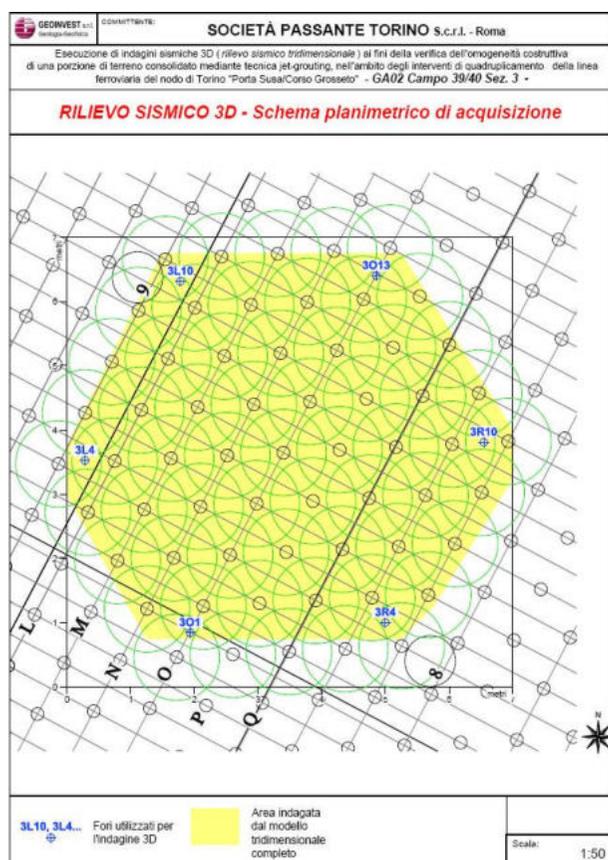
Diametro di perforazione 131 mm



Case history - Passante di Torino - quadruplicamento tra porta Susa e Stura

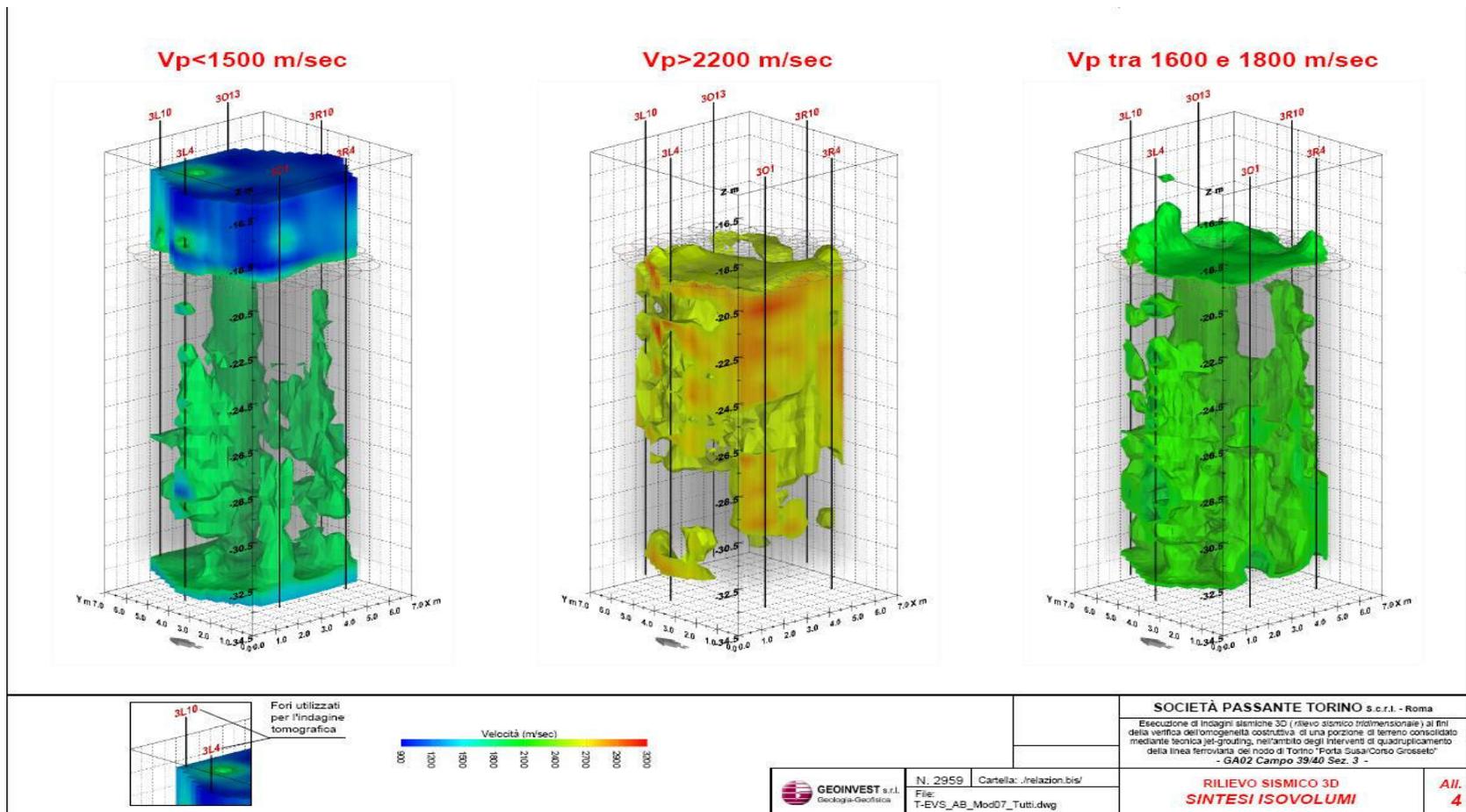
Controllo e monitoraggio durante l'esecuzione – geofisica tridimensionale

Inizialmente il metodo di indagine era lo stesso utilizzato per il campo prova e la configurazione iniziale prevedeva l'analisi di un volume di terreno rappresentato da circa 20 colonne, che si è provato ad allargare fino ad arrivare ad un volume indagato pari a circa 50 colonne



