



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



ROCK - SOIL TECHNOLOGY AND EQUIPMENTS



CLIFTON (NEW YORK - U.S.A.) (ITALY)

IMPERMEABILIZZAZIONI



## CLIFTON (NEW YORK - U.S.A.)

### PROGETTO:

Barriera verticale Jet Grouting per confinamento sito contaminato.  
Intervento di recupero ambientale volto ad eliminare i rischi associati alla presenza di inquinanti nel sottosuolo dell'ex impianto di produzione di gas (MGP) Clifton OU-1, situato nel distretto di Staten Island, New York.

### PERIODO D'ESECUZIONE:

2006 – 2009

### COMMITTENTE:

National Grid - Keyspan Corporation.



Fig. 1. Sito di Clifton OU-1

## Premessa.

Gli impianti MGP di Clifton produssero gas combustibile, mediante un processo di riscaldamento di carbone e derivati del petrolio, dal 1856 al 1957. Il sito OU-1 è la sede di un ex serbatoio di compensazione utilizzato per lo stoccaggio del gas. La struttura venne demolita nel 1959 e sul posto venne lasciata la parte sotterranea della fondazione circolare in mattoni con un diametro di 26 m. Negli anni, i sottoprodotti, come il catrame di carbone generato dalle operazioni dell'MGP, fuoriuscirono o furono scaricati dall'ex serbatoio di compensazione provocando la contaminazione del suolo e delle acque freatiche. Nel 2004 il New York State Department of Environmental Conservation (NYSDEC) emise una formale ordinanza in cui raccomandava un piano di recupero per il sito OU-1.

Un elemento chiave del progetto di recupero consisteva nell'installazione di una barriera verticale di contenimento, composta dalla combinazione di una fila di palancole in lamiera d'acciaio, poco profonde e con giunti sigillati, e di una fila sottostante di colonne Jet Grouting profonde, per circondare e incapsulare la struttura della fondazione dell'ex struttura del serbatoio di compensazione e il terreno inquinato sottostante.

Vista la natura degli inquinanti presenti sul sito, si rendeva necessario implementare sofisticati metodi di raccolta dei reflui del Jet Grouting al fine di evitare rilasci incontrollati di inquinanti o vapori nell'ambiente durante l'esecuzione dell'intervento di recupero.

## Condizioni del sottosuolo – natura della contaminazione

La barriera di contenimento Jet Grouting è stata installata in condizioni estremamente



Fig. 2. Palancole metallica perimetrale

difficili del sottosuolo, costituito da un sedimento glaciale con grossi massi rocciosi, sabbia sciolta e acque artesiane.

Nel sito OU-1 di Clifton sono state identificate quattro unità stratigrafiche principali:

riempimento superficiale - sciolto e non compatto, formato da sedimenti sabbioso/limosi e ghiaia mista a scorie, frammenti di carbone, mattoni, cemento, legno, metallo, frammenti di porcellana, transite, cenere e clinker; profondità massima di 6 m da piano campagna;

depositi alluvionali - straco composito con subunità di sabbia, sabbia ghiaiosa, limo ghiaioso, limo, limo argilloso e torba; estesi sotto lo strato di riempimento fino a 9 m da piano campagna;

depositi glaciali – composti, da circa 9 m e 25 m da piano campagna, di un limo argilloso compatto, da denso a molto denso, con sabbia, ghiaia, ciottoli e grossi massi rocciosi in diverse quantità, passanti, ad una profondità di circa 25 m da piano campagna ad una sabbia non compatta da densa a molto densa di origine fluvioglaciale con tracce di ghiaia e ciottoli, fino allo strato superiore della sottostante formazione di saprolite ad una profondità di 36,5 m da piano campagna;

saprolite - roccia di base disgregata, al di sotto dei 36,5 m da piano campagna; la saprolite venne formata dall'alterazione in loco della roccia sana, probabilmente lo Scisto di Manhattan.

Il sito presentava due falde acquifere: una non delimitata e poco profonda (falda freatica), ad una profondità di circa 1 m da piano campagna, e l'altra profonda delimitata entro depositi fluvioglaciali al di sotto della profondità di 25 m da piano campagna. Le acque artesiane erano presenti in questa falda acquifera delimitata e profonda, con pressioni idrostatiche da 2 m a 3,5 m sul piano campagna.

