



ROCK - SOIL TECHNOLOGY AND EQUIPMENTS

www.drillpac.com



TAMPONE DI FONDO

METROPOLITANA DI BARCELONA (ITALY)

METROPOLITANA DI BARCELONA (SPAGNA)

PROGETTO

Trattamenti Jet Grouting con il metodo trifluido PACCHIOSI MEGA JET PS3, per la realizzazione di tamponi di fondo impermeabili e consolidamenti con varia geometria e funzione, nell'ambito dei lavori per la costruzione della linea 9 della Metropolitana, sotto il livello di falda; resistenza a compressione minima 3,5 MPa; diametro colonne \varnothing oltre 5 m; profondità massima oltre 35 m.

PERIODO DI ESECUZIONE

2004 - in corso.

COMMITTENTE

UTE L9 HOSPITALET - UTE TUNELADORA METRO.

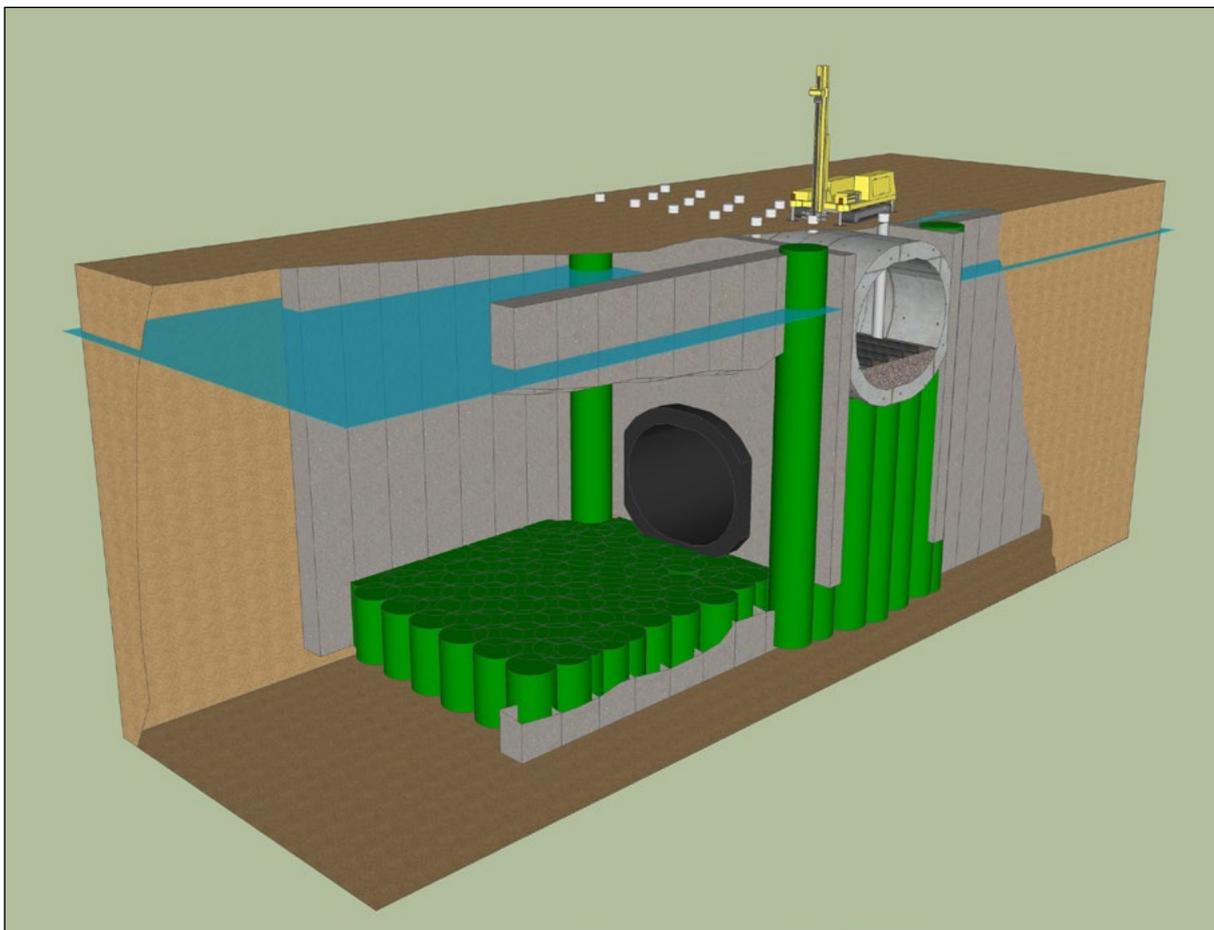
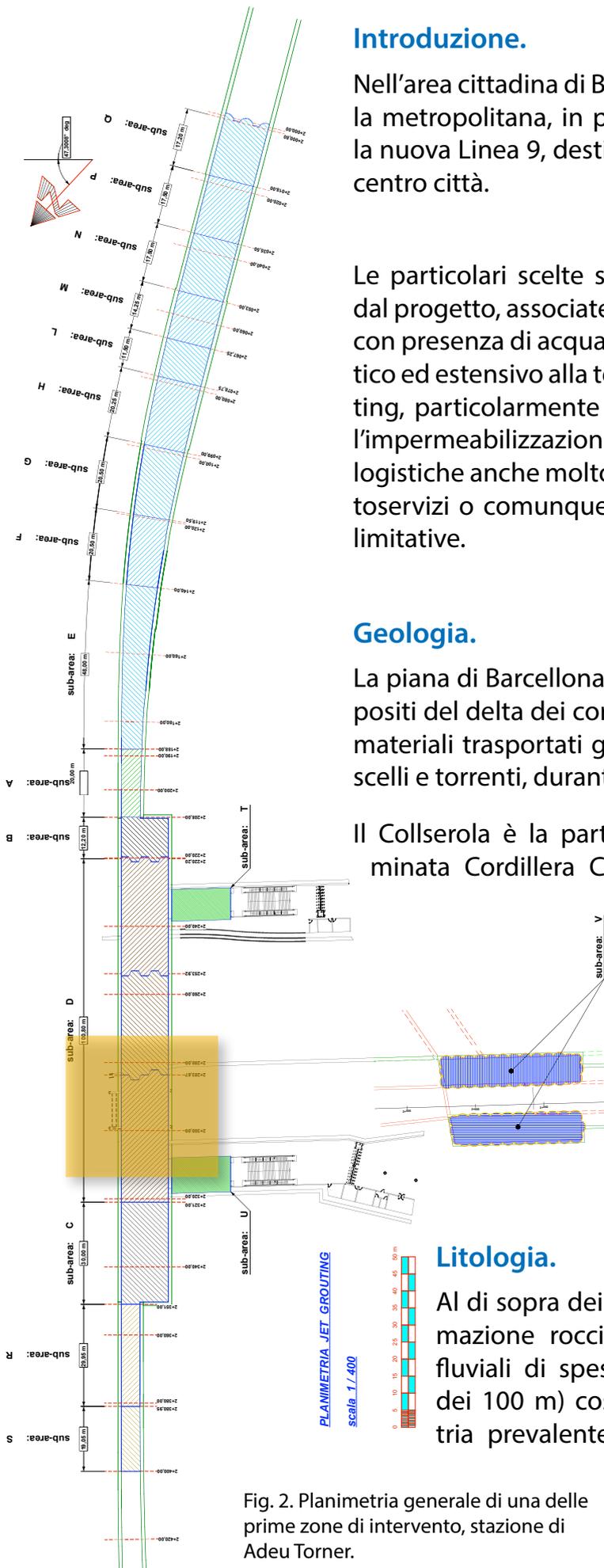