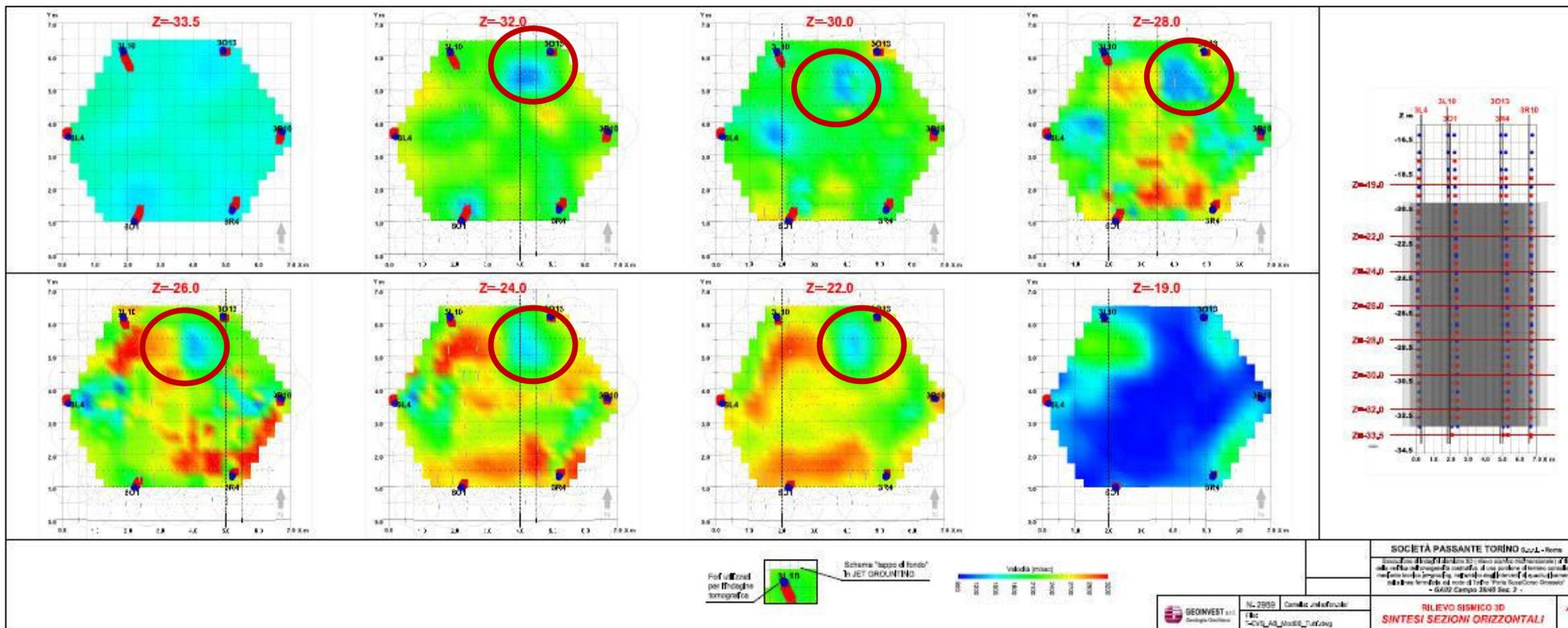
Case history - Passante di Torino - quadruplicamento tra porta Susa e Stura

Controllo e monitoraggio durante l' esecuzione – geofisica tridimensionale



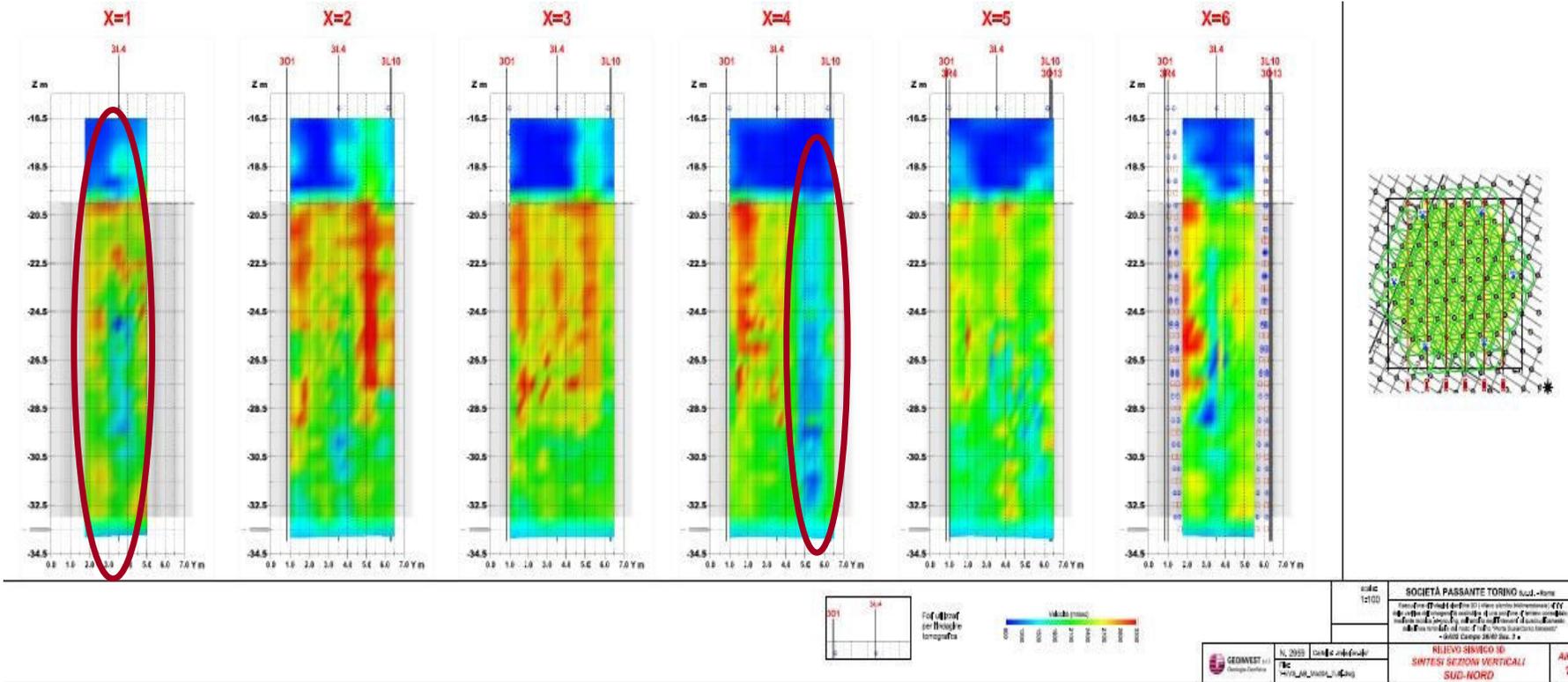
Case history - Passante di Torino - quadruplicamento tra porta Susa e Stura