Le categorie principali di inquinanti del sottosuolo che superavano i rispettivi SCGs (standard, criteri e valori guida) erano composti organici volatili (COV), idrocarburi policiclici aromatici (IPA) e sostanze inorganiche (metalli).

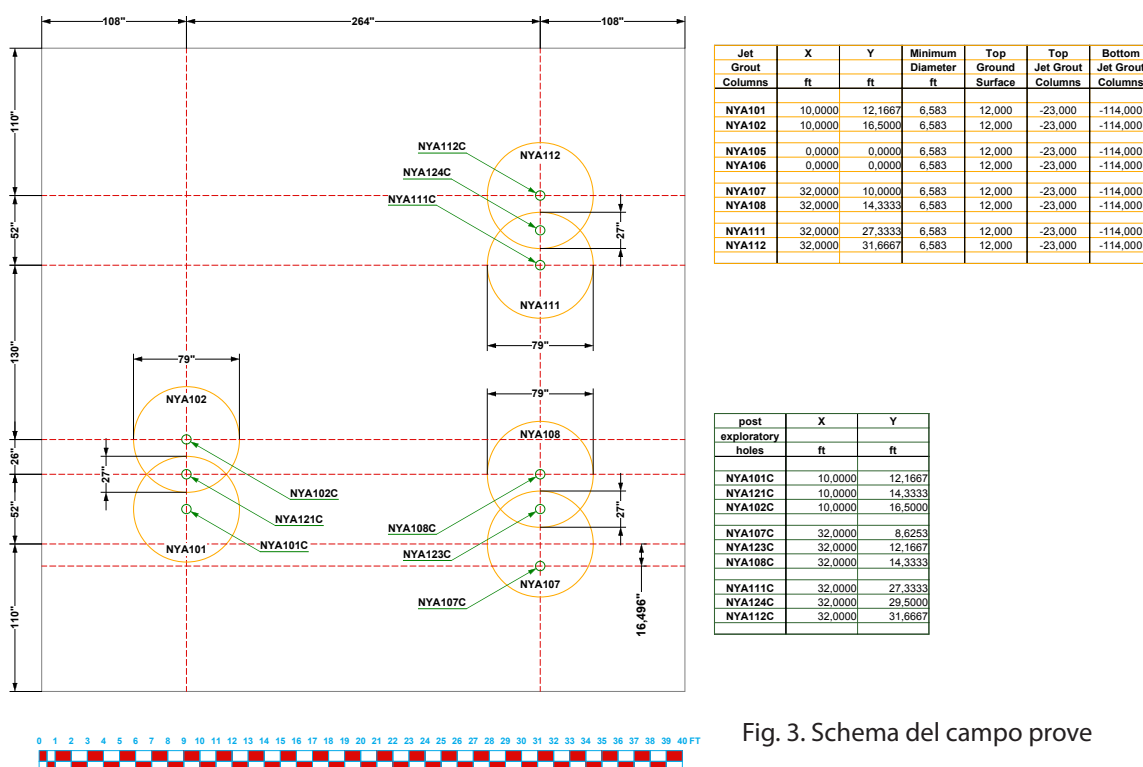


Fig. 3. Schema del campo prove



## Descrizione del lavoro.

### Campo prove di Jet Grouting 2006.

Nel 2006 Pacchiosi Drill ha realizzato un campo prove Jet Grouting all'interno del sito OU-1, a circa 30 m dall'allineamento del previsto diaframma, in una zona in cui il sottosuolo non era contaminato, al fine di ottenere informazioni avanzate da utilizzare per la progettazione dell'intervento di recupero ambientale mediante Jet Grouting.

Sono state installate sei (6) colonne Jet Grouting, suddivise in tre gruppi separati di due colonne ciascuno. Le colonne installate sono state realizzate ad una inter-distanza di 1,2 m, a profondità comprese tra 9 m e 38 m, alle stesse profondità e attraverso terreni con stratificazione identica a quelli dell'area di produzione.

Prima dell'avvio del campo prove, è stata predisposta una soletta CA sulla quale avrebbe poi operato la perforatrice, e in questa piattaforma sono stati inseriti dei tronchetti di tubo d'acciaio con un diametro di 30 cm, in corrispondenza del punto centrale delle colonne Jet Grouting e dei carotaggi post-esplorativi. Il sistema di raccolta con preventer a T, appositamente concepito da Pacchiosi Drill per raccogliere i reflui di perforazione ed iniezione convogliandoli in un speciale serbatoio, era collegato a tenuta ai manicotti d'acciaio.