Fig. 1. Rappresentazione 3D dell'intervento all'attraversamento del Ferrocarril.



Introduzione.

Nell'area cittadina di Barcellona è in fase di ampliamento la metropolitana, in particolare con la costruzione della nuova Linea 9, destinata a collegare l'aeroporto con il centro città.

Le particolari scelte strutturali e le profondità definite dal progetto, associate alle caratteristiche del sottosuolo con presenza di acqua, hanno portato al ricorso sistematico ed estensivo alla tecnologia di trattamento Jet Grouting, particolarmente efficace per il consolidamento e l'impermeabilizzazione di terreni "difficili" in situazioni logistiche anche molto complesse per la presenza di sottoservizi o comunque di strutture esistenti fortemente limitative.

Geologia.

La piana di Barcellona è formata essenzialmente dai depositi del delta dei corsi d'acqua Besos e Llobregat e dai materiali trasportati giù dal Collserola dai numerosi ruscelli e torrenti, durante il Quaternario.

Il Collserola è la parte della catena montuosa, denominata Cordillera Costera Catalana, che interessa il territorio a Nord della città; i graniti paleozoici che costituiscono la Cordillera si abbassano progressivamente scendendo verso il mare, e nella fascia costiera cittadina risultano ricoperti dai depositi fluviali di epoca terziaria e quaternaria, più o meno recente.

Litologia.

Al di sopra dei graniti, ardesie e calcari della formazione rocciosa di base si trovano depositi fluviali di spessore variabile (anche dell'ordine dei 100 m) costituiti da materiali a granulometria prevalentemente fine, generalmente strati di sabbie limose passanti a limi

Fig. 2. Planimetria generale di una delle prime zone di intervento, stazione di Adeu Torner.

sabbiosi, con saltuaria presenza di ghiaia e con valori molto elevati di permeabilità

Descrizione degli interventi.

I principali consorzi di imprese generali aggiudicatarie dei vari lotti di lavori hanno affidato a PACCHIOSI, a partire dal 2004 e ad oggi senza soluzione di continuità, l'esecuzione dei più importanti trattamenti Jet Grouting previsti nell'ambito dei lavori, in oltre 15 diverse localizzazioni (caratterizzate ciascuna da speciali particolarità, quali le stazioni AMADEU TORNER, SAN COSME (parte), EIXAMPLE NORD e PLAÇA CATALUNYA, i pozzi 1A, 3A, 3B, 4, 4A, 6, 6B, V1, il tronco a doppio livello di PLAZA EUROPA.

In tutti i casi è stato risolutiva la capacità di PACCHIOSI di realizzare ottimi trattamenti colonnari di grande diametro (fino ad oltre 5 m) mediante l'affidabile sistema PS3, già più volte impiegato con evidenti vantaggi:

- forte accorciamento dei tempi di esecuzione, con la drastica riduzione del numero di colonne necessarie per ottenere i volumi trattati previsti a progetto,
- assoluta sicurezza nei confronti delle strutture esistenti o comunque già realizzate, senza rischio di provocare indesiderati cedimenti o sollevamenti,
- grande qualità dei trattamenti ottenuti con l'impiego delle più moderne attrezzature progettate e costruite specificamente per il Jet Grouting,
- importante limitazione dell'impatto "logistico" sulle aree, con l'impiego di un numero molto ridotto di perforatrici.

il sistema trifluido PACCHIOSI MEGA JET PS3 garantisce comunque l'ottenimento di trattamenti di alta qualità (comprovata in specifici campi prova preliminari e dai sistematici controlli in corso d'opera), sia per quanto concerne l'omogeneità, sia in termini di resistenza meccanica che di impermeabilità.

Fig. 3. Prima dell'intervento.



Fig. 4. Predisposizione fori di attesa.

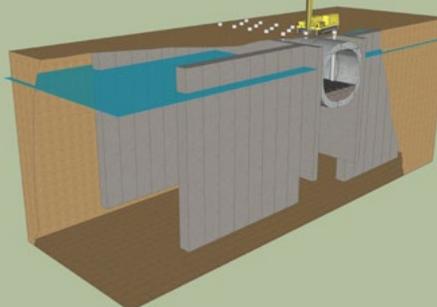


Fig. 5. Realizzazione tampone di fondo.