Controllo e monitoraggio durante l'esecuzione – geofisica tridimensionale



Case history - Passante di Torino - quadruplicamento tra porta Susa e Stura

Controllo e monitoraggio durante l' esecuzione – geofisica tridimensionale



Case history - Passante di Torino - quadruplicamento tra porta Susa e Stura

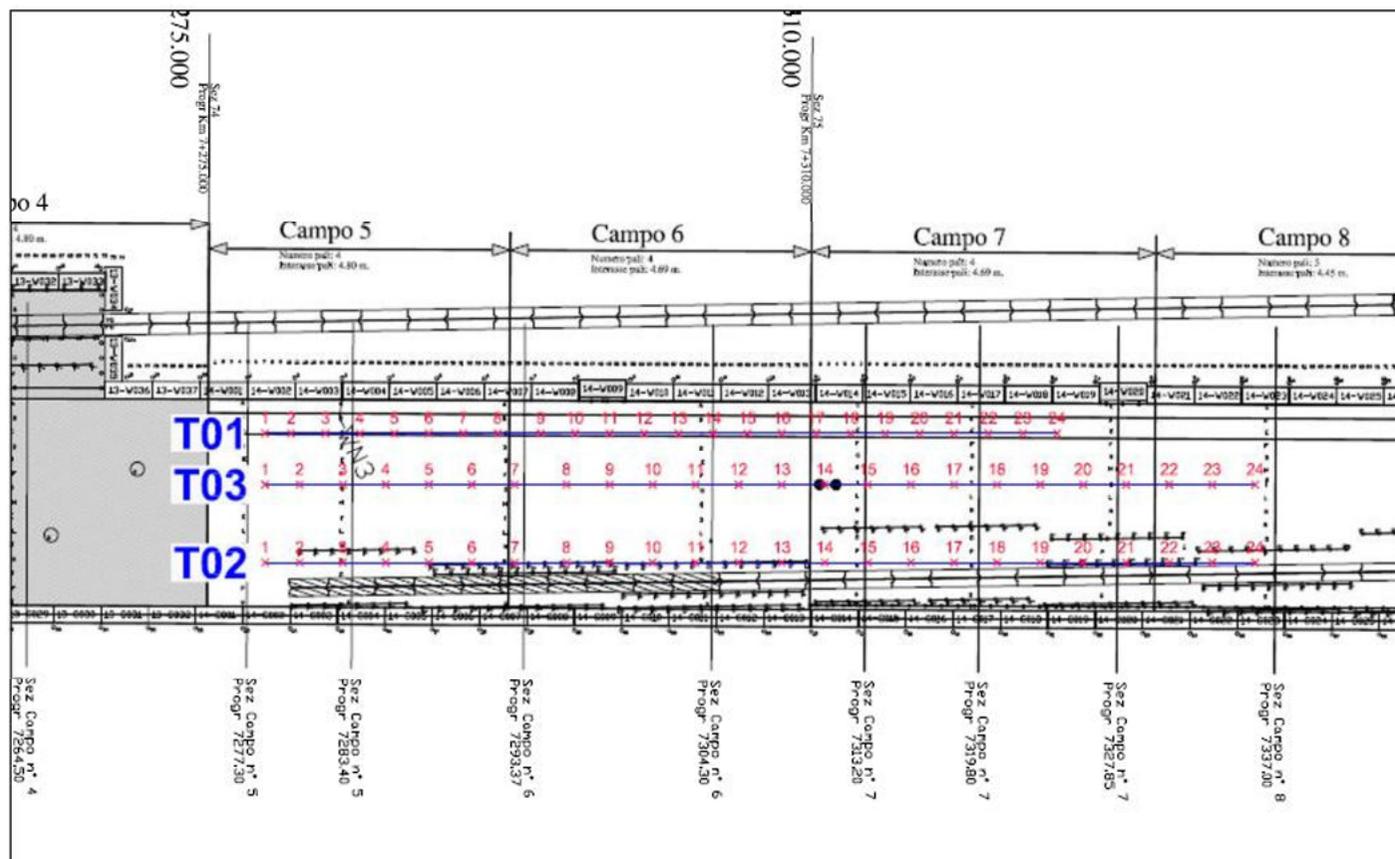
Controllo e monitoraggio durante l' esecuzione – geofisica

Tenendo conto delle anomalie emerse e soprattutto per dare spazialità ai risultati di sondaggi, sulla base della profondità del tappo di fondo dal piano campagna si è puntato, per indagini più estese, a due tipologie di monitoraggio:

- sezioni tomografiche ottenute con profili superficiali per profondità ridotte
- stendimenti superficiali e idrofoni in foro con energizzazione ripetuta dall'interno dei fori (detti brevemente "Rettangoli")

Case history - Passante di Torino - quadruplicamento tra porta Susa e Stura

Controllo e monitoraggio durante l' esecuzione – geofisica bidimensionale – profili tomografici con stendimenti superficiali