Poiché il committente aveva bandito l'uso di aria compressa nel processo Jet Grouting, come precauzione necessaria ad evitare la possibile migrazione di materiali attraverso gli strati di terreno presenti nel sito, tutte le colonne di Jet Grouting del campo prove sono state realizzate utilizzando il sistema Jet Grouting bi-fluido (acqua - miscela cementizia) PS2W. Il sistema PS2W utilizza un getto d'acqua ad alta velocità per disgrega-



Fig. 4. Esecuzione del campo prove – Jet Grouting

re il terreno in posto, mentre, simultaneamente, inietta una miscela cementizia ad alta velocità, con un ugello separato situato più in basso sul monitor d'iniezione, mescolandola con le frazioni di terreno residuo rimasto in posto dopo l'azione del getto d'acqua superiore.

Nel campo prove sono stati testati due metodi di perforazione: a rotazione con scalpello a rulli triconici e bottoni in tungsteno e perforazione a percussione con martello fondo foro ad acqua. Quest'ultimo metodo si è dimostrato più efficace per trattare i numerosi ciottoli e i grossi massi rocciosi presenti nei depositi glaciali ed è stato utilizzato per la maggior parte delle colonne di Jet Grouting del campo prove. Si è ottenuta una deviazione di perforazione media dello 0,96% a una profondità di 38 m da piano campagna per le sei colonne, con la deviazione massima misurata all'1,51%.

La miscela cementizia utilizzata per l'esecuzione del trattamento Jet Grouting era composta da cemento Portland comune (tipo I) e scorie d'altoforno granulari (qualità 120) in parti uguali, con un rapporto in peso acqua/solido di 0,7.

I parametri di perforazione ed iniezione a getto sono stati sistematicamente registrati in tempo reale utilizzando il sistema di acquisizione dati PRS3 sviluppato da Pacchiosi Drill. L'allineamento sulla verticale delle perforazioni per il trattamento Jet Grouting è stato attentamente monitorato per l'intera profondità, utilizzando un inclinometro biassiale, appositamente progettato per essere inserito nella cava interna delle aste. I dati raccolti dal sistema PRS3 e dall'inclinometro, memorizzati automaticamente nel computer della perforatrice, hanno consentito di produrre rapporti grafici e disegni as-built dell'installazione delle colonne.



Fig. 5. Esecuzione del campo prove – Carotaggi di controllo



Il trattamento di Jet Grouting è stato carotato in sei punti differenti, in corrispondenza delle intersezioni delle colonne nel punto corrispondente alla distanza media tra due colonne adiacenti. E' stata misurata per l'intera profondità anche la deviazione di tutti i fori di carotaggio, e i risultati sono stati utilizzati per generare disegni as-built che mostrano in vista planimetrica, con successivi incrementi della profondità di 3 m, la reale ubicazione del foro di carotaggio rispetto al reale punto centrale delle colonne Jet Grouting realizzate. Queste informazioni hanno consentito di calcolare il raggiungimento di un diametro minimo di trattamento di 1,8 m in tutti i livelli stratigrafici.

In ciascun foro di carotaggio sono poi state eseguite prove di pompaggio con acqua per valutare la permeabilità in-situ dei trattamenti Jet Grouting, ed è infine stata eseguita un'ispezione con telecamera, aspirato previo esaurimento dell'acqua precedentemente pompata. I risultati delle prove d'acqua hanno indicato un valore di permeabilità del terreno trattato con la metodologia Jet Grouting nell'ordine di  $1 \times 10^{-6}$  cm/s, che ben risponde ai criteri del valore di massima permeabilità in-situ ( $1 \times 10^{-5}$  cm/s) stabilito per il progetto.

Altre prove sul campo effettuate successivamente nel 2007 non hanno mostrato alcun deterioramento delle condizioni del trattamento dopo più di un anno dall'installazione, e al contrario hanno indicato un miglioramento delle caratteristiche di bassa permeabilità del terreno trattato con Jet Grouting, con valori di permeabilità in-situ significativamente inferiori rispetto a quelli rilevati nel 2006.