Fig. 6. Realizzazione colonne di chiusura.



Fig. 7. Costruzione galleria inferiore.

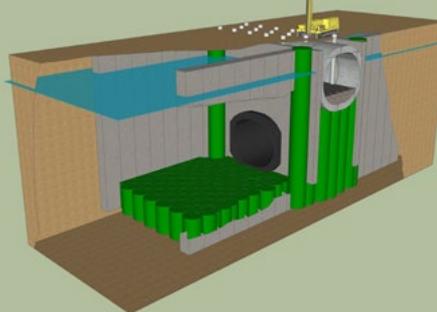
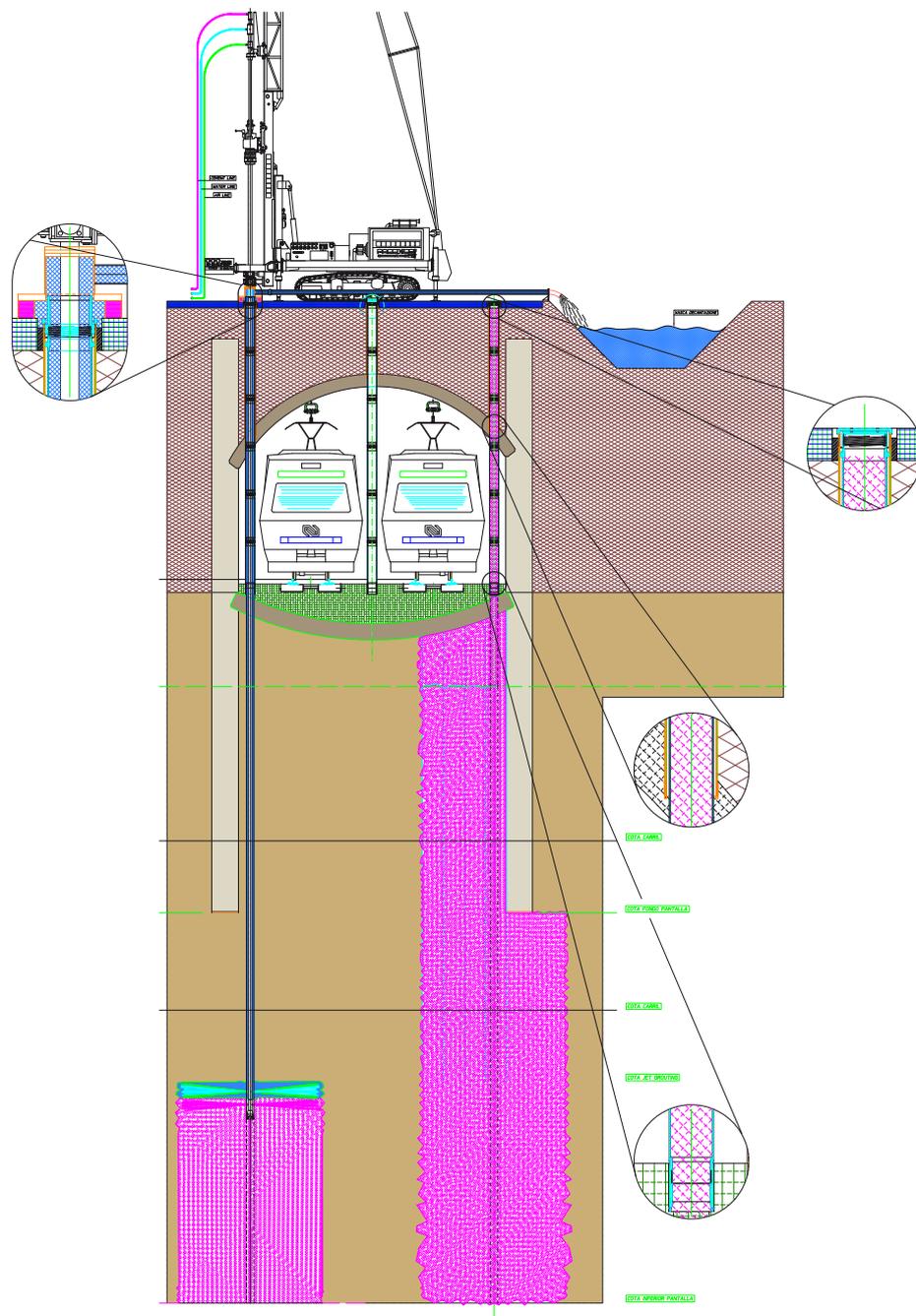


Fig. 8. Trattamento al di sotto del tunnel esistente, attraverso apposite tubazioni metalliche opportunamente predisposte in posizione tale da non costituire intralcio al traffico; attraverso tali tubazioni viene anche effettuato il recupero dei reflui di perforazione ed iniezione.



In generale le tipologie di intervento (consolidamento e/o impermeabilizzazione) più ricorrenti sono:

- trattamenti di massa per la realizzazione di tamponi di fondo tra paratie, lungo la linea, in corrispondenza delle stazioni e dei pozzi, quale contrasto strutturale per le paratie e barriera contro la risalita dell'acqua di falda;
- trattamenti di massa per la realizzazione di tamponi di fondo prima dell'esecuzione delle paratie;
- trattamenti di massa per la formazione dei break-in e dei break-out, vale a dire massicci omogenei che consentono l'arrivo o la partenza delle frese TBM nei pozzi o nelle stazioni in condizioni di sicurezza ed all'asciutto;
- trattamenti in linea per la realizzazione di pareti, muri, diaframmi;