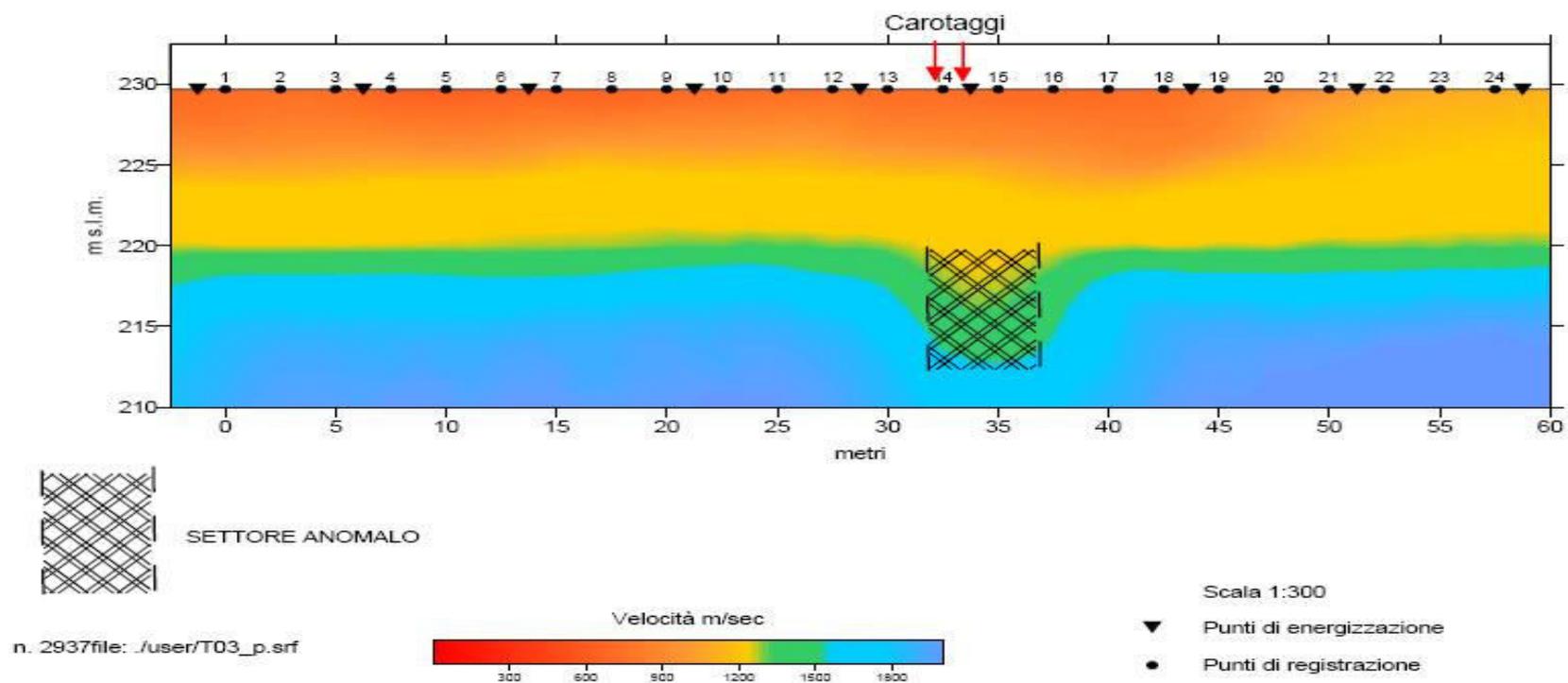


TORINO CAMPO 5-6-7 TOMOGRAFIA SISMICA - PLANIMETRIA DI RIFERIMENTO - scala 1:300

Case history - Passante di Torino - quadruplicamento tra porta Susa e Stura

Controllo e monitoraggio durante l' esecuzione – geofisica bidimensionale – profili tomografici con stendimenti superficiali

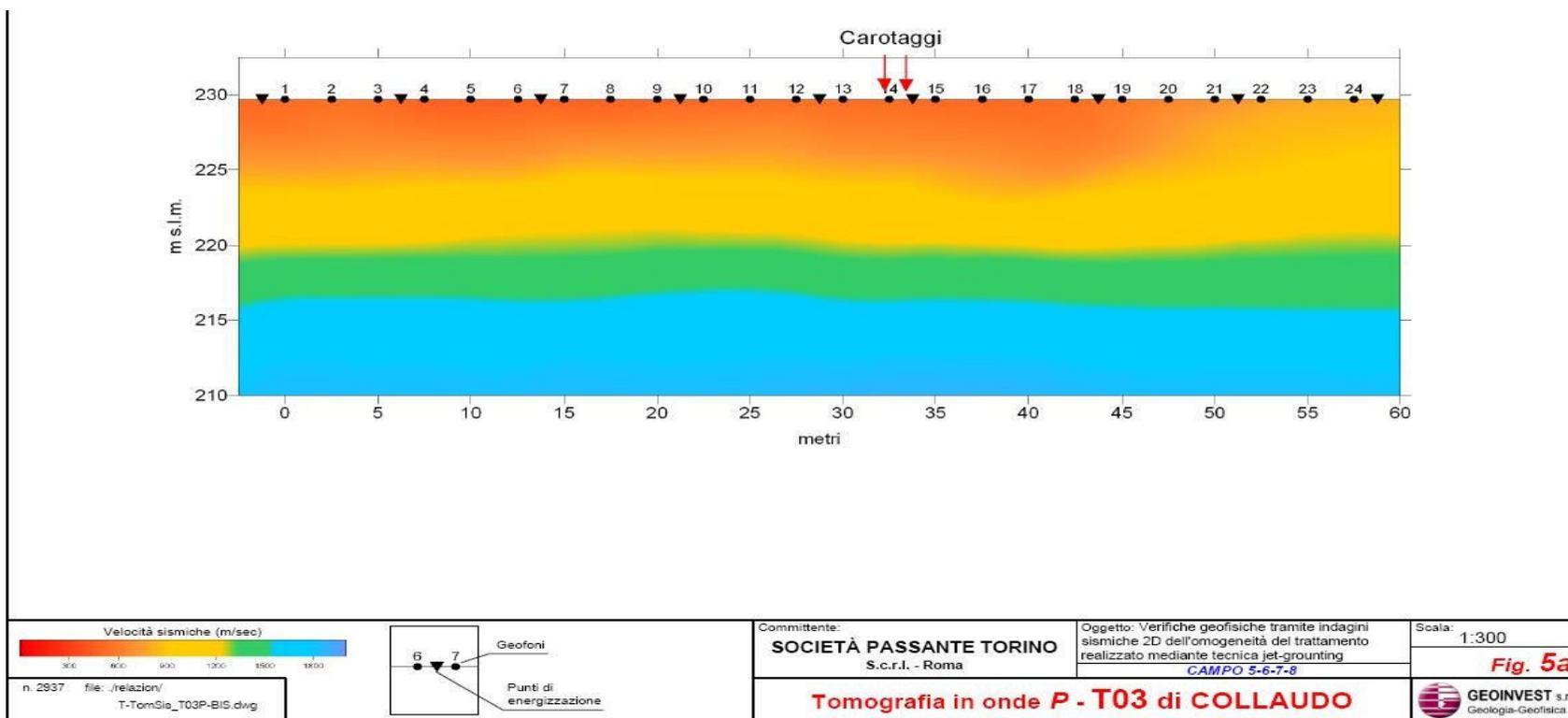
TORINO CAMPO 5-6-7
Tomografia in onde P - Sez T03_p