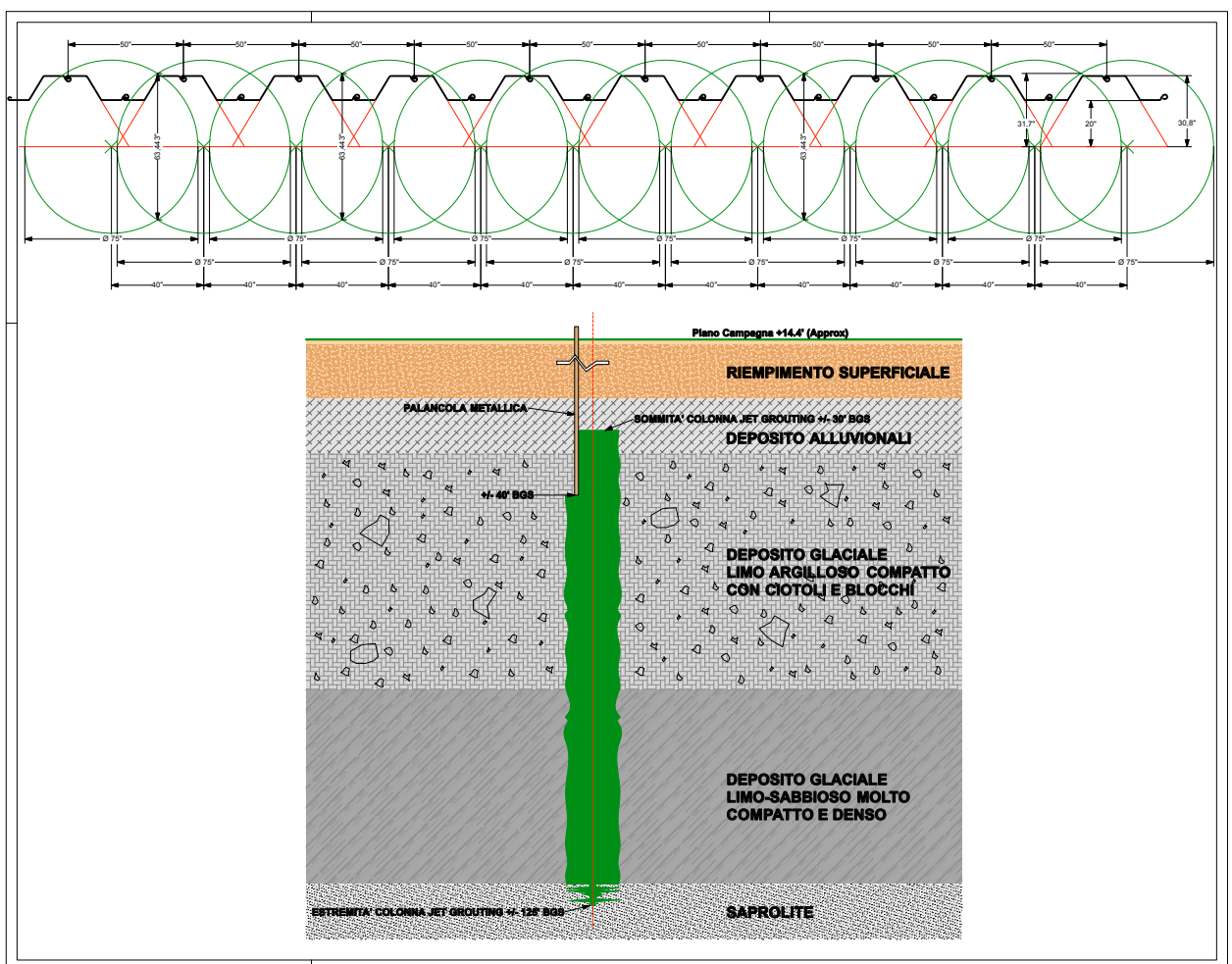


Fig. 6. Schema tipologico di esecuzione

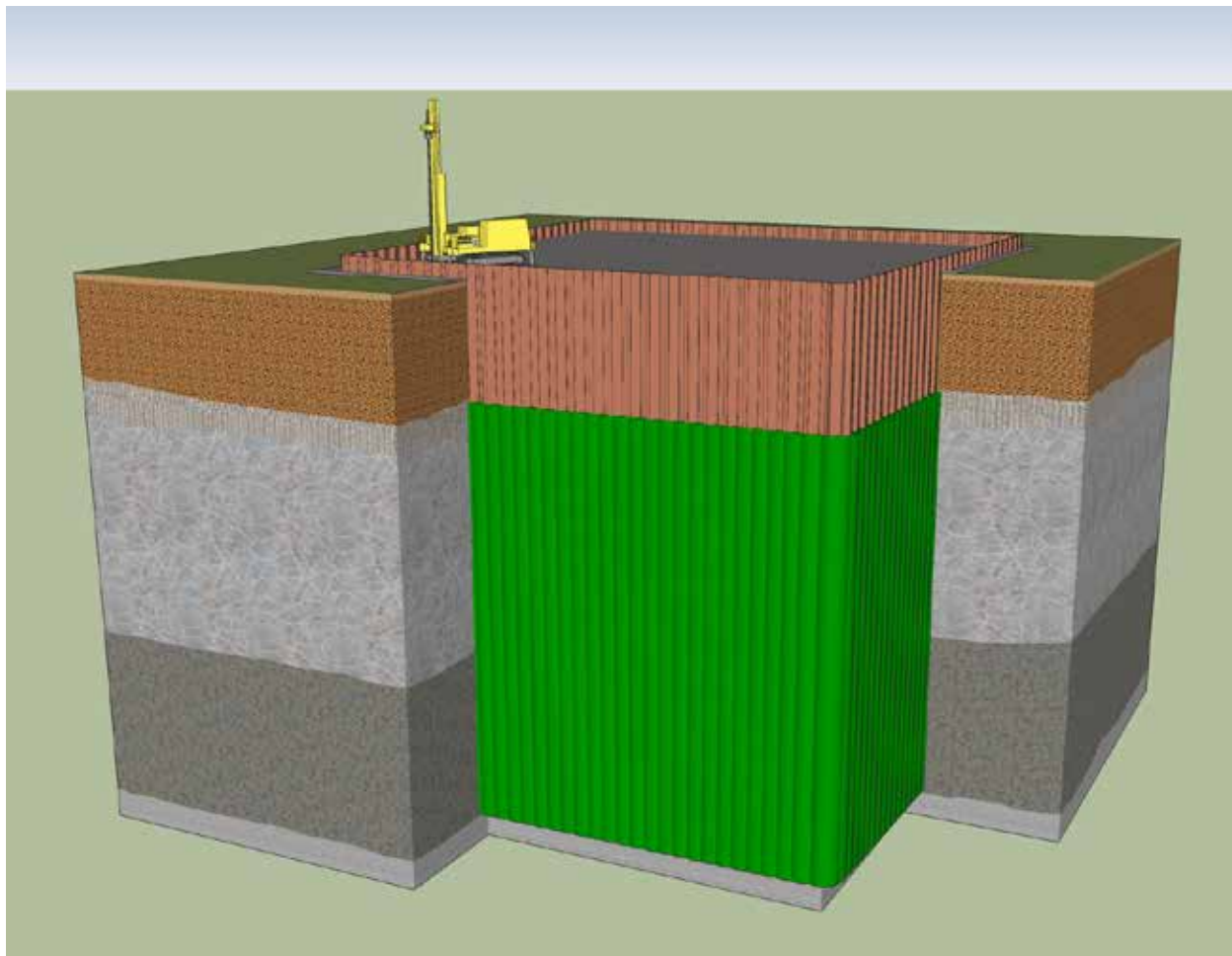


Fig. 7. Rappresentazione 3D della barriera verticale Jet Grouting

### Costruzione della barriera verticale Jet Grouting.

Pacchiosi Drill ha iniziato la costruzione della barriera verticale Jet Grouting nel 2008, successivamente al completamento, da parte di terzi, dell'installazione della palancolata lamiera d'acciaio con giunti sigillati ad una profondità media di 9,5 m.

La parete Jet Grouting consisteva di una singola fila di colonne Jet Grouting PS2W bi-fluido (acqua - miscela cementizia) dal diametro di 1,8 m. Per la parete si è scelta una inter-distanza tra le colonne di 1,0 m, poiché la presenza di numerosi detriti eterogenei nello strato di riempimento (tubi in ghisa, cemento, mattoni, tronchi e altro) poteva aver un effetto negativo sulla deviazioni di perforazione (massimo ammesso 1,25%). Si è reso così necessario un totale di 126 colonne per la costruzione della barriera Jet Grouting lunga 126 m.