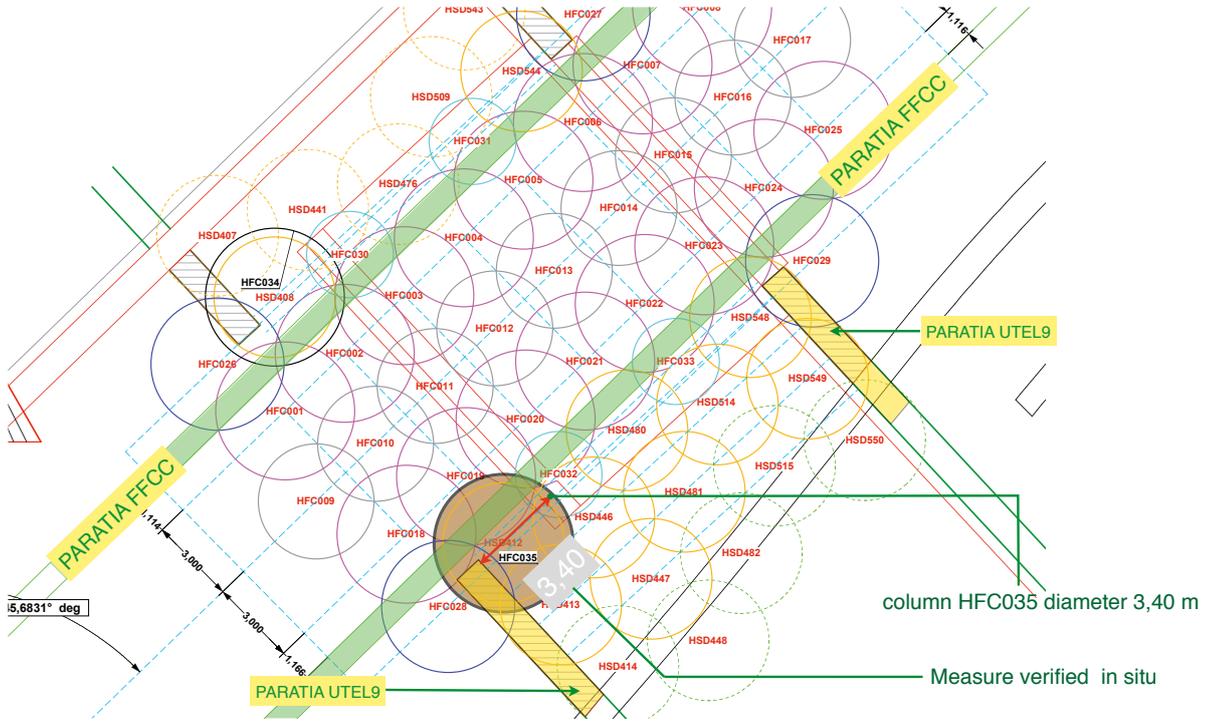


Fig. 9. Particolare di una colonna di chiusura tra diaframmi ortogonali; planimetria.



Fig. 10-11-12. Misurazione di una colonna di chiusura tra diaframmi ortogonali.



Fig. 13-14. Fasi di scavo nella massa di terreno consolidato con il metodo MEGA JET GROUTING PS3.

- trattamenti con particolare geometria ed inclinazione in corrispondenza di particolari opere accessorie, in caso di interferenza con impianti o sottoservizi o limitazioni di ingombro o in altezza;
- trattamenti profondi attraversando (grazie a particolari accorgimenti) tunnel esistenti, senza interruzione del traffico;



Fig. 15-16. Soletta CA con la predisposizione dei fori di attesa per l'esecuzione dei trattamenti.

- trattamenti puntuali o concentrati per riparazione o integrazione di strutture esistenti.

Tutti gli interventi sono stati portati a termine lavorando dall'esterno, normalmente da piano campagna, a volte previo modesto abbassamento di quota.

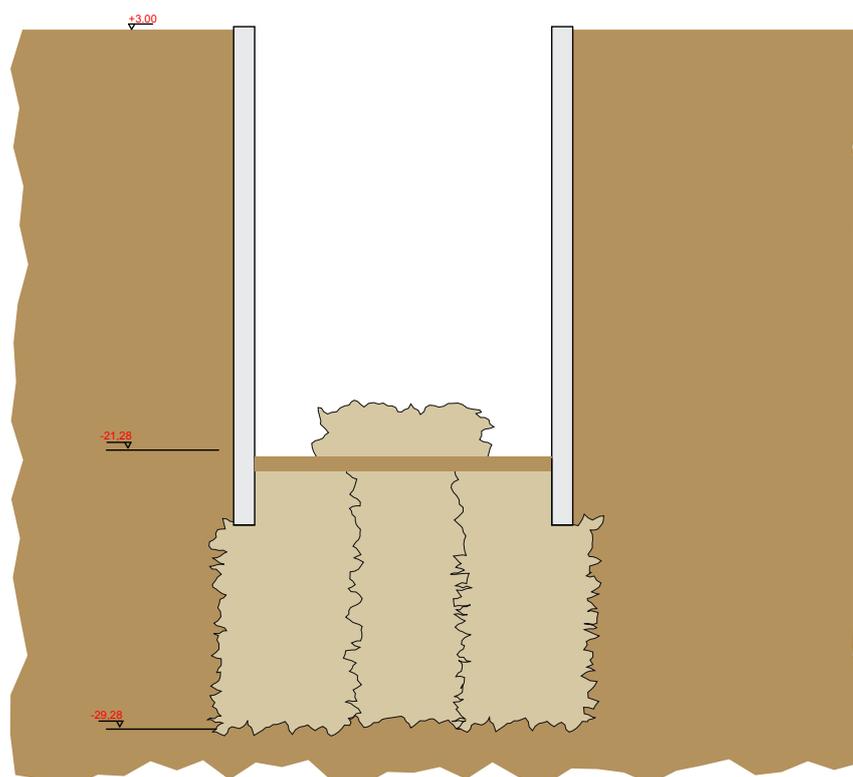


Fig. 17. Sezione schematica di un tampone di fondo con una colonna prolungata al di sopra del piano di scavo per permetterne l'osservazione diretta ed il controllo dimensionale; diametro misurato \varnothing oltre 4 m



Fig. 18. Sommità di una colonna scoperta e misurata direttamente; diametro \varnothing oltre 4 m.