Case history - Passante di Torino - quadruplicamento tra porta Susa e Stura

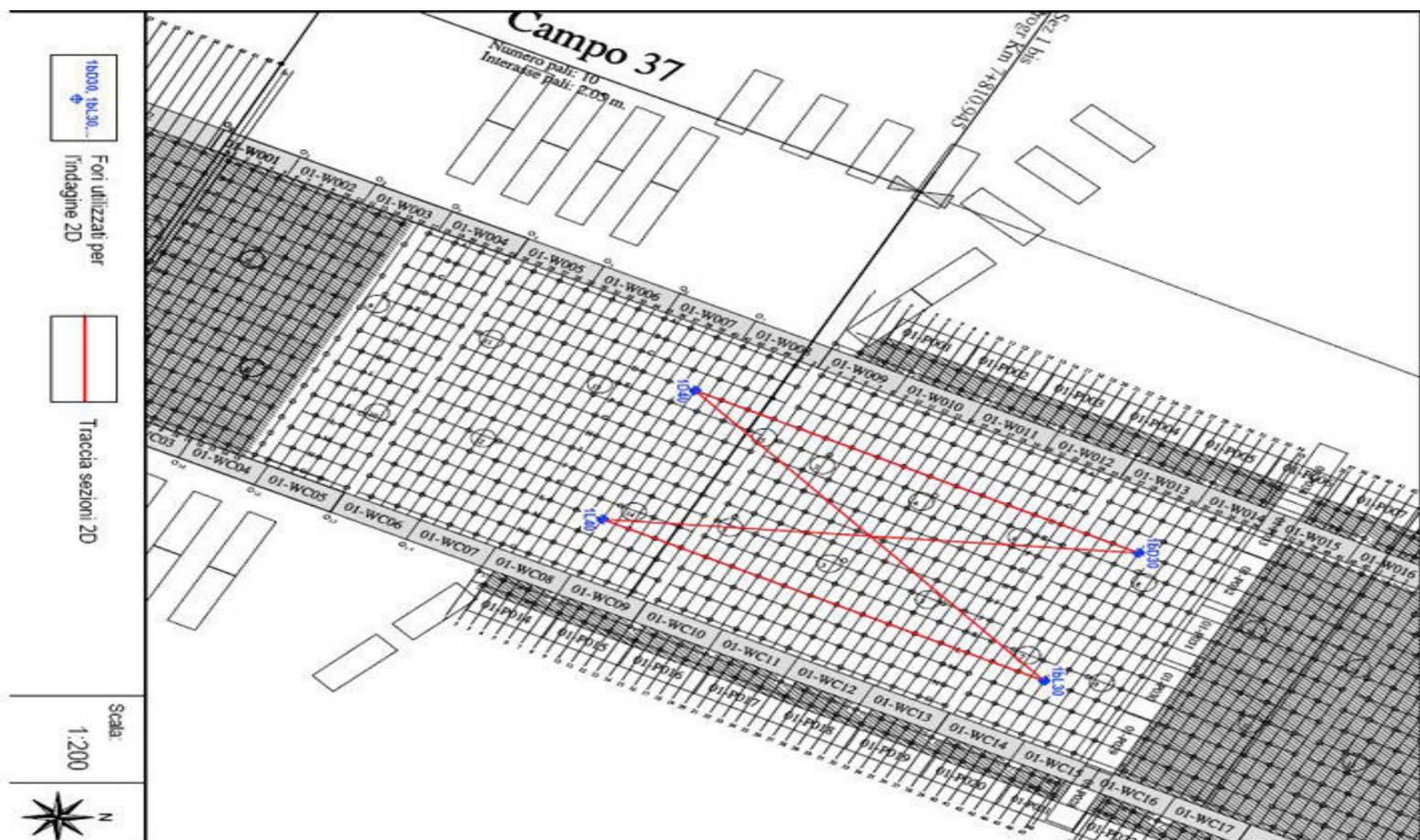
Controllo e monitoraggio durante l' esecuzione – geofisica bidimensionale – profili tomografici con stendimenti superficiali