Fig. 8. Vista panoramica del cantiere



Le colonne Jet Grouting sono state installate ad una profondità compresa tra 8 m e 38 m da piano campagna, fornendo un ricoprimento di 1,5 m con l'estremità inferiore

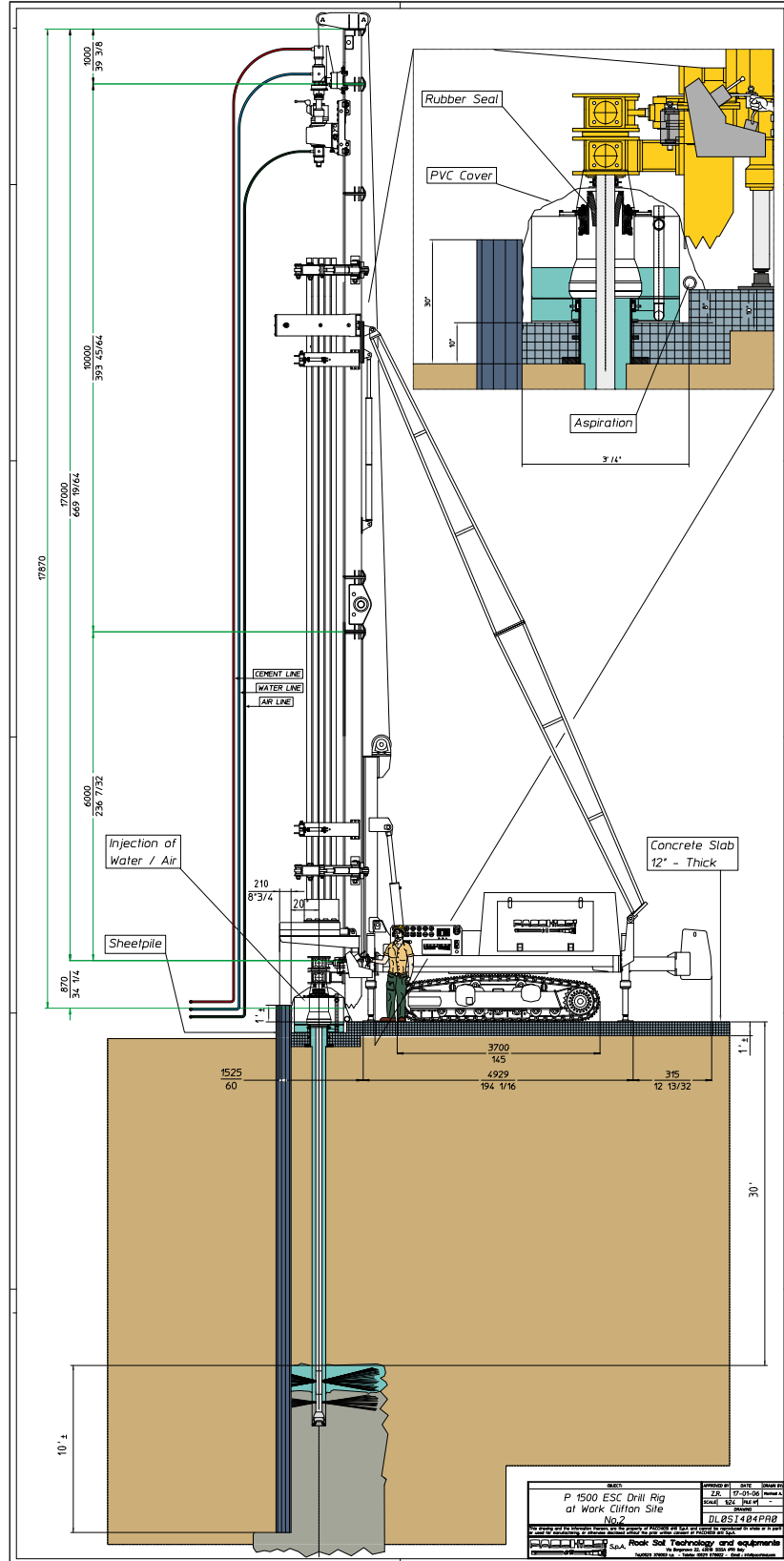


Fig. 9. Sistema di iniezione Pacchiosi con recupero dei reflui

della palancolata in lamiera e una penetrazione di 1,5 m nella formazione di saprolite di

base a bassa permeabilità. Il punto centrale di ogni colonna è stato posizionato ad una distanza di 50 cm dal lato interno della palancolata in lamiera d'acciaio.