Nelle aree di intervento sono state realizzate solette CA con predisposizione dei fori di attesa nelle posizioni previste per le perforazioni; la maglia (spaziatura) delle colonne è stata definita, caso per caso, tenuto conto del diametro ottimale, della profondità da raggiungere e della deviazione in perforazione da compensare in modo sistematico (di norma 1%).

Tra le diverse tecnologie Jet Grouting sviluppate da PACCHIOSI, è stato scelto per i trattamenti in oggetto il metodo trifluido PS3 MEGA, particolarmente adatto ai terreni incontrati, ed estremamente efficace quando si vogliono ottenere grandi diametri riducendo al minimo i rischi di sovrappressioni o di pericolosi claquages; il sistema prevede dapprima la disgregazione del suolo mediante un getto d'acqua ad altissima velocità reso più preciso ed efficace da una coronella perimetrale di aria a pressione relativamente bassa, e quindi la formazione del trattamento colonnare mediante successiva iniezione (a rotazione in risalita) ad altissima velocità di una miscela legante a base cementizia. In particolare, la miscela è formata da acqua e cemento, e stabilizzata con bentonite, che ha la funzione di impedire la separazione del cemento, presente con dosaggi molto alti.

Sono stati effettuati specifici campi prova costituiti in genere da una terna di colonne secanti (compenetrate), realizzate secondo la maglia di progetto con deviazione (la deviazione da compensare progettualmente) imposta divergente, controllando, mediante carotaggio con estrazione di campioni, diametro ottenuto, continuità, omogeneità, resistenza a compressione e permeabilità nelle posizioni critiche, vale a dire in corrispondenza dell'intersezione centrale e delle aree di contatto delle colonne a due a due.

I lavori sono stati monitorati sistematicamente mediante una strumentazione computerizzata specificamente concepita e sviluppata da PACCHIOSI, il sistema di acquisizione e registrazione dati PRS3. Tale sistema, mediante una serie di rilevatori in tempo reale montati sia all'impianto di miscelazione e pompaggio sia sulla perforatrice, è in grado di registrare tutti i principali parametri di lavoro, vale a dire pressioni e portate dei fluidi, coppia applicata sull'utensile, velocità e profondità di perforazione ed iniezione, velo-

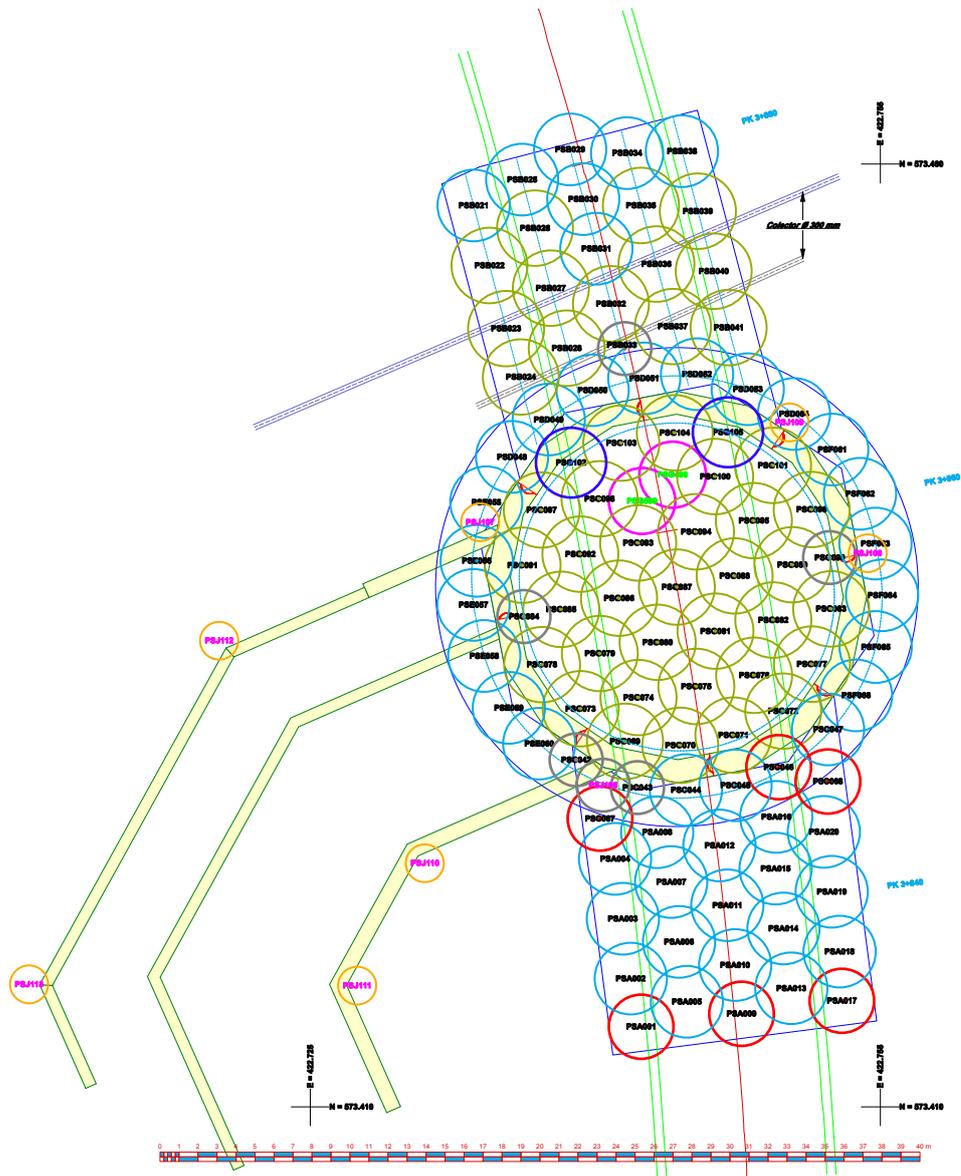


Fig. 19. Planimetria dei trattamenti (tampone di fondo, break-in e break-out) al pozzo 6.