La stessa sezione ripetuta dopo il rifacimento di 3 colonne



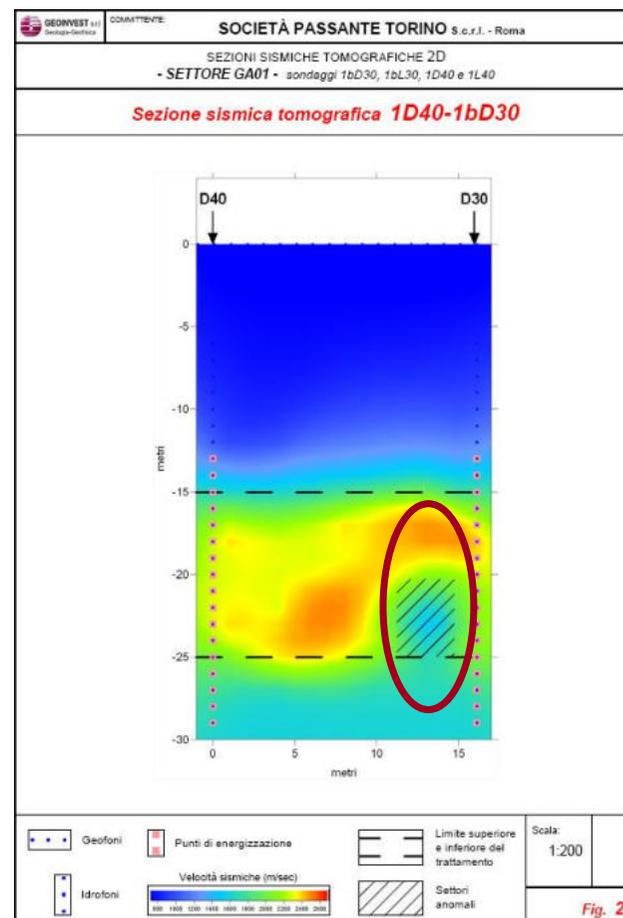
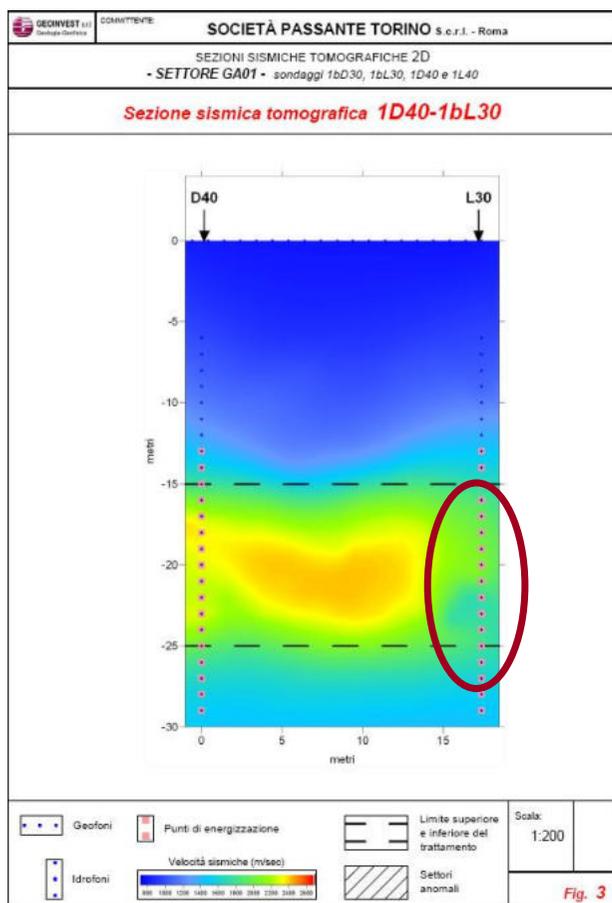
Case history - Passante di Torino - quadruplicamento tra porta Susa e Stura

Controllo e monitoraggio durante l' esecuzione – geofisica bidimensionale – profili tomografici eseguiti da foro e con stendimenti superficiali



Case history - Passante di Torino - quadruplicamento tra porta Susa e Stura

Controllo e monitoraggio durante l' esecuzione – geofisica bidimensionale – profili tomografici eseguiti da foro e con stendimenti superficiali



Case history - Passante di Torino - quadruplicamento tra porta Susa e Stura

La procedura prevedeva a quel punto l'esecuzione di sondaggi a carotaggio continuo

Ma l'appaltatore ha preferito non aspettare questi risultati, perché se i sondaggi avessero confermato i risultati della geofisica avrebbe comunque rifare 3 colonne

Tenendo conto che era il tratto di galleria artificiale sotto il fiume Dora e analizzando i tempi ha preferito rifare subito le colonne, attività chiusa in poco più di 3 ore



Case history - Passante di Torino - quadruplicamento tra porta Susa e Stura

Controllo e monitoraggio durante l' esecuzione – geofisica bidimensionale – profili tomografici eseguiti da foro e con stendimenti superficiali





Case history - Passante di Torino - quadruplicamento tra porta Susa e Stura

Controllo e monitoraggio durante l' esecuzione – geofisica bidimensionale – Tomografia geoelettrica

La necessità di ridurre i tempi e la difficoltà operative per l' esecuzione dell'indagine geofisica con la sismica ha portato a sperimentare anche la tomografia elettrica

Questa tecnica presentava i seguenti vantaggi:

- Aveva una ottima spazialità e una buona risoluzione
- Non risentiva delle vibrazioni prodotte dalle attività di cantiere, per cui poteva essere eseguita senza confliggere, appunto, con le attività di cantiere
- Era molto più veloce rispetto alla sismica in foro

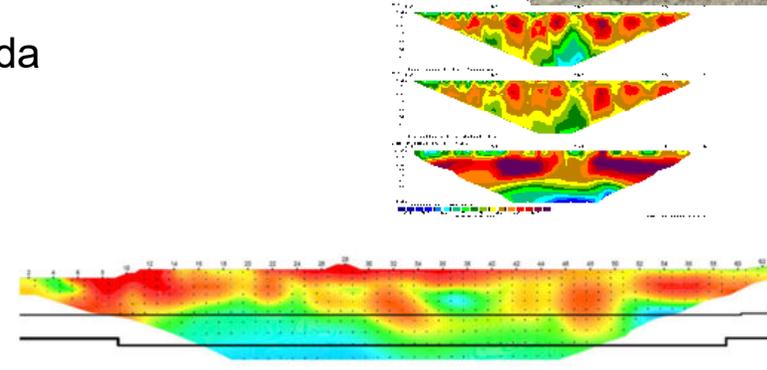
Per il passaggio a questa tecnica i risultati sono stati validati attraverso esecuzione in parallelo ad indagine “affidabili” (sismica in foro)

Case history - Passante di Torino - quadruplicamento tra porta Susa e Stura

Tomografia geoelettrica...