Le operazioni sono state condotte utilizzando essenzialmente l'approccio sviluppato nel campo prove del 2006: è stata predisposta una soletta in CA in corrispondenza dell'area di lavoro; sono stati gli appositi manicotti d'acciaio di 30 cm nello spessore della soletta,



Fig. 10. Il cantiere – Installazioni fisse

al centro di ogni prevista colonna Jet Grouting e foro di carotaggio; si è fatto ricorso al medesimo un sistema preventer con serbatoio per raccogliere i reflui delle operazioni Jet Grouting; si è eseguita la perforazione utilizzando lo scalpello a rulli triconici e il martello fondo foro ad acqua; si è effettuata la sistematica rilevazione della verticalità sull'intera profondità di tutti i fori di carotaggio; si è utilizzato il sistema Jet Grouting PACCHIOSI PS2W bi-fluido acqua - miscela cementizia (composta da cemento Portland comune e scorie d'altoforno granulari in parti uguali, con un rapporto in peso acqua/solido di 0,7); sono stati registrati parametri di perforazione ed iniezioni utilizzando il sistema di acquisizione dati in tempo reale PACCHIOSI PRS3.

Sono state impiegate due perforatrici modello PACCHIOSI P1500 ECS, dotate di un caricatore automatico delle aste. Una perforatrice è stata utilizzata per la perforazione preliminare sull'intera profondità dei previsti trattamenti, mentre l'altra è stata destinata all'esecuzione delle successive iniezioni Jet Grouting.

Dopo aver verificato, nell'autunno 2008 con le colonne preliminari, che la procedura Jet Grouting proposta avrebbe fornito risultati in-situ conformi alle specifiche di progetto, la costruzione della parete Jet Grouting ha avuto inizio a febbraio 2009 ed è stata ultimata ad ottobre 2009, compresi tutti i relativi carotaggi di verifica e le prove sul campo.



Durante i lavori, i sistemi ideati da Pacchiosi Drill per la raccolta dei reflui del trattamento Jet Grouting si sono dimostrati molto efficaci nell'impedire il rilascio non controllato di detriti o vapori nell'ambiente. I reflui vennero raccolti, convogliati e pompati, attraverso tubazioni parzialmente interrati sotto Willow Avenue, per circa 90 m direttamente in celle di contenimento, realizzate appositamente all'interno di un edificio esistente, dove vapori ed esalazioni vennero trattati con sofisticati sistemi di filtraggio dell'aria. I reflui liquidi o in sospensione, quando sufficientemente induriti nelle celle di contenimento dopo decantazione, venivano caricati su autocarri a cassa ribaltabile e trasportati in specifici impianti di trattamento, prima dello smaltimento finale.

## Controlli e verifiche.

Per confermare la qualità del trattamento Jet Grouting in-situ e la conformità con le specifiche del contratto, sono stati realizzati 15 carotaggi lungo la parete Jet Grouting installata, utilizzando un sistema di carotaggio a doppio tubo in grado di prelevare



Fig. 11. Carotaggio eseguito nello strato dei depositi alluvionali fini

campioni con diametro di 108 mm. La maggior parte dei punti di carotaggio sono stati scelti in modo da corrispondere alle posizioni di minore sovrapposizione delle colonne effettivamente realizzate, sulla base dei disegni as-built delle colonne. Per tutti i carotaggi è stata misurata, con l'inclinometro biassiale, la verticalità sull'intera profondità.



Fig. 12. Carotaggio eseguito nello strato del deposito glaciale con ciotoli e blocchi

Si è registrato un'eccellente efficienza di recupero, quasi al 100%, con un'ottima qualità e continuità del trattamento Jet Grouting per tutti i carotaggi e a tutti i livelli stratigrafici, incluse le zone di terreno contenente grossi massi rocciosi e ciottoli. Durante il programma di carotaggio sono stati campionati grossi massi rocciosi per una lunghezza fino a 1,5 m.

Le prove d'acqua vennero sono state eseguite in tutti i fori di carotaggio per valutare la permeabilità del materiale trattato in-situ con il metodo Jet Grouting. Tutte le prove di carico idrico hanno mostrato valori di permeabilità ben al di sotto della permeabilità massima di  $1 \times 10^{-5}$  cm/s stabilita per il progetto, con tutti, tranne uno, i valori di permeabilità inferiori a  $5 \times 10^{-6}$  cm/s e solitamente nel range di  $1 \times 10^{-6}$  cm/s. Considerata il forte stress indotto al trattamento Jet Grouting dallo stesso processo di carotaggio, si è convenuto che in generale i valori effettivi di permeabilità reali del trattamento Jet Grouting indisturbato fossero inferiori a quelli rilevati dalle prove sul campo. Considerata inoltre la relativamente modesta età di maturazione (14 ÷ 28 giorni) della boiaccia al momento del carotaggio, si prevede anche che la caratteristica di bassa permeabilità del trattamento Jet Grouting effettuato continuerà a migliorare nel tempo.