Fig. 20. Esempio di carotaggio; si noti la perfetta cementazione delle inclusioni

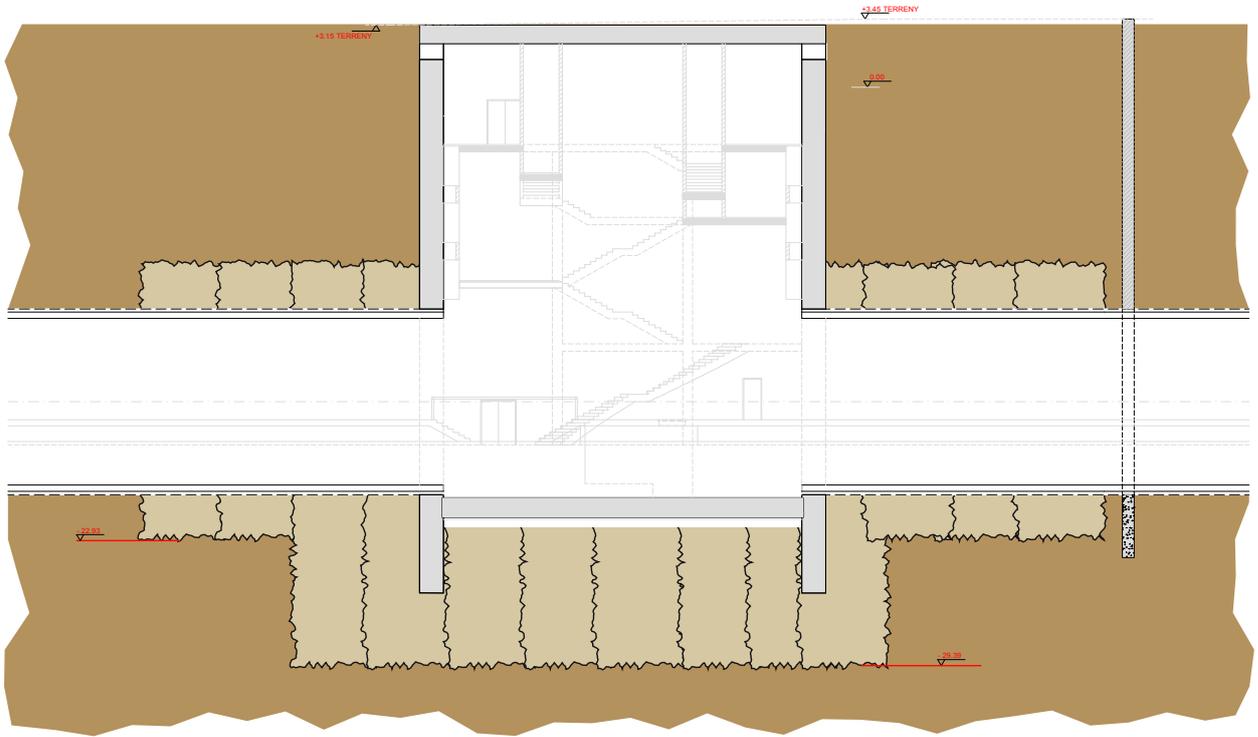


Fig. 21. Sezione tipica di un pozzo con tampone di fondo centrale, break-in e break-out.

cità di rotazione, ecc ...; l'operatore può controllare su monitor tutti i parametri in fase esecutiva, mentre alla fine delle operazioni vengono prodotti due grafici, relativi alla perforazione ed alla iniezione rispettivamente, che certificano in buona sostanza il lavoro eseguito.

Un recente sviluppo del sistema ha permesso di eseguire in modo completamente automatico l'iniezione (a perforazione completata), a partire dai dati di progetto caricati nel sistema elettronico di gestione.



Fig. 22. Esempio di carotaggio; si noti la perfetta cementazione delle inclusioni



Fig. 23-24.
Particolare colonna
scoperta, diametro
 \varnothing oltre 5 m.



Fig. 25. Esempio di carotaggio; si noti la perfetta omogeneità e continuità del trattamento eseguito.