Metodo di analisi:

- Elettrodi infissi nel terreno inducono corrente elettrica nel terreno ed altri leggono la differenza di potenziale
- Misure di differenza di potenziale (georesistivimetro) da cui si ottiene il valore della resistività apparente del terreno (ρ_{app})
- viene eseguito il processo di inversione
- Output: sezioni 2D di resistività elettrica



Il confronto con i risultati dei sondaggi ha permesso di attribuire i seguenti valori di resistività:

$\rho \approx 100-300 \Omega m$



Terreni trattati in Jet Grouting

$\rho > 500-1000 \Omega m$



Terreni naturali non trattati

Geometria:

- ✓ 40 m profondità
- ✓ 63 elettrodi
- ✓ 310 m lunghezza

Case history - Passante di Torino - quadruplicamento tra porta Susa e Stura

Tomografia geoelettrica

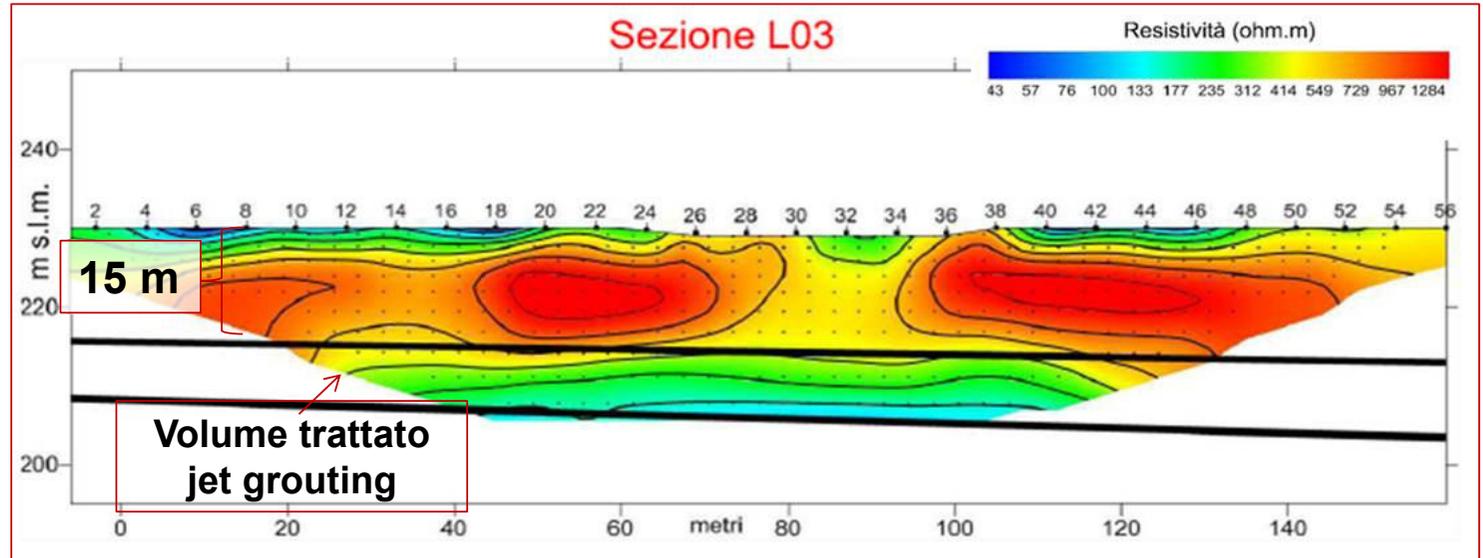
In corrispondenza del campo è stato eseguito un monitoraggio multimetodologico (tomografia sismica da superficie, e da foro e tomografia geoelettrica)



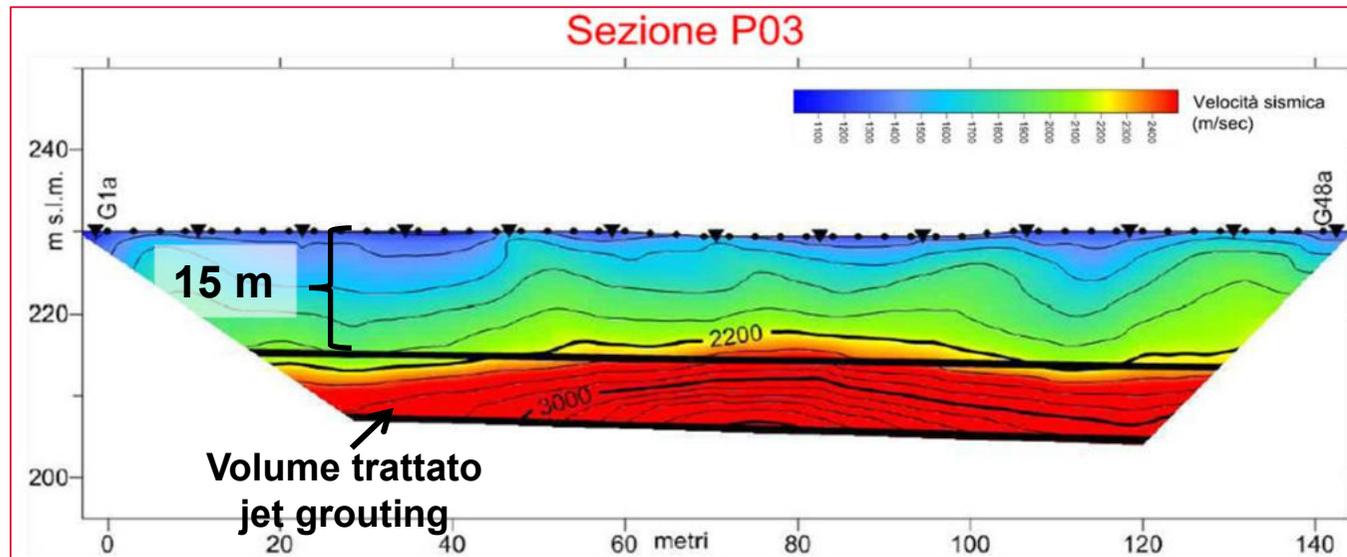
Case history - Passante di Torino - quadruplicamento tra porta Susa e Stura