Tutti i fori di carotaggio sono stati sottoposti anche ad ispezione visiva con telecamera controllata a distanza dalla superficie, confermando ulteriormente la buona qualità del trattamento Jet Grouting e la buona stabilità della miscela cementizia impiegata pur in presenza di pressione d'acqua molto variabile.

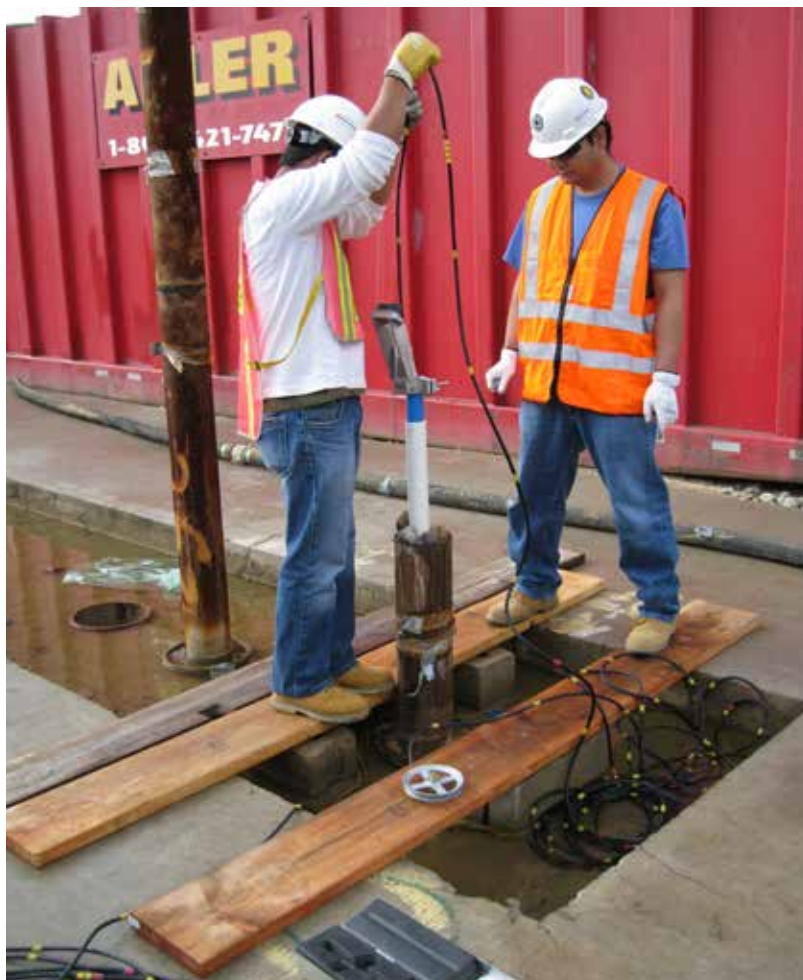


Fig. 13. Ispezione visiva con telecamera all'interno dei carotaggi

## Conclusioni.

- Per questo case study si possono trarre le seguenti conclusioni:
- è possibile costruire un diaframma Jet Grouting in profondità altamente efficace in terreni contaminati da carbone e sottoprodotti del petrolio;
- i metodi per raccogliere i reflui del trattamento Jet Grouting possono essere implementati in modo da evitare il rilascio incontrollato di inquinanti nell'ambiente;
- il diaframma Jet Grouting può essere realizzato in formazioni di terreno ad alto contenuto di grossi massi rocciosi e ciottoli, utilizzando una sola fila di colonne di Jet Grouting secantila verifica della verticalità, sull'intera la profondità, di tutte le perforazioni prima dell'iniezione Jet Grouting è una caratteristica peculiare del programma di controllo qualità per la costruzione di un diaframma Jet Grouting installato in profondità.



---

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](mailto:info@drillpac.com)  
**Sede Operativa:** Frazione Borgonovo, 22 – 43018 Sissa Trecasali (PR)  
Tel. +39 0521 379003 – Fax +39 0521 879922 - Sito web: [www.pacchiosi.com](http://www.pacchiosi.com)