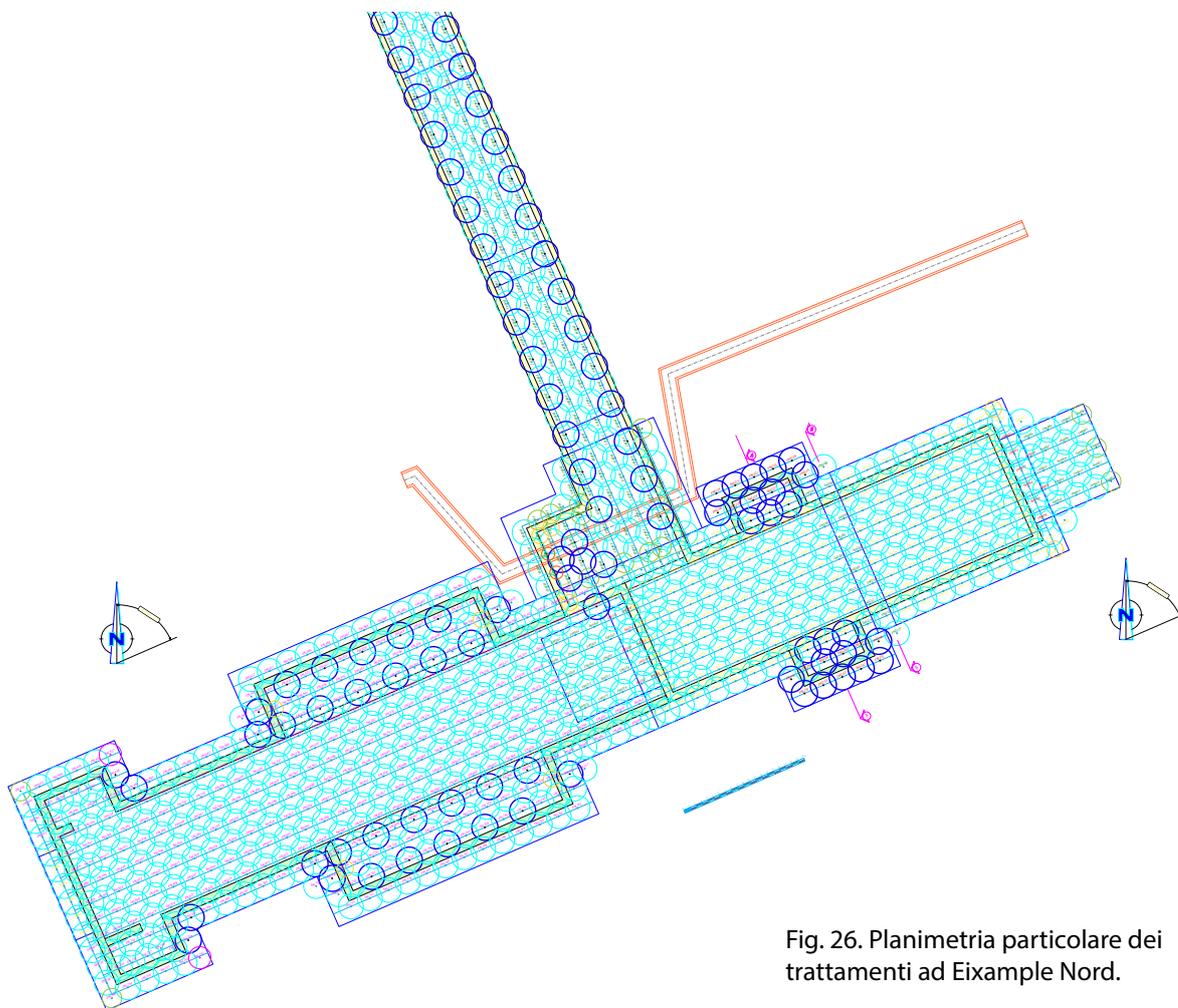


Fig. 26. Planimetria particolare dei trattamenti ad Eixample Nord.

I lavori sono stati condotti con il sistematico recupero dei reflui, tanto in fase di perforazione che in fase di iniezione, con il successivo convogliamento in opportune vasche di decantazione nelle quali l'acqua in eccesso si separa, lasciando depositare le frazioni fini "spiazzate" dal terreno trattato durante l'esecuzione del Jet Grouting; il deposito solido, di volume relativamente ridotto, può quindi essere movimentato con facilità a costi



Fig. 27. Computer installato sulla perforatrice; visualizzazione a monitor dei parametri caratteristici.

contenuti. La speciale testa che permette il completo recupero dei reflui a boccaforo, senza causare intralcio all'esecuzione del trattamento Jet Grouting, è di concezione e costruzione PACCHIOSI, e può essere facilmente adattata alle diverse situazioni che si possono incontrare in cantiere.

Nel corso dei lavori è stato condotto un accurato controllo qualitativo (con cadenza predefinita) in tutte le fasi esecutive ed in particolare:

- controllo della viscosità della miscela con cono MARSH;
- controllo della densità della miscela con bilancia BAROID;
- prove di decantazione della miscela con cilindri graduati;
- controllo visivo a monitor, in fase esecutiva, dei parametri di perforazione ed iniezione;
- controllo della densità dei reflui con bilancia BAROID;
- verifica delle registrazioni (grafici), dei parametri di perforazione ed iniezione;
- carotaggi con controllo dell'RQD ed esame visivo dei trattamenti eseguiti;
- prelievo, dalle carote estratte, di campioni per le prove di laboratorio, in particolare per la determinazione della resistenza a compressione;

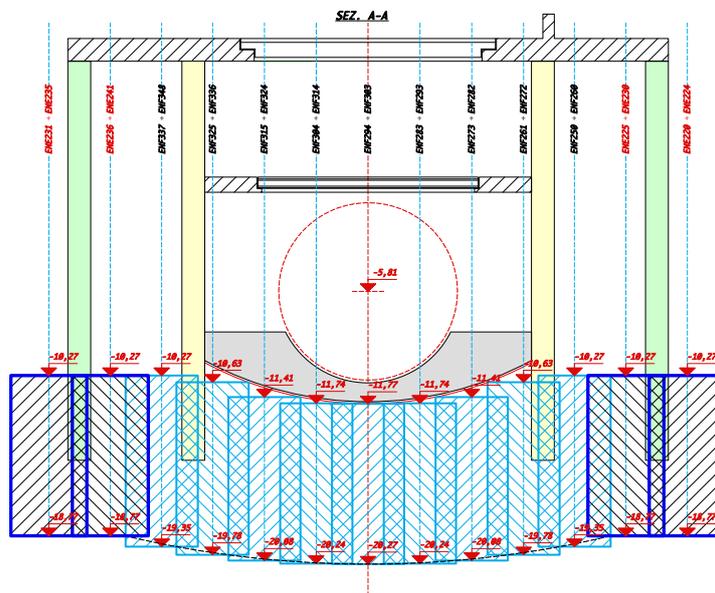


Fig. 28. Sezione tipo A dei trattamenti ad Eixample Nord.