Tomografia geoelettrica

Tomografia geoelettrica

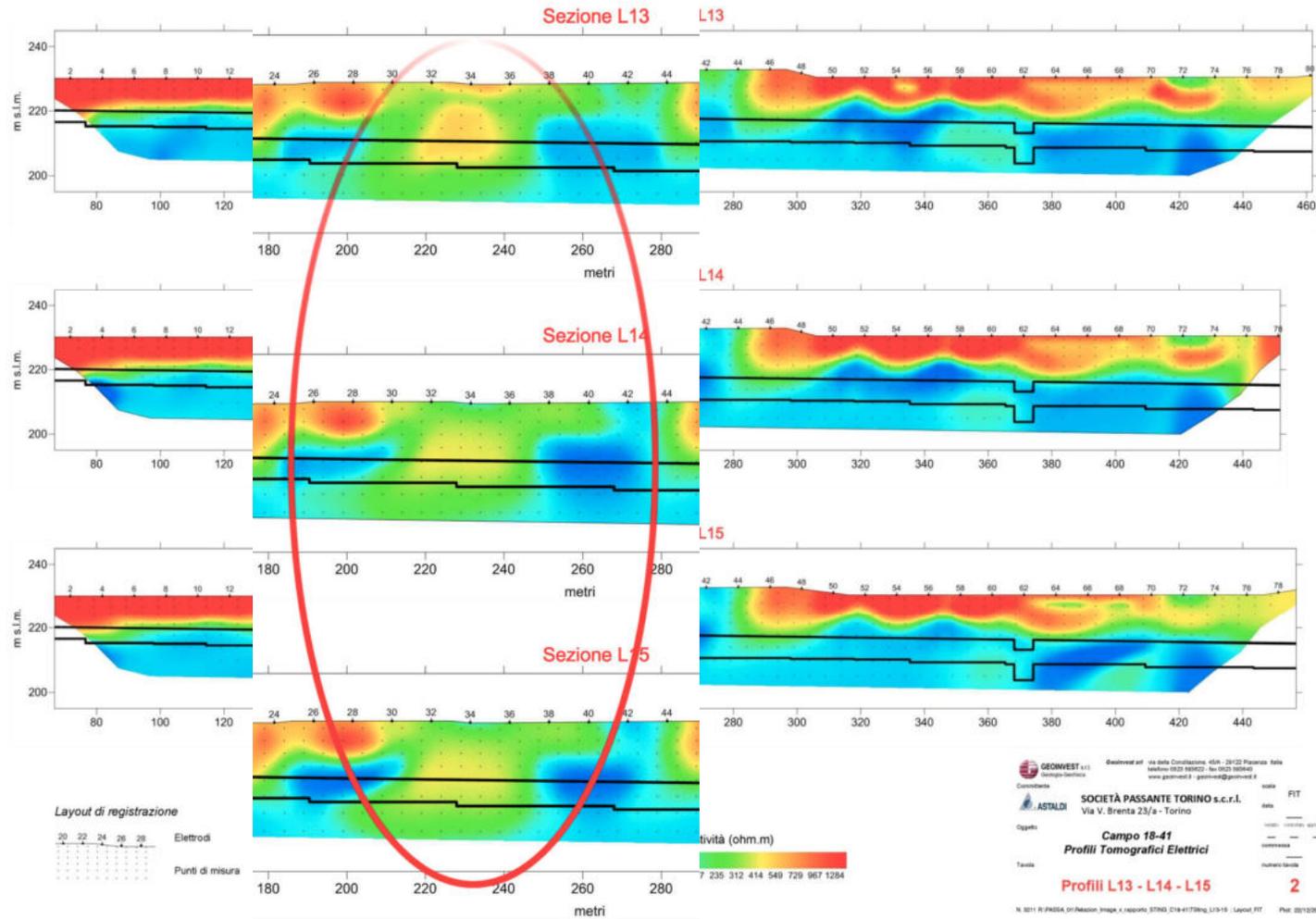


Tomografia sismica



Case history - Passante di Torino - quadruplicamento tra porta Susa e Stura

Tomografia geoelettrica



informazione ad uso interno - internal use information

Case history - Passante di Torino - quadruplicamento tra porta Susa e Stura

Tomografia geoelettrica



Case history - Passante di Torino - quadruplicamento tra porta Susa e Stura

Tomografia geoelettrica



Case history - Passante di Torino - quadruplicamento tra porta Susa e Stura

Queste ultime metodologie di analisi sono utilizzate in maniera diffusa su tutto l' intervento e analizzando cautelativamente il numero di colonne verificate con un' indagine di questo tipo si può affermare che ne interessa circa l'82%

Le venute d' acqua in galleria sono di qualche decina di litri al secondo e sono dovute interamente ad anomalie dei giunti di paratia

Case history - Passante di Torino - quadruplicamento tra porta Susa e Stura



Case history - Passante di Torino - quadruplicamento tra porta Susa e Stura



Case history - Passante di Torino - quadruplicamento tra porta Susa e Stura





Case history - Passante di Torino - quadruplicamento tra porta Susa e Stura





Thank you for your time