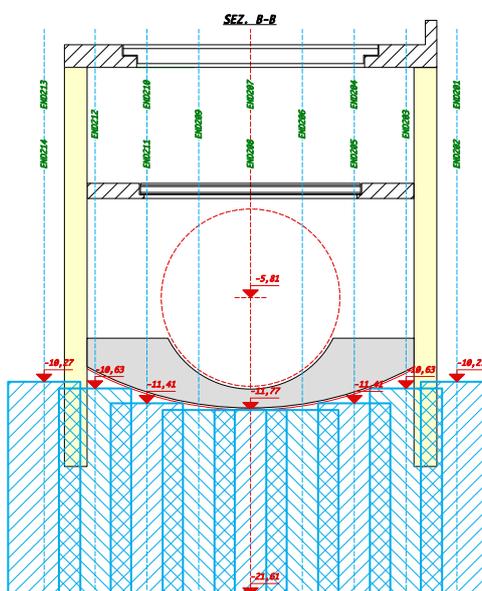


Fig. 29. Sezione tipo B dei trattamenti ad Eixample Nord.

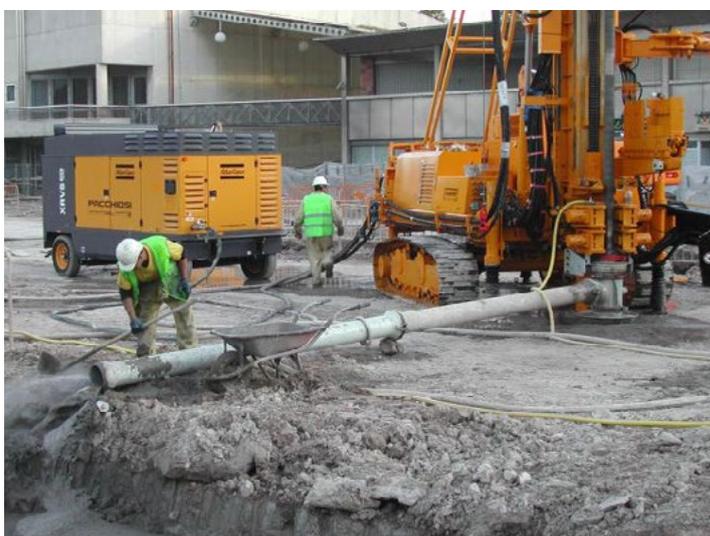


Fig. 30. Recupero dei reflui di perforazione/iniezione.



Fig. 31. Recupero dei reflui di perforazione/iniezione e convogliamento in vasca di decantazione.



Fig. 32. Sonda idraulica PACCHIOSI P1500 modello ES con pennone di prolunga; intervento su piano di lavoro; in secondo piano i silos della centrale di stoccaggio materiali, dosaggio, miscelazione e pompaggio miscele cementizie.



Fig. 33 Particolari della sonda idraulica PACCHIOSI P1500 ES.

- determinazione della permeabilità mediante prove d'acqua all'interno dei carotaggi eseguiti.

La resistenza a compressione (dopo 28 gg) ottenuta per i campioni di trattamento Jet Grouting prelevati mediante carotaggio si è dimostrata superiore a 3,5 Mpa. Ad esclusione di poche situazioni particolari ove sono stati sufficienti diametri relativamente ridotti (2÷3 m per esigenze di tipo "geometrico"), il diametro delle colonne si è dimostrato essere dell'ordine di almeno 4 m, con un massimo, anch'esso provato e documentato di oltre 5 m.

Lo spessore dei trattamenti (lunghezza delle colonne Jet Grouting) è variato da 2 a 22 m in funzione della tipologia delle opere da realizzare, con profondità di perforazione fino a 35÷40 m;

Sono stati realizzati complessivamente oltre 350.000 m³ di trattamento Jet Grouting.



Fig. 39. Installazioni fisse di cantiere; silos di stoccaggio cemento (2) e bentonite (1), centrale di dosaggio e miscelazione componenti (mixer PACCHIOSI MA 2000) e pompa (PACCHIOSI LASER 2800) per acqua e miscele cementizie; containers per officina e magazzino.

Le speciali attrezzature impiegate, progettate e costruite da PACCHIOSI, sono costituite (per un cantiere singolo tipo) essenzialmente da:

- sonda idraulica PACCHIOSI P1500; nelle versioni ES, ECR ed EC a seconda delle specifiche necessità;
- stazione di stoccaggio materiali, con 2 silos per il cemento, 1 silos per la bentonite ed 1 container vasca per l'acqua;
- officina e magazzino (normalmente in container standard per facilitare il trasporto);
- centrale di dosaggio, miscelazione e stoccaggio (con agitazione continua per evitare la separazione dei componenti) delle miscele cementizie; TURBO MIXER PACCHIOSI MA 2000 C containerizzato e interamente automatizzato;
- centrale di pompaggio dell'acqua e delle miscele leganti per sistema trifluido PS3; POMPA PACCHIOSI LASER 2800 C containerizzata;
- Batterie di aste PS3, monitor, triconi, trilama, martelli fondo-foro, carotieri, attrezzatura di perforazione varia;
- dotazione completa di linee tecnologiche per aria, acqua, miscela cementizia e inter-comunicazione;
- sistema di registrazione dei parametri di perforazione ed iniezione con gestione automatica della fase di iniezione PACCHIOSI PRS3;
- Impianti accessori a corredo (pompe per fanghi, compressore, ecc. ...).

Sono stati allestiti ed impiegati, nelle varie fasi di lavoro ed in localizzazioni diverse, anche 3 cantieri in contemporanea.

ROCK - SOIL TECHNOLOGY AND EQUIPMENTS



**COMPANY WITH
QUALITY SYSTEM
CERTIFIED BY DNV GL
= ISO 9001:2015 =**

Branches

AMERIQUE DU NORD PACCHIOSI INC, Canada

PACCHIOSI DRILL USA INC, USA

Drill Pac S.r.l. – Società soggetta a direzione e coordinamento di Ghella S.p.A
Sede Legale: Via Pietro Borsieri, 2/a - 00195 Roma (RM)
Tel. +39 06 45603.1 – Fax +39 06 45603040 – e-mail: info@drillpac.com
Sede Operativa: Frazione Borgonovo, 22 – 43018 Sissa Trecasali (PR)
Tel. +39 0521 379003 – Fax +39 0521 879922 - Sito web: www.drillpac